بسم الله الرحمن الرحیم

راهنمای هنرآموز

دانش فنی تخصصی

رشتهٔ صنایع فلزی

گروه مکانیک

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

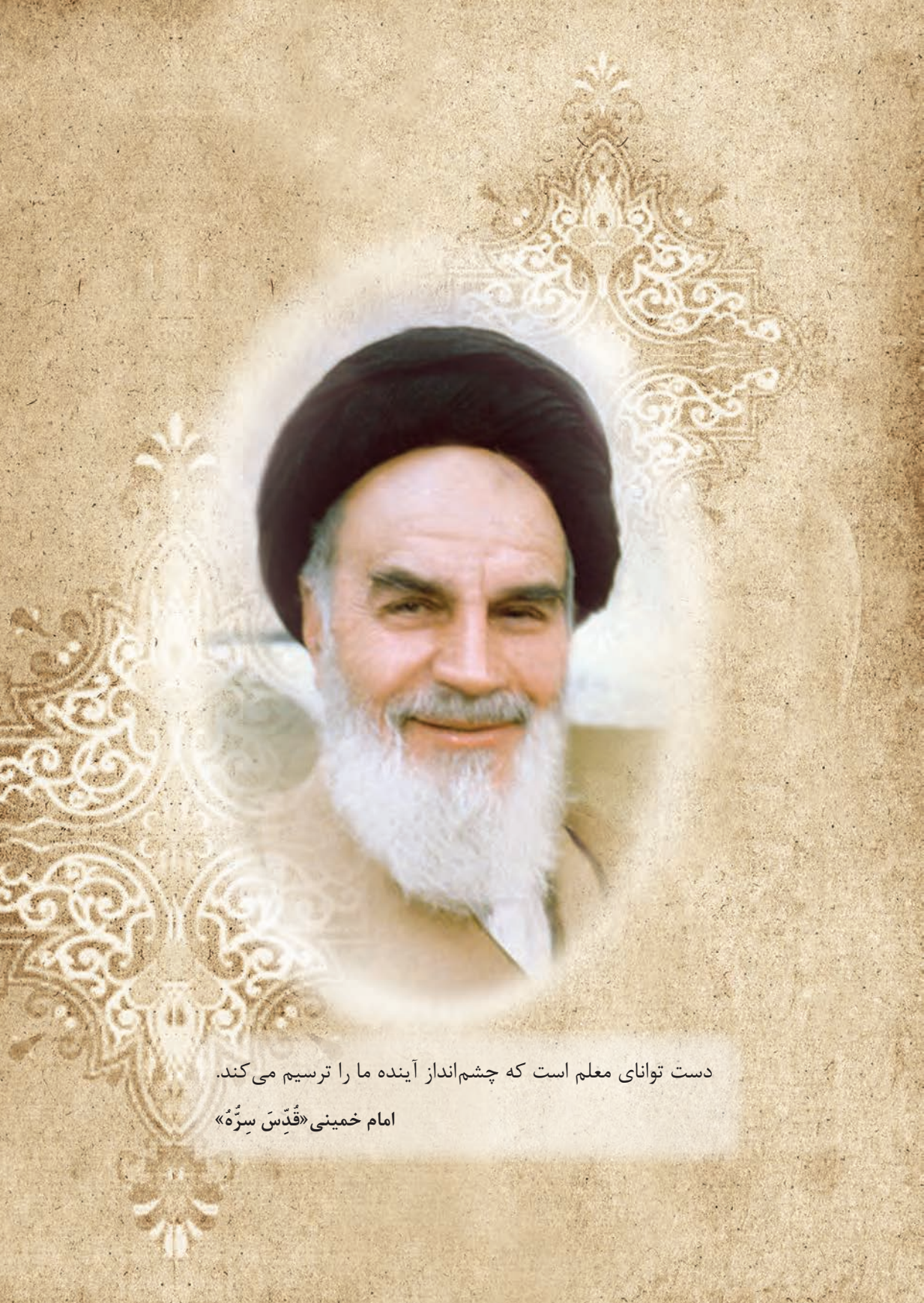
پایهٔ دوازدهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: راهنمای هنرآموز دانش فنی تخصصی(رشتهٔ صنایع فلزی)ـ ۲۱۲۸۶۶
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: نصرالله بنی‌مصطفی عرب، بهرام زارعی، حمید تقی‌پور ارمکی، محمدرضا سلطان محمدی، حسن ضیغمی، حمیدرضا شادی و علی رجایی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
حمید تقی پور ارمکی، محمدرضا زارعی سناآبادی، محمدرضا سلطان محمدی، علی رجایی، المیرا نور ا نوار و مجتبی بدیع صنایع (اعضای گروه تألیف)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: جواد صفری (مدیر هنری) ـ خدیجه محمدی و الهه یعقوبی‌نیا (صفحه‌آرا)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌گاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش) تلفن :۵ ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰/ صندوق پستی: ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ اول ۱۳۹۷

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

شابک ۸-۳۳۹۱ - ۰۵ - ۹۶۴ - ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 3391–8**



دست توانای معلم است که چشم‌انداز آینده ما را ترسیم می‌کند.

امام خمینی«قُدِّسَ سِرُّهُ»

فهرست

فصل ۱: کسب اطلاعات فنی..... ۱

فصل ۲: طراحی با نرم‌افزار..... ۲۳

فصل ۳: انتخاب مواد مهندسی..... ۷۹

فصل ۴: محاسبه در تولید..... ۲۰۹

فصل ۵: فناوری در تولید..... ۲۵۱

مقدمه

از الزامات اجرای برنامه درسی، وجود محتوای آموزشی جهت تحقق نیازهای فردی و اجتماعی و اهداف نظام تعلیم و تربیت می‌باشد. با توجه به تغییرات نظام آموزشی که حول محور سند تحول بنیادین آموزش و پرورش انجام شد چرخش‌های جدیدی از وضع موجود به مطلوب صورت پذیرفت. از جمله به نقش معلم از آموزش‌دهنده صرف، به مربی، اسوه و تسهیل‌کننده یادگیری و نقش دانش‌آموز از یادگیرنده منفعل به فراگیرنده فعال، تربیت‌جو و مشارکت‌پذیر و نقش محتوا از کتاب درسی به‌عنوان تنها رسانه آموزشی به برنامه محوری و بسته یادگیری (آموزشی) نام برد. بسته یادگیری شامل رسانه‌های متنوعی از جمله کتاب درسی دانش‌آموز، کتاب همراه دانش‌آموز/ هنرجو، کتاب راهنمای تدریس معلم/ هنرآموز، نرم‌افزارهای آموزشی، فیلم آموزشی و پوستر و .... می‌باشد که با هم در تحقق اهداف یادگیری نقش ایفا می‌کنند. کتاب راهنمای هنرآموز جهت ایفای نقش تسهیل‌گری، انتقال‌دهنده و مرجعیت هنرآموز در نظام آموزشی برای هر کتاب درسی طراحی و تدوین شده است. در این رسانه سعی شده روش تدریس کلی و جلسه به جلسه به همراه تجهیزات، ابزارها و مواد مصرفی مورد نیاز هر جلسه، نکات مربوط به ایمنی و بهداشت فردی و محیطی آورده شود. همچنین نمونه طرح درس، تبیین پیچیدگی‌های یادگیری هنرجویان، هدایت و مدیریت کارگاه و کلاس در هنرستان، راهنمایی و پاسخ فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها، بیان شاخص‌های اصلی جهت ارزشیابی شایستگی و ارائه بازخورد، اشاره به اشتباهات و مشکلات رایج در یادگیری هنرجویان و روش سنجش و نمره‌دهی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت و ارگونومی، منابع مطالعاتی، نکات مهم در فرایند اجرا و آموزش در محیط یادگیری، بودجه‌بندی زمانی و صلاحیت‌های حرفه‌ای و تخصصی هنرآموزان و دیگر موارد آورده شده است.

امید است شما هنرآموزان گرامی با دقت و سعه صدر در راستای تحقق اهداف بسته آموزشی که با کوشش و تلاش مؤلفین گرانقدر تدوین و تألیف شده موفق باشید.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

فصل ۱

کسب اطلاعات فنی

مقدمه (Introduction)

هنرآموز گرامی

همان‌گونه که آگاه می‌باشید نقش دانش زبان فنی در ارتقاء سطح علمی و مهارت یک تکنسین فنی بسیار تأثیرگذار می‌باشد. آینده شغلی، نقش زبان در تحقیق، و مطالعه منابع خارجی و به‌ویژه استانداردها و کاتالوگ دستگاه‌ها می‌تواند مورد بحث قرار گیرد. لذا بایستی ابتدا با روش‌های مناسب در فراگیران زبان ایجاد انگیزه (motivation) نماییم.

هیچ اشکالی ندارد که با اصطلاحات ساده شروع کنیم و با عدم سختگیری و تشویق و دادن امتیاز شوق و انگیزه فراگیری زبان را در هنرجویان ایجاد نماییم. سعی کنید از شروع کلاس یک فضای شاد و دلپذیر ایجاد کنید.

When students are having a good time, they'll be more engaged in learning.

از مزایای دانستن زبان در آینده کاری آنان بگویید و اینکه چقدر لذت‌بخش خواهد بود که آنان روزی مقالات تخصصی رشته خود را تحقیق و مطالعه نمایند و یا بتوانند فیلم‌های تخصصی را به زبان اصلی مشاهده نمایند.

از افراد موفق ذکر کنید که پایه‌های پیشرفت و موفقیت آنها مرهون دانستن زبان فنی بوده است.

این کتاب براساس تمرکز بر تمرین و یادگیری پایه‌ریزی و تهیه شده است.

Course learning outcomes

After completing of this course, students should be able to:

Read simple texts about book contents.

Answer questions of the book content.

Translate the key vocabulary of the book

Translate the simple related technical texts

Use and explaine the technical language points of the book

ارائه درس (performance)

مطالعه در خانه Pre reading

از هنرجویان درخواست کنید که قبل از شروع هر درس قسمت Pre reading آن را در خانه مطالعه و معانی کلمات را فرا گیرند. لذا در شروع درس از آنها بخواهید که چنانچه در پیدا کردن لغتی مشکل داشتند آنها را در شروع کلاس مطرح کنند.

: If there was any word that you didn't understand?

عنوان درس را در شروع کلاس روی تخته بنویسید (با ذکر صفحه مربوطه).

شروع کلاس

از هنرجویان بخواهید راجع به عکس‌ها با هم بحث و گفت‌وگو کنند و پاسخ سؤالات را از هنرجویان به‌صورت داوطلبانه و سپس با گفتن نام هنرجو بپرسید.

سؤال‌های مرتبط با عکس‌ها را مطرح و روی آن بحث کنید. می‌توانید از زبان فارسی و انگلیسی استفاده کنید.

چنانچه جمله‌های شما به‌صورت کلیشه‌ای و تکراری باشند هنرجویان آنها را فرا خواهند گرفت.

جملاتی شبیه

Look at the pictures....

Discuss with your classmates....

Reza now you answer the question....

What is the meaning of the word....

Please read the text .... Mr. Ahmadi

واژگان (vocabulary)

اهمیت فراگیری واژگان فنی را در خواندن متون فنی توضیح دهید و از شاگردان بخواهید معنی لغات هر درس را قبل از هر درس مطالعه نمایند. در آموزش لغات سعی کنید آنها را به‌صورت DRAMATIZE آموزش دهید (به‌گونه‌ای که معنی لغت در ذهن هنرجویان تجسم و نقش بندد). می‌توانید از شکل یا اشیاء واقعی استفاده کنید. لغات رادر جملات ساده استفاده کنید و از هنرجویان بخواهید آنها هم جملات ساده‌ای با لغت ارائه دهند.

لذا در طرح درس سعی کنید از کتاب، عکس و اشیای واقعی استفاده کنید.

Elements of lesson plan:

- Book
- pictures
- Real objects

Engage students in class activities شاگردان را در فعالیت‌های کلاس درگیر کنیم

علی حالا تو از حسن بپرس

Ali Now you ask from Hasan

خواندن متن درس

بخشی از متن اصلی درس را بخوانید و ترجمه کنید سپس چند دقیقه به هنرجویان وقت دهید تا مثلاً پاراگراف بعدی را مطالعه نمایند سپس از روی لیست نفراتی را انتخاب تا ادامه متن را خوانده و ترجمه نمایند. سعی کنید ابتدا از شاگردان ساعی بهره ببرید اما به مرور سایر هنرجویان را درگیر نمایید.

Read the text sentence by sentence.... Explain new words.translate the sentence after reading. Sometimes ask students to read and translate.

انجام تمرین‌ها

سؤالات را از هنرجویان ابتدا به‌صورت داوطلبانه و سپس با بردن نام آنها بپرسید. هنرجویان ساعی را تشویق و در دفتر خود به آنها امتیاز دهید و به هنرجویان ضعیف یادآوری کنید که مجدداً در دروس بعدی از آنها خواهید پرسید.

Ask one question to each student. Make sure all students read and answer.

در بحث ترجمه باید در کلاس ترجمه توسط هنرجویان مختلف خوانده و با دقت نکات ریز با هنرجویان بحث و بررسی شود.

می‌توانید پس از پایان هردرس یک QUIZ از مجموعه تمرین‌ها تهیه و آن را اجرا نمایید.

در پایان درس را خلاصه کرده و بگویید چه چیز یاد گرفته‌اند و اینکه چگونه این مطالب در کار آینده آنها نقش خواهد داشت.

Tell them what they have learned in the reading and how it may apply to their own job and lives.

اهمیت تلفظ: سعی کنید تلفظ کلمات به‌طور صحیح ادا شود. در توضیح اهمیت تلفظ صحیح به مثال‌های زیر توجه کنید.

whole hole	site sight	to too two	whether, weather	their there they’re

نکات مهم دیگر

GIVE FEEDBACK.

بازخورد اطلاعات مفیدی درباره اثربخشی آموزشی فراهم می‌کند و فرد می‌تواند از کیفیت یادگیری خود و موارد اصلاحی آگاهی یابد و درصدد رفع نارسایی‌ها برآید.

Control the process of learning. Always consider feedback carefully. The right quantity and quality of feedback is important for forging the right relationships with your students. It’s also great to celebrate achievements on a regular basis.

The main way we increase our technical vocabulary is by reading a lot of natural English texts.with a bigger vocabulary you will be able to read and talk about more things. Of course knowing the grammar

helps you to talk and read more accurately.
Make Class Communicative.
جنبه ارتباطی زبان را مد نظر قرار دهید. از فواید دانستن زبان در ارتباط با تحقیق و مطالعه کاتالوگ‌ها، استانداردها و غیره بگویید.
For some students, their goal is communication in business. For others, their goal is to communicate during their advanced studies at an English ـ language university or college. Still others want to explore the world and will use English to travel and connect with people all over the globe.
بر روی جنبه‌های واقعی و صنعتی تمرکز کنید. از فواید زبان در آینده شغلی بگویید.
Make English Practical
It is a great way to keep things focused on reality

MAKE CLASS FUN.
FORGE RELATIONSHIP. You can let your students know that you care about them.
یک ارتباط صمیمی با هنرجویان داشته باشید و نشان دهید که به پیشرفت آنها اهمیت می‌دهید.

درس اول

Lesson 1 Engineering Material

در این درس واژگان مربوط به مواد مهندسی و برخی خواص آنها توضیح و تمرین داده می‌شود. در این درس هنرجویان باید با اصطلاحات مرتبط با انواع مواد مانند شیشه، فلز، لاستیک و برخی خواص آنها مانند رسانایی، چقرمگی، وزن و یا سختی آنها آشنا شوند.
تمرین ۱: در این تمرین از هنرجویان بخواهید که اسامی داده شده را در زیر عکس مربوطه بنویسند.
هدف بررسی و یادگیری واژگان مرتبط با جنس نمونه ها و شروع درس می‌باشد.

Practice1. Look at the pictures. What are they made of? Put the following words to label the pictures: Metals Instructures, Glass Aquarium, Plastic in Nature, Ceramic Cups, Wire and Insulators.

پاسخ تمرین ۱

a ـ Metals Instructures b ـ Glass Aquarium c ـ Plastic in Nature
d ـ Ceramic Cups e ـ Wire and Insulators f ـ Metals Instructures

Practice2. Match the words (1ـ20) with their meanings. Put 1~20 in front of related meanings.

هدف از انجام تمرین شماره ۲ بررسی و یادگیری لغات کلیدی و تخصصی درس می‌باشد. هنرجویان می‌بایستی در خانه پاسخ‌ها را آماده کرده باشند. ابتدا خود چند نمونه را پاسخ سپس از هنرجویان سؤال نمایید.

پاسخ تمرین ۲

دانه	۱۲	فولاد	۱۷	فلز	۱۱	خاصیت	۱۳	خشن	۱۵
کشسانی	۲۰	ریختگی	۴	پیچ	۲	ترکیب	۶	ابزار	۱۶
جرثقیل	۸	آهن	۵	ترد	۳	رسانا	۷	سخت	۱۸
فلز آهنربا شونده	۱۰	آلیاژ	۱	رها کردن	۱۴	قلاب	۹	چغرمگی	۱۹

خواندن: این درس مطالبی در ارتباط با انواع مواد و خاصیت آنها را ارائه می‌دهد. می‌توانید از اشیای واقعی در کلاس استفاده کنید. درس را ابتدا خود بخوانید و شروع به توضیح و ترجمه نمایید. در مرحله بعد از هنرجویان بخواهید خواندن و ترجمه را ادامه دهند.

پاک‌کن از لاستیک ساخته شده است. لاستیک یک ماده مهندسی است. اگر آن را بین انگشتانتان خم کنید، شکل آن تغییر می‌کند. هنگامی که شما آن را آزاد نمایید، به شکل اولیهٔ خود بازمی‌گردد. لاستیک بسیار انعطاف‌پذیر است. انعطاف‌پذیری یکی از خواص مواد مهندسی است. اگر شما به یک قطعهٔ شیشه‌ای ضربه وارد کنید، شیشه می‌شکند. شیشه بسیار شکننده است. شکنندگی یک ویژگی از شیشه است. شما نمی‌توانید به‌راحتی شیشه را بخراشید. با این حال، اگر یک ظرف آلومینیومی را با یک ناخن بخراشید، روی آن اثر خراشیدگی باقی می‌ماند. شیشه یک ماده سخت است اما آلومینیوم نرم است. سیم برق با یک پوشش پلاستیکی پوشانده شده است. پلاستیک رسانای ضعیف جریان الکتریکی (عایق) است. اگر پلاستیک را لمس کنید، شوک الکتریکی دریافت نمی‌کنید. سیم‌ها از مس ساخته می‌شوند، زیرا مس رسانای خوب جریان الکتریکی است. ناخن‌ها از مواد سخت ساخته شده‌اند. اگر شما یک ضربه با چکش به آنها بزنید نمی‌شکنند. سختی یکی از خواص فلزات است.

آلیاژ فلزی است که با مخلوط کردن دو یا چند نوع فلز با هم ساخته می‌شود. به‌عنوان مثال برنز آلیاژ مس و قلع است. فلزات در دو دستهٔ «فلزات آهنی» و «غیر آهنی» طبقه‌بندی می‌شوند. فلزات آهنی دسته‌ای از فلزات هستند که آهن به‌عنوان عنصر اصلی آنها است. چدن و فولاد نمونه‌هایی از فلزات آهنی هستند. فلزات غیر آهنی شامل تعداد زیادی فلزات هستند که عمدتاً به عنوان عناصر آلیاژی استفاده می‌شوند. برخی از فلزات غیر آهنی قلع، روی، نقره و طلا هستند. به یاد داشته باشید که فلزات آهنی آهنربا را جذب می‌کنند، اما فلزات غیر آهنی این کار را نمی‌کنند.
ترکیب شیمیایی به عناصر و درصد دقیق هر عنصر موجود در فلز اشاره دارد و اغلب به‌عنوان آنالیز شیمیایی به‌کار می‌رود. ترکیب شیمیایی و ساختار دانهٔ یک فلز، خواص قابل دستیابی آن را تعیین می‌کنند.

پاسخ تمرین ۳

Answer the following questions.
1_ Engineering material
2_ Yes
3_ No

پاسخ تمرین ۴

Practice4. Do the following statements agree with the information given in Reading passage.
1_ False 2_ True 3_ False 4_ True 5_ False

پاسخ تمرین ۵

Practice5. Complete the sentences using a word from the box.
1_ Property 2_ Brittleness 3_ Conductor 4_ Alloy

پاسخ تمرین ۶

Practice6. Study the table below, and then complete the following sentences.
1_ Lighter 2_ Conductor 3_ Heavy 4_ Conductive 5_ Aluminum

پاسخ تمرین ۷

Practice7. Tools: Complete the sentences using a words from the box:
1_ 2.5 gr = Two point five gram.
2_ 20psi = Twenty pound square inch.
3_ 50cm = Fifty centimeters.
4_ 10" =Ten inches.

درس دوم

Lesson 2 Methods of Joining

در درس دوم واژگان مربوط به روش‌های اتصال مواد به یکدیگر توضیح و تمرین داده می‌شود. در این درس هنرجویان باید با اصطلاحات مرتبط با روش‌های اتصال رایج که در درس آمده مانند پرچ‌کاری، لحیم‌کاری نرم و سخت، جوشکاری وغیره آشنا شوند. چنانچه مقدور می‌باشد هنرآموز گرامی از ابزار مربوطه در کلاس استفاده نماید.
تمرین ۱: در این تمرین از هنرجویان بخواهید که اسامی داده شده را در زیر عکس مربوطه بنویسند.
هدف بررسی و یادگیری واژگان مرتبط با روش‌ها و شروع درس می‌باشد.

پاسخ تمرین ۱

Practice 1. Look at the pictures. Use the following items to label the pictures.
a) Welding b) Bolt & Nut connection c) Soldering d) Brazing
e) Riveting f) Seam connection

پاسخ تمرین ۲

Thermal methods: 1_ welding 2_ brazing 3_ soldering
Non thermal Methods: 1_ bolt and nut connection 2_ wood nailing 3_ riveting

پاسخ تمرین ۳

هدف از انجام تمرین شماره ۲بررسی و یادگیری لغات کلیدی و تخصصی درس می‌باشد. هنرجویان می‌بایستی در خانه پاسخ‌ها را آماده کرده باشند. ابتدا خود چند نمونه را پاسخ سپس از هنرجویان سؤال نمایید:

مس	۶	لحیم‌کاری نرم	۱۶	میله	۱۲	مشترک	۵
روی	۱۳	اتصال دادن	۱۴	فرنگی پیچ	۱۸	نگهداری	۸
مدار	۴	حرارت ـ دما	۱۷	لحیم‌کاری سخت	۳	مهره	۹
ـــــ		امتزاج ـ نفوذ	۷	محافظت شده	۱۵	دایم	۱۰
ـــــ		پرچ کاری	۱۱	مونتاژ	۲	تنظیم	۱

خواندن: این درس مطالبی در ارتباط با اتصال را ارائه می‌دهد. می‌توانید از اشیاء واقعی در کلاس استفاده کنید. درس را ابتدا خود بخوانید وشروع به توضیح و ترجمه نمایید. در مرحله بعد از هنرجویان بخواهید خواندن و ترجمه را ادامه دهند.

جوشکاری معمول‌ترین روش برای اتصال فلزات به یکدیگر است. یک جوش خوب، یک محصول دائمی و مستحکم خواهد بود. هدف اصلی فرایند جوشکاری این است که یک اتصال قوی ایجاد کند که برای مدت زمان بسیار طولانی دوام داشته باشد.

روش‌های مختلف جوشکاری به شرح زیر است:

جوشکاری قوسی با الکترود روکش‌دار (SMAW)

جوشکاری قوسی با گاز محافظ و سیم جوش مصرفی (GMAW)

جوشکاری قوسی با گاز محافظ و الکترود غیر مصرفی تنگستنی (GTAW)

جوشکاری اکسی استیلن: لحیم‌کاری سخت فرایندی است که در آن از یک میله فلزی داغ، برای اتصال موادی مانند فولاد و مس استفاده می‌شود. میله فلزی از جنس آلیاژ مس و روی است. میله به‌عنوان فلز پرکننده عمل می‌کند تا فلزات را به یکدیگر متصل نماید.

میله معمولاً تا دمای بالایی گرم می‌شود، این دما اغلب بین ۸۷۰ تا ۸۸۰ درجه فارنهایت می‌باشد.

لحیم‌کاری نرم تقریباً مشابه همان لحیم‌کاری سخت است، اما دمای حرارت در آن زیر ۸۰۰ درجه است. این فرایند عمدتاً برای ایجاد اتصالات الکتریکی، مانند الکترونیک و مدارهای مجتمع استفاده می‌شود. در اتصال مکانیکی پیچ‌ها، مهره‌ها و پرچ‌ها برای اتصال قطعات استفاده می‌شود. پرچ‌ها اتصال دهنده‌های دائمی هستند، اما پیچ و مهره‌ها به‌راحتی می‌توانند برداشته شوند. پرچ‌ها می‌توانند مانند جوشکاری یک اتصال دائمی و قوی به ما بدهند (شکل ۴).

پاسخ تمرین ۴

Practice 4. Are these statements true or false?

1_ False 2_ True 3_ False 4_ True

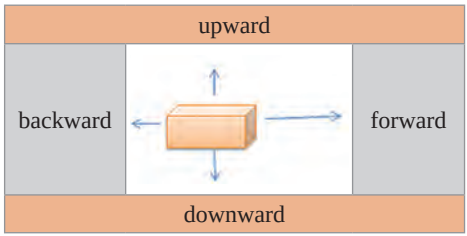
پاسخ تمرین ۵

Practice 5. Complete the sentences using a word from the box.

1_ Assemble 2_ Adjustment 3_ Permanent 4_ Brazing 5_ Fuse

پاسخ تمرین ۶

Practice 6. Study the statements of the box, and then try to do the practice

1Hz = 1 hertz per second K= Kilo=1000 M= Mega=1000,000 KHz = Kilo hertz MHz= Mega hertz Put the given words in front of directions: *forward, backward, upward, downward*	3 KHz = 3000 Hz. 2MHz = 2000, 000 Hz. 

درس سوم

Lesson 3 Weld testing

از هنرجویان بخواهید عبارات زیر را درقسمت پایین تصویر مناسب بنویسند. عکس‌ها در ارتباط با بازرسی طراحی شده‌اند.

پاسخ تمرین ۱

Practice 1. Look at the pictures.Use the following items to label the pictures

a) Weld inspection b) Crack c) Magnetic testing d) Welding gauge
e) Bending test f) Penetrant testing

پاسخ تمرین۲

Practice 2. Match the words (1~18) with their meanings. Put 1~18 in front of words.

هدف از انجام تمرین شماره ۲ بررسی و یادگیری لغات کلیدی و تخصصی درس می‌باشد. هنرجویان می‌بایستی در خانه پاسخ‌ها را آماده کرده باشند.

شناسایی	۱۰	نافذ (مایع)	۷	مخرب	۱۱	حفره (تخلخل)	۱۴
مغناطیسی	۹	تست خمش	۱۶	ترک	۱۳	کیفیت	۱
مرحله	۲	دستگاه	۴	آشکارساز	۸	چشمی ـ مرئی	۳
نقص	۱۲	فلز آهنی آهنربا شونده	۱۵	به‌کار گرفتن ـ اعمال	۶	سطح ـ سطحی	۵

خواندن: این درس مطالبی در ارتباط با آزمون جوش را ارائه می‌دهد. می‌توانید از اشیای واقعی در کلاس استفاده کنید. درس را ابتدا خود بخوانید و شروع به توضیح و ترجمه نمایید. در مرحله بعد از هنرجویان بخواهید خواندن و ترجمه را ادامه دهند.

آزمون‌های جوش در دو دسته آزمون‌های مخرب (DT) و آزمون‌های غیرمخرب (N.D.T) طبقه‌بندی می‌شوند. درآزمون‌های غیرمخرب، قطعه جوش داده شده بدون آسیب بازرسی می‌شود و می‌توان دوباره از آن قطعه استفاده کرد، در حالی که در آزمون‌های مخرب قطعه جوش داده شده نابود می‌شود؛ آزمایش خمش و سختی نمونه‌هایی از آزمایش‌های مخرب هستند. آزمون چشمی (V.T) یکی از رایج‌ترین روش‌های آزمون غیرمخرب است. در آزمون چشمی، ما نیاز به نور به اندازه کافی و یک آزمایش‌کننده (بازرس) با قدرت بینایی خوب داریم. در آزمون چشمی ما ممکن است از طیف وسیعی از تجهیزات و ابزار استفاده کنیم. یک گیج جوشکاری برای بازرسی جوش مورد نیاز است. این روش فقط برای یافتن عیوب سطحی استفاده می‌شود.

آزمون مایع نافذ (PT) یک روش برای تشخیص ناپیوستگی‌های بسیار کوچک در اتصالات است. تست نفوذپذیری برای یافتن عیوبی که به سطح راه دارند استفاده می‌شود.

مراحل تست نفوذپذیری:

- مایع نافذ بر روی سطح تمیز جوش اعمال می‌شود.
- مایع نافذ وارد نقص‌ها می‌شود.
- پس از یک زمان کوتاه، مایع نافذ از سطح زدوده می‌شود.
- آشکارساز به سطح اعمال می‌شود و فرصت داده می‌شود تا خشک شود.
- مایع نافذ به سطح برمی‌گردد و باعث می‌شود که عیب به‌راحتی مشاهده شود.

آزمون ذرات مغناطیسی (MT) یک روش تشخیص نقص‌های سطحی و زیر سطح مانند ترک‌ها یا عدم هم‌جوشی است. این روش تنها در مواد فرو مغناطیسی استفاده می‌شود.

مراحل آزمایش مغناطیسی:

- قطعه جوشکاری شده مغناطیسی است.
- ذرات آهن به سطح قطعه اعمال می‌شود.
- ذرات در ناحیه معیوب در سطح جمع می‌شوند.
- سطح توسط بازرس بررسی می‌شود.

پاسخ تمرین ۳

Practice 3. Read the texts above then answer the following questions

1_ False 2_ False 3_ True 4_ False

پاسخ تمرین۴

Practice 4. Fill in the blanks. Use the following words:

1_ Step 2_ Surface 3_ Defect 4_ Again

پاسخ تمرین۵

Practice 5. Complete the following table. Use the names given below:

Shape	Name	Shape
1_ Meter	2 _ Welding gauge	3_ Magnifier
4_ Penetrant can	5_ Caliper	6_ Inspection mirror

درس چهارم

Lesson 4 Mannuals and guides

از هنرجویان بخواهید عبارات زیر را درقسمت پایین تصویر مربوطه بنویسند.

پاسخ تمرین۱

practice 1. Use the following names to label the pictures.

1_ Operational manual 2_ Owner's manual 3_ Training manual 4_Service manual

پاسخ تمرین ۲

هدف از انجام تمرین شماره ۲ بررسی و یادگیری لغات کلیدی و تخصصی درس می‌باشد. هنرجویان می‌بایستی در خانه پاسخ‌ها را آماده کرده باشند. ابتدا خود چند نمونه را پاسخ سپس از هنرجویان سؤال نمایید.

practice 2. Match the words (1~18) with their meanings. Put 1~20 in front of words.

صاحب و دارنده	۴	تهویه	۱	کتاب راهنما	۲	مناسب ـ صحیح	۵
نصب	۹	ضمانت	۱۷	دوره کاری	۸	دود	۶
ورودی	۱۲	کلید خودکار	۱۰	برجستگی ـ ویژگی	۱۱	زمین	۱۶
عیب‌یابی	۱۳	نمونه	۱۴	ورودی	۱۲	اطفاییه	۲۰
حفظ و مراقبت	۷	محل اتصال کابل جوشکاری	۱۸	ایمنی	۱۹	متعلقات	۱۵

خواندن: این درس مطالبی در ارتباط با کتابچه‌های راهنمای راه‌اندازی، نگهداری، تعمیر، ایمنی و... را ارائه می‌دهد. می‌توانید از اشیای واقعی در کلاس استفاده کنید. درس را ابتدا خود بخوانید و شروع به توضیح و ترجمه نمایید. در مرحله بعد از هنرجویان بخواهید خواندن و ترجمه را ادامه دهند.

کتاب یا کتابچه‌ای که دستورالعمل‌هایی در مورد چگونگی انجام کاری می‌دهد، مخصوصاً نحوه استفاده از یک ماشین، کتابچهٔ راهنما نام دارد. کتابچهٔ راهنمای یک ماشین جوشکاری به‌طور کلی محتوای زیر را شامل می‌شود:

- عملیات نصب و راه‌اندازی
- ایمنی
- تعمیر و نگهداری
- عیب‌یابی

ایمنی

تجهیزات جوشکاری و برشکاری قوسی با رعایت نکات ایمنی طراحی و ساخته شده‌اند. با این وجود، ایمنی کلی شما می‌تواند با نصب و راه‌اندازی و به‌کارگیری مناسب دستگاه افزایش یابد. در جدول زیر می‌توانید برخی از هشدارهای ایمنی را که از کتابچهٔ راهنمای یک دستگاه جوشکاری انتخاب شده‌اند را ببینید:

پاسخ تمرین ۳

Practice 3. Write correct numbers in front of warning statements.

(6) Have firefighting for use. (1) Use enough ventilation. (2) Electric shock can kill. (3) Wear correct body protection. (5) Arc rays can burn. (4) Fumes can be dangerous			
	1	2	3
	4	5	6

نصب و راه‌اندازی

ماشین باید در یک محل تمیز و خشک با گردش آزاد هوای تمیز قرار گیرد.

مراحل نصب

کلید جریان الکتریکی را خاموش کنید.
درپوش دسترسی پنل عقب را بردارید.
کابل ورودی جریان الکتریکی را به پایانه‌ها وصل کنید.
کابل اتصال به زمین را متصل کنید.
کابل‌های خروجی را به پایانه‌های خروجی که با علامت «ـ» و «+» مشخص شده‌اند متصل کنید.

بهره‌برداری

کلید خاموش ـ روشن در پنل کنترل برای شروع فرآیند جوشکاری استفاده می‌شود. «کنترل جریان» در جلوی دستگاه به‌وسیلهٔ نشانگر جریان خروجی است. یک کلید در پانل کنترل امکان انتخاب مقدار جریان را فراهم می‌کند. مقدار جریان خروجی را می‌توانید در حین جوشکاری نیز با استفاده از این کلید تنظیم کنید. در صورتی که مقدار جریان خروجی بیش از حد بالا باشد پاشش قوس رخ می‌دهد. می‌توانید نمونه‌ای از مشخصات یک دستگاه جوش و کنترل پانل آن را در شکل ۱ و جدول ۱ ببینید.

تعمیر و نگهداری و عیب‌یابی

در مواقع ضروری دستگاه جوش را از جهت وجود مشکلات بررسی کنید. برای برطرف کردن مشکل، بخش مربوط را در کتابچهٔ راهنمای عیب‌یابی مطالعه کنید. به یاد داشته باشید لازم است یک برقکار تجهیزات را نصب و سرویس کند. قبل از کار بر روی تجهیزات، برق ورودی را خاموش کنید. در اینجا شما می‌توانید بخشی از یک کتابچهٔ راهنمای عیب‌یابی را ببینید (جدول ۲).

راهکار پیشنهادی	دلیل احتمالی	مشکلات
تعویض	فیوز آسیب دیده	قوس آغاز نمی‌شود.
تعمیر	کابل آسیب دیده	
تغییر فیوز و انتخاب مورد مناسب	انتخاب فیوز نامناسب	فیوز آسیب می‌بیند. (به‌صورت مکرر)
بررسی مقدار جریان به کمک آمپرمتر	انتخاب جریان بیش از حد	پاشش بیش از حد

پاسخ تمرین ۴

Practice 4. Are these statements true or false?

1_ True 2_ False 3_ False

پاسخ تمرین ۵

Practice 5. Complete the sentence with the correct answer:

1_ (210 amps) 2_ (3years).

پاسخ تمرین ۶

Practice 6. Fill in the blanks. Use the words below:

1_ manual 2_ accessories 3_ warranty 4_ duty cycle

پاسخ تمرین ۷

practice 7. Fill the empty sections. Use the following items:

60٪ , 500*350*700 , Net weight , Current (Amps), Phase

MODLE	PROCESS	OUTPUT			Input		Features			
–	–	Polarity	Current (Amps)	Duty cycle	Phase	Hertz	portable	volt	Net weight	Dimension H*W*D-mm
WELDER X_500	SMAW	DC/ DC	20~50	60٪	3	50_60	√	115/ 220	50Kg	500*350*700

پاسخ تمرین ۸

Practice 8. Now complete the sentences.use the words:

- If it <u>rains</u> ,the grass gets wet.
- If you <u>heat</u> water to 100 degrees, it boils.
- Wood doesn't burn, if there <u>is</u> no air.
- Iron <u>rusts</u> if it gets wet.

Word	meaning	Part of speech	Phonetic
acceptable	قابل قبول	adjective	/əkˈseptəbəl/
Accessories	متعلقات	noun	/əkˈsesəri/
Across	ازاین سو به آن سوی چیزی	adverb	/əˈkrɒs /
Adjustment	تنظیم	noun	/əˈdʒʌstmənt/
Adopted	منطبق بر	adjective	/əˈdɒptɪd/
Alloy	آلیاژ	noun	/ælɔɪ /
alternating current (AC)	جریان متناوب	Adj+noun	/ɔːlˈtɜːnət/
Ammeter	آمپرسنج	noun	
Arc	قوس	noun	/ ɑːrk/
Assembly	مونتاژ	noun	/əˈsembli/
Attach	وصل کردن	verb	/əˈtætʃ/
Bolt	پیچ	noun	/bəʊlt/
Brazing	لحیم‌کاری سخت	noun	/breizing/
Brittle	ترد	adjective	/brɪtəl/
Cable	کابل	noun	/ˈkeɪbəl/
cast iron	چدن	noun	/kæst /
Certified	دارای مدرک ـ تأیید شده	verb	/ˈsɜːtɪfaɪd ـ/
Circuit	مدار	noun	/ˈsɜːkɪt $ /
Circulation	گردش (هوا)	Noun_verb	/ˌsɜːkjəˈleɪʃən/
Clamp	گیره ـ بست	noun	/klæmp/
Classify	گروه‌بندی	verb	/ˈklæsɪfaɪ/
Coated	پوشش داده شده	adjective	/kəʊtɪd/
Code	آیین‌نامه ـ قانون	noun	/kəʊd /
Combine	ترکیب کردن	verb	/kəmbaɪn/
Common	مشترک	adjective	/ˈkɒmən /
Compare	مقایسه کردن	verb	/kəmˈpeə $ ـˈper/
Component	دستگاه	noun	/kəmˈpəʊnənt

Word	meaning	Part of speech	Phonetic
Conductor	رسانای الکتریک	noun	/kənˈdʌktə r/
Constant	ثابت	adjective	/ˈkɒnstənt/
construction	ساخت	noun	/kənˈstrʌkʃən/ /kənˈstrʌkʃən/
Contactor	کلید خودکار	noun	/ˈkɒntæktor/
contamination	آلودگی	noun	/kənˌtæməˈneɪʃən/
contract	قرارداد	noun	/ˈkɒntrækt $ ˈkɑːn‿/
Copper	مس	noun	/ˈkɑːpər/
Corrosion	خوردگی	noun	/kəˈrəʊʒən/
Cost	ارزش	noun	/kɒst $ kɒːst/
Crack	ترک	Noun/verb	/kræk/
crane hook	قلاب	noun	/kreɪn/
Current	جریان	noun	/ˈkɝː.ənt/ /ˈkɝː.ənt/
Defect	نقص	noun	/dɪˈfekt,/
Deposit	رسوب کردن	verb	/dɪˈpɒzɪt $ dɪˈpɑː‿/
Designation	انتخاب ـ گزیده	noun	/ˌdezɪgˈneɪʃən/
Detect	شناسایی	verb	/dɪˈtɛkt/
Developer	آشکار ساز	noun	/dɪˈvɛləpə-/
device	دستگاه	noun	/dɪˈvaɪs/
diagram	دیاگرام	Noun	/ˈdaɪəgræm/
direct current (DC)	جریان مستقیم	Adj+noun	/diˌrect/
Discontinuity	ناپیوستگی	noun	/ˌdɪskɒntəˈnjuːəti/
document	نوشته رسمی	noun	/ˈdɒkjəmənt $ ˈdɑːk‿/
duty cycle	دوره کاری	noun	/ˈsaɪkəl/
elasticity	کشسانی	noun	/iːlæstɪsɪti /
equipment	دستگاه	noun	/ɪˈkwɪpmənt/
Equipment	دستگاه	noun	/ɪˈkwɪpmənt/
Essential	ضروری	adjective	/ɪˈsɛnʃəl/

Word	meaning	Part of speech	Phonetic
establish	وضع و مقرر کردن ـ تدوین	verb	/ɪˈstæblɪʃ/
fastener	بست	noun	/ˈfɑːsənə $ ˈfæsənər/
Ferrous metal	فلز آهنی	adjective	/ˈferəs/
filler metal	فلز پرکننده	noun	/ˈfɪlə r/
flow	جاری شدن	verb	/floʊ/
Flux	روانساز	noun	/flʌks/
fume	دود	adjective	/fjuːm/
fusion	امتزاج ـ نفوذ	noun	/ˈfjuːʒən/
gap	فاصله کوچک	noun	/gæp/
government	دولت	noun	/ˈgʌvəmənt/
grain	دانه	noun	/greɪn/
Hardness	سختی	noun	/hɑːd $ hɑːrd/
holder	نگهدارنده	noun	/ˈhəʊldə/
include	شامل شدن	verb	/ɪnˈkluːd/
input	ورودی	noun	/ˈɪnpʊt/
installation	نصب	noun	/ˌɪnstəˈleɪʃən/
insulate	عایق کردن	verb	
international	بین‌المللی	adjective	/ˌɪntəˈnæʃənəl◂ $ ˌtər/
Interrupt	قطع کردن	verb	/ˌɪntəˈrʌpt/
interval	وقفه، فاصله زمانی	Noun	/ˈɪntəvəl /
irreparable	غیر قابل تعمیر	adjective	/ɪˈrepərəbəl/
join	اتصال دادن	verb	/dʒɔɪn/
law	قانون	noun	/lɔː $ lɒː/
Magnetic	مغناطیسی	adjective	/mægˈnɛtɪk/
maintenance	نگهداری	noun	/ˈmeɪntənəns/
Maintenance	نگهداری	noun	/ˈmeɪntənəns/
manual	کتاب راهنما		/ˈmænjuəl/

Word	meaning	Part of speech	Phonetic
manufacturer	تولید کننده	noun	/ˌmænjəˈfæktʃərə $ ɚ/
national	ملی	adjective	/ˈnæʃənəl/
nut	مهره	noun	/nʌt/
Organization	سازمان	noun	/ˌɔːgənaɪˈzeɪʃən/
outer	قسمت بیرونی	adjective	/ˈaʊt ər/
Output	خروجی	noun	/ˈaʊtpʊt/
Owner	صاحب و دارنده	noun	/ˈəʊnə $ ˈoʊnər/
Particle	ذره	noun	/ˈpɑəɾtɪkəl/
Penetrant	نافذ (مایع)	Noun	/ˌpɛnəˈtreɪnt/
Perform	اجرا	verb	/pəˈfɔːm $ pərˈfɔːrm/
permanent	دائم	adjective	/ˈpɜːmənənt/
Porosity	حفره (تخلخل)	noun	/ˈporəsiti/
Porous	اسفنجی	adjective	/ˈporəs/
position	موقعیت	noun	/pəˈzɪʃ.ən/ /pəˈzɪʃ.ən/
Power (source)	منبع نیروی برق	noun	/ˈpaʊə $ paʊr/
power plants	نیروگاه	Noun	/ˈpaʊə/
pressure vessel	مخزن تحت فشار	noun	/ˈpreʃə $ ɚ/vesel
Procedure	مرحله	noun	/prəˈsiːdʒə $ ɚ/
process	فرایند	noun	/ˈprəʊses/
Proper	مناسب ـ صحیح	noun	/ˈprɒpə $ ˈprɑːpər/
property	خاصیت	noun	
Protection	حفظ و مراقبت	noun	/prəˈtekʃən/
Quality	کیفیت	noun	/ˈkwɒləti/
reference	ملاک ـ مرجع	noun	/ˈrefərəns/
release	رها کردن	verb	/rɪliːs/
Repair	تعمیر کردن	Verb	/rɪˈpeə/
replace	جایگزین کردن	verb	/rɪˈpleɪs/

Word	meaning	Part of speech	Phonetic
Require	نیاز داشتن	verb	/rɪˈkwajə/
requirement	درخواست		/rɪˈkwaɪəmənt/
resistance	مقاومت	noun	/rɪˈzɪstəns/
rivet	پرچ کردن	verb	/ˈrɪvɪt/
rod	میله	noun	/rɒd $ rɑːd/
root opening	باز شدگی ریشه جوش	noun	/ˈruːt/
Sample	نمونه	noun	/ˈsɑːmpəl /
scratch	خش	verb	/skrætʃ/
screw	پیچ	noun	/skruː/
separation	جدایش	noun	/ˌsepəˈreɪʃən/
sheet metal	صفحه فلز ـ ورق فلز	noun	/ʃiːt/
shield	پوشش	noun	/ʃiːld/
shielded	محافظت شده	noun	/ʃiːlded/
Slag	سرباره	noun	/slæg/
Society	جامعه	noun	/səˈsaɪəti/
soldering	لحیم کاری	noun	/ˈsəʊldering/
Specification	ویژگی	noun	/ˌspesɪfɪˈkeɪʃən/
specify	مشخص کردن	verb	/ˈspesɪfaɪ/
standard	معیار ـ ملاک	noun	/ˈstændərd/
standardize	استانداردسازی ـ یکسان سازی	verb	/ˈstændədaɪz/
stick	عصا ـ دستی	adjective	/stɪk/
structure	سازه	noun	/ˈstrʌktʃə $ ـər/
systematically	به‌طور منظم ـ بر روال قائده	adverb	/ˌsɪstəˈmætɪk_li/
temperature	حرارت	noun	/ˈtemprətʃə $ ـər/
Tensile	کشش	adjective	/ˈtensaɪl/
thickness	ضخامت	noun	/ˈθɪknəs/

Word	meaning	Part of speech	Phonetic
tool steel	ابزار فولادی	noun	/tuːl/
tough	سخت	adjective	/tʌf/
toughness	چغرمگی	noun	/ˈtʌfnɪs/
troubleshooting	عیب‌یابی	noun	/ˈtrʌbəlˌʃuːting/
ventilation	تهویه	noun	/ˌventəˈleɪʃən/
Visual	چشمی (مرئی)	noun	/ˈvɪʒuəl/
warranty	ضمانت	noun	/ˈwɒrənti/
wire	سیم	noun	
work piece	قطعه کار	noun	/wɜːkpis/ /wɜːk/
zinc	روی	noun	/zɪŋk/

ارزشیابی نهایی: کسب اطلاعات فنی

شایستگی	استاندارد عملکرد	نمره شایستگی	شاخص
خواندن و درک کردن متون انگلیسی (کاتالوگ‌ها، دستورالعمل‌ها و استانداردهای رشته صنایع فلزی و جوشکاری)	خواندن، درک کردن و استخراج اطلاعات فنی از روی متون انگلیسی با به‌کارگیری فرهنگ لغت عمومی و فنی	۳	ـ روایی مطلوب در خواندن متن ـ درک واژه‌های کلیدی متن ـ استخراج اطلاعات فنی ـ تحلیل اطلاعات فنی متن
استخراج اطلاعات فنی از روی متون انگلیسی (کاتالوگ‌ها، دستورالعمل‌ها و استانداردهای رشته صنایع فلزی و جوشکاری)		۲	ـ درک واژه‌های کلیدی متن ـ استخراج اطلاعات فنی ـ توانایی و سرعت عمل در استفاده از فرهنگ لغت
		۱	ـ درک واژه‌های کلیدی متن ـ توانایی و سرعت عمل در استفاده از فرهنگ لغت
توضیحات: در طول فرایند ارزشیابی هنرجویان می‌توانند از کتاب همراه هنرجو و فرهنگ لغت استفاده کنند.			

فصل ۲

طراحی با نرم‌افزار

لزوم کمک گرفتن از رایانه در صنعت

هنرجویان در این بخش می‌بایست به لزوم به‌کارگیری نرم‌افزار در صنعت آشنا شوند. بدانند که امروزه بسیاری از کارها در صنعت به کمک دستگاه‌های CNC انجام می‌گردد و این دستگاه‌ها نیاز به فایل رایانه‌ای برای تولید قطعات دارند. برای مثال به آنها کیس رایانه را نشان دهید و از آنها در مورد روش ایجاد سوراخ‌های گردش هوا سؤال بپرسید. سپس آنها را گروه‌بندی کرده و از آنها بخواهید فیلم‌هایی را در اینترنت در مورد برش لیز و پانچ و خم CNC پیدا کنند.

روش دیگر اینکه با آنها در مورد روش تولید رقابتی و تیراژ بالا بحث کنید. هزینه‌های ثابت هزینه‌هایی می‌باشند که با تغییر حجم تولید تا سطح مشخصی از تولید تغییر نخواهند کرد. مانند هزینه ماشین‌آلات و ساختمان که در صورت تولید در تیراژ بالا هزینه تمام شده قطعه بسیار پایین می‌آید. تولید در حجم زیاد نیازمند به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته همانند CNC می‌باشد. همچنین امروزه ممکن است تمام قطعات یک محصول در یک کارگاه و یا حتی یک کشور ساخته نشوند. در صورت عدم ساخت دقیق در مرحله مونتاژ دچار مشکل خواهند شد.

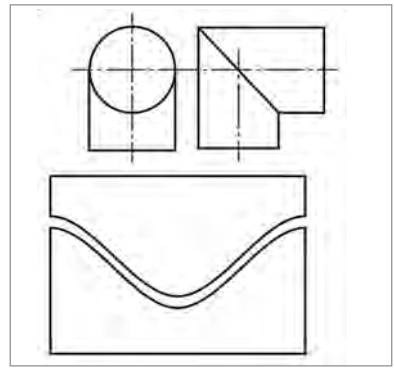
سپس از هنرجویان بخواهید به‌صورت گروهی جدول مقایسه روش دستی و رایانه‌ای که در کتاب آمده را تکمیل کنند. و در مورد آن با سایر گروه‌ها بحث کنند.

نکته

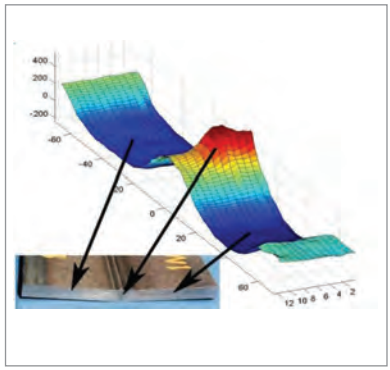
هنرجویان می‌بایست بدانند که رایانه فقط ابزاری است در دست طراحان تا بتوانند قبل از تولید یک محصول مشکلات آن را بررسی کرده و در زمان تولید خطاهای انسانی را به حداقل رسانند. بررسی و تحلیل اطلاعات خروجی نرم‌افزارها نیاز به دانش فنی دارد و تنها با یادگیری یک نرم‌افزار نمی‌توان یک طراح خوب بود. و همواره نیاز به یادگیری اصول علمی و محاسبات دستی را خواهیم داشت.

کاربرد نرم‌افزارهای طراحی در رشته صنایع فلزی

از هنرجویان بخواهید تا کاربردهایی را از رایانه در رشته صنایع فلزی پیدا کنند. سؤالاتی در مورد روش گسترش اشکال پیچیده مانند برخورد حجم‌ها مطرح کنید و از آنها بخواهید چند حجم را با کاغذ درست و گسترش آن را به دست آورند. همچنین از آنها بخواهید که در مورد نیروهای وارد بر جوش بحث کنند. و یا با جست‌وجوی عبارت شبیه‌سازی جوش در اینترنت عکس‌ها و فیلم‌هایی از نیروهای وارد بر جوش پیدا کنند. سپس به هر گروه از دانش‌آموزان قسمتی از تحقیق آمده در کتاب را محول نموده و در مورد نتایج بحث کنید.



گسترش برخورد استوانه



تنش پسماند در جوشکاری

از کدام نرم‌افزار استفاده کنیم؟

امروزه در دنیا از نرم‌افزارهای زیادی جهت طراحی‌های مهندسی استفاده می‌شود. این نرم‌افزارها با توجه به قابلیت‌ها و نیازها و قیمت نرم‌افزار مورد استفاده قرار می‌گیرند. در کشور ما نیز برخی از این نرم‌افزارها مورد استفاده قرار می‌گیرند (البته در اکثر موارد بدون در نظر گرفتن قانون کپی رایت). معروف‌ترین این نرم‌افزارها توسط دو شرکت بزرگ نرم‌افزاری دنیا به نام‌های Autodesk (اتودسک) و Dassault Systèmes (داسو سیستمز) تولید می‌شوند. اتودسک یک شرکت آمریکایی است و نرم‌افزارهایی مانند اتوکد، مکانیکال دسکتاپ، اینونتور و پامرمیل را تولید می‌کند. و شرکت فرانسوی داسو سیستمز نرم‌افزارهایی مانند سالیدورکس و کتیا را تولید می‌کنند.

- **نرم‌افزار اتوکد (AutoCad)**: یک نرم‌افزار پایه در رشته‌های عمران، مکانیک و برق می‌باشد. این نرم‌افزار قابلیت ترسیم دو بعدی و سه بعدی را دارد. این نرم‌افزار قابلیت تحلیل و ماشین‌کاری ندارد.
- **مکانیکال دسکتاپ (Mechanical Desktop)**: این نرم‌افزار به‌صورت تخصصی در صنعت کاربرد دارد. در این نرم‌افزار می‌توان قطعات را به‌صورت سه بعدی مدل کرده و از آنها نقشه تهیه کرد. همچنین این نرم‌افزار کتابخانه‌ای از قطعات استاندارد مانند

پیچ و مهره و بلبرینگ‌ها را در خود دارد. آخرین نسخه این نرم‌افزار در سال ۲۰۰۹ تولید و اینونتور جایگزین آن گردید.

- **اینونتور(Inventor)**: نرم‌افزاری است با محیط گرافیکی زیبا و با توانایی‌هایی شامل ترسیم انواع قطعات صنعتی، استفاده از محیط‌های تخصصی از جمله ورق‌کاری و جوشکاری و کتابخانه‌ای کامل از قطعات استاندارد. این نرم‌افزار در مقایسه با سایر نرم‌افزارهای طراحی امکان تولید به کمک رایانه (CAM) را ندارد.
- **پاورمیل(PowerMILL)**: یک نرم‌افزاری بسیار قوی در زمینه تولید به کمک رایانه (CAM) است. این نرم‌افزار در سال‌های اخیر توسط شرکت اتودسک از شرکت دلکم خریداری شده است.
- **سالیدورکس (SOLIDWORKS)**: نرم‌افزاری بسیار قوی در زمینه طراحی و ساخت می‌باشد. مهم‌ترین ویژگی این نرم‌افزار کاربری بسیار ساده و روان با وجود توانایی بسیار زیاد می‌باشد.
- **کتیا (CATIA)**: این نرم‌افزار یک نمونه کامل از نرم‌افزار طراحی و ساخت مهندسی می‌باشد. در این نرم‌افزار محیط‌های تخصصی مختلفی برای طراحی در نظر گرفته شده است. هم اکنون از این نرم‌افزار در شرکت‌های بزرگ هواپیماسازی و خودروسازی استفاده می‌شود.

در این قسمت از هنرجویان بخواهید تا به‌صورت گروهی در مورد تاریخچه و توانایی‌های هر نرم‌افزار تحقیق کنند و در قالب یک فایل پاورپوینت به سایر گروه‌ها ارائه دهند.

در این کتاب با توجه به قابلیت‌های زیر نرم‌افزار اینونتور انتخاب گردیده است.

- محیط ورق‌کاری و جوشکاری
- هم خانواده بودن با اتوکد
- آرشیو نقشه‌های اتوکد شرکت‌های قدیمی
- آشنایی هنرجویان با اتوکد هم خانواده.

البته نرم‌افزار سالیدورکس نیز نرم‌افزاری بسیار قوی در قسمت ورق‌کاری و جوشکاری می‌باشد که روز به روز به دلیل کاربری ساده آن به کاربرانش اضافه می‌گردد.

نسخه نرم‌افزار

شرکت اتودسک هر سال یک نسخه از نرم‌افزار را به بازار ارائه می‌نماید. در هر نسخه تغییرات کوچکی در راستای کاربری آسان‌تر نرم‌افزار به نرم‌افزار اضافه می‌گردد که با نسخه‌های قبلی معمولاً می‌توان همان کارها را انجام داد. برای مثال در نسخه مختلف نرم‌افزار ورود امکان تایپ‌کردن وجود دارد و تغییرات به وجود آمده در جزئیات برنامه می‌باشد و اکثر کاربران به راحتی می‌توانند با نسخه‌های مختلف کار کنند. با توجه به‌اینکه این هنرجویانی که امسال نرم‌افزار را آموزش می‌بینند در چند سال آینده

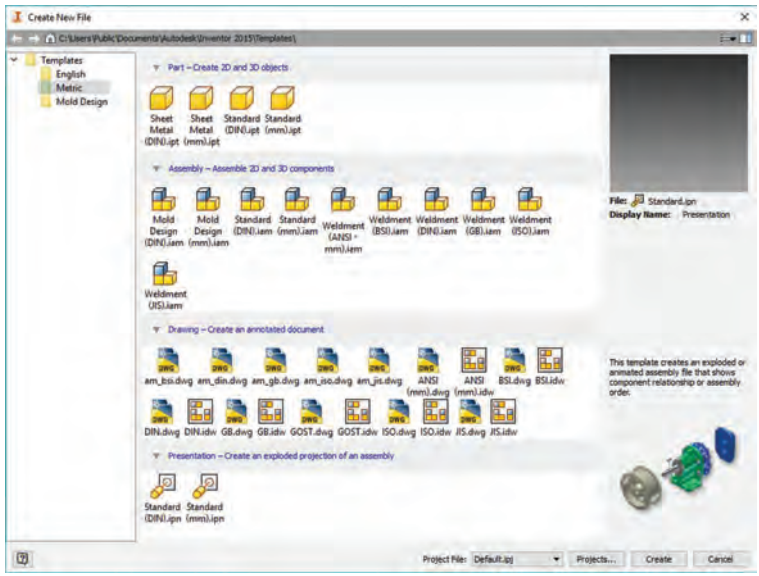
وارد بازار کار می‌شوند باید این توانایی را داشته باشند تا با نسخه‌های مختلف برنامه کار کنند.
برای درک بهتر این موضوع همانند تحقیقی که در کتاب آمده از هنرجویان بخواهید در مورد تفاوت نسخه‌های مختلف برنامه تحقیق کنند.

شروع کار با نرم افزار

برای آموزش نرم‌افزار بهتر است در صورت امکان، هنرجویان به‌صورت انفرادی و یا گروه‌های دو نفره تقسیم‌بندی شوند و اگر شناختی از سال‌های قبل از هنرجویان دارید، بهتر است هنرجویان هر گروه در یک سطح علمی‌باشند و در زمان کار هر کدام فایل خود را با نام مشخصی ذخیره کنند. تا همه کار عملی را انجام داده باشند.

برای اجرای برنامه از آیکون برنامه روی دسکتاپ ویا از مسیر زیر باز می‌کنیم.
Start >> All Programs >> Autodesk >> Autodesk invrntor ۲۰۱۵>>
Autodesk Inventor Professional ۲۰۱۵

برای شروع یک فایل New انتخاب می‌کنیم. پنجره‌ای مانند شکل زیر باز می‌شود، که در سمت چپ امکان انتخاب استاندارد کاری وجود دارد. در ادامه نیز به قسمت‌های اصلی Part (قطعه)، Assembly (مونتاژ)، Drawing (ترسیم نقشه) و Presentation (نمایش) تقسیم می‌شود.

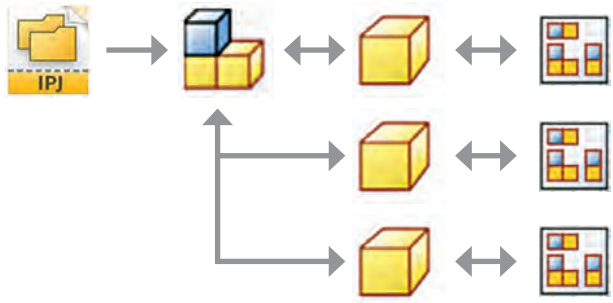


کاربرد برخی از فایل‌ها در جدول زیر آورده شده است. هنرجویان می‌بایست با مطالعه قسمت‌های قبلی جدولی مشابه به جدول زیر را تکمیل نمایند.

محیط	نوع فایل و پسوند	کاربرد	نمایه
قطعه (Part)	Standard.ipt	برای ترسیم قطعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر قطعه می‌بایست در یک فایل مجزا ذخیره گردد.	
ورق‌کاری	Sheet Metal.ipt	جهت ترسیم قطعات ورق‌کاری و صفحات گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد.	
مونتاژ	Standard.iam	قطعات ترسیمی‌و قطعات استاندارد مانند پیچ و مهره را در این محیط می‌توان بر روی یکدیگر مونتاژ کرد.	
جوشکاری	Weldment.iam	در این قسمت می‌توان قطعات ترسیمی‌را با به کمک انواع جوش به یکدیگر متصل و محاسبات جوش را انجام داد.	
قالب سازی	Mold Design.iam	محیط طراحی قالب تزریق پلاستیک	
ترسیم	ISO.idw	در این محیط قادر خواهید بود از قطعات و مونتاژهای انجام شده نماگیری و سپس اندازه‌گذاری نمایید.	
ارائه و نمایش	Standard.ipn	محیط ساخت انیمیشن مونتاژ و دمونتاژ دستگاه‌ها	

ایجاد پروژه

در نرم‌افزار Inventor فایل‌های قطعه و فلزکاری با پسوند ipt و نقشه‌ها با پسوند idw ذخیره می‌شوند. و سایر فایل‌ها نیز طبق جدول بالا پسوندهای متفاوتی دارند. در نرم‌افزار وظیفه ارتباط بین فایل‌ها و مدیریت نگهداری این اطلاعات به عهده فایل پروژه با پسوند ipj می‌باشد. بنابراین بهتر است برای نگهداری از اطلاعات برای هر موضوع کاری یک پروژه تعریف کرد.

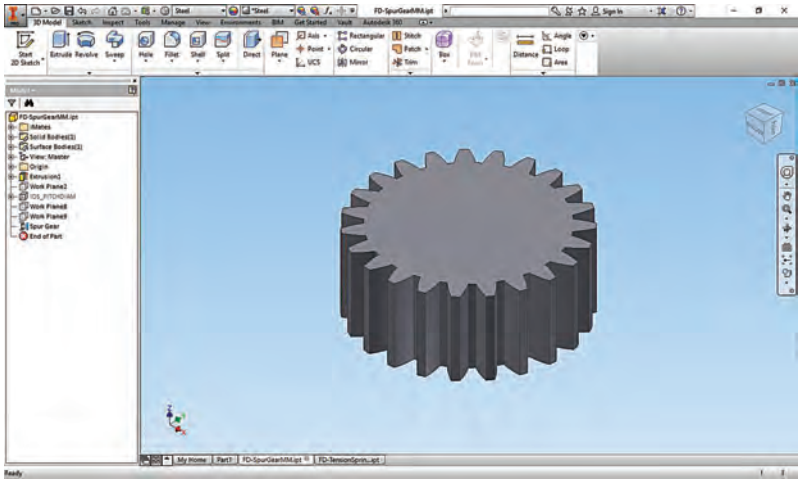


معرفی قسمت‌های اصلی نرم‌افزار

برای شروع یک فایل از نوع شیت متال انتخاب می‌کنیم. از هنرجویان بخواهید که قسمت‌های مختلف نرم‌افزار که در کتاب تعریف شده است را در شکلی مانند شکل زیر پیدا کرده و آن را تکمیل نمایند.

ابزارهای پیمایش

از هنرجویان بخواهید فایل زیر را به کمک دستور Open باز کنند. سپس به کمک ابزارهای پیمایشی و جدول زیر قسمت‌های مختلف قطعه را ببینند. در هنگام بازکردن فایل ممکن است با دو پیغام مبنی بر ذخیره نشدن فایل و فعال نبودن پروژه نمایش داده شود که با Ok و Yes کار را ادامه می‌دهیم.



C:\Program Files\Autodesk\Inventor ۲۰۱۵\Design Accelerator\models\ FD_SpurGearMM.ipt

	درگ کردن با اسکرول (پایین نگه داشتن کلید چرخشی موس و جابه‌جایی)	جابه‌جایی صفحه نمایش	Pan	
	چرخش اسکرول موس	اندازه نمایی	Zoom	
	دابل کلیک با اسکرول	نمایش همه موضوعات ترسیم شده	Zoom All	
	فشردن کلید Shift همراه با درگ اسکرول موس	چرخش فضای دید	Free Orbit	

در صورتی‌که در بازکردن فایل با مشکل مواجه شدید کافیست در فایل شیت متال باز شده روی آیکون

کلیک کرده تا صفحه‌های ترسیمه به نمایش درآیند. در این مرحله بدون کلیک روی صفحه‌ها اعمال پیمایشی را انجام دهید.
علاوه بر روش‌های بالا می‌توان از نوار پیمایش نیز استفاده کرد.
نوار پیمایش[۱]: ابزارهایی مانند بزرگ‌نمایی، جابه‌جایی تصویر، چرخش تصویر و نوع نمایش برای دسترسی سریع در آن قرار گرفته است. در زمان اجرا تمام دستورات در کنار دست کاربر قرار دارد.

نوار پیمایش

Pan : جهت جابه‌جایی صفحه نمایش از این ابزار استفاده می‌شود.

ابزار Zoom

از این ابزار برای اندازه‌نمایی صفحه نمایش استفاده می‌شود. با کلیک‌کردن بر روی مثلث کوچک زیر این ابزار مجموعه‌ای از دستورات اندازه نمایی در اختیار کاربر قرار می‌گیرد.
Zoom : با اجرای این دستور نشانگر موس به یک فلش تبدیل می‌شود که با درگ‌کردن صفحه نمایش بزرگ و کوچک می‌گردد. روش ساده‌تر برای انجام این کار چرخش اسکرول موس می‌باشد
Zoom All : به کمک این دستور همه موضعات ترسیم شده در صفحه، نمایش داده می‌شوند. این عمل را می‌توان با دابل کلیک اسکرول موس نیز انجام داد.
Zoom Window : پس از اجرای این دستور با درگ‌کردن و ترسیم یک مستطیل عمل بزرگ نمایی انجام می‌شود.
Zoom Selection : با انتخاب این دستور و سپس انتخاب هر موضوع دیگر شامل قطعه، سطح، لبه، خط و یا نقطه شیء مورد نظر بزرگ‌نمایی شده و در وسط صفحه

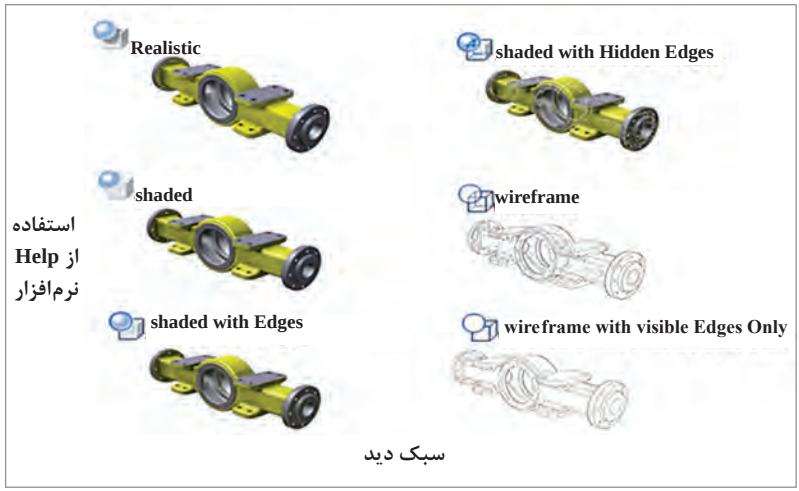
۱- Navugation bar

نمایش قرار خواهد گرفت.

Free Orbit: برای چرخش نمای دید از این دستور استفاده می‌گردد.

Look At: با اجرای این دستور و انتخاب یک سطح نمای دید عمود بر صفحه خواهد شد.

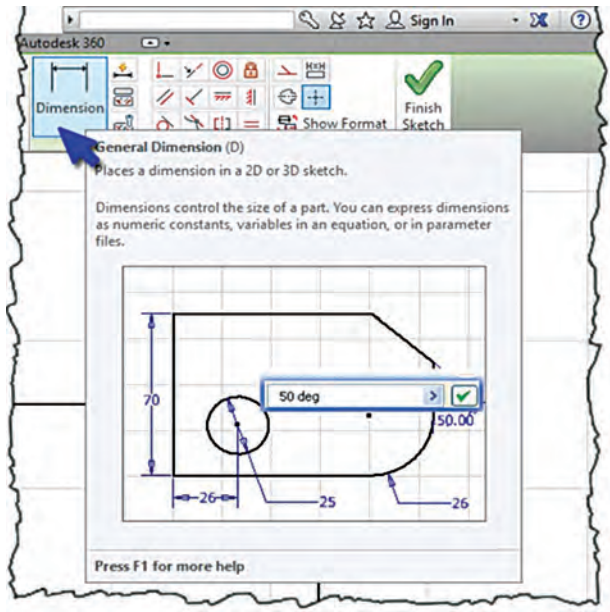
Visual Styles: سبک دیدهای مختلف را می‌توان با کلیک‌کردن بر روی مثلث کوچک زیر این دستور انتخاب کرد.



سبک دید

هنرجویان با یادگیری استفاده از راهنمای نرم‌افزار می‌توانند به‌صورت خودآموز از نرم‌افزار استفاده نمایند. در حال حاضر راهنمای اصلی نرم‌افزار آنلاین است و این سرویس در ایران فعال نیست. البته می‌توان با برخی از فیلترشکن‌ها به آن دسترسی پیدا کرد. ولی خوشبختانه نرم‌افزار یک راهنمایی سریع نیز دارد که دسترسی به آن بسیار ساده است. به این ترتیب که با نگه داشتن چند ثانیه‌ای موس روی هر یک از آیکون‌ها پنجره کوچکی باز می‌شود. که شامل یک راهنمای تصویری و در بعضی از موارد یک فیلم آموزشی کوتاه می‌باشد. که می‌تواند قدم بزرگی در راستای یادگیری باشد.

از هنرجویان بخواهید تا موس را روی آیکون‌های مختلف نوار پیمایش نگه دارند و نتیجه را با اطلاعات قبلی خود مقایسه کنند. سپس در انتهای نوار پیمایش قسمت سبک دید (Visual Styles) ابتدا روی مثلث کوچک کنار کلیک و حالت‌های مختلف دید را انتخاب کنند. سپس موس را روی آن نگه دارند و جدولی که در کتاب برای حالت دید آمده است را تکمیل نمایند.



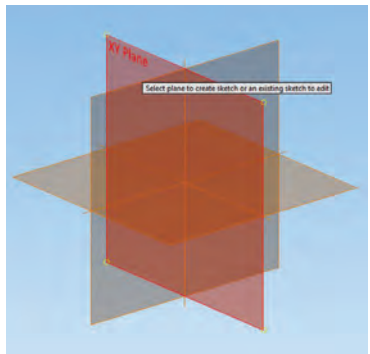
محیط ترسیمه: Sketch

برای ترسیم یک مدل سه بعدی ابتدا نیاز است طرحی دو بعدی از سطح اولیه قطعه ترسیم کرده سپس به آن حجم دهیم، یا آن را تبدیل به یک سطح ورق کنیم. نکته بسیار مهم در این بخش این است که خطوط می‌بایست به یکدیگر مقید باشند.

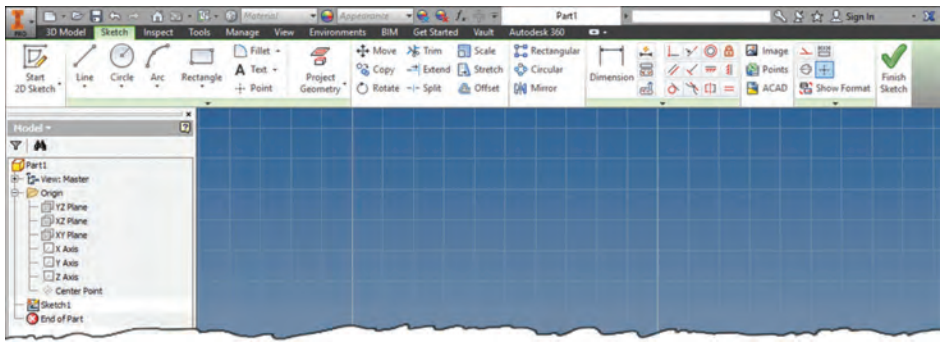
این محیط شامل قسمت‌های زیر می‌باشد.

۱. ترسیم
۲. ویرایش
۳. تکثیر براساس الگو
۴. اندازه‌گذاری و قیدها
۵. قالب‌بندی

برای ورود به محیط ترسیمه (Sketch) ابتدا یک فایل شیت متال باز کنید و روی آیکون Start 2D Sketch کلیک کنید. سپس صفحه XY را مانند شکل انتخاب کنید.



انتخاب صفحه کاری

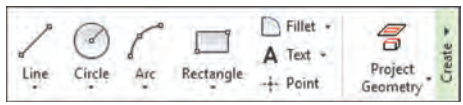


محیط ترسیمه یا Sketch

در ادامه تمامی ابزارهای محیط Sketch آورده شده است. در کتاب اصلی دستورات به‌صورت پروژه محور و کاربردی استفاده شده است. و نیازی به آموزش همه دستورات به ترتیب نیست. پیشنهاد می‌گردد هر یک از دستورات در صورت لزوم به هنرجویان آموزش داده شود.

۱ــ ترسیم:

در این قسمت ابزارهایی مانند خط، دایره، کمان. غیره قرار گرفته‌اند که برای ترسیم‌های دو بعدی از آنها استفاده خواهیم کرد. در کنار هر ابزار یک مثلث کوچک قرار گرفته که با کلیک روی آنها ابزارهای هم خانواده آنها و یا روش‌های مختلف ترسیم آنها نمایش داده می‌شود.



Line (خط): برای ترسیم خطوط راست از این ابزار استفاده می‌شود.

۱ با کلیک بر روی صفحه نقطه ابتدا خط را انتخاب می‌کنیم.

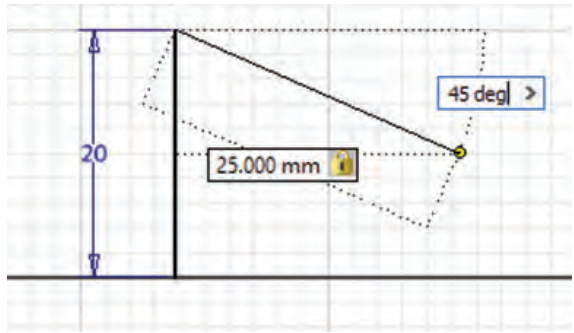
۲ با کلیک بعدی نقطه انتهای خط را انتخاب می‌کنیم. با کلیک‌های بعدی می‌توان خطوط را پشت سر هم ترسیم کرد.

۳ برای ترسیم خط جدید از نقطه‌ای دیگر، بدون خروج از فرمان کافیست دابل کلیک کنیم.

۴ برای خروج از دستور کلید Esc را می‌زنیم و یا فرمان جدیدی را انتخاب می‌کنیم.

در هنگام ترسیم خطوط ممکن است خط چین و یا علامت‌هایی ظاهر شوند که خط را مقید خواهند ساخت. برای مثال ////// علامت افقی بودن خط می‌باشد. در قسمت‌های بعدی بیشتر در مور قیدها بحث خواهیم کرد. برای مشخص‌کردن طول

و زاویه خطوط نیز می‌توان هنگام ترسیم با تایپ در کادر شناور[۱] باز شده مقدار طول خط و با زدن کلید Tab زاویه خط را مشخص نمود و یا اینکه شکل را بدون ابعاد و حدودی ترسیم کرده و در مرحله قیدگذاری طول و زاویه را مشخص کنیم.
در زمان ترسیم خط جدید از ابتدا یا انتهای شکل دیگر علامت در کنار اشاره‌گر موس ظاهر می‌گردد. و علامت نشان‌دهنده وسط خط می‌باشد. همچنین در هنگام نزدیک شدن به‌این نقاط اشاره‌گر موس به یک دایره سبز رنگ تبدیل می‌گردد که این نشان‌دهنده متصل شدن به آن نقطه می‌باشد.



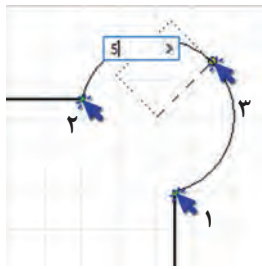
ورودی شناور

Circle(Center Point) دایره به روش نقطه مرکز:

۱ پس از انتخاب ابزار، نقطه‌ای را به عنوان مرکز مشخص می‌کنیم.
۲ با حرکت موس و کلیک ویا با واردکردن اندازه در کادر شناور قطر دایره را مشخص می‌کنیم.
۳ برای خروج از فرمان کلید Esc را زده و یا دستور جدیدی را انتخاب می‌کنیم.

Arc (Three Point) ترسیم کمان به روش سه نقطه:

۱ ابتدا ابزار را انتخاب نموده و نقطه‌ای را برای شروع کمان مشخص می‌کنیم.
۲ نقطه انتهای کمان را انتخاب می‌نماییم.
۳ نقطه دیگری را روی کمان انتخاب کرده و یا عدد شعاع کمان را وارد می‌کنیم.

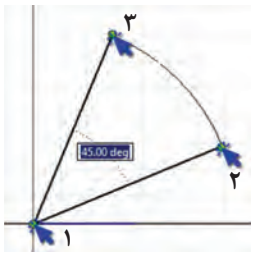


ترسیم کمان به روش سه نما

۱- Dynamic Input

Arc(Center Point) ترسیم کمان به روش مرکز:

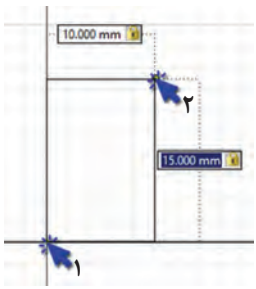
۱ با انتخاب ابزار و نقطه مرکز شروع می‌کنیم.
۲ شعاع و زاویه نقطه اول را وارد کرده و یا روی نقطه شروع کمان کلیک می‌کنیم.
۳ زاویه کمان را وارد کرده و یا نقطه پایان کمان را انتخاب می‌نماییم.



ترسیم کمان به روش مرکز

Rectangle (Tow Point) ترسیم مستطیل به روش دو نقطه:

۱ پس از انتخاب ابزار گوشه اول را انتخاب می‌کنیم.
۲ با کلیک گوشه دوم را انتخاب می‌کنیم. و یا در کادر شناور طول مستطیل را وارد کرده و با زدن کلید Tab وارد کادر دوم شده و عرض مستطیل را وارد می‌کنیم.
۳ برای خروج کلید Esc را زده و یا فرمان جدیدی را انتخاب می‌نماییم.



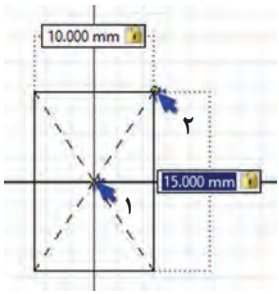
ترسیم مستطیل به روش دو نقطه

Rectangle (Tow Point Center) ترسیم مستطیل به روش دو نقطه از مرکز:

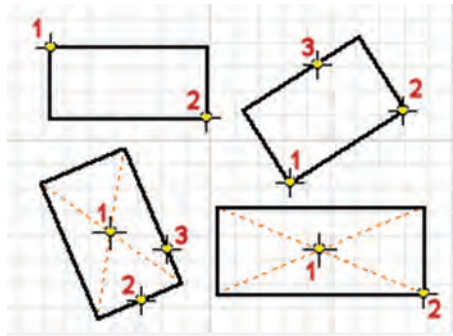
۱ ابتدا ابزار را انتخاب کرده و سپس نقطه‌ای را به عنوان مرکز معرفی می‌کنیم.
۲ با کلیک گوشه مستطیل را مشخص می‌کنیم و یا در کادرهای شناور طول و عرض مستطیل را وارد می‌کنیم.
۳ برای خروج کلید Esc را زده و یا فرمان جدیدی را انتخاب می‌نماییم.

در این روش شکل نسبت به نقطه مرکز تقارن خواهد داشت.

روش‌های دیگری هم برای ترسیم مستطیل زاویه‌دار وجود دارد که در شکل زیر به آنها اشاره شده است.



ترسیم مستطیل به روش دو نقطه از مرکز



روش‌های ترسیم مستطیل

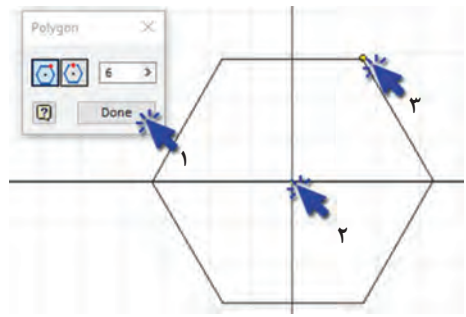
Polygon ترسیم چند ضلعی منتظم:

برای ترسیم چند ضلعی منتظم از دو روش دایره محیطی و دایره محاطی می‌توان استفاده کرد. در روش محیطی دایره‌ای درون چند ضلعی مماس به تمام اضلاع قرار می‌گیرد. و در روش محاطی چند ضلعی درون یک دایره قرار می‌گیرد و تمام گوشه‌ها بر روی محیط دایره قرار می‌گیرند. روش محیطی و محاطی در مواردی کاربرد دارد که بخواهیم با کلیک‌کردن بر نقطه‌ای خاص چند ضلعی را ترسیم کنیم و اگر بخواهیم با روش اندازه‌گذاری شکل را ترسیم کنیم با توجه به قید الگوی[۱] در نظر گرفته شده در فرمان تفاوتی بین دو روش وجود ندارد. به کمک این ابزار می‌توان حداقل یک سه ضلعی و حداکثر ۱۲۰ ضلعی منتظم ترسیم نمود.

۱ ابزار چند ضلعی را انتخاب کرده تا پنجره مقابل باز گردد. سپس روش محیطی یا محاطی بودن و همچنین تعداد اضلاع را وارد کرده و روی دکمه Done کلیک می‌کنیم.

۲ نقطه‌ای را برای مرکز چند ضلعی انتخاب می‌کنیم.

۳ نقطه‌ای را به عنوان گوشه (در روش محاطی) و یا وسط ضلع (در روش محیطی) انتخاب می‌کنیم.



ترسیم چند ضلعی

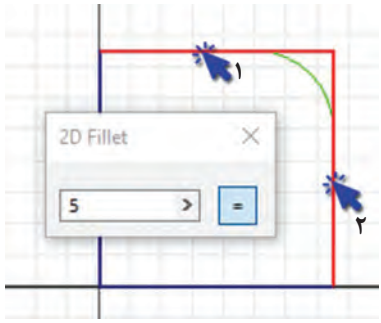
۱- Pattern

2D Fillet گردکردن گوشه‌ها:

۱ پس از انتخاب ابزار شعاع را در پنجره وارد می‌کنیم.

۲ موضوع اول را انتخاب می‌کنیم.

۳ روی موضوع دوم کلیک می‌کنیم. در صورتی که هر دو موضوع خط راست باشند با کلیک بر روی گوشه فرمان اجرا می‌گردد و نیاز به انتخاب دوم نمی‌باشد.



گردکردن گوشه‌ها

علامت مساوی = در این فرمان به معنای تساوی گردی گوشه‌ها می‌باشد. و پس از تکمیل با تغییر یک شعاع تمام گوشه‌ها تغییر خواهند کرد. که با هر بار کلیک می‌توان آن را فعال یا غیر فعال نمود.

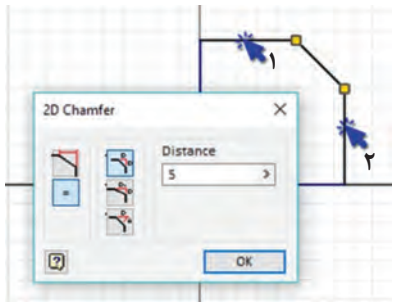
2D Chamfer پخ زدن گوشه‌ها:

۱ ابتدا ابزار را انتخاب نموده و مقادیر مورد نیاز را وارد می‌کنیم.

۲ خط اول را انتخاب می‌کنیم.

۳ خط دوم را انتخاب می‌کنیم. در این فرمان نیز می‌توان با انتخاب گوشه دستور را اجرا کرده و نیاز به انتخاب دوم نمی‌باشد.

در این فرمان می‌توان انواع پخ‌های زیر را اعمال نمود.



پخ زدن گوشه‌ها

پخ با فاصله مساوی از گوشه و زاویه ۴۵°

پخ با دو فاصله متفاوت از گوشه

پخ با یک فاصله و یک زاویه

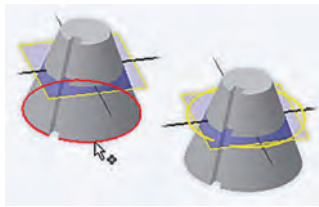
اعمال قید اندازه روی پخ ترسیم شده

= رسم‌کردن چندین پخ با یک اندازه که پس از ترسیم با تغییر در یک پخ در کلیه پخ‌ها اعمال می‌گردد.

Text متن: به کمک این ابزار می‌توان متن‌هایی را نوشت و در محیط Part به آنها حجم داد. برای مثال نوشتن یک متن روی قالب قطعه و یا علامت سمبه‌های

عدد و متن روی قطعه که از این دستور می‌توان برای آن استفاده کرد.

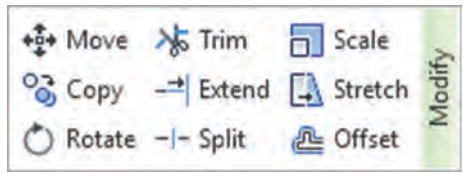
Point نقطه: برای مشخص‌کردن محل سوراخ‌ها و یا سمبه‌های پانچ در محیط ورق‌کاری از این ابزار استفاده می‌گردد.



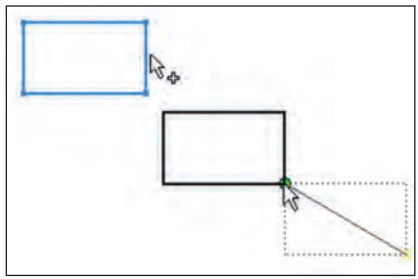
Project Geometry تصویرسازی هندسی: در بسیاری از موارد برای ترسیم یک شکل نیاز است از لبه‌ها، گوشه‌ها و یا طرح‌های قطعات استفاده نمود. این ابزار به ما کمک می‌کند تصویری از لبه‌های یک جسم به‌دست آورده و از آن در مقیدسازی، اندازه‌گذاری و ساخت سطوح جدید استفاده نمود. همچنین از این ابزار می‌توان در محیط مونتاژ برای ساخت قطعات جدید با استفاده از لبه‌های قطعات دیگر کمک گرفت. اندازه و موقعیت تصویر ساخته شده از این دستور ثابت و وابسته به شکل اصلی است و با تغییر در شکل اولیه ابعاد تصویر شده از آن نیز به‌صورت خودکار تغییر می‌کند.

۲ـ ویرایش:

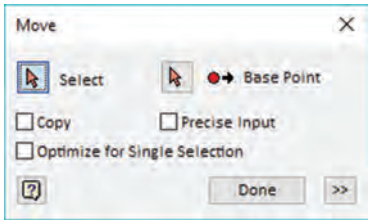
درهنگام ترسیم یک طرح نیاز به ابزارهای ویرایشی وجود دارد تا بتوان طرح را به سرعت تکمیل نمود. ابزارهایی مانند بریدن، امتداد دادن، کپی‌کردن، قرینه‌کردن، جابه‌جا کردن و چرخاندن، مجموعه‌ای از این ابزارها در نوار ابزارهای Modify قرار گرفته تا ویرایش ترسیم را برای ما ساده‌تر نمایند.



Delete حذف‌کردن: برای حذف‌کردن یک یا چند شیء می‌بایست ابتدا آنها را انتخاب نموده و سپس با زدن کلید Delete از صفحه کلید و یا کلیک راست و انتخاب گزینه Delete آنها را حذف نمود.



Move جابه‌جایی: به کمک این ابزار یک شکل را می‌توان از یک نقطه به نقطه‌ای دیگر جابه‌جا نمود. البته باید به‌این نکته توجه نمود اشکالی که مقید هستند پس از جابه‌جایی از حالت مقید بودن خارج می‌گردند که در حالت پیش



فرض به کاربر اعلام می‌گردد.

۱ ابتدا موضوعات مورد نظر را انتخاب می‌کنیم.

۲ با کلیک روی آیکون Base point نقطه پایه را انتخاب می‌کنیم. در این مرحله ممکن است. سؤالی مبنی بر شکسته قیدها نمایان گردد.

۳ با کلیک‌کردن در نقطه جدید، نقطه پایه به آنجا منتقل خواهد شد. در صورتی که نیاز به جابه‌جایی مجدد باشد. کلید Backspace را فشار دهید. تا یک مرحله به عقب باز گردد.

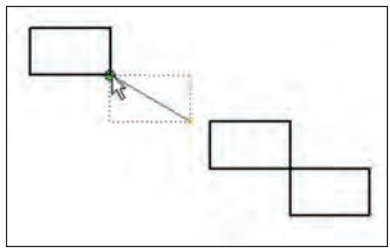
۴ برای خروج روی Down کلیک کرده یا کلید Esc را می‌زنیم.

در این فرمان با علامت‌زدن گزینه‌ها برخی از عملگرها تغییر خواهند کرد.

Copy: عمل کپی‌کردن را انجام می‌دهد.

Optimize for Single Selection: پس از اولین انتخاب به‌صورت خودکار وارد مرحله انتخاب نقطه پایه می‌گردد.

Precise Input: پنجره را باز می‌کند، که می‌توان با واردکردن مقدار مختصات شکل را جابه‌جا نمود.



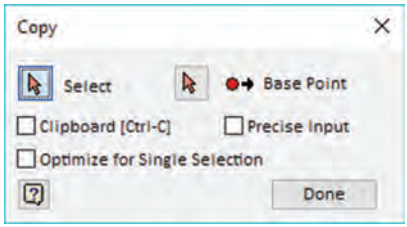
Copy کپی: این ابزار برای کپی‌کردن یک شیء در یک یا چندین محل دیگر استفاده‌می‌گردد.

۱ موضوعات مورد نظر را انتخاب می‌کنیم.

۲ دکمه Base Point را زده و نقطه‌ای را به عنوان نقطه پایه انتخاب می‌نماییم.

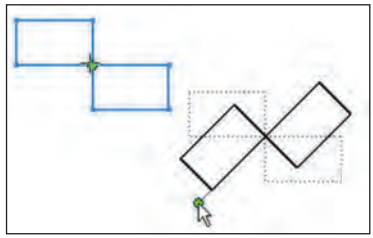
۳ با هر کلیک روی صفحه یک کپی از شکل ساخته می‌شود. و با کلید Backspace یک مرحله به عقب باز می‌گردد.

۴ برای خروج از Done و یا کلید Esc استفاده می‌نماییم.



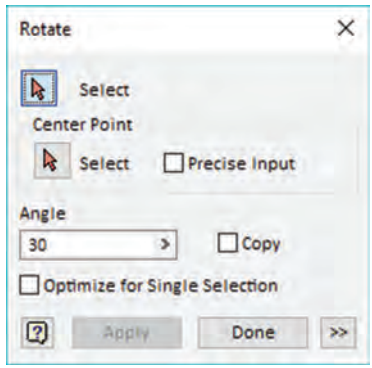
گزینه Clipboard نیز شکل را به حافظه موقت ویندوز منتقل می‌کند. که با خروج از دستور و کلیک راست‌کردن و سپس انتخاب گزینه Paste و یا استفاده از کلید ترکیبی

Ctrl+V یک کپی از شکل به صفحه اضافه می‌گردد.



Rotate چرخش: برای چرخش یک شیء حول یک نقطه این فرمان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

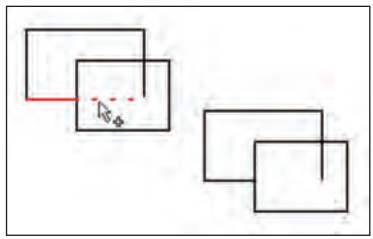
۱ موضوعاتی که قصد چرخش آنها را داریم انتخاب می‌کنیم.



۲ از قسمت Center Point با انتخاب کلید Select نقطه دوران را مشخص می‌نماییم. با انتخاب گزینه Precise Input می‌توان مختصات نقطه دوران را وارد نمود. دراین مرحله نیز ممکن است سؤالی برای شکستن قیدها ظاهر شود.

۳ در قسمت Angle نیز زاویه چرخش را وارد می‌کنیم. در حالت پیش فرض زاویه به‌صورت مثلثاتی یا پادساعت‌گرد در نظر گرفته شده است.

۴ برای اجرا بدون بستن پنجره Apply را زده و برای خروج از Done و یا کلید Esc استفاده می‌نماییم.



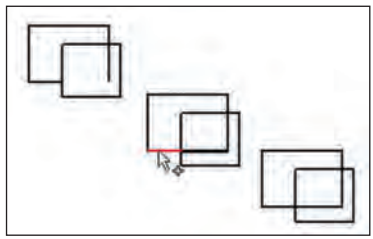
Trim برش: وقتی که نیاز باشد یک شیء مانند یک خط، دایره، کمان و سایر اشکال پیوسته از محلی خاص بریده شوند از این ابزار استفاده می‌کنیم.

۱ ابزار Trim را انتخاب می‌کنیم.

۲ با حرکت موس روی خطوط، محل‌های برش به صورت پیش نمایش(خط چین) ظاهر خواهند شد.

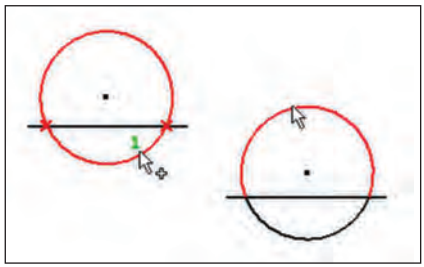
۳ با کلیک روی هر قسمت آن بخش حذف خواهد شد.

۴ برای محدود کردن موضوعات در زمان برش می‌بایست هنگام انتخاب کلید Ctrl را پایین نگه داشت.



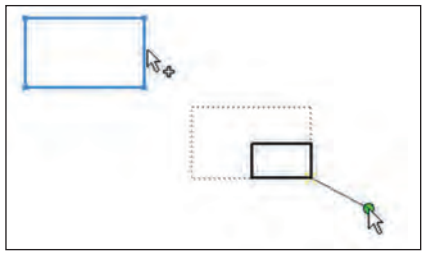
Extend امتداد دادن: در صورتی که بخواهیم خط یا کمانی را امتداد دهیم تا به یک موضوع دیگر برسد از فرمان امتداد دادن استفاده می‌کنیم.

۱ ابتدا ابزار Extend را انتخاب می‌کنیم.
۲ با نگه داشتن موس روی خطوط، امتداد خطوط به‌صورت ضخیم‌تر به نمایش در خواهد آمد.
۳ با کلیک‌کردن روی خط مورد نظر تا موضوع بعدی امتداد پیدا خواهد کرد.
۴ برای محدودکردن و انتخاب امتداد تا موضوعی خاص ابتدا کلید Ctrl را پایین نگه داشته موضوعی را به عنوان مرز انتخاب می‌کنیم. سپس Ctrl را رها کرده، روی خطی که قرار است امتداد پیدا کند کلیک می‌کنیم.
۵ با گرفتن کلید Shift در زمان اجرای فرمان‌های Trim وExtent این دستورات به یکدیگر تبدیل می‌شوند.

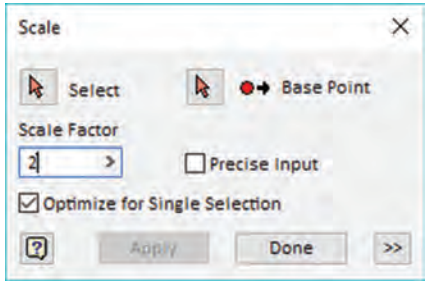


Split از هم جدا کردن: برای بریدن یک خط و تبدیل آن به دو قست از این دستور استفاده می‌کنیم.
۱ نخست ابزار Split را از ریبون ویرایش انتخاب می‌کنیم.
۲ با حرکت دادن موس روی خطوط یک یا دو ضربدر قرمز رنگ به عنوان پیش نمایش محل برش موضعات ظاهر می‌گردد.
۳ روی خط مورد نظر کلیک کرده تا خط به دو قسمت تقسیم گردد.

Scale مقیاس: اگر بخواهیم یک یا چند موضوع را با ضریبی کوچک‌تر یا بزرگ‌تر نماییم می‌توانیم از این فرمان استفاده نماییم.

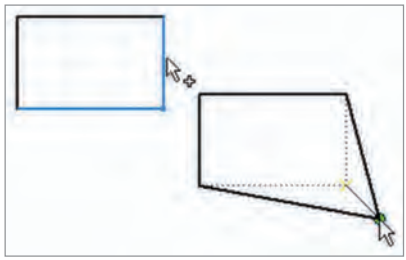


۱ موضوعات موردنظر را انتخاب می‌کنیم.
۲ روی Base Point کلیک کرده و نقطه‌ای را به عنوان نقطه مبدأ انتخاب می‌نماییم. با علامت زدن در قسمت Precise Input می‌توان مختصات نقطه مبدأ را وارد نمود. در این مرحله ممکن است سؤالی برای شکستن قیدها ظاهر شود.
۳ با حرکت‌دادن موس و یا واردکردن ضریب مقیاس در کادر Scale Factor شکل را کوچک‌تر یا بزرگ‌تر می‌کنیم. برای بزرگ‌تر شدن ضریبی بزرگ‌تر از یک و برای کوچک‌تر شدن ضریبی



کوچک‌تر از یک را وارد می‌کنیم.

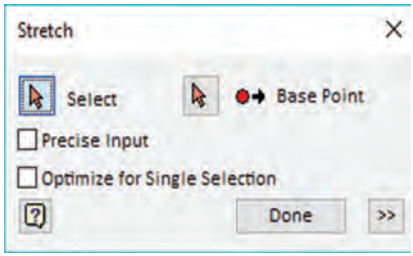
۴ برای اجرا بدون بستن پنجره Apply را زده و برای خروج از Done و یا کلید Esc استفاده می‌نماییم.



Stretch کشیدن: به کمک این ابزار می‌توان یک جسم را در جهتی خاص تغییر اندازه داد.

۱ موضوعات مورد نظر را انتخاب می‌کنیم.

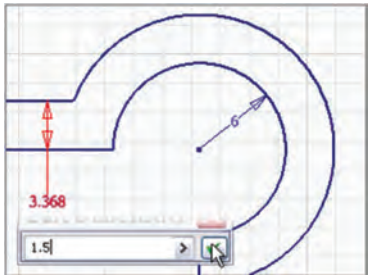
۲ دکمه Base Point را زده و نقطه‌ای را به عنوان نقطه پایه انتخاب می‌نماییم. در اینجا نیز با توجه به قیدهای شکل ممکن است سؤالی برای شکستن قیدها پرسیده شود.



۳ با کلیک‌کردن در نقطه‌ای جدید نقطه پایه به آنجا منتقل می‌شود و خطوط بدون شکست تغییر می‌کنند.

۴ برای خروج از Done و یا کلید Esc استفاده می‌نماییم.

Offset کپی موازی: از این ابزار برای ترسیم یک شیء جدید به موازات اشیاء موجود در فاصله‌ای خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد.



۱ ابتدا ابزار Offset را انتخاب می‌کنیم.

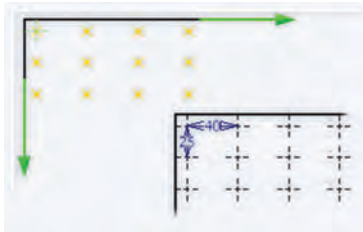
۲ سپس روی Sketch موردنظر کلیک می‌کنیم.

۳ با حرکت‌دادن موس و انتخاب محل جدید یک کپی به موازات شکل قبلی ترسیم خواهد شد.

۴ به کمک ابزار Dimension فاصله دو خط را تعیین می‌کنیم.

۳ـ تکثیر بر اساس الگو:

برای تکثیر چندین شکل تکراری که از الگوی خاصی پیروی می‌کنند، از ابزار Pattern می‌توان استفاده نمود. تکثیر به‌صورت آرایش سطری، ستونی، دایره‌ای و به‌صورت قرینه می‌باشد. که پس از ترسیم نیز قابل ویرایش می‌باشد.



آرایش Rectangular Pattern

مستطیلی: برای تکثیر اشیاء در فاصله‌های مساوی و در دو جهت از این ابزار استفاده می‌گردد.

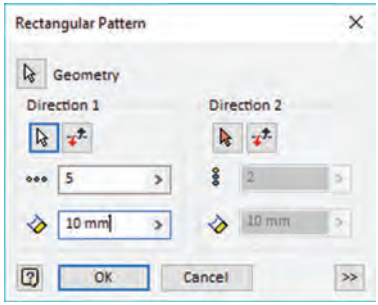
۱ موضوعات مورد نظر را انتخاب می‌کنیم.

۲ با کلیک روی Direction۱ و انتخاب یک خط راستای اول را مشخص می‌کنیم.

۳ در کادرهای بعدی به ترتیب تعداد و فاصله شکل‌ها را از یکدیگر وارد می‌کنیم.

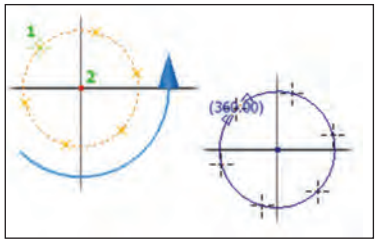
۴ همین کار را برای Direction۲ یا امتداد دوم نیز انجام می‌دهیم.

۵ برای تغییر جهت در یک راستا از استفاده می‌کنیم.



با کلیک روی علامت بیشتر می‌توان تنظیمات زیر را نیز وارد کرد.

- **Associative:** با علامت داشتن این گزینه فاصله‌ها مقید شده و قابلیت به روز شدن در محیط قطعه را خواهد داشت.(در حالت پیش فرض علامت دارد.)
- **Fitted:** با انتخاب این گزینه تعداد شیء وارد شده در فاصله وارد شده گنجانده خواهد شد.
- **Suppress:** می‌توان تعدادی از شکل‌ها را از الگو خارج کرد.



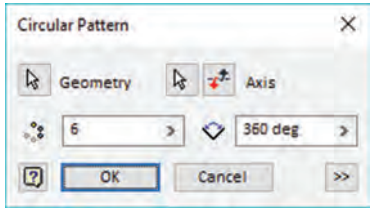
آرایش Circular Pattern

دایره‌ای: برای تکثیر اشیا حول یک نقطه یا محور از این ابزار استفاده می‌گردد.

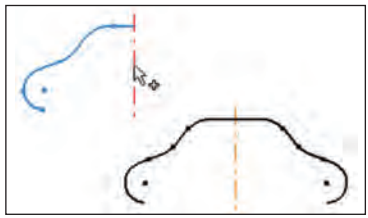
۱ موضوعات مورد نظر را انتخاب می‌کنیم.

۲ با کلیک روی Axis و انتخاب یک نقطه یا محور مرکز چرخش را مشخص می‌کنیم.

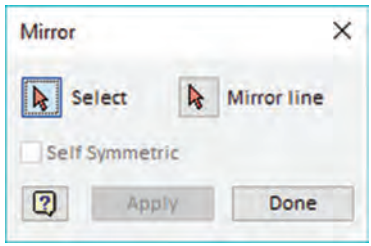
۳ در کادرهای بعدی به ترتیب تعداد و زاویه کل را وارد می‌کنیم.



در این قسمت بر خلاف آرایش مستطیلی گزینه Fitted در حالت پیش‌فرض انتخاب شده و در صورت نیاز به وارد کردن زاویه بین شکل‌ها آن را از انتخاب خارج می‌نماییم.



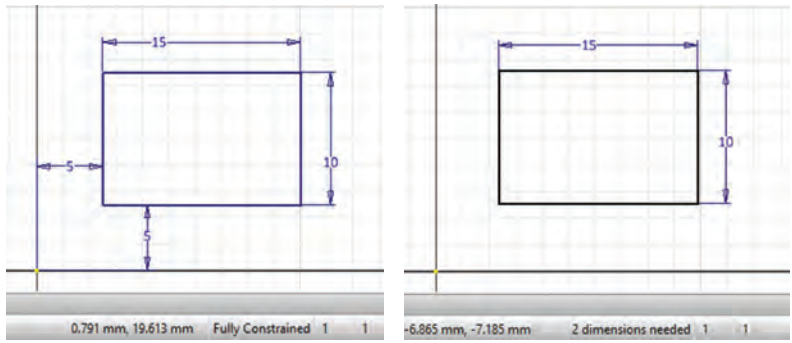
Mirror قرینه: به کمک این ابزار می‌توان قرینه‌ای از یک شکل نسبت به یک محور یا خط ترسیم نمود. این تصویر آینه‌ای مقید بوده و با تغییر در شکل قرینه آن نیز به روز می‌شود.



۱ اشیایی که قصد قرینه‌کردن آنها را داریم انتخاب می‌کنیم.
۲ با کلیک روی Mirror Line و انتخاب یک خط یا محور، خط تقارن را مشخص می‌کنیم.
۳ برای اجرا بدون بستن پنجره Apply را زده و برای خروج از Done و یا کلید Esc استفاده می‌نماییم.

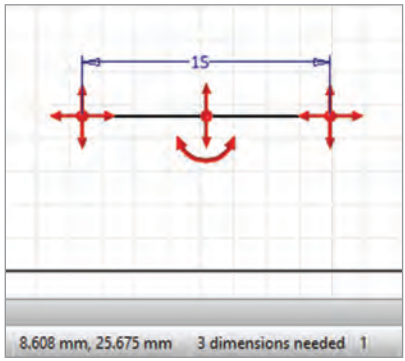
۴ـ قید[۱]:

یکی از مهم‌ترین اصولی که در نرم‌افزارهای جدید در نظر گرفته شده است مقید بودن شکل‌ها است که خود شامل دو قسمت قیدهای ابعادی و قیدهای هندسی می‌شود. همان‌طور که می‌دانید هر جسم در صورت مشخص بودن ابعاد خود در صفحه دو درجه آزادی[۲] در راستای افقی و عمودی و یک درجه آزادی چرخش حول محور عمود بر صفحه دارد. برای اینکه شکل پس از ترسیم تغییری نکند. باید درجات آزادی آن به صفر برسد. هنگام ترسیم در پایین صفحه سمت چپ تعداد درجات آزادی آن نوشته شده است (شکل الف). در صورتی که شکل کاملاً مقید شود و درجات آزادی آن به صفر برسد تغییر رنگ داده و در نوار وضعیت عبارت fully constrained به نمایش در خواهد آمد(شکل ب).



ب الف

۱- Constrain
۲- Degrees of Freedom



همچنین می‌توان جهت‌های آزادی شکل را نیز مشاهده نمود. برای نمایش و یا عدم نمایش درجات آزادی می‌توان روی آیکون‌ها یا در نوار وضعیت کلیک کرد. در این حالت با فلش‌هایی جهت‌های قابل جابه‌جایی برای هر نقطه یا خط نمایش داده می‌شود. در این وضعیت در صورت ترسیم شکل جدید برای نمایش درجات آزادی می‌بایست ابزار را یک بار خاموش و روشن نمود.

انواع قیدها

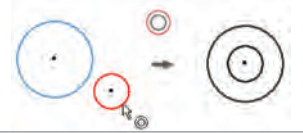
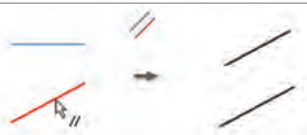
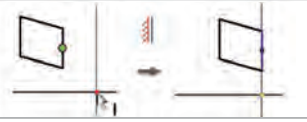
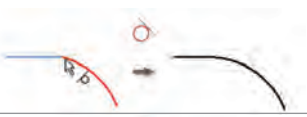
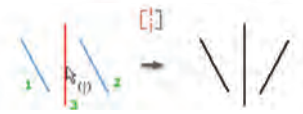
Dimension قید اندازه: به کمک این ابزار می‌توان کلیه خطوط، زوایا، دایره‌ها، کمان‌ها و فاصله‌ها را اندازه‌گذاری نمود. با نگه داشتن نشانگر موس روی ابزار روش استفاده از آن به‌صورت انیمیشن به نمایش در خواهد آمد.

ابزار دیگری که به ما در اندازه‌گذاری کمک می‌کند، استفاده از ابزار اندازه‌گذاری خودکار می‌باشد که با آن می‌توان ابعاد و زوایای مشخص نشده را به‌صورت خودکار مقید نمود.

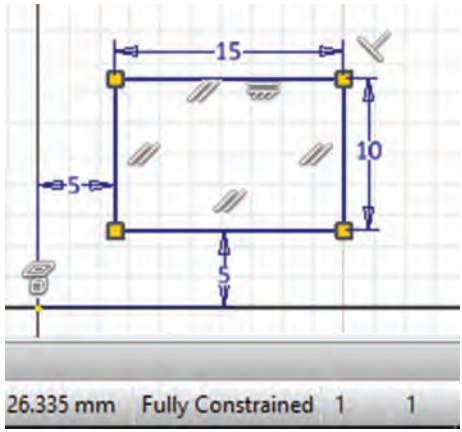
قیدهای هندسی: قیدهایی مانند تعامد، توازی، افقی و عمود بودن خطوط و منحنی‌ها به طراح کمک می‌کند تا شرایط هندسی مورد نظر خود را اجرا نموده و نیز درجات آزادی شکل را کمتر کند و از جابه‌جایی ناخواسته خطوط جلوگیری نماید.

در کتاب جدولی مانند شکل زیر آمده از هنرجویان بخواهید وارد محیط Sketch شده و خطوطی را مانند شماتیک ترسیم و قیدگذاری نمایند. سپس به کمک موس خطوط مقید را درگ کرده و جابه‌جا نمایند و با توجه به نتایج به‌دست آمده جدول را تکمیل کنند.

نمایه	name	نام	کاربرد	شماتیک
	Coincident	انطباقی	منطبق‌کردن یک نقطه روی یک شیء مانند نقطه، خط و یا منحنی	

	Collinear	هم راستایی	هم راستاکردن دو خط یا محور دو بیضی	
	Concentric	هم مرکزی	هم مرکزکردن دایره، کمان و بیضی	
	Fix	ثابت	ثابت‌کردن نقاط و خطوط در محل خود نسبت به دستگاه مختصات	
	Parallel	موازی	توازی بین خطوط	
	Perpendicular	تعامد	عمودکردن خطوط بر یکدیگر	
	Horizontal	افقی	همراستا کردن خطوط یا نقاط با محور xها	
	Vertical	عمودی	همراستا کردن خطوط یا نقاط با محور yها	
	Tangent	مماسی	مماس‌کردن خطوط و منحنی‌ها بر یکدیگر	
	Smooth (G۲)	هموار	هموارکردن و منطبق‌کردن یک Spline به یک خط یا منحنی	
	Symmetric	تقارن	تقارن خطوط و منحنی‌ها نسبت به یک خط	
	Equal	تساوی	برابرکردن طول خطوط یا شعاع دایره‌ها و کمان‌ها	

ویرایش قیدها: در تنظیمات پیش‌فرض برنامه هنگام ترسیم یک شیء قیدها هندسی به‌صورت خودکار ظاهر می‌شوند. اما برای ویرایش قیدها نیاز است آنها را به نمایش در آوریم. برای نمایش یا عدم نمایش تمام قیدهای فعال در یک Sketch می‌توان بر روی آیکون / در نوار وضعیت کلیک کرد. یا از کلیدهای F8 و F9 استفاده نماییم (شکل). همچنین برای نمایش قیدهای یک شیء خاص می‌توان از ابزار در پنل قیدها روی ریبون استفاده نمود. که به کمک آن و انتخاب هر شیء قیدهای آن نمایش داده می‌شوند. پس از نمایش قیدها امکان ویرایش برای آنها نیز وجود دارد. به این صورت که با کلیک راست روی هر قید می‌توان آن را حذف کرده و یا دوباره مخفی نمود. ابزار دیگری که در برخی موارد می‌تواند کارگشا باشد. حالت آزاد[1] می‌باشد. که با فعال‌کردن آن تمامی قیدها آزاد شده و با درک‌کردن می‌توان آنها را تغییر داد. و یا با اعمال قید جدید قیود قبلی را حذف نمود. برای فعال‌کردن حالت آزاد در نوار وضعیت از ابزار استفاده کرده و یا با کلید F11 این حالت را فعال یا غیر فعال می‌نماییم.



۵ـ قالب‌بندی:[2]

این بخش شامل ابزارهای زیر می‌باشد.

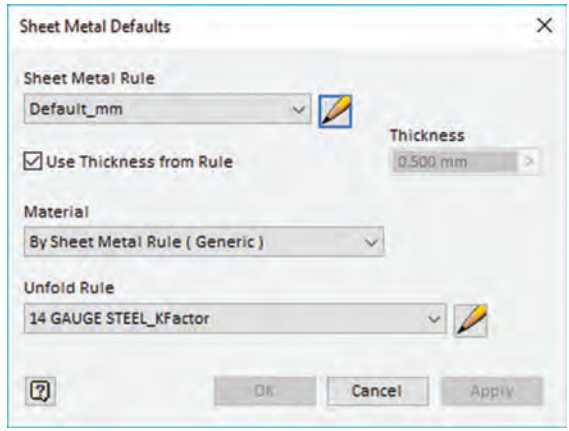
- خطوط کمکی
- اندازه کمکی
- خط تقارن
- نقطه مرکز
- تغییر رنگ، نوع و ضخامت خط

۱ـ Relax mode
۲ـ Format

خارج شدن از محیط ترسیمه (Sketch): برای خارج‌شدن از این محیط و بازگشت به محیط قطعه Finish Sketch را انتخاب کرده و یا از کلید ترکیبی Ctrl + Enter استفاده می‌کنیم.

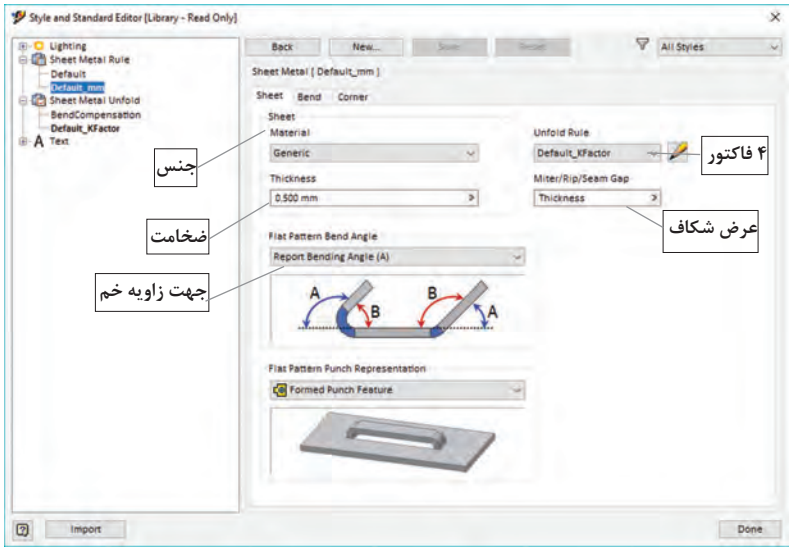
از هنرجویان بخواهید تا کار در کلاس را انجام داده و جدول قیدها را به کمک شکل‌های شماتیک و همچنین نگه داشتن موس روی آیکون‌ها تکمیل نمایند. و سپس از آنها بخواهید به‌صورت گروهی و مشورتی تمرین‌های ترسیمه را انجام دهند.

Sheet Metal Defaults (پیش فرض‌های ورق‌کاری): قطعات ورق‌کاری دارای پارامترهایی هستند که ویژگی‌ها و نحوه تولید قطعه را مشخص می‌کند. به‌این پارامترها قوانین ورق‌کاری[1] می‌گویند. در صفحه پیش‌فرض می‌توان قوانین ورق‌کاری، جنس، ضخامت و قوانین گسترش را انتخاب کرد.



با کلیک روی مداد وارد قسمت ویرایشگر می‌شود در این قسمت می‌توان قوانین ورق‌کاری را تغییر داد. تغییرات در این قسمت به‌صورت پیش فرض برای همه خم‌ها استفاده می‌شود. ولی به‌صورت دستی در هر یک از دستورات نیز می‌توان آن را تغییر داد. به عنوان مثال در سر برگ Bend (خم‌کاری) شعاع خم برابر با ضخامت ورق در نظر گرفته شده که می‌توان آن را به‌صورت ثابت یا ضریبی از ضخامت برای همه خم‌های پروژه جاری تغییر داد.

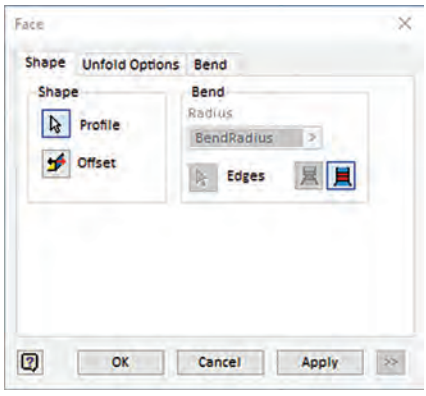
۱ـ Sheet Metal Rule



نوار ابزار Create (ساختن)

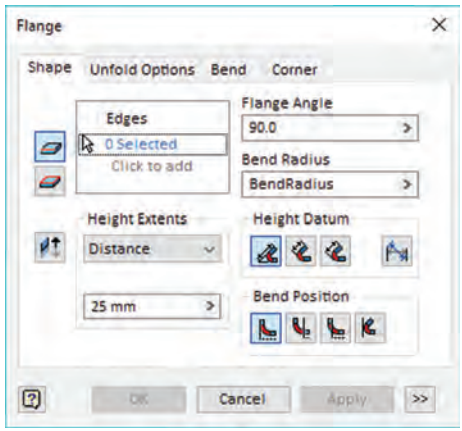
این نوار ابزار شامل دستوراتی برای ایجاد.....

- Face
- Flange
- Cont ur Flange
- Lofted Flange
- Contur Roll
- Hem
- Bend
- Fold



دستور Face: از دستور Face برای ایجاد سطح استفاده می‌شود. این دستور اسکچ ترسیم شده را به ضخامت تعیین شده در قسمت پیش‌فرض ضخامت می‌دهد. در این دستور به کمک دستور Offset جهت ضخامت‌دادن به ورق را می‌توان تغییر داد. سایر گزینه‌های این پنجره در صورت استفاده از چند اسکچ و اتصال اسکچ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اکثر موارد به جای ایجاد

چند اسکچ و اتصال آنها می‌توان از دستورات دیگر مانند لبه‌دارکردن (Flange) استفاده نمود.



دستور Flange: به‌کمک این دستور می‌توان برای سطوح ایجاد شده لبه ایجاد کرد. این پنجره شامل قسمت‌های زیر می‌باشد.

Edges: انتخاب لبه یا لبه‌های مورد نظر برای لبه‌دار کردن. در این دستور ورق در جهت لبه انتخاب شده خم می‌شود.

نکته: درصورت انتخاب اشتباه یک لبه کلید Shift را گرفته و لبه را دوباره انتخاب می‌کنیم.

Height Extents: ارتفاع لبه که شامل دو حالت Distance (فاصله) و To (تا لبه) می‌باشد، در حالت فاصله با انتخاب Flip Direction جهت خم معکوس می‌شود.

Flange Angle: شعاع خم بر حسب درجه

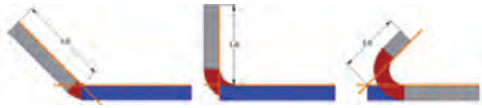
Bend Radius: شعاع خم را تعیین می‌کند. که به‌صورت پیش فرض برابر با ضخامت ورق می‌باشد.

پیشنهاد می‌گردد ارتفاع و موقعیت لبه‌ها فقط به صورت عملی و چند مثال مانند جعبه‌های زیرآموزش داده شود.

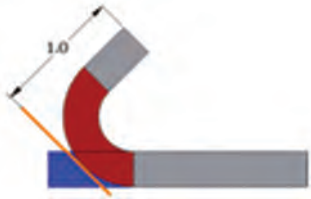
Height Datum: در این قسمت روش محاسبه ارتفاع انتخاب می‌شود.

ارتفاع از امتداد دو سطح خارجی

ارتفاع از امتداد دو سطح داخلی



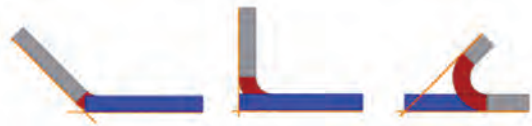
ارتفاع به موازات ورق و مماس به خم



هم راستا یا قائم: اندازه‌ها هم راستا با لبه ورق و یا به صورت قائم اندازه‌گیری می‌شود.

Bend Position: محل خم را در این قسمت می‌توان مشخص کرد و عرض قطعه نهایی را تعیین کرد.

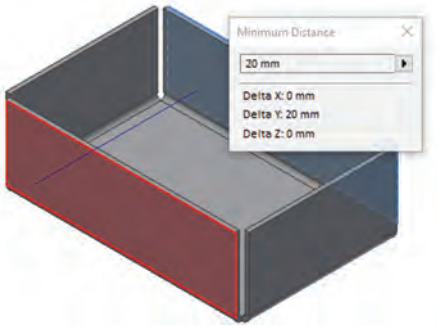
خم کردن از درون سطح اولیه: در این حالت ابعاد خارجی شکل ثابت می‌ماند. (از امتداد سطوح خارجی)



خم کردن از انتهای سطح: در این حالت خم به انتهای سطح انتخابی اضافه می‌گردد.

خم کردن از بیرون سطح پایه: در این حالت ابعاد داخلی شکل ثابت می‌مانند.

خم کردن مماس به سطح جانبی: در این حالت ابعاد خارجی شکل ثابت می‌مانند. (مماس به سطح انتخابی)



در این مرحله از هنرجویان بخواهید دو جعبه با ابعاد داخلی و خارجی مشخص ترسیم کنند.

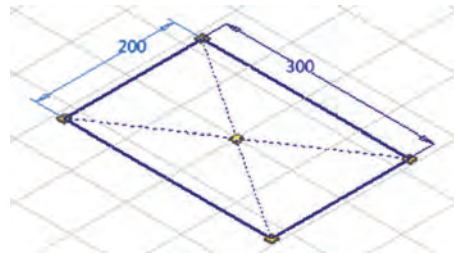
نکته

برای اندازه‌گیری در محیط سه بعدی از ابزار Distance از منوی Tools استفاده کنید و یا از کلید میانبر M استفاده نمایید. سپس دو سطح یا لبه مورد نظر را انتخاب کنید.

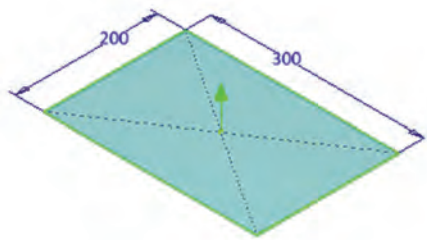
مثال: دو جعبه با مشخصات زیر ترسیم کنید.

۱ـ ابعاد خارجی ۳۰۰×۲۰۰ ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متر و شعاع خم ۲

1 ترسیم مستطیل

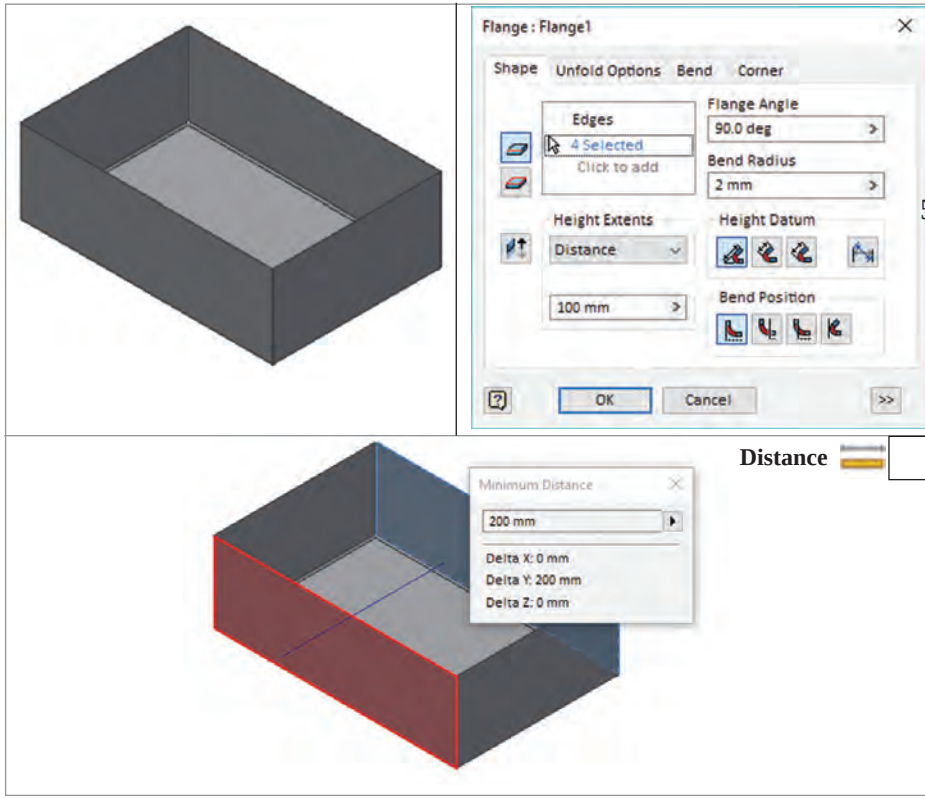


2 Face



3 Flange

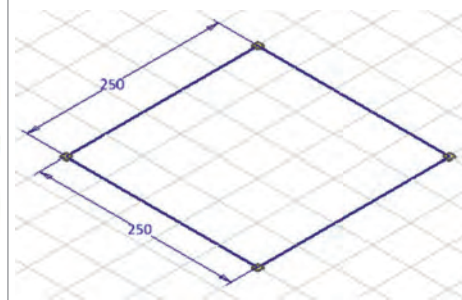
4



5 Distance

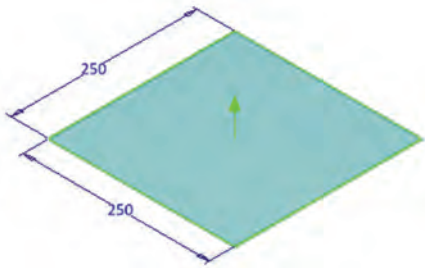
۲ـ ابعاد داخلی ۲۵۰×۲۵۰ ارتفاع ۵۰ میلی‌متر و شعاع خم ۱

1 ترسیم مستطیل

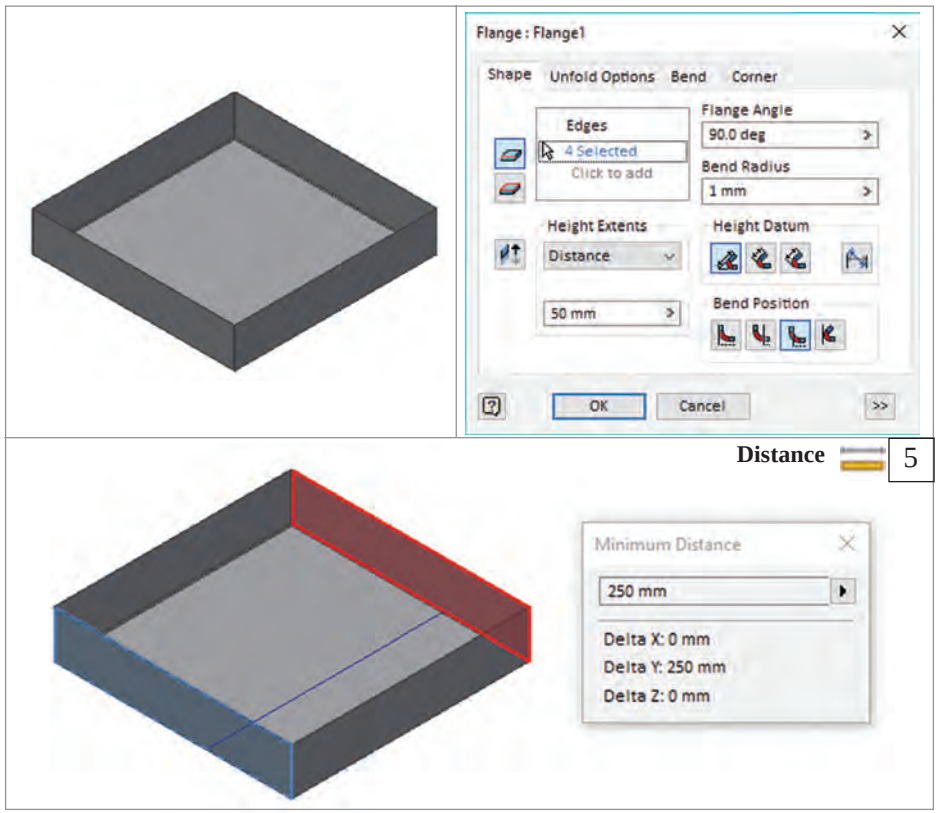


3 Flange

2 Face



4

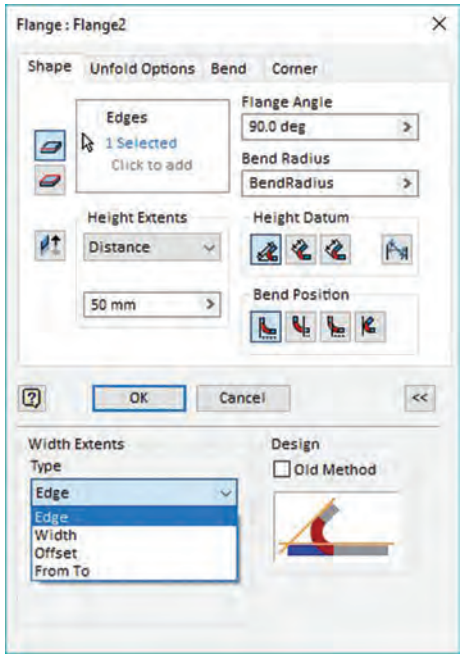


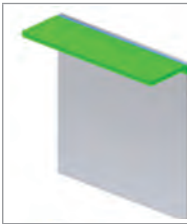
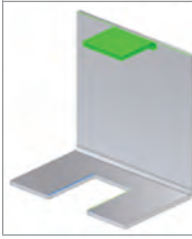
پس از ترسیم شکل‌های ساده مانند جعبه‌های بالا از هنرجویان بخواهید که کار کلاسی مربوط به درب تابلو برق را انجام دهند. در این شکل علاوه بر دستور Flange از دستور Cut نیز استفاده شده که در ادامه توضیح کامل‌تری از دستور Cut آورده شده است.

در ادامه توضیحات تکمیلی از دستور Flange آورده شده است. که در صورت نیاز می‌توان به هنرجویان آموزش داد. در کتاب اصلی فعالیتی در مورد Corner (گوشه) وجود دارد که هنرجویان می‌توانند هر یک از حالت‌ها را انتخاب کرده و نتیجه را در حالت گسترش ببینند.

تنظیمات بیشتر

با کلیک روی تنظیمات بیشتر قسمتی به پنجره اضافه می‌گردد که در آن می‌توان لبه‌های با عرض کمتر یا بیشتر از لبه اصلی ایجاد نمود.

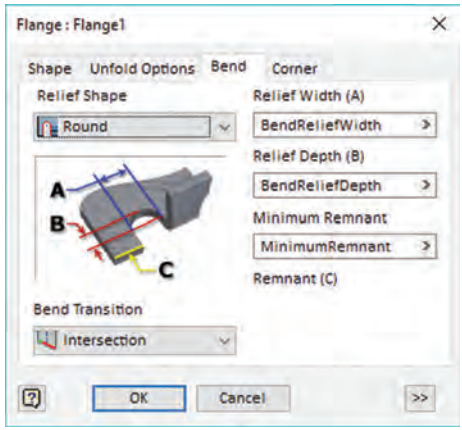


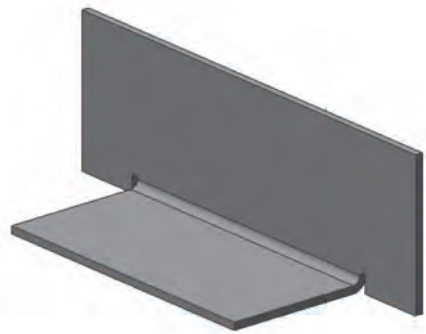
Edge	یک لبه به اندازه طول کل لبه انتخاب شده ایجاد می‌کند.	
Width	لبه‌ای با عرض وارد شده ایجاد خواهد کرد.	
Offset	لبه با فاصله مشخص از صفحه‌های انتخابی ایجاد می‌کند.	
From to	لبه‌ای مقابل گوشه‌های انتخابی ایجاد می‌کند.	

نکته

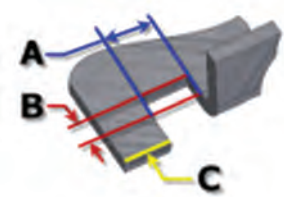
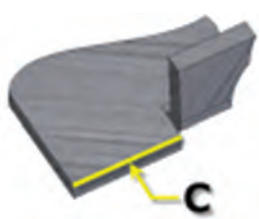
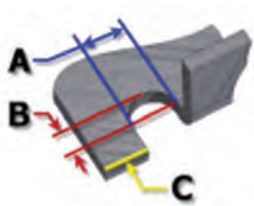
ایجاد لبه با عرض معین فقط در حالت انتخاب یک لبه فعال می‌باشد و با انتخاب چند لبه نمی‌توان عرض را تغییر داد.

همچنین در این قسمت با انتخاب حالت Old Method تنظیمات برنامه را به حالت نسخه قبل از ۲۰۰۹ برگردانده و تنظیم ارتفاع و موقعیت خم غیر فعال می‌شود.
در هنگام ایجاد خم برای مثال لبه با عرض کمتر را از صفحه اصلی می‌بایست برای جبران لبه‌های خم حالتی را انتخاب کرد این تنظیمات در سربرگ Bend قرار گرفته است این سربرگ در دستورات دیگر هم به صورت مشابه قابل استفاده می‌باشد.

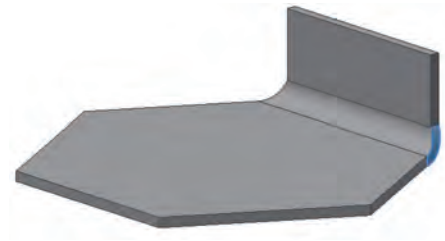




در قسمت Relief Shape می‌توان حالت های زیر را انتخاب کرد.

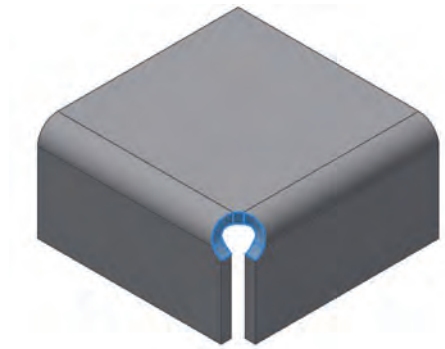
	Straight برش مستقیم	
	Tear چاک زدن	
	Round برش گرد	

در زمان ایجاد برخی از خم‌ها انتقال خم در لبه‌ها باید کنترل شده باشد. این تنظیمات در قسمت Bend Transition قرار دارد.

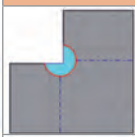
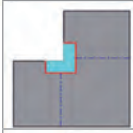
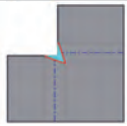
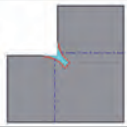


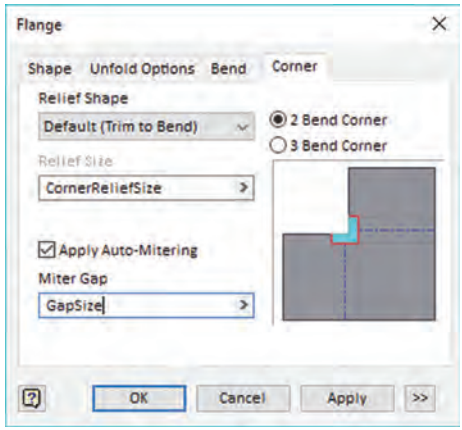
حالت ایجاد گوشه را نیز می‌توان در سربرگ Corner انتخاب کرد. در این سربرگ دو حالت برخورد دو و سه گوشه درنظر گرفته شده است. که در شکل گسترس یافته قابل مشاهده می‌باشد.

3Bebd Corner

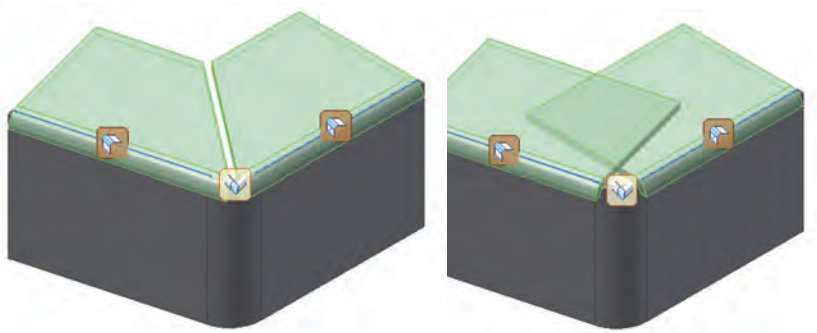


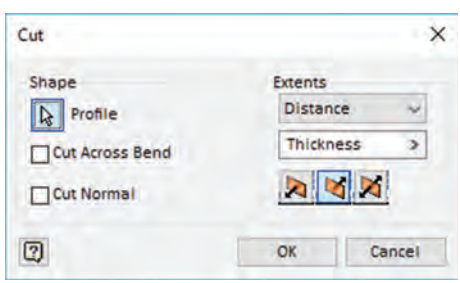
2Bend Corner

2 Bend Corner		
Round	یک برش دایره‌ای به مرکز محل برخورد خطوط خم	
Square	یک برش مربعی به مرکز محل برخورد خطوط خم	
Tear	برخورد امتداد لبه‌ها	
Trim to Bend	یک برش چند وجهی به مرز خطوط انتهای خم	
Linear Weld	یک برش به شکل هفت از گوشه خطوط خم داخلی به محل برخورد خطوط خارجی خم و لبه‌ها که مناسب برای جوش و آبندی می‌باشد.	
Arc Weld	در حالت خم شده شیاری یکنواخت به موازات لبه‌ها ایجاد می‌کند که برای جوش مناسب می‌باشد.	
3 Bend Corner		
No Replacement	بدون تغییر در طول لبه‌های خم	
Intersection	امتداد لبه‌های خم شده	
Full Round	امتداد لبه و دایره‌ای مماس به خط خم	
Round with Radius	امتداد لبه‌ها و دایره‌ای مماس به خط انتهای خم	



در این سربرگ با انتخاب گزینه Apply Auto - Mitering ورق‌ها به‌صورت خودکار لب به لب می‌شوند و فاصله‌ای به‌اندازه Miter Gap بین دو ورق ایجاد می‌گردد که در حالت پیش فرض برابر ضخامت ورق می‌باشد. زاویه بین دو صفحه نیز در این حالت به‌صورت متقارن و برابر خواهد بود که در ویرایش‌های بعدی می‌توان آن را تغییر داد.





دستور Cut

به کمک این دستور می‌توان قسمتی از ورق را برش زده و در آن سوراخ‌هایی ایجاد نمود. در حالت پیش فرض ضخامت برش برابر با ضخامت ورق می‌باشد که در پنجره برش می‌توان آن را تنظیم کرد. این پنجره شامل تنظیمات زیر می‌باشد.

Profile: در این قسمت می‌بایست حداقل یک اسکچ برای برش وجود داشته باشد.

اگر فقط یک اسکچ ترسیم شده باشد به‌صورت پیش فرض انتخاب خواهد شد.

Cut Across Bend : اسکچ را روی سطح ورق پهن می‌کند. برای مثال دایره‌ای که بر روی خم برش زده شود در حالت گسترش یافته یک دایره کامل ایجاد می‌کند.

Cut Normal: اسکچ را در ضخامت تعریف شده روی ورق خم شده تصویر کرده و عمود بر آن ورق را برش می‌زند.

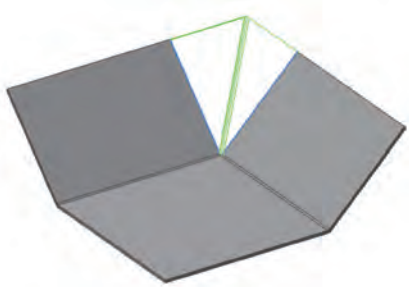
Extents : در این قسمت می‌توان محدوده عمق سوراخ را مشخص نمود. که شامل گزینه‌های To، To From، To Next، Distance و All می‌باشد. فلش‌ها نیز جهت برش را نشان می‌دهند.

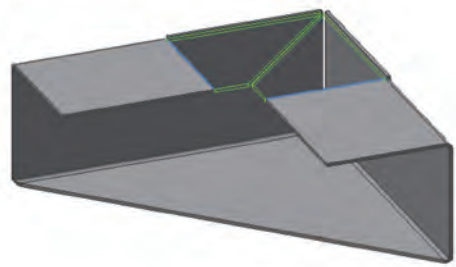
تعیین جهت ایجاد

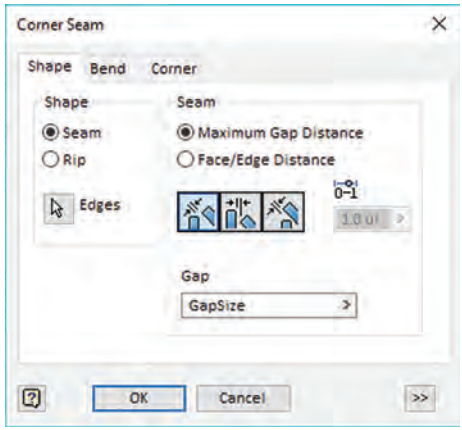
سوراخ: برای تمرین این قسمت می‌توانید از هنرجویان بخواهید. سوراخ های گردش هوا که روی کیس کامپیوتر وجود دارد را شناسایی و شکل‌هایی مشابه به آن را ترسیم نمایند.

دستور Corner Seam

از این دستور برای به‌هم رساندن گوشه‌ها استفاده می‌شود در بسیاری از موارد این دستور به صورت خودکار زیر مجموعه دستور Flange اجرا می‌گردد مانند مثال درب تابلو برق ولی در مواردی که نیاز به استفاده از آن نیز باشد، می‌توان گوشه‌ها را در حالت‌های مختلف به یکدیگر رساند و یا لبه‌های ایجاد شده را به صورت خودکار ویرایش نمود.







Seam : ایجاد گوشه بین لبه‌های ورق

Rip : ایجاد شکاف در مدل های تبدیل شده به شیت متال

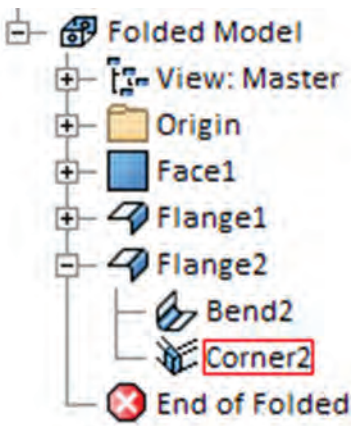
Maximum Gap Distance : حداکثر فاصله شیار

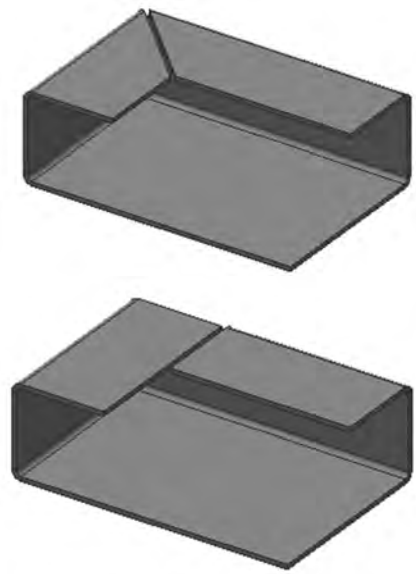
Face/Edge Distance: فاصله عمود بین ورق و لبه

Gap : فاصله شیار که به‌صورت پیش فرض برابر با ضخامت ورق می‌باشد.

حالت برخورد لبه‌ها که در انتخاب‌های مختلف تغییر می‌کنند.

برای ویرایش محل برخوردهایی که به‌صورت خودکار ایجاد شده‌اند نیز می‌توانید از مرورگر گوشه مورد نظر را انتخاب و ویرایش نمایید.





امروزه برای تولید بسیاری از قطعات از دستگاه‌های پانچ CNC، لیزر، واتر جت و پرس برک استفاده می‌شود. در این مورد می‌توان از هنرجویان خواست به صورت گروهی تحقیقی در مورد کاربرد و انواع دستگاه‌های CNC در ورق‌کاری، کلیپ‌هایی از کارکردن دستگاه‌ها، قیمت برش و خم هر کدام از دستگاه‌ها و نوع فایل مورد نیاز برای این دستگاه‌ها انجام دهند. برای راهنمایی از آنها بخواهید لیستی از شماره تماس شرکت‌هایی که این عملیات‌ها را انجام می‌دهند را از اینترنت پیدا کرده و با تماس با آنها از قیمت و نوع فایل مورد استفاده اطلاع پیدا کنند.

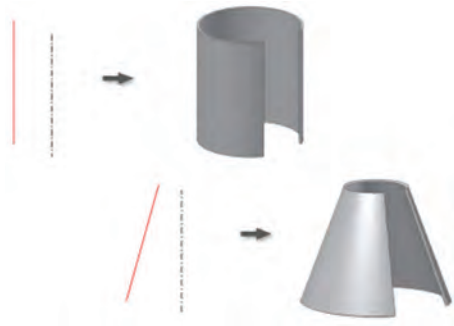
در فعالیتی که در کتاب درسی آورده شده روش ایجاد فایل dwg یا dxf مربوط به پروژه درب تابلو برق توضیح داده شده است. که هنرجویان می‌توانند فایل مربوط به هریک از تمرینات بعدی را نیز برای تولید آماده کنند.

برای تمرین بیشتر در این قسمت یک کار کلاسی برای ترسیم قسمتی از کابین جوش‌کاری آماده شده که هنرجویان به کمک کتاب و اطلاعات قبلی خود می‌توانند آن را

ترسیم نمایند . تمرین‌هایی نیز در آخر این قسمت آورده شده که به دو قسمت تقسیم می‌شود قسمت اول مدل‌سازی مشابه شکل و سپس ایجاد گسترش که این تمرینات را می‌توان قبل از ایجاد کابین جوشکاری نیز انجام داد. در قسمت دوم شکل گسترش داده آورده شده که هنرجویان می‌بایست شکل خم شده را در ذهن خود تصور کرده و آن را مدل‌سازی کنند و گسترش به‌دست آمده را با نقشه اولیه مقایسه نمایند.

دستور Contour Roll

به‌کمک این دستور می‌توان سطوح مدوری مانند استوانه و مخروط را ایجاد کرد و سپس سطح گسترش آن را به‌دست آورد. که در صورت برخورد با سطوح دیگر ترسیم آن به‌کمک دست بسیار پیچیده خواهد بود. در این دستور یک یا چند خط به دور یک محور چرخش داده می‌شود. ضخامت ورق هم در این دستور برابر با ضخامت پیش فرض خواهد بود. بهتر است مانند واقعیت شکل به‌صورت ۳۶۰ درجه دوران داده نشود.



Profile : انتخاب پروفیل برای چرخش

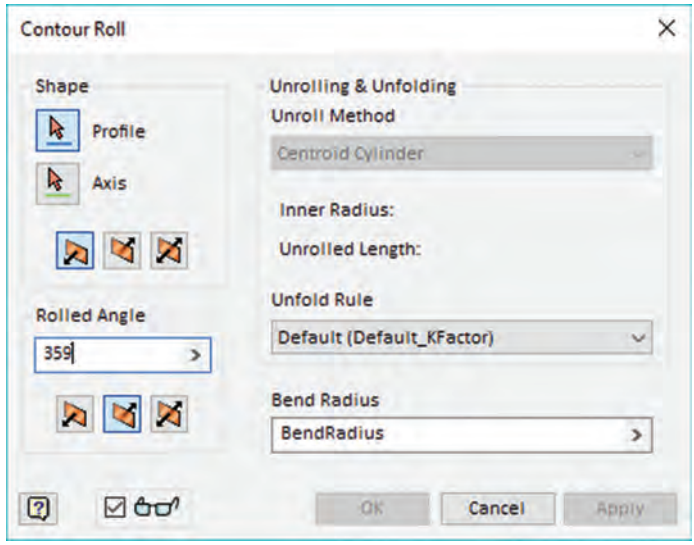
Axis : انتخاب محور دوران. این محور می‌بایست با پروفیل چرخش در یک اسکچ باشند.

تعیین جهت ضخامت ورق نسبت به اسکچ اولیه به سمت داخل، خارج و یا به صورت دوطرفه

Rolled Angle : زاویه چرخش، در صورتی که پروفیل چرخش فقط یک خط باشد می‌توان زاویه را تا ۳۶۰ درجه وارد نمود و برای گسترش به کمک دستور Rip ورق را برش زد. ولی اگر پروفیل چرخش شامل چند خط باشد زاویه باید کمتر از ۳۶۰ درجه تعیین گردد.

تعیین جهت چرخش نسبت به پروفیل اولیه

سایر گزینه‌ها مربوط به پروفیل‌های چند خطی می‌باشد.



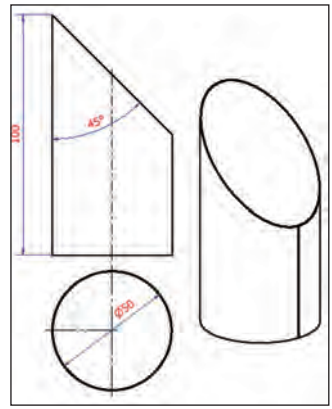
دستور Contour Roll ورق را به‌صورت رول فرمینگ تغییر شکل می‌دهد. به همین دلیل در اشکال از چند خط برای اسکچ استفاده می‌شود. گسترش به‌صورت یک ورق مستطیل خواهد بود که در عملیات فرمینگ تحت کشش قرار خواهد گرفت.

پس از آموزش دستور Contour Roll از هنرجویان بخواهید تا اشکالی مانند تمرین‌های آخر بخش را ترسیم و آنها را گسترش دهند. در ترسیم می‌توان به جای خط برش شکل را کمتر از ۳۶۰ درجه دوران داد.

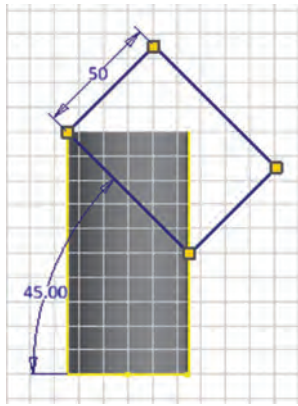
مثال گسترش استوانه زیر را به‌دست آورید.

Line 2

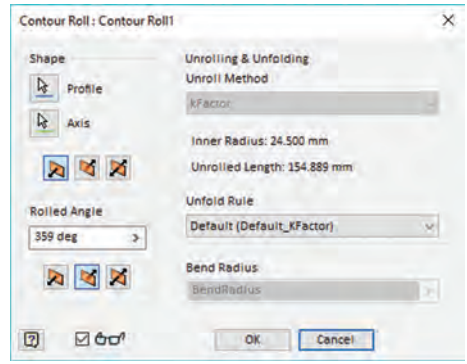
1



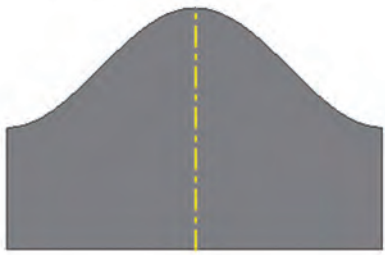
Rectangle (three points) 4



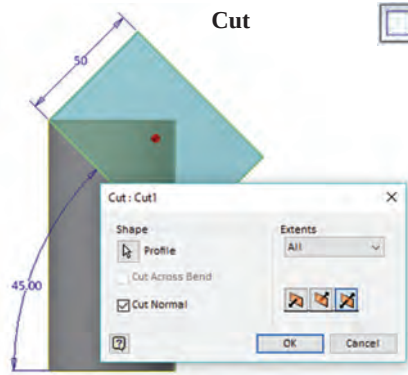
Contour Roll 3

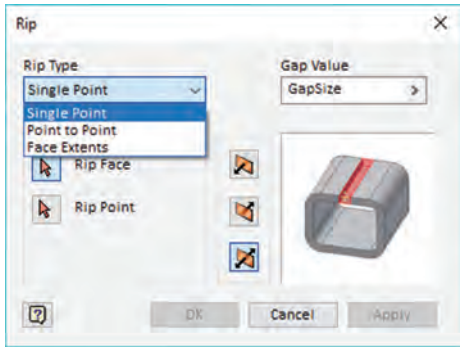


Go to Flat Pattern 6



Cut 5





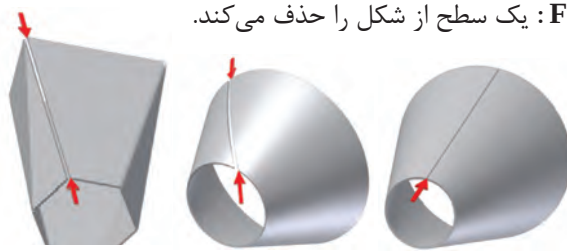
دستور Rip

در شکل‌های پیوسته برای ایجاد خط برش از دستور Rip استفاده می‌شود. انواع Rip با خط برش عبارتند از :

Single Point: با معرفی یک سطح و یک نقطه خط برشی عمود بر سطح ایجاد می‌کند که در شکل پایین مسیر برش و گسترش آمده است.

Point to Point : بین دو نقطه انتخاب شده روی سطح مسیری عبور می‌دهد که در گسترش یک خط مورب ایجاد گردد.

Face Extents : یک سطح از شکل را حذف می‌کند.



Face **Point to** **Single Point**

Rip Face: انتخاب سطح برای ایجاد خط برش یا سطح برش

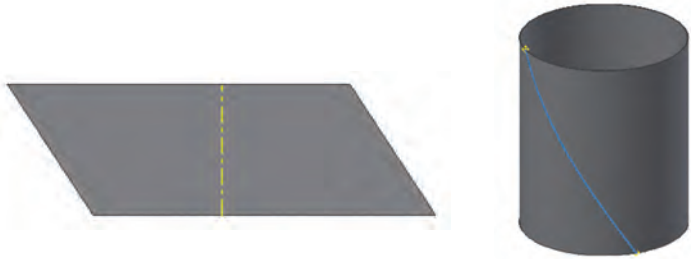
Rip Point : درحالت یک نقطه (Single Point) موقعیت خط برش را مشخص می‌کند.

Start Point : درحالت نقطه‌به‌نقطه (Point to Point) موقعیت نقطه شروع خط برش را مشخص می‌نماید.

End Point : درحالت نقطه به نقطه (Point to Point) موقعیت نقطه پایان خط برش را مشخص می‌کند.

Gap Vale : عرض شکاف را مشخص می‌کند. در حالت پیش فرض برابر با ضخامت ورق می‌باشد.

تعیین جهت شکاف نسبت به خط برش



دستور work plane Offset from Plane

در موارد زیادی نیاز است که صفحه جدیدی برای ترسیم شکل ایجاد شود. برای مثال صفحه‌ای مماس به استوانه، صفحه‌ای عمود بر صفحه دیگر و یا صفحه‌ای به موازات صفحه دیگر که در دستور Lofted Flange کاربرد دارد. روش‌های زیادی برای تعریف صفحه‌کاری در اینونتور وجود دارد که با کلیک روی فلش کوچک زیر دستور Plane می‌توانید آنها را مشاهده کنید. در این قسمت قصد داریم تا با روش ترسیم Offset from Plane یا صفحه موازی با فاصله مشخص آشنا شویم.

برای مثال قصد داریم صفحه‌ای به موازات صفحه xy با فاصله ۱۰۰ میلی‌متر ترسیم کنیم.

۱ در نوار ریبون روی فلش کوچک زیر دستور Plane کلیک کنید.

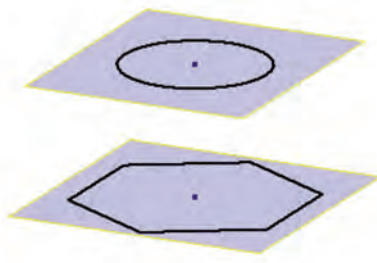
۲ دستور Offset from Plane را انتخاب کنید.

۳ در نوار مرورگر روی صفحه xy Plane کلیک کنید.

۴ صفحه جدید را با درگ کردن موس به‌جهت مورد نظر خود جابه‌جا کنید.

۵ در کادر شناور عدد ۱۰۰ را وارد کنید.

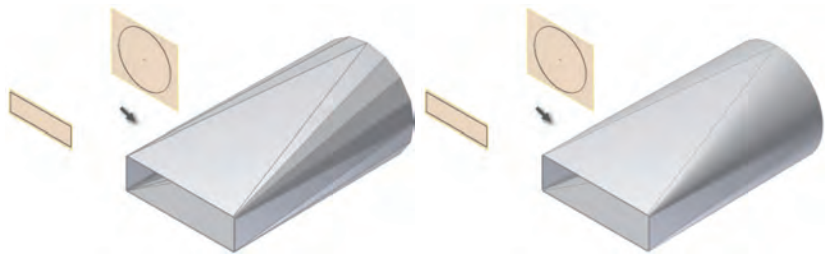
همچنین می توان در هنگام تعریف صفحه اسکچ با درگ کردن از روی یکی از صفحات یک صفحه کاری جدید تعریف نمود.



دستور Lofted Flange

این دستور برای ایجاد یک سطح با دو مقطع غیر یکسان کاربرد دارد. این مقاطع می‌توانند به شکل بسته یا باز باشند و همچنین می توانند به‌موازات یکدیگر هم نباشند. این سطوح کاربرد زیادی در ایجاد سطوح کانال‌ها تبدیل و طراحی ظروف نگهداری مواد که معمولاً بدنه‌ای مکعبی به‌دلیل اشغال فضای کمتر و درب‌های گرد برای استفاده راحت‌تر دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برای ایجاد سطوح به این شکل از دو روش فرمینگ و خمکاری می‌توان استفاده نمود. در روش فرمینگ سطوح هموار و یکنواخت می‌باشد و برای تولید انبوه نیاز به ساخت قالب با هزینه‌های زیاد دارد. ولی در روش خمکاری از پرس برک می‌توان برای ایجاد خطوط خم استفاده نمود.

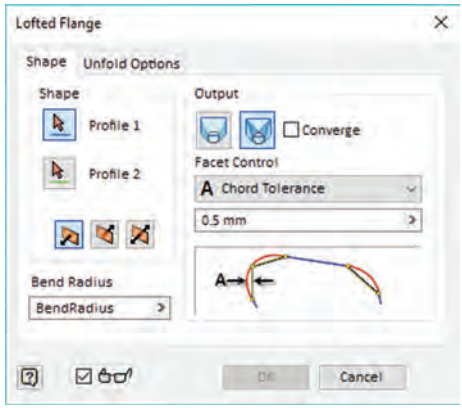


روش خمکاری　　روش فرمینگ

برای استفاده از این دستور ابتدا باید دو اسکچ در دو صفحه متفاوت رسم کرده و سپس دستور را اجرا نمود.

Profile 1 : انتخاب اسکچ اول برای ترسیم سطح

Profile 2 : انتخاب اسکچ دوم برای ترسیم سطح



: تعیین جهت ضخامت ورق نسبت به اسکچ اولیه به سمت داخل، خارج و یا به صورت دوطرفه

Bend Redius : شعاع خم مه به صورت پیش فرض در قوانین ورق کاری تعریف شده.

ایجاد سطوح به صورت فرمینگ و قالب فرم

ایجاد سطوح به روش خم کار با پرس برک

Converge : خطوط خم در حالت گسترش تقریباً به یک نقطه همگرا می‌شوند. (فقط در حالت خمکاری فعال می‌باشد.)

Face Control : کنترل سطح که می‌توان یکی از سه حالت زیر را انتخاب کرد (این قسمت در حالت خمکاری فعال می‌باشد.)

A Chord Tolerance : در این حالت حداکثر فاصله بین قوس و خط وتر تعیین می‌شود.

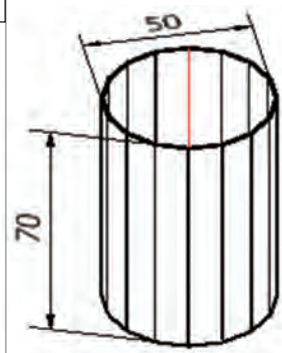
B Facet angle : در این حالت حداکثر زاویه بین وتر و خط مماس به سطح تعیین می‌شود.

C Facet Distance : در این حالت حداکثر طول وتر تعیین می‌شود.

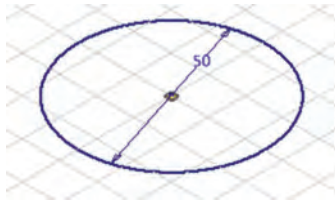
از این دستور هم می‌توان برای اشکال با مقاطع متفاوت استفاده نمود که تمرین‌هایی از آن در آخر بخش آمده است. همچنین می‌توان حجم‌هایی مانند استوانه که نیاز باشد به روش خم کاری (بدون رولیگ) تولید شود، استفاده نمود. در این دستور نیز می‌توان به‌جای استفاده از دستور خط برش (Rip) مقاطع را به‌صورت باز ترسیم نمود.

مثال استوانه‌ای ترسیم کنید که بتوان به کمک دستگاه پرس برک آن را تولید کرد.

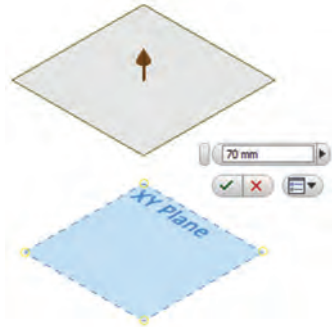
1



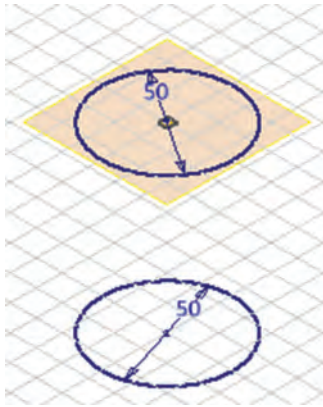
2 Circle



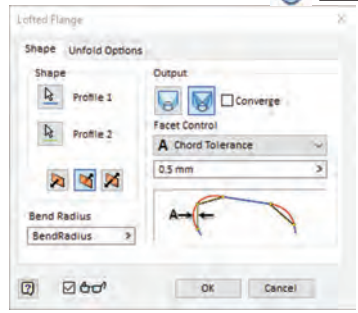
3 Offset from Plane



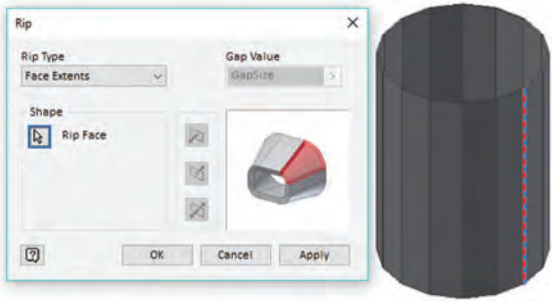
4 Circle



5 Lofted Flange

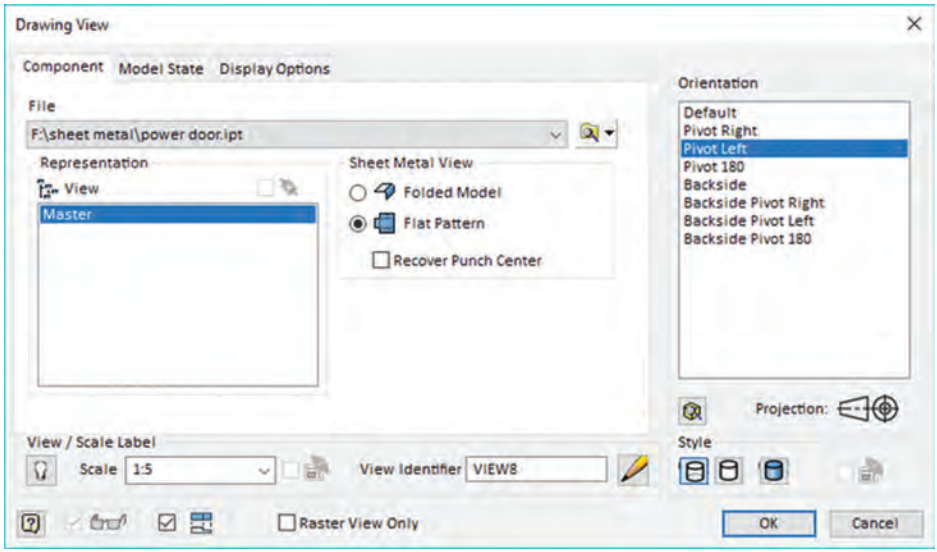


6 Rip



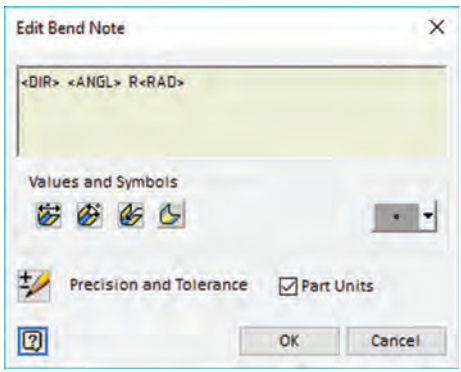
برای تولید ساده‌تر می‌توان از دو نیم استوانه نیز استفاده نمود.

ترسیم نقشه: در نقشه کشی فایل‌های شیت متال دو گزینه برای ترسیم وجود دارد. نقشه گرفتن از قطعه خم شده و نقشه گرفتن از قطعه گسترش یافته که همان‌طور که در کتاب درسی آمده می‌توان آن را از ابزار Base انتخاب نمود.



دستور Bend Notes

این دستور قادر است جهت، زاویه، شعاع خم و ضریب k را برای هر خم جداگانه در نقشه یادداشت نماید. این ابزار در منو Annotate قرار گرفته است. برای تغییر در نمایش با عدم نمایش متغیرها و یا تغییر در تعداد رقم اعشار روی یکی از یادداشت‌ها دابل کلیک کرده تا پنجره زیر باز شود و تنظیمات در آن انجام گردد.



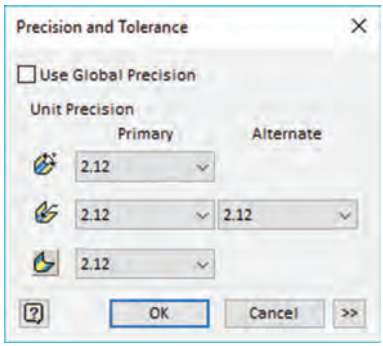
اضافه کردن جهت خم به متن یادداشت.

اضافه کردن زاویه خم متن به یادداشت.

اضافه کردن شعاع گوشه خم به متن یادداشت.

اضافه کردن ضریب K به متن یادداشت.

وارد کردن علامت‌های ویژه در متن.

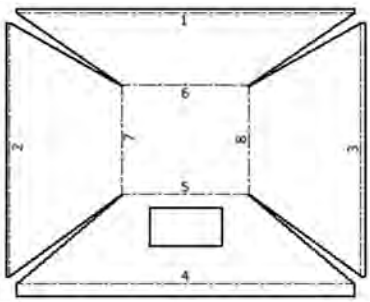


Precision and Tolerance: برای اضافه کردن تلرانس و تعداد رقم اعشار استفاده می‌شود که پس از برداشتن علامت در قسمت Use Global Precision می‌توان تعداد رقم اعشار هر گزینه را جداگانه تنظیم نمود.

در این مرحله از هنرجویان بخواهید تا جعبه‌های ساده‌ای را مدل‌سازی کنند و گسترش داده و یادداشت خم را روی آن اجرا کنند. و کار در کلاسی مربوطه را انجام دهند.

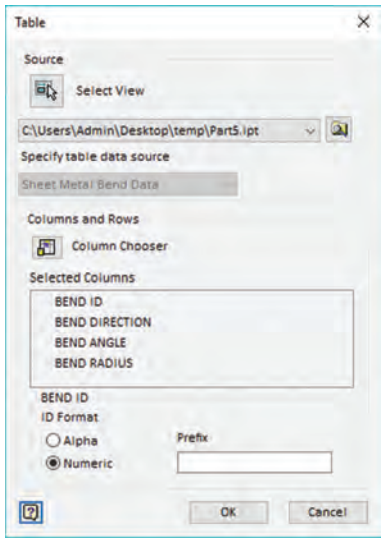
در صورتی که تعداد خم‌ها زیاد باشد از جدول خمکاری می‌توان استفاده نمود. این جدول شامل اطلاعات تمام خم‌ها می‌باشد. در این روش هریک از خم‌ها با یک شماره یا حرف نام‌گذاری شده و سپس در جدولی شماره خم، جهت خم، زاویه خم، شعاع خم و ضریب K برای هر خم مشخص می‌شود.

برای اجرای این دستور در ریبون از سربرگ Annotate گزینه General را انتخاب می‌نماییم.



TABLE

BEND ID	BEND DIRECTION	BEND ANGLE	BEND RADIUS
1	DOWN	60	0,8 mm
2	DOWN	71	0,8 mm
3	DOWN	71	0,8 mm
4	DOWN	66	0,8 mm
5	DOWN	24	0,8 mm
6	DOWN	30	0,8 mm
7	DOWN	19	0,8 mm
8	DOWN	19	0,8 mm



Bend Table

Select View : انتخاب نمای گسترش یافته

Column Chooser : انتخاب ستون‌های مورد نظر

BEND ID : شناسه خم

BEND DIRECTION : جهت خم

BEND ANGLE : زاویه خم

BEND RADIUS : شعاع خم

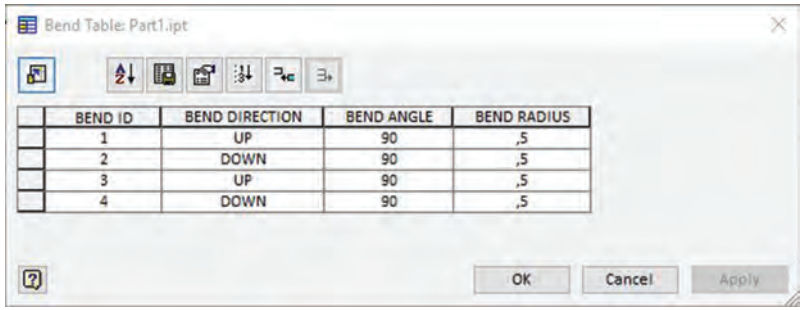
در قسمت BEND ID نحوه شماره‌گذاری مشخص می‌شود.

Alpha : استفاده از حروف الفبا برای نام‌گذاری

Numeric : استفاده از اعداد برای نام‌گذاری

Pre fix : انتخاب پیشوند برای نام خم‌ها برای مثال B1,B2 ،...

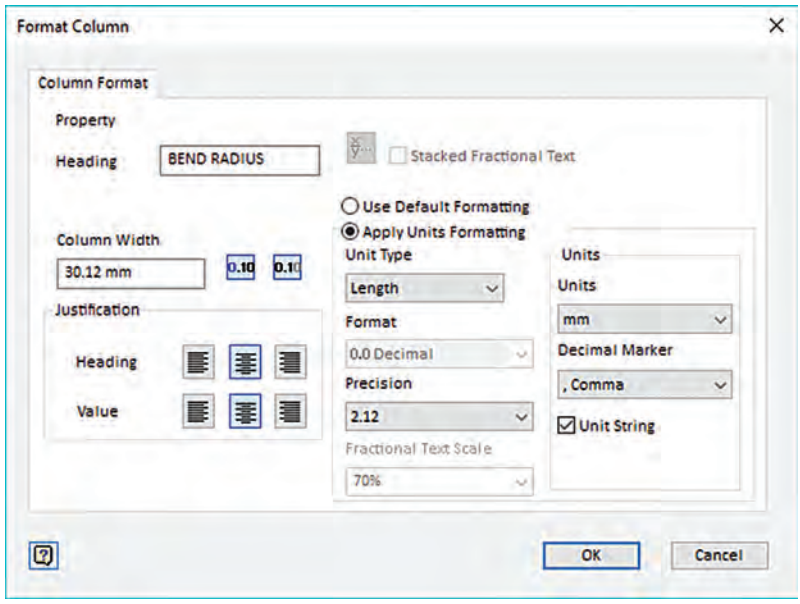
برای تغییر در قالب‌بندی جدول پس از ترسیم روی یکی از نوشته‌های جدول دابل کلیک کنید.

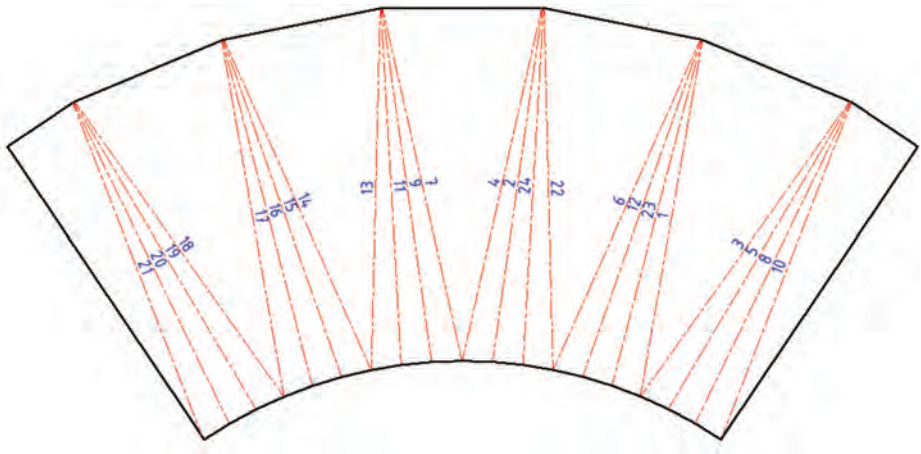


سپس روی سر ستون مورد نظر کلیک راست کرده و گزینه Format Column را انتخاب می‌کنیم. برای خارج شدن از حالت پیش فرض گزینه Apply Units Formatting را انتخاب می‌کنیم و در صورت نیاز تنظیمات زیر را انجام می‌دهیم.

Precision: دقت نمایش اعداد بعد از ممیز

: نمایش یا عدم نمایش صفر قبل و بعد از ممیز



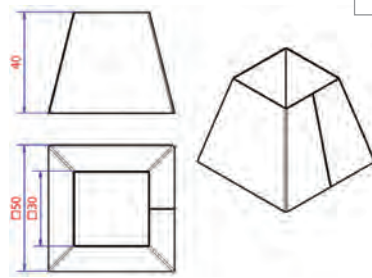


BEND ID	BEND DIRECTION	BEND ANGLE	BEND RADIUS	BEND ID	BEND DIRECTION	BEND ANGLE	BEND RADIUS
1	DOWN	10,1	0,5 mm	13	DOWN	10,1	0,5 mm
2	DOWN	19,7	0,5 mm	14	DOWN	10,1	0,5 mm
3	DOWN	10,1	0,5 mm	15	DOWN	19,7	0,5 mm
4	DOWN	10,1	0,5 mm	16	DOWN	19,7	0,5 mm
5	DOWN	19,7	0,5 mm	17	DOWN	10,1	0,5 mm
6	DOWN	10,1	0,5 mm	18	DOWN	10,1	0,5 mm
7	DOWN	10,1	0,5 mm	19	DOWN	19,7	0,5 mm
8	DOWN	19,7	0,5 mm	20	DOWN	19,7	0,5 mm
9	DOWN	19,7	0,5 mm	21	DOWN	10,1	0,5 mm
10	DOWN	10,1	0,5 mm	22	DOWN	10,1	0,5 mm
11	DOWN	19,7	0,5 mm	23	DOWN	19,7	0,5 mm
12	DOWN	19,7	0,5 mm	24	DOWN	19,7	0,5 mm

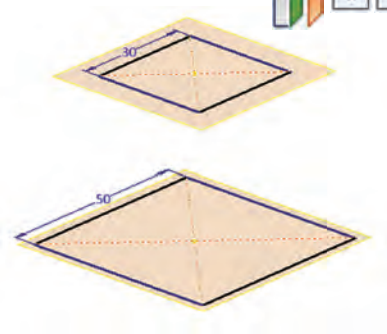
مثال

گسترش شکل زیر را بدست آورده و جدول خم را ترسیم نمایید.

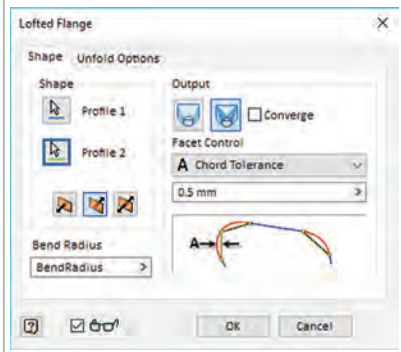
1



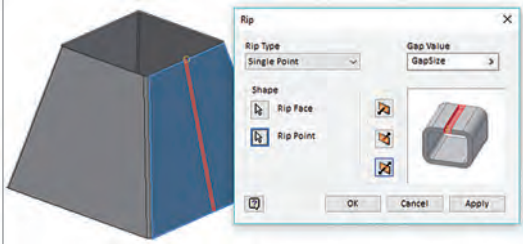
2



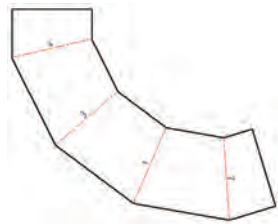
3 **Lofted Flange**



4 **Rip**



5 **Go to Flat Pattern**



6 **General Bend Table**

BEND ID	BEND DIRECTION	BEND ANGLE	BEND RADIUS
1	DOWN	86,8	0,5 mm
2	DOWN	86,8	0,5 mm
3	DOWN	86,8	0,5 mm
4	DOWN	86,8	0,5 mm

در کتاب نیز کار کلاسی با این هدف آورده شده و همچنین از هنرجویان بخواهید به صورت گروهی مدلی را طراحی کنند که تعداد خم زیاد با اندازه‌ها و جهت‌های متفاوت داشته باشد.

ارزشیابی نهایی: واحد یادگیری طراحی با نرم افزار

شایستگی	استاندارد عملکرد	نمره شایستگی	شاخص
طراحی با نرم‌افزار	ترسیم و گسترش یک مدل فلزی با نرم افزار اینونتور (Inventor)	۳	ترسیم مدل‌های جوشکاری شده برابر نقشه ترسیم سوراخ داخل مقاطع مخروطی برابر نقشه ترسیم فرنگی پیچ برابر نقشه ترسیم گسترش برابر نقشه
		۲	ترسیم گسترش مدل برابر نقشه ترسیم sketch برابر نقشه ترسیم دو بعدی با fillet برابر نقشه ترسیم دو بعدی برابر نقشه
		۱	ترسیم دو بعدی برابر نقشه
توضیحات:			

فصل ۳

انتخاب مواد مهندسی

جلسه	موضوع	مباحث قابل ارائه
اول	مفهوم مواد مهندسی	۱ـ تعریف ماده مهندسی ۲ـ خصوصیات ماده مهندسی
دوم و سوم	خواص سه گانه مواد مهندسی	۱ـ معرفی خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مواد و کاربرد آنها
چهارم	آلیاژهای مهندسی	۱ـ تعریف آلیاژ ۲ـ معرفی اجمالی مشهورترین آلیاژهای مهندسی و کاربرد آنها
پنجم	آهن و آلیاژهای آن	۱ـ تاریخچه آهن ۲ـ تعریف فولاد و انواع آن ۳ـ انواع فولاد از نظر کربن
ششم	فولاد ساده کربنی	۱ـ معرفی فولاد ساده کربنی ۲ـ استانداردهای دسته‌بندی و نامگذاری فولادهای ساده کربنی
هفتم	کاربردهای فولاد ساده کربنی (۱)	معرفی فولاد ساده کربنی و مصادیق آن (جدول ۶)
هشتم	کاربردهای فولاد ساده کربنی (۲)	بررسی کاربرد فولادهای ساده کربنی (تمرین پس از جدول ۶)
نهم	فولادهای آلیاژی	۱ـ تعریف فولاد ۲ـ اثر عناصر آلیاژی در خواص فولاد ۳ـ محدوده عناصر آلیاژی در فولاد
دهم	فولادهای زنگ نزن	۱ـ مفهوم فولادهای زنگ نزن ۲ـ نامگذاری فولاد زنگ نزن
یازدهم	آلومینیم و آلیاژهای آن	۱ـ معرفی آلومینیم و کاربرد آن ۲ـ نامگذاری آلیاژهای آلومینیم
دوازدهم	مس و آلیاژهای آن	۱ـ معرفی مس و کاربرد آن ۲ـ نامگذاری آلیاژهای مس
سیزدهم	معرفی شکل‌های گوناگون محصولات فلزی	
چهاردهم	معرفی ورق و نحوه سفارش‌گذاری و خرید آن	
پانزدهم	امتحان پایان دوره	

مقدمه

همان‌گونه که در زندگی خود مشاهده می‌کنید فناوری‌ها بسیار در زندگی ما اثرگذار است. از صنعت نساجی، صنایع غذایی، ساختمان و خودرو گرفته تا الکترونیک و مخابرات و... عینیت یافتن فناوری در سایه استفاده از مواد مهندسی امکان‌پذیر است. در همه این مواد پیشرفت فناوری و پیشرفت مواد وابسته به یکدیگرند. به عنوان مثال حدود دهه ۵۰ میلادی ظروف بسته‌بندی نوشابه از جنس شیشه بود، علت این انتخاب مقاومت شیشه به خوردگی و واکنش ندادن با نوشابه که حاوی مواد خورنده شیمیایی است می‌باشد. با پیشرفت تکنولوژی پلیمرها کم‌کم شیشه‌های نوشابه با ظروف پلیمری که بسیار ارزان‌تر، سبک‌تر با قابلیت بازیافت و مقاوم به شکست بودند جایگزین شدند. علاوه بر آن پیشرفت تکنولوژی‌های شکل‌دهی فلزات باعث شد قوطی‌های آلومینیمی نیز بتوانند در این جایگزینی شرکت نمایند. که مزایایی از جمله ماندگاری طولانی‌تر نوشابه و مقاومت به شکست و سبکی را نسبت به شیشه دارا می‌باشند.

همان‌طور که می‌بینید پیشرفت تکنولوژی سبب تغییرات در مواد مهندسی در ساخت یک محصول می‌شوند.

در کلیه رشته‌های فنی و حرفه‌ای مواد مورد استفاده در تکمیل فن و حرفه انکار نا شدنی است. در میان کلیه رشته‌های تحصیلی فنی، تنها دو رشته است که نامشان برگرفته از ماده اولیه مورد استفاده در آن رشته است این دو رشته عبارت‌اند از: صنایع فلزی و سرامیک، همین مسئله سبب می‌شود در این دو رشته در کنار آموزش فناوری‌های مورد استفاده در ساخت مصنوعات، شناخت مواد اولیه نیز جایگاه و اهمیت ویژه داشته باشد.

مصنوعات زیر را در نظر بگیرید:

۱ سیخ کباب آلومینیمی
۲ ظروف یکبار مصرف آلومینیمی برای نگهداری مواد غذایی مانند برنج
۳ سه نظام چدنی دستگاه تراش
۴ ورق کانال کولر ورق گالوانیزه
۵ لوله ساخت دوچرخه فولادی
۶ سینک ظرفشویی فولاد زنگ نزن

به نظر شما علت انتخاب مواد نام برده شده در هر کاربرد چیست؟

در سؤال قبل فرض کنید مواد مورد استفاده جابه‌جا می‌شد، چه مشکلی پیش می‌آمد؟ به عنوان مثال:

سیخ، ورق گالوانیزه
کانال کولر، فولاد زنگ نزن
دوچرخه، چدنی
سینک ظرفشویی، آلومینیمی

همان‌گونه که می‌بینید انتخاب صحیح یک ماده برای ساخت یک مصنوع در مقبولیت و موفقیت فروش یک محصول به شدّت مؤثر خواهد بود.
علاوه بر این شناخت مادهٔ با کیفیت از مادهٔ بی‌کیفیت نیز در ساخت یک محصول مناسب مؤثر است. مثلاً زمانی که حین خمکاری ورقی ترک می‌خورد یا پیچی در اثر وارد شدن بار می‌شکند می‌تواند به دلیل نامرغوب بودن و یا نامناسب بودن ماده مورد استفاده در ساخت مصنوعات فلزی باشد. در این پودمان تلاش بر آن است نگاهی کاربردی، هر چند مقدماتی نسبت به مواد در ذهن هنرجو ایجاد شود تا در آینده کاری بتواند با تکیه بر آن نسبت به انتخاب و تهیه ماده مناسب برای ساخت محصول موفق عمل نماید.

جلسه اول موضوع: مفهوم ماده مهندسی

هدف: آشنایی با مفهوم ماده مهندسی و شناخت تفاوت آن با سایر مواد

مفاهیم

مواد مهندسی نیازمند خواص مشخص و غیرقابل تغییر می‌باشند تا بر اساس آن بتوان کاربردی را طراحی نمود. همچنین باید غیرجاندار باشند، جانداران با گذشت زمان دائماً در حال تغییر خواص و ابعاد می‌باشند. از این رو اولین شرط یک ماده مهندسی غیرجاندار بودن آن است. مثلاً تا مادامی که چرم به عنوان پوست گاو بر روی بدن گاو باشد خواص ارتجاعی آن در حال تغییر است اما از زمانی که از بدن گاو جدا شود به دلیل عدم تغییر به عنوان ماده سخت، که به نام چرم شناخته می‌شود استفاده می‌گردد. به سختی که چرم دارد در لغت فارسی اصطلاحاً چقرمگی گفته می‌شود. از این رو پوست گاو از زمانی که می‌میرد ماده مهندسی محسوب می‌شود. همانند این مثال را برای تنه درخت و چوب، پیله کرم ابریشم و نخ ابریشم و نظایر آن می‌توان به‌کار برد.
نکته دیگری که قابل ذکر است آن که ماده مهندسی، ماده‌ای است که بتوان با آن مصنوعی را تولید نمود. از آنجایی که مصنوعات دارای شکل و ابعاد مشخصی هستند از این رو در دمایی که مصنوع استفاده می‌شود ماده اولیه مورد استفاده باید جامد باشد. به عنوان مثال یخ یک ماده مهندسی است زیرا با آن می‌توان مجسمه یا کلبه ساخت ولی زمانی که یخ ذوب شود و تبدیل به آب شود دیگر نمی‌توان با آن مصنوعی ساخت، بنابراین آب ماده مهندسی محسوب نمی‌شود.

روش تدریس

برای بیان مفاهیم این جلسه توجه داشته باشید هنرجو شناخت حسی دقیقی از مواد دارد زیرا آنها را لمس کرده است. بنابراین سعی کنید مفهوم ماده مهندسی را با ذکر مثال‌های موجود در زندگی عادی انسان به هنرجو بیاموزید. مثلاً با ذکر مثال از موادی که زمانی زنده بوده‌اند و الان در زندگی بشر به عنوان مصنوع استفاده می‌شوند مفهوم غیرجاندار بودن ماده مهندسی را باز نمایید. لازم به ذکر است که مواد مهندسی لزوماً از بدو آفرینش جاندار نبوده‌اند مانند فلزات و سرامیک‌ها.

از هنرجویان بخواهید مثال‌های گوناگونی از مواد کاربردی در زندگی خودشان نام ببرند.

هدف از تمرین صفحه ۱۰۲ آن است تا ذهن هنرآموز با این نکته آشنا شود که در ساخت یک مصنوع مواد مختلف با خواص متفاوتی می‌توانند استفاده شوند که بعضاً به جای هم قابل استفاده نیستند مثلاً تیردروازه باید فلزی و مستحکم باشد. در صورتی که توپ باید چرم یا پلاستیک با قابلیت ارتجاعی مطلوب باشد. اگر توپ فلزی باشد علاوه بر سنگینی در اثر شوت کردن توپ قُر می‌شود یا اگر تیر دروازه با چرم ساخته شود استحکام و پایداری خود را نمی‌تواند حفظ کند.

در تمرین صفحه ۱۰۳ کتاب درسی هدف آن است که هنرجو متوجه شود اولاً کلیه مواد مهندسی غیرجاندارند و البته برخی از مواد جاندار ساخته شده‌اند، مثلاً پارچه پشمی از پشم گوسفند و مقوا از درخت که هر دو زمانی موجود زنده بوده‌اند ساخته شده است.

در تمرین صفحه ۱۰۴ کتاب درسی هدف آن است تا هنرجو متوجه شود تا ماده‌ای که برای ساخت یک محصول به‌کار می‌رود باید جامد و غیرجاندار باشد. بنابراین برگ درخت و آب اولی به دلیل جاندار بودن و تغییر خواص و دومی به دلیل مایع بودن قابل استفاده نمی‌باشند.

پس از حل این سه تمرین، تمرین صفحه ۱۰۵ کتاب درسی باید به این نتیجه منجر شود که ماده مهندسی دارای دو ویژگی است:

الف) غیرجاندار

ب) جامد

دانش افزایی

زمانی که صحبت از مواد مهندسی می‌شود، کلمه «مواد» به همهٔ انواع مواد در جهان اشاره نمی‌کند. اگر این چنین بود، تمام علوم فیزیکی و علوم‌زیستی از نجوم تا جانورشناسی را شامل خواهد شد! با تعریف کلمه بی‌جان[1]، ما می‌توانیم علوم مربوط به موجودات زنده را از حوزهٔ تعریف خود حذف کنیم. علاوه بر این، می‌توان تعریف را تنها به مواد مهم و کاربردی برای بشر محدود نمود. حتی در این حالت هم محدودهٔ مواد برای مهندسان بسیار وسیع خواهد بود. برای مثال، می‌توانیم تعداد زیادی از

۱_ Inanimate

چیزهایی را که برای انسان مفید است، مانند غذا، دارو، مواد منفجره، مواد شیمیایی، آب، فولاد، پلاستیک و بتن و.. لیست کنیم که فقط چند مورد از آنها به عنوان مواد مهندسی شناخته شده‌اند. پس لازم است که به طور مشخص‌تر اصطلاح مواد را به عنوان بخشی از مواد غیرزنده تعریف کنیم که برای اهداف مهندسی کاربردی است. نکته دیگری که قابل ذکر است این است که اصطلاح مواد مهندسی، با وجود نمونه‌هایی از مواد مایع و گاز مانند اسید سولفوریک و بخار، که در مهندسی کاربرد دارد، فقط به مواد جامد اشاره می‌کند.

طبقه‌بندی مواد مهندسی

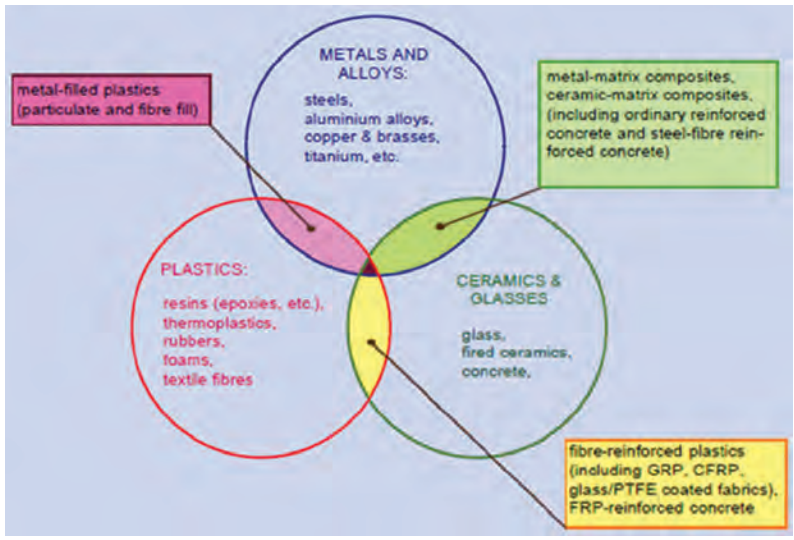
مواد مهندسی را با ویژگی‌هایی که تعریف شد در سه گروه گسترده مطابق زیر طبقه‌بندی می‌کنیم:

(i) فلزات و آلیاژها؛

(ii) سرامیک‌ها و شیشه‌ها؛

(iii) پلیمرهای آلی.

فلزات اشیا آشنا با ظاهر مشخص هستند، توانایی تغییر شکل دائمی و هدایت گرمایی و الکتریکی خوب خواص مشترک آنهاست. آلیاژ ترکیبی از بیش از یک فلز است. سرامیک و شیشه‌ها مواد معدنی غیرفلزی هستند که شکننده هستند و خواص حرارتی و الکتریکی عایق دارند. پلیمرهای آلی نسبتاً بی‌اثر و سبک هستند و به طور کلی دارای درجه بالایی از پلاستیسیته هستند. شکل زیر نمونه‌هایی از هر یک از این سه گروه مواد را نشان می‌دهد. علاوه بر این، تعدادی از مواد که از دو گروه مختلف تشکیل شده‌اند و کامپوزیت نامیده می‌شود، نیز نشان داده شده است.



تقسیم‌بندی مواد مهندسی

مواد را می‌توان به روش دیگری با توجه به زمینه اصلی کاربرد آنها طبقه‌بندی کرد. این زمینه‌ها عبارت‌اند از:

(i) سازه‌ها

(ii) ماشین‌آلات، و...

(iii) دستگاه‌ها

سازه‌ها به اجسامی بدون قطعات متحرک گفته می‌شود، مانند سد بتونی، کوره ذوب فولاد، پل معلق و برج پالایش نفت. ماشین‌آلات شامل تیغه‌ها، توربین بخار و گاز، موتور، موتور الکتریکی و ژنراتور است. دستگاه‌ها اخیراً بر مواد مهندسی افزوده شده‌اند و به نوآوری‌هایی مانند ترانزیستور، سلول‌های فوتوالکتریک، فشارسنج پیزوالکتریک، آهنرباهای سرامیکی و لیزرها اشاره دارد.

برای ساخت یک محصول ممکن است، از هر سه گروه بالا استفاده شود. برای نمونه، سازه هواپیما از آلیاژهای آلومینیم و پلاستیک ساخته شده است؛ یک کوره ذوب فولاد از مواد دیرگداز و فولاد سازه‌ای ساخته شده است. کلاه ایمنی از پلاستیک تقویت شده توسط رشته‌های شیشه‌ای ساخته شده است.

شناسایی و انتخاب مواد

کمیت و گستردگی کیفیت نیازهای بشر به انواع مواد و مصالح صنعتی فلزی و غیرفلزی، بسیار بدیهی و روشن است. با کمی تأمل می‌توانیم مثال‌های زیادی در این زمینه از زندگی روزمره خود بزنیم. بخش بزرگی از این مصالح صنعتی را فلزات و آلیاژ آنها تشکیل می‌دهند که در تمام فعالیت‌های صنعتی نقش کاربردی خود را یافته‌اند؛ به عنوان مثال در ساخت یک اتومبیل انواع مواد فولادی، چدنی، آلیاژهای آلومینیمی، شیشه و مواد سرامیکی لاستیکی، پلاستیکی و... به کار رفته است. با توجه به اینکه برای هر یک از این مواد، می‌توان هزاران نوع محصول در نظر گرفت، همگی بر اهمیت و ضرورت نیازهای بشر به مواد مختلف دلالت می‌کند؛ بنابراین، لزوم شناخت مواد و ویژگی‌های آنها به منظور انتخاب و گزینش صحیح و به کارگیری درست آنها بدیهی و روشن است امروزه مهندسان ما باید وسایل و قطعاتی طراحی کنند که بتوان از آنها در طیف وسیعی از وضعیت‌های محیطی استفاده کرد، به عنوان نمونه، بعضی از قطعاتی که در زیردریایی‌ها به‌کار می‌روند می‌باید بتوانند، فشار بسیار زیاد اعماق اقیانوس‌ها را تحمل کنند، یا قطعاتی که در سفینه‌های فضایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در فشار بسیار اندک خارج از جو زمین باید کارایی خود را حفظ نمایند یک مهندس پیش از کاربرد یک ماده لازم است ویژگی‌های آن را از قبیل حرارتی، استحکام، مغناطیسی، ساختاری، مقاوم بودن به خوردگی و همچنین روش‌های حفظ این خصوصیات را بداند.

عوامل مؤثر در انتخاب مواد

در انتخاب مواد، عوامل متعددی می‌تواند نقش داشته باشد که علاوه بر جنبه اقتصادی از دیدگاه‌های فنی، سیاسی، اجتماعی، فرهنگی و... نیز اهمیت دارد.
عامل قیمت تمام شده یکی از مؤثرترین عوامل در گزینش ماده است. اصولاً تمامی تلاش‌های علمی و تکنولوژی در جهت کم کردن قیمت اقتصادی مواد به عمل می‌آید. البته عامل اقتصادی را نباید با از بین بردن کیفیت و از دست دادن ویژگی‌های کاربردی مورد انتظار، به حد مطلوب رسانید؛ یعنی ارزانی به تنهایی مطلوب نیست بلکه باید با بهینه کردن فرایندهای ساخت و تولید، مواد جایگزین، و کاهش مراحل تولید در جهت کاهش قیمت آنها تلاش نمود.

معیارهای انتخاب مواد

هنر مهندسان این است که انتخابی صحیح از به کارگیری مواد داشته باشند. اگر طراحان بخواهند با طرح وسایل یا سیستم‌های جدید به حل مسائل کمک کنند و به مواد جدید و راه‌حل‌هایی تازه دست یابند، لازم است به دانش مناسبی در زمینه خواص و رفتار مواد مورد استفاده دست یابند این دانش با کمک علومی همچون شیمی، فیزیک، متالورژی، مکانیک، دیگر علوم و دانش تجربی، فن، تکنولوژی و اطلاعات وسیع ثبت شده در زمینه رفتار مواد فراهم می‌شود؛ برای مثال انتخاب مواد برای هواپیما و صنایع فضایی بر اساس ملاحظات وزنی صورت می‌گیرد. البته دسته‌بندی کردن معیارهای انتخاب مواد، کاری دشوار است و باید در هر مورد با توجه به اصل بهینه نمودن به بررسی عوامل مؤثر پرداخت. صرفه‌جویی اقتصادی به دست آوردن خواص مورد نظر، به کارگیری فرایندها و روش‌های مناسب برای تولید در این مقوله اهمیت بسیاری دارد.

جلسه دوم و سوم موضوع: خواص سه‌گانه مواد مهندسی

هدف: آشنایی با مفهوم و انواع خواص مواد مهندسی

مفاهیم

مواد مهندسی دارای ویژگی‌های گوناگونی می‌باشند و کاربردهایشان به واسطه این ویژگی‌ها تعیین می‌شود.
مثلاً فلز سرب دارای کاربردهای گوناگونی است به عنوان مثال:

۱. منگوله‌های سندهای دفترچه‌ای
۲. صفحات باتری‌های سرب ـ اسیدی
۳. صفحات ثقل در ماشین‌های مرتفع (اتوبوس دو طبقه) یا ماشین‌های مسابقه
۴. دیوارهای محافظ پرتوهای پر انرژی مثل پرتو ایکس و گاما
۵. آلیاژ لحیم

در کاربرد اول علت به‌کارگیری سرب انعطاف‌پذیری و نرمی بسیار زیاد می‌باشد.
در کاربرد دوم علت استفاده از سرب مقاومت عالی به خوردگی خصوصاً در برابر اسیدسولفوریک می‌باشد.
در کاربرد سوم علت استفاده از سرب چگالی بالای آن است.
در کاربرد چهارم علت استفاده از سرب عدد اتمی بالا که باعث جذب پرتوهای پرانرژی می‌شود.
در کاربرد پنجم علت استفاده از سرب نقطه ذوب پایین آن است.
همان‌گونه که ملاحظه شد سرب در ۵ کاربرد مختلف به دلیل ۵ ویژگی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد.
همه مواد داری خواص متنوعی هستند و در نتیجه کاربردهای گوناگون خواهند داشت. از این‌رو شناخت خواص مواد گوناگون در انتخاب و استفاده از یک ماده مهندسی مناسب نقش مهم خواهد داشت عبارت‌اند از:
۱ـ فیزیکی: خواص ذاتی ماده که تابع ساختار بلوری، الکترونی مواد است مثلاً:
۱ـ۱ـ هدایت الکتریکی تابع تعداد الکترون‌های آزاد ماده است.
۱ـ۲ـ چگالی تابع عدد اتمی و فشردگی ساختار بلوری است مثلاً اغلب آلیاژها یا ساختار FCC به دلیل فشردگی بالا معمولاً دارای چگالی بیشتری هستند.
۱ـ۳ نقطه ذوب: تابع پیوند بین اتم‌های ماده است. هر اندازه پیوندهای بین اتم‌ها و مولکول‌ها قوی‌تر باشد برای جدا کردن اتم‌ها نیاز به انرژی حرارتی و پیرو آن دمای بیشتری می‌باشد.
شما می‌توانید با جست‌وجو در مراجع سایر خواص فیزیکی را استخراج نمایید.
۲ـ مکانیکی: خواصی هستند که حاصل عکس‌العمل ماده تحت اثر بارگذاری معنی پیدا می‌کنند و البته بیشتر تابع ساختار میکروسکوپی و تا حدی ساختار بلوری می‌باشند.
۳ـ خواص شیمیایی: حاصل عکس‌العمل (رد و بدل الکترونی) ماده با یون‌های موجود در سرویس کاری ماده می‌باشند.

روش تدریس

از هنرجو بخواهید پس از آشنایی با خواص سه گانه مواد انبوهی از مواد مورد استفاده حول و حوش خود را مورد تأمل قرار دهد تا بتواند نسبت به خاصیت کاربردی ماده در هر کاربرد نظر بدهد. در جدول ۱ سعی شده است تا دید نسبتاً جامعی نسبت به کاربرد هر خاصیت به هنرجو منتقل شود.
در جدول ۱ برای هر خاصیت کاربردهای دیگری علاوه بر جدول ۱ صفحه ۱۰۶ بیان شده است.

جدول ۱ــ مثال‌هایی از کاربرد مواد بر اساس خواص آنها

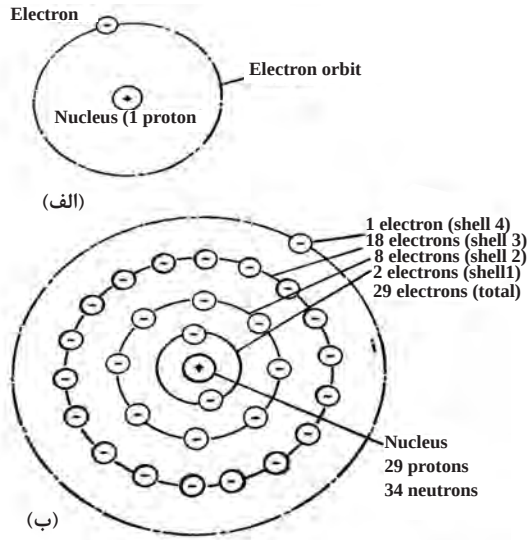
خاصیت	مثال	سطح کیفیت	توضیح
براقیت Brightness	آجر آلومینیم طلا	بسیار کم متوسط عالی	آجر: به دلیل کیفیت ساختاری و وجود خلل و فرج ساختاری نمی‌تواند منعکس‌کننده نور باشد. آلومینیم: به دلیل اکسید تشکیل شده که دارای پستی و بلندی سطحی است. نور را متفرق می‌سازد و بازتابش معمولی دارد. طلا: به دلیل عدم وجود هر گونه لایه اکسیدی پس از پرداخت نور را به دلیل سطح خالص فلزی باز می‌گرداند.
هدایت حرارتی Thermal Conductivity هدایت الکتریکی Electrical Conductivity	مس چدن گرافیت سرامیک	عالی خوب متوسط بسیار ضعیف	فلزات: به دلیل الکترون‌های آزاد که حامل انرژی و الکتریسیته می‌باشند به راحتی حرارت و الکتریسیته را انتقال می‌دهند. حال هر اندازه تعداد این الکترون‌های آزاد بیشتر باشد هدایت مناسب‌تر است از این رو هر اندازه شماره گروه یک فلز در جدول تناوبی بیشتر باشد معمولاً هدایت حرارتی مناسب‌تری دارند. سرامیک‌ها: به دلیل پیوند کووالانسی یا یونی الکترون آزاد ندارند و از انتقال ضعیفی برخوردارند.
انبساط حرارتی Thermal Expansion	آلومینیم مس فولاد چدن شیشه آجر معمولی آجر نسوز	عالی عالی خوب متوسط کم خیلی کم ناچیز	انبساط حرارتی تابع آزادی حرکت اتم‌ها و البته فشردگی آنها می‌باشد. فلزات به‌دلیل ساختار پیوند فلزی از آزادی حرکت الکترون‌ها و اتم‌ها برخوردارند به این دلیل در اثر افزایش یا کاهش دما، حرکت آزادانه اتم‌ها سبب انبساط یا انقباض شدید در ماده می‌شود. در میان فلزات، ساختارهای FCC به دلیل فشردگی بالاتر ضریب انبساط بیشتری دارند. در میان BCCها چدن از همه کمتر است علت آن نیز به دلیل وجود گرافیت در ساختار است که مانند آخال عمل می‌کند. در اثر انبساط فضای خالی بین گرافیت و زمینه پر شده و در نتیجه باعث کنترل انبساط طولی چدن می‌شود. سرامیک‌ها و پلیمرها: به دلیل پیوند کووالانسی و یونی مستحکم که در ساختار آنها حاکم است جلوی حرکت آزادانه اتم‌ها را در اثر افزایش یا کاهش دما می‌گیرند و نتیجه آن ضریب انبساط حرارتی اندک سرامیک‌ها می‌باشد. در این بین چون شیشه ساختار آمورف دارد نسبت به آجر یا آجر نسوز که دارای ساختار کووالانسی است دارای ضریب انبساط بیشتری است.
ظرفیت گرمایی ویژه	آجر نسوز شیشه آلومینیم فولاد	عالی عالی خوب متوسط	هر اندازه پیوند اتمی بین اتم‌های ماده مستحکم‌تر باشد انرژی لازم برای افزایش نوسان حرارتی اتم‌ها افزایش می‌یابد. از این رو انرژی لازم برای افزایش دمای ماده بیشتر خواهد شد.

استحکام	فولاد آلومینیم سرب	بالا کم کم	تابع ساختار میکروسکوپی و پیوند اتمی است.
سختی	سرامیک فلزات پلیمر	زیاد کم تا زیاد کم	مشابه استحکام
چقرمگی	فلزات سرامیک	بالا ـ متوسط ناچیز	هر اندازه ساختار منعطف‌تر باشد انرژی اعمال شده به ماده بیشتر صرف تغییر شکل شده و بنابراین مقدار انرژی کمتری برای گسست مواد باقی می‌ماند. البته عوامل ممانعت‌کننده رشد ترک مانند اندازه دانه نیز بر این مسئله مؤثرند.

دانش افزایی

علم پایه مواد

اتم‌ها را می‌توان به عنوان کوچک‌ترین ذرات سازنده ماده در نظر گرفت که دربرگیرنده همه خواص شیمیایی آن ماده است. یک اتم از نظر الکتریکی خنثی است چون در اتم تعداد الکترون‌های با بار منفی با پروتون‌های دارای بار مثبت برابر است. شکل (الف) یک اتم گاز هیدروژن (ساده‌ترین اتم) و شکل (ب) یک اتم از فلز مس را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شماتیک آرایش الکترونی اتم‌های الف) گاز هیدروژن ب) فلز مس

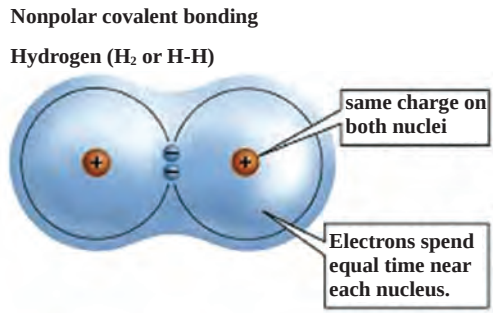
همان‌طور که مشاهده می‌کنید هر دو اتم در شکل ۲ از یک هسته تشکیل شده‌اند که یک یا چند الکترون در اطراف آن درحال چرخش هستند. اگر چه الکترون‌ها غالباً در مدار خود در حال گردش‌اند، اما الکترون‌ها آن‌گونه که در شکل ۲ (ب) نشان داده شده است در مدار خود به صورت صلب حرکت نمی‌کنند و به این اندازه ثابت نیستند اکنون فرض می‌شود که الکترون‌های اطراف هسته اتم آزادانه به شکل «ابر الکترونی» حرکت می‌کنند. ساختار اصلی اتم به شرح زیر است:

- **هسته:** این هسته مرکز اصلی اتم است که شامل پروتون‌ها و نوترون‌ها است.
- **پروتون‌ها:** این ذرات دارای بار مثبت و جرمی بسیار بزرگ‌تر از الکترون‌ها دارند.
- **نوترون‌ها:** این ذرات جرمی مشابه پروتون دارند اما هیچ بار الکتریکی ندارند. جرم اتم به طور کلی مجموع جرم پروتون‌ها و نوترون‌های موجود در هسته است زیرا جرم الکترون‌ها در مقایسه با آنها ناچیز است.
- **الکترون‌ها:** این ذرات دارای بار منفی هستند و مانند سیاره‌های اطراف خورشید به دور هسته اتم می‌گردند. اگرچه الکترون‌ها بسیار کوچک هستند و فقط ۱/۱۸۳۶ جرم یک پروتون یا یک نوترون دارند، آنها بسیار مهم هستند زیرا با توجه به آنها چگونگی اتصال اتم‌ها به یکدیگر جهت تشکیل مولکول‌ها تعیین می‌شود. خواص شیمیایی یک اتم، این است که چگونه آن اتم‌ها با اتم‌های دیگر ترکیب می‌شوند و این خواص به وسیله تعداد الکترون‌های آن تعیین می‌شود. الکترون‌ها همچنین خواص الکتریکی و مغناطیسی یک ماده را تعیین می‌کنند.
- **یون‌ها:** یون‌ها اتم‌هایی هستند که یک یا چند الکترون را از دست داده‌اند یا گرفته‌اند. با از دست دادن الکترون، اتم دارای بار الکتریکی مثبت می‌شود، زیرا در هسته اتم پروتون بدون بار منفی خنثی‌کننده باقی می‌ماند. چنین یونی یون مثبت نامیده می‌شود، به‌دست آوردن الکترون باعث می‌شود که اتم دارای بار الکتریکی منفی شود زیرا در هسته اتم پروتون اضافی خنثی‌کننده بار منفی الکترون وجود ندارد. چنین یونی یون منفی نامیده می‌شود.
- **ایزوتوپ‌ها:** از آنجایی که الکترون در مقایسه با پروتون خیلی کوچک است، می‌توان گفت جرم اتم در هسته آن متمرکز شده است. همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، نوترون ذره‌ای است که جرمی برابر پروتون دارد اما بار الکتریکی ندارد. بنابراین، اگر تعداد نوترون‌ها در هسته اتم تغییر کند، جرم آن تغییر خواهد کرد اما خواص شیمیایی آن تغییر نمی‌کند، زیرا هیچ تغییری در تعداد الکترون‌های آن رخ نداده است. اتم‌هایی که دارای خواص شیمیایی مشابهی هستند اما جرم آنها با هم متفاوت است، به عنوان ایزوتوپ‌های یک ماده در نظر گرفته می‌شوند.
- **مولکول‌ها و شبکه‌های کریستالی:** تاکنون، اتم به عنوان یک ذره آزاد در نظر گرفته شده است. با این حال، جدا از گازهای نجیب مانند نئون (که در لوله‌های تخلیه الکتریکی استفاده می‌شود) و آرگون (که به‌عنوان یک گاز محافظ برای بعضی

از فرایندهای جوشکاری استفاده می‌شود)، اتم‌ها به‌ندرت به صورت ذرات مجزا آرایش پیدا می‌کنند. معمولاً به شکل گروه‌های کوچک یا بزرگ همراه با دیگر اتم‌ها هستند و بسته به اینکه چگونه این اتم‌ها در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، مولکول‌ها یا شبکه‌های کریستالی را می‌سازند. معمولاً دو راه برای اتصال اتم‌ها به یکدیگر وجود دارد:

پسوند کووالانسی

شکل ۳ مولکول بسیار ساده‌ای که متشکل از دو اتم هیدروژن است را نشان می‌دهد. مشاهده می‌کنید که اتم‌ها با به اشتراک گذاشتن الکترون‌هایشان پیوند ایجاد می‌کنند. الکترون‌هایی که توسط اتم‌ها به اشتراک گذاشته می‌شوند الکترون‌های لایه بیرونی هستند که به آنها الکترون لایه ظرفیت گفته می‌شود. از آنجا که پیوند با به اشتراک گذاشتن الکترون‌ها ایجاد شده است، به عنوان یک پیوند کووالانسی نامیده می‌شود.



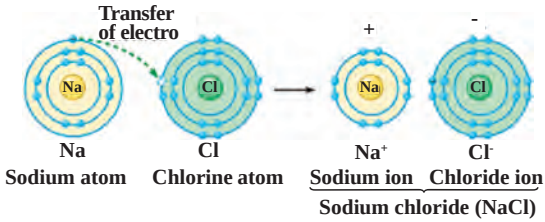
شماتیک پیوند کووالانسی

پیوند یونی (پیوند فلزی)

این پیوند توسط انتقال کامل یک الکترون از یک اتم به اتم دیگر تشکیل شده است. ترکیبات تولید شده توسط پیوند یونی مولکول‌ها را تشکیل نمی‌دهند، بلکه شبکه‌های کریستالی هستند، مانند جامدات بلورین، از جمله فلزات. به عنوان مثال، در نمک خوراکی (سدیم‌کلرید)، یک اتم سدیم تنها یک الکترون در لایه بیرونی (valency) دارد، اما در لایه قبلی خود هشت الکترون دارد. یک اتم کلر دارای ۷ الکترون در لایه بیرونی (valency) است.

برای تبدیل شدن به یک ترکیب پایدار هر دو اتم باید در لایه بیرونی خود هشت الکترون (لایه الکترونی کامل) داشته باشند. برای رسیدن به این هدف، اتم سدیم تنها الکترون لایه بیرونی خود را از دست می‌دهد و به یون مثبت (کاتیون) تبدیل می‌شود. اتم کلر این الکترون را می‌گیرد و لایه بیرونی آن تکمیل می‌شود و به یون منفی (آنیون) تبدیل می‌شود.

از آنجا که ذرات با بار الکتریکی متفاوت یکدیگر را جذب می‌کنند، یون‌سدیم به اتم کلر جذب می‌شود و پیوند یونی تشکیل می‌شود. در عین حال، هر دو اتم به لایه بیرونی کامل (هشت الکترون) می‌رسند. این پیوند در شکل زیر نشان داده شده است.
همان‌طور که اتم‌ها توسط پیوندهای اولیه قدرتمند برای تشکیل مولکول‌ها به هم متصل می‌شوند، بنابراین مولکول‌ها نیز می‌توانند توسط نیروهای ضعیف‌تر الکترواستاتیک به هم متصل شوند. این نیروها پس از فیزیکدان هلندی، یوهانس دیبریک ون در وال، نیروهای وندروالس نامیده می‌شوند. این نیروهای الکترواستاتیک ثانویه با اتصال مولکول‌ها به یکدیگر بر خواصی مانند نقطه ذوب، حلالیت و استحکام کششی مواد (به ویژه پلیمرها) تأثیر می‌گذارد. گرچه نیروی جاذبه بین هر جفت مولکول نسبتاً ضعیف است، اما برایند آنها قدرت زیادی را نشان می‌دهند.



شماتیک پیوند فلزی

■ **عناصر:** عنصر ماده‌ای است متشکل از یک نوع اتم (همه با همان تعداد الکترون‌ها). عناصر مواد خالصی هستند که امکان تجزیه به جز کوچک‌تری ندارند و می‌توانند متشکل از مولکول‌هایی باشند که به طور کامل از یک نوع اتم تشکیل شده است، به عنوان مثال، آهن، کربن، سدیم، کلر و مس. فولاد عنصر نیست، زیرا شامل اتم‌های آهن و کربن است. نمک خوراکی عنصر نیست، زیرا حاوی اتم‌های سدیم و کلر است. ۱۰۳ عنصر شناخته شده در حال حاضر وجود دارد.

دانش افزایی

انتخاب مواد مهندسی

با توجه به اینکه قطعات به کار گرفته شده در صنایع باید در وضعیت‌های متفاوتی مورد استفاده قرار گیرند لذا انتخاب جنس قطعه نقش عمده‌ای دارد که در ذیل، مواد مناسب برای کارهای مختلف ذکر شده است:

معیار استحکام

استحکام اولین خاصیت هر ماده مهندسی است که برای کاربردهای ساختمانی در نظر گرفته می‌شود.

الف) فلزات

خاصیت‌هایی از قبیل استحکام، هنگامی برای فلزات در نظر گرفته می‌شود که استحکام کششی و استحکام تسلیم آنها به هنگام کاربردشان مد نظر باشد، به این دلیل که نسبت میان این دو نوع استحکام به‌طور متوسط، برای هر گروه از فلزات ثابت است. گاهی فقط یک و یا دیگر مشخصات این دو نوع استحکام ذکر می‌شود. استحکام در فلزات معمولاً به جهت اندازه‌گیری تنش و درجه ناهمگونی مورد استفاده قرار می‌گیرد، و به طور بسیار زیادی به تاریخچه تولید قطعه بستگی دارد. فلزات از نظر استحکام به ۴ گروه تقسیم می‌شوند. (جدول ۲)

جدول ۲ـ استحکام تسلیم برخی مواد

فلز یا آلیاژ	استحکام تسلیم M Pa ($\times 10^3$ Psi)
* استحکام بسیار زیاد	
کبالت و آلیاژهای آن	۱۸۰ـ۲۰۰۰ (۲۶ـ۲۹۰)
فولادهای کم آلیاژ سخت شده	۵۲۵ـ۱۹۸۵ (۷۶ـ۲۸۸)
فولادهای زنگ‌نزن مارتنزیت	۴۱۵ـ۱۸۹۵ (۶۰ـ۲۷۵)
فولادهای با استحکام زیاد	۱۱۷۰ـ۱۸۶۰(۱۷۰ـ۲۷۰)
نیکل و آلیاژهایش	۷۰ـ۱۵۸۵ (۱۰ـ۲۳۰)
* با استحکام زیاد	
تنگستن	۱۵۱۵ (۲۲۰)
مولیبدن و آلیاژهای آن	۵۶۵ـ۱۴۵۰ (۸۲ـ۲۱۰)
تیتانیوم و آلیاژهای آن	۱۸۵ـ۱۳۱۵ (۲۷ـ۱۹۱)
فولاد کربنی	۴۰۰ـ۱۲۹ ۵ (۵۸ـ۱۸۸)
سوپر آلیاژهای پایه نیکلی	۲۷۵ـ۱۱۸۵ (۴۰ـ۱۷۲)
فولادهای آلیاژی ریختگی	۷۷۰ـ۱۱۷۰ (۱۱۲ـ۱۷۰)
(Ta) تانتالم و آلیاژهای آن	۲۳۰ـ۱۰۹۰ (۴۸ـ۱۶۸)
فولادهای زنگ نزن ریختگی	۲۱۵ـ۰۱۱۴۰ (۳۱ـ۱۶۵)

آلیاژهای ریختگی مس	۶۰_۹۶۵ (۹_۱۴۰)
نیوبیم و آلیاژهای آن	۲۴۰_۹۲۵ (۴۰_۱۲۵)
سوپر آلیاژهای پایه آهن، ریختگی	۲۷۵_۹۲۵ (۴۰_۱۳۴)
سوپر آلیاژهای پایه کبالت	۲۴۰_۸۰۰ (۳۵_۱۱۶)
برنزها	۹۵_۷۸۵ (۱۴_۱۱۴)
فولادهای ساختمانی کم آلیاژ	۶۲۰_۷۶۰ (۹۰_۱۱۰)
آلیاژهای فنی از مس	۶۰_۷۶۰ (۹_۱۱۰)
بریلیم برنزها (نوردی و پیرشده)	۵۲۰_۱۲۴۰ (۷۵_۱۸۰)
* استحکام متوسط	
سوپر آلیاژهای ریختگی پایه کبالت	۵۱۵_۶۹۰ (۷۵_۱۰۰)
هافتیم	۲۲۰_۶۶۰ (۳۲_۹۶)
فولادهای زنگ‌نزن آستینتی	۲۰۷_۶۵۵ (۳۰_۹۵)
برنج‌ها	۷۰_۶۴۰۰ (۱۰_۹۲/۵)
آلیاژهای آلومینیم سری ۷ xxx	۹۵_۶۲۵ (۱۴_۹۱)
آلیاژ (مس ـ نیکل ـ روی)	۱۲۵_۶۲۰ (۱۸_۹۰)
آلیاژهای مس ـ نیکل	۹۰_۵۸۵ (۱۳_۸۵)
فولادهای زنگ‌نزن فریتی	۳۱۰_۵۵۰ (۴۵_۸۰)
فولادهای HSLA	۲۹۰_۵۵۰ (۴۲_۸۰)
فولادهای کربنی، کربونیتروره شده	۳۱۵_۵۳۰ (۴۶_۷۷)
مس‌های نوردی	۷۰_۴۹۵ (۱۰_۷۲)
آلیاژهای آلومینیم، سری ۲ xxx	۷۰_۴۵۵ (۱۰_۶۶)
چدن‌های داکتیل آستینتی ریختگی	۱۹۵_۴۵۰ (۲۸_۶۵)
آلیاژهای غنی از بریلیم	۱۷۰_۴۵۰ (۲۵_۶۵)
آلیاژهای آلومینیم سری ۵ xxx	۴۰_۴۰۵ (۶_۵۹)
فولادهای کربنی ریختگی	۳۳۰_۳۸۰ (۴۸_۵۵)
آلیاژهای آلومینیم سری ۶ xxx	۵۰_۳۸۰ (۷_۵۵)
چدن داکتیل ریختگی	۲۷۵_۱۰۳۵ (۴۰_۱۵۰)
(Zr) زیرکنیم و آلیاژهای آن	۱۰۵_۳۶۵ (۱۵_۵۳)

آلیاژهای روی دایکاست شده	۳۶۰ (۵۲)
اورانیوم استخراج شده	۲۴۰_۳۴۵ (۳۵_۵۰)
آلیاژهای آلومینیم سری ۴ xxx	۳۱۵ (۴۶)
آلیاژهای منیزیم	۹۰_۳۰۵ (۱۲_۴۴)
نقره	۵۵_۳۰۳ (۸_۴۴)
فولادهای کربنی ریختگی	۲۶۰_۲۹۰ (۳۸_۴۲)
آلیاژهای آلومینیم سری ۳ xxx	۴۰_۲۵۰ (۶_۳۶)
* استحکام کم	
طلا	۲۰۵ (۳۰)
آلیاژهای منیزیم ریختگی	۸۵_۲۰۵ (۱۲_۳۰)
پلاتین	۱۵_۱۸۵ (۲_۲۷)
آلیاژهای آلومینیم سری ۱ xxx	۳۰_۱۶۵ (۴_۲۴)
سرب و آلیاژهای آن	۱۰_۵۵ (۱/۶_۸)
قلع و آلیاژهای آن	۵_۴۵ (۱/۳_۶/۶)

۱ـ فلزات با استحکام کم (σ_y < **۲۵۰ Mpa)**: استحکام بیشتر فلزات خالص کم است و کاملاً به خلوص آنها بستگی دارد؛ برای مثال آلومینیم خالص ۹۹/۹۹٪ دارای استحکام کشش تسلیمی تنها برابر ۱۲ Mpa(۱۷۰۰ Psi) است اما آلومینیم خالص ۹۹٪ دارای استحکام کشش تسلیمی برابر با ۳۹ Mpa (۵۷۰۰ Psi) است.

۲ـ فلزات با استحکام متوسط (۲۵۰ < σ_y **< ۷۵۰ MPa)**: بیشتر فلزات برای رسیدن به محدوده استحکام متوسط باید به صورت آلیاژ درآیند. مس کار سخت شده و تیتانیم تجاری آنیل شده جزء استثنائات است. آلومینیم خالص کار سخت شده و آلیاژهای محلول جامد آلومینیم در محدوده فلزات با استحکام متوسط قرار نمی‌گیرند. اما آلیاژهای آلومینیم سری ۲xxx و ۷xxx که قابلیت عملیات حرارتی شدن دارند در میانه محدودهٔ آلیاژهای با استحکام متوسط قرار می‌گیرند.

آلیاژهای سری۷xxx (Zn ـ Cu ـ Mg ـ AL) بیشترین استحکام را در میان آلیاژهای آلومینیم دارا هستند.

۳ـ فلزات با استحکام زیاد (۷۵۰ < σ_y **<۱۵۰۰ MPa)**: از آلیاژهای غیرآهنی، فقط آلیاژهای مس با سختی رسوبی شونده و حاوی ۲٪ بریلیم و بیشتر آلیاژهای تیتانیم در زمره آلیاژهای استحکام زیاد قرار می‌گیرند. بیشتر آلیاژهای تیتانیم می‌توانند استحکامی بیش از ۷۹۵MPa (۱۱۵×۱۰^{3}Psi) به دست آورند. اساساً آلیاژهای

تیتانیم مزیتی بر فولادهای با استحکام زیاد دارند؛ بدین علت که نسبت به فولاد دارای دانسیته پایین‌تری هستند (حدود ۶۰٪ دانسیته فولاد). در محدوده پایینی فلزات با استحکام زیاد، بسیاری از فولادهای کربن متوسط کم آلیاژ که «کوینچ» و «تمپر»، شده‌اند وجود دارد.

۴ـ استحکام بسیار زیاد (σ_y > ۱۵۰۰ MPa): شاید گسترده‌ترین استفاده فلزات با استحکام بسیار زیاد، استفاده از فولاد ASTM۵۷۹ با شماره ۳۲ (UNS ۴۴۲۲۰) که حاوی V ـ Mo ـ Cr ـ Ni و شامل ۱/۶٪ سیلیسیم است. لازم است این نوع فولاد دوبار ذوب و دو بار «تمپر» شود تا استحکام تسلیمی برابر با ۱۵۵۰Mpa یا (۱۱۰×۱۰^۳ Psi) به دست آورد.

محدودیت اصلی این نوع فولادها قابلیت ماشین‌کاری ضعیف بعد از عملیات حرارتی است. اگر چه فولادهای «ماریجینگ» می‌توانند بعد از ماشین‌کاری نهایی مورد عملیات حرارتی واقع شوند. در عین حال می‌توانند استحکامی بیشتر از فولادهای دیگر که در بالا ذکر شد، به دست آورند (تا ۳۵۰۰ MPa یا ۵۰۰×۱۰^۳Psi)

ب) مواد مرکب با زمینه فلزی

فلزات ریختگی تقویت شده با الیاف از نظر استحکام بهبود می‌یابند، اما از نظر داکتیلیتی مقداری کاهش می‌یابند؛ برای مثال اضافه نمودن ۱۰٪ حجمی کاربید سیلیسیم به آلیاژ AL - ۴/۵٪ Cu استحکام تسلیم را به میزان ۷۲٪ یعنی تا ۱۸۴ Mpa ($۲۶/۴ \times Psi^۳۱۰$) بالا می‌برد ضمن این که افزایش طول را از ۱۷٪ به ۵/۳٪ کاهش می‌دهد.

مواد مرکب با زمینه فلزی (MMC) از ترکیب‌های بسیار مختلفی در زمینه‌های فلزی و الیاف تقویت‌کننده ساخته می‌شوند که هر دسته از آنها برای به دست آوردن خواص مورد نظر و برای کاربردی معین ساخته می‌شوند. (جدول ۳)

جدول ۳ـ مواد مرکب با زمینه‌های متفاوت

زمینه	الیاف	کاربرد
آلومینیم، مس، منیزیم، سرب	گرافیت	ساختمان هلیکوپتر، موشک، شاتل‌های فضایی، صفحات باتری‌های انباره‌ای، اتصالات الکتریکی و یا یاتاقان‌ها
آلومینیم، منیزیم، تیتانیم	بور	پرده‌های کمپرسورها، نگهدارنده‌های ساختمانی، ساختمان آنتن‌ها و پره‌های موتور جت
آلومینیم، تیتانیم	بور، کاربیدسیلیسیم	پره‌های موتور جت، پره‌های ملخ، دستگاه‌های با دمای زیاد

آلومینیم، سرب، منیزیم	آلومینا	فوق نارساناها در کوره راکتورها، صفحات باتری‌های انباره‌ای
آلومینیم، تیتانیم سوپر آلیاژ (پایه کبالت)	کاربید سیلیسیم	ساختارهای درجه حرارت زیاد، اجزای موتورهای در دمای زیاد
سوپر آلیاژ	مولیبدن	اجزای موتورهای در شرایط دمای زیاد
سوپر آلیاژ	تنگستن	اجزای موتورهای در شرایط دمای زیاد

ج) پلیمرها

رزین‌های پلیمری به منظور کاربردهای ساختمانی به کار برده می‌شوند، در ابتدا با مواد مرکب دیگری نظیر نرم‌کننده‌های پلاستیک، پرکننده‌ها، کلرانت‌ها و دیگر پلیمرها برای به وجود آوردن پلاستیک‌های مهندسی ترکیب می‌شوند.

به دلیل ویژگی ویسکوالاستیک پلاستیک‌ها رفتار آنها تحت تنش، مشخصاً متفاوت و پیچیده‌تر از فلزات است؛ به عنوان مثال دما و زمان به‌طور قابل‌توجهی بر خواص پلیمرها تأثیر می‌گذارند.

- **مقاومت پلاستیک‌ها:** عموماً ترموپلاستیک‌های مهندسی تقویت نشده استحکام کششی در محدوده ۵۵ تا ۱۰۳ مگاپاسکال (8×10^3 Psi) تا (15×10^3 Psi) دارا هستند. پلاستیک‌های مهندسی مقاوم و نایلون تقویت نشده دارای استحکام کششی در حدود ۸۳ Mpa (12×10^3 Psi) و مدول کششی آنها در حدود ۳۴ Gpa (55×10^6 Psi) است.

جدول ۴ خواص مکانیکی برخی از رزین‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۴ــ خواص مکانیکی برخی از رزین‌های پلیمری

ماده	استحکام کششی MPa	استحکام کششی $\times10^3$PSi	مدول کششی GPa	مدول کششی $\times10^3$PSi	استحکام خمشی MPa	استحکام خمشی $\times10^3$PSi
اکریلونیتریل، بوتادی ان، استیرن (ABS)	۴۱	۶	۲/۳	۰/۳۳	۷۲/۴	۱۰/۵
پلی کربنات ABS	۵۹	۸/۵	۲/۶	۰/۳۸	۸۹/۶	۱۳
دیالیل فتالات (DAP)	۴۸	۷	۱۰/۳	۱/۵	۱۱۷	۱۷
پلیمرکریستال، مایع (LCP)	۱۱۰	۱۶	۱۱	۱/۶	۱۲۴	۱۸
ملامین فرم‌آلدئید (MF)	۵۲	۷/۵	۹/۶۵	۱/۴	۹۳/۱	۱۳/۵

نایلون ۶ (پلی‌آمید)	۸۱/۴	۱۱/۸	۲/۷۶	۰/۴	۱۱۳	۱۶/۴
نایلون ۶/۶ (پلی‌آمید)	۸۲/۷	۱۲	۲/۸۳	۰/۴۱	۱۱۰	۱۶
نایلون ۱۲ (پلی‌آمید)	۸۱/۴	۱۱/۸	۲/۳	۰/۳۴	۱۱۳	۱۶/۴
پلی‌استابل (POM)	۶۹	۱۰	۳/۲	۰/۴۷	۹۸/۶	۱۴/۳
پلی‌آری لترکتون (PAEK)	۱۲۱	۱۷/۶	۸/۹۶	۱/۳	۱۳۸	۲۰
پلی‌آریلات (PAR)	۶۸	۹/۹	۲/۱	۰/۳	۸۲/۷	۱۲
پلی‌بوتیلن تری‌فتالات (PBT)	۵۲	۷/۵	۲/۳	۰/۳۴	۸۲/۷	۱۲
PBT پلی کربنات، (PBT-PC)	۵۵	۸	۲/۲	۰/۳۲	۸۶/۲	۱۲/۵
پلی کربنات (PC)	۶۹	۱۰	۲/۳	۰/۳۴	۹۶/۵	۱۴
پلی‌اتاراترستون (PEEK)	۹۳/۸	۱۳/۶	۳/۵	۰/۵۱	۱۱۰	۱۶
پلی‌اتری‌مید (PEI)	۱۰۵	۱۵/۲	۳	۰/۴۳	۱۵۲	۲۲
پلی‌اتر سولفون (PESV)	۸۴/۱	۱۲/۲	۲/۶	۰/۳۸	۱۲۹	۱۸/۷
پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)	۵۹	۲۳	۸/۹۶	۱/۳	۲۴۵	۳۵/۵
فنل‌فرم آلدئید (PF)	۴۱	۶	۵/۹	۰/۸۵	۶۲	۹
پلی‌متیل متاکربلات (PMMA)	۷۲/۴	۱۰/۵	۳	۰/۴۳	۱۱۰	۱۶
پلی‌فنیلین اصلاح شده (PPO'MOd)	۵۴	۷/۸	۲/۵	۰/۳۶	۸۸/۳	۱۲/۸
پلی‌فنیلین سولفاید (PPS)	۱۳۸	۲۰	۱۱/۷	۱/۷	۱۷۹	۲۶
پلی‌سولفون (PSO)	۷۳/۸	۱۰/۷	۲/۵	۰/۳۶	۱۰۶	۱۰/۴
استیرن مالنیک ان هیدرید (SMA)	۳۱	۴/۵	۱/۹	۰/۲۷	۵۵	۸
پلی‌استرهای اشباع نشده	۴۱	۶	۵/۵	۰/۸	۸۲/۷	۱۲

د) سرامیک‌ها

استحکام سرامیک‌ها به روش آماده‌سازی نمونه عملیات سطحی و ماشینی و شرایط آزمایش آنها بستگی دارد. سرامیک‌ها در تنش‌های کششی ضعیف، اما در تنش‌های فشاری مقاوم هستند؛ در صورتی که در فلزات، استحکام فشاری در حدود استحکام کششی است. استحکام فشاری سرامیک‌ها ممکن است در حدود ۱۰ برابر بیشتر از استحکام کششی باشد. مثلاً آلومینا استحکام کششی در حدود ۱۳۸ Mpa (۲۰×۱۰^{۳}Psi) دارد و استحکام فشاری آن در حدود ۲۴۰۰ Mpa (۳۵۰×۱۰^{۳}Psi) است. این اختلاف میان استحکام‌های کششی و فشاری در سرامیک‌ها به دلیل شکننده بودن سرامیک‌ها است.
همچنین اندازه دانه‌ها بر استحکام سرامیک‌ها مؤثر است. افزایش اندازه متوسط دانه‌ها سرامیک را ضعیف می‌نماید. این ضعیف شدن ممکن است بدان علت باشد که ترک‌های مویی بزرگ‌تری به‌وجود می‌آید. (جدول ۵).

جدول ۵ــ استحکام میانگین برخی از سرامیک‌های مهندسی

ماده	استحکام فشاری ×۱۰^{۳}PSi	استحکام کششی ×۱۰^{۳}PSi	استحکام خمشی ×۱۰^{۳}PSi
آلومینا ۸۵٪	۲۳۵	۱۸	۴۲/۵
”۹۰٪	۳۵	۲۰	۴۶
”۹۵٪	۳۵۰	۲۸	۴۹
”۹۹٪	۳۷۵	۳۰	۵۰
سیلیکات آلومینیم	۴۰	۲/۵	۹
$ZrO_۲ - AL_۲O_۳$	۳۵۰	-	-
۳٪$Y_۲O_۳$PSZ *	۴۳۰	-	۱۷۰
زیرکونیم استحاله یافته، چقرمه شده	۲۵۵	۵۱	۹۲
۹٪MgoPSZ	۲۷۰	-	۱۰۰
$Si_۳N_۴$ ریخته‌گری لغزشی شده	۲۰	۳/۵	۱۰
Bonded - Reaction Sic	۱۰۰	۲۰	۳۷

SiC زینتر شده پرس نشده	۵۶۰	۲۵	۸۰
SiC زینتر شده + سیلیسیم آزاد	۱۵۰	۲۴	۴۷
SiC زینتر شده + گرافیت	۶۰	۵	۸
Bonded - Reaction Si_3N_4	۱۱۲	-	۳۰
Si_3N_4 پرس گرم شده	۵۰۰	-	۱۲۵

* PSZ: زکونیم که به‌طور جزئی تثبیت شده است.

چنانچه مواد از قبل مورد تنش قرار بگیرند، می‌توانند خواص انعطاف‌پذیری و کششی بعدی سرامیک‌ها را بهبود بخشند. سریع سرد کردن آلومینا در روغن سیلیکون برای به‌دست آوردن تنش‌های فشاری سطحی، استحکام خمشی را افزایش می‌دهد. استحکام متوسط بعد از «کوینچ» کردن ۸۸۰ Mpa (۱۲۸×۱۰^{3}Psi) است که برای مقایسه در ماده «کوینچ» نشده این خاصیت۵۹۰ Mpa (۸۵×۱۰^{3}Psi) است.

معیار حرارت

فلزات و آلیاژها می‌توانند در شرایط دمایی از دماهای بسیار کم تا بالای ۱۰۰۰°C به کار برده شوند.
برخی از سرامیک‌های مهندسی می‌توانند تا دمای ۱۶۵۰°C استفاده شوند پلاستیک‌ها بیشترین دمایی که عموماً می‌توانند در آن عمل نمایند، ۲۹۰°C است.

الف) فلزات

ساختمان یاتاقان‌های بارگذاری شده برای ارائه سرویس در دمای محیط بر اساس خواص استحکام یا تسلیم ماده طراحی می‌شود که این خواص در دمای اتاق آزمایش استحکام، اندازگیری شده‌اند. خواص کششی بیشتر فلزات مهندسی در دمای اتاق به زمان بستگی دارد؛ استحکام در درجه حرارت‌های زیاد به دو عامل آهنگ کرنش و زمان بستگی دارد.
فلزی که زیر بار ثابت زیاد قرار می‌گیرد موضوع بحث خزش مطرح است. خزش به دو عامل زمان و افزایش طول در شرایط معین بستگی دارد تا اینکه در قطعه گسیختگی ایجاد شود. موضوعاتی که در بحث خزش اهمیت دارند عبارت‌اند از: تنش، درجه حرارت و زمان. عموماً هنگامی که درجه حرارت و میزان بارگذاری افزایش می‌یابد، زمان گسیختگی کوتاه‌تر و آهنگ خزش افزایش می‌یابد. منحنی مهندسی خزش

فلزات برای یک بار ثابت و درجه حرارت ثابت، که نمونه تحت کشش در این شرایط قرار می‌گیرد، رسم می‌شود و کرنش نمونه به صورت تابعی از زمان اندازه‌گیری می‌گردد. مدت زمان این آزمایش می‌تواند از چند ماه تا ده سال متغیر باشد.

■ **آلیاژهای مقاوم در برابر خزش:** روش‌های به کار رفته برای افزایش مقاومت در برابر خزش، مشابه همان‌هایی است که برای بهبود استحکام در دمای اتاق مورد استفاده قرار می‌گیرد. سخت شدن در اثر ایجاد محلول و استخدام‌دهی رسوبی از روش‌های ذکر شده است.

۱ـ فلزاتی که تا دمای زیر $150^{\circ}C$به کار برده می‌شوند: سرب تنها فلز صنعتی است که نمی‌تواند در دمایی بیش از دمای اتاق مورد استفاده قرار گیرد؛ حتی در دمای اتاق نیز می‌تواند مورد خزش قرار گیرد.

اگر مقاومت در برابر نرم شدن مورد نظر باشد، مس الکترولیتی آنیل شده با مقادیر کمی از کادمیم می‌تواند تا دمایی برابر $200^{\circ}C$ مورد استفاده قرار گیرد.

۲ـ فلزاتی که از $150^{\circ}C$ تا $400^{\circ}C$ به کار برده می‌شوند: آلیاژهای منیزیم شامل (منیزیم ـ عناصر نادر خاکی ـ زیرکونیم)، (منیزیم ـ عناصر نادرخاکی، روی و زیرکونیم)، (منیزیم ـ تانتالیم ـ زیرکونیم)، (منیزیم ـ آلومینیم ـ روی) می‌توانند تا دمای $315^{\circ}C$ مورد استفاده قرار گیرند. آلیاژهای شامل توریم بیشترین مقاومت را به خزش دارند در صورتی که آلیاژهای منیزیم ـ روی کمترین مقاومت را به خزش دارند. آلومینیم برنزها می‌توانند تا دمای $400^{\circ}C$ برای مدت زمان کوتاهی بدون کاهش چشمگیری در استحکامشان به کار برده شوند.

۳ـ فلزات $400^{\circ}C$ تا $600^{\circ}C$: فولادهایی که با مولیبدن آلیاژ شده باشند در دمای بیشتر از $400^{\circ}C$ دارای مقاومت به خزش مناسبی هستند. برای دماهای حدود $500^{\circ}C$ از آلیاژهای کروم ـ مولیبدن و کروم ـ مولیبدن ـ وانادیم استفاده می‌شوند.

آلیاژهای تیتانیم (۴٪V ـ ۶٪Al ـ Ti) می‌توانند برای دماهای تا $600^{\circ}C$ به کار برده شوند ولی در بیش از این دما این آلیاژ ترد شده و به‌طور سطحی اکسیده می‌شوند.

۴ـ فلزات مورد استفاده در فاصله دمایی $650^{\circ}C$ـ $600^{\circ}C$: در این محدوده هم مقاومت به خزش و هم مقاومت در برابر اکسیداسیون مهم است. برای افزایش مقاومت در برابر پوسته شدن به آهن، کرم اضافه می‌شود که برای شرایط کاربردی تا $650^{\circ}C$ مقدار کرم کمتر از ۸٪ است.

۵ـ فلزات مورد استفاده در فاصله دمایی $1000^{\circ}C$ ـ $650^{\circ}C$: فولادهای زنگ نزن آستنیتی و آلیاژهای آهن ـ نیکل و سوپر آلیاژهای با پایه نیکل و کبالت چهار دسته از آلیاژهایی هستند که در این محدوده دمایی به کار برده می‌شوند.

۶ـ فلزات مورد استفاده از $1000^{\circ}C$ به بالا: فلزات نسوز نظیر تنگستن، تانتالیم، نایبیون و مولیبدن و آلیاژهای آنها می‌توانند تا دمای $1500^{\circ}C$ به کار برده شود؛

پوشش‌های محافظی برای ارائه سرویس در محیط‌های اکسیدکننده با درجه حرارت‌های بسیار بالا باید به کار برده شوند که نوع پوشش بستگی به ماده دارد.
کاربردهای ویژه فلزات نسوز عبارت است از: نازل‌های راکت، پوسته‌های تشعشعی، اجزای تیوب الکترونی و رشته‌های لامپ‌های حبابی. در جدول (۶) ماکزیمم جریان استفاده شده دما در برخی از فلزات آورده شده است.

جدول ۶ــ ماکزیمم جریان استفاده شده دما در برخی از فلزات

فلز	نقطه ذوب T_m °K	نقطه ذوب °C	ماکزیمم دما در شرایط کار °K $T=\frac{۲}{۳}Tm$	ماکزیمم دما در شرایط کار °C	ماکزیمم $\frac{T}{Tm}$ واقعی قابل دسترس
آلومینیم	۹۳۳	۶۶۰	۶۲۰	۳۵۰	۰/۵۶ (۵۸ RR در ۲۵۰ °C)
مس	۱۳۵۶	۱۰۸۳	۹۰۰	۶۳۰	ـ
نیکل	۱۷۲۶	۱۴۵۳	۱۱۵۰	۸۰۸	۰/۷۴ (نیمونیک ۱۱۵ در ۹۸۰ °C)
آهن	۱۸۰۹	۱۵۳۶	۱۲۰۰	۹۳۰	۰/۴۷ (فولاد فریتی در ۵۷۵ °C)
تیتانیم	۱۹۴۱	۱۶۶۸	۱۲۹۰	۱۰۲۰	~ ۰/۴
زیرکنیم	۲۱۲۵	۱۸۵۲	۱۴۲۰	۱۱۵۰	ـ
کرم	۲۱۷۳	۱۹۰۰	۱۴۵۰	۱۱۸۰	۰/۶، اگر بتوان کرم را به اندازه کافی داکتیل تهیه نمود
هافنیم	۲۴۹۵	۲۲۲۲	۱۶۴۰	۱۳۷۰	ـ
نیوبیم	۲۷۴۱	۲۴۶۸	۱۸۳۰	۱۵۵۰	۰/۵۴ اگر پوشش مناسبی روی آن ایجاد شود
مولبیدن	۲۸۸۳	۲۶۱۰	۱۹۲۳	۱۶۵۰	ـ
تالیم	۳۲۶۹	۲۹۹۶	۲۱۸۰	۱۹۱۰	ـ
تنگستن	۳۶۸۳	۳۴۱۰	۲۴۳۳	۲۱۶۰	۰/۷۶ (رشته‌های لامپ‌های الکتریکی در ۲۵۰۰ °C)

ب) پلیمرها

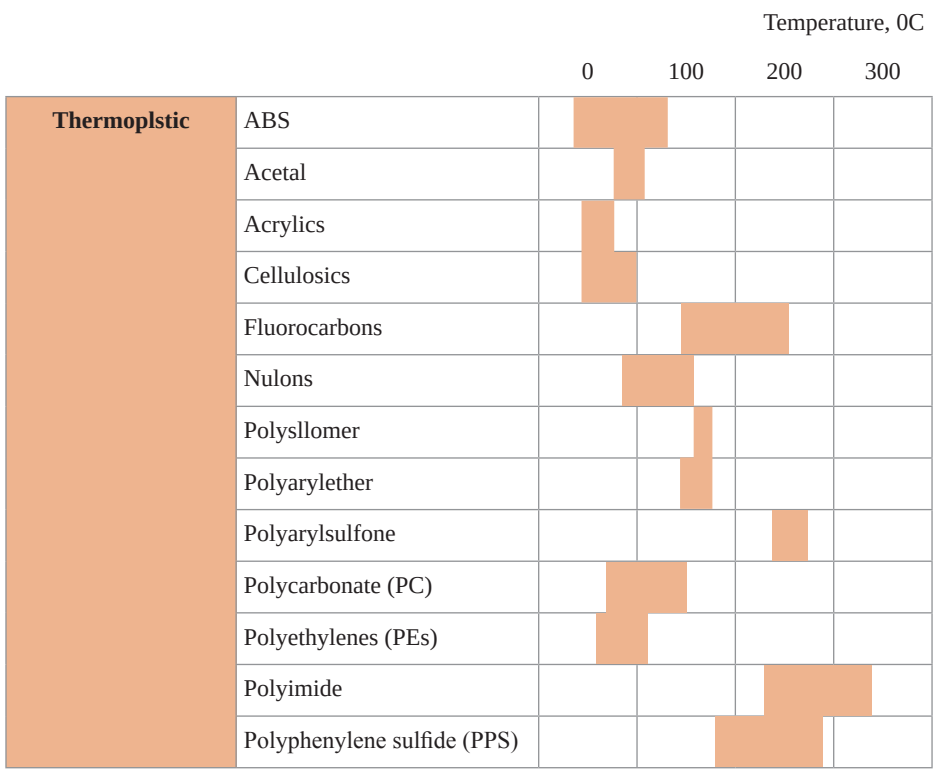
پلاستیک‌ها و مواد باید تحت طیف وسیعی از نظر دما کاربرد داشته باشند. تقریباً تمام خواص مکانیکی، فیزیکی، الکتریکی و شیمیایی همگی به درجه حرارت بستگی دارند. در نتیجه درجه حرارت اغلب به عنوان یک عامل در طراحی پلیمرها به کار برده می‌شود. (جدول ۷)

- **قابلیت‌های حرارتی:** ترموست‌ها معمولاً نسبت به ترموپلاست‌ها در برابر حرارت مقاوم‌تر هستند. (شکل ۵)

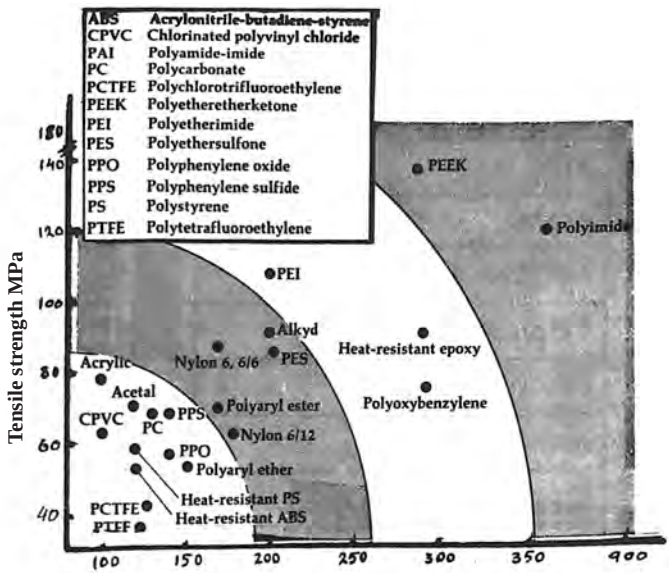
پلیمرهای مایع ـ کریستال تقویت نشده (LCPS) که بر اساس استرهای آروماتیک هستند، خواص مکانیکی خوبی در درجه حرارت‌های بالاتر از ۳۰۰°C دارند.

LCPهایی که با روش تزریق و اکستروژن تهیه می‌شوند؛ در ابزارهایی که در فرایندهای شیمیایی با دمای بالا کار می‌کنند، به کار می‌روند. همچنین در اجزای الکتریکی، الکترونیکی نظیر اتصال‌دهنده‌ها و پریزها به کار برده می‌شوند.

جدول ۷ ــ محدوده مجاز دمایی برای استفاده از پلیمرها در شرایط بدون بارگذاری



	Polypropylene (PP)				
	Polystyrene (PS)				
	Polyurethene (PUR)				
	Polyvinyl chloriedes (PVCs)				
	Styrene-acrylonitrile				
	Polyphenylene oxide (PPO)				
	Polysulfone (PSO)				
	Polyethersulfone (PES)				
Thermoset	Alkyds				
	Aminos				
	Polyesters				
	Epoxies				
	Phenolics				
	Silicones				



استحکام کششی پلیمرهای زیر در دمای انحراف

ج) سرامیک‌ها

یکی از مزایای سرامیک‌های مهندسی نسبت به فلزات، توانایی و پایداری آنها در دماهایی تا ۱۶۵۰°C است.

پایداری حرارتی سرامیک‌ها با چند خاصیت حرارتی نظیر مقاومت به خزش، انبساط حرارتی، هدایت حرارتی و مقاومت در برابر شوک حرارتی مشخص می‌گردد. شکل ۶ استحکام سرامیک‌ها را نسبت به دما نشان می‌دهد.

سرامیک‌های چند بلوری عموماً انرژی اکتیواسیون زیادی دارند که به دلیل خزش یا حرکات نابجایی‌ها است. از سوی دیگر شیشه‌ها و سرامیک‌های شیشه‌ای انرژی اکتیواسیون کمی دارند که علت این امر وجود فاز آمورفی (بی شکل) در این نوع سرامیک‌ها است. در نتیجه، نرخ خزش شیشه‌ای با «مورفولوژی» و ترکیب شیمیایی فاز کریستالی تعیین می‌شود.

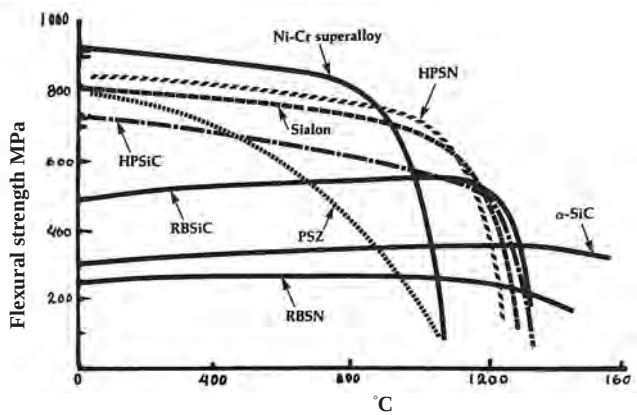
فازهای نسوز، تغییر شکل یا خزش را کاهش می‌دهند. اغلب فازهای شیشه‌ای در سرامیک‌های شیشه‌ای با عملیات حرارتی بیشتر و مواد جایگزین شونده بسیار شبیه به یک سرامیک پلی‌کریستالی عمل می‌کنند.

■ **انبساط حرارتی:** در مقایسه با اکسیدها سرامیک‌های با پایه سیلیکون، ضریب انبساط حرارتی کمتری دارند. این امربه مقاومت آنها در برابر شوک حرارتی کمک می‌کند. شبیه به مقاومت در برابر خزش، انبساط حرارتی برای سرامیک‌های بر مبنای سیلیکون تابعی از فاز جامد است و با تخلخل و ناخالصی‌های جزیی تحت تأثیر واقع نمی‌شود؛ به‌عنوان مثال کاربید سیلیسیم دارای انبساط حرارتی معادل با ۵۰٪ بیشتر از نیترید سیلیسیم است.

ظرفیت حرارتی و هدایت حرارتی نیز برای کاربردهای با درجه حرارت بالا باید درنظر گرفته شود. درحالی که هر دو خاصیت ذکر شده در مورد مقاومت در برابر تنش حرارتی نیز صدق می‌کند.

هدایت حرارتی شیشه‌ها با کاهش درجه حرارت کاهش می‌یابد، این درصورتی است که با سرامیک‌های کریستالی و سرامیک‌های شیشه‌ای، هدایت حرارتی افزایش می‌یابد. مقادیر هدایت حرارتی برای سرامیک‌های شیشه‌ای از سرامیک‌های اکسیدی کمتر و از شیشه‌ها بیشتر است. هدایت حرارتی سرامیک‌های تک فاز از ساختمان و ترکیب شیمیایی آنها الهام گرفته است. مقاومت در برابر شوک حرارتی ناشی از توانایی و پایداری سرامیک در برابر تنش‌های حرارتی است که به‌واسطه شیب حرارتی زیاد به‌وجود آمده است.

مقاومت در برابر شوک حرارتی معمولاً به‌وسیله «کوینچ» کردن نمونه گرم شده در آب اندازه‌گیری می‌شوند و برای سرامیک‌های ساختمانی مقاومت در برابر شوک حرارتی به نوع ماده و فرایند تولید قطعه بستگی دارد.



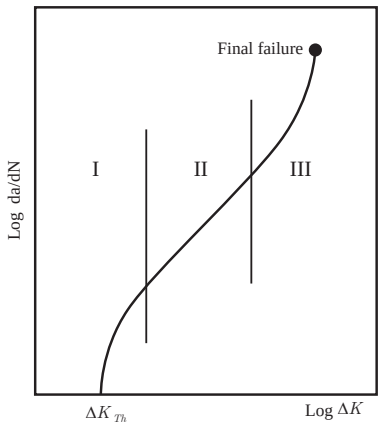
استحکام سرامیک‌های مهندسی در دماهای مختلف

معیار خستگی

گفته می‌شود که تقریباً ۸۰٪ گسیختگی‌ها در اجزای مهندسی ناشی از شکست خستگی است. صرف نظر از موادی خاص، شکست خستگی می‌تواند با طراحی دقیق و عملیات تولید کاهش یابد.

الف) فلزات

خستگی، شکل خطرناکی از شکست است که در مواد رخ می‌دهد به‌ویژه هنگامی که مواد زیر بارهای متناوب قرار می‌گیرند، خستگی با توسعه و پیشرفت رشد یک ترک در مراحل مختلف رخ می‌دهد(شکل زیر). شکست خستگی می‌تواند زیر بارهایی به‌مراتب کمتر از بارهای لازم برای شکست در شرایط ایستایی رخ دهد و ممکن است که نشانه خارجی قابل مشاهده‌ای نداشته باشد که دلالت بر ایجاد شکست در مدت زمان اعمال بار تا هنگام شکستن قطعه بکند.



سرعت رشد ترک خستگی در سه مرحله شکست خستگی

آلیاژهای فلزی و طراحی‌های مناسب برای افزایش مقاومت در برابر خستگی عبارت‌اند از:

۱ تأثیر آلیاژسازها در لغزش متقاطع دو قلویی‌ها یا خواص کار سختی است، که مقاومت در برابر جوانه‌زنی ترک را افزایش می‌دهند.

۲ استحکام کششی از طریق آلیاژی کردن یا عملیات حرارتی برای به‌دست آوردن نسبت تنش بالا به تعداد سیکل‌ها افزایش می‌یابد.

۳ به‌حداقل رسانیدن سطوح برش خورده روی قطعه کار

۴ پولیش نمودن سطح قطعه کار به‌جای ماشین‌کاری و خشن کردن آن.

۵ استفاده از تنش‌های کمتر از حد خستگی استاندارد ماده.

۶ استفاده از قطعه‌ای که دانه‌بندی ریز دارد.

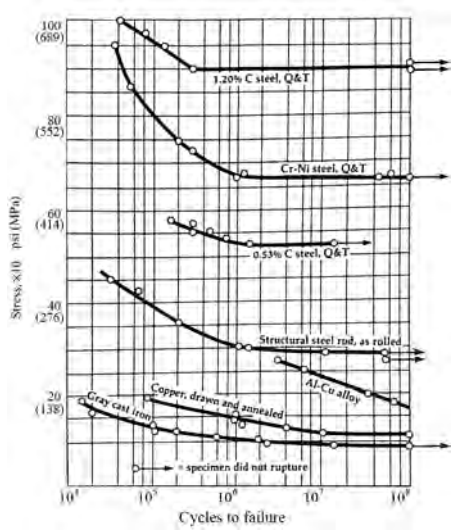
۷ عدم حضور ناپیوستگی‌های متالورژیکی نظیر تخلخل، آخال یا جدایش عناصر آلیاژی برای به‌حداقل رساندن محل‌های مناسب برای جوانه‌زنی ترک.

۸ حضور تنش باقیمانده فشاری در سطح که می‌تواند با فرایندهایی نظیر پرسکاری، نورد سطحی یا عمل ساچمه‌زنی صورت پذیرد.

۹ شرایط محیطی و طراحی مناسب برای به‌حداقل رساندن عواملی که به خستگی حرارتی و خستگی خوردگی منجر می‌شوند.

۱۰ خودداری از به‌کارگیری پوشش‌های فلزی نظیر کروم کاری، نیکل کاری یا پوشش‌های کادیم که می‌توانند عمر خستگی را در اثر ایجاد ترک‌های ریزی که در پوشش وجود دارند، کم کنند.

شکل ۸ رفتار خستگی آلیاژهای آهنی و غیرآهنی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید آلیاژهای آهنی حد خستگی دارند.



رفتار خستگی آلیاژهای آهنی و غیر آهنی

ب) پلیمرها

خستگی از دلایل اصلی شکست فلزات شناخته شده است. همچنین به‌طور مشابه در مورد پلاستیک‌ها نیز نقش مهمی را در شکست آنها دارد. خستگی در پلاستیک‌ها ظاهراً شبیه خستگی در فلزات است اما به‌خوبی خستگی در فلزات شناخته نشده است، بنابراین تئوری خستگی آن چنان که در مورد فلزات پیشرفت کرده، توسعه نیافته است؛ به این دلیل که عواملی که در خستگی فلزات مهم درنظر گرفته نمی‌شوند در اینجا باید بررسی گردند. برخی از این عوامل عبارت‌اند از: وزن مولکولی، تأثیرات انتقالی و تأثیرات حرارتی و ....

خستگی در پلاستیک‌ها نسبت به فرکانس بارگذاری متناوب خیلی حساس است. علت این امر میرایی شدید و هدایت حرارتی کم پلاستیک‌هاست که در این صورت در طول هر دوره اعمال تنش حرارتی در ماده ایجاد می‌شود. این امر باعث می‌شود که مدول الاستیسیته کاهش یابد. سرانجام ماده نمی‌تواند بار اعمال شده را تحمل کند و شکست زود هنگام رخ می‌دهد. کمترین نرخ رشد ترک خستگی در پلاستیک‌های کریستالی نظیر نایلون و پلی استال رخ می‌دهد.

■ **تقویت با الیاف پیوسته:** عواملی که در مقاومت در برابر خستگی پلاستیک‌های تقویت شده مؤثر است شامل: نسبتی که الیاف در تقویت ماده مؤثر است، چگونگی قرار گرفتن الیاف (مثلاً الیاف به‌صورت اتفاقی یا همسو در یک جهت و یا به‌صورت پیچشی و متقاطع ممکن است در زمینه پخش شده باشند) و زمینه رزین است. (جدول ۸)

جدول ۸ــ استحکام خستگی ترموپلاستیک‌های تقویت شده (آزمایش در شرایط ۱۸۰۰ سیکل در دقیقه)

ماده	درصد الیاف شیشه	درصد الیاف کربن	استحکام× 10^3 PSi برای 10^4 سیکل	استحکام× 10^3 PSi برای 10^7 سیکل
استال کوپلیمر	۳۰	-	۹	۷
نایلون ۶*	۳۰	-	۷	۵/۷
نایلون $\frac{۶}{۶}$	-	-	۶	۵
نایلون $\frac{۶}{۶}$*	-	-	۳/۲	۳
نایلون $\frac{۶}{۶}$*	۳۰	-	۸	۶
نایلون $\frac{۶}{۶}$*	۴۰	-	۹	۷
نایلون $\frac{۶}{۶}$	۴۰	-	۱۰/۵	۹

نایلون $\frac{۶}{۶}$*	-	۳۰	۱۳	۸
نایلون $\frac{۶}{۶}$*	-	۴۰	۱۵	۸/۵
نایلون $\frac{۶}{۱۰}$*	۳۰	-	۷	۵/۵
نایلون $\frac{۶}{۱۰}$*	۴۰	-	۸	۷
پلی‌کربنات	۲۰	-	۹	۵
پلی‌کربنات	۲۰	-	۱۴/۵	۶
پلی‌استر PBT	۳۰	-	۱۱	۵
پلی‌استر PBT	-	۳۰	۱۳	۶/۵
پلی‌اترانزستون	-	۳۰	۱۸	۱۷/۵
پلی اترسولفون	۳۰	-	۱۶	۵
پلی‌اترسولفون	۴۰	-	۱۹	۶
پلی‌اترسولفون	-	۳۰	۲۲	۶/۷
پلی‌اتیلن اکساید اصلاح شده	۳۰	-	-	۲/۷
پلی فنیلین سولفید	-	۳۰	۱۴	۹/۵
پلی‌سولفون	۳۰	-	۱۴	۴/۵
پلی‌سولفون	۲۰	-	۱۶	۵/۵

* شرایط مرطوب، RH ۵۰ ٪

ج) سرامیک‌ها

خستگی در سرامیک‌ها آن‌گونه که در فلزات بررسی می‌شود، مورد بحث قرار نمی‌گیرد. گسیختگی در اثر گذشت زمان در مواد سرامیکی ترد رخ می‌دهد با وجود اینکه ترک‌های نوک تیز وجود ندارد ولی به‌دلیل پلاستیسیته ذاتی که در این مواد وجود دارد، شکست خستگی در سرامیک‌ها مشاهده شده است که در واقع ترک برداشتن در اثر خوردگی تحت تنش است و با وجود رطوبت تقویت می‌شود.

معیار چقرمگی

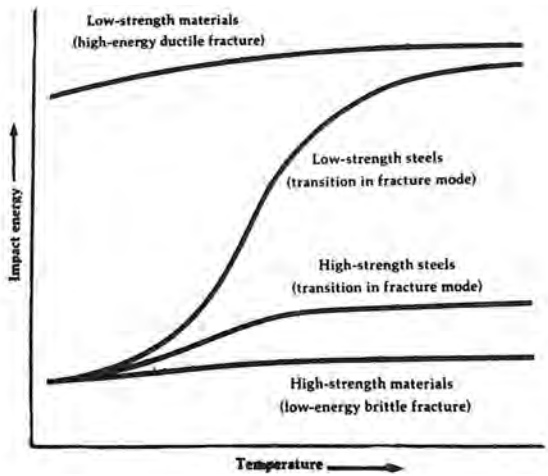
وقتی استحکام، خاصیت کنترل‌کننده داشته باشد و درصورتی که باید در برابر یک بار مشخص پایداری نماید، خاصیت چقرمگی محدودیت ایجاد می‌کند و این در صورتی است که آن قطعه باید قابلیت جذب مقدار مشخصی از انرژی مکانیکی را بدون شکست داشته باشد.

الف) فلزات

اگرچه استحکام اساساً عاملی اصولی برای طراحی است ولی عموماً یک ویژگی به تنهایی نمی‌تواند ماده مشخصی را برای کاربردی معین، مشخص کند، برای مثال در ساختار مهندسی اغلب استحکام و چقرمگی باید باهم درنظر گرفته شوند. چقرمگی یک فلز، توانایی جذب انرژی و تغییر فرم پلاستیکی قبل از شکستن قطعه است و مقدار انرژی جذب شده در طی تغییر شکل و شکست، میزانی از چقرمگی است.

فولادها در محدوده کم استحکام، دارای یک انتقال در چقرمگی هستند که این انتقال از رفتار «داکتیل» در دماهای بالا تا رفتار «ترد» در دماهای کم ادامه می‌یابد. بنابراین برای جلوگیری از شکست ترد دمای کاری اجزای ساختمان باید بیشتر از دمایی باشد که در آن دما شکست ماده از داکتیل به ترد تبدیل می‌شود. (شکل زیر)

ترکیب شیمیایی یک فولاد به‌همان اندازه که ریزساختار و تاریخچه تولید بر روی Tc (دمای بحرانی) و انرژی جذب شده در طی شکست تأثیر می‌گذارند، مؤثر است. فولادهایی که دارای کربن کمتر و دانه‌بندی ریزتر هستند به‌طور طبیعی دارای Tc پایین‌تری نیز هستند.

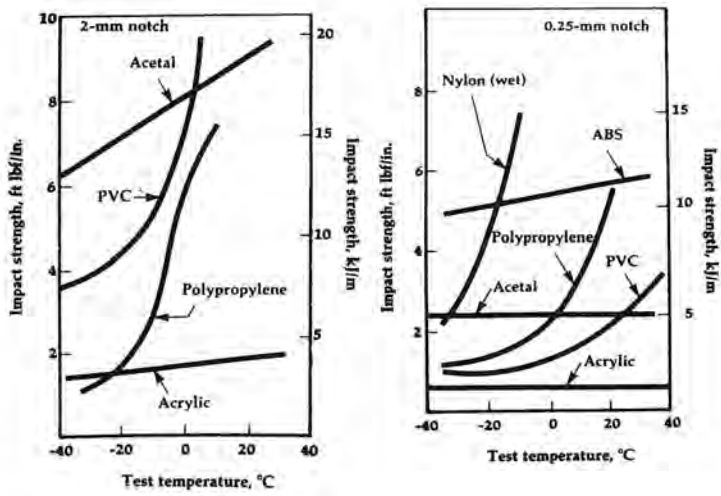


تغییرات انرژی جذب شده در هنگام ضربه برای چند آلیاژ نمونه نسبت به دما

ب) پلیمرها

رفتار شکست پلاستیک‌ها عموماً با استفاده از آزمایش‌های تجربی نظیر آزمایش‌های ضربه «شارپی» و «آیزود» تعیین شده‌اند که اصولاً برای مواد مختلف به‌کار برده می‌شود. استحکام ضربه‌ای مشخص توسط عواملی نظیر درجه حرارت، عوامل محیطی مثل رطوبت جذب شده و عواملی نظیر روش به‌کار رفته برای تهیه نمونه، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. عوامل مختلف ذکر شده باعث می‌شوند که در آزمایش‌های مختلف از یک نمونه مقادیر عددی متفاوتی به‌دست آید لذا عوامل طراحی باید به دقت مورد بررسی قرار گیرند.

به‌دست آوردن چقرمگی بیشتر در پلاستیک‌ها: اگر چه پلاستیک‌های تقویت نشده استحکام ضربه‌ای کمتری نسبت به بیشتر مواد فلزی دارند، ولی از روش‌های متفاوتی برای بهبود چقرمگی آنها استفاده می‌شود. که عبارت‌اند از: آلیاژی کردن با یک فاز کائوچویی یا فاز دیگری که مقاومت در برابر ضربه بیشتری داشته باشد، کوپلیمریزاسیون برای ایجاد ساختار شیمیایی چقرمه تر و همچنین شرکت دادن الیافی که دارای مقاومت در برابر ضربه بیشتری هستند. وجود زمینه ترموپلاستیکی در مواد مرکب باعث افزایش چقرمگی نسبت به‌همان مواد با زمینه ترموست شده است. اصلاح زمینه پلاستیک‌ها و مواد مرکب با یک فاز کائوچویی احتمالاً بهترین روش برای افزایش مقاومت در برابر ضربه است. مواد کائوچویی به پلاستیک اجازه می‌دهد که انرژی بیشتری را جذب کند. مشابه آلیاژسازی یا مخلوط کردن یک پلیمر با پلیمر دیگری است که مقاومت به ضربه بیشتری داشته باشد که در نتیجه مقاومت در برابر ضربه مجموعه بهبود می‌یابد؛ به‌عنوان مثال چقرمه‌کردن نایلون‌ها با استفاده از یک پلی‌اولفن یا دیگر پلیمرهای اصلاح‌کننده، شکل زیر تغییرات استحکام ضربه‌ای از ترموپلاستیک‌ها نسبت به دما را نشان می‌دهد.



تغییرات استحکام ضربه‌ای از ترموپلاستیک‌ها نسبت به دما

ج) سرامیک‌ها

در گذشته اندازه‌گیری مقدارهای چقرمگی دقیق برای سرامیک‌ها مشکل بود؛ نه‌تنها به‌خاطر بی‌ثباتی مواد بلکه ابزار اندازه‌گیری برای آزمایش‌ها نیز دقت کافی را نداشت. امروزه بیشتر این مشکلات برطرف شده آن هم به‌علت درک بهتر شرایط ایجاد ترک اولیه و تکثیر آن در سرامیک‌ها است. اگر چه افزایش استحکام مفید است ولی هدف اصلی توسعه سرامیک‌های تقویت شده با الیاف، افزایش چقرمگی شکست برای جلوگیری از گسیختگی ترد که ناگهانی، و در سرامیک‌های معمولی مرسوم است، می‌باشد.

شکست سرامیک‌ها به اندازه ترک بحرانی بستگی دارد که تابعی از چقرمگی شکست است. یک ترک در اندازه‌ای بزرگ‌تر از اندازه بحرانی ترک کافی است تا باعث شکست شود. یک روش مهم استفاده شده برای بهبود چقرمگی سرامیک {نظیر زیرکونیا (ZrO_2)، آلومینا (Al_2O_3) و نیترید سیلیسیم (Si_3N_4)} غالب کردن استحاله یک فاز در نواحی تنش‌های به‌کار رفته در ماده است.

نشان داده شده است که تنش ایجاد شده استحاله مارتنزیتی به‌طور ذاتی چقرمگی شکست را در این مواد افزایش می‌دهد.

تکنیک‌های دیگر استفاده شده برای افزایش چقرمگی استفاده از الیاف جهت تولید محصولات باند شده با الیاف، انحراف ترک یا بیرون آوردن الیاف به‌محض ایجاد ترک است.

تنش‌های داخلی که در اثر اختلالات انبساط حرارتی مابین الیاف و زمینه به وجود می‌آیند، همچنین می‌توانند بر چقرمگی تأثیر بگذارند.

معیار سایش

مواد مقاوم در برابر سایش در محدوده‌ای مشخص و متعارفی به‌کار می‌روند، اگر چه پلاستیک‌های خود روانکار جایگزین فلزات در مواردی نظیر یاتاقان‌ها، بادامک و چرخ‌دنده‌ها شده‌اند، بیشترین توجه به‌عملیات سطحی و پوشش‌کاری سطوح در تماس با هم، معطوف می‌شود. متغیرهای زیر در معیار سایش مواد مؤثرند:

۱ متغیرهای متالورژیکی. (سختی، چقرمگی، ریزساختار و ترکیب شیمیایی)

۲ شرایط کارکرد (مواد درحال تماس، فشار، سرعت، دما، پرداخت سطح، روانکاری و خوردگی)

جدول ۹ استحکام و چقرمگی برخی از مواد مهندسی را نشان می‌دهد.

جدول ۹ــ استحکام و چقرمگی برخی از مواد مهندسی

ماده		استحکام تسلیم		KIC		KIC/YS	
فولادها	فولادهای کربن متوسط	۲۶۰	۳۷/۷	۵۲	۲۹	۰/۲۱	۱/۳
	T ASTMAS333BQ	۵۰۰	۷۲/۵	۲۰۰	۱۸۲	۰/۴	۲/۵۱
	AISI 4340(T260°C)	۱۶۲۰	۲۳۸	۵۰	۲۵/۸	۰/۰۳	۰/۱۹
	AISI 4340(T225°C)	۱۲۲۰	۲۰۶	۸۷/۴	۸۰	۰/۰۶	۰/۳۹
	ماریجینگ ۳۰۰	۱۷۳۰	۲۵۰	۹۰	۸۲	۰/۰۵	۰/۳۳
آلیاژهای آلومینیم	2024-T6S1	۲۵۵	۶۶	۲۲	۲۲	۰/۰۵	۰/۳۳
	2024-T3	۳۲۵	۵۰	۲۲	۲۰	۰/۱۲	۰/۸
	7075-T651	۲۹۵	۷۲	۲۲	۲۲	۰/۰۵	۰/۳۱
	7075-T651	۲۶۲	۶۷	۲۷	۲۳	۰/۱	۰/۶۲
	7178-T651	۵۱۷	۷۵	۲۳	۲۲	۰/۰۲	۰/۲۹
آلیاژهای تیتانیم	Ti-6AL-4V	۸۳۰	۱۲۰	۵۵	۵۰	۰/۰۶	۰/۲۲
	Ti-6AL-4V-2Sn	۱۰۸۵	۱۵۵	۲۲	۴۰	۰/۰۳	۰/۲۶
	Ti-4Al-4MO-2Sn-0/5Si	۹۶۰	۱۳۹	۲۵	۴۰	۰/۰۵	۰/۲۹
پلاستیک‌ها	PMMA	۳۰	۳	۱	۰/۹	۰/۰۳	۰/۲۲
	پلی کربنات	۶۳	۸/۴	۳/۳	۳	۰/۰۵	۰/۳۶
	ورقه‌های اکریلیک	-	-	۲	۱/۸	-	-
سرامیک‌ها	Reaction Bonded Si3N2	۲۵۰	۶۳/۳	۵	۲/۶	۰/۰۱	۰/۰۷
	AL_2O_3	۲۶۲	۳۶/۹	۲/۵	۲/۱	۰/۰۲	۰/۱۱
	SiC خود پیوندی	۱۲۰	۱۹/۷	۳/۷	۳/۲	۰/۰۳	۰/۱۷

مقاومت در برابر سایش همیشه نمی‌تواند تنها با بهبود یک خاصیت حاصل شود؛ اگر چه استحکام، سختی، داکتیلیتی و چقرمگی از عوامل مهم هستند.

■ **کاهش دادن سایش:** یکی از مهم‌ترین راه‌های کاهش سایش، روانکاری است. روانکاری مقدار انرژی لازم برای غلبه بر اصطکاک را کاهش می‌دهد و همچنین سطوح در تماس با یکدیگر را محافظت می‌کند.

راه‌های دیگر برای کاهش سایش عبارت‌اند از عملیات سطحی که خود شامل پوشش‌کاری، آلیاژی کردن در سطح و برخی از عملیات حرارتی معین است. یک روش دیگر برای روانکاری، استفاده از مواد جامد نظیر گرافیت و سرب است.

برخی از مواد مقاوم در برابر سایش

الف) فلزات: زواید و فرورفتگی‌های میکروسکپی حتی در سطوح فلزی کاملاً پرداخت شده نیز وجود دارند. هنگامی‌که در فلز برای تماس با یکدیگر زیر یک بار طبیعی به‌هم نزدیک می‌شوند، سطوح خشن با یکدیگر برخورد کرده و به‌طور الاستیکی یا پلاستیکی تغییر شکل می‌دهند. وقتی محل تماس نتواند بار اعمال شده را تحمل کند، پیوندی میان سطوح ایجاد می‌شود. در اثر حرکت نسبی میان سطوح، فلز ضعیف‌تر از سطح تماس جدا شده، جابجا می‌شود. این فرایند باعنوان سایش چسبنده شناخته شده است. فولادهایی که برای کاربردهای مقاوم در برابر سایش مناسب هستند، عبارت‌اند از:

۱ فولادهای کم کربن

۲ فولادهای با کربن زیاد

۳ فولادهای مستقیم سخت شده یا کم آلیاژ (که به‌طور شعله‌ای یا القایی سطح‌شان سخت شده است.)

۴ فولادهای با کربن متوسط کرم‌دار یا آلومینیم کرم‌دار که به‌وسیله نیتروره کردن سخت شده‌اند.

۵ فولادهای پرآلیاژ مستقیماً سخت شده نظیر AISID2 که یک فولاد ابزار پرکربن و پرکرم (کربن ۱/۵٪ و ۱۲٪ کرم) با کاربیدهای آزاد می‌باشد.

۶ فولادهای زنگ نزن رسوب سختی شونده

۷ فولادهای مخصوص که به‌روش متالورژی پودر یا به‌طور مکانیکی آلیاژی شده‌اند.

۸ کاربیدهایی که به وسیله زمینه فولادی به هم متصل شده‌اند.

در مقایسه با بسیاری از آلیاژهای آهنی مقاوم در برابر سایش فولادهای منگنزدار از چقرمگی بیشتری برخوردار هستند. این نوع فولادها معمولاً مقاومت در برابر سایش کمتری نسبت به چدن‌های سفید مارتنزیتی و فولادهای پرکربن مارتنزیتی دارا هستند اما مقاومت به سایش آنها از چدن‌های سفید پرلیتی و فولادهای پرلیتی بیشتر است.

■ **چدن‌ها:** چدن خاکستری ریختگی برای کاربرد در قسمت‌هایی از ماشین‌ها که روی هم می‌لغزند، مقاومت به‌سایش مناسبی دارند. چدن‌ها سخت شده در جاهایی که مقاومت در برابر سایش بیشتری موردنیاز باشد نظیر سیلندر موتورهای دیزل، به‌کار برده می‌شوند. ساختار و سختی چدن‌های مالیبل پرلیتی و مارتنزیتی مقاومت به‌سایش بسیار خوبی ارائه می‌دهند. چدن‌های سفید آلیاژی نشده معمولاً از چدن‌های آلیاژی ارزان‌تر است و همچنین مقاومت به سایش کمتری دارد.

■ **آلیاژهای غیرآهنی:** آلومینیم برنزها (با روغن‌کاری کافی) برای استفاده در قسمت‌هایی به‌کار می‌رود که شامل بارگذاری‌های زیاد و سرعت‌های متوسط تا کم است.

مقاومت به‌سایش این آلیاژها عموماً از سایر آلیاژهای مس بهتر است درصورتی که به‌طور صحیح و مناسب عمل روغن‌کاری انجام شده باشد، مقاومت به‌سایش آلومینیم برنزها از آلیاژهای مس و خیلی از آلیاژهای آهنی بهتر است.

ب) پلیمرها

وقتی ترکیبات پلیمری در برابر فلزات قرار می‌گیرند، رفتار اولیه آنها به‌وسیله سایش، مشخص می‌شود که این مسئله به چگونگی اتصال دو ماده ذکر شده به‌هم بستگی دارد. سایش در مورد سیستم‌های پلیمر - پلیمر از سیستم‌های پلیمر - فلزی شدیدتر است. ضریب اصطکاک، فاکتور سایش، نرخ حجمی‌سایش و نرخ PV (فشار، سرعت) برای توضیح مقاومت به سایش پلیمرها استفاده شده‌اند.

ضریب اصطکاک فلزات به سطح تماس سرعت و دما تا حدود ۲۰۰°C بستگی داشته، و در مقایسه، خواص اصطکاکی پلیمرها به‌میزان بار، سرعت، درجه حرارت و پرداخت سطح بستگی دارد. عوامل سایش می‌توانند آهنگ سایش را پیشگویی نمایند، اگر شرایط ارائه سرویس قطعه که متغیر است در آزمایش به‌خوبی شبیه‌سازی شده باشد. فاکتور سایش (K) با معادله زیر اندازه‌گیری می‌شود.

$$K = \frac{W}{t}.V.t$$

به‌طوری که W حجم ساییده شده برحسب اینچ مکعب، l بار نیروی استفاده شده برحسب پوند نیرو و Vسرعت برحسب فوت بر دقیقه و t زمان آزمایش برحسب ساعت است. فاکتور سایش کوچک‌تر بیانگر مقاومت به‌سایش بهتراست.

انواع پوشش‌های مورد استفاده برای افزایش مقاومت سایشی در قطعات مورد استفاده در صنایع:

۱ کرم کاری سخت
۲ آبکاری شیمیایی نیکل
۳ سخت کاری سطحی کبالت و فولاد
۴ Al_2O_3 و سایر سرامیک‌ها

۵ کاربیدها و کاربیدهای متصل شده به فلز
۶ فیلم‌های واکنش اکسیدی
۷ نیتروره کردن
۸ کربوره کردن
۹ بریزاسیون
۱۰ سولفیده کردن
۱۱ کرم کاری
۱۲ MoS_2 و پوشش‌های باند شده با گرافیت
۱۳ فلوئور و پلیمر، نایلون و پوشش‌های پلی‌اتیلنی
۱۴ الکترولیز فلزات نجیب

انواع تکنیک‌ها و فرایندهای کاربردی مورد استفاده در صنعت برای ایجاد پوشش به شرح زیر است:

۱ آبکاری الکتریکی
۲ آبکاری شیمیایی
۳ سخت‌کاری سطح
۴ اسپری کردن شعله‌ای
۵ اسپری کردن پلاسمایی
۶ اسپری کردن با تفنگ انفجاری
۷ نفوذ
۸ واکنش‌های سطحی
۹ عملیات مالشی (انتقالی)
۱۰ ذوب کردن
۱۱ انحلال بخار
۱۲ انحلال پیرولیتی
۱۳ رسوب بخار شیمیایی
۱۴ آبکاری یونی
۱۵ رسوب دادن بخار
۱۶ یون پرانی (اتم پاشی)

در جدول ۱۰ خواص برخی از پوشش‌ها ذکر شده است.

جدول ۱۰ــ خواص برخی از پوشش‌کاری‌ها

پوشش‌کاری	خواص
نیترید و کاربید تیتانیم	کاهش سایش
فلوئور و پلیمر، MoS_2	کاهش اصطکاک
ساینده‌های پیوند شده تیتانیم	افزایش اصطکاک
مس، سرب	بهبود روغنکاری
آبکاری شیمیایی نیکل	افزایش دما یا ظرفیت اعمال بار
آبکاری نقره ـ طلا	جلوگیری از چسبندگی
ایندیوم، سرب	جذب کننده ذرات
آبکاری یا نفوذ کروم	کاهش خوردگی سایشی
فسفاته کردن، نایلون	نگه‌داشتن مایعات روان‌کننده
سخت‌کاری سطحی فولاد	ساخت مجدد سطح
آبکاری نقره	کاهش زبری سطح
پلی اتان، نئوپرن	جلوگیری از سایش قطره‌ای
آلیاژ کبالت، مولیبدن	جلوگیری از سایش ذرات

آهنگ pv یا محدودهٔ pv (سرعت سطح × فشار) روش دیگری برای اندازه‌گیری مقاومت به سایش ظاهری است.

pv به نرخ سایش بستگی دارد و بیان می‌کند که برای خواصی که یک یاتاقان باید داشته باشد، چه ترکیبی از فشار و سرعت، قابل قبول و بهینه است. PV را معمولاً تحت یک سرعت مشخص بیان می‌کنند.

پلاستیک‌های خودروان‌کار: پلاستیک‌هایی شامل استال‌ها، فلوئور و پلاستیک‌ها با وزن مولکولی زیاد، پلی‌اتیلن‌های پردانسته، نایلون‌ها و پلی‌آمیدها روانکاری ذاتی را با ضرایب اصطکاک کمتر ترکیب کرده‌اند.

اضافه کردن عوامل روغن‌کاری به پلاستیک‌های دیگر می‌تواند آنها را به ترکیباتی مناسب برای کاربرد در یاتاقان‌ها تبدیل کند.
برای به‌دست آوردن مقاومت به سایش بهینه، اغلب پلاستیک‌ها با اضافات روان‌کننده و الیاف‌ها ترکیب می‌شوند.

ج) سرامیک‌ها

سایش سرامیک‌ها با نیروهای پیوندی، که در یک سیستم سرامیک ـ سرامیک یا سرامیک ـ فلز به‌وجود آمده است، اندازه‌گیری می‌شود. پیوندهای اتمی قوی به‌وسیله تغییرات توده و خواص سطحی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. فلزات عموماً به‌طور پلاستیکی تغییر شکل می‌دهند در صورتی که سرامیک‌ها ترد هستند و شکست در آنها با مقدار کمی تغییر فرم پلاستیکی یا هیچ‌گونه تغییر فرم پلاستیک رخ می‌دهد. جدول ۱۱ چقرمگی شکست سرامیک‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱ـ چقرمگی شکست سرامیک‌ها

ماده	توضیحات	چقرمگی شکست $KIc.MPa\sqrt{m}$
فولاد با استحکام متوسط		۵۰/۰
NaCl	تک‌بلور	۰/۴
شیشه سودالایم	بی شکل	۰/۷۴ DCB
شیشه آلومینوسیلیکات	بی شکل	۰/۹۱ DCB
ZnSe	رسوب داده شده از حالت بخار	۰/۹
WC	Cobonded	۱۳
ZnS	رسوب داده شده از حالت بخار	۱
Si_3N_2	به‌صورت گرم پرس‌شده	۵
Al_2O_3	تقویت شده با MgO	۴
Al_2O_3 (یاقوت کبود)	تک‌بلور	۲/۱
SiC	به‌صورت گرم پرس‌شده	۴

$SiC-ZrO_2$	به‌صورت گرم پرس‌شده	۵
MgF_2	به‌صورت گرم پرس‌شده	۰/۹
MgO	به‌صورت گرم پرس‌شده	۱/۲
B_4C	به‌صورت گرم پرس‌شده	۶
Si	تک‌بلور	۰/۶
ZrO_2	با کلسیم تثبیت شده	۷/۶ BCD

DCB: Dovble Cantilever Beam.

برخلاف فلزات، در سرامیک‌ها شکست ناخالص و تغییر فرم پلاستیکی هنگامی می‌تواند رخ دهد که تغییر فرم الاستیکی سرامیک محدود باشد.
جریان ماده در پلاستیک‌ها الهام گرفته شده از ریزساختار، نابجایی‌ها، جاهای خالی و ... است، درصورتی که در سرامیک‌ها جریان ماده، تابعی از چسبندگی، اصطکاک و رفتارهای سطح سرامیک است.
در سیستم‌های سرامیک - فلز اختلافات بزرگ در تغییر شکل‌های الاستیک و پلاستیک می‌تواند سبب مخلوط شدن مواد، و باعث افزایش سایش شود.

معیار خوردگی

خوردگی نتیجه یک‌سری فعالیت‌های شیمیایی یا الکتروشیمیایی میان یک ماده و محیط اطرافش است. شکل خوردگی می‌تواند به‌گونه وسیعی تغییر یابد که البته به ماده و شرایط تماس بستگی دارد.

الف) فلزات

خوردگی اغلب در نتیجه تشکیل محصولات خوردگی به‌وجود می‌آید؛ به‌عنوان مثال ایجاد زنگ بر روی آهن، اما لزومی ندارد که محصولات خوردگی قابل رؤیت باشد و همچنین کاهش وزن فلز مادر نیز لازم نیست. محسوس باشد. خوردگی همچنین می‌تواند به شکل‌های مختلف دیگری نظیر ترک خوردن، کاهش استحکام یا کاهش داکتیلیتی ظاهر شود. پنج شکل اصلی خوردگی وجود دارد که طبقه‌بندی براساس ظاهر خارجی یا مکانیزم خوردگی انجام گرفته است.
خوردگی عمومی: خوردگی عمومی به‌وسیله نازک شدن یکنواخت به وجود می‌آید و می‌تواند شامل زنگ زدن آهن، تیره شدن نقره، کدر شدن نیکل و اکسیداسیون فلزات در دمای زیاد باشد.

خوردگی یکنواخت به‌وسیله رسوب یا از دست دادن وزن فلز در واحد زمان اندازه‌گیری می‌شود. واحدهای معمول برای اندازه‌گیری نرخ خوردگی یکنواخت براساس واحدهای $\frac{mm}{yr}$ یا $\frac{in}{yr}$ تنظیم شده‌اند.

خوردگی موضعی: تخریبی که به‌وسیله این نوع از خوردگی رخ می‌دهد، ترجیحاً در نواحی موضعی به‌وجود می‌آیند تا اینکه در سطح روباز به‌طور یکنواخت خورده شود. دو نوع اساسی خوردگی موضعی عبارت‌اند از: خوردگی شکافی و خوردگی حفره‌دار شدن.

خوردگی شکافی: هنگامی رخ می‌دهد که قسمتی از سطح فلز پوشش داده شده، یا در مقایسه با سطح باقیمانده محدود شده، و همچنین در معرض حجم زیادی از الکترولیت قرار گرفته باشد.

خوردگی حفره‌دار شدن: حفره‌دار شدن، محل‌هایی از خوردگی را تولید می‌کند که سطح قابل رؤیت آنها در مقایسه با سطوح داخلی آنها، که از سطح به‌طرف داخل قطعه پیشرفت کرده است، بسیار کوچک است. این دو نوع خوردگی موضعی با روش‌های مشابهی به‌وجود می‌آیند.

خوردگی شکافی به‌وسیله تشکیل یک سلول غلظتی شروع می‌شود درصورتی که خوردگی حفره‌دار به‌عنوان نتیجه‌ای از ناپیوستگی متالورژیکی آغاز می‌گردد.

خوردگی گالوانیکی: خوردگی گالوانیکی همچنین با عنوان خوردگی دو فلزی شناخته می‌شود و هنگامی رخ می‌دهد که یک فلز یا آلیاژ به‌طور الکتریکی با فلز یا آلیاژ دیگر در حضور یک الکترولیت کوپل می‌شود.

فلزی که مقاومت به خوردگی کمتری دارد، آند سلول خوردگی واقع شده، و با شتاب زیاد مورد حمله قرار می‌گیرد در صورتی که فلز مقاوم‌تر محافظت می‌شود.

خوردگی‌های گالوانیکی می‌تواند مزایایی داشته باشد که از آن جمله می‌توان به سیستم‌های محافظت کاتدیک اشاره نمود که از یک آند مناسب برای جلوگیری یا کاهش خوردگی ساختار که باید محافظت شود، استفاده می‌شود.

فلززدایی: فلززدایی نوعی از خوردگی است و هنگامی رخ می‌دهد که آلیاژ متشکل از چند جزء باشد و یا با چند جزء از عناصر آلیاژی به‌طور ترجیحی خورده می‌شوند درنتیجه یک قطعه متخلخل از شکل اولیه برجای می‌ماند که استحکام مکانیکی واقعی را ندارد. فلززدایی به‌سبب اختلاف پتانسیل‌های خوردگی عناصر در یک آلیاژ به وجود می‌آید.

عناصر نجیب‌تر در یک سلول گالوانیکی به‌عنوان کاتد عمل کرده درصورتی که عناصر فعال‌تر آند شده، به‌سرعت خورده می‌شوند. رایج‌ترین نوع فلززدایی، روی‌زدایی برنج است به‌عنوان مثال عمل روی‌زدایی در لوله‌های برنجی رخ می‌دهد.

خوردگی بین دانه‌ای: خوردگی بین دانه‌ای هنگامی رخ می‌دهد که مرزهای دانه‌ها

به‌طور ترجیحی مورد حمله واقع می‌شوند. این مسئله به دلیل وجود رسوب‌ها یا جدایش‌ها در این مناطق است. رسوبات مرزدانه‌ای در برابر سطوح گسترده دانه‌ها، آند واقع می‌شوند در نتیجه مرزهای دانه‌ها به‌سرعت مورد حمله قرار می‌گیرند و باعث ایجاد شکست ناگهانی می‌گردد. یکی از رایج‌ترین مثال‌ها برای خوردگی بین دانه‌ای در مورد فولادهای زنگ نزن آستنیتی رخ می‌دهد به‌طوری که یا جوشکاری شده، و یا به‌طور نامناسب عملیات حرارتی شده باشند.

■ **ترک برداشتن به علت تنش‌های محیطی:** ترک برداشتن در اثر تنش‌های محیطی، گسیختگی فلز در اثر قرار گرفتن آن در برابر ترکیبی از تنش و یک محیط خورنده است. هنگامی که تنش به‌طور تناوبی وارد شود ترک برداشتن در اثر خوردگی خستگی رخ می‌دهد. چنانچه ترک برداشتن در اثر تنش کششی به وجود آید، این نوع خوردگی با عنوان خوردگیِ تحت تنش نامیده می‌شوند. خوردگی تحت تنش پدیده‌ای پیچیده است که تقریباً تمامی فلزات در بعضی محیط‌ها دچار آن می‌شوند. ترک برداشتن می‌تواند به دو صورت «درون دانه‌ای» و یا «مرزدانه‌ای» باشد.

تنش کششی اولیه مورد نیاز برای گسترش خوردگی تحت تنش می‌تواند کوچک باشد و این تنش می‌تواند از طریق عوامل خارجی یا تنش‌های داخلی باقیمانده تأمین شود.

■ **قابلیت خوردگی:** به این دلیل که بسیاری از فلزات می‌توانند مقاصد استحکام، وزن، عمر خستگی و دیگر موارد مورد نیاز را تأمین کنند، برای یک محیط مشخص انتخاب نهایی فلز یا آلیاژ را مقاومت در برابر خوردگی تعیین می‌نماید. هنگامی‌که هیچ فلزی از نظر خواص مکانیکی و مقاومت در برابر خوردگی از نظر اقتصادی مناسب شناخته نشود، از یک فلز کم ارزش که تحت تدابیری محافظت می‌شود، استفاده می‌گردد.

روش‌های محافظت از خوردگی شامل بازدارنده‌های اضافه شده برای خوردگی‌های متوسط، پوشش‌های ارگانیکی آلی، پوشش‌های قربانی شونده، محافظت‌های کاتدیک یا آندیک و پوشش‌های ممانعت‌کننده (برای مثال پوشش‌هایی که در اثر اسپری کردن به‌وجود می‌آید یا نشاندن کرم روی فلز با روش الکترولیز) است.

مواد روکش شده همچنین می‌توانند از یک فلز مبنای کم ارزش، فلز مقاومی ایجاد کنند. جدول۱۲ مقاومت در برابر خوردگی فلزات بدون پوشش را نشان می‌دهد.

جدول ۱۲ـ مقاومت در برابر خوردگی فلزات بدون پوشش

ماده	اتمسفر صنعتی	آب خالص	آب دریا	اسیدسولفوریک ۱۵-۱۰٪	محیط‌های قلیایی ۸٪
فولاد کم‌کربن	۱	۱	۱	۱	۱
فولاد گالوانیزه	۴	۲	۴	۱	۱
فولاد ۴ تا ۶٪ کرم	۳	۳	۳	۱	۴
فولاد زنگ نزن ۸ـ۱۸	۵	۵	۴	۲	۵
فولاد زنگ‌نزن ۳۵ـ۱۸	۵	۵	۴	۴	۴
مونل (۳۰٪ـ Cu ۷۰٪ Ni)	۴	۵	۵	۴	۵
برنج قرمز (۱۵٪ـ Zn ۸۵٪ Cu)	۴	۳	۴	۳	۱
آلومینیم برنز	۴	۴	۴	۳	۳
نیکل نقره (۱۷٪ـ ZnO ۱۸٪- Ni ۶۵٪ Cu)	۴	۴	۴	۴	۴
آلومینیم	۴	۲	۱	۳	۱
آلیاژهای Al-Cu دور آلومین	۳	۳	۱	۲	۱

راهنما: ۱ـ ضعیف ۲ـ استفاده زودگذر ۳ـ سرویس‌دهنده خوب ۴ـ سرویس‌دهنده قابل اعتماد ۵ـ سرویس‌دهنده عالی به‌طور نامحدود

ب) پلیمرها: پلاستیک‌ها و مواد مرکب با زمینه پلیمری (PMC) عموماً مقاومت خوبی به خوردگی دارند بعضی از پلاستیک‌ها نظیر PTFE (پلی تترافلوئورواتیلن) می‌توانند در محیط‌های شیمیایی بسیار خورنده، که فلزات به‌شدت مورد هجوم واقع می‌شوند، به‌خوبی کار کنند. همچنین پلاستیک‌هایی نظیر پلیمرهای کریستالی ـ مایع، پلی‌استن‌ها و سولفیدپلی‌فنیلین (PDS) در محیط‌های شیمیایی با درجه حرارت‌های زیاد، مقاومت بسیار خوبی دارند.

- **پلاستیک‌های برجسته:** عموماً به این دلیل که پلاستیک‌ها موادی آلی هستند، می‌توانند به وسیله برخی از مواد شیمیایی یا حلال‌ها مورد هجوم قرار گرفته یا حل شوند، به‌ویژه در حلال‌های آلی.

ترموپلاستیک‌های مهندسی پلی‌کریستالی نظیر PTFE و نایلون، اغلب اوقات مقاومت شیمیایی بهتری نسبت به انواع بی‌شکل نظیر پلی‌کربنات‌ها دارند.
با توجه به هر دو عامل طبیعت شیمیایی و نوع پلیمر، یک پلاستیک می‌تواند به‌وسیله یک واکنش شیمیایی، یا جذب عوامل شیمیایی حل شود.
در حضور برخی مواد شیمیایی و تحت تأثیر تنش، پلاستیک‌ها می‌توانند تدریجاً ترک برداشته، شکسته شوند. این پدیده در حالتی که تنش وارد نمی‌شود رخ نمی‌دهد.
پاک‌کننده‌ها و روغن‌ها می‌توانند سبب این نوع شکست در پلی‌اتیلن‌ها شوند.

ج) سرامیک‌ها: سرامیک‌ها نظیر پلاستیک‌ها و فلزات با محیط شان وارد واکنش می‌شوند. مقاومت در برابر حمله شیمیایی یک سرامیک به استحکام پیوندهای اتمی آن بستگی دارد. در این صورت سرامیک‌هایی با پیوند ضعیف مقاومت شیمیایی نسبتاً کمی دارند، در صورتی که سرامیک‌های یونی و دارای پیوند کووالانس نظیر آنهایی که برای مقاصد مهندسی به‌کار می‌روند، مقاومت خوبی دارند.
اکسیدکرم مثالی از یک سرامیک مقاوم در برابر خوردگی است. اکسیدکرم می‌توانند به شیشه متصل شوند که این ترکیب برای تعمیر جداره شیشه‌ای داخلی تانک‌های مواد شیمیایی بسیار مناسب است. همچنین مقاومت در برابر خوردگی و سایش اکسیدکرم مناسب است.
اکسیدهای مقاوم در برابر خوردگی دیگری، نظیر آلومینا و زیرکونیا نیز وجود دارد که این اکسیدها در محدوده‌های شیمیایی متفاوتی مقاومت می‌کنند اما برای کارکردن طی مدت‌های طولانی در برابر اسیدها یا بازهای قوی توصیه نمی‌شود.
نمونه‌های دیگری از سرامیک‌های مقاوم در برابر خوردگی در جدول ۱۳ مورد بررسی قرارگرفته‌اند. جدول ۱۳ تأثیر محلول‌های شیمیایی پلیمرها (بررسی شده در دو دمای (۲۵°C و ۹۵°C)) را نشان می‌دهد.

جدول ۱۳ــ تأثیر محلول‌های شیمیایی پلیمرها (بررسی شده در دو دمای (۲۵°C و ۹۵°C))

ماده	هیدروکربن‌های آروماتیک		هیدروکربن‌های آلیفاتیک		حلال‌های هالوژنه		استرها و ستون‌ها		الکل‌ها		آمین‌ها		بازهای ضعیف و نمک‌ها		بازهای قوی		اسیدهای قوی		اکسیدان‌های قوی	
	۲۵	۹۵	۲۵	۹۵	۲۵	۹۵	۲۵	۹۵	۲۵	۹۵	۲۵	۹۵	۲۵	۹۵	۲۵	۹۵	۲۵	۹۵	۲۵	۹۵
نایلون (پلی‌آمید)	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۲	۳	۵	۵	۵	۵
پلی‌کربنات (PC)	۵	۵	۱	۱	۵	۵	۵	۵	-	۲-۵	-	۵	۱	۵	۵	۵	۱	۱	۱	۱
پلی‌استر	۲	۵	۱	۳-۵	۳	۵	۲	۳-۴	-	-	-	-	۱	۳-۴	۲	۵	۳	۴-۵	۲	۳-۵
پلی ترفلوئورو اتیلن (PTFE)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

پلی میدها	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	–	–	–	–	۱	۱	۱	۱	۲	۳	۴	۵
اکسید پلی‌فنیلین (PPO)	۴	۵	۲	۳	۴	۵	۲	۳	۲/۵	–	۵	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۲
سولفید پلی‌فنیلین (PPS)	۱	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱-۳	–	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۳
پلی سولفون (PSO)	۴	۴	۱	۱	۵	۵	۳	۴	۱	۱	۵	–	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
فتالات دیالیل (DAP)	۱-۲	۲-۴	۲	۳	۲	۴	۳-۴	۴-۵	–	–	–	–	۲	۳	۴	۴	۲	۳-۲	۲-۱	۴
فنولیک‌ها	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۱	۱	–	–	۲	۳	۳	۵	۱	۱	۴	۵

راهنما: ۱ـ بی‌تأثیر ـ خنثی ۲ـ کم‌تأثیر ۳ـ تأثیر متوسط ۴ـ نرم یا برجسته کننده ۵ـ احتیاط شدید

جدول ۱۴ سرعت خوردگی سرامیک‌ها در محلول‌های شیمیایی مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۱۴ـ سرعت خوردگی سرامیک‌ها در محلول‌های شیمیایی

آزمایش در محیط ٪ وزنی	دمای آزمایش °C(F)	Si/SiC٪۱۲Si	کاربید تنگستن	آلومینا٪۹۹	کاربید سیلیکون (با سیلیس غیرآزاد)
اسیدسولفوریک ۹۸٪	۱۰۰(۲۱۲)	۵۵	>۱۰۰۰	۶۵	۱/۸
سود ۵۰٪	۱۰۰(۲۱۲)	>۱۰۰۰	۵	۷۵	۲/۵
اسیدفلوئوریدیک ۵۳٪	۲۵(۷۷)	۷۱	۸	۲۰	< ۰/۲
اسیدفسفریک ۸۵٪	۱۰۰(۲۱۲)	۸/۸	۵۵	>۱۰۰۰	< ۰/۲
پتاس ۴۵٪	۱۰۰(۲۱۲)	>۱۰۰۰	۳	۶۰	< ۰/۲
اسیدکلریدریک ۲۵٪	۷۰(۱۵۸)	۰/۸	۸۵	۷۲	< ۰/۲
آمونیاک ۷۰٪	۱۰۰(۲۱۲)	۰/۵	>۱۰۰۰	۷	< ۰/۲
اسید فلوئوریدریک ۱۰٪ آمونیاک ۷۵٪	۲۵(۷۷)	>۱۰۰۰	>۱۰۰۰	۱۶	< ۰/۲

زمان آزمایش: ۱۲۵ تا ۲۰۰ ساعت، آزمایش غوطه‌وری و محلول به‌طور مداوم به‌هم زده شده است.

توضیحات	سرعت نرخ
در مدت چند روز کاملاً از بین می‌رود.	$>۱۰۰۰ \frac{mg}{cm^۲} yr$
برای ارائه سرویس بیش از یک ماه توصیه نمی‌شود.	$>۱۰۰۰ \frac{mg}{cm^۲} yr$
برای ارائه سرویس بیش از یک سال توصیه نمی‌شود.	$>۱۰۰۰ \frac{mg}{cm^۲} yr$
برای کاربرد موارد خاص، با درنظر گرفتن شرط‌احتیاط توصیه می‌شود.	$>۱۰۰۰ \frac{mg}{cm^۲} yr$
برای دوره‌های طولانی ارائه خدمت توصیه می‌شود.	$>۱۰۰۰ \frac{mg}{cm^۲} yr$
برای دوره‌های طولانی ارائه خدمت بدون خوردگی توصیه می‌شود.	$<۰/۲ \frac{mg}{cm^۲} yr$

جلسه چهارم موضوع: آلیاژهای مهندسی

هدف: آشنایی با مفهوم آلیاژ و بررسی اجمالی مهم‌ترین آلیاژهای مهندسی

مفاهیم

همان‌گونه که می‌دانید آلیاژ به مخلوط چند عنصری با خواص نهایی فلزی گفته می‌شود. مثلاً مخلوط آهن و کربن به‌نام فولاد یا چدن محسوب می‌شود لیکن اکسیدآهن که مخلوط آهن و اکسیژن می‌باشد آلیاژ نیست.

هدف از آلیاژسازی بهبود برخی از خواص یا نقاط ضعف یک فلز پایه است. مثلاً:

افزودن کروم به آهن سبب بهبود مقاومت به خوردگی فولاد می‌شود.

افزودن روی به مس سبب بهبود مقاومت به خوردگی و افزایش استحکام مس می‌شود.

افزودن مس به آلومینیم سبب بهبود استحکام و سختی آلومینیم می‌شود.

روش تدریس

با ارائه مثال‌های کاربردی از آلیاژهای مهندسی موجود در اطراف خود ذهن هنرجویان را با مفهوم آلیاژهای گوناگون و کاربردهایشان آشنا نمایید.
مثلاً:
۱ قابلمه ـ دیگ و ظروف مسی (شکل‌پذیری ـ مقاومت به خوردگی ـ هدایت حرارتی)
۲ سازه ساختمان، مخازن ذخیره آب، قطعات انتقال قدرت خودرو فولادی
۳ درب و پنجره آلومینیمی (مقاومت به خوردگی ـ چگالی کم ـ شکل‌پذیری)
از هنرجو بخواهید مثال‌های دیگری از محیط اطراف خود در هنرستان یا منزل بیان کنند.

دانش‌افزایی

تاریخچه متالورژی

اسناد مربوط به استفاده‌های اولیه بشر از فلزات به این واقعیت اشاره دارد که انسان ابتدایی آنها را برای اهداف خود متناسب کرده است. به عنوان مثال، اسنادی مربوط به اوایل عصر آهن وجود دارد، که نگاهی اجمالی به اولین قدم انسان در دنیای مرموز سنگ‌های معدنی و آتش شامل اکتشاف و به کارگیری آنها فراهم می‌کند. انسان اولیه به سنگ معدن از زیرزمین و آتش از اقدامات هوشمندانه خویش دست پیدا کرد.
این اسناد شامل موارد زیر است:
آهن از زمین خارج می‌شود و مس با ذوب سنگ آن به‌دست می‌آید. انسان پایانی برای عدم آگاهی خویش می یابد و دورترین مرزهای تاریکی عمیق را برای یافتن سنگ‌های معدنی جستجو کرد.
در مورد زمین: از لایه بیرونی آن نان می‌آید، اما زیر آن همچون آتش شعله ور است.
با رفتن به زمان‌های دورتر، نوشته‌ها و مصنوعات روزهای ماقبل تاریخ نشان می‌دهد که غارنشینان ۲۰،۰۰۰ سال پیش با سنگ و استخوان برای ساخت ابزار و سلاح خود کار می‌کردند. بدون شک، انسان تا ۵۵۰۰ سال پیش به‌طور محدودی درخصوص استفاده از فلزات آموخته بود پس از آن از زمانی که مصریان دانه‌های مس را ساختند و در زیورآلات‌شان از آن استفاده کردند و حاکمان‌شان در آب انتقال یافته توسط لوله‌های مسی از رودخانه نیل در استخرهای خصوصی خود حمام کردند، دانش بشر درخصوص استفاده از فلزات افزایش یافت و قطعات مس و آهن شهاب سنگ، و همچنین طلا و نقره، مورد استفاده قرار گرفت. طلا، به شکل قطعاتی یافت می‌شد که در کف رودخانه‌ها قرار گرفته‌اند و به‌وسیله چکش سنگی به زیورآلات تبدیل می‌شدند. برخلاف مس، طلا با چکش‌کاری به‌طور قابل ملاحظه‌ای سخت نمی‌شود و بنابراین امکان استفاده از آن برای ساخت ابزار توسط انسان وجود نداشت. نقره خام نیز در حلقه‌ها، دستبند و سایر زیورآلات استفاده شده است، اما نه به میزان طلا.

امروزه می‌دانیم که طلاسازان از جمله اولین فلزکاران بودند، بعضی از قدیمی‌ترین کاوش‌های باستان‌شناسی مصر، ایران، عراق و یونان این موضوع را نشان داده‌اند.

گلدان طلا پیدا شده درمارلیک ایران مربوط به ۱۰۰۰ سال قبل میلاد

چرخ گاو آهن برنزی تزیینی مربوط به قرن دوم قبل از میلاد

شیر برنزی مربوط به قرن ۱۲ دوره سلجوقیان

انسان هنر استخراج سنگ‌های معدن برای تولید فلزات را در پایان عصر حجر آموخته و آنچه ما می‌دانیم این است که، این اکتشافات اولیه انسان در مورد مس، اولین فلز صنعتی، فقط مس را شامل نبوده و در واقع انسان را درگیر شیمی‌کرده است، که به او وجود نقره، سرب، قلع و احتمالاً آهن را نشان داده است. ما متوجه شدیم که پس از مطالعات طولانی و بدون شک غیرمعقول با ناخالصی‌هایی مانند آنتیموان و آرسنیک، قلع خود را به‌عنوان افزودنی ایده‌آل به برنز نشان داد.

به نظر می‌رسد کشف واقعی فلزات در هزاره ششم از زمانی که استفاده انسان از فلزات و ثبت اسناد آن پیشرفت کرد تا ۲۰۰ سال قبل میلاد آغاز شده است. این فقط در یک منطقه رخ نداده است، بلکه در ناحیه‌ای کشیده شده از آناتولی غربی و مرکزی (ترکیه) در امتداد رشته کوه‌های تاروس و زاگرس، تا بیابان مرکزی ایران.

متالورژی و آتش‌کاری

وقتی به فعالیت‌های اولیه انسان از نظر متالورژی و آتش‌کاری نگاه می‌کنیم، به آهنگران هزاره چهارم قبل از میلاد می‌رسیم.

آنها بدون شک اثرات چکش‌کاری، حرارت دادن یا پختن، اکسیداسیون، ذوب و آلیاژ کردن را بر روی فلزات می‌دانستند و همچنین از پدیده تجزیه ساده سنگ‌های معدن، کاهش، تجزیه دوگانه و تصفیه آنها آگاه بوده است. بدون شک درخصوص انحلال‌پذیری و عدم انحلال‌پذیری محلول‌ها نیز اطلاعاتی داشته‌اند.

مطالعه تاریخ اولیه متالورژی در قرن بیستم توجه ما را به دمای آتش‌کاری در آن زمان به‌عنوان کلید ظهور فلزات جلب می‌کند.

بنابراین، با توجه به این نکته، عصر مس حدود ۴۰۰۰ یا ۵۰۰۰ سال قبل از عصر آهن است، زیرا مس تنها در ۱۰۸۳ درجه سانتی‌گراد ذوب می‌شود درحالی که نقطه ذوب آهن ۱۵۳۵ درجه سانتی‌گراد است. با این‌حال، آهنگران اولیه، یک عنصر را در یک درجه حرارت خاص استخراج نمی‌کردند، بلکه کل ماده را در دمای متغیر صعودی قرار می‌دادند.

تبدیل متالورژی از هنر به دانش

اگرچه انسان اولیه توانست مهارت‌های پیچیده‌ای از عملیات آتش‌کاری را مدیریت کند، اما درس‌های علمی‌آن برای هزاران سال سر بسته باقی ماند. ممکن است گفته شود که صنعت گران فلزات و فرایندهای متالورژی را به روش عملی کشف کرده‌اند، اما آنها را به‌صورت علمی‌درک نکرده‌اند. شبه علمی‌به نام کیمیاگری نتیجه طبیعی اولین موفقیت‌های خیره‌کننده در انتقال عناصر پایه به فلزات بود.

حتی کارگران ساده هم اعتقاد داشتن که قلع، آنتیموان و آرسنیک ارتباطی با سرب دارند. لذا تا زمان Agricola (۱۴۹۴ تا ۱۵۵۵) از اسامی لاتینی به‌عنوان plumbum candidum (قلع) و plumbum cinereum (آنتیموان) استفاده می‌کردند.

فولاد در آن زمان شناخته نشده بود. کلمه kassiteros در ابتدا به معنی سنگ معدن حاوی قلع و همچنین سنگ معدن قلع بود.

اواخر قرن هجدهم میلادی، انسان به این نتیجه رسید تصورات غلط خود را کنار بگذارد و از شیمی‌پیچیده متالورژی بهره ببرد. حتی در آن زمان، بسیاری از محققان به نام همچنان به این موضوع که آهن و مس قابل تبدیل به یکدیگرند ادامه دادند. امروزه می‌دانیم که دانش ما در مورد خواص ساختاری و فیزیکی فلزات به‌آرامی‌در گذر زمان به‌دست آمده است.

عمر فرایند متالوگرافی تنها یک قرن است، و عمر پراش اشعه ایکس، که ساختار اتمی فلزات را برای ما روشن کرد، تنها پنجاه سال است.

اعتقاد بر این است که شروع واقعی عصر آهن در حدود ۱۵۰۰سال قبل از میلاد مسیح با ذوب اولین سنگ آهن است. در طول این دوره، آهن ساخته شده به‌طور عمده برای سکه‌ها، ظروف پخت‌وپز و وسایل نظامی مورد استفاده قرار گرفت. بدون شک در سال‌های اولیه عصر آهن، متالورژها فرایندهای سمانتاسیون برای ساخت فولاد و هنر سریع سرد کردن فولاد برای سخت کردن و بازپخت آنرا برای ساخت سلاح کشف کرده‌اند.

پیشرفت متالورژی تا حدود سال ۱۳۰۰ بعد از میلاد مسیح آهسته بود، توسعه آهنگری کاتالان در اسپانیا نقطه عطفی در پیشرفت متالورژی است زیرا پیشگام کوره‌های باز امروزی ما بود و برای اولین بار در تاریخ، انسان توان تولید یک مقدار قابل توجه آهن در یک گرما را داشت.

پیشگام کوره‌های دمشی که امروزه آنها را می‌شناسیم، کوره مداوم عمودی بود که در حدود سال ۱۳۲۳ میلادی در آلمان توسعه یافت. محصول این کوره با محتوای کربن بالا، به عنوان «چدن» شناخته شد و استفاده از ریخته‌گری آهن را به‌میزان قابل توجهی گسترش داد.

اوایل قرن شانزدهم، کنجکاوی طبیعی انسان، علم مدرن متالورژی را به‌وجود آورد. با این حال، انتقال متالورژی از هنر به علم هنگامی‌که آن را با پیشرفت تکنولوژی در زمینه‌های دیگر در طول سال‌ها مقایسه می‌کنیم بسیار کند است. تحولات در معدن و فراوری سنگ‌های معدنی، با مانع وجود منابع معدنی را در مکان‌ها و عمق‌هایی که قبلاً برای انسان ناشناخته و غیر قابل دسترسی بودند، مواجه بود. اما اختراع موتور بخار توسط جیمز وات در سال ۱۷۸۰ به خروج آب معادن کمک کرد. به کمک پیشرفت ماشین بخار جیمز وات عصر قدرت و انقلاب صنعتی آغاز شد.

با آغاز عصر قدرت تقاضا برای فلزات بسیار بیشتر شد و در عین حال امکان ایجاد قدرت بیشتری برای تولید مقادیر بالاتر فراهم شد. مردی به‌نام هنری کورت، که قصد داشت انگلستان را از کشورهای خارجی برای تأمین آهن مستقل کند، در سال ۱۷۰۰ در سن ۳۹ سالگی یک آهنگری در Hampshire Gosport، ساخت، کورت فرایندهای خود را برای خرد کردن و نورد آهن بهبود بخشید. این آغاز تولید فرایند نورد بود و گامی‌بزرگ در تولید آهن و فولاد در میله‌ها، اشکال و ورق‌ها بود. از آنجا که روند سمانته سازی فولادها بسیار پرهزینه بود برای مصارف در مقیاس بزرگ، فلز غالب در آن روزها از آهن بود و تا زمان اختراع مبدل بسمر در سال ۱۸۵۵ توسط یکی دیگر از دانشمند انگلیسی، هنری بسمر، نیز رایج بود. هنری بسمر در طول جستجوی خود برای بهبود مواد برای ساخت اسلحه فرایند خود را توسعه داد.

قبلاً فولاد کمیاب و گران بود و عمدتاً برای اهداف خاص از طریق فرایند بوته ساخته شده بود. درحالی که آهن، چدن و برنز برای سازه‌ها، موتور و سلاح گرم استفاده می‌شد. بسمر مقاله مهم خود را در انجمن بریتانیا در چلدنام در ۱۳ اوت ۱۸۵۶ به‌عنوان «تولید چدن و فولاد بدون سوخت» خواند. فرایند او یک فرایند جدید و ارزان بود که با سرعت

زیادی از آهن خام به‌وسیله دمیدن هوا روی آن در حالت مذاب برای پاک کردن آن از کربن، و سپس اضافه کردن مقدار لازم کربن، فولاد تولید می‌نماید.
در نتیجهٔ این و سایر اختراعاتش، او به‌عنوان شوالیه دست پیدا کرد. درخواست بسمر برای ثبت اختراع فرایند او این مطلب را که ویلیام کلی، آمریکایی نیز از سال ۱۸۴۷ با روش مشابهی کار کرده است؛ را افشا کرد. پس از آن یک حق ثبت اختراع در سال ۱۸۵۷ نیز به کلی داده شد.

جلسه پنجم موضوع: آهن و آلیاژهای آن

هدف: آشنایی با آهن و فولاد (تاریخچه و کاربرد)

در این درس هدف آن است تا مهم‌ترین آلیاژ مهندسی یعنی فولاد به هنرجو معرفی شود.

روش تدریس

از هنرجو بخواهید (در جلسه قبل) با جست‌وجو در اینترنت راجع به تاریخچه آهن و تأثیر آن در زندگی بشر اطلاعاتی استخراج و در کلاس مطرح نمایند.

توضیح جدول ۳:
کربن تعیین‌کننده کاربرد فولاد است. علت این مسئله اثر کربن بر افزایش استحکام و سختی و کاهش شکل‌پذیری و چقرمگی است. از این رو اگر هدف از استفاده از فولاد شکل‌پذیری است باید کربن فولاد کم و اگر هدف از استفاده از فولاد استحکام و سختی است باید کربن فولاد زیاد باشد.
از این منظر فولادها دارای ۴ کلاس می‌باشند.
الف) فولادهای کم کربن $C < \%0/1$
این فولادها بیشتر برای بحث شکل‌پذیری استفاده می‌شوند. ورق‌هایی از این جنس معمولاً از ۲ میلی‌متر هستند و به روش نورد سرد پرداخت می‌شوند.
مثال‌هایی مانند:

- بدنه لوازم خانگی (یخچال و فریزر، ماشین لباسشویی، ماشین ظرفشویی، کانال کولر، بدنه کولر)
- مفتول جوشکاری
- سیم خاردار
- ورق کف پل‌های عابر پیاده
- بدنه خودرو

استحکام این فولادها کم و شکل‌پذیری، جوش‌پذیری و چقرمگی مطلوب دارند.
کدهایی مانند
ST۱۲، ST۱۳، ST۱۴

از مشهورترین کدهای بازاری فولادهای کم کربن هستند.

ب) فولادهای ساختمانی ٪۰/۲۵ > C ≥ ٪۰/۱

به دلیل افزایش کربن در این فولادها استحکام افزایش می‌یابد ولی با توجه به آنکه فولادهای ساختمانی نیازمند جوشکاری می‌باشند، سقف کربن این فولادها بسته است.

مثال‌هایی نظیر:

- پروفیل‌های سنگین (نبشی، ناودانی، تیرآهن، میلگرد، H_beam ، I_beam)
- لوله‌ها و اتصالات واحدهای نیروگاهی، نفت و گاز، سیالات و انرژی
- پروفیل‌های سبک (قوطی‌ها)
- ورق‌های نورد گرم برای ساخت بدنه مخازن، کشتی، تیر ورق، قاب ماشین‌آلات

از جمله فولادهای ساختمانی می‌باشند که هم‌زمان دو خاصیت استحکام و جوش‌پذیری را دارند.

مشهورترین کدهای این فولادها عبارت‌اند از:

فولادهای ساختمانی DIN ۱۷۱۰۰: ST۳۷، ST۵۲، ST۴۴

فولادهای ساختمانی EN ۱۰۰۲۵: S۲۳۵، S۳۵۵، S۲۷۵

فولادهای تحت فشار EN ۱۰۰۲۸ ـ۳: P۲۵۵، P۲۷۵، P۳۵۵، P۴۶۰

ASTM: A۲۳۴(اتصالات) ـ A۱۰۵(فلنج) ـ A۱۰۶, A۳۳۳(لوله) ـ A۲۸۳, A۲۸۵, A۵۱۵, A۵۱۶(ورق) ـ A۳۶(پروفیل)

لوله‌های انتقال نفت و گاز API ۵L: grade B، X۵۰، X۶۰، x۷۰

ج) فولادهای کربن متوسط (ماشین‌سازی) ٪۰/۶ > C ≥ ٪۰/۲۵

این فولادها عملیات حرارتی‌پذیرند بدان معنا که با تغییر در سیکل عملیات حرارتی خواص این فولادها قابل تغییر است.

این فولادها معمولاً در دو حالت آنیل شده (مناسب برای ماشین‌کاری) و سخت‌کاری شده (مناسب برای انتقال بار) استفاده می‌شوند.

مهم‌ترین ویژگی این فولادها استحکام و چقرمگی بالا است از این رو در ساخت قطعات انتقال قدرت ماشین‌آلات به‌کار می‌رود مانند:

- میل لنگ، میل محور، شاتون، گاردان، چرخ دنده، پینیون، فنر
- چکش
- هوک جرثقیل
- غلطک و قالب خم‌کاری، قالب کشش

مشهورترین فولادهای این گروه عبارت‌اند از:

EN ۱۰۰۸۳: CK۳۵، CK۴۵، ۴۲CrMo۶، ۳۶NiCrMo۶، ۵۸CrV۴

AISI: ۱۰۴۵، ۱۰۳۵، ۴۱۴۰، ۴۳۴۰، ۹۲۶۰

د) فولادهای پر کربن ٪۰/۶ ≤ C

این فولادها در کاربردهای ابزاری استفاده می‌شوند، جوش‌پذیری نداشته و از چقرمگی

پایینی برخوردارند. این فولادها دارای دو دسته اصلی‌اند:

- ٪ ۰/۶ ≤ C ≤ ٪ ۰/۹

در اولویت اول استحکام و در اولویت بعدی سختی اهمیت دارد، مانند:

- ابزار دستی (آچارها، انبردست، پیچ‌گوشتی و ..)
- فنر
- سیم در سازهای زهی (به دلیل نیاز به تغییر پیش تنیدگی در کوک کردن ساز)

۲ ٪ ۰/۹ < C < ٪ ۲

- ابزار برشی (تیغه، اره، مته، سوهان و...)
- بلبرینگ

مشهورترین فولادهای این گروه عبارت‌اند از:

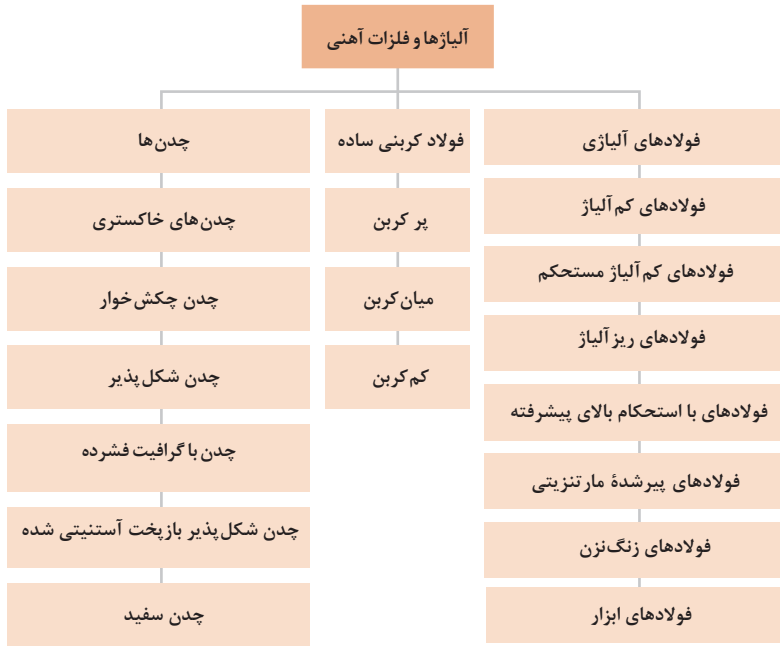
EN: CK۶۰U، CK۷۵، CK۱۰۰، X۲۱۰Cr۱۲

AISI: ۱۰۶۰، ۱۰۷۵، H۱۳، D۲، D۳، O۱، W۲

دانش افزایی

فلزات آهنی

در این جلسه فلزات و آلیاژهای عمدهٔ آهنی (پایهٔ آهن) که به‌صورت ترسیمی در شکل ۱۴ به‌طور خلاصه فهرست شده‌اند، معرفی می‌شوند. این مواد حکم ستون فقرات صنعت را در تمدن بشر داشته و تحولات صنعتی را ممکن می‌کنند. آنها را در هر جای زندگیمان می‌بینیم؛ در خودرویی که می‌رانیم، خانه‌ای که زندگی می‌کنیم، کنسروی که باز می‌کنیم و خانه‌ای که استاندارد زندگی ما را بالا برده‌اند، تنوع زیادی در سال‌های اخیر ایجاد شده است تا نیاز صنایع مختلف برآورده شود. ابداع‌ها و اصلاح‌ها ادامه دارند و در دهه‌های اخیر تعدادی از انواع و حتی کلاس‌های جدید فلزات آهنی نیز مطرح شده‌اند. براساس گزارش مؤسسهٔ آهن و فولاد آمریکا، بیش از ۷۰ درصد فولادهای مورد استفاده در تولید خودرو از این دسته‌اند. جدید ترین فولادها محکم‌تر، شکل‌پذیرتر و مقاوم به خوردگی‌تر از قبل هستند.



جدول ۱۴ـ طبقه‌بندی فلزات و آلیاژهای آهنی

به علاوه همهٔ فولادها تمایل به بازیابی هستند و این بازیابی منجر به هیچ کاهش کیفیتی نمی‌گردد. در حقیقت سالانه فولاد بیش از سایر مواد از جمله آلومینیم، شیشه و کاغذ بازیابی می‌شود. از آنجا که فولاد مغناطیسی است به راحتی ساختمان‌های تخریبی از خودروهای اسقاطی و لوازم خانگی مستعمل، جدا و بازیابی می‌گردد. در سال ۲۰۰۳ حدود ۷۰ میلیون تن فولاد در ایالت متحده با نرخ بازیابی کلی نزدیک به ۷۱ درصد بازیابی شد. نرخ بازیابی قوطی‌های فولادی ۶۰/۲ درصد، لوازم خانگی بزرگ ۸۹/۷ درصد و خودرو ۱۰۲/۹ بود. صحیح است ـ فولاد بازیافتی از اتومبیل قراضه، بیشتر از فولاد استفاده شده در ساخت یک خودروی جدید بوده است. هر تن فولاد بازیافتی بیش از ۴۰۰۰ پوند، مادهٔ خام و ۷۴ درصد انرژی برای تولید یک تن فولاد جدید را صرفه‌جویی می‌کند.

آهن: آهن قرن‌ها به‌عنوان مهم‌ترین فلز مهندسی به شمار می‌آمده است. با وجود اینکه آهن از نقطه نظر فراوانی چهارمین عنصر موجود در قشر زمین است اما به ندرت به حالت فلزیش در طبیعت یافت می‌شود؛ شکل طبیعی آن انواع ترکیب‌های معدنی یا کانه است. مطلوب‌ترین این کانه‌ها اکسیدهای آهن با ناخالصی‌های همراه آنها است. ابتدا بر این کانه‌ها نوعی عملیات احیای شیمیایی اعمال می‌شود تا پیوند آهن ـ اکسیژن شکسته شده و آهن فلزی به‌دست آید. کانه، سنگ آهک، کک و هوا به‌طور پیوسته وارد کورهٔ مخصوص می‌شود و فلزات مذاب هر از گاهی از آن خارج می‌گردد.

اکسیدهای ناخالص دیگر (که به‌عنوان ناخالصی در کانهٔ اولیه موجود بوده‌اند.) نیز در کوره احیا می‌شوند تمام فسفر و بخشی از منگنز وارد آهن مذاب می‌شوند. بخشی از اکسیدهای سیلیسیم و گوگرد احیا می‌گردند و این عناصر نیز در فلز نهایی ظاهر می‌شوند. دیگر عناصر آلوده‌کننده چون کلسیم، منیزیم و آلومینیم در سربارهٔ پایهٔ آهکی جمع‌آوری و از سیستم خارج می‌شوند. بنابراین آهن خام به‌دست آمده دارای ترکیب تقریبی زیر است:

سیلیسیم ۱ تا ۳ درصد،
فسفر ۰/۱ تا ۲ درصد،
کربن ۳ تا ۴/۵ در صد،
گوگرد ۰/۰۵ تا ۰/۱
منگنز ۰/۱۵ تا ۲/۵ درصد

بخش کمی از آهن خام مستقیماً به شکل نهایی ریخته‌گری می‌شود. مادهٔ حاصل چدن نام دارد. البته، غالباً چدن‌های تجارتی از ذوب مجدد آهن قراضه و فولاد و احتمالاً مقداری آهن خام تولید می‌شوند.

جلسه ششم موضوع: فولاد ساده کربنی

هدف: آشنایی با فولاد ساده کربنی و اصول نام‌گذاری آن

فولاد ساده کربنی از نظر تناژ تولیدی بیشتر از مجموع الباقی فلزات (فولادهای آلیاژی و آلیاژهای غیرآهنی) در صنعت مورد استفاده واقع می‌شود. علت آن هم قیمت پایین این آلیاژ در قیاس با سایر آلیاژهای مهندسی است. در جدول ۱۵ قیمت آلیاژها در مقایسه با فولاد ساده کربنی نشان داده شده است.

جدول ۱۵ــ قیمت آلیاژها در مقایسه با فولاد ساده کربنی

آلیاژ	فولاد ساده کربنی	فولاد کرم ـ مولیبدن‌دار	فولاد زنگ نزن مارتنزیتی	فولاد زنگ نزن آستنیتی	آلومینیم
نسبت قیمت به فولاد ساده کربنی	۱	۲/۲	۵ ـ ۵/۴	۱۰ـ ۶	۱۲ـ ۵
آلیاژ	آلیاژهای مس	تیتانیم خالص	تیتانیم آلیاژی	مونل	اینکونل
نسبت قیمت به فولاد ساده کربنی	۳۰ـ۱۵	۵۰ـ۴۰	۶۰ـ۴۵	۴۰ـ۳۵	۶۰ـ۳۰

این اختلاف قیمت در کنار خواص بسیار مطلوبی که فولادهای ساده کربنی با کربن‌های مختلف دارا می‌باشد سبب شده که استفاده از آن مورد اقبال مصرف‌کنندگان باشد. فولاد ساده کربنی (Plain Carbon Steel) علاوه بر آهن و کربن مقداری عناصر همراه نیز در آنالیز خود دارد. در جدول ۱۶ به حداکثر مقدار آنها اشاره شده است.

جدول ۱۶ــ آنالیز عناصر همراه در فولادهای ساده کربنی

عنصر	Al	B	Bi	Co	Cr	Cu	La	Mn	Mo
مقدار (درصد وزنی)	۰/۳۰	۰/۰۰۰۸	۰/۱۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۴۰	۰/۱۰	۱/۶۵	۰/۰۸
عنصر	Nb	Ni	Pb	Se	Si	Te	Ti	V	W
مقدار (درصد وزنی)	۰/۰۶	۰/۳۰	۰/۴۰	۰/۱۰	۰/۶۰	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۳۰
عنصر	Zr	سایر عناصر (به جز کربن، فسفر، گوگرد و نیتروژن)							
مقدار (درصد وزنی)	۰/۰۵	۰/۱۰							

با توجه به آنکه در تولید فولاد نسبت قراضه به آهن احیا شده چه میزان باشد و نیز نوع سنگ معدن، مقدار عناصر همراه تعیین می‌شود.
عناصر همراه می‌توانند مفید (Si ـ Mn) یا مضر (S ـ P) باشند. به عناصر همراه مضر اصطلاحاً ناخالصی (Impurrity) گفته می‌شود.

روش تدریس

بیان این درس بیشتر به‌صورت ارائه مطلب می‌باشد. البته با توجه به اینکه هنرجویان فولاد ساده کربنی را در زندگی روزمره خود مشاهده می‌نمایند می‌توانید با یادآوری کاربردهای آن ذهن مخاطب را با مطالب انس دهید.
در بخش نام‌گذاری و استانداردبندی فولاد با توجه به کمبود وقت و البته نوع نیاز هنرجویان فقط به بیان استاندارد DIN۱۷۱۰۰ و DIN۱۶۱۴ بسنده شده است.
قوانین نام‌گذاری فولادها در استاندارد DIN۱۷۰۰۷ که پس از تشکیل اتحادیه اروپا به EN۱۰۰۲۷ تغییر نام داد به تفصیل بیان شده است که پیشنهاد می‌شود برای آشنایی بیشتر به آخرین ویرایش (۲۰۱۷) این استاندارد مراجعه نمایید.
لازم به ذکر است فولادهای کم کربن نورد سرد اخیراً با نام‌های دیگری که بیانگر سطح شکل‌پذیری است (DC) نشان داده می‌شوند.

→ ST۱۲ Dco۲
→ ST۱۳ Dco۳
→ ST۱۴ Dco۴

فولادهای ماشین‌سازی و پرکربن در استاندارد EN۱۰۰۸۳ معرفی شده‌اند. که پیشنهاد می‌شود با مراجعه به آن مفاهیم و قوانین حاکم را بیشتر مطالعه فرمایید.

جلسه هفتم و هشتم موضوع: کاربرد فولادهای ساده کربنی

هدف: آشنایی با کاربردهای فولادهای ساده کربنی

روش تدریس

جدای بحث کاربرد فولادهای ساده کربنی در جدول ۶ کتاب درسی برای هر نوع از فولاد کاربردی ذکر شده است. در جدول ۱۷ مثال‌های بیشتری برای هر کاربرد بیان شده است.

جدول ۱۷ـ کاربردهای فولاد ساده کربنی

کد فولاد DIN	معادل ASTM یا AISI	ویژگی	کاربرد
ST۱۲	۱۰۱۰	قابلیت خم‌پذیری	ساخت بدنه لوازم خانگی ـ ورق‌های گالوانیزه ـ مفتول جوشکاری ـ سیم خاردار ـ فنس ـ واشر فلزی
ST۱۳	۱۰۰۸	قابلیت کشش	مشابه ST۱۲
ST۱۴	۱۰۰۶	قابلیت کشش عمیق	بدنه خودرو
ST۳۷	A۲۸۳ Gr ـ C A۲۸۵ A۱۰۶ GR ـ B A۳۶ AS۱۶ GR ـ SS	استحکام مطلوب جوش‌پذیری مطلوب	ساخت کلیه قاب‌های ماشین‌آلات سبک ـ ساخت سازه‌های گوناگون ـ پروفیل‌های میز و صندلی ـ بدنه مخازن ذخیره ـ درب و پنجره‌های فولادی ـ لوله‌های انتقال آب
ST۴۴	A۱۰۶_C A۵۱۶_۶۰ A۳۶	استحکام مطلوب جوش‌پذیری مطلوب	مشابه ST۳۷
ST۵۲	A۵۱۶_۷۰ A۲۱۶ ـ WCC A۱۰۵ ـ GrB	استحکام بالا جوش‌پذیری مطلوب	قاب ماشین‌آلات سنگین ـ سازه‌های مرتفع ـ بدنه مخازن تحت فشار و کشتی ـ لوله‌های انتقال آب ـ پیچ و مهره

CK۲۲	۱۰۲۰	استحکام خوب جوش‌پذیری مطلوب	قطعات انتقال قدرت و ماشین‌های کوچک ـ زنجیر ـ پیچ و مهره
CK۳۵	۱۰۳۵	استحکام بالا جوش‌پذیری ضعیف	کلیه قطعات انتقال قدرت، مانند محورها، شاتون، گاردان، میل لنگ، زنجیر، پیچ و مهره، پینیون و چرخ دنده‌ها
CK۴۵	۱۰۴۵	استحکام بالا جوش‌پذیری ضعیف	مشابه CK۴۵ در موارد با بارگذاری سنگین‌تر
CK۶۰	۱۰۶۰	فنریت خوب مقاومت به سایش مطلوب عدم جوش‌پذیری	فنرها ابزار دستی (آچار، پیچ‌گوشتی، انبرها) ـ قالب‌ها غلتک‌های خمکاری
CK۷۵	۱۰۷۵	مشابه CK۶۰	مشابه CK۶۰ به مقاومت به سایش بالاتر ابزار برشی

حل تمرین صفحه ۱۲۰

تصویر	ویژگی	فولاد پیشنهادی
پایه نیمکت	استحکام و جوش‌پذیری	ST۳۷
چرخ دنده بزرگ	استحکام و تافنس	CK۴۵
پایه تابلو	استحکام و جوش‌پذیری	ST۳۷
ورق آجدار	شکل‌پذیری	ST۱۲
پدال دوچرخه	استحکام و تافنس	ST۵۲_ CK۲۲_ CK۳۵
غلتک خمکاری	استحکام و مقاومت به سایش	CK۴۵_CK۶۰
واشر	شکل‌پذیری بالا	ST۱۴_ ST۱۳_ ST۱۲
کیس کامپیوتر	خم‌پذیری	ST۱۲
درب	استحکام و جوش‌پذیری و شکل‌پذیری	ST۳۷

خطوط لوله	استحکام و جوش‌پذیری	ST۳۷_ST۴۴_ST۵۲ و معادل‌های ASTM آنها مانند A۱۰۶
چکش	استحکام و مقاومت به سایش	CK۴۵_CK۶۰_CK۷۵
قیچی	مقاومت به سایش	CK۶۰_CK۷۵

پیشنهاد می‌شود در هر گروه از کاربردهای جدول مثال‌های بیشتری را از اطراف خود بیابید و مثال بزنید.

دانش افزایی

فولاد

فولاد یک ماده مهندسی بی‌نهایت مفید است. فولاد دارای استحکام، صلبیت و دوام است. از دیدگاه تولیدی، قابلیت شکل‌پذیری، اتصال‌دهی و رنگ‌پذیری همچنین قابلیت تعمیر آن همگی قابل توجه و جذاب هستند. در بیست سال گذشته حدود ۵۵ درصد وزن یک خودروی سواری معمولی را شامل می‌شده است و انتظار می‌رود این روند ادامه داشته باشد. درحالی‌که صنایع خودرو و ساختمان عمده مشتریان فولاد هستند، این ماده در ساخت مخازن، لوازم خانگی و ماشینی و همچنین زیرساخت صنایعی مانند نفت و گاز نیز کاربرد گسترده‌ای دارد.

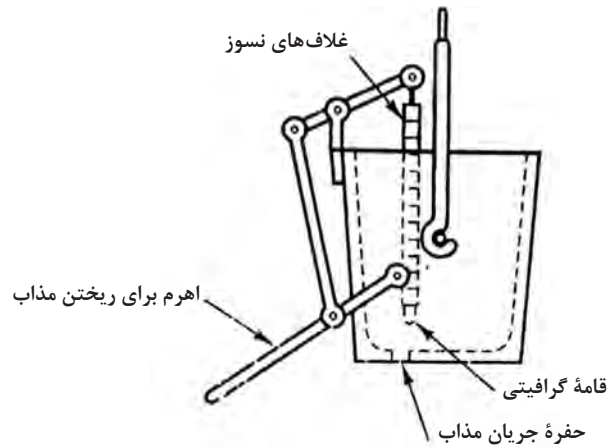
تولید فولاد اساساً یک فرایند اکسایش است که موجب کاهش مقداری کربن، سیلیسیم، منگنز، فسفر و گوگرد در مخلوط آهن خام مذاب و قراضهٔ فولاد شود. در سال ۱۸۵۱ میلادی فرایند کلی بسمر با به‌وجود آوردن امکان تولید فولاد در مقیاس تجارتی درهای این صنعت را گشود. فرایند کورهٔ باز از ظرفیت فرایند بسمر در سال ۱۹۰۸ پیشی گرفت و در سال ۱۹۶۰بیش از ۹۰ درصد فولاد جهان را تولید می‌کرد. در حال حاضر انواع کوره‌های اکسیژن و کوره‌های قوس الکتریکی بخش عمدهٔ فولادهای تجارتی را تأمین می‌کنند.

در غالب این فرایند هوا یا اکسیژن از درون فلز مذاب یا از روی آن عبور داده می‌شود تا چندین واکنش پالایش گرمازا صورت گیرد. کربن اکسیده می‌شود و گازهای CO یا CO_2 به‌وجود می‌آیند و سپس از مذاب جدا می‌شوند. عناصر دیگر مانند سیلیسیم و فسفر نیز به روش مشابه اکسید می‌شوند و سبک‌تر از فلز شده در سربارهٔ قابل جمع‌آوری وارد می‌گردند. در همین حال، اکسیژن و دیگر عناصر حاصله از واکنش‌های گازی در فلز مذاب حل می‌شوند و ممکن است موجب بروز اشکال در محصول نهایی گردند.

ملاحظات مربوط به انجماد فولاد: صرف نظر از روش تهیه، فولاد پیش از آنکه به‌صورت محصول نهایی درآید از حالت مایع به حالت جامد تبدیل می‌شود. مایع را می‌توان مستقیم به شکل قطعهٔ ریخته شدهٔ فولادی، یا به شکل مناسبی که برای فرایندهای بعدی قابل استفاده باشد منجمد کرد. در غالب موارد برخی از روش‌های ریخته‌گری پیوسته قطعهٔ خام برای انجام آهنگری و نورد را آماده می‌کنند.

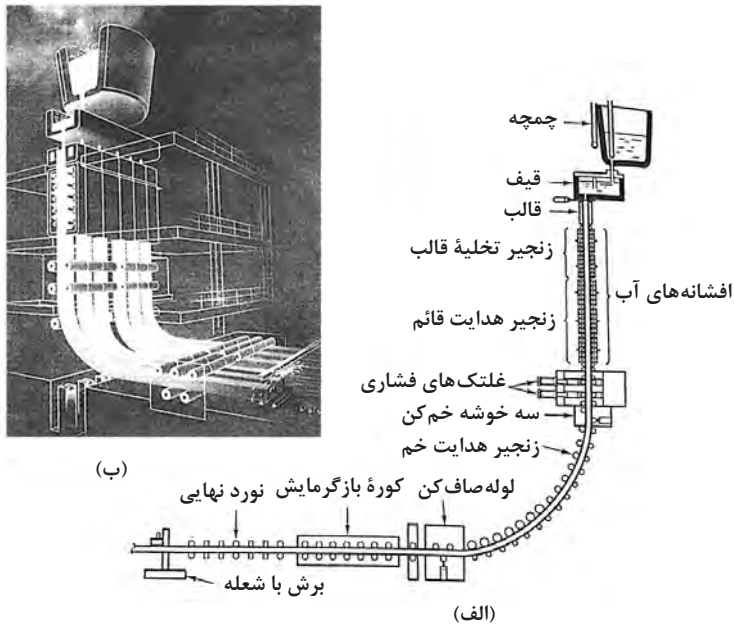
پیش از انجماد فولاد، می‌خواهیم آلودگی‌ها را تا اندازهٔ ممکن کاهش دهیم. فولاد مذاب از کورهٔ ذوب به درون ظروف ویژه‌ای به نام چمچه (پاتیل) ریخته می‌شود. با اینکه در گذشته از این وسیله فقط برای حمل و نقل مذاب و ظرفی برای ریختن استفاده می‌شده است، امروزه چمچه به‌عنوان مکانی برای انجام فرایندهای اضافی روی فولاد درآمده است. اصطلاح متالورژی چمچه‌ای به انواع فرایندهایی گفته می‌شود که برای پالایش نهایی و تنظیم دقیق ترکیب شیمیایی و دمای مذاب طراحی می‌شوند. در اینجا می‌توان مواد آلیاژی را به مذاب افزود، کربن را باز هم بیشتر احیا کرد، گازهای حل شده را کاهش داده یا کاملاً جدا ساخت و اقداماتی برای کنترل اندازهٔ دانه، محدود کردن مقدار آخال‌ها، احیای گوگرد و کنترل شکل هرگونه سولفید موجود در ماده انجام داد. هم زدن، گاززدایی، گرم کردن مجدد، تزریق آلیاژهای پودری و رشته‌های هسته‌دار برای افزایش درجهٔ پاکیزگی و کنترل دقیق‌تر ترکیب شیمیایی و خواص فولاد انجام می‌شوند.

سپس مذاب فراور شده طی فرایند ریختن از زیر، از چمچه به قالب شمش یا واحد ریخته‌گری پیوسته منتقل می‌شود. ریخته‌گری معمولاً از طریق فرایند ریختن از کف مانند شکل زیر انجام می‌گیرد. هنگامی‌که فلز از قعر چمچه خارج می‌شود، سرباره و مواد شناور به عملیات بعدی منتقل نمی‌شود و محصول پاکیزه‌تر است.



شمای چمچهٔ کف‌ریز

فرایندهای ریخته‌گری پیوسته برای غلبه بر مشکلات مربوط به شمش، تشکیل لوله، حبس سرباره و تغییرات ساختاری در طول قطعه به‌کار می‌آیند. یکی از روش‌های متداول ریخته‌گری پیوسته در شکل زیر نشان داده شده است. در این روش، فلز مذاب از چمچه به قیف و سپس به قالب (معمولاً مسی) بدون کف و خنک‌شونده با آب جریان پیدا می‌کند. عمل تبرید به گونه‌ای کنترل می‌شود که قسمت خارجی پیش از آنکه فلز در قالب راه یابد منجمد می‌شود. سپس ماده توسط پاشیدن مستقیم آب خنک می‌گردد تا از انجماد کامل اطمینان حاصل شود قطعهٔ جامد را می‌توان به طول‌های دلخواه برید یا چون قطعه هنوز گرم است، آن را خم کرد، و به‌صورت افقی در کورهٔ کوچک گرمایش مجدد قرار داد و یا مستقیماً نورد کرد.

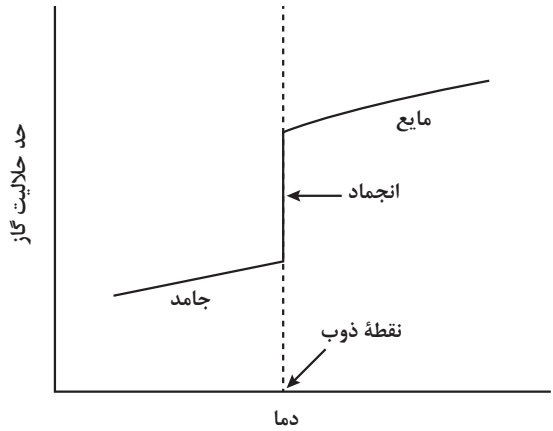


الف) شمای فرایند ریخته‌گری پیوسته برای تولید شمش میله و تختال ب) ریخته‌گری پیوستهٔ قائم چند ردیفه

گاززدایی و اکسیژن‌زدایی

در نتیجهٔ فرایند فولادسازی مقادیر چشمگیری اکسیژن در فلز مذاب حل می‌شود در حین سرد شدن و انجماد بعدی، سطح حلالیت، تا حد زیادی کاهش می‌یابد (شکل صفحه بعد) و اکسیژن و گازهای دیگر از جامد دفع می‌شوند. غالباً اکسیژن دفع شده به کربن اتمی متصل شده و گاز منوکسیدکربن تولید می‌کند. فرار از مایع امکان‌پذیر است، اما معمولاً حباب‌ها به دام می‌افتند و در نتیجه ساختاری متخلخل به وجود

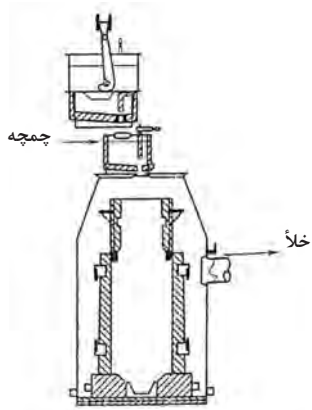
می‌آید، و تخلخل حاصل از وجود گاز یا حباب به شکل منافذ کوچک و مجزا و یا حفره‌های بزرگ است. با وجود اینکه اغلب منافذ داخلی در حین فرایندهای شکل دادن گرم بعدی، به یکدیگر جوش می‌خورند (اگر تغییر شکل کافی باشد)؛ بعضی از فضاها کاملاً پر نمی‌شوند و تعدادی دیگر ممکن است به هم جوش نخورند و ترک‌ها و عیوب داخلی ممکن است در محصول نهایی باقی بمانند.



حلالیت گاز در فلز برحسب تابعی از درجه حرارت که در حین انجماد کاهش چشمگیری پیدا می‌کند.

در غالب موارد با اکسیژن‌زدایی پیش از انجماد یا کسب اطمینان از عدم ورود مجدد اکسیژن به درون ماده، از بروز مشکل تخلخل جلوگیری به عمل می‌آید. فلزاتی چون آلومینیم، فرومنگنز، یا فروسیلیسیم در چمچمه به فولاد اضافه می‌شود تا ماده میل ترکیبی بیشتری با اکسیژن نسبت به کربن پیدا کند. اکسیژن دفع شده به بالا با این اکسیژن‌زداها واکنش داده و به اکسیدهای جامد فلزی تبدیل و در سرتاسر ساختار جامد پخش می‌شود.

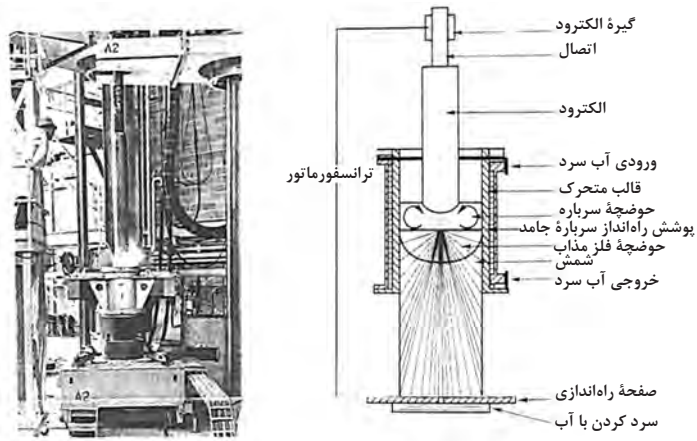
درحالی‌که افزودن اکسیژن‌زداها به نحو مؤثری اکسیژن را جذب می‌کنند، وجود مقدار ناچیزی از گازهای حل شدهٔ دیگر (مانند هیدروژن و نیتروژن) می‌تواند آثار زیان‌آوری بر عملکرد فولادها داشته باشد. این امر به ویژه در مورد فولادهای آلیاژی حایز اهمیت فراوان است، زیرا چندین عنصر اصلی آلیاژی مانند وانادیم و کرم، میل به حلالیت این گازها را بالا می‌برند. فرایندهای گاززدایی متنوعی برای کاهش همگی گازهای حل شده ابداع شده‌اند. در شکل ۱۸ یک روش گاززدایی در خلأ برای تولید شمش‌های گاززدایی شده نشان داده شده است. قالب شمش در محفظهٔ خلأ قرار می‌گیرد و جریان فلز در حین ریختن از خلأ عبور می‌کند. با ایجاد سطح آزاد زیاد در حین ریختن، خلأ قادر به خارج کردن مقدار زیادی از گازهای حل شده است.



روش گاززدایی فولاد به‌وسیله ریختن از طریق خلأ

به‌عنوان جانشین برای گاززدایی در خلأ از فرایند ذوب مجدد الکترود منصرف‌شدنی استفاده می‌شود. در اینجا الکترود فلزی از پیش جامد شده جایگزین چمچمهٔ فلز گداخته می‌شود. هنگامی‌که این الکترود دوباره با قوس الکتریکی ذوب می‌گردد، قطرات ذوب شده از داخل خلأ می‌گذرند و ایجاد این مساحت فوق‌العاده زیاد، راه مؤثری برای دفع گاز است. هنگامی‌که عمل ذوب با قوس الکتریکی صورت گیرد، فرایند ذوب مجدد به‌وسیلهٔ قوس در خلأ (VAR) نامیده می‌شود و اگر حرارت القایی جانشین قوس الکتریکی شود، فرایند ذوب در خلأ به کمک القا (VIM) خوانده می‌شود. هر دو فرایند در دفع گازهای حل شده بسیار مؤثرند اما در این فرایندها ناخالصی‌های غیرفلزی دفع نمی‌شوند.

در صورت به‌کارگیری فرایند ذوب مجدد به کمک سرباره (ESR) فلز کاملاً تمیز و عاری از گاز خواهد بود. (شکل زیر)



(الف) (ب)

الف) تولید شمش به کمک فرایند ذوب مجدد به کمک سرباره، ب) نمایش شمایی از این فرایند که الکترودهای شروع‌کننده، قوس ذوب و شمش انجماد مجدد یافته را نشان می‌دهد.

الکترود جامد توسط جریان برق مجدداً ذوب و ریخته می‌شود، درحالی‌که سطح فلز مذاب به‌وسیلهٔ پوشش سربارهٔ مذاب پوشیده شده است، ناخالصی‌های غیرفلزی شناور مانده و جمع‌آوری می‌شوند و از قطعهٔ جامد با کیفیت بسیار بالا جدا می‌گردند. از آنجا که مادهٔ مذاب زیر پوشش سربارهٔ مذاب قرار دارد خلأ مورد نیاز نیست و انجماد تدریجی امکان فرار کردن گاز دفع شده را فراهم می‌سازد. این فرایند مشابه فرایند جوشکاری الکتریکی سرباره در مقیاس بزرگی است.

فولاد کربنی ساده

فولاد تجارتی از نظر تئوری آلیاژی از آهن و کربن است، اما در واقع حاوی منگنز، فسفر، گوگرد و سیلیسیم به میزان چشمگیر و قابل اندازه‌گیری است. هنگامی‌که چهار عنصر یاد شده به میزان معمولی در فولاد موجود باشند و هیچ حداقل مقداری برای عناصر دیگر مشخص نشده است فولاد کربنی ساده نامیده می‌شود. استحکام این فولادها در درجهٔ اول تابع مقدار کربن است و با افزایش میزان کربن استحکام افزایش می‌یابد (جدول ۱۸). متأسفانه نرمی، چقرمگی و قابلیت جوشکاری فولاد کربنی ساده با افزایش محتوای کربن کاهش می‌یابد و قابلیت سخت‌شوندگی آن نیز بسیار پایین است. به علاوه فولادهای کربنی ساده در دماهای بالا و پایین دارای خواص نامطلوب (به ترتیب از دست دادن استحکام و شکنندگی) هستند و در بیشتر محیط‌ها خوردگی در آنها رخ می‌دهد.

جدول ۱۸ــ تأثیر کربن بر استحکام فولادهای کربنی سادهٔ تابکاری شده

نوع فولاد	محتوای کربن (درصد)	مگاپاسکال	حداقل استحکام کششی (هزار پوند بر اینچ مربع)
۱۰۲۰	۰/۲	۲۱	۶۰
۱۰۳۰	۰/۳	۴۴۸	۶۵
۱۰۴۰	۰/۴	۵۱۷	۷۵
۱۰۵۰	۰/۵	۶۲	۹۰

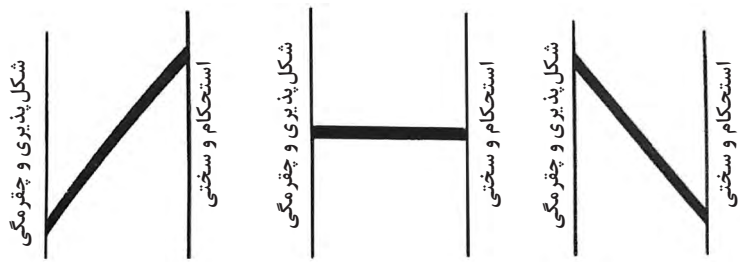
ارقام از مشخصه A۳۷۲ مؤسسهٔ ASTM

به‌طور کلی فولادهای کربنی ساده بر اساس مقدار کربنشان به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱ فولادهای کم‌کربن که حاوی کمتر از ۰/۲ درصد کربن هستند و دارای قابلیت شکل‌پذیری (با کار سرد می‌توان استحکام‌شان را بالا برد)، و جوشکاری مناسب هستند. ساختار آنها غالباً فریتی و پرلیتیست و معمولاً پس از نوعی فرایند شکل‌دهی گرم یا سرد استفاده می‌شوند.

۲ فولادهای میان کربن حاوی ۰/۲ تا ۰/۵ درصد کربن هستند و در صورت تبرید سریع در آب، یا آب نمک به شرط آنکه ابعاد مقطع کوچک باشد به شکل مارتنزیتی یا باینیتی درمی‌آیند. مناسب‌ترین تعادل خواص در این سطح از کربن حاصل می‌شود و ترکیب مقاومت زیاد در مقابل خستگی و چقرمگی مادهٔ کم کربن همراه با استحکام و سختی فولادهایی با محتوای کربن بالاتر به نحو مطلوبی در این دسته فولادها وجود دارد. این نوع فولاد در بازار بسیار متداول است و کاربردهای مکانیکی فراوان پیدا کرده است.

۳ فولادهای پرکربن حاوی بیش از ۰/۵ درصد کربن هستند. چقرمگی و شکل‌پذیری این نوع فولادها بسیارپایین ولی مقاومت در برابر سایش‌شان بسیار بالاست این نوع فولادها در اثر تبرید سریع به مارتنزیت تبدیل می‌شوند، اما قابلیت سخت‌شوندگی‌شان همچنان پایین است در شرایط حدی، ترک تبرید مسئله‌ساز است. در شکل زیر خواص متعارف فولادهای کم‌کربن، میان‌کربن و پرکربن به‌صورت تعادل خواص‌شان آمده است.



الف) فولاد کم‌کربن ب) فولاد میان‌کربن پ) فولاد پرکربن

مقایسهٔ فولادهای کم‌کربن، میان‌کربن و پرکربن بر مبنای تعادل خواصشان: الف) فولادهای کم‌کربن شکل‌پذیری مقاومت به شکست عالی دارند، اما استحکامشان پایین است؛ ب) فولادهای میان‌کربن خواص متعادلی دارند؛ پ) فولادهای پرکربن استحکام و سختی بالا و در عوض شکل‌پذیری و چقرمگی پایین دارند.

در مقایسه با دیگر مواد مهندسی، فولادهای کربنی استحکام و سخت‌یابی بالا همراه با چقرمگی قابل قبول دارند. متأسفانه این فولادها زنگ می‌زنند و معمولاً به نوعی سطح محافظ مانند رنگ، روی اندودکاری یا نوع دیگری از پوشش نیاز دارند. فولادهای کربنی ساده، ارزان‌ترین نوع فولاد هستند و در بسیاری از کاربردها می‌توانند به‌عنوان گزینهٔ اول مطرح باشند. غالبا محدودیت‌هایی در کاربردشان وجود دارد. در مواردی که به ماده مرغوب‌تری نیاز است، کیفیت فولاد را با افزودن یک یا چند عنصر آلیاژی بالا می‌برند.

جلسه نهم موضوع: مفهوم فولاد آلیاژی

هدف: توصیف فولاد آلیاژی و کاربردهای آن

مفاهیم

عنصر آلیاژی به عنصری گویند که به عمد و برای افزایش خواص مکانیکی یا شیمیایی فلز به آن اضافه می‌شود. فولادهای آلیاژی دارای کاربردهای مختلفی می‌باشند که عنصر آلیاژی تعیین‌کننده نوع کاربرد خواهد بود.

روش تدریس

در جدول شماره ۸ کتاب درسی عناصر آلیاژی متداول در فولاد فهرست شده است. اعداد بیان شده در جدول مرز آلیاژی بودن یا نبودن هر عنصر آلیاژی را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال اگر میزان کرم یک فولاد ۰/۱۵٪ وزنی باشد، این مقدار کرم عنصر آلیاژی نیست و فولاد به واسطه این میزان کرم آلیاژ محسوب نمی‌شود. ولی اگر مقدار کرم مثلاً به ۰/۷٪ وزنی برسد فولاد آلیاژی کرم‌دار محسوب می‌شود.

این مسئله را یادآور شوید که عناصر در مقادیر ناچیز هم بر فولاد اثرگذار هستند. لیکن اگر اثر آنها سبب شود کاربرد فولاد تغییر یابد عنصر آلیاژی محسوب می‌شوند. عناصر آلیاژی اگر کمتر از مقادیر ذکر شده در جدول باشد به‌عنوان عنصر همراه شناخته می‌شوند. در جدول ۷ کتاب درسی اثر آلیاژی در فولادها بررسی شده است. در جدول ۱۹ کاربردها و تأثیرات عناصر آلیاژی در فولادها برای استفاده در کلاس بیان شده است.

جدول ۱۹ــ کاربرد و تأثیر عناصر آلیاژی در فولادها

عنصر	تأثیر بر خواص فولاد	کاربرد
Mn	افزایش استحکام و چقرمگی به دلیل ریزدانه کردن فولاد جلوگیری از تَرک گرم به واسطه جذب گوگرد افزایش سختی‌پذیری فولاد	اصلی‌ترین عنصر افزاینده استحکام در فولادهای ساختمانی غیرآلیاژی است. مثلاً یکی از تفاوت‌های St۳۷ با St۵۲ در مقدار بالاتر منگنز در St۵۲ می‌باشد.
Si و Cu	افزایش مقاومت به اکسیداسیون در فولادهای کم کربن و ساختمانی افزایش فریت در فولادهای پرکربن (فقط برای سیلیسیم)	در کاربردهای فولاد در دمای بالا در جایی که اقتصاد اجازه استفاده از فولادهای پر آلیاژی را نمی‌دهد. معمولاً به فولادهای ساده کربنی مقداری سیلیسیم یا مس اضافه می‌کنند تا در دمای بالا که رنگ یا پوشش سطح آسیب می‌بیند و فولاد اجبارا بدون پوشش استفاده می‌شود سرعت اکسید شدن سطح فولاد آهسته شود. مانند اگزوز توربین‌ها ـ داکت‌های انتقال غبار ـ لوله‌های انتقال غبار

Cr	افزایش مقاومت به خوردگی بالای ۱۲ درصد افزایش مقاومت به اکسیداسیون در فولادهای کم کربن و ساختمانی افزایش استحکام در فولادهای ماشین‌سازی به دلیل ایجاد کاربیدهای ظریف افزایش شدید سختی به دلیل تشکیل کاربیدهای درشت در فولادهای ابزار	فولادهای زنگ نزن ـ بویلرها ـ سوپر هیترها ـ مبدل‌های حرارتی دما بالا ـ برج‌های تقطیر ـ تجهیزات صنایع غذایی و دارویی
Ni	کمک به ریز دانگی فولاد و افزایش چقرمگی و استحکام بهبود مقاومت به خوردگی فولاد	در فولادهای حمال بار مانند شفت‌های انتقال قدرت یا چرخ دنده‌های عظیم و نظایر آن به‌عنوان عنصر آلیاژی فولاد استفاده می‌شود. در فولادهای زنگ نزن به‌عنوان عنصر افزاینده مقاومت به خوردگی به کروم اضافه می‌شود. صنایع شیمیایی و دارویی عمده‌ترین مصرف‌کنندگان فولادهای زنگ‌نزن نیکل‌دار هستند.
Mo	افزایش چقرمگی با ریز کردن دانه افزایش مقاومت به خزش با ایجاد کاربیدهای دیرگداز افزایش مقاومت به خوردگی حفره‌ای در حضور یون کلر	کلیه فولادهای فوق مستحکم و چقرمه دارای مولیبدن نیز می‌باشند. مانند جنگ افزارهای نظامی و شفت‌های انتقال قدرت عظیم در فولادهای دما بالا ۴۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد به عنوان تأمین‌کننده مقاومت به خزش مصرف می‌شوند. در فولادهای زنگ‌نزن در آب شور یا آب تصفیه شده مانند آب شهری کار می‌کنند و آب کلردار بر روی سطح باقی می‌ماند و مصرف می‌شود. مانند سینک ظرفشویی ـ لوله‌ها و مخازن صنایع غذایی ـ پمپ‌های آب دریا
V	ایجاد ریزدانگی و افزایش چقرمگی ایجاد مقاومت به خزش	مشابه Mo
W	ایجاد کاربیدهای دیرگداز WC و W_2C	قطعات سایش دما بالا مانند مته‌ها و تیغه‌ها که برای برش و سوراخ‌کاری فلزات استفاده می‌شوند و حین کار دمایشان بالا می‌رود
S	به دلیل ایجاد آخال MnS ساختار فولاد به دلیل غیریکنواخت کردن ساختار میکروسکوپی طول براده‌های فلزی کاهش می‌یابد.	زمانی که به اجبار برای ایجاد رزوه از فرایند رزوه‌تراشی استفاده می‌شود نیاز است براده‌ها ظریف شوند تا آسیبی به سطح پیچ وارد نشود.

دانش افزایی

فولادهای آلیاژی

تعیین مرز بین فولاد کربنی ساده و فولاد آلیاژی تا اندازه‌ای به دلخواه است. هر دو نوع حاوی کربن، منگنز و غالباً سیلیسیم هستند. برخی اوقات مس و بُرُن نیز به این دو گروه اضافه می‌شود. فولادهایی که حاوی بیش از ۱/۶۵درصد منگنز، ۰/۶ درصد سیلیسیم، یا ۰/۶ درصد مس هستند، معمولاً فولادهای آلیاژی نامیده می‌شوند. به علاوه اگر مقدار حداقل یا مشخصی از دیگر عناصر آلیاژی ذکر شده باشد، فولاد آلیاژیست. متداول‌ترین عناصر آلیاژی عبارت‌اند از کرم، نیکل، مولیبدن، وانادیم، تنگستن، کبالت، بُرُن، مس و همچنین منگنز، فسفر، سیلیسیم و گوگرد به میزان بیشتر از مقادیر عادی. اگر مجموع مواد آلیاژی کمتر از ۸ درصد باشد فولاد کم آلیاژ خوانده می‌شود. فولادهای حاوی بیش از ۸ درصد عناصر آلیاژی، فولادهای پر آلیاژ هستند.

غالباً عناصر آلیاژی به مقدار کم (کمتر از ۵ درصد) برای بالا بردن استحکام یا قابلیت سخت‌شوندگی، یا در مقیاس‌های بیشتر (غالباً تا ۲۰ درصد) به منظور ایجاد خواص ویژه‌ای چون مقاومت در برابر خوردگی یا پایداری در دماهای بالا یا پایین در فولاد به آن اضافه می‌شوند.

برای از بین بردن اکسیژن محلول در فولاد می‌توان عناصر خاصی را هنگام فرایند فولادسازی به آن اضافه کرد. معمولاً از عناصری مانند منگنز، سیلیسیم و آلومینیم برای این منظور استفاده می‌شود. منگنز، سیلیسیم، نیکل و مس، با تشکیل محلول‌های جامد در فریت موجب افزایش استحکام فولاد می‌شوند. کرم، وانادیم، مولیبدن، تنگستن و دیگر عناصر با تشکیل کاربیدهای فاز دوم مجزا استحکام را بالا می‌برند. نیکل و مس به مقدار کم موجب افزایش مقاومت در برابر خوردگی می‌شوند. نیکل چقرمگی و مقاومت به ضربه را افزایش می‌دهد و مولیبدن به جلوگیری از ترد شدن کمک می‌کند. زیرکنیم، سریم و کلسیم نیز از طریق کنترل شکل آخال‌ها، چقرمگی را افزایش می‌دهند. قابلیت ماشین‌کاری با تشکیل سولفیدهای منگنز یا افزودن سرب، بیسموت، سلنیم یا تلوریم بالا می‌رود. علاوه بر اینها با افزودن مواد دیگر می‌توان اندازهٔ دانه‌های فریت یا آستنیت را کنترل کرد.

انتخاب یک فولاد آلیاژی هنوز با مشخص کردن مقدار کربن مناسب آغاز می‌شود. تأثیرکربن روی استحکام فولادهای آلیاژی تبریدی و بازپخت شده در جدول۲۰ مشاهده می‌شود. در مجموع، فولاد ۴۱۳۰ در حدود ۱/۲ درصد عناصر آلیاژی دارد، در حالی که فولادهای ۴۳۴۰ و ۸۹۳۰ به ترتیب حاوی ۳ درصد و ۱/۳ درصد عناصر آلیاژی‌هستند. ولی حداقل استحکام کششی هر سه به یک اندازه است.اساساً استحکام و قابلیت سخت‌شوندگی به مقدار کربن وابسته‌اند.

جدول ۲۰ــ اثر کربن بر استحکام فولادهای آلیاژی تبریدی و بازپخت شده

نوع فولاد	میزان کربن (درصد)	حداکثر استحکام کششی	
		ksi	MPa
۴۱۳۰	۰/۳	۱۵۰	۱۰۳۰
۴۳۳۰	۰/۳	۱۵۰	۱۰۳۰
۸۶۳۰	۰/۳	۱۵۰	۱۰۳۰
۴۱۴۰	۰/۴	۱۸۰	۱۲۴۱
۴۳۴۰	۰/۴	۱۸۰	۱۲۴۱

نقش اصلی عناصر آلیاژی در فولادهای آلیاژی ساختمانی بالا بردن قابلیت سخت‌شوندگی آنهاست اما اثرات دیگری مانند بهبود چقرمگی یا قابلیت ماشین‌کاری امکان‌پذیر است. متداول‌ترین عناصر مورد استفاده به ترتیب کاهش میزان تأثیرشان منگنز، مولیبدن، کرم، سیلیسیم و نیکل هستند. برن عامل فوق‌العاده قوی افزایش قابلیت سخت‌شوندگیست. افزودن فقط چند هزارم درصد این عنصر برای ایجاد سخت‌شوندگی چشمگیر در فولاد کربنی کافیست، ولی تأثیر آن با افزایش مقدار کربن رو به کاهش می‌گذارد. از آنجا که افزودن برن باعث تشکیل کاربید یا تقویت فریت نمی‌شود، استفاده از آن به‌جای دیگر عناصر افزایش‌دهندهٔ قابلیت سخت‌شوندگی، برای بهبود قابلیت ماشینکاری و ویژگی‌های شکل دادن سرد ارجحیت دارد.

افزودن وانادیم به مقدار کم نیز بسیار مؤثر است، اما شدت تأثیرش در مقادیر بیشتر کاهش می‌یابد.

در جدول ۲۱ خلاصه‌ای از اثرات اساسی عناصر آلیاژی متداول روی فولاد ارائه شده است. دانش عملی گنجانده شده در این جدول به مهندس طراح کمک می‌نماید تا آلیاژی با ویژگی‌های لازم را برگزیند. البته عناصر آلیاژی به‌صورت مرکب مورد استفاده قرار می‌گیرند، بنابراین تعداد انواع فولادهای آلیاژی تجارتی بسیار زیاد است. خوشبختانه برای ساده‌سازی این مشکل، سیستم دسته‌بندی ویژه‌ای ارائه شده و مقبولیت مناسبی در شاخه‌های گوناگون صنعت پیدا کرده است.

جدول۲۱ـ اثرات مهم عناصر آلیاژی روی فولاد

عنصر	درصد	ویژگی اصلی
آلومینیم	۰/۹۵ ـ۱/۳۰	عناصر آلیاژی در فولادهای نیتریدشونده
بُرُن	۰/۰۰۱ ـ ۰/۰۰۳	عامل مهم در بالا بردن قابلیت سخت‌شوندگی
بیسموت	ـ	بهبود قابلیت ماشین‌کاری
تنگستن	ـ	سختی در دمای زیاد
تیتانیم	ـ	تثبیت‌کنندهٔ کربن در ذرات خنثی
		کاهش سختی مارتنزیتی در فولادهای کرم‌دار
سرب	ـ	بهبود قابلیت ماشین‌کاری
سیلیسیم	۰/۲ـ۰/۷	افزایندهٔ استحکام
	۲	فولاد فنر
	درصدهای زیاد	بهبود خواص مغناطیسی
کرم	۰/۵ ـ۲	افزاینده قابلیت سخت‌شوندگی
	۴ـ۱۸	مقاوم در برابر خوردگی
گوگرد	۰/۰۸ ـ ۰/۱۵	خواص خوش‌تراشی
مس	۰/۱ ـ۰/۴	مقاوم در برابر خوردگی
منگنز	۰/۲۵ ـ۰/۴۰	با گوگرد ترکیب شده و از تردی فلز جلوگیری می‌کند.
	۱	با کاهش نقاط تبدیل و کند کردن فرایند تبدیل موجب افزایش سخت‌شوندگی می‌شود.
مولیبدن	۰/۲ـ۵	کاربیدهای پایدار، از رشد دانه جلوگیری می‌کند.
نیکل	۲ ـ ۵	چقرمه‌کننده
	۱۲ـ۲۰	مقاوم در برابر خوردگی
وانادیم	۰/۱۵	کاربیدهای پایدار، افزایندهٔ استحکام بدون کاهش نرمی، کمک به ایجاد ساختار ریزدانه

سیستم دسته‌بندی SAE ـ ASI

متداول‌ترین روش دسته‌بندی فولادهای آلیاژی سیستم تقسیم‌بندی AISI است. این سیستم که در آن فولادها بر اساس ساختار و ترکیب شیمیایی تقسیم می‌شوند، نخستین بار توسط انجمن مهندسان اتومبیل (SAE) برای استاندارد نمودن فولادهای مورد استفاده در صنعت اتومبیل‌سازی، مطرح شد. در سال‌های بعد انستیتو آهن و فولاد آمریکا (AISI) سیستم را تکمیل کرد تا در سیستم جهانی شماره‌گذاری برای شمول تمام مواد مهندسی قرار گیرد. فولادهای کربنی ساده و آلیاژی هر یک توسط یک عدد چهار رقمی مشخص می‌شوند. نخستین رقم نشانگر عنصر آلیاژی و دومین رقم نشانگر زیرگروه سیستم اصلی آلیاژیست. معنی دو رقم اول به‌صورت خلاصه شده و فهرست‌وار در جدول ۲۲ آمده است. دو رقم آخر بیانگر مقدار تقریبی کربن برحسب صدم درصد است. مثلاً فولاد ۱۰۸۰ فولاد کربنی سادهٔ حاوی ۰/۸ درصد کربن است و یا فولاد ۴۳۴۰ فولاد آلیاژی Cr و Mo دارای ۰/۴ درصد کربن است. به دلیل دسته‌بندی رقمی، این دو فولاد به ترتیب ده ـ هشتاد و چهل و سه ـ چهل خوانده می‌شوند.

حروف نیز می‌توانند در این نمایش وجود داشته باشند. حرف پیشوند مشخص‌کنندهٔ نوع فرایند تولید فولاد، مثلاً کورهٔ الکتریکی (E) است. حرف B بین رقم دوم و سوم بدین معناست که فلز پایه توسط برن تکمیل شده است. حرف L در این محل به معنای بهبود قابلیت ماشین‌کاری فولاد با افزودن سرب است.

فولادهای AISI سری H نیز توسط حرف پسوند H به این دسته‌بندی افزوده می‌شوند. این دسته در مواردی که قابلیت سخت‌شوندگی از درجهٔ اول اهمیت برخوردار می‌باشد، به‌کار می‌آیند. در این مورد خواص شیمیایی کمتر مورد تأکید هستند اما فولاد باید از استاندارد سخت‌شوندگی پیروی کند. برای این نوع خاص فولاد مقادیر سختی در فواصل مشخص از سر قطعه در آزمایش جمینی تبرید شده باید در محدودهٔ پیش‌بینی شده قرار گیرد.

دیگر سیستم‌های دسته‌بندی مانند سیستم انجمن آزمایش و مواد آمریکا (ASTM) و سیستم فدرال ایالات متحده (MIL) بر کاربردهای ویژه پایه‌ریزی شده‌اند. معیارهای استاندارد بیشتر براساس ویژگی‌های فیزیکی ـ مکانیکی هستند، تا ترکیب شیمیایی فلز. غالباً فولادهای کم‌کربن سازه‌ای توسط استاندارد ASTM مشخص می‌شوند.

جدول۲۲ـ نام‌گذاری استاندارد فولاد طبق قرارداد AISI ـ SAE

شماره AISI	نوع	درصد عناصر آلیاژی					
		منگنز	نیکل	کرم	مولیبدن	وانادیم	عناصر دیگر
۱XXX	کربن‌دار						
۱۰XX	کربن‌دار ساده						
۱۱XX	خوش‌تراش						
۱۲XX	خوش‌تراش						
۱۵XX	پرمنگنز						
۱۳XX	پرمنگنز	۱/۶ـ۱/۹					
۲XXX	فولادهای نیکل‌دار		۳/۵ـ۵/۰				
۳XXX	نیکل ـ کرم		۱/۰ـ۳/۵	۰/۵ـ۱/۷۵			
۴XXX	مولیبدن						
۴۰XX	Mo			۰/۱۵ـ۰/۳۰			
۴۱XX	Mo,Cr			۱/۶۵ ـ۲/۰۰	۰/۴ـ۰/۹	۰/۲ـ۰/۳	
۴۳XX	Mo,Cr,Ni	۱/۶۵ـ۲/۰۰	۰/۴ـ۰/۹	۰/۲ـ۰/۳			
۴۴XX	Mo	ـ	۰/۳۵ ـ۰/۶				
۴۶XX	Mo,Ni (کم)			۰/۷۰ـ۲/۰۰		۰/۱۵ـ۰/۳	
۴۷XX	Mo,Cr,Ni	۰/۹۰ـ۱/۲۰	۰/۳۵ـ۰/۵۵	۰/۱۵ـ۰/۳			
۴۸XX	Mo,Ni (زیاد)	۳/۲۵ـ۳/۷۵		۰/۲ـ۰/۳			
۵XXX	کرم						
۵۰XX			۰/۲۰ـ۰/۶۰				
۵۱XX			۰/۷۰ـ۱/۱۵				
۶XXX	کرم ـ وانادیم						
۶۱XXX			۰/۵۰ـ۱/۱۰		۰/۱۰ـ۰/۱۵		
۸XXX	Ni,Cr,Mo						
۸۱XXX			۰/۲۰ـ۰/۴۰	۰/۳۰ـ۰/۵۵	۰/۰۸ ـ۰/۱۵		
۸۶XX		۰/۴۰ـ۰/۶۰	۰/۱۵ـ۰/۲۵				
۸۷XX		۰/۴۰ـ۰/۷۰	۰/۴۰ـ۰/۹۰	۰/۲۰ـ۰/۳۰			
۸۸XX		۰/۴۰ـ۰/۷۰	۰/۴۰ـ۰/۶۰	۰/۳۰ـ۰/۴۰			
۹XXX	عناصر دیگر						
۹۲XX	پرسیلیسیم						۱/۲۰ـ۲/۲۰ سیلیسیم
۹۳XX	Ni,Cr,Mo	۳/۰۰ـ۳/۵۰	۱/۰۰ـ۱/۴۰	۰/۰۸ ـ۰/۱۵			
۹۴XX	Ni,Cr,Mo	۰/۳۰ـ۰/۶۰	۰/۳۰ـ۰/۵۰	۰/۰۸ ـ۰/۱۵			

انتخاب فولادهای آلیاژی

همان‌گونه که در بحث‌های گذشته مشاهده شد، دو یا چند عنصر آلیاژی می‌توانند اثرات مشابهی در فولاد به‌وجود آورند. بنابراین ممکن است فولادهایی با ترکیب شیمیایی کاملاً متفاوت دارای خواص مکانیکی یکسان باشند. اهمیت این مسئله هنگامی بیشتر مشخص می‌شود که توجه شود که عناصر آلیاژی ممکن است بسیار گران‌قیمت بوده یا به دلیل محدودیت‌های اضطراری و یا سیاسی به سادگی در دسترس نباشند، در غالب موارد مشخصات را بالاتر از حد مورد نیاز تعیین می‌کنند تا به فرض وقوع بی‌دقتی در تولید و عملیات حرارتی، موفقیت نهایی تضمین شود. البته انتخاب درست برای هر کار ارزان‌ترین فولادیست که بتواند طی عملیات یکنواخت و قابل تکرار تولید خواص مطلوب را ارائه دهد. غالباً تحصیل خواص مطلوب مستلزم بهره‌گیری از امتیازات کلیدی عناصر آلیاژیست.

برای انتخاب فولادهای آلیاژی مناسب، توجه به کاربرد و نحوهٔ تولید حایز اهمیت است. برای افزایش استحکام یک محصول مشخص می‌توان مقدار کربن آن را افزایش داد. در کاربردهای متفاوت شامل مونتاژ یا جوش‌کاری، بهترین راه، پایین نگه داشتن میزان کربن و استفاده از مقدار متعادل عناصر آلیاژی برای حصول استحکام مطلوب است. تعیین بهترین ریزساختار برای تأمین خواص لازم استحکام را می‌توان از طریق آلیاژسازی، کارسرد، عملیات حرارتی و همچنین ترکیب آنها به‌دست آورد، تعیین روش تولید قطعه (ریخته‌گری، ماشین‌کاری، شکل‌دهی فلز و غیره...)، و در نهایت انتخاب فولادی با بهترین محتوای کربن و خواص سخت‌شوندگی برای رسیدن به هدف مطلوب است.

فولادهای ساختمانی کم آلیاژ محکم

فولادهای آلیاژی به دو دستهٔ عمومی تقسیم می‌شوند: ۱ـ فولادهای آلیاژی سازه‌ای که خواص مطلوب آنها به نحوهٔ عملیات حرارتی بستگی دارد و آلیاژها معمولاً با توجه به تأثیرشان بر روی قابلیت سخت‌شوندگی انتخاب می‌شوند و ۲ـ فولادهای کم آلیاژ محکم (HSLA) یا نوع بسیار کم آلیاژ که خواص مکانیکی مطلوب در آنها در وضعیت عادی یا نورد تابع ترکیب شیمیایی آنهاست.

دامنهٔ خواص مورد نیاز برای این کاربرد استحکام تسلیم بالا، قابلیت جوشکاری خوب و مقاومت به خوردگی قابل قبول است. البته شکل‌پذیری و قابلیت سخت شدنشان محدود است. افزایش استحکام همراه با مقاومت در برابر تشکیل مارتنزیت در ناحیهٔ جوش، نتیجهٔ کنترل مقدار کربن، منگنز و سیلیسیم و افزایش مقدار کمی وانادیم، نیوبیم و تیتانیم یا دیگر عناصر آلیاژیست. غالباً حدود ۰/۲ درصد مس برای بهبود مقاومت در برابر خوردگی به فولاد افزوده می‌شوند.

فولادهای ساختمانی کم‌آلیاژ محکم به خاطر استحکام تسلیم بالایشان ۲۰ تا ۳۰

درصد صرفه‌جویی در وزن را بدون هرگونه کاهش استحکام یا ایمنی به وجود می‌آورند. فولادهای ساختمانی کم آلیاژ محکم به‌صورت نورد شده یا جوش خورده هم‌اکنون در خودروها، قطارها، پل‌ها و ساختمان‌ها به‌کار می‌روند. به خاطر کم آلیاژ بودن و حجم وسیع کاربردشان معمولاً قیمت آنها فقط کمی بیشتر از فولادهای معمول کربنی ساده است. ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی انواع متداول‌تر این فولادها در جدول ۲۳ آمده است.

جدول۲۳ـ ترکیبات و خواص استحکامی متعارف چند گروه فولاد ساختمانی کم آلیاژ با استحکام بالا

گروه	ترکیب شیمیایی، درصد				تسلیم		کشش		ازدیاد طول نمونهٔ ۲
	C	Mn	Cb	V	MPa	ksi	MPa	ksi	اینچی (٪)
کلسیم یا وانادیم	۰/۲۰	۱/۲۵	۰/۳۰	۰/۰۰۱	۳۷۹	۵۵	۴۸۳	۷۰	۲۰
وانادیم ـ کم منگنز	۰/۱۰	۰/۵۰	۰/۱۰	۰/۰۲	۲۷۶	۴۰	۴۱۴	۶۰	۳۵
منگنز ـ مس	۰/۲۵	۱/۲۰	۰/۳۰		۳۴۵	۵۰	۵۱۷	۷۵	۲۰
منگنز ـ وانادیم ـ مس	۰/۲۲	۱/۲۵	۰/۳۰	۰/۰۲	۳۴۵	۵۰	۴۸۳	۷۰	۲۲

همهٔ این آلیاژها حاوی ۰/۰۴ درصد فسفر، ۰/۰۵ درصد گوگرد و ۰/۲۰ درصد مس هستند.

فولادهای بسیار کم آلیاژ در محصولات فراورش شده

هم از لحاظ عملکرد و هم از نظر قیمت فولادهای بسیار کم آلیاژ (ریز آلیاژ) جایگاهی بین فولادهای کربنی ساده و فولادهای آلیاژی دارند و به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان جایگزین فولادهای عملیات حرارتی شده در تولید قطعات کوچک و اندازهٔ متوسط استفاده می‌شوند. این فولادها حاوی مقادیر کمی (۰/۰۵تا ۰/۱۵ درصد) عناصر آلیاژی شامل نیوبیم، وانادیم، تیتانیم، زیرکنیم، برن، عناصر نادر زمینی، یا مخلوطی از این مواد هستند. اثر عمدهٔ عناصر آلیاژی پالایش دانه‌ها و یا ایجاد استحکام رسوبیست. استحکام تسلیم بین ۵۰۰ تا ۷۵۰ مگاپاسکال (۷۰ تا ۱۱۰ هزار پوند بر اینچ مربع) بدون عملیات حرارتی به‌دست می‌آید. با کاهش میزان کربن قابلیت جوش‌پذیری حفظ می‌شود و حتی بهبود نیز می‌یابد و هدف از تولید این ماده در اصل کسب بیشترین استحکام یا کمترین درصد کربن، همراه با بهترین درجهٔ جوش‌پذیری، قابلیت سخت‌شوندگی و شکل‌پذیریست. در مقایسه با فولادهای تبریدی و بازپخت شده، عموماً شکل‌پذیری و چقرمگی‌شان پایین‌تر است.

فولادهای بسیار کم آلیاژ شکل یافتهٔ سرد نیاز به‌کار سرد کمتری برای کسب استحکام مطلوب دارند. و به همین دلیل شکل‌پذیری (نرمی) جامانده در آنها بیشتر است. قطعاتی که طی فرایندهای شکل دادن گرم مانند آهنگری تولید می‌شوند. معمولاً در حالت تبرید در هوا قابل استفاده‌اند. درصورتی‌که دما و آهنگ سرد شدنشان به‌خوبی کنترل شود خواص مکانیکی آنها مشابه با مواد تبرید و باز پخت شده است به دلیل سختی یکنواخت‌ترشان و این واقعیت که قابلیت ماشینکاری ساختار فریتی ـ پرلیتی آنها بسیار بهتر از ساختار فریت ـ کاربیدی فولادهای تبرید و باز پخت شده است غالبا قابلیت ماشین‌کاری بهبود می‌یابد. عمر خستگی و مقاومت به سایش نیز از مواد مشابه عملیات حرارتی شده بهتر است.

فولادهای بسیار کم آلیاژ در مواردی خواص کافی دارند. از لحاظ هزینه‌ها غالباً مقرون به صرفه‌اند. صرفه‌جویی در انرژی مصرفی قابل توجه است. راست کردن یا تنش‌زدایی پس از انجام عملیات حرارتی ضروری نیست و مشکل ترک برداشتن در اثر تبرید حذف می‌شود. به دلیل افزایش استحکام ماده، ابعاد و وزن قطعهٔ تمام شده کاهش می‌یابد. بدین ترتیب هزینهٔ قطعهٔ آهنگری تمام شده حدود ۵ تا ۲۵ درصد کاهش می‌یابد.

اگر رسیدن به خواص بهینهٔ این مواد مدنظر باشد، اقدامات احتیاطی را باید لحاظ نمود. در قسمت‌هایی از عملیات که درجهٔ حرارت بالاست، ماده باید چنان گرم شود که تمام آلیاژ به‌صورت محلول درآید. محصول باید پس از شکل گرفتن با هوا تا دمای ۶۰۰ـ۵۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۱۱۰۰ـ۱۰۰۰ درجه فارنهایت) خنک و سپس در ظرف تبرید پرداخته شود. به علاوه فولادهای بسیار کم آلیاژ قابلیت سخت شدن در تمام جسم قطعه را طی تبرید با هوا دارند، بنابراین در این محصولات غالباً استحکام کمتر و چقرمگی بیشتر قسمت‌های داخلی که ویژگی مواد تبرید و بازپخت شده است، در این آلیاژها دیده نمی‌شود.

ورقه‌های فولادی سخت‌شونده در اثر پختن

ورقه‌های سخت شونده در اثر پختن در صنایع ورقکاری خودرو نقش چشمگیری پیدا کرده است. این فولادهای کم کربن به‌صورتی فراوری می‌شوند که در شرایط نگهداری طبیعی در برابر کهنه شدن مقاوم باشند اما در حین تغییر شکل کهنه شوند. گرمای بعدی در حین پختن با رنگ، عملیات کهنه کردن را تکمیل می‌کند و ۳۵ تا ۷۰ مگاپاسکال (۵ تا ۱۰ هزار پوند بر اینچ مربع) به استحکام تسلیم افزوده می‌شود و به حدود ۲۷۵ مگاپاسکال (۴۰ هزار پوند بر اینچ مربع) می‌رسد. از آنجا که افزایش استحکام پس از شکل دادن اتفاق می‌افتد، ماده قابلیت شکل‌پذیری خوب و مقاومت زیادی در برابر فرورفتگی و خراش در محصول نهایی دارد. به علاوه پختن باعث کاهش وزن (یا صرفه‌جویی در وزن)، بدون از بین رفتن سایر خواص ورقهٔ فولادی می‌شود. این خواص شامل نقطه جوش‌پذیری، جذب انرژی، قیمت پایین و بازیابی کامل می‌باشد.

فولادهای پیشرفته با استحکام بالا (AHSS)

از سال ۲۰۰۰ با جایگزین شدن فولادهای پیشرفته با استحکام بالا (AHSS) به‌جای فولادهای کم کربن و HSLA، تحول چشمگیری در صنایع اتومبیل سازی واقع شد. در فولادهای AHSS فریت فاز اصلی است که دارای مقادیر متفاوتی از فازهای مارتنزیت، بینایت و آستنیت باقی‌مانده نیز هستند و از استحکام بالایی در کنار چقرمگی قابل توجهی بهره می‌برند، درحالی‌که مواد استحکام بالای پیشین نظیر فولادهای HSLA همیشه دچار مشکل کم بودن قابلیت شکل‌پذیری بودند، فولادهای AHSS امکان مهرش یا شکل‌دهی هیدرولیکی را برای تولید اکثر قطعات پیچیده به‌دست می‌دهند. در این حالت در اغلب موارد می‌توان قطعات را به‌صورت یک تکه ساخت و به این روش هزینه‌ها و زمان مربوط به مونتاژ را حذف کرد و از جانب دیگر استحکام بالاتر این مواد مقاومت خستگی و آمادگی در برابر تصادم را افزایش می‌دهد و هم‌زمان امکان کاهش وزن را نیز فراهم می‌آورد.

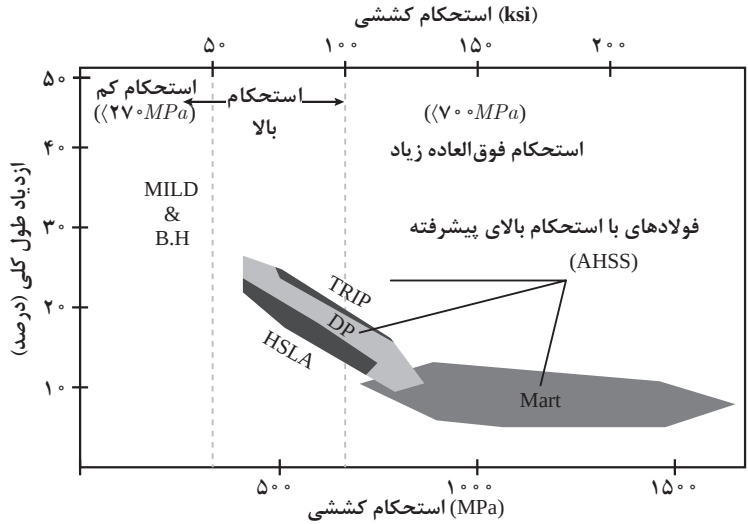
فولادهای دو فازی با استفاده از تبرید در دماهای بالاتر از A_1 ولی زیر A_3 تهیه می‌شوند تا ساختار فریت و مارتنزیت پرکربن در فولادهایی که از بقیهٔ جهات همانند فولادهای کم کربن و میان کربن هستند، ایجاد شود. امروزه فولاد کم کربن یا میان کربن ریزساختاری مختلط از فریت نرم و ضعیف به همراه مارتنزیت پرکربن محکم با سختی بالا دارد.

این فولادها از نظر استحکام با مواد کم آلیاژ محکم قابل مقایسه‌اند. و در عین حال، بدون کاهش کیفیت جوش‌پذیری، قابلیت شکل دادن بهتری دارند. نرخ کار سختی بالا و ازدیاد طول عالی منجر به استحکام کششی نهایی بالا به همراه استحکام تسلیم ابتدایی کم می‌گردد. حساسیت بالا به آهنگ کرنش به این معناست که هرچه فولاد سریع‌تر تغییر شکل داده شود، انرژی بیشتری جذب می‌کند. این ویژگی برای تولید شاسی و بدنهٔ اتومبیل بسیار مطلوب است. درحالی‌که فولادهای دو فازی دارای ساختاری از فریت و مارتنزیت هستند، فولادهای موم سانی تحریک شده توسط استحاله (TRIP) شامل فریت و مخلوطی از مارتنزیت، بینایت و آستنیت نگه داشته شده هستند. از آنجا که آستنیت به تدریج و با تغییر شکل فولاد به مارتنزیت تبدیل می‌شود، نرخ‌های بالای کار سختی فولادهای TRIP که تا کرنش‌های بالا باقی می‌مانند، مزیت بسیار قابل توجهی را در عملیات‌هایی نظیر شکل‌دهی کششی و کشش عمیق به‌دست می‌دهند به‌نوبهٔ خود استحاله به مارتنزیت و نرخ بالای کار سختی می‌تواند در تأمین قابلیت جذب انرژی عالی در هنگام تصادف بسیار سودمند و مؤثر باشد.

فولادهای مجموعه فاز (CP) و مارتنزیتی (Mart) می‌توانند حتی دارای استحکام‌های بالاتری همراه با ظرفیت مناسب و مفید برای تغییر شکل و جذب انرژی باشند. فولادهای CP که دارای ریز ساختاری از فریت و کسر حجمی فازهای سخت (مارتنزیت و بینایت) هستند، با اضافه شدن کاربیدها یا نیتریدهای نیوبیم، تیتانیم و

یا وانادیم به استحکام بالا هم می‌رسند. فولادهای مارتنزیتی تقریباً به‌طور کامل از مارتنزیت بوده و بعضاً دارای استحکام کششی تا حد ۱۷۰۰ مگاپاسکال (۲۴۵ هزار پوند بر اینچ مربع) هستند.

شکل زیر استحکام و شکل‌پذیری (ازدیاد طول) نسبی فولادهای متداول از جمله فولادهای آرام و فولادهای سختی‌پذیر، فولادهای پراستحکام کم آلیاژ (HSLA) و فولادهای جدیدتر پراستحکام پیشرفته (AHSS) را نشان می‌دهد. فولادهای کربن ـ منگنز می‌تواند پلی بین فاصلهٔ فولادهای آرام و سختی‌پذیر با فولادهای HSLA باشد. همچنین برخی از شاخصه‌های متمایز مفید بین فولادهای کم استحکام (استحکام نهایی زیر ۲۷۰ مگاپاسکال یا ۴۰ هزار پوند بر اینچ)، فولادهای پراستحکام و فولادهای فوق مستحکم (استحکام کششی نهایی بیش از ۷۰۰ مگاپاسکال یا ۱۰۰ هزار پوند بر اینچ مربع) در شکل ۲۱ آمده است.



استحکام نسبی و شکل پذیری فولادهای معمولی، کم آلیاژ با استحکام بالا و فولادهای پیشرفته با استحکام بالا : دو فازی DP: مارتنزیت، Mart:سخت شونده در اثر پختن، BH

فولادهای خوش تراش

کاربرد روزافزون ماشین‌کاری با سرعت‌های بالا (به ویژه با ماشین‌های ابزار خودکار) تأثیر فراوانی بر توسعه و مصرف انواع فولادهای خوش تراش گذاشته است. این مواد به راحتی ماشین‌کاری می‌شوند و هنگام بریدن براده‌های کوچکی تولید می‌کنند. براده‌های کوچک‌تر طول تماس بین براده و ابزار برش را کم می‌کنند و در نتیجه اصطکاک و به دنبال آن حرارت تولید شده بر روی ابزار برش کاهش می‌یابد. به علاوه

تشکیل براده‌های کوچک موجب کاهش احتمال پیچ خوردگی آنها بر روی ماشین می‌شود که به تسریع عملیات برداشتن‌شان کمک می‌کند. در حالی که فولادهای خوش تراش ممکن است ۱۵ تا ۲۰ درصد گران‌تر از فولادهای معمولی باشند، این هزینه اضافی به آسانی از طریق سرعت‌های تراش بالاتر، عمق‌های تراش بیشتر و عمر طولانی‌تر ابزار جبران می‌شود.

فولادهای خوش تراش اساساً فولادهای کربنی هستند که توسط عناصر آلیاژی برای بهبود قابلیت ماشین‌کاری اصلاح شده‌اند. گوگرد، سرب، بیسموت، سلنیم، تلوریم و فسفر به همراه گوگرد این خاصیت را در فولاد ایجاد می‌کنند. گوگرد با منگنز ترکیب شده و به سولفید منگنز نرم مبدل می‌شود. این ترکیبات به نوبهٔ خود به‌صورت ناپیوستگی‌هایی در ساختمان ماده ظاهر می‌شوند و علت شکستن براده‌ها هستند. به علاوه، این ماده خاصیت خود روان‌سازی دارد و از چسبیدن تراشه روی ابزار جلوگیری می‌کند و شکل تراش را بهبود می‌دهد. ذرات حل نشدنی سرب. نیز دارای ویژگی مشابهی هستند.

اخیراً فولادهای خوش تراش بیسموتی جانشین فولادهای خوش تراش قبلی شده‌اند. بیسموت در مقایسه با سرب عامل ماشین‌کاری مناسب‌تری‌است. بیسموت از نظر زیست‌محیطی قابل قبول‌تر است، تمایل کمتری به تشکیل برادهٔ پیوسته از خود دارد و در آهن توزیع می‌شود زیرا چگالی آن تقریباً با چگالی آهن برابر است. قابلیت ماشین‌کاری به‌این دلیل بهبود می‌یابد که گرمای تولید شده در فرایند برش لایهٔ نازکی از بیسموت مایع به وجود می‌آورد که تنها در بخشی از یک میلیونیم ثانیه دوام می‌آورد. عمر ابزار تراش به میزان چشمگیری افزایش می‌یابد و ماده همچنان جوش‌پذیر است. در عین حال، ایجاد خاصیت مطلوب خوش تراش بودن در انواع فولادها بدون از دست دادن خواص دیگر مقدور نیست. شکل‌پذیری و ضربه‌پذیری آنها تا حدودی نسبت به فولادهای اصلاح نشده کاهش می‌یابد. اتصال‌های لحیم‌کاری سخت شده با آلیاژهای پایهٔ مس هنگامی‌که برای اتصال فولادهای خوش تراش بیسموت دار به‌کار می‌رود، شکننده هستند. مواد افزودنی با ماشین‌کاری، استحکام اتصال‌های انقباضی را کاهش می‌دهند. در صورتی که میزان این کاهش‌ها چشمگیر باشد، روش‌های دیگری برای بهبود قابلیت ماشین‌کاری استفاده می‌شود. به عنوان نمونه قابلیت ماشین‌کاری فولاد را می‌توان با انجام کار سرد افزایش داد. بر اثر افزایش استحکام و سختی فلز، قابلیت شکل‌پذیری کاهش می‌یابد و ماشین‌کاری بعدی براده‌هایی ایجاد می‌کند که به راحتی جدا و به قطعات کوچک‌تر تبدیل می‌شوند.

ورقه‌های فولادی پوشش‌دار

تولید ورقه‌های فلزی به روش‌های سنتی شامل تولید قطعات از فولاد لخت (بدون پوشش) و سپس پرداخت آنها به‌صورت یک به یک است. در این سیستم فرایندهای پرداخت سطح می‌تواند گران قیمت‌ترین و وقت‌گیرترین مرحلهٔ تولید باشد، زیرا شامل حمل‌ونقل، دست‌کاری، عمل آوردن و خشک‌کردن و همچنین رعایت شرایط مختلف EPA (محیطی) OSHA (ایمنی و سلامت) است.

راه دیگر، خرید مادهٔ ورق‌های پوشش داده شده هنگام نورد است که به‌صورت نوار بلند و پیوسته‌ای می‌باشد که توسط تولیدکنندهٔ فولاد روکش شده است. تمیزکاری، پیش عملیات، پوشش‌دهی و پختن را می‌توان به‌صورت پیوسته انجام داد، پوشش‌های مختلفی را می‌توان بر شمرد، از جمله طیف کامل فلزات روکش دادنی به روش آب‌کاری یا فروبردنی (شامل آلومینیم، روی و کرم) وینیل‌ها، رنگ‌ها و مواد دیگر. بسیاری از این ورقه‌ها طوری ترکیب‌بندی می‌شوند که قابلیت تحمل عملیات سخت بعدی شکل دادن یا خمش را داشته باشند. این ورقه‌های پیوسته را می‌توان برای بهبود شکل ظاهری‌شان رنگ کرد یا نقش زد. در حین تولید و جابه‌جایی باید دقت کافی برای حفاظت کامل پوشش از هرگونه آسیب به عمل آید زیرا غالباً هزینهٔ اضافی بسیار کمتر از هزینهٔ پرداخت قطعات به‌صورت تک به تک است.

فولاد برای مصارف مغناطیسی و الکتریکی

مواد مغناطیسی نرم را می‌توان به کمک میدان‌های مغناطیسی نسبتاً ضعیف، مغناطیسی کرد؛ ولی پس از برداشتن میدان تقریباً تمامی مغناطیس خود را از دست می‌دهند. این مواد به مقیاس وسیعی در فراورده‌هایی مانند ترانسفورمرها، سلونوییدها، موتورها و ژنراتورها به‌کار می‌روند. متداول‌ترین مواد مغناطیسی نرم شامل آهن (خلوص زیاد)، فولادهای کم کربن، فولادهای برقی آهن ـ سیلیسیم، آلیاژهای فرو مغناطیسی بی‌شکل، آلیاژهای آهن ـ نیکل و فریت‌های نرم (مواد سرامیکی) هستند.

اخیراً فلزات بی‌شکل چشم‌انداز جالب توجهی در زمینهٔ خواص الکتریکی ـ مغناطیسی نشان داده‌اند. از آنجایی که این نوع ماده فاقد دانه و مرز دانه است: (۱) میدان‌های مغناطیسی آزادانه در پاسخ به میدان‌های خارجی حرکت می‌کنند، (۲) خواص در کلیهٔ جهات یکسان هستند و (۳) مقاومت در برابر خوردگی قابل توجه است. استحکام مغناطیسی زیاد و افت پس‌ماند کم امکان تولید آهن رباهای کوچک‌تر و سبک‌تر را به وجود می‌آورند.

هنگامی که این ماده جایگزین فولاد سیلیسیم‌دار در هستهٔ ترانسفورمر می‌شود، افت هسته به میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد.

برای داشتن مغناطیس دائمی، ماده باید پس از حذف میدان اعمالی نیز مغناطیس باقی بماند. در حالی که مغناطیس‌های دائمی مواد سرامیکی یا آلیاژهای فلزی

پیچیده هستند، می‌توان فولادهای آلیاژی کبالت و با حداکثر ۳۶ درصد کبالت را در جایی که چگالی مغناطیسی بالا مورد نیاز باشد، در تجهیزات الکتریکی به‌کار برد.

فولادهای مارتنزیتی پیر شونده

هنگامی‌که فولاد با استحکام خیلی بالا مورد نیاز باشد، یک جایگزین قابل توجه انواع مختلف فولادهای مارتنزیتی کهنه شونده است. این آلیاژها بین ۱۵ تا ۲۵ درصد نیکل به علاوهٔ مقادیر قابل توجهی کبالت، مولیبدن و تیتانیم دارند که به فولاد بسیار کم کربن افزوده شده است.

این نوع فولاد را می‌توان در دماهای بالا ماشین‌کاری کرد و یا در شرایط تبریدی در هوا تحت کار سرد قرار داد و سپس تا استحکام تسلیم بیش از ۱۷۲۵ مگاپاسکال (۲۵۰ هزار پوند بر اینچ مربع) به همراه افزایش طول باقی‌ماندهٔ مناسب پیرسازی نمود.

آلیاژهای مارتنزیتی کهنه شونده در جاهایی که استحکام بسیار بالا و چقرمگی خوب مهم باشد، کاربرد دارند. اگر پس از جوش‌کاری، حل‌کردن و کهنه‌کردن کامل صورت گیرد می‌توانند جوش‌کاری شوند. همان‌گونه که از مقادیر زیاد افزوده‌های آلیاژی (بیش از ۳۰ درصد) و عملیات حرارتی چند مرحله‌ای انتظار می‌رود، فولادهای مارتنزیتی کهنه شونده بسیارگران هستند و باید فقط وقتی که خواص ممتازی مورد نیاز است، به‌کار روند.

فولاد برای کاربردهای دمای بالا

با یک حساب سرانگشتی، فولادهای کربنی ساده را نباید در دماهای بالاتر از ۲۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۵۰۰ درجهٔ فارنهایت) به‌کار برد. فولادهای آلیاژی معمولی حد بالای کاربرد را به ۳۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۶۵۰ درجه فارنهایت) رسانده‌اند. پیش‌رفت مداوم در صنایع موشک و هواپیمای جت نیاز به فلزاتی را که خواص استحکامی مناسب، مقاومت در برابر خوردگی و به ویژه مقاومت خزشی در درجه حرارت‌های بالاتر از ۵۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۱۰۰۰ درجه فارنهایت) داشته باشند، روزافزون کرده است.

آلیاژهای آهنی مورد مصرف در دمای بالا، مواد کم کربن با محتوای کربن کمتر از ۰/۱ درصد هستند. تنش پارگی هزار ساعتهٔ این مواد در دمای حداکثرشان بسیار پایین و در حدود ۵۰ مگاپاسکال (۷ هزار پوند بر اینچ مربع) است. با اینکه آهن عنصر اصلی آلیاژهای مورد مصرف در دمای زیاد است، اما هنگامی‌که مقدار آن از ۵۰ درصد کمتر باشد، نمی‌توان آن آلیاژ را در دستهٔ فلزات آهنی قرار داد. استحکام زیاد در دماهای بالا، مستلزم استفاده از مواد غیر آهنی گران قیمت‌تر است.

فولادهای ابزار

فولادهای ابزار آلیاژهای آهنی پرکربن با استحکام بالایی هستند که با افزودنی‌های آلیاژی ترکیب شیمیایی‌شان تعادل مطلوب بین چقرمگی و مقاومت به سایش را با عملیات حرارتی مناسب به وجود آورده است. چند سیستم دسته‌بندی برای فولادهای ابزار ارائه شده‌اند که برخی برحسب ترکیب شیمیایی و برخی دیگر برحسب روش سخت شوندگی و خواص مکانیکی اصلی پایه‌ریزی شده‌اند. در سیستم دسته‌بندی AISI روش تبرید، کاربردهای عمده، ویژگی اصلی، با کاربرد صنعتی اصلی با حروف مشخص می‌شوند. در جدول ۲۴ هفت خانوادهٔ اصلی فولادهای ابزار و معیارهای AISI مربوطه ارائه شده‌اند، درون هر خانواده، آلیاژها به‌صورت عددی مرتب شده‌اند تا سیستم به‌صورت حرفی ـ عددی کامل شود.

جدول ۲۴ـ انواع اساسی فولادهای ابزار و ترازهای معادل AISI - SAE

نوع	تراز	ویژگی‌های عمده
۱ـ سخت‌شونده در آب	W	
۲ـ کار سرد	O	سخت‌شونده در روغن
	A	آلیاژ میانه، سخت‌شونده در آب
	D	پرکربن ـ پرکرم
۳ـ مقاوم در مقابل ضربه	S	
۴ـ تندبر	T	با پایهٔ تنگستن
	M	با پایهٔ مولیبدن
۵ـ کارگرم	H	$H_{۱}$ تا $H_{۱۹}$ با پایهٔ کرم
		$H_{۲۰}$ تا $H_{۳۹}$ با پایهٔ تنگستن
		$H_{۴۰}$ تا $H_{۵۹}$ با پایهٔ مولیبدن
۶ـ قالب پلاستیک	P	
۷ـ کاربرد ویژه	L	کم آلیاژ
	F	کربن ـ تنگستن

فولادهای ابزار سخت‌شونده با آب (تراز W) فولادهایی ساده با کربن بالا هستند. این نوع فولادها ارزان‌ترین نوع فولاد هستند و برای انواع قطعاتی که غالباً کوچک‌اند و تحت کار سنگین و یا دمای زیاد قرار ندارند، مورد استفاده واقع می‌شوند. از آنجا که استحکام و سختی، هر دو تابع محتوای کربن هستند، با تغییر در ترکیب شیمیایی این مواد می‌توان طیف وسیعی از خواص را به دست آورد. این فولادها در اثر تبرید در آب سخت می‌شوند و به دلیل پایین بودن قابلیت سخت شوندگی، در صورتی که سختی در تمام مقطع موردنظر باشد، تنها می‌توان در شکل‌های با مقاطع نسبتاً نازک از آنها استفاده کرد. این مواد، خصوصاً در سختی‌های بالاتر نسبتاً ترد هستند.

کاربردهای متعارف فولاد کربن‌دار ساده برحسب مقدار کربن به شرح زیر است:

۰/۶۰ تا ۰/۷۵درصد کربن: قطعات ماشین، قلم برش، پیچ و قطعات مشابه که باید دارای سختی متوسط و چقرمگی و مقاومت به ضربهٔ قابل توجه باشند.

۰/۷۵ تا ۰/۹۰ درصد کربن: حدیده‌های آهنگری، چکش و پتک.

۰/۹۰ تا ۱/۱ درصد کربن: ابزارهای عمومی که باید دارای خواص مقاومت در مقابل سایش و چقرمگی خوب باشند مانند مته، ابزارهای برش، تیغه‌های قیچی و دیگر لبه‌های برندهٔ قطعات ضخیم.

۱/۱ تا ۱/۳ درصد کربن: مته‌های کوچک، ابزارهای ماشین تراش، تیغ و دیگر قطعات برندهٔ قطعات نازک که در آنها سختی فوق‌العاده مورد نیاز است ولی چقرمگی زیاد چندان اهمیتی ندارد.

در مواردی که چقرمگی بهتر مورد نیاز باشد، معمولاً مقادیر مختصری منگنز، سیلیسیم و مولیبدن به فولاد اضافه می‌شود. افزودن حدود ۰/۲ درصد وانادیم برای تشکیل کاربیدهای سخت و پایدار که موجب می‌شود در حین عملیات حرارتی دانه‌ها ریز بمانند، مفید است. یکی از نقاط ضعف فولادهای ابزار کربنی از دست رفتن سختی آنها در دماهای بالاست. اگر این ابزارها به مدت طولانی در معرض دماهای بالاتر از ۱۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۳۰۰ درجه فارنهایت) باشند، تا حد نامطلوبی نرم می‌شوند. در مواردی که لازم باشد قطعات بزرگ‌تر سخت شوند، یا تغییر شکل حین عملیات حرارتی به حداقل برسد، معمولاً فولادهای ابزار سردکار پیشنهاد می‌شوند. فولادهای سخت‌شونده در روغن (تراز O) یا سخت‌شونده در هوا (تراز A) به دلیل افزوده‌های آلیاژی و قابلیت سخت‌شوندگی بیشترشان نیاز به تبرید چندان سریع ندارند و در نتیجه دقت ابعادشان بهتر حفظ می‌شود و تمایل به ترک برداشتن کاهش می‌یابد.

فولادهای ابزار پرکرم با حرف (D) مشخص می‌شوند و بین ۱۰ تا ۱۸ درصد کرم دارند. این آلیاژها سخت‌شونده در هوا نیز هستند و مقاومت به سایش عالی در سخت‌شوندگی عمیق دارند. قالب‌های آهنگری، ریخته‌گری حدیده‌ای و کشیدن معمولاً از فولادهای ابزار پرکرم ساخته می‌شوند. چون این آلیاژها، عنصر آلیاژی لازم برای مقاومت به نرم شدگی در دمای بالا را ندارند، لذا نباید از آنها در دماهای بیش از

۲۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۵۰۰ درجه فارنهایت) به مدت زیاد استفاده نمود.
فولادهای ابزار مقاوم در مقابل ضربه (مشخصهٔ S) برای هر دو کاربرد ضربه‌ای گرم و سرد در نظر گرفته شده‌اند. کم بودن مقدار کربن (حدود ۰/۵ درصد) تأمین‌کنندهٔ چقرمگیست، و افزودن عناصر آلیاژی کاربید ساز دیرسایی، قابلیت سخت‌شوندگی و ویژگی‌های کار گرم را تأمین می‌کند. کاربرد این فولادها در ابزارهای هوایی، قلم‌تراش، منگنه و تیغه‌های برش است.
فولادهای ابزار تندبر در درجهٔ اول برای ابزارهای تراش فلزات و کاربردهای دیگری که مستلزم حفظ سختی تا دمای سرخ و بالاتر از آن (۱۴۰۰ درجه فارنهایت یا ۷۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد) است، به‌کار می‌روند. یک نوع متداول فولاد تندبر تنگستن‌دار آلیاژ T_1 است که حاوی ۰/۷ درصد کربن، ۱۸ درصد تنگستن، ۴ درصد کرم و ۱ درصد وانادیم است. این آلیاژ ترکیب متعادلی از دو خاصیت مقاومت در مقابل ضربه و مقاومت به سایش را دارد و برای کاربردهای متعددی از برش در دماهای بالا به‌کار می‌رود. فولادهای تندبر مولیبدن‌دار (مشخصهٔ M) برای کاستن مصرف تنگستن و کرم مورد نیاز برای ایجاد خواص برش تند به بازار آمده‌اند.
فولادهای ابزار گرم کار (مشخصهٔ H) برای کار در دمای بالا به مدت طولانی طراحی شده‌اند. در کلیهٔ انواع این فولادها از عناصر افزودنی کاربیدساز استفاده می‌شود. انواع H_1 تا H_{19} آلیاژهای با پایهٔ کرم، حاوی حدود ۰/۵ درصد کرم هستند. انواع H_{20} تا H_{30} پایهٔ تنگستن دارند و دارای ۹ تا ۱۸ درصد تنگستن همراه با ۳ تا ۴ درصد کرم هستند. انواع H_{40} تا H_{59} آلیاژهای با پایهٔ مولیبدن هستند. انواع کرم دار ارزان‌تر از آلیاژهای مولیبدن یا تنگستن‌دار می‌باشند. دیگر فولادهای ابزار شامل انواع زیر هستند:
(۱) فولادهای قالب پلاستیک (مشخصهٔ P) صرفاً برای رفع نیاز قالب‌گیری آلیاژهای ریختنی روی و تزریق پلاستیک طراحی شده‌اند؛ (۲) فولادهای ابزار خاص کم آلیاژ (مشخصهٔ L) مانند نوع L_6 از چقرمگی فوق‌العاده‌ای برخوردارند و (۳) فولادهای ابزار خاص نوع کربن ـ تنگستن‌دار (مشخصهٔF) که در آب سخت می‌شوند اما مقاومت به سایش بسیار کمتری نسبت به فولادهای ابزار کربنی ساده دارند.

فولادها و چدن‌های آلیاژی

تأثیر عناصر آلیاژی، بدون توجه به فرایند مورد استفاده برای رسیدن به شکل نهایی یکسان است. اگر قرار باشد شکل نهایی با ریخته‌گری تهیه شود، بعضی آلیاژها می‌توانند ویژگی‌های خاص فرایند مانند سیالیت و خواص قطعهٔ ریختگی را افزایش دهند. اگر ماده کمتر از ۲ درصد کربن داشته باشد، فولاد ریختنی خوانده می‌شود و اگر مقدار کربن از ۲ درصد بیشتر باشد چدن نام دارد.
چدن‌های آلیاژی غالباً به همان صورت ریخته شده به‌کار می‌روند و تنها برای تنش‌زدایی یا تابکاری عملیات حرارتی می‌شوند. برای این کاربردها عناصر آلیاژی

برحسب توانایی‌شان در تغییر خواص از طریق: (۱) تغییر شکل گرافیت یا سمنتیت (۲) اصلاح شکل ساختاری فاز پرکربن، (۳) تقویت زمینه و (۴) افزایش مقاومت در برابر سایش با تشکیل کاربیدهای عناصر آلیاژی به کار گرفته می‌شوند. مثلاً نیکل به تشکیل گرافیت کمک می‌کند؛ گرافیت حاصل معمولاً ریزدانه است. از طرف دیگر کرم تشکیل گرافیت را به تعویق می‌اندازد و به پایداری سمنتیت کمک می‌کند. بدین سبب غالباً نیکل و کرم توأماً به نسبت دو تا سه بخش نیکل به یک بخش کرم، به چدن افزوده می‌شوند. بین ۰/۵ تا ۱ درصد مولیبدن معمولاً برای استحکام اضافی و تشکیل کاربیدهای آلیاژی به چدن خاکستری اضافه می‌شود. به علاوه از مولیبدن برای کنترل اندازهٔ ورقه‌های گرافیت نیز استفاده می‌کنند.

چدن‌های پر آلیاژ برای ایجاد مقاومت زیاد در برابر خوردگی به ویژه در دماهای بالا طراحی شده‌اند. در این خانواده چدن خاکستری آستنیتی، متداول‌ترین چدن است که حاوی ۱۴ درصد نیکل، ۵ درصد مس و ۲/۵ درصد کرم می‌باشد. مقاومت به خوردگی این چدن در مقابل انواع اسیدها و قلیاها در محدودهٔ دمایی تا سقف ۸۰۰درجه سانتی‌گراد (۱۵۰۰ درجه فارنهایت) مناسب است.

چدن‌های آلیاژی و فولادهای ریختگی معمولاً با نام‌گذاری عددی ASTM شناخته می‌شوند که در آن مواد به خواص مکانیکی و کاربرد مورد انتظار از آنها مرتبط می‌شوند. جامعهٔ مهندسین خودرو نیز مشخصه‌هایی برای فولادهای ریختگی مورد استفاده در صنعت خودرو دارد.

معمولاً فولادهای ریختگی در جایی به‌کار می‌روند که چدن در آنجا مناسب نباشد. در مقایسه با چدن‌ها، فولادهای ریختگی از سخت‌پایی، چقرمگی و نرمی بیشتری در بازهٔ دمایی کاری برخوردارند و به راحتی جوش‌کاری می‌شوند. آنها معمولاً برای تولید سازهٔ نهایی تبرید و بازپخت شده مورد عملیات حرارتی قرار می‌گیرند، و افزودنی‌های آلیاژی نیز برای ایجاد سختی‌پذیری مطلوب و توازن خواص انتخاب می‌شوند. البته افزایش خواص با هزینه همراه است زیرا فولادهای ریختگی دمای ذوب بالاتر (یعنی انرژی بیشتر برای ذوب و نسوزهای گران قیمت‌تری مورد نیاز است)، سیالیت کمتر (که منجر به افزایش احتمال پر نشدن قالب می‌گردد) و انقباض بیشتری (چون گرافیت در حین انجماد تشکیل نمی‌گردد) دارند. به سایت کاربردهای دیگر از مزایای استحکام سازه‌ای ماده و توانایی‌اش در تحمل فشار، مقاومت به ضربه و تحمل دماهای بالا و مقاومت به سایش استفاده می‌کنند.

جلسه دهم موضوع: مفهوم فولاد زنگ نزن

هدف: توصیف فولاد زنگ نزن و کاربردهای آن

مفاهیم

فولاد زنگ نزن به فولادهایی با مقدار عناصر آلیاژی بالا گفته می‌شود که توانایی مقاومت به خوردگی در اتمسفرهای خورنده و دماهای بالا را داشته باشند. فولادهای ضد زنگ معمولی حاوی آهن و کربن به علاوه حداقل ۱۲ درصد کرم هستند که عامل اصلی مقاومت به خوردگی آنهاست.

آلیاژهای فولاد زنگ نزن به علت داشتن مقاومت بالا نسبت به‌خوردگی عالی یکی از پر کاربردترین مواد در مهندسی است. اضافه‌کردن نیکل به فولادهای زنگ‌نزن مقاومت به خوردگی را در محیط‌های خنثی یا اکسیدکننده ضعیف افزایش می‌بخشد اما قیمت آنها را نیز افزایش می‌دهد. همچنین مقدار کافی نیکل قابلیت انعطاف‌پذیری و شکل‌پذیری فولادها را افزایش می‌دهد. افزایش مولیبدن به فولادهای زنگ‌نزن مقاومت به خوردگی را در حضور یون‌های کلر افزایش می‌دهد، حال آنکه افزودن آلومینیم مقاومت به پوسته شدن را در دماهای بالا بهبود می‌بخشد.

فولادهای زنگ نزن براساس ساختار متالورژیکی به‌صورت زیر تقسیم می‌شوند:

۱. فولاد زنگ نزن فریتی
۲. فولاد زنگ نزن مارتنزیتی
۳. فولاد زنگ نزن آستنیتی
۴. فولاد زنگ نزن آستنیتی ـ فریتی (دوفازی)
۵. فولاد زنگ نزن رسوب سختی

استیل‌های سری ۳۰۰

رایج‌ترین نوع فولاد ضدزنگ استیل‌های سری ۳۰۰ هستند که خود به انواع مختلفی مثل ۳۰۳، ۳۰۴، ۳۰۵، ۳۱۶، ۳۲۱ و ۳۴۷ تقسیم می‌شوند و در بین آنها استیل ۳۰۴ که یک فولاد آستنیتی است با اختلاف قابل توجهی از بقیه پرکاربردتر و رایج‌تر است. استیل ۳۰۴ و تعداد دیگری از استیل‌های این سری مثل ۳۰۲، ۳۰۳، ۳۰۴، ۳۰۵، ۳۸۴ شامل ۱۸ درصد کروم و ۸ درصد نیکل هستند و به همین دلیل به نام استیل ۸ـ۱۸ هم شناخته می‌شوند. البته نام استیل ۸ـ۱۸ اشاره به نوع خاصی از استیل ندارد چون فقط درصد دو آلیاژ نیکل و کرم را نشان می‌دهد. علاوه بر این کربن این استیل‌ها کمتر از ۰/۰۸ درصد است و خاصیت آهنربایی ندارند.

استیل ۳۱۶ پس از استیل ۳۰۴ دومین استیل رایج در بین استیل‌های آستنیتی است. این استیل که به «استیل ضدزنگ گرید دریایی» هم معروف است و معمولاً شامل ۱۶ درصد کروم، ۱۰ درصد نیکل و ۲ درصد مولیبدن است و به همین دلیل به استیل

۱۰ـ۱۸ هم معروف است. در محیط‌هایی که نیازمند مقاومت به خوردگی بیشتر از گرید ۳۰۴ هستند از گرید ۳۱۶ استفاده می‌شود. این گرید همانند ۳۰۴ آستنیتی و نگیر است، و با عملیات حرارتی قابل سخت‌شدن نیست. عنصر کربن حداکثر ۰/۰۸ درصد باید باشد و نیکل مقداری بیشتر از ۳۰۴ است. تفاوت شاخص میان ۳۰۴ و ۳۱۶ عنصر مولیبدن است که حداکثر ۳٪ به ۳۱۶ افزوده می‌شود.

روش تدریس

علاوه بر مطالب کتاب درسی مفاهیم فوق را نیز در کلاس مطرح نموده و کاربردهای دیگری از فولادهای زنگ نزن مطابق جدول ۲۵ علاوه بر جدول موجود در کتاب درسی مطرح نمایید.

جدول۲۵ـ برخی از کاربردهای فولاد زنگ نزن

کد فولاد زنگ نزن	کاربرد	تصویر
۳۰۴/۳۰۴L ۳۱۶/۳۱۶L	نمای ساختمان‌ها درمعماری	
S۸۲۰۱۳	کف یخچال در وسایل نقلیه دارای یخچال	
۳۰۴/۳۰۴L	بدنه خودرو	

۳۰۴/۳۰۴L ۳۱۶/۳۱۶L	خشک‌کن صنعتی	
۳۰۴/۳۰۴L	مبلمان شهری	
۳۰۴/۳۰۴L	یخچال، ماشین لباس‌شویی، ماشین ظرف‌شویی	

دانش افزایی

فولادهای زنگ نزن

فولادهای کم‌کربن حاوی ۴ تا ۶ درصد کرم مقاومت خوبی در محیط‌های خورندهٔ صنایع شیمیایی دارند. خاصیت مقاومت در مقابل خوردگی در اثر تشکیل لایهٔ کاملاً چسبندهٔ اکسید کرم روی سطح فلز به وجود می‌آید. هرگاه زیبایی ظاهر و مقاومت در برابر خوردگی مهم‌ترین خواسته‌ها باشند، باید از ترکیبات اکسید کرم قوی‌تری استفاده شود که حداقل ۱۲ درصد کرم اتمی داشته باشند (اما نه کاربیدهای کرم و نه دیگر ترکیب‌های آن، کرم لازم برای انجام واکنش با اکسیژن را ندارند.) این لایهٔ مقاوم به خوردگی چسبنده و چقرمه با ضخامت فقط ۱ تا ۲ نانومتر در صورت آسیب‌دیدن خود را ترمیم می‌کند، به شرط آنکه اکسیژن در محیط وجود داشته

باشد، حتی به مقدار اندک. این دسته به نام فولادهای زنگ نزن حقیقی موسوم‌اند.
چندین سیستم مختلف برای دسته‌بندی این آلیاژها طراحی و ارائه شده‌اند. انستیتو آهن و فولاد آمریکا (AISI) فلزات را برحسب ترکیب شیمیایی دسته‌بندی کرده و آنها را با کمک یک عدد سه رقمی (که بیانگر دستهٔ اصلی و آلیاژ ویژه در آن دسته است) مشخص می‌کند. لیکن این آلیاژها برحسب خانواده‌های ریزساختاری‌شان تقسیم می‌شوند، زیرا شبکهٔ بلورین، تعیین‌کنندهٔ خواص مهندسی آنهاست. در جدول ۲۶ تقسیم‌بندی AISI برای فولادهای زنگ نزن و ارتباط آن با خانوادهٔ ریزساختاری ارائه شده است.

جدول ۲۶ــ تقسیم‌بندی AISI برای فولادهای زنگ نزن

کد سه رقمی	ریز ساختار
۲۰۰ و ۳۰۰	آستنیتی
۴۰۰	فریتی یا مارتنزیتی
۵۰۰	مارتنزیتی

کرم، عامل پایدارکنندهٔ فریت است، بدین صورت که افزودن آن موجب افزایش دمای پایداری ساختار فریتی می‌شود. اگر کرم به مقدار کافی به آهن افزوده شده و میزان کربن پایین نگاه داشته شود، می‌توان آلیاژ با ساختار فریتی در دماهای زیر دمای انجماد داشت. این آلیاژها به نام فولادهای زنگ نزن فریتی موسوم‌اند. نرمی و شکل‌پذیری آنها ضعیف است، اما به‌خوبی جوش‌پذیر هستند. در ناحیهٔ جوش مارتنزیت تشکیل نمی‌شود زیرا امکان تشکیل آستنیت با ساختار مکعبی با وجوه مرکز دار (FCC) برای تبدیل به مارتنزیت در حین تبرید وجود ندارد. این آلیاژها را نمی‌توان عملیات حرارتی نمود و نرمی کم‌شان میزان استحکام‌دهی با کارسرد را محدود می‌کند. منشأ اصلی استحکام بخشی، ساختار مکعبی مرکز پر (BCC) به همراه اثرات استحکام بخشی محلول جامد است. به دلیل ویژگی فلزات BCC فولاد زنگ‌نزن فریتی با کاهش دما، انتقال نرمی به تردی از خود نشان می‌دهد. از آنجا که آلیاژهای فریتی ارزان‌ترین نوع فولادهای زنگ نزن هستند باید ابتدا آنها را مورد توجه قرار داد. اگر استحکام زیادتری مورد نیاز باشد، فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی انتخاب مناسبی هستند. برای این نوع آلیاژها کربن افزوده شده و کرم تا حدی کاهش می‌یابد که ماده بتواند در دمای بالا آستنیتی و در دمای پایین فریتی باشد. همان‌طور که در فولادهای استاندارد بیان شد، کربن در آستنیت با ساختار مکعبی با وجوه مرکزدار حل و سپس بار دیگر سرد و به ساختار مارتنزیتی مرکزدار تبدیل

می‌شود. آلیاژهایی با مقادیر مختلف کربن تا ۱/۲ درصد وجود دارند که دارای انواع سختی‌ها و استحکام‌ها می‌باشند. فقط باید احتیاط کرد که میزان کرم در محلول بیش از ۱۲ درصد نگاه داشته شود، کربن و کرم در اثر تبرید آهسته، واکنش انجام می‌دهند و به کاربیدهای کرم مبدل می‌شوند. در این صورت کرم برای تشکیل لایهٔ محافظ اکسید در دسترس نخواهد بود. بنابراین فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی تنها در حالت مارتنزیتی (که کرم به شکل اتمی در محلول حبس می‌شود) زنگ نزن هستند ولی ممکن است در برابر زنگ قرمز هنگامی‌که برای ماشین‌کاری یا تولید، تابکاری یا طبیعی‌سازی می‌شوند، آسیب‌پذیر باشند. قیمت فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی به دلیل انجام عملیات حرارتی اضافی (شامل آستنیتی کردن، تبرید، تنش‌زدایی و باز پخت) حدود ۱/۵ برابر آلیاژهای فریتیست. این فولادها مقاومت به خوردگی کم‌تری نسبت به انواع دیگر داشته و هنگامی به‌کار می‌روند که استحکام و سختی خواص غالب مورد نظر باشند.

نیکل عامل پایداری آستنیت است و در صورت وجود کرم و نیکل به میزان کافی فولاد زنگ نزن در دمای اتاق دارای آستنیت پایدار خواهد بود. بهای این آلیاژها که به نام فولادهای زنگ نزن آستنیتی موسومند، حدود ۲ تا ۳ برابر آلیاژهای فریتیست و دلیل آن گرانی عناصر آلیاژی کرم و نیکل است. برخی اوقات از منگنز و نیتروژن به عنوان عامل پایداری آستنیت استفاده می‌شود و بدین ترتیب فولاد زنگ نزن آستنیتی با کیفیت و قیمت پایین‌تر به‌دست می‌آید (سری ۲۰۰ AISI).

فولادهای آستنیتی به دلیل غیرمغناطیس بودنشان به راحتی قابل تشخیص‌اند (فولادهای زنگ نزن فریتی و مارتنزیتی جذب آهن‌ربا می‌شوند) و تقریباً در کلیهٔ محیط‌ها به جز اسیدکلریدریک و دیگر اسیدهای‌هالوژنه و نمک‌هایشان، کامل؛ در برابر خوردگی مقاوم‌اند. به علاوه در اثر پرداخت، مانند آینه صیقلی می‌شوند و ظاهر مناسبی دارند. شکل‌پذیری آنها فوق‌العاده است (ویژگی ساختار بلورین مکعب با وجوه مرکزدار)، در اثر کارسرد به خوبی سخت می‌شوند. پاسخ فولاد ۳۰۴ (یا با نام دیگر فولاد ۱۸ـ۸ به دلیل وجود ۱۸ درصد کرم و ۸ درصد نیکل) به مقادیر کارسرد کم به قرار زیر است:

استحکام تسلیم	استحکام کششی	افزایش طول نمونهٔ تبرید با آب نورد سرد شده (۱۵ درصد)
(ksi) MPa	(ksi) MPa	۲ اینچی (درصد)
(۳۸) ۲۶۰	(۹۰) ۶۲۰	۶۸
(۱۱۷) ۸۰۵	(۱۴۰) ۹۶۵	۱۱

غالباً این مواد در حالت تبرید شده با آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. تبرید با آب موجب می‌شود که آلیاژها در حالت محلول جامد باقی بمانند. هیچ‌گونه تغییر فازی در حین تبرید صورت نمی‌گیرد زیرا فاز آستنیت در بازهٔ دمای مربوطه پایدار است. فولادهای زنگ نزن آستنیتی بهترین ترکیب مقاومت به خوردگی و چقرمگی را در بین انواع فولاد زنگ نزن از خود نشان می‌دهند.

فولادهای زنگ نزن آستنیتی موادی‌گران قیمت‌اند و نباید در مواردی که فولادهای ارزان‌تر فریتی و مارتنزیتی برای کاربرد موردنظر مناسب هستند و یا مواردی که فولاد زنگ‌نزن حقیقی مورد نیاز نباشد، به‌کار گرفته شوند. شکل زیر فهرست چند آلیاژ از این سه دستهٔ اصلی تقسیم‌بندی و ویژگی‌های اصلی آنها را نشان می‌دهد. جدول ۲۷ انواع اصلی فولاد زنگ نزن و سازوکارهای اساسی استحکام بخشی در آنها را نشان می‌دهد.

آلیاژهای رایج و خواص عمدهٔ سه نوع مهم از فولادهای زنگ نزن

چهارمین دسته، و طبقهٔ خاصی از فولادهای زنگ نزن، فولادهای سخت شوندهٔ رسوبی هستند. این نوع آلیاژها اساساً مارتنزیتی یا آستنیتی هستند و با افزودن عناصر آلیاژی که موجب سخت شدن زمانی آلیاژ در دمای نسبتاً کم باشند، اصلاح می‌شوند. با افزودن سخت‌شدن زمانی به ساز و کارهای موجود، استحکام تسلیم آلیاژ به حدود ۱۷۹۰ مگا پاسکال (۲۶۰ هزار پوند بر اینچ مربع) و استحکام کششی آن به ۱۸۲۵ مگا پاسکال (۲۶۵ هزار پوند بر اینچ مربع) همراه با ۲ درصد افزایش طول می‌رسد. البته آلیاژهای سخت شوندهٔ رسوبی به دلیل عناصر آلیاژی اضافی و فراورش بیشتر از گران قیمت‌ترین انواع فولادهای زنگ نزن به شمار می‌آیند و تنها در مواردی بسیار ضروری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اگرچه چهار دستهٔ اشاره شده در بالا چارچوب فولادهای زنگ نزن را تشکیل می‌دهند، اما انواع دیگری نیز وجود دارند. فولادهای زنگ نزن دو جزیی بین ۱۸ تا ۲۵ درصد کرم و ۴ تا ۷ درصد نیکل و تا ۴ درصد مولیبدن دارند و در دمای کار گرم با آب تبرید می‌شوند تا ریزساختاری که شامل تقریباً نیمی‌فریت و نیمی‌آستنیت است، تولید شود. این ساختار مختلط استحکام تسلیم بالاتر و مقاومت بیشتری در برابر ترک برداشتن در اثر خوردگی و فشار در مقایسه با هر دو دستهٔ تمام آستنیتی و تمام فریتی دارد.

فولادهای زنگ نزن معمولی به علت سخت شدن در اثر کار مکانیکی و تمایل به مقاومت در برابر برش، برای ماشین‌کاری مناسب نیستند. آلیاژهای خوش تراش مخصوصی در هر دسته (خانواده) به وجود آمده‌اند که مقادیر اضافه‌تری گوگرد و سلنیم دارند که قابلیت ماشین‌کاری‌شان تقریباً مانند فولادهای میان کربن است. مشکلات متعدد منحصر به فردی در مورد خانوادهٔ فولادهای زنگ نزن وجود دارد. از آنجا که اکسید محافظ، مقاومت به خوردگی خوبی ایجاد می‌کند، این خاصیت در صورت پایین آمدن میزان کرم در محلول به زیر ۱۲ درصد از بین می‌رود.

جدول۲۷ــ مهم‌ترین سازوکار استحکام بخشی برای انواع فولادهای زنگ نزن

نوع فولاد زنگ نزن	مهم‌ترین سازوکار استحکام بخشی
فریتی	استحکام دهی محلول جامد
مارتنزیتی	استحکام دهی تبدیل فازی (مارتنزیت)
آستنیتی	کار سرد استحکام دهی تغییرشکل

کاهش مقدار کرم آزاد، تشکیل کاربیدهای کرم در مرز دانه‌ها (حساس شدن) در دماهای بالاست.

راه‌های مختلفی برای جلوگیری از این پدیده ایجاد شده است. یک راه این است که

میزان کربن در فولاد زنگ نزن حتی‌الامکان پایین نگاه داشته شود (معمولاً کمتر از ۰/۱ درصد) راه دیگر جذب کربن به وسیلهٔ مقدار کمی از عناصر تست تیتانیم یا نیوبیم است که در مقایسه با کرم، میل ترکیبی بیشتری با کربن دارند. همچنین تبرید سریع در بازهٔ دمایی ۴۸۰ تا ۸۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۹۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه فارنهایت) که محدودهٔ دمای تشکیل کاربید است نیز موجب تأخیر در تشکیل کاربیدها می‌شود.
مشکل دیگر در رابطه با فولادهای زنگ نزن پرکرم، ترد شدن پس از ماندن به مدت زمان طولانی در دمای زیاد است. فاز زیگما با ساختاری ترد در دماهای بالا بر روی مرزدانه‌ها تشکیل می‌شود. آنها را می‌پوشاند و در نتیجه مسیر ترک تردی را در سرتاسر فلز به وجود می‌آورد. بدین سبب فولادهای زنگ نزن مورد استفاده در دمای زیاد دائماً از نظر تشکیل فاز زیگما مورد کنترل و بررسی قرار می‌گیرند.

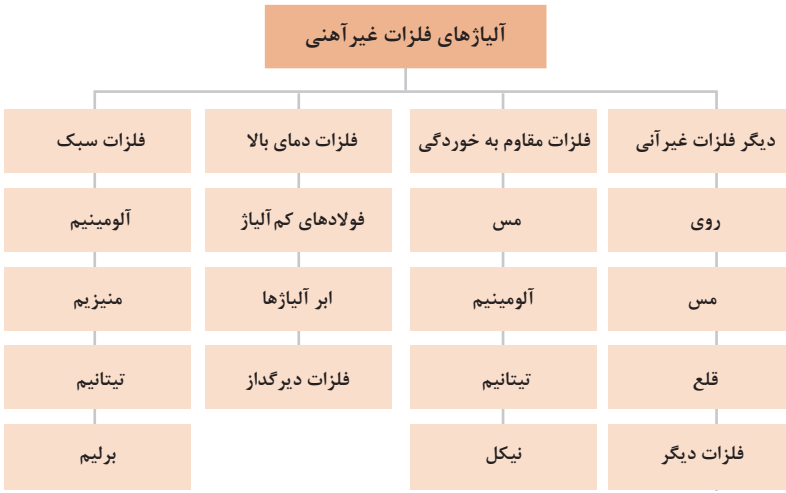
جلسه یازدهم موضوع: معرفی آلومینیم و آلیاژهای آن

هدف: نام‌گذاری آلیاژهای آلومینیم و کاربردهای آنها

دانش افزایی

فلزات غیرآهنی

آشنایی: فلزات و آلیاژهای غیرآهنی نقش مهم و روز افزونی در فناوری پیشرفته ایفا می‌کنند. آنها به دلیل تعداد، انواع و نیز ویژگی‌های طبیعی گوناگونی که خاص هر نوعشان است، می‌توانند در گسترهٔ بسیار وسیعی پاسخ‌گوی انواع نیازهای مهندسان طراح باشند. فلزات غیرآهنی با وجود آنکه گران قیمت‌تر از فولاد هستند، در برخی موارد دارای خواص یا ترکیبی از خواص منحصر به فردی هستند که در هیچ یک از فلزات و آلیاژهای آهنی به چشم نمی‌خورد، از جمله:
۱ مقاومت در برابر خوردگی ۲ راحتی تولید ۳ هدایت الکتریکی و حرارتی زیاد ۴ سبک وزنی ۵ استحکام در دماهای بالا ۶ رنگ
تقریباً همهٔ آلیاژهای غیرآهنی دارای حداقل دو ویژگی از فهرست فوق و برخی از آنها نیز دربرگیرندهٔ تمام این خواص هستند. در بسیاری از موارد، ترکیب متناسبی از این خاصیت‌ها مورد نیاز است. هر سال به‌طور میانگین هر آمریکایی نیاز به ۶۵ پوند آلومینیم، ۲۱ پوند مس، ۱۲ پوند سرب، ۱۱ پوند روی و ۲۵ پوند انواع دیگر فلزات غیرآهنی دارد. شکل نمودار صفحه بعد برخی از فلزات غیرآهنی را برحسب خواص مفید مهندسی‌شان دسته‌بندی کرده است و جدول ۲۸، افزایش نقش فلزات غیرآهنی در یک خودرو خانوادهٔ معمولی را نشان می‌دهد، جدول ۲۸.



فلزات و آلیاژهای متداول غیرآهنی طبقه‌بندی شده بر اساس خواص

جدول ۲۸ـ میزان مواد مختلف در یک خودروی معمولی خانوادگی بر حسب پوند

ماده	۱۹۷۸	۱۹۹۰	۲۰۰۲
آلومینیم	۱۱۲/۵	۱۵۸/۵	۲۷۹/۵
پلاستیک‌ها	۱۸۰	۲۲۹	۲۵۵
پودر فلز	۱۵/۵	۲۴	۴۰/۵
چدن	۵۱۲	۴۵۴	۳۲۸
روی	۳۱	۱۸/۵	۸/۵
فولاد	۲۱۰۳	۱۶۸۲/۵	۱۷۵۷
فولاد زنگ نزن	۲۶	۳۴	۵۶/۵
مس	۳۷	۴۸/۵	۵۰
منیزیم	۱	۳	۹/۵
مواد دیگر	۵۵۱/۵	۴۸۸/۵	۵۷۳
جمع	۳۵۶۹/۵	۳۱۴۰/۵	۳۳۵۷/۵

به‌طور کلی استحکام آلیاژهای غیرآهنی کمتر از فولاد است. به علاوه ضریب کشسانی‌شان به میزان قابل توجهی کمتر است و هر جا که صلابت (سخت‌پایی) ماده موردنظر باشد، آلیاژهای آهنی ممتازند. سهولت ساخت این دسته از فلزات غالباً مورد توجه قرار می‌گیرد. قابلیت ریخته‌گری آلیاژهای با نقطهٔ ذوب پایین در انواع قالب‌های ماسه‌ای، دائمی و حدیده‌ای زیاد است. بسیاری از آلیاژها دارای ویژگی شکل‌پذیری زیاد و تنش تسلیم پایین، یعنی ترکیب ایده‌آل برای کارسرد هستند. غالب آلیاژهای غیرآهنی دارای قابلیت ماشین‌کاری مناسب نیز می‌باشند. در بسیاری از موارد صرفه‌جویی در تولید بر هزینهٔ مواد غیرآهنی غلبه کرده و استفاده از این مواد را به جای فولاد مقرون به صرفه‌تر می‌سازد. از دیدگاه تولید، جوش‌پذیری آلیاژهای غیرآهنی قدری کمتر از فولاد است. البته در اثر پیشرفت‌های اخیر امکان تولید جوش‌های قابل قبول در تمامی فلزات غیرآهنی به وجود آمده است.

دانش افزایی

آلومینیم و آلیاژهای آن

با آنکه آلومینیم تنها حدود ۱۲۰ سال به عنوان یک فلز تجارتی مورد استفاده قرار گرفته ولی پس از فولاد بیشترین مقدار تولید را دارد و بدون شک مهم‌ترین فلز غیرآهنی می‌باشد. اهمیت این فلز در کلیهٔ مسائل اقتصادی جهان مطرح است و در مصارفی چون حمل‌ونقل، سازه، مصارف برقی، ظروف، لوازم مصرفی و تجهیزات مکانیکی کاربرد فراوان پیدا کرده است. همگی با کاربردهایی مانند ظروف پخت و پز، قاب در و پنجره و قوطی‌های نوشیدنی آلومینیم آشنا هستیم. آلومینیم دارای چند ویژگی منحصر به فرد و قابل توجه در میان فلزات مهندسی است. کارپذیری، سبک وزنی، مقاومت در برابر خوردگی و هدایت حرارتی و الکتریکی انعکاس نور و تقریباً عدم محدودیت شکل قطعات نهایی جرم ویژهٔ آلومینیم ۲/۷ است (در مقایسه با عدد ۷/۸۵ برای فولاد) و بنابراین وزن آلومینیم حدود یک سوم وزن فولاد به ازای حجم یکسان آن است. مقایسه‌های قیمتی معمولاً بر مبنای قیمت هر کیلوگرم ماده است که در این صورت آلومینیم چهار تا پنج برابر گران‌تر از فولاد کربنی خواهد بود. اما در بعضی کاربردها مقایسهٔ قیمتی مناسب‌تری بر مبنای واحد حجم وجود دارد و از آنجا که هر کیلوگرم آلومینیم سه برابر هر کیلوگرم فولاد حجم دارد، تفاوت قیمت بسیار کمتر می‌شود.

آلومینیم را می‌توان بارها بدون کاهش کیفیت بازیافت نمود. بازیافت ۹۵ درصد انرژی لازم برای تولید آلومینیم از کانهٔ آن را صرفه‌جویی می‌کند. از دههٔ ۸۰ میلادی، بازیابی کلی آلومینیم بیش از ۵۰ درصد بوده است. قوطی‌های آلومینیمی بیش از

هر نوع دیگر قوطی در آمریکای شمالی بازیافت می‌شوند و بیش از ۸۵ درصد تمام آلومینیم مورد استفاده در خودرو در پایان چرخهٔ عمر مفیدش بازیابی می‌گردد.
احتمالاً مهم‌ترین نقطهٔ ضعف آلومینیم از دیدگاه مهندسی پایین بودن نسبی ضریب کشسانی آن است، که مقدارش تقریباً یک سوم ضریب کشسانی فولاد می‌باشد. در دو طرح مشابه با بارگذاری یکسان میزان خیز قطعهٔ آلومینیمی سه برابر قطعهٔ فولادی است. از آنجا که ضریب کشسانی با آلیاژکردن و عملیات حرارتی تغییر چندانی نمی‌کند، معمولاً لازم است که سفتی سازه در طراحی با عملیاتی مانند چین دادن یا برجسته کردن، تأمین شود. این عملیات به راحتی صورت می‌گیرند، زیرا آلومینیم برای انواع فرایندهای ساخت کاملاً آماده است.

آلومینیم خالص تجارتی

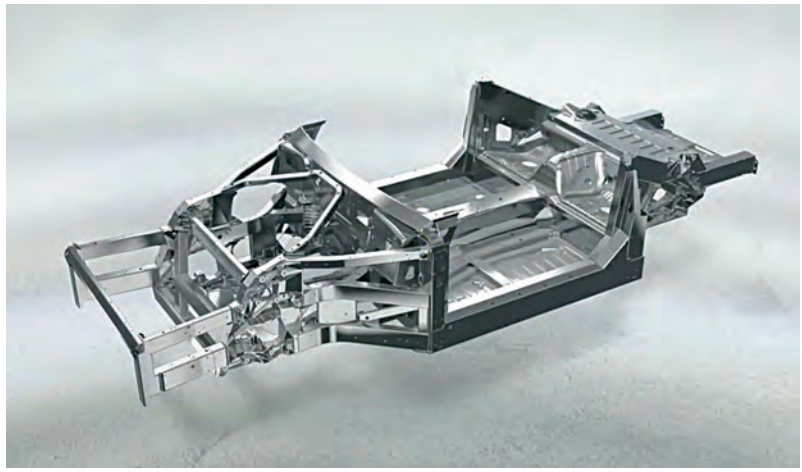
آلومینیم خالص شکل‌پذیر نرم است ولی استحکام آن نسبتاً کم می‌باشد. استحکام آلومینیم تابکاری شده حدود یک پنجم استحکام فولاد ساختمانی نورد گرم شده است. از این قرار آلومینیم خالص تجارتی در درجهٔ اول براساس خواص فیزیکی (نه خواص مکانیکی)اش مورد استفاده قرار می‌گیرد.
آلومینیم نوع‌هادی الکتریکی اهمیت فراوانی دارد و در بسیاری از موارد مانند خطوط انتقال جریان جانشین مس شده است. این مواد که غالباً با حروف EC نمایش داده می‌شوند، حاوی حداقل ۹۹/۴۵ درصد آلومینیم هستند. هدایت الکتریکی آنها به ازای اندازهٔ یکسان سیم حدود ۱۲ درصد هدایت الکتریکی مس، و به ازای وزن یکسان حدود ۲۰۰درصد هدایت الکتریکی مس است.

کاربردهای مکانیکی آلومینیم

آلومینیم غالباً در مصارف غیر الکتریکی به‌صورت آلیاژ استفاده می‌شود. استحکام این آلیاژها به مراتب بیشتر از آلومینیم است و در عین حال دارای مزایای سبک وزنی، هدایت الکتریکی و مقاومت در برابر خوردگی نیز هستند. با اینکه اغلب آنها ضعیف‌تر از فولادند، در مواردی خواص کششی برخی آلیاژها (به جز شکل‌پذیری) بهتر از فولادهای کم آلیاژ ساختمانی با استحکام بالا (HSLA) است. از آنجا که آلیاژها می‌توانند تا سی برابر محکم‌تر از آلومینیم خالص باشند، طراحان ابتدا طرح خود را بهینه کرده و سپس ماده‌ای با خواص مطلوب تهیه می‌کنند. برخی آلیاژهای مشخص برای ریخته‌گری طراحی شده‌اند و برخی دیگر برای محصولات کارشده مناسب‌اند.
بیشتر آلیاژهای آلومینیم از نظر نسبت استحکام به وزن از فولاد مناسب‌تر، اما از نظر سایش، خزش، و خستگی ضعیف‌تر از آن هستند. از آنجا که آلیاژهای آلومینیم غالباً حد تحمل پایینی دارند، معمولاً در اثر خستگی حتی در تنش‌های کم دچار شکست می‌شوند. به‌دلیل نقطهٔ ذوب پایین، آلیاژهای آلومینیم با بالا رفتن دما به سرعت

استحکام خود را از دست می‌دهند و نباید آنها را برای کاربردهایی در دماهای بالاتر از ۱۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۳۰۰ درجه فارنهایت) در نظر گرفت. البته در دماهای زیر صفر، آلومینیم عملاً محکم‌تر از دمای اتاق و بدون کاهش شکل‌پذیری است. هر دو نوع سایش چسبنده و ساینده می‌توانند برای آلیاژهای آلومینیم فوق‌العاده آسیب زننده باشند.

انتخاب فولاد یا آلومینیم برای مورد مصرف مشخص معمولاً به هزینه بستگی دارد. البته در بسیاری از موارد مزایایی چون سبک وزنی و یا مقاومت در برابر خوردگی هزینهٔ نگهداری کم و هدایت الکتریکی و حرارتی بالا مشکل هزینهٔ اضافی را جبران می‌کنند. با انگیزهٔ تولید خودروهای سبک‌تر با مصرف سوخت کمتر، کسر وزنی آلومینیم مورد هدف در کاربردهای حمل‌ونقل از ۱۹/۴ درصد در سال ۱۹۹۲ به ۳۱/۸درصد در سال ۲۰۰۲ رسیده است. استفاده از آلومینیم در خودرو دو برابر و در وسایل ورزشی سه برابر شده است. آلومینیم در قاب‌ها، موتور خودروها، چندراهه‌ها و چرخ‌ها به‌کار گرفته می‌شود. یک قاب سه بعدی آلومینیمی (شکل این صفحه و صفحهٔ بعد) برای فورد GT سال ۲۰۰۵ و کورت Z۰۶ سال ۲۰۰۶ می‌تواند وزن کلی سازه را کاهش، بازیابی را افزایش و تعداد قطعات لازم برای سازهٔ اولیهٔ بدنه را کاهش دهد. قاب فضایی تمام آلومینیمی کوروت Z۰۶ مدل ۲۰۰۶ به کاهش ۳۰ درصدی وزن نسبت به طراحی تمام فولادی مدل پیشین انجامید. در سال ۲۰۰۱، درصد آلومینیم نسبت به پلاستیک در خودرو پیشی گرفت و اکنون تنها پس از فولاد و چدن در ردهٔ دوم است. امروزه یک خودروی متوسط آمریکایی بیش از ۱۲۵ کیلوگرم (۲۸۰ پوند) آلومینیم دارد.



قاب آلومینیمی‌برای فورد GT سال ۲۰۰۵

قاب آلومینیمی کورت Z۰۶ سال ۲۰۰۶

مقاومت آلومینیم و آلیاژهای آن در برابر خوردگی

آلومینیم خالص بسیار فعال است و بلافاصله پس از قرار گرفتن در معرض هوا یک پوشش چسبنده و فشردهٔ اکسید روی آن تشکیل می‌شود. لایهٔ اکسید نسبت به بسیاری از محیط‌ها مقاوم است و مانند سدی مقاوم در برابر خوردگی از فلز زیر پوشش خود محافظت می‌کند. بنابراین مقاومت فلز در برابر خوردگی، همانند فولادهای زنگ نزن ویژگی اکسید سطحی است. در صورت افزودن عناصر آلیاژی به آلومینیم تشکیل اکسید به تعویق می‌افتد، لذا غالباً مقاومت آلیاژهای آلومینیم در برابر خوردگی کمتر از آلومینیم خالص است.

پوشش اکسیدی روی سطح آلیاژهای آلومینیم موجب بروز مشکلاتی در جوش‌کاری آن نیز می‌شود. برای آنکه جوش مقاوم و با استحکام باشد، پوشش اکسیدی باید پیش از جوش‌کاری پاک شود. آلومینیم در فرایندهای جوش ذوبی به سرعت اکسید می‌شود و به‌این دلیل استفاده از گداز آورهای ویژه یا گازهای بی اثر محافظ ضروری است. با اینکه جوش‌کاری آلومینیم دشوارتر از جوش‌کاری فولاد است، فناوری‌های جدید ابداع شده امکان ایجاد جوش‌هایی با کیفیت بالا و مقرون به صرفه را ایجاد کرده‌اند.

سیستم طبقه‌بندی

آلومینیم براساس روش ساخت به دو گروه اصلی آلیاژهای ریختنی و غیرریختنی تقسیم می‌شوند. آلیاژهای کار شده که با تغییر شکل موم‌سان شکل داده می‌شوند و به صورتی طراحی شده‌اند که ویژگی‌های جالبی از جمله استحکام، شکل‌پذیری بالا، مقاومت خوب در برابر شکست و سخت‌شدن کرنشی خوب دارند. از طرف دیگر،

ویژگی‌های جالب آلیاژهای ریختنی شامل نقطهٔ ذوب پایین، روانی بالا و ساختار خواص مناسب است. آشکار است که این ویژگی‌ها کاملاً متفاوت هستند و آلیاژهایی که برای این خاصیت‌ها طراحی شده‌اند هم متفاوت‌اند. در نتیجه، سیستم‌های طبقه‌بندی جداگانه‌ای برای آلیاژهای ریختنی و کارشدهٔ آلومینیم وجود دارد.

آلیاژهای کارشدهٔ آلومینیم

آلیاژهای کارشدهٔ آلومینیم عموماً با استفاده از سیستم استاندارد چهار رقمی آلومینیم مشخص می‌شوند. نخستین رقم نمایانگر عنصر یا عناصر اصلی آلیاژی به شرح جدول ۲۹ است.

جدول ۲۹ ــ سیستم استاندارد چهار رقمی نام‌گذاری آلیاژهای کار شده آلومینیم

عنصر آلیاژی اصلی	
آلومینیم، ۹۹/۰۰٪ و بالاتر	۱xxx
مس	۲xxx
منگنز	۳xxx
سیلیسیم	۴xxx
منیزیم	۵xxx
منیزیم و سیلیسیم	۶xxx
روی	۷xxx
عنصر دیگر	۸xxx

رقم دوم معمولاً صفر است. ارقام غیر صفر بعضی تغییرات آلیاژ پایه را نشان می‌دهند. دو رقم آخر صرفاً نمایانگر هر آلیاژ خاص در هر خانواده است. مثلاً ۲۰۲۴ به معنی آلیاژ شمارهٔ ۲۴ در گروه ۲XXX است. که گروه آلیاژهای مس ـ آلومینیم می‌باشد.
برای سری ۱XXX سه رقم آخر درجهٔ خلوص آلومینیم را نشان می‌دهند.
چهار رقم اول نشانهٔ یک آلیاژ آلومینیم کار شده ترکیب شیمیایی آلیاژ را مشخص می‌کنند. اطلاعات اضافی در مورد وضع آلیاژ با استفاده از سیستم زیر توسط شاخص بازپخت (پسوند حرفی ـ رقمی) معلوم می‌شود:
F: بدون انجام عملیات بعدی

H: سخت‌کردن کرنشی
H_1: سخت‌کردن کرنشی با انجام کار تا رسیدن به ابعاد مطلوب؛ رقم دوم (۱ تا ۹) درجهٔ سختی را مشخص می‌کند. ۸ به معنای کاملاً سخت تجارتی و ۹ به معنای فوق سخت است.
H_2: سخت‌کردن کرنشی با کار سرد و به دنبال آن تابکاری جزیی،
H: سخت‌کردن کرنشی و پایدار کردن
O: تابکاری
T: انجام عملیات حرارتی
T_1: سرد کردن از حالت کار گرم و پیر کردن طبیعی
T_2: سرد کردن از حالت کار گرم، کار سرد، پیر کردن طبیعی
T_3: عملیات حرارتی همراه با حل کردن، کار سرد و پیرکردن طبیعی
T_4: سرد کردن از حالت کار گرم و پیر کردن مصنوعی
T_6: عملیات حرارتی همراه با حل‌کردن و پایدار کردن
T_8: عملیات حرارتی همراه با حل‌کردن کار سرد و پیر کردن مصنوعی
T_9: عملیات حرارتی همراه با حل‌کردن، پیر کردن مصنوعی و کار سرد
T_{10}: سرد کردن از حالت کار گرم، کار سرد، و پیر کردن مصنوعی
W: تنها عملیات حرارتی حل کردن

آلیاژهای کار شده غالباً به دو دستهٔ اصلی تقسیم می‌شوند. آنهایی که استحکام را از طریق محلول جامد و کارسرد به دست می‌آورند و آنهایی که با عملیات حرارتی(پیرسازی) استحکام بخشی می‌شوند. جدول ۳۰ برخی از آلیاژهای کارشدهٔ متداول در هر خانواده را فهرست می‌کند. همان‌گونه که در جدول ۳۰ ملاحظه می‌شود آلیاژهای سخت شونده در اثر کار (نه با سخت‌کردن زمانی) در سری‌های ۱xxx (آلومینیم خام)، ۲xxx (آلومینیم ـ منگنز) و ۵xxx (آلومینیم ـ منیزیم) جای دارند. مقایسهٔ شرایط تابکاری و (پسوند O) و کار سرد شده (پسوند H) مقدار استحکام بخشی قابل حصول از طریق سخت‌شدن کرنشی را می‌رساند.

آلیاژهای سخت شوندهٔ رسوبی بیشتر در دسته‌های ۲xxx، ۶xxx و ۷xxxیافت می‌شوند. با مقایسهٔ خواص در حالت عملیات حرارتی شده و آلیاژهای سخت‌شدهٔ کرنشی، مشاهده می‌شود که عملیات حرارتی به نحو بارزی استحکام بالاتری را به دست می‌دهد. آلیاژ ۲۰۱۷ یا دورالومین اصلی، احتمالاً قدیمی‌ترین آلیاژ آلومینیم پیر سخت شونده است. ویژگی جالب آلیاژهای سری ۲xxx در این است که شکل‌پذیری‌شان در حین عملیات حرارتی استحکام بخشی چندان کاهش نمی‌یابد استحکام برخی آلیاژهای سری ۷xxx مساوی یا بیشتر از فولادهای ساختمانی با استحکام بالاست. در عین حال شکل‌پذیری آنها کمتر از فولاد و تولیدشان نیز دشوارتر از آلیاژهای ۲xxx است. آلیاژهای ۷xxx مصارف فراوانی در هواپیماسازی

نیز پیدا کرده‌اند. آلیاژهای پیرسخت شونده نباید در شرایط سخت‌شدن زمانی خود در دماهای بالاتر از ۱۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد (۳۵۰درجه فارنهایت) به‌کار روند.
مقاومت آلیاژهای سخت‌شونده در اثر عملیات حرارتی در برابر خوردگی به دلیل وجود ساختار دو فازی کمتر از آلومینیم خالص یا آلیاژهای کارسخت شوندهٔ تک فازی است. بنابراین در مواردی که استحکام و مقاومت در برابر خوردگی در درجهٔ اول اهمیت هستند، آلومینیم کار شده به‌صورت ورق پوشش شده با آلومینیم خالص تولید می‌شود. برای این منظور قشر نازکی از آلومینیم مقاوم در برابر خوردگی (در حین نورد) به یک یا هر دو سطح آلیاژ با استحکام چسبانده می‌شود و سپس مادهٔ حاصله به‌صورت مرکب مورد عملیات بعدی قرار می‌گیرد.
انجام فرایندهایی چون حدیده‌کاری و آهنگری بر روی آلیاژهای آلومینیم نسبتاً آسان است و امروزه قطعات زیادی از آلومینیم به روش‌های فوق ساخته می‌شوند، زیرا برای کاهش استحکام این مواد دمای متعادل و متوسطی مورد نیاز است. عملیاتی چون کشیدن عمیق و سایر فرایندهای شکل دادن ورق به راحتی انجام‌پذیر هستند. به‌طور کلی شکل‌پذیری زیاد و استحکام تسلیم پایین امکان استفادهٔ مناسب از این آلیاژها را در کلیهٔ فرایندهای شکل دادن به وجود می‌آورند. با انجام عملیات نسبتاً ساده می‌توان خورنده‌ای مناسب و شکل‌های پیچیده‌ای از این قطعات را تولید کرد.
قابلیت ماشین‌کاری آلیاژهای مختلف آلومینیم بسیار متفاوت است و اگر ماشین‌کاری زیاد مورد نیاز باشد ابزارها و روش‌های مخصوص ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. آلیاژهای خوش تراش مانند ۲۰۱۱ برای تولید با ماشین‌های پیچ تراش ساخته شده‌اند. این آلیاژها در سرعت‌های بسیار زیاد قابل ماشین‌کاری‌اند و در بسیاری از موارد جانشین همتای برنجی خود شده‌اند.
آندیزه‌کردن رنگی وسیله‌ای ارزان و جالب توجه در پرداخت سطح فراهم می‌آورد. یک لایهٔ ضخیم اکسید آلومینیم بر روی سطح تشکیل و سپس رنگ دانه‌ها بر روی سطح متخلخل قرار گرفته و با غوطه‌وری در آب داغ درزبندی می‌شوند. نتیجه پرداخت فلزی رنگین است که معمولاً بر روی محصولاتی مانند بدنهٔ دوچرخه‌ها و چوب سافت بال دیده می‌شود.

جدول ۳۰ـ برخی از آلیاژهای کارشدهٔ متداول در هر خانواده از آلیاژهای آلومینیم

آلیاژ(a)	ترکیب شیمیایی(درصد) آلومینیم ـ باقی‌مانده					شکل نمونهٔ آزمایش(b)	استحکام کششی		استحکام تسلیم (C)		ازدیاد طول نمونهٔ ۲ اینچی(٪)	سختی برینل	کاربردها و ویژگی‌ها
	Cu	Si	Mn	Mg	دیگر		ksi	MPa	ksi	MPa			
						آلیاژهای سخت‌شوندهٔ رسوبی بدون قابلیت عملیات حرارتی							
۱۱۰۰ـO	۰/۱۲				۹۹AL	الف	۱۳	۹۰	۵	۳۴	۳۵	۲۳	آلومینیم تجارتی، مناسب برای شکل‌دادن
۱۱۰۰ـH۱۴						الف	۱۶	۱۱۰	۱۴	۹۷	۹	۳۲	مقاومت در مقابل خوردگی، مقاومت تسلیم کم
۱۱۰ـH۱۸						الف	۲۴	۱۶۵	۲۱	۱۴۵	۵	۴۴	لوله و ورق، وسایل آشپزخانه
۳۰۰۳ـO	۰/۱۲					الف	۱۶	۱۱۰	۶	۴۱	۳۰	۲۸	مثل ۱۱۰۰
۳۰۰۳ـH۱۴						الف	۲۲	۱۵۲	۲۱	۱۴۵	۸	۴۰	کمی محکم تر و با شکل‌پذیری کمتر
۳۰۰۳ـH۱۸						الف	۲۹	۲۰۰	۲۷	۱۸۶	۴	۵۵	وسایل آشپزخانه، ورق
۵۰۵۲ـO			۲/۵	۰/۲۵Cr		الف	۲۸	۱۹۳	۱۳	۹۰	۲۵	۴۵	محکم‌ترین آلیاژ قابل سخت‌شدن کرنشی
۵۰۵۲ـH۳۲						الف	۳۳	۲۲۸	۲۸	۱۹۳	۱۲	۶۰	مقاومت تسلیم و حد تحمل زیاد
۵۰۵۲ـH۳۶						الف	۴۰	۲۷۶	۳۵	۲۴۱	۸	۷۳	فراورده‌های ورق
						آلیاژهای سخت‌شوندهٔ رسوبی با قابلیت عملیات حرارتی							
۲۰۱۷ـO	۴/۰	۰/۵	۰/۷	۰/۶		الف	۲۶	۱۷۹	۱۰	۶۹	۲۰	۴۵	دور آلومین، آلیاژ محکم
۲۰۱۷ـT۴						الف	۶۲	۴۲۸	۴۰	۲۷۶	۲۰	۱۰۵	قابل سخت‌شدن به وسیلهٔ تبرید و کهنه‌کردن
۲۰۲۴ـO	۴/۴		۰/۶	۱/۵		الف	۲۷	۱۸۶	۱۱	۷۶	۲۰	۴۲	محکم‌تر از آلیاژ ۲۰۱۷
۲۰۲۴ـT۴						الف	۶۴	۴۴۱	۴۵	۲۹۰	۱۹	۱۲۰	مورد مصرف در ساخت هواپیما
۲۰۱۴ـO	۴/۴	۰/۸	۰/۸	۰/۵		ب	۲۷	۱۸۶	۱۴	۹۷	۱۲	۴۵	آلیاژ محکم برای حدیده‌کاری
۲۰۱۴ـT۶						ب	۶۵	۴۴۸	۵۵	۳۷۹	۱۰	۱۲۵	آلیاژ محکم برای آهنگری
۲۰۱۴ـT۶						الف	۷۰	۴۸۳	۶۰	۴۱۳	۸		نقطهٔ تسلیم بالاتر از آلیاژ ۲۰۲۴ پوشش شده

جدول ۳۰ ـ برخی از آلیاژهای کارشدهٔ متداول در هر خانواده از آلیاژهای آلومینیم

آلیاژ(a)	ترکیب شیمیایی(درصد) آلومینیم ـ باقی‌مانده					شکل نمونهٔ آزمایش(b)	استحکام کششی		استحکام تسلیم (C)		ازدیاد طول نمونهٔ ۲	سختی	کاربردها و ویژگی‌ها
	Cu	Si	Mn	Mg	دیگر		ksi	MPa	ksi	MPa	اینچی(٪)	برینل	
Alclad													
۲۰۱۴_T۶	۴/۵	۱/۰	۰/۸	۰/۴		الف	۶۳	۴۳۴	۵۶	۳۸۶	۷		دارای پوشش مناسب برای عملیات حرارتی (d)
۷۰۷۵_O	۱/۶		۰/۲	۲/۵	۰/۳Cr	الف	۳۳	۲۲۸	۱۵	۱۰۳	۱۷	۶۰	محکم‌ترین آلیاژ
۷۰۷۵_T۶					۵/۶Zn	الف	۷۶	۵۲۴	۶۷	۴۶۲	۱۱	۱۵۰	شکل‌پذیری کمتر از آلیاژ ۲۰۲۴
Alclad													
۷۰۷۵_T۶						الف	۷۶	۵۲۴	۶۷	۴۶۲	۱۱		محکم‌ترین آلیاژ پوشش شده
۷۰۷۵_T۶						ب	۸۰	۵۵۲	۷۰	۴۸۳	۶		محکم‌ترین آلیاژ برای حدیده‌کاری
۶۰۶۱_T۶	۰/۲۸	۰/۶		۱/۰	۰/۲Cr	ب	۴۲	۲۹۰	۴۰	۲۷۶	۱۲	۹۵	غیرقابل سخت‌شدن زمانی در حرارت اتاق
۶۰۶۳_T۶		۰/۴		۰/۷		ت	۳۵	۲۴۱	۳۱	۲۱۴	۱۲	۸۰	مناسب برای شکل‌دادن؛ مقاوم در مقابل خوردگی
۶۱۵۱_T۶		۰/۹		۰/۶	۰/۲۵Cr	پ	۴۸	۳۳۱	۴۳	۲۹۷	۱۷	۹۰	مناسب برای آهنگری‌های خیلی ظریف
۲۰۲۵_T۶	۴/۵	۰/۸	۰/۸			پ	۵۵	۳۷۹	۴۰	۲۷۶	۱۰	۱۰۰	مناسب برای آهنگری؛ ارزان
۲۰۱۸_T۶	۴			۰/۷	۲Ni	پ	۵۵	۳۷۹	۴۰	۲۷۶	۱۰	۱۰۰	استحکام در حرارت‌های زیاد؛ پیستون آهن‌گری شده
۴۰۳۲_T۶	۰/۹	۱۲/۲		۱/۱	۰/۹Ni	پ	۵۵	۳۷۹	۴۶	۳۱۷	۹	۱۱۵	پیستون آهنگری شدهٔ هواپیما
۲۰۱۱_T۳	۵/۵			۰/۵B	۰/۵Pb	ت	۵۵	۳۷۹	۴۳	۲۹۷	۱۵	۹۵	خوش تراش، فراورده‌های ماشین‌های پیچ تراشی

(A) O: تابکاری شده، T: تبرید و پیرشده، H: نورد سرد تا بازپخت شدید.

(b) الف) ورقهٔ $\frac{1}{16}$ اینچی، ب) شکل‌های حدیده‌کاری شدهٔ $\frac{1}{2}$ اینچی، پ: آهنگری، ت) میلهٔ $\frac{1}{2}$ اینچی حدیده کاری شده.

(c) استحکام تسلیم ۰/۲ درصد کرنش.

(d) آلیاژ روکش: ۰/۵ Mn و ۰/۱ Si، iMg

آلیاژهای ریختنی آلومینیم

با اینکه آلومینیم خالص به دلیل پایین بودن نقطهٔ ذوب برای انجام عملیات ریخته‌گری مناسب به‌نظر می‌رسد، اما به ندرت ریخته‌گری می‌شود. انقباض زیاد (حدود ۷ درصد) و در نتیجه حساسیت نسبت به ترک برداشتن ترک‌گرم موجب بروز مشکلات قابل توجه و افزایش قراضه می‌شود. در عین حال با افزودن مقدار کمی از عناصر آلیاژی می‌توان مشخصات ریخته‌گری را اصلاح کرد و استحکام را نیز افزایش داد. آلیاژهای آلومینیم به مقدار قابل توجهی به روش‌های مختلف ریخته می‌شوند. بسیاری از آلیاژهای رایج دارای مقدار کافی سیلیسیم برای تولید واکنش اوتکتیک هستند که ماده‌ای با نقطهٔ ذوب پایین و استحکام ریختگی بالاست. سیلیسیم سیالیت فلز را افزایش می‌دهد، و در نتیجه ریخته‌گری شکل‌های پیچیده و مقاطع نازک را آسان‌تر می‌سازد. لیکن سیلیسیم زیاد موجب تولید مادهٔ ساینده‌ای می‌شود که ماشین‌کاری آن دشوار است. مس، روی و منیزیم دیگر افزوده‌های رایج آلیاژی هستند که باعث تشکیل رسوب‌های کهنگی (پیر سختی) هم می‌شوند.

در جدول ۳۱ چند آلیاژ آلومینیم ریختنی تجارتی به همراه سیستم علامت‌گذاری انجمن آلومینیم ارائه شده است. نخستین رقم بیانگر گروه آلیاژی به صورت جدول زیر است.

فقط اعداد به صورت ۳xxx ارقام دوم و سوم مشخص‌کنندهٔ یک آلیاژ به خصوص و یا درجهٔ خلوص آلومینیم و رقم آخر که به وسیلهٔ ممیز از ارقام دیگر جدا می‌شود، بیانگر شکل محصول (مثلاً ریختگی یا شمش) است. مشخصهٔ اصلاح آلیاژ اولیه به‌صورت حرف و قبل از ارقام دیگر نوشته می‌شود.

جدول ۳۱ـ آلیاژهای مهم ریختنی آلومینیم و سیستم علامت‌گذاری آنها

عنصر آلیاژی اصلی	
آلومینیم، ۹۹/۰۰٪ و بالاتر	1XX.X
مس	2XX.X
منگنز	3XX.X
سیلیسیم	4XX.X
منیزیم	5XX.X
منیزیم و سیلیسیم	6XX.X
روی	7XX.X
عنصر دیگر	8XX.X

و آلومینیم آلیاژهای ریختنی آلومینیم از هر دو دیدگاه خواص و تولید طراحی می‌شوند. در مواردی که استحکام بالا مورد نیاز نیست، خواص پس از ریخته‌گری کافی خواهد بود. آلیاژهایی ریختگی با استحکام زیاد نیازمند عملیات حرارتی بعدی هستند. قطعات ریخته شده در ماسه کمترین محدودیت فرایند را دارند. آلیاژهای آلومینیم ریختنی در قالب دائمی برای داشتن ثابت‌های کمتر انبساط حرارتی یا انقباض طراحی می‌شوند، زیرا قالب از تغییرات ابعادی حین سرد شدن جلوگیری می‌کند.

بسیاری از آلیاژهای ریخته‌گری حدیده‌ای برای استحکام ریختگی بدون عملیات حرارتی و با استفاده از شرایط تبرید سریع ریخته‌گری حدیده‌ای طراحی می‌شوند که باعث ایجاد ساختار ریز دانهٔ اوتکتیک ظریف می‌شود. آلیاژهای تولید شده در قالب‌های دائمی و ریخته‌گری حدیده‌ای دارای استحکام کششی بیش از ۲۷۵مگاپاسکال (۴۰هزار پوند بر اینچ مربع) هستند. در جدول ۳۲ ترکیب و خواص برخی از آلیاژهای ریختنی آلومینیم را مشاهده می‌کنید.

جدول ۳۲ـ ترکیب و خواص برخی از آلیاژهای ریختنی آلومینیم

شناسه آلیاژ	فرایند	درصد عناصر عمده (بیش از ۱ درصد)						بازپخت	استحکام کششی		ازدیاد طول نمونهٔ ۲ اینچی (٪)	کاربردها و ویژگی‌ها
		Cu	Si	Mg	Zn	Fe	دیگر		ksi	MPa		
(a)	(b)											
۲۰۸	S	۴/۰	۳/۰		۱/۰	۱/۲		F	۱۹	۱۳۱	۱/۵	کاربردهای عمومی ریخته‌گری در قالب ماسه‌ای، قابل عملیات حرارتی
۲۴۲	S,P	۴/۰		۱/۶		۱/۰	۲/۰Mo	T۶۱	۴۰	۲۷۶	–	مقاوم در دمای بالا
۲۹۵	S	۴/۵	۱/۰			۱/۰		T۶	۳۲	۲۲۱	۳/۰	ریخته گری ساده، قابل عملیات حرارتی
۲۹۶	P	۴/۵	۲/۵			۱/۲		T۶	۳۵	۲۴۱	۲/۰	مانند ۲۹۵ اما با قالب دائمی
۳۰۸	P	۴/۵	۵/۵		۱/۰	۱/۰		F	۲۴	۱۶۶	–	کاربردهای عمومی قالب دائمی
۳۱۹	S,P	۳/۵	۶/۰		۱/۰	۱/۰		T۶	۳۱	۲۱۴	۱/۵	مشخصات ریخته‌گری بهتر
۳۵۴	P	۱/۸	۹/۰					–	–	–	–	محکم، هواپیماسازی
۳۵۵	S,P	۱/۳	۵/۰					T۶	۳۲	۲۲۱	۲/۰	محکم و قابلیت آب‌بندی
C۳۳۵	S,P	۱/۳	۵/۰					T۶۱	۴۰	۲۷۶	۳/۰	محکم‌تر و شکل‌پذیرتر از ۳۳۵
۳۵۶	S,P		۷/۰					T۶	۳۰	۲۰۷	۳/۰	قابلیت ریخته‌گری بسیار خوب و استحکام در برابر ضربه
A۳۵۶	S,P		۷/۰					T۶۱	۳۷	۲۵۵	۵/۰	محکم‌تر و بسیار شکل‌پذیرتر از ۳۵۶
۳۵۷	S,P		۷/۰					T۶	۴۵	۳۱۰	۳/۰	نسبت استحکام ـ وزن زیاد
۳۵۹	S,P		۹/۰					–	–	–	–	محکم، هواپیماسازی
۳۶۰	D		۹/۵			۲/۰		F	۴۴[d]	۳۰۳	۲/۵[d]	مقاومت در برابر خوردگی و استحکام خوب
۳۶۰	D		۹/۵			۲/۰		F	۴۶[d]	۳۱۷	۳/۵[d]	مشابه ۳۶۰
A۳۸۰	D	۳/۵	۸/۵		۳/۰	۲/۰		F	۴۶[d]	۳۱۷[d]	۲/۵	استحکام و سختی بالا

ادامه جدول ۳۲

شناسه آلیاژ	فرایند	درصد عناصر عمده (بیش از ۱ درصد)						بازپخت	استحکام کششی		ازدیاد طول نمونهٔ ۲اینچی	کاربردها و ویژگی‌ها
		Cu	Si	Mg	Zn	Fe	دیگر		ksi	MPa		
(a)	(b)											
A۳۸۰	D	۳/۵	۸/۵		۳/۰	۱/۳		F	۴۷[d]	۳۲۴	۳/۵[d]	مشابه ۳۸۰
۳۸۳	D	۱/۵	۱۰/۵		۳/۰	۱/۳		F	۴۵[d]	۳۱۰	۳/۵[d]	استحکام و سختی بالا
۳۸۴	D	۳/۷۵	۱۱/۳		۱/۰	۱/۳		F	۴۸[d]	۳۳۱	۲/۵	استحکام و سختی بالا
۴۱۳	D	۱/۰	۱۲/۰			۲/۰		F	۴۳[d]	۲۹۰	۲/۵[d]	کاربردهای عمومی، قابلیت ریخته‌گری خوب
A۴۱۳	D	۱/۰	۱۲/۰	F	۱/۳		۴۲[d]	۲۹۰	۳/۵[d]			مشابه ۴۱۳
۴۴۳	D	۵/۲۵			۲/۰	F	۳۳[d]	۲۲۸	۹/۰[d]			کاربردهای عمومی، قابلیت ریخته‌گری خوب
B۴۴۳	S,P	۵/۲۵			۲/۰	F	۱۷	۱۱۷	۳/۰			آلیاژهای ریختگی برای کاربردهای عمومی
۵۱۴	S			۴۰/				F	۲۲	۱۵۲	۶/۰	مقاومت در برابر خوردگی بسیار بالا
۵۱۸	D		۸۰۰	۱/۸	F	۴۵[d]	۳۱۰	۵/۰[d]				مقاومت در برابر خوردگی، استحکام و چقرمگی مناسب
۵۲۰	S			۱۰/۰				T۴	۴۲	۲۹۰	۱۲/۰	استحکام زیاد و شکل‌پذیری مناسب
۵۳۵	S			۶/۹		F	۳۵	۲۴۱	۹/۰			مقاومت در برابر خوردگی و قابلیت ماشین‌کاری مناسب
۷۱۲	S			۵/۸		F	۳۴	۲۳۴	۴/۰			خواص مناسب بدون عملیات حرارتی
۷۱۳	S,P			۷/۵	۱/۱	F	۳۲	۲۲۱	۳/۰			مشابه ۷۱۲
۷۷۱	S			۷/۰		T۶	۴۲	۲۹۰	۵/۰			قطعات هواپیما و رایانه
۸۵۰	S,P	۱/۰				T۵	۶/۳Sn ۱/۰Ni	T۵	۱۶	۱۱۰	۵/۰	آلیاژ یاتاقان

(a) انجمن آلومینیم (b) S= ریخته‌گری در ماسه؛ P= قالب دائمی و D= ریخته‌گری حدیده‌ای. (c) حداقل مقدار مگر آنکه اشاره شده باشد. (d) مقادیر معمول

آلیاژهای آلومینیم ـ لیتیم

لیتیم سبک‌ترین فلز است و در جست‌وجو برای یافتن آلیاژهای آلومینیم با خواص استحکامی بالاتر، سخت پایی (سفتی) بیشتر و وزن کمتر، آلیاژهای آلومینیم ـ لیتیم به‌عنوان مادهٔ مطلوب برای کاربردهای مهندسی هوا ـ فضا ظهور کرده‌اند. افزودن هر یک درصد لیتیم (تا مرز ۴ درصد) موجب کاهش وزن به میزان ۳ درصد و افزایش سخت پایی به میزان ۶ درصد می‌شود. تاکنون آلیاژهایی با ۸ تا ۱۰ درصد چگالی کمتر، ۱۵ تا ۲۰ درصد سخت پایی بیشتر و استحکامی برابر با استحکام آلیاژهای موجود و مقاومت مناسب در برابر پیش‌رفت ترک خستگی ساخته شده‌اند. اما چقرمگی شکست، شکل‌پذیری و مقاومت در برابر تنش خوردگی آنها معمولاً ضعیف‌تر از آلیاژهای مرسوم است.

در سال‌های اخیر، آلیاژهای آلومینیم مرسوم ۸۰ درصد وزن هواپیماهای تجاری را تشکیل می‌دهند. حتی درصد کمی کاهش وزن می‌تواند قابل توجه باشد. بهبود استحکام و سخت پایی می‌تواند کاهش وزن را تسهیل نماید. کاهش مصرف سوخت بر عمر هواپیما می‌تواند هرگونه هزینهٔ اضافی را جبران کند.

کف آلومینیم (اسفنج آلومینیمی)

ماده‌ای را که با نام «کف پایداری شدهٔ آلومینیم» شناخته می‌شود می‌توان از طریق اختلاط ذرات سرامیکی با آلومینیم مذاب و دمش گاز در این مخلوط تولید کرد. حباب‌ها در حین انجماد باقی می‌مانند و ساختاری حاصل می‌گردد که شبیه استیروفوم فلزیست. پس از تولید اولیهٔ این ماده در سال ۲۰۰۰ برای کاربردهای خودرو، هوافضا و نظامی، اکنون کاربردهای دیگری در معماری و طراحی پیدا کرده است. نسبت استحکام به وزن آن قابل ملاحظه است و جذب انرژی عالی از خود نشان می‌دهد. پیل‌های سوختی خودروهای مسابقه با کف آلومینیم پوشانده شده و کف پرکننده بین جلو و اتاقک راننده قرار می‌گیرد. سازه‌های لوله‌ای را می‌توان با کف پر نمود تا استحکام و جذب انرژی افزایش یابد و مقاومت به شکست فراهم گردد. کاربردهای دیگری نیز بر عایق حرارتی بودن عالی، جذب ارتعاش و صدا که از تعداد زیاد بسته‌های هوای گیر افتاده ناشی می‌شود تکیه دارند.

جلسه دوازدهم موضوع: معرفی مس و آلیاژهای آن

هدف: نام‌گذاری آلیاژهای مس و کاربردهای آنها

دانش افزایی

مس و آلیاژهای آن

خواص و مشخصات کلی: مس یکی از مهم‌ترین فلزات مهندسی‌است و بیش از ۱۰۰۰ سال است که مورد استفادهٔ بشر قرار گرفته است. مس به‌عنوان ستون فقرات صنعت برق محسوب می‌شود. به‌علاوه، عنصر اصلی در چند آلیاژ فوق‌العاده مهم مهندسی مانند برنج‌ها و برنزها نیز به‌شمار می‌آید. در مقایسه با سایر مواد مهندسی، مس و آلیاژهای آن سه ویژگی مهم زیر را دارا هستند. (۱) هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، (۲) استحکام مفید با شکل‌پذیری زیاد، و (۳) مقاومت در برابر خوردگی در مقابل اکثر محیط‌ها. مسلماً هدایت عالی دلیل کاربرد آن در صنایع برقی است و در حدود $\frac{۱}{۳}$ مس تولید شده به مصارف الکتریکی می‌رسد، مانند جابه‌جاگر (کموتاتور)هایی که در شکل ۲ نشان داده شده است. دیگر حوزه‌های وسیع کاربرد عبارت‌اند از لوله‌کشی، گرمایش و تهویهٔ مطبوع.

مس خالص در حالت تابکاری شده دارای استحکام کششی حدود ۲۰۰ مگاپاسکال (۳۰ هزار پوند بر اینچ مربع) و افزایش طول تقریبی ۹۰ درصد است. در عین حال در اثر انجام کار سرد استحکام کششی فلز تا ۴۵۰ مگاپاسکال (۹۵ هزار پوند بر اینچ‌مربع) افزایش یافته، و افزایش طول آن تا حد ۵ درصد کاهش می‌یابد. مس به دلیل پایین بودن نسبی استحکام و بالا بودن شکل‌پذیری‌اش، مناسب‌ترین فلز برای شکل دادن است. به‌علاوه، اثرات سخت شوندگی در اثر کار سرد به‌راحتی قابل حذف است، زیرا دمای تبلور مجدد مس کمتر از ۵۰۰ درجه فارنهایت (۲۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد) است. گسترهٔ عملیات ساخت، شامل ریخته‌گری، ماشین‌کاری و جوشکاری روی مس و آلیاژهای مس به‌راحتی انجام می‌شود.

متأسفانه مس سنگین‌تر از آهن است. علی‌رغم استحکام بالا، نسبت استحکام به وزن برای آلیاژهای مس معمولاً کمتر از آلیاژهای ضعیف‌تر آلومینیم و منیزیم است. به‌علاوه، مشکلات چندی به هنگام استفاده از مس در دماهای بالا به‌وجود می‌آید. آلیاژهای مس با گرم کردن در دمای ورای ۲۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۴۰۰ درجه فارنهایت) نرم می‌شوند و اگر مس برای مدت طولانی در دمای بالا در حالت تنش قرار گیرد، شکست درون بلوری در تنشی در حدود نصف میزان استحکامش در دمای اتاق رخ می‌دهد. با وجود اینکه مس و آلیاژهای آن مقاومت خوبی نسبت به سایش چسبندگی دارند اما از لحاظ ویژگی‌های سایشی در اثر ذرات ساینده ضعیف هستند.

مس و آلیاژهای مس مصارف الکتریکی فراوانی دارند مانند کاربرد آنها در کموتاتورهای الکتریکی

البته خواص مس در دمای پایین کاملاً قابل توجه است. استحکام با کاهش دما افزایش می‌یابد و ماده ترد نمی‌شود و در نتیجه حتی در شرایط دمای خیلی پایین (دمای نیتروژن مایع) نیز نرمی قابل توجهی را حفظ می‌کند. هدایت نیز با پایین آمدن دما بالا می‌رود. مس و آلیاژهای مس به خوبی تحت تأثیر روش‌های استحکام بخشی قرار می‌گیرند به‌طوری که قوی‌ترین آلیاژهای آن ۱۵ تا ۲۰ برابر از ضعیف‌ترین آنها مستحکم‌ترند. به دلیل بازهٔ وسیع خواص می‌توان اغلب آن را در نیازهای طراحی جفت‌وجور کرد. سخت‌پایی کش‌سان آن بین ۵۰ تا ۶۰ درصد فولاد است. ویژگی‌های دیگر آن عبارت‌اند از: غیر مغناطیسی بودن، غیر آتش‌گیر بودن و عدم تعفن زیستی (جلوگیری از رشد، ارگانیسم‌های دریایی)، همچنین بازهٔ وسیع رنگ از جمله زرد، قرمز، قهوه‌ای و نقره‌ای.

مس خالص تجارتی

اگر مس تصفیه شده حاوی ۰/۰۲ تا ۰/۰۵ درصد اکسیژن (ناخالصی اصلی در مس) باشد مس چقرمهٔ الکترولیتی نام دارد غالباً این فلز به‌عنوان مبنای آلیاژهای مس و یا در مصارف برقی مانند سیم و کابل، در مواردی که بالاترین هدایت الکتریکی مورد نیاز نیست، به‌کار می‌رود. با تصفیهٔ بیشتر مس از طریق کاهش مقدار اکسیژن، مس بدون اکسیژن با هدایت الکتریکی بالا (OFFIC) تولید می‌شود. مس‌های هادی ترازهای بهتر امروزی قابلیت هدایت ۱۰۲ درصد استاندارد IACS را دارند که بیانگر پیشرفت‌های متالورژیکی حاصل از سال ۱۹۱۳ است که استاندارد مس تابکاری شدهٔ بین‌المللی (IACS) تدوین شده و هدایت مس خالص صد در صد IACS تعیین شد.

آلیاژهای پایهٔ مس

مس به‌عنوان یک فلز خالص، به جز در مصارف الکتریکی کاربرد گسترده‌ای در محصولات فراوری شده ندارد و حتی در اینجا نیز افزوده‌های آلیاژی مانند نقره آرسنیک، کادمیم و زیرکنیم برای افزایش خواص مختلف بدون لطمهٔ قابل توجه به هدایت آن به‌کار می‌روند. مس در بیشتر موارد فلز پایه برای بعضی از آلیاژهاست، که به آنها شکل‌پذیری، مقاومت در برابر خوردگی و هدایت گرمایی و الکتریکی می‌دهد. انواع متنوع خواص مکانیکی در گستره‌ای از مس خالص که نرم و شکل‌پذیر است تا آلیاژهایی که خواص آنها در حد فولادهای تبرید و باز پخت شده‌اند، مشاهده می‌شود. آلیاژهای پایهٔ مس عموماً توسط اعداد استاندارد مؤسسهٔ توسعهٔ مس (CDA) مشخص می‌شوند. جدول ۳۳ جزئیات این سیستم را که توسط انجمن آمریکایی آزمایش و مواد (ASTM) انجمن مهندسان اتومبیل (SAE) و دولت ایالت متحده استفاده می‌شود، آلیاژهای با شمارهٔ ۱۰۰ تا ۱۹۹ دارای کمتر از ۲ درصد مواد آلیاژی هستند. اعداد ۲۰۰ تا ۷۹۹ آلیاژهای کار شده‌اند. (عبارت کار شده به معنای شکل یافته یا ساخته شده در حالت جامد است.) خواص کلیدی مادهٔ کار شده به‌طور کلی به شکل‌پذیری آن مربوط است. آلیاژهای ریختگی در حالت مایع شکل داده می‌شوند که در این حالت مشخصه‌های مورد علاقه دمای ذوب کم، سیالیت بالا و استحکام ریختگی مناسب است. اعداد از ۸۰۰ تا ۹۰۰ همگی آلیاژهای ریختنی هستند. هنگامی که این اعداد به اعداد سیستم یکسان شده برای فلزات و آلیاژها تبدیل شوند، اعداد سه رقمی دو صفر در سمت راستشان به اعداد پنج رقمی تغییر پیدا می‌کنند و حرف C که در ابتدا اضافه می‌شود، نشانهٔ پایهٔ مس است.

آلیاژهای مس ـ روی

بی‌شک روی، متداول‌ترین عنصر آلیاژی مس است. آلیاژهای مس و روی به‌طور کلی به نام برنج مشهورند. در صورتی که مقدار روی برنج از ۳۹ درصد تجاوز نکند، محلول جامد تک فاز است. این آلیاژها غالباً به نام برنج‌های آلفا موسومند، زیرا ساختار آنها با فاز آلفا مشخص می‌شود. نرمی و شکل‌پذیری از خواص این آلیاژهاست که با افزایش مقدار روی تا حدود ۳۹ درصد افزایش می‌یابند. به دلیل شکل‌پذیری خوب ساختار مکعب مرکزدار، برنج آلفا را می‌توان با کارسرد سخت کرد. برنج‌ها با انواع درجهٔ سختی به صورت تجارتی در بازار یافت می‌شوند. برنج پوکه که آلیاژی حاوی ۷۰ درصد مس و ۳۰ درصد روی است، بهترین ترکیب کلی استحکام و تردی را دارد و برای عملیات ورقه‌سازی مانند کشیدن عمیق کاملاً مناسب است.

بیشتر کاربردهای برنج، مربوط به خواص هدایت الکتریکی و حرارتی همراه با استحکام مهندسی خوب آن است. گسترهٔ وسیع رنگ‌ها شامل قرمز، نارنجی، زرد، نقره‌ای و سفید را که می‌توان با افزایش عنصر آلیاژی سوم به‌دست آورد، در کاربردهای تزئینی

مورد توجه قرار می‌گیرد. قابلیت آبکاری برنج فوق‌العاده خوب است و به‌عنوان مبنای قطعات تزئینی با کرم یا پوشش‌های مشابه محسوب می‌شود. ویژگی منحصر به فرد برنج آلفا این است که بدون هیچ‌گونه عملیات اضافی (به جز پاک کردن) می‌تواند به لاستیک بچسبد و آن را در خود ولگانیزه کند. در نتیجه برنج مصارف زیادی در محصولات مکانیکی پلاستیکی پیدا کرده است.

جدول ۳۳ـ استانداردهای مس و آلیاژهای آن (سیستم CDA)

آلیاژهای غیر ریختنی		آلیاژهای ریختنی	
۱۰۰ـ۱۵۵	مس‌های تجارتی	۸۳۳ـ۸۳۸	برنج‌های قرمز و قرمز سرب‌دار
۱۶۲ـ۱۹۹	آلیاژهای پرمس	۸۴۲ـ۸۴۸	برنج‌های نیمه قرمز و نیمه قرمز سرب‌دار
۲۰۰ـ۲۹۹	آلیاژهای مس ـ روی (برنج‌ها)	۸۵۲ـ۸۵۸	برنج‌های زرد و زرد سرب‌دار
۳۰۰ـ۳۹۹	آلیاژهای مس ـ روی ـ سرب	۸۶۱ـ۸۶۸	برنزهای منگنز و منگنزی سرب‌دار
	(برنج‌های سرب‌دار)	۸۷۲ـ۸۷۹	برنزهای سیلیسیم‌دار و برنج‌های سیلیسیم‌دار
۴۰۰ـ۴۹۹	آلیاژهای مس ـ روی ـ قلع (برنج‌های قلع)	۹۰۲ـ۹۱۷	برنزهای قلع‌دار
۵۰۰ـ۵۲۹	آلیاژهای مس ـ قلع (برنزهای فسفر)	۹۲۲ـ۹۲۹	برنزهای قلع‌دار و سرب‌دار
۵۳۲ـ۵۴۸	آلیاژهای مس ـ قلع ـ سرب	۹۳۲ـ۹۴۹	برنزهای قلع ـ نیکل
	(برنزهای فسفر و سرب‌دار)	۹۴۷ـ۹۴۹	برنزهای قلع ـ نیکل
۶۰۰ـ۶۴۲	آلیاژهای مس‌ـآلومینیم (برنزهای آلومینیم)	۹۵۲ـ۹۵۸	برنزهای آلومینیم
۶۶۷ـ۶۹۹	آلیاژهای مس ـ روی		
۷۰۰ـ۷۲۵	آلیاژهای مس ـ نیکل	۹۷۳ـ۹۷۸	برنزهای نیکلی سرب‌دار
۷۳۲ـ۷۹۹	آلیاژهای مس ـ نیکل ـ روی (ورشوها)		

مقاومت غالب برنج‌ها در برابر خوردگی مناسب است. افزودن مقدار کمی قلع به آلیاژ حاوی صفر تا ۴۰ درصد روی مقاومت آن را در برابر آب دریا به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. با افزودن قلع، برنج پوکه به برنج دریاداری، و فلز مونتر به برنج دریایی مبدل می‌شود. البته هنگامی که برنج‌هایی با مقدار روی ۲۰ تا ۳۶ درصد در محلول اسیدی یا نمک قرار می‌گیرند، تحت تأثیر خوردگی ویژه‌ای به نام روی‌زدایی واقع می‌شوند. مشکل دیگر در مورد برنج‌هایی با بیش از ۱۵ درصد روی، ترک خوردگی فصلی یا ترک‌خوردگی در اثر خوردگی تحت تنش است. وجود تنش و محیط خورنده عوامل اصلی این پدیده به‌شمار می‌آیند. (تنش‌های پس ماند و رطوبت جوی نیز ممکن است برای این کار کافی باشند.) در نتیجه، غالب برنج‌ها پیش از آنکه مورد مصرف قرار گیرند تحت فرایند تنش‌زدایی واقع می‌شوند تا تنش‌های پس ماند تولید شده در اثر کار سرد قبل از قرار گرفتن در شرایط کار از بین بروند.

در مواردی مانند قطعهٔ خام مورد مصرف در ماشین پیچ تراش خودکار که قابلیت ماشین‌کاری بالا مورد نیاز است، افزودن ۲ تا ۳ درصد سرب به برنج موجب تولید براده‌های کوچک می‌شود. آلیاژهای ریختنی برنج برای تولید اتصالات لوله‌کشی شیرهای فشار پایین و انواع لوازم تزئینی به‌کار می‌روند. آلیاژ حاوی ۵۰ تا ۵۵ درصد مس و ۴۵ تا ۵۰ درصد روی به‌عنوان فلز پرکننده در زردجوشکاری (لحیم‌کاری سخت) مورد استفاده قرار می‌گیرند. این آلیاژ عامل مهمی برای اتصال فولاد، چدن، برنج و مس به‌شمار می‌آید و اتصال به‌وجود آمده از نظر استحکام مشابه با اتصال جوش است.

جدول ۳۴ چند آلیاژ متداول مس ـ روی را به همراه ترکیب شیمیایی، خواص و مصارف متعارف آنها نشان می‌دهد.

آلیاژهای مس ـ قلع

از آنجا که قلع گران‌تر از روی است، آلیاژهای مس و قلع که عموماً به نام برنز قلع موسومند، معمولاً هنگامی که خواص ویژه‌ای از خود نشان می‌دهند، به‌کار گرفته می‌شوند. واژهٔ برنز کمی نارسا به‌نظر می‌رسد، زیرا در مورد تمام آلیاژهای مسی که افزودنی اصلی آنها نه روی و نه نیکل است، به‌کار می‌رود. برای روشن‌تر شدن موضوع، افزودهٔ آلیاژی اصلی همراه نام برنز می‌آید.

برنزهای قلع حقیقی حاوی کمتر از ۱۲ درصد قلع هستند (با افزودن قلع تا حدود ۲۰ درصد استحکام آلیاژ افزایش می‌یابد و اگر مقدار قلع بیشتر از آن باشد، آلیاژ ترد می‌شود). استحکام، چقرمگی، دیرسایی و مقاومت در برابر خوردگی مشخصات اصلی آلیاژهای مس ـ قلع است. این آلیاژها در مصارفی چون یاتاقان‌ها، چرخ‌دهنده‌ها و اتصالاتی که تحت تأثیر بار فشاری زیاد قرار دارند به‌کار می‌روند. آلیاژ مس ـ قلع مورد استفاده در یاتاقان معمولاً حاوی ۱۰ درصد سرب است.

برنز فسفردار معمول ترین برنز غیرریختنی و معمولاً حاوی ۱ تا ۱۱ درصد قلع است آلیاژ ۵۲۱ (CDA) نمونهٔ بارز این دسته است و حاوی ۸ درصد قلع می‌باشد. ورقهٔ سخت این آلیاژ دارای استحکام کششی ۷۶۰ مگاپاسکال (۱۱۰ هزار پوند بر اینچ مربع) و افزایش طول ۳ درصد است، در حالی که استحکام کششی و افزایش طول ورقهٔ نرم به ترتیب ۳۸۰ مگاپاسکال (۵۵ هزار پوند بر اینچ مربع) و ۶۵ درصد می‌باشد. از این آلیاژ در پمپ‌ها، چرخ‌دنده‌ها، فنرها و یاتاقان‌ها استفاده می‌شود.

جدول ۳۴ـ ترکیب شیمیایی، خواص و مصارف چند آلیاژ متداول مس ـ روی

عدد CDA	نام تجارتی	ترکیب، درصد				حالت	استحکام کششی		افزایش طول نمونه ۲ اینچی درصد	کاربرد متعارف
		مس	روی	قلع	سرب	منگنز	MPa	Ksi		
۲۷۰	برنج زرد	۶۵	۳۵				۳۱۷	۴۶	۶۴	
						سخت	۵۲۴	۷۶	۷	فنرها، پیچ
۲۶۰	برنج پوکه	۷۰	۳۰				۳۶۵	۵۳	۵۴	
						سخت	۵۲۴	۷۶	۷	لوله
						فنر	۶۳۴	۹۲	۳	لوله‌های داخل رادیاتور
										فرایند شکل دادن سرد
۳۶۰	برنج پیچ	۶۱/۵	۳۵/۵		۳	نرم	۳۲۴	۴۷	۶۰	قطعات پیچ و مهرهٔ ماشین‌آلات
						سخت	۴۲۷	۶۲	۲۰	
۲۲۰	برنز تجارتی	۹۰	۱۰			ورق نرم	۲۶۲	۳۸	۴۵	پیچ، یراق‌آلات، تورهای سیمی
						ورق سخت	۴۴۱	۶۴	۴	زیور آلات
						فنر	۵۰۳	۷۳	۳	
۲۴۰	برنج کم روی	۸۰	۲۰			ورق تابانده	۳۲۴	۴۷	۴۷	فرایندهای کشیدن، کارهای ساختمانی
						سخت	۵۱۷	۷۵	۷	زیور آلات
						فنر	۶۲۷	۹۱	۳	پوکه فشنگ، خشاب، آلات موسیقی
۶۷۵	برنز منگنز	۵۸/۵	۳۹	۱		۰/۱ نرم	۴۴۸	۶۵	۳۳	پروانه‌های محکم، میلهٔ شیر
						میلهٔ نیمه سخت	۵۷۹	۸۴	۱۹	صفحه کلاچ، محور پمپ
۴۴۳ـ۴۴۵	فلز دریاداری	۷۱	۲۸	۱		نرم	۳۱۰	۴۵	۶۰	لوله‌های کندانسورو
						سخت	۶۵۵	۹۵	۵	مبادله‌کن‌های حرارتی
۲۸۰	فلز مونتز	۶۰	۴۰			نورد گرم	۳۷۲	۵۴	۴۵	کارهای ساختمانی
						نورد سرد	۵۵۱	۸۰	۵	لوله‌های کندانسور

آلیاژ ۹۰۵، ۱۰ درصد قلع و ۲ درصد روی دارد. استحکام کششی و افزایش طول آن در شرایط ریختنی به ترتیب ۳۱۰ مگاپاسکال (۴۵ هزار پوند بر اینچ مربع) و ۴۵ درصد است. مقاومت این آلیاژ در برابر خوردگی آب دریا بسیار خوب است و در کشتی‌ها برای اتصال لوله‌ها، چرخ‌دنده‌ها، قطعات پمپ، بوش‌ها و یاتاقان‌ها استفاده می‌شود.
برنزها می‌توانند با مخلوط کردن پودر مس و روی و عمل آوردن از طریق گرد فلزکاری هم به دست آیند. محصول متخلخل نهایی در صافی‌هایی که در دمای بالا به‌کار می‌رود یا در محیط خورنده می‌تواند به‌کار رود، و یا می‌توان برای تولید یاتاقان‌های خود روان کار در آن روغن رسوخ داد.

آلیاژهای مس ـ نیکل

مس و نیکل در حالت جامد حلالیت کامل دارند و آلیاژهای متنوعی از آنها تهیه شده است. ویژگی‌های کلیدی شامل هدایت گرمایی و استحکام در دمای بالا همراه با مقاومت به خوردگی در برابر مواد مختلفی از جمله آب دریاست. خواص دیگری مثل مقاومت بالا در برابر ترک خوردگی تنشی و غیره، امکان استفادهٔ مطلوب از این مواد را در مبادله‌کن‌های حرارتی، لوازم آشپزی و دیگر مصارف انتقال حرارت به‌وجود می‌آورد. کوپرونیکل‌ها حاوی ۲ تا ۳۰ درصد نیکل هستند. ورشوها ۱۰ تا ۳۰ درصد نیکل و حداقل ۵ درصد روی دارند. جلای نقره‌ای آنها باعث کاربردشان در مصارف تزئینی شده و برای ابزار موسیقی هم به‌کار می‌روند. کنستانتان و مونل به ترتیب آلیاژهایی با محتوای ۴۵ و ۶۷ درصد نیکل هستند. مونل بعد به‌عنوان آلیاژ نیکل مورد بحث قرار می‌گیرد.

دیگر آلیاژهای پایهٔ مس

آلیاژهای نام برده در قسمت‌های گذشته استحکام خود را در درجهٔ اول از طریق سخت شوندگی با محلول جامد و کار سرد به‌دست می‌آورند. سه عنصر آلیاژی در خانوادهٔ آلیاژهای مس موجب ایجاد خاصیت سخت شوندگی رسوبی می‌شوند: آلومینیم، سلیسیم و بریلیم.
آلیاژهای برنز آلومینیم بیشتر به علت دو خاصیت استحکام بالا و مقاومت مناسب در برابر خوردگی‌شان شناخته شده‌اند و معمولاً از نظر قیمت جایگزین مؤثری برای فولاد زنگ نزن و آلیاژهای پایهٔ نیکل هستند. آلیاژهای کار شده می‌توانند در اثر محلول جامد یا به وسیلهٔ کار سرد و رسوب آهن یا فازهای پرنیکل استحکام یابند. اگر مقدار آلومینیم کمتر از ۸ درصد باشد، آلیاژها بسیار شکل‌پذیر می‌شوند. وقتی مقدار آلومینیم از ۹ درصد بیشتر شود از شکل‌پذیری کاسته شده و مقدار سختی به سختی فولاد نزدیک می‌گردد. افزودن مقدار آلومینیم بیشتر، موادی ترد اما با مقاومت سایشی بسیار خوب نتیجه می‌دهد. با تغییر مقدار آلومینیم و عملیات حرارتی، استحکام کششی بین ۴۱۵ تا ۱۰۰۰ مگاپاسکال (۶۰ تا ۱۴۵ هزار پوند بر اینچ‌مربع) تغییر می‌کند. کاربردهای

نمونه وار شامل ابزارهای دریایی، میل گاردان کشتی، یاتاقان‌ها، پمپ و اجرای سوپاپ برای شرایط کار با آب دریا، آب ترش معدن و مایعات مختلف صنعتی است. آلیاژهای ریختنی برای کاربردهایی که ریخته‌گری روش تولید برتر است به‌کار می‌روند. از آنجا که برنزهای آلومینیم مقدار زیادی انجماد انقباضی دارند، در ریخته‌گری باید به این مطلب توجه نمود.

برنزهای سیلیسیم حاوی تا ۴ درصد سیلیسیم و ۱/۵ درصد روی هستند (مقدار روی در مورد قطعات ریختگی بیشتر است). استحکام شکل‌پذیری قابلیت ماشین‌کاری و مقاومت در برابر خوردگی از ویژگی‌های این آلیاژها هستند. استحکام کششی بین شرایط نرم در حدود ۳۸۰ مگا پاسکال (۵۵ هزار پوند بر اینچ مربع) تا مقدار بیشینهٔ ۹۰۰ مگاپاسکال (۱۳۰ هزار پوند بر اینچ مربع) تغییر می‌کند. از این آلیاژ در مصارفی چون دیگ‌های بخار، مخازن و اجاق‌ها که در آن ترکیبی از خواص استحکام زیاد و مقاومت در برابر خوردگی مورد نیاز است، استفاده می‌شود.

دانش افزایی برای مطالعه بیشتر

منیزیم و آلیاژهای آن

خواص و مشخصات کلی: منیزیم با جرم ویژهٔ ۱/۷۴ (دو سوم جرم ویژهٔ آلومینیم و یک چهارم جرم ویژهٔ فولاد و فقط کمی سنگین‌تر از پلاستیک‌های تقویت شده) سبک‌ترین فلز مهم تجارتی است، منیزیم مانند آلومینیم در حالت خالص نسبتاً ضعیف است و بیشتر به شکل آلیاژ استفاده می‌شود. در عین حال در حالت آلیاژی نیز دارای خواص ضعیف، سایشی، خزشی و خستگی است. منیزیم بیشترین انبساط حرارتی را در بین فلزات مهندسی دارد. هنگامی که دما به بیش از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (۲۰۰ درجه فارنهایت) می‌رسد، استحکامش کاهش می‌یابد، بنابراین نباید منیزیم را برای کاربردهای دمای بالا در نظر گرفت. ضریب کش‌سانی منیزیم از آلومینیم نیز کمتر و بین یک چهارم تا یک پنجم ضریب کشسانی فولاد است. سخت پایی قطعه متناسب با ضخامت آن است. اما آلیاژ چنان سبک وزن است که امکان استفاده از مقاطع ضخیم برای کسب صلبیت (سخت پایی) لازم وجود دارد و در عین حال وزن سازه از وزن سازه‌های مشابه با فلزات دیگر کمتر است. هزینهٔ واحد حجم کم است. بنابراین استفاده از مقاطع ضخیم مشکلی به‌وجود نخواهد آورد. به‌علاوه از آنجا که بسیاری از قطعات منیزیمی ریخته‌گری می‌شوند مقاطع ضخیم‌تر، خود نوعی ویژگی مطلوب است. شکل‌پذیری آلیاژهای منیزیم به دلیل ساختار hcp پایین است، لیکن در برخی آلیاژها به ۱۰ درصد می‌رسد.

از طرف دیگر آلیاژهای منیزیم دارای نسبت استحکام به وزن تقریباً بالایی هستند. آلیاژهای تجارتی استحکامی برابر با ۳۸۰ مگاپاسکال (۵۵ هزار پوند بر اینچ مربع)

دارند. قابلیت جذب انرژی بالا به مفهوم توانایی میراندن ارتعاشات صداست. در حالی که بسیاری از آلیاژهای منیزیم برای مقاومت در برابر خوردگی نیاز به لاک الکل و لعاب دارند، این خاصیت با ایجاد آلیاژهای با درجهٔ خلوص بالا پیشرفت کرده است. در غیاب زوج‌های گالوانیکی نامناسب، این مواد در برابر خوردگی بهتر از فولاد و آلومینیم مقاومت می‌کنند و راه را برای کاربرد در جاهای دیگری، از جمله در بازار خودرو، هواپیما، ابزار نیرو، وسایل ورزشی و محصولات الکترونیکی (که ترکیبی از سپر الکترومغناطیس، سبکی و دوام بیشتر از پلاستیک و فلزات جایگزین دارند) هموار می‌کنند. محدودیت‌های متعدد، کاربرد منیزیم را به مصارفی که سبک وزنی حائز اهمیت فراوان است محدود ساخته است. در حالی که آلیاژهای آلومینیم معمولاً در ساخت اعضای باربر در سازه‌های مکانیکی فراوانی به‌کار می‌روند، آلیاژهای منیزیم برای چنین کاربردهایی در شرایطی که سبکی در درجهٔ اول اهمیت و استحکام نگرانی بعدی باشد، کاربرد فراوان دارند.

آلیاژهای منیزیم و طرز ساخت آنها

سیستم نمایش آلیاژهای منیزیم توسط ASTM ابداع شده و نشانگر ترکیب و شرایط است و در مشخصهٔ B۹۳ بیان گردیده است. این سیستم شامل یک یا دو حرف پیشوند، دو یا سه رقم و یک حرف پسوند است. حروف پیشوند معرف دو فلز آلیاژی اصلی بر طبق فهرست زیر هستند:

A آلومینیم E خاکی کمیاب B بیسموت L بریلیم F آهن Pسرب S سیلیسیم
M منگنز D کادمیم Nنیکل K زیرکنیم C مس H توریم Q نقره
T قلع Z روی R کرم

آلومینیم معمول‌ترین عنصر آلیاژی است و به همراه روی، زیرکنیم و توریم ویژگی سخت شدن رسوبی را بالا می‌برند؛ منگنز مقاومت در برابر خوردگی را تقویت می‌کند و قلع قابلیت ریخته‌گری را افزایش می‌دهد. دو حرف با دو یا سه عدد و یک حرف پسوند احتمالی پشت سر هم قرار می‌گیرند. حرف پسوند تغییرات آلیاژهای پایهٔ یکسان را نشان می‌دهد. مثل AZ ۹۱ دارای تقریباً ۹ درصد آلومینیم و ۱ درصد روی است. روش نمایش پسوند باز پخت هم بسیار مشابه سیستم به‌کار رفته در آلیاژهای آلومینیم است. جدول۶ فهرستی از آلیاژهای رایج منیزیم را همراه با خواص و استفاده‌های آنها نشان می‌دهد. فرایندهای ریخته‌گری در قالب ماسه‌ای، قالب دائمی و حدیده‌ای را می‌توان به خوبی بر روی آلیاژهای منیزیم انجام داد و نقطهٔ ذوب پایین و سیالیت بالای آن آلیاژها برای این منظور مفید واقع می‌شود. ریخته‌گری حدیده‌ای متداول‌ترین آنهاست و بیشتر از ۷۰ درصد تولید را تشکیل می‌دهد. با اینکه قیمت منیزیم حدوداً دو برابر آلومینیم است، فرایند ریخته‌گری حدیده‌ای با مخزن گرم روی منیزیم ساده‌تر، اقتصادی‌تر و ۴۰ تا ۵۰ درصد، سریع‌تر از فرایند ریخته‌گری

حدیده‌ای مخزن سرد مورد نیاز برای آلومینیم می‌باشد. ضخامت دیواره، زاویهٔ شیب و خورندها همگی کوچک‌تر از مقادیر ریخته‌گری حدیده‌ای آلومینیم هستند و چرخهٔ تولید کوتاه‌تر، عمر قالب را افزایش می‌دهد. بنابراین قطعات ریخته‌گری حدیده‌ای منیزیم به‌خوبی با آلومینیم رقابت خواهند کرد. هنگامی که سخت پایی بالا و پایداری ابعاد یا هدایت برقی و گرمایی مورد نیاز است، محصولات قالب‌گیری حدیده‌ای منیزیم غالباً جایگزین قطعات قالب‌گیری تزریقی پلاستیکی می‌شوند.

خواص شکل‌پذیری فلز در دمای معمولی اتاق ضعیف است. اما هنگامی که ماده تا دمای ۵۰۰ـ۲۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۷۷۵ـ۴۸۰درجه فارنهایت) گرم می‌شود، معمول‌ترین فرایندهای شکل دادن مورد استفاده قرار می‌گیرند. رسیدن به چنین درجهٔ حرارت‌هایی ساده است و نیازی به محیط محافظ نیست، بدین سبب قطعات به میزان قابل توجهی به روش‌های کشیدن و شکل دادن تولید می‌شوند. محصولات ورقه‌ای و حدیده‌کاری منیزیم، ویژگی‌هایی مشابه با آلیاژهای آلومینیم کارشدهٔ متداول‌تر دارند و در عین سبک‌تر بودن نسبت به پلاستیک‌ها، ده برابر و بیشتر سخت‌یابی یا صلیبت دارند.

قابلیت ماشین‌کاری آلیاژهای منیزیم در میان فلزات تجارتی بی‌نظیر است، و در بسیاری از موارد صرفه‌جویی در هزینهٔ ماشین‌کاری بسیار بیشتر از جبران هزینهٔ مادهٔ اضافی تمام شده می‌باشد. در عین حال نوک ابزار باید همواره تیز باشد و سرمای کافی نیز برای براده فراهم شود.

جوشکاری نقطه‌ای آلیاژهای منیزیم تقریباً به سادگی آلومینیم است، اما تمیزکاری با برس یا پاک کردن شیمیایی پیش از شکل گرفتن جوش لازم است. برای رسیدن به کیفیت بهتر جوشکاری در حضور گاز بی‌اثر محافظ چون آرگون یا هلیم انجام می‌شود. اطلاعات نادرست فراوانی در مورد خطر آتش‌سوزی هنگام کار با آلیاژهای منیزیم منتشر شده است. البته این واقعیت وجود دارد که آلیاژهای منیزیم به صورت پودر یا براده، قابلیت اشتعال بسیار زیادی دارند و این خطر همواره باید در نظر گرفته شود. در عین حال آلیاژهای منیزیم در شکل‌های ورقه، لوحه، حدیده شده و یا ریختگی خطر چندانی به‌وجود نمی‌آورند. در دمای بیش از ۷۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۹۵۰ درجه فارنهایت) وجود گاز غیر قابل اشتعال و عاری از اکسیژن بروز آتش که در حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد (۱۱۰۰درجه فارنهایت) آغاز خواهد شد، جلوگیری می‌کند. هنگام عملیات ریخته‌گری به دلیل واکنش منیزیم با ماسه و آب، رعایت دقت بیش ضروری است.

جدول ۳۵ـ ترکیب خواص و کاربردهای آلیاژهای منیزیم

آلیاژ	بازپخت	ترکیب شیمیایی (درصد)							استحکام کششی		استحکام تسلیم		ازدیاد طول نمونهٔ ۲ اینچی (٪)	کاربردها و ویژگی‌ها
		Al	خاکی نادر		Mn	Tn	Zn	Zr	Ksi	MPa	Ksi	MPa		
AM۶۰A	F	۶/۰			۰/۱۳				۳۰	۲۰۷	۱۷	۱۱۷	۶	ریخته‌گری حدیده‌ای
AM۱۰۰A	T۴	۱۰/۰			۰/۱				۳۴	۲۳۴	۱۰	۶۹	۶	ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای و دائمی
AZ۳۱B	F	۳/۰					۱/۰		۳۲	۲۲۱	۱۵	۱۰۳	۶	ورق، صفحه، آهنگری، حدیده‌کاری
AZ۶۱A	F	۶/۵					۱/۰		۳۶	۲۴۸	۱۶	۱۱۰	۷	ورق، صفحه، آهنگری، حدیده‌کاری
AZ۶۳A		۶/۰					۳/۰		۳۴	۲۳۴	۱۱	۷۶	۷	ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای و دائمی
AZ۸۰A		۸/۵					۳/۵		۳۴	۲۳۴	۲۲	۱۵۲	۲	قطعات آهنگری حدیده‌کاری محکم
AZ۸۱A		۷/۶					۰/۷		۳۴	۲۳۴	۱۱	۷۶	۷	ریخته‌گری حدیده‌ای
AZ۹۱A	F۲	۹/۰				۰/۷			۳۴	۲۳۴	۲۳	۱۵۹	۳	قطعات محکم ریخته‌گری
AZ۹۲A	F۵	۹/۰				۲/۰			۳۴	۲۳۴	۱۱	۷۶	۶	و دائمی
EZ۳۳A			۳/۲				۲/۶	۰/۷	۲۰	۱۳۸	۱۴	۹۷	۲	ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای و دائمی
HK۳۱A	۲۴					۳/۲		۰/۷	۳۳	۲۲۸	۲۴	۱۶۶	۴	ورق و صفحهٔ ریخته‌گری (با بازپخت ۶)
HM۲۱A				۰/۸	۲/۰				۳۳	۲۲۸	۲۵	۱۷۲	۳	ورق و صفحهٔ آهنگری در دمای بالای (۸۰۰)
HZ۳۲A						۳/۲			۲۷	۱۸۶	۱۳	۹۰	۴	ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای و دائمی
ZH۶۲A						۱/۸	۵/۷	۰/۷	۳۵	۲۴۱	۲۲	۱۵۲	۵	ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای و دائمی
ZK۵۱A			۴/۶	۰/۷					۳۴	۲۳۴	۲۰	۱۳۵	۵	ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای و دائمی
ZK۶۰A							۵/۵	۰/۴۵	۳۸	۲۶۲	۲۰	۱۳۸	۷	حدیده‌کاری، آهنگری

آلیاژهای پایهٔ روی

بیش از ۵۰ درصد روی به‌صورت فلز خالص در روی اندود کاری آهن یا فولاد استفاده می‌شود. در این فرایند مادهٔ پایهٔ آهنی با لایه‌ای از روی پوشانده می‌شود. این عمل به روش‌های مختلفی از جمله غوطه‌ور کردن مستقیم در حمام فلز مذاب و آبکاری الکترولیتی امکان‌پذیر است. این پوشش دارای ویژگی مقاومت در برابر خوردگی بسیار عالی (حتی در صورت ایجاد خراش و ترک‌های بسیار شدید) است. به‌علاوه این ویژگی تا هنگامی که روی به‌طور کامل مصرف شود بر جای خود باقی است.

روی همچنین به‌عنوان فلز پایه برای آلیاژهای مورد استفاده در قطعات ریخته‌گری حدیده‌ای به‌کار می‌رود. فلز روی فلز ارزان قیمت و دارای نقطهٔ ذوب پایین ۳۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۷۱۵درجه فارنهایت) است. به‌علاوه، در اثر تماس مذاب با قالب فولادی مشکلی به‌وجود نمی‌آید. متأسفانه روی خالص به سنگینی فولاد است و ضعیف و شکننده نیز می‌باشد. به این دلایل در طراحی ریخته‌گری حدیده‌ای عناصر آلیاژی به‌گونه‌ای انتخاب می‌شوند که نقطهٔ ذوب فلز را حفظ کنند، و چقرمگی و استحکام آن را در شرایط ریخته‌گری شده افزایش دهند.

در جدول ۳۶ مشخصات دو آلیاژ ریخته‌گری حدیده‌ای متداول روی ارائه شده است. آلیاژ AG۴۰A (آلیاژ ۹۰۳ یا زاماک ۳) به دلیل پایداری ابعادی فوق العاده مورد استفاده فراوان قرار می‌گیرد. آلیاژ A۱AG۴ (آلیاژ ۹۰۵ یا زاماک ۵) از نظر استحکام و مقاومت در برابر خوردگی مناسب تر است. به‌طور کلی آلیاژهای ریخته‌گری حدیده‌ای روی استحکام و مقاومت به خوردگی بالا دارند و می‌توان آنها را در مقاطع فوق‌العاده نازک با ابعاد بسیار کوچک ریخت. از این گذشته، این با حداقل هزینه قابل ماشین‌کاری می‌باشند. مقاومت در برابر خوردگی سطحی در برخی کاربردها مناسب است و می‌توان برای انواع کاربردها به سادگی پرداخت آبکاری، کرماته و آندیزه کرد. در حالی که سخت پایی آن از دیگر فلزات پایین‌تر است، از پلاستیک‌های مهندسی بسیار بهتر بوده و در بیشتر موارد رقیب قطعات قالب‌گیری تزریقی شده است.

اهمیت ریخته‌گری حدیده‌ای روی با تولید چندین آلیاژ ریختنی آلومینیم ـ روی با محتوای آلومینیم بیشتر (ZA۸، ZA۱۲ وZA۲۷) که به ترتیب دارای ۸، ۱۲ و ۲۷ درصد آلومینیم هستند افزایش یافته است. این آلیاژها برای ریخته‌گری در قالب ماسه‌ای، قالب دائمی و قالب گرافیتی در نظر گرفته شده بودند، برای ریخته‌گری حدیده‌ای و کسب مشخصات عملکردی مانند استحکام بالاتر (تا ۶۰ هزار پوند بر اینچ مربع یا ۴۱۵ مگاپاسکال) سختی (تا ۱۲۵ برینل) و دیر سایی نیز بهتر از هر آلیاژ معمولی دیگر هستند. از دیدگاه نقطهٔ ذوب و هزینهٔ ریخته‌گری پایین‌تر، آلیاژهای فوق جانشین مناسبی برای آلیاژهای ریختنی معمولی آلومینیم، برنج، برنز و همچنین چدن محسوب می‌شوند.

جدول ۳۶ـ مشخصات دو آلیاژ ریختنی حدیده‌ای روی

آلیاژ	#3 SAE903 ASTMAG40A	#5 SAE925 AST<AG41A	#7 ASTMAG408	ZA_8			ZA_12			ZA_27		
				S**	P	D	S	P	D	S	P	D
ترکیب*												
آلومینیم	۳/۵ـ۴/۳	۳/۵ـ۴/۳	۳/۵ـ۴/۳	۸/۰ـ۸/۸			۱۰/۵ـ۱۱/۵			۲۵/۰ـ۲۸/۰		
مس	۰/۲۵ حداکثر	۰/۷۵ـ۱/۲۵	۰/۲۵ حداکثر	۰/۸ـ۱/۳			۰/۵ـ۱/۲			۲/۰ـ۲/۵		
روی	بقیه	بقیه	بقیه	بقیه			بقیه			بقیه		
خواص												
چگالی (g/cc)	۶/۶	۶/۶	۶/۶		۶/۳			۶/۰			۵/۰	
استحکام تسلیم (MPa)	۲۲۱	۲۲۸	۲۲۱	۲۰۰	۲۰۶	۲۹۰	۲۱۴	۲۶۹	۳۱۷	۳۷۲	۳۷۹	
(ksi)	۳۲	۳۳	۳۲	۲۹	۳۰	۴۲	۳۱	۳۹	۴۶	۵۴	۵۵	
استحکام کششی (MPa)	۲۸۳	۳۲۸	۲۸۳	۲۶۳	۲۵۵	۳۷۴	۳۱۷	۳۴۵	۴۰۰	۴۴۱	۴۲۱	
(ksi)	۴۱	۴۸	۴۱	۳۸	۳۷	۵۴	۴۶	۵۰	۵۸	۶۴	۶۱	
ازدیاد طول (درصد در ۲ اینچ)	۱۰	۷	۱۳	۲	۲	۱۰	۳	۳	۷	۶	۳	
استحکام ضربه (J)	۵۸	۶۵	۵۸	۲۰	۴۲	۲۵	۲۹	۴۷	۵			
ضریب کش‌سایی (GPa)	۸۵/۵	۸۵/۵	۸۵/۵	۸۵/۵	۸۲/۷	۷۷/۹						
قابلیت ماشین‌کاری	فوق‌العاده	فوق‌العاده	فوق‌العاده	فوق‌العاده			خیلی خوب			خوب		

* حاوی مقادیر مختصری Ni, Sn, Cd, Pd, Fe

**S= ریخته‌گری در ماسه؛ P= ریخته‌گری در قالب دائمی؛ D= ریخته‌گری حدیده‌ای

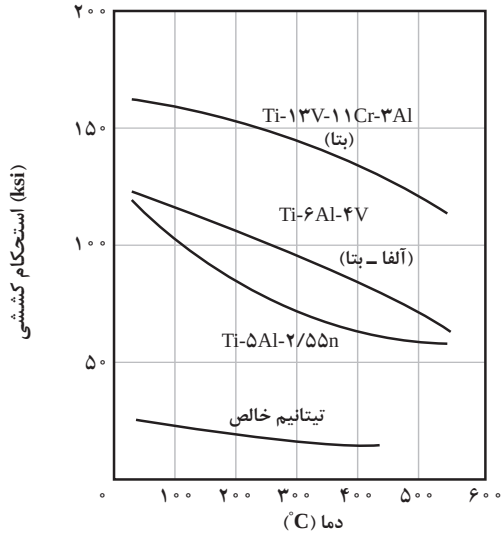
تیتانیم و آلیاژهای آن

تیتانیم فلزی محکم، سبک وزن، مقاوم در برابر خوردگی است، و اهمیت اقتصادی آن تنها از حدود سال ۱۹۵۰ مطرح شده است. چون بیشتر خواص این فلز بین خواص فولاد و آلومینیم هستند، روز به روز به اهمیت آن اضافه می‌شود. استحکام تسلیم تیتانیم خالص تجاری حدود ۲۱۰ مگاپاسکال (۳۰ هزار پوند بر اینچ مربع) است و می‌توان با آلیاژ کردن و انجام عملیات حرارتی آن را به ۱۳۰۰ مگاپاسکال (۱۹۰ هزار پوند بر اینچ مربع) رسانید. این مقدار با استحکام اغلب با فولادهای عملیات حرارتی شده قابل مقایسه است. از طرف دیگر چگالی تیتانیم تنها ۵۶ درصد فولاد (نسبت استحکام به وزن قابل توجه) و ضریب کشسانی آن نیز حدود نصف ضریب کشسانی فولاد می‌باشد. چون این فلز خواص مکانیکی خود را تا ۵۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد (۱۰۰۰ درجه فارنهایت) حفظ می‌کند، تیتانیم مادهٔ مهندسی مقاوم در دمای زیاد محسوب می‌شود. از سوی دیگر تیتانیم و آلیاژهای آن دارای مسائل هزینهٔ زیاد، مشکلات تولید، محتوای انرژی زیاد (انرژی لازم برای تولید آنها ۱۰ برابر انرژی تولیدی فولاد است) و فعالیت شیمیایی زیاد در دمای بالا (بالای ۵۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد) هستند.

آلیاژهای تیتانیم بر اساس نوع عنصر آلیاژی اصلی و مقدار آن (مشخصهٔ B_۲۶۵ از ASTM) به‌طور کلی از نظر ریز ساختار به سه دسته تقسیم می‌شوند. این دسته‌ها به نام‌های آلیاژهای تیتانیم آلفا، بتا، و آلفا ـ بتا موسوم‌اند. این حروف معرف فاز یا فازهای پایدار در دمای اتاق هستند. عناصر آلیاژی را می‌توان برای پایدارسازی فاز آلفای منشور تنگ بسته یا فاز بتای مکعبی مرکز پر به‌کار برد و از عملیات حرارتی برای تغییر ساختار و بهبود خواص استفاده نمود. آلیاژهای تیتانیم به روش‌های ریخته‌گری، آهنگری، نورد، حدیده‌کاری با جوشکاری تولید می‌شوند، مشروط بر آنکه تغییرات خاصی در فرایندها و کنترل شان داده شود. روش‌های عملیاتی پیش رفته شامل گرد فلزکاری، آلیاژسازی مکانیکی، عملیات انجماد سریع (RSP)، شکل دادن ابرموم سان، اتصال نفوذی و فشردن ایزواستاتیک گرم (HIP) است.

با وجود اینکه تیتانیم در طبیعت فراوان است، اما استخراج آن از کانه، فراورش و تولید آن دشوار است. این دشواری‌ها موجب افزایش قیمت آن نسبت به فولاد و آلومینیم می‌شود. از این رو مصارف تیتانیم در درجهٔ اول در مواردی است که ویژگی‌های سبکی (نسبت استحکام ـ وزن زیاد)، سخت پایی مناسب، استحکام خستگی و چقرمگی شکست خوب مقاومت در برابر خوردگی (به خاطر لایهٔ نازک اکسید چسبنده) و حفظ خواص مکانیکی در دمای زیاد ضروری است. آلومینیم، منیزیم و بریلیم تنها فلزات پایه‌ای هستند که از تیتانیم سبک‌ترند، و هیچ کدام از آنها از لحاظ کارایی مکانیکی با خواص در دمای بالا با آن برابری نمی‌کنند. کاربرد عمدهٔ تیتانیم در صنایع هوا ـ فضاست، اما آلیاژهای تیتانیم در تجهیزات فراورش شیمیایی، صنایع غذایی،

صنایع الکتروشیمیایی، تجهیزات دریایی، اجزای ترمیمی داخل بدن و وسایل ورزشی نیز استفاده می‌شوند. این آلیاژها در مواردی که صرفه‌جویی در وزن حائز اهمیت است جانشین فولاد و در مواردی که عملکرد در دمای زیاد موردنظر است، جانشین آلیاژهای آلومینیم می‌شوند. در برخی کاربردهای اتصالی، خاصیت منحصر به فرد تیتانیم در تردکنندگی شیشه و برخی از سرامیک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. آلیاژ تیتانیم با ۶ درصد آلومینیم و ۴ درصد وانادیم، رایج‌ترین آلیاژ تیتانیم است. که برای ۵۰ درصد از مصارف تیتانیم جهان به‌کار می‌رود. شکل زیر پایداری و استحکام در دمای بالای چند آلیاژ تیتانیم را نشان می‌دهد.



استحکام تسلیم چند آلیاژ تیتانیم در دماهای مختلف

آلیاژهای پایهٔ نیکل

آلیاژهای پایهٔ نیکل به دلیل استحکام بالا و مقاومت در برابر خوردگی استثنایی (به ویژه در دمای زیاد) حائز اهمیت فراوان هستند. این آلیاژها در بازهٔ گسترده‌ای از انواع کار شده و ریختگی در دسترس هستند. آلیاژهای کار شده عموماً با نام‌های تجاری مانند دونل، هستالوی، اینکونل و... شناخته می‌شوند. آلیاژهای ریختگی معمولاً توسط شاخص‌های ASTM یا موسسهٔ آلیاژهای ریختگی مشخص می‌گردند. مشخصه‌های عمومی شامل شکل‌پذیری خوب (ساختار مکعبی با وجوه مرکز پر)، مقاومت به خزش خوب و نگه داشتن استحکام و شکل‌پذیری در سرما یا حتی دماهای بسیار پایین (دمای گازهای مایع شده) است.

فلز مونل که حاوی ۱۷ درصد نیکل و ۳۰ درصد مس است، به دلیل خصوصیات خوردگی عالی آن سال‌های متمادی در صنایع حفاظت غذایی و شیمیایی به‌کار رفته

است. در حقیقت، مونل از مقاومت خوردگی بهتری در اکثر محیط‌ها نسبت به هر آلیاژ تجاری دیگری برخوردار است. این فلز به ویژه نسبت به محیط‌های آب نمک، اسید سولفوریک و حتی بخار آب جاری با سرعت زیاد و درجهٔ حرارت بالا مقاوم است. به این دلیل آخری مونل کاربرد فراوانی در پرهٔ توربین‌های بخار پیدا کرده است. سطح فلز در اثر جلا دادن کاملاً براق خواهد شد (همانند فولاد زنگ نزن) و غالباً در لوازم زینتی و ابزار خانگی مصرف می‌شود. مونل در شکل معمولی دارای استحکام کششی ۵۰۰ تا ۱۲۰۰ مگاپاسکال (۷۰ تا ۱۷۰ هزار پوند بر اینچ مربع) همراه با افزایش طولی بین ۲ تا ۵۰ درصد است.

آلیاژهای نیکل در مقاومت‌های الکتریکی و فلزات حرارتی نیز به‌کار می‌روند. این مواد آلیاژهای نیکل ـ کرم هستند و به نام تجارتی نیکرم موسوم‌اند.

هنگامی که آلیاژهای پایهٔ نیکل برای خواص مکانیکی خوب در دماهای بالا طراحی شوند، به‌عنوان ابر آلیاژها طبقه‌بندی می‌شوند.

شکل ۲۸ـ برای تحمل دماهای بالای گازهای خروجی موتور جت به ابرآلیاژها و مواد دیرگداز نیاز است

ابرآلیاژها و دیگر فلزات غیرآهنی مورد مصرف در دمای بالا

چنانکه گفته شد، تیتانیم و آلیاژهای آن دارای استحکام مناسب در دمای بالا هستند، اما حداکثر مقدار این دما حدوداً ۵۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد (۱۰۰۰ درجه فارنهایت) است. مادهٔ مورد استفاده در مصارفی چون موتور جت، توربین گاز، موشک و مصارف هسته‌ای باید دارای استحکام، مقاومت در برابر خزش و مقاومت در برابر خوردگی بسیار زیاد در دمای حد ۱۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۲۰۰۰ درجه فارنهایت) باشد.

ابر آلیاژها گروهی از مواد هستند که نیازهای فوق را برآورده می‌کنند و اولین بار به‌طور وسیع برای کاربرد در قسمت دما بالای هواپیمای توربو جت در سال‌های ۱۹۴۰ ظاهر شدند. نیکل، آهن و نیکل یا کبالت فلزات پایهٔ ابر آلیاژها محسوب می‌شوند، و توانایی حفظ استحکام در دمای بالا به مدت طولانی را دارند. استحکام آنها ناشی از استحکام بخشی محلول‌سازی، رسوب سختی و کار بیدها یا اکسیدهای آلیاژی پراکنده است. آلیاژهای نیکل دارای استحکام بیشتری در دمای اتاق هستند؛ استحکام تسلیم آنها حدود ۱۲۰۰ مگاپاسکال (۱۷۵ هزار پوند بر اینچ مربع) و استحکام کششی نهایی شان ۱۴۵۰ مگاپاسکال (۲۱۰ هزار پوند بر اینچ مربع) و بالاتر از آلیاژهای کبالت است. استحکام گسستگی هزار ساعتهٔ آلیاژهای نیکل در دمای ۸۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد (۱۵۰۰ درجهٔ فارنهایت) نیز بیشتر از آلیاژهای پایهٔ کبالت است. متأسفانه چگالی ابر آلیاژها بسیار بزرگ‌تر از آهن است، بنابراین استفاده از آنها به علت وزن زیاد هزینهٔ بیشتری در بردارد.

شکل‌دهی و ماشین‌کاری غالب ابر آلیاژها مشکل است. بدین جهت از روش‌هایی چون ماشین‌کاری با تخلیهٔ الکتریکی، ماشین‌کاری الکتروشیمیایی، و یا ماشین‌کاری مافوق صوت استفاده می‌شود، و یا قطعه به روش ریخته‌گری در قالب با مدل ذوب شدنی (ریخته‌گری دقیق) به شکل نهایی تولید می‌شود. روش گرد فلزکاری نیز به میزان قابل توجهی برای تولید ابر آلیاژها به‌کار می‌رود. ابر آلیاژها به دلیل وجود محتویات خاص، گران قیمت هستند؛ این هزینهٔ اضافی مصرف آنها را به قطعات کوچک یا حساس برای مواردی که هزینه عامل تعیین‌کننده نیست، محدود می‌کند.

برخی کاربردهای مهندسی به موادی نیاز دارد که محدودهٔ دمای کاربردی آنها بیش از ابر آلیاژ باشد. شکل۲۸ اگزوز دمای بالای یک موتور جت را نشان می‌دهد. مطابق با گزارش یکی از منابع علمی، درجه حرارت موتورهای جت در آینده بیش از ۱۴۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد (۲۹۰۰ درجه فارنهایت) خواهد بود. افشانک موشک از این نقطه هم فراتر خواهد رفت. موادی چون نیکل TD (آلیاژی از نیکل حاوی ۲ درصد اکسید توریم پراکنده) برای کار در درجه حرارت ۱۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۲۰۰۰ درجه فارنهایت) مناسب به‌نظر می‌رسند.

با بالا رفتن دما به فلزات دیرگداز می رسیم که شامل نیوبیم، مولیبدن، تانتالیم، رنیوم و تنگستن می‌باشند. همهٔ آنها دمای ذوبی نزدیک به بیش از ۲۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۴۵۰۰ درجه فارنهایت) دارند. و سهم قابل توجهی از استحکامشان را در دماهای بالا نگه می‌دارند و می‌توان از آنها در دماهایی به بزرگی ۱۶۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۳۰۰۰ درجهٔ فارنهایت) استفاده نمود به شرط اینکه پوشش سرامیکی محافظ به‌طور مؤثر آنها را از گازها در محیط کاریشان عایق‌بندی کند. البته فناوری پوشش‌دهی کاملاً چالش‌زاست زیرا پوشش‌های سرامیکی باید (۱) دمای ذوب بالا داشته باشد، (۲) با فلزی که محافظت می‌کنند واکنش ندهند، (۳) مانع نفوذی در برابر اکسیژن و سایر گازها

فراهم کنند و (۴) مشخصه‌های انبساط حرارتی متناسب با فلز زیرین داشته باشند. درحالی که می‌توان از فلزات دیرگداز در دماهای بالاتر استفاده نمود، اما بالاترین دمای متداول مورد استفاده توسط محدودیت‌ها و موانع اعمالی توسط پوشش تعیین می‌گردد. جدول ۳۷ ویژگی‌های کلیدی چند فاز دیرگداز را نشان می‌دهد. متأسفانه همهٔ آنها سنگین‌تر از فولاد هستند و برخی بسیار سنگین‌ترند. در حقیقت، تنگستن با چگالی حدود ۱/۷ برابر سرب اغلب به‌عنوان چرخ توازن، چرخ طیار فشرده، وزنه‌ها، قطب نماها، گلوله‌های نظامی و چوب گلف به‌کار می‌رود.

جدول ۳۷ــ خواص برخی از فلزات دیر گداز

فلز	نقطهٔ ذوب [°F(°C)]	چگالی (g/cm^3)	دمای اتاق		افزایش طول (درصد)	دمای بالا ۱۰۰۰°C(۱۸۳۲°F)	
			استحکام تسلیم (ksi)	استحکام کششی (ksi)		استحکام تسلیم (ksi)	استحکام کششی (ksi)
تانتالم	۵۴۳۰ (۳۰۰۰)	۱۶/۶	۳۵	۵۰	۳۵	۲۴	۲۷
تنگستن	۶۱۷۰ (۳۴۱۰)	۱۹/۲۵	۲۲۰	۳۰۰	۳	۱۵	۶۶
مولیبدن	۴۷۳۰ (۲۶۱۰)	۱۰/۲۲	۸۰	۱۲۰	۱۰	۳۰	۵۰
نیوبیم	۴۴۸۰ (۲۴۷۰)	۸/۵۷	۲۰	۴۵	۲۵	۸	۱۷

سایر مواد و فناوری‌هایی که در شرایط کاری دمای بالا مطلوب هستند شامل ترکیب‌های بین فلزی خواصی را فراهم می‌کنند که بین فلزات و سرامیک‌ها قرار دارند و گزینه‌های عالی‌ای برای کاربردهای دمای بالا هستند. این مواد سخت، سفت، مقاوم به خزش و مقاوم به اکسایش می‌باشند و استحکام خوبی در دمای بالا دارند که اغلب با دما افزایش می‌یابد. آلومینادهای تیتانیم و نیکل از مزیت اضافی سبکی قابل توجه نسبت به ابر آلیاژها برخوردارند. متأسفانه مشخصهٔ غالب ترکیب‌های بین فلزی نیز شکل‌پذیری ضعیف، چقرمگی شکست کم و مقاومت به خستگی ضعیف است. ساخت آنها با روش‌های معمول مانند شکل‌دهی مکانیکی و جوشکاری دشوار است. از نگاه مثبت، تحقیقات و پیشرفت‌هایی برای غلبه بر برخی از این محدودیت‌ها آغاز شده است و اکنون ترکیب‌های بین فلزی در زمرهٔ محصولات صنعتی ظاهر شده‌اند. در شکل ۲۹ حد بالایی خواص مکانیکی تعدادی از فلزات مهندسی مشاهده می‌شود.

سایر مواد و فناوری‌های نویدبخش برای کار در دماهای بالا مانند او تکتیک‌های منجمد شدهٔ جهتی، تک بلورها، ترکیبات بین فلزی، سرامیک‌های مهندسی ویژه و سیستم‌های پوششی پیش رفته، ویژگی‌های کارکردی در درجه حرارت‌های بالا را تأمین می‌کنند.

شکل ۲۹ـ شاخص دمایی حد بالایی خواص مکانیکی فلزات مهندسی مختلف

سرب، قلع و آلیاژهای آنها

خواص عمدهٔ سرب و آلیاژهای آن، چگالی زیاد به همراه کمترین استحکام و سخت پایی در بین فلزات مهندسی است. کاربردهای اصلی سرب به‌عنوان فلز خالص در باتری‌ها، پوشش کابل‌ها و سپرهای صوتی و لرزشی است. باتری‌های اسید ـ سرب به‌طور مشخصی مهم‌ترین مصرف‌کنندهٔ سرب است، و بیش از ۹۰ درصد سرب مورد مصرف در ایالات متحده از بازیابی باتری‌ها به‌دست می‌آید. در دیگر کاربردها از خواص مقاومت به خوردگی و دمای ذوب پایین آن بهره‌گیری می‌شود. قلع در درجهٔ اول به‌عنوان پوششی برای فولاد به منظور جلوگیری از خوردگی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

هنگامی که سرب و قلع به شکل آلیاژ هستند تقریباً همیشه به صورت توأم استفاده می‌شوند. مواد یاتاقانی و لحیم مهم‌ترین مصارف این دو فلز هستند. آلیاژ بابیت قلع یا بابیت حقیقی حاوی ۸۴ درصد قلع، ۸ درصد مس و ۸ درصد آنتیموان است. به

دلیل هزینهٔ سنگین قلع، از آلیاژی با ترکیب ۸۵ درصد سرب ۵ درصد قلع، ۱۰ درصد آنتیموان و ۰/۵ درصد مس به‌عنوان مادهٔ عمومی‌تر یاتاقانی استفاده می‌شود. آنتیموان با قلع ترکیب و به ذرات سخت در میان زمینهٔ نرم‌تر سرب مبدل می‌شود. محور با اصطکاک کمی‌روی ذرات سخت‌تر دوران می‌کند و زمینهٔ نرم مانند بالشتک نرمی نا هم راستایی را جبران و فاصلهٔ لازم بین سطوح را تأمین می‌کند. برای سرعت‌های پایین و بارهای متوسط، بابیت‌های پایهٔ سرب کاملاً جوابگو هستند. لحیم‌های نرم در اصل آلیاژهایی از سرب و قلع با ترکیب شیمیایی شبیه به ترکیب اوتکتیکی از ۶۱/۹ درصد قلع هستند.. آلیاژهای اوتکتیک دارای کمترین نقطهٔ ذوب هستند، اما هزینهٔ گزاف قلع، بسیاری را واداشته است تا مقدار قلع را از حالت بهینه کاهش دهند. نگرانی‌های محیطی و قوانین جدید، حرکت به سمت استفاده از لحیم‌های بدون سرب در کاربردهای درگیر با تهیه و توزیع آب را ترغیب می‌کنند.

فلزات و آلیاژهای غیر متداول

تعدادی از آلیاژها و فلزات غیر عادی به دلیل وجود خواص منحصر به فرد فیزیکی و مکانیکی‌شان اهمیت فراوانی در فناوری جدید پیدا کرده‌اند. برلیم ترکیب وزنی کمتر از آلومینیم و سخت پایی بالاتر از فولاد دارد و نسبت به اشعهٔ ایکس شفاف است. هافنیم، توریم و برلیم به دلیل تمایل جزئی به جذب نوترون در رآکتورهای اتمی مورد استفاده قرار می‌گیرند اورانیم مصرف شده به دلیل بالا بودن چگال (۱/۱۹ گرم در هر سانتی‌مترمکعب) در مصارف ویژه‌ای که حداکثر وزن در فضای محدود قرار می‌گیرد، مانند وزنه‌های تعادل یا چرخ لنگرها، به‌کار می‌آید کبالت علاوه‌بر مصرف به‌عنوان فلز پایه در ابر آلیاژها به‌عنوان مادهٔ چسباننده در قطعات متالورژی پودر و کاربیدهای تف جوشی شده استفاده می‌شود که باعث استحکام خوب در دمای بالا می‌گردد. زیر کنیم دارای مشخصهٔ مقاومت در برابر خوردگی استثنایی در برابر بیشتر اسیدها، کلریدها و اسیدهای آلی است. به‌علاوه دارای استحکام زیاد، جوش‌پذیری، مقاومت به خستگی مناسب و مشخصهٔ جذب نوترون است. که در ساخت آهنربا با فلزات خاکی کمیاب اضافه می‌شوند که در مقایسه با نوع استاندارد فریتی استحکام بالاتری دارند. آلیاژهای نیودیم ـ آهن ـ برن و ساماریم ـ کبالت دو نوع متداول هستند.

شیشه‌های فلزی

شیشه‌های فلزی یا فلزات نابلور به شکل نوارهای نازک و پودرهای ظریف از دههٔ ۶۰ میلادی به‌وجود آمده‌اند. با سردکردن مایع در سرعتی بیش از 10^5 تا 10^6 درجهٔ سانتی‌گراد بر ثانیه، جامد صلبی تولید می‌شود که فاقد ساختار بلوری است. از آنجا که این ساختار فاقد «عیوب» بلوری مرزدانه و نابه‌جایی نیز هست، این ماده خواص مکانیکی فوق‌العاده (استحکام بالا، کرنش کشسان زیاد، چقرمگی خوب و مقاومت به سایش)، رفتار مغناطیسی غیر معمول و مقاومت به خوردگی بالا از خود نشان می‌دهد.

پیشرفت‌های اخیر تولید فلز نا بلور (بی‌شکل) با سرعت سرد کردن تنها ۱ تا ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد بر ثانیه را ممکن ساخته است. امروزه قطعات پیچیده‌ای از ماده‌ای مشهور به شیشهٔ فلزی توده‌ای (BMG) را با ضخامت تا چندین سانتی‌متر می‌توان توسط روش‌های معمول ریخته‌گری از جمله ریخته‌گری حدیده‌ای تولید کرد. چون این ماده از مایع به سمت شیشه می‌رود و نه از مایع به شکل بلوری، محصولات دقیق را می‌توان با انقباض کلی اغلب کمتر از ۰/۵ درصد ساخت. ساچمه‌ها یا پودرهای شیشه‌ای فلزی توده‌ای را نیز می‌توان تولید کرد و چون بسیاری از آلیاژها دمای ذوب پایینی دارند می‌توان محصولات را با گرمایش مجدد به شرایط نرم و شکل‌دهی با فرایندهایی که معمولاً در شکل‌دهی پلیمرهای گرمانرم به‌کار می‌روند (قالب‌گیری فشاری، حدیده‌کاری، قالب‌گیری دمشی و تزریقی) تولید نمود. کاربردهایی که اکنون ظهور کرده‌اند در حوزه‌های متنوعی مانند سازه‌های باربر، پوسته‌های الکترونیکی، اتصالات جایگزین و کالاهای ورزشی قرار دارند. به‌علاوه شیشه‌های فلزی نیز ابداع شده‌اند که ساختار شیشه‌ای خود را در دمای تا ۸۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۱۶۰۰ درجه فارنهایت) حفظ می‌کنند.

گرافیت

گرافیت از نظر فنی یک فلز نیست، اما یکی از مواد مهم و پر قابلیت مهندسی محسوب می‌شود. ویژگی‌های فلز و غیر فلز را از خود نشان می‌دهد. از جمله هدایت الکتریکی و حرارتی خوب، خنثی بودن، توانایی تحمل دماهای بالا و روان‌سازی به‌علاوه، ویژگی منحصر به فرد گرافیت استحکام فزاینده در دماهای بالاتر است. گرافیت چند بلورهٔ تبلور مجدد یافته دارای استحکام مکانیکی تا ۷۰ مگاپاسکال (۱۰ هزار پوند بر اینچ مربع) در دمای اتاق است که در دمای ۲۵۰۰ سانتی‌متر (۴۵۰۰F) دو برابر می‌شود. گرافیت به میزان قابل توجهی در کوره‌های قوس الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مصارف دیگر آن نیز روزبه‌روز افزایش می‌یابند. افزودن مقدار کمی از بوریدها، کاربیدها، نیتریدها و سیلیسیدها به گرافیت منجر به کاهش چشمگیر میزان اکسایش در دمای زیاد و افزایش استحکام مکانیکی آن می‌شود. بدین ترتیب این ماده برای مصارفی چون شیپورهٔ راکت و قالب‌های دائمی ریخته‌گری فلزات گوناگون به دلیل قیمت کمتر از فولاد ابزار و عدم نیاز به عملیات حرارتی و انبساط حرارتی پایین، کاملاً مناسب است. پرداخت سطح گرافیت در اثر ماشین‌کاری بسیار صاف و یکنواخت است. الیاف گرافیتی کاربرد فراوانی در مواد مرکب پیدا کرده‌اند.

ارزشیابی نهایی: واحد یادگیری انتخاب مواد مهندسی

شایستگی	استاندارد عملکرد	نمره شایستگی	شاخص
تشخیص علل استفاده از مواد مهندسی در ساخت مصنوعات فلزی	مشخص نمودن خواص مورد نیاز مواد انتخاب شده برای ساخت مصنوعات فلزی	۳	۱ـ انتخاب ماده براساس هزینه تمام شده و اقتصاد تولید ۲ـ جایگزین مناسب مواد براساس موجودی بازار و سهولت دسترسی
		۲	۱ـ تعیین خصوصیات اصلی ماده مورد نیاز در ساخت یک مصنوع ۲ـ تعیین خصوصیات فرعی ماده مورد نیاز در ساخت یک مصنوع ۳ـ دسته بندی مواد مهندسی از نظر خاصیت‌های اصلی مشخص شده ۴ـ انتخاب ماده مهندسی مناسب
انتخاب ماده مهندسی برای ساخت مصنوعات فلزی		۱	عدم رعایت شاخص‌های ۲ و ۴ از دسته شاخص‌های نمره ۲
توضیحات: در نمره ۲، شاخص شماره ۲ جز شاخص‌های اصلی نیست و اگر به آن اشاره نشد، نمره کامل قابل احراز است.			

فصل ۴

محاسبه در تولید

جدول بودجه‌بندی

ردیف	موضوع جلسه	شماره جلسه	زمان جلسه
۱	اهمیت محاسبات هزینه در تولید	جلسه اول	۲ ساعت
۲	تأثیر استفاده از تکنولوژی‌های نوین در کاهش هزینه‌های تولید	جلسه دوم	۲ ساعت
۳	عوامل تعیین‌کننده در هزینه ساخت	جلسه سوم	۲ ساعت
۴	برآورد مواد اولیه (ورق‌ها)	جلسه چهارم	۲ ساعت
۵	برآورد مواد اولیه (پروفیل‌ها)	جلسه پنجم	۲ ساعت
۶	نحوه سفارش‌گذاری و استعلام خرید	جلسه ششم	۲ ساعت
۷	برآورد مواد مصرفی جوش	جلسه هفتم	۲ ساعت
۸	پارامترهای مؤثر در فرایند SMAW و تأثیر انتخاب فرایند در هزینه مواد مصرفی	جلسه هشتم جلسه نهم	۲ ساعت ۲ ساعت
۹	تعیین هزینه جوشکاری	جلسه دهم	۲ ساعت
۱۰	هزینه‌های انرژی و راندمان فرایندها	جلسه یازدهم	۲ ساعت
۱۱	شناسایی مراحل و فرایندهای مورد نیاز برای تولید محصول	جلسه دوازدهم	۲ ساعت
۱۲	هزینه‌های نیروی انسانی و هزینه سربار	جلسه سیزدهم	۲ ساعت
۱۳	روش‌های محاسبه هزینه تولید	جلسه چهاردهم	۲ ساعت
۱۴	عوامل تأثیرگذار در تعیین سود برای یک محصول	جلسه پانزدهم	۲ ساعت

مقدمه

هدف از طرح سؤالات ابتدای فصل ایجاد انگیزه و دادن یک دید کلی می‌باشد در مورد آنچه که قرار است تا پایان پودمان آموزش داده شود و لزوماً یک جواب مشخص برای هر سؤال مد نظر نیست؛ مثلاً ممکن است شخصی هدف از ایجاد یک مجموعه تولیدی را کسب سود و شخص دیگری هدف را اشتغال‌زایی یا رشد و تعالی جامعه بیان کنند؛ ولی تا پایان این پودمان هر هنرجو باید با توجه به دیدگاه‌های خود جواب مشخصی برای این سؤالات داشته باشد و تأثیر کلیه متغیرات و پارامترهای مطرح شده در این پودمان را در کسب و کار آینده خود بشناسد.

جلسه اول: اهمیت محاسبات هزینه در تولید

در بخش ابتدایی پیشنهاد می‌شود اهمیت محاسبات و دانش فنی تخصصی در تولید یک محصول بیان شود و هنرآموز به این درک برسد که قبل از شروع هر فرایند تولیدی حتماً باید سود و زیان مربوط به آن را بررسی کند و شناخت درستی از پارامترهای تأثیرگذار در هزینه تولید و بازارهای رقابتی داشته باشد تا پس از انجام آن فعالیت تولیدی دچار ضرر و زیان نشود.

علاوه بر موارد فوق، برای تحقق این امر نیاز است هنرجویان با برخی از مفاهیم اولیه مانند هزینه[۱]، سرمایه[۲]، درآمد[۳] و سود[۴] آشنا شوند و اهمیت آنها را در محاسبات تولید بیاموزند تا بتوانند در کارهای تولیدی و آینده شغلی خود هزینه‌های تمام شده یک محصول و متغیرات تأثیرگذار در آنها را بشناسند و در بازارهای رقابتی با استفاده از فناوری‌های نوین و آموخته‌های خود، هزینه‌های تمام شده یک محصول را بهینه نموده و سود مناسبی در آن کسب نمایند.

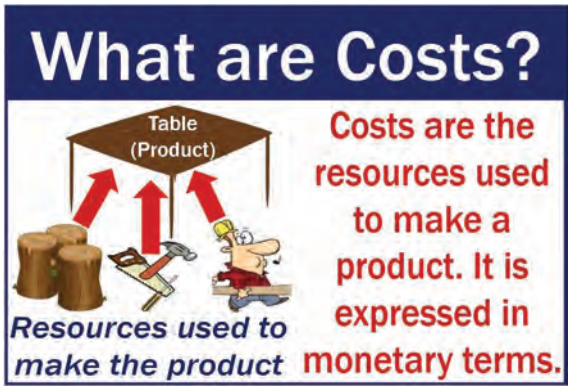
هزینه

دارایی مصرف شده برای کسب درآمد را هزینه گویند؛ مثل هزینه حقوق و دستمزد و هزینه اجاره.

درآمد

منابع کسب‌شده ناشی از فروش کالا و ارائه خدمات به مشتریان را درآمد گویند.

۱ـ Cost
۲ـ Fund
۳ـ Income
۴ـ Profit



سرمایه

به هر نوع دارایی‌های مالی یا ارزش دارایی‌های مالی نظیر وجه نقد موجود در حساب‌های بانکی، کارخانه‌ها، ماشین‌آلات و تجهیزاتی که برای تولید در اختیار شرکت‌هاست، سرمایه گفته می‌شود.

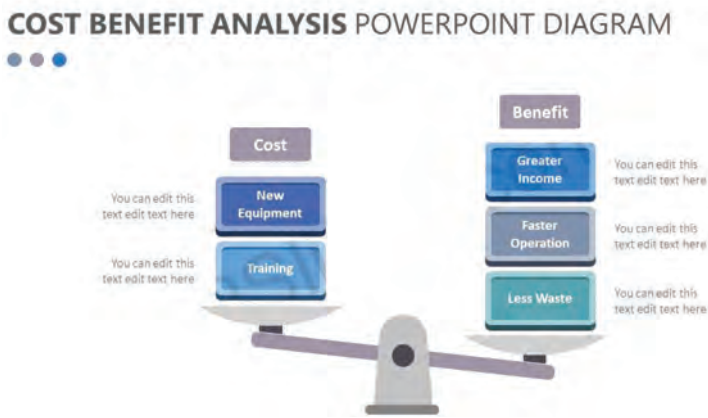
سرمایه می‌تواند معانی مختلفی داشته باشد، معنیِ دقیق آن به مفهومی که واژه سرمایه در آن استفاده شده است، بستگی دارد. معمولاً به منابع مالی که مورد استفاده قرار می‌گیرند سرمایه گفته می‌شود.

شرکت‌ها و جوامعی که سرمایه بیشتری دارند از سایر رقبای خود با سرمایه کمتر، عملکرد بهتری خواهند داشت.

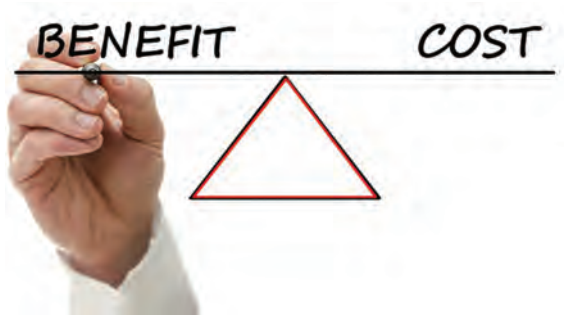
سود

یک نوع فایده مالی است و وقتی اتفاق می‌افتد که مجموع درآمدها از مجموع هزینه‌هایی که برای کسب آن درآمدها صرف شده است، بیشتر شود و با فرمول زیر قابل محاسبه است:

سود = هزینه - درآمد



اگر هزینه‌ها بیشتر از درآمدها باشد زیان کرده‌ایم، در نتیجه باید بدانیم که سود، سرمایه را افزایش و برعکس زیان، سرمایه را کاهش خواهد داد.



نکته

درآمدها افزایش‌دهنده سرمایه و هزینه‌ها کاهش‌دهنده سرمایه هستند.

کاربرد محاسبات هزینه در تولید

معمولاً این امر به دو منظور انجام می‌شود:

۱ قبل از ساخت محصول

برای تصمیم‌گیری‌های اولیه قبل از تولید یک محصول و نحوه تولید آن به ما کمک می‌کند تا بتوانیم روش‌های مناسبی برای تولید و نحوه ارائه یک محصول در بازار داشته باشیم.

۲ پس از ساخت محصول

می‌تواند در نحوه تعیین سود و میزان آن و رقابت در بازار بسیار مفید باشد.

اهمیت محاسبات هزینه در تولید

به طور کلی شناخت پارامترها و هزینه‌های تأثیرگذار در تولید محصول می‌تواند در نحوه تعیین قیمت در بازار رقابتی و تعیین میزان سود و همچنین تصمیم‌گیری‌های استراتژیک مجموعه بسیار مفید باشد.

علاوه بر موارد ذکر شده می‌توان با داشتن این اطلاعات برای بهینه کردن فرایندهای تولید و استفاده از تکنولوژی‌های نوین و تأثیر آن در کاهش هزینه‌های تولید و نهایتاً افزایش سود مجموعه تصمیم‌گیری نمود.

دانش فنی و تخصصی در رابطه با نحوه طراحی[۱]، خرید[۲] و ساخت[۳] محصول می‌تواند مزیت بسیار خوبی برای هنرجویان این رشته نسبت به سایر استادکارانی باشد که به صورت تجربی در این رشته مشغول به فعالیت می‌باشند.

۱ـ Engineering
۲ـ Procurement
۳ـ Construction

جلسه دوم: تأثیر استفاده از تکنولوژی‌های نوین در کاهش هزینه‌های تولید

حرکت سیستم تولیدی از تولید سنتی به صنعتی و استفاده از تکنولوژی در تولید، باعث افزایش قابلیت شرکت در ارائه محصولات با قیمت پایین‌تر، کیفیت و انعطاف بالاتر و سود بیشتر می‌شود.

تکنولوژی تولید به مجموعه سخت‌افزار و نرم‌افزارهای تولیدی اطلاق می‌گردد که در توسعه و تکمیل فرایندهای تولید به کار گرفته می‌شوند. تکنولوژی‌های نوین تولیدی به طرق مختلف بر قابلیت‌های رقابتی تولید تأثیر می‌گذارند. مثلاً در گذشته برای تولید محصولی از روش سنتی آهنگری استفاده می‌شده است، ولی حالا با پیشرفت تکنولوژی و تجهیزات می‌توان همان محصول را با روش‌های فرجینگ یا پرس‌کاری یا سایر روش‌ها، با سرعت بسیار بالا و هزینه به نسبت پایین‌تر از آنچه در گذشته تولید می‌شده و همچنین کیفیتی به مراتب بالاتر تولید کرد، پس در دنیای امروز اگر برای تولید یک محصول از تکنولوژی‌های قدیمی استفاده کنیم هزینه تمام شده ما بسیار بالاتر از رقبا خواهد بود و در نتیجه امکان فروش محصول و یا کسب سود امکان‌پذیر نمی‌باشد.

این نکات باید قبل از شروع تولید بررسی شود.

جلسه سوم: عوامل تعیین‌کننده در هزینه تولید

علاوه بر موارد ذکر شده در کتاب، پارامترهای دیگری نیز می‌تواند در این امر تأثیر داشته باشد که در زیر به آنها اشاره شده است.

هزینه مواد اولیه

هزینه مواد مصرفی

هزینه نیروی انسانی

هزینه‌های مربوط به حمل‌ونقل

هزینه سرمایه مورد نیاز برای تأمین محل تولید، تجهیزات و ماشین‌آلات

هزینه سرمایه مورد نیاز برای تأمین مواد اولیه مصرفی مورد نیاز تا فروش محصول (سرمایه در گردش)

هزینه‌های بالاسری سربار و هزینه‌های قانونی مانند بیمه، دارایی، ارزش افزوده

به طور مثال یکی از منابع و یا عوامل مورد نیاز تولید، سوخت و یا انرژی است. نسبت میزان تولید به انرژی مصرفی در یک دوره، کارایی تولید را تشکیل می‌دهد که به آن بهره‌وری انرژی نیز گفته می‌شود.
انرژی به این علت مورد استفاده قرار می‌گیرد تا با استفاده از آن، کاری انجام و یا

تولید و بازده‌ای به دست آورده شود. هر قدر میزان کار و یا بازده به دست آورده شده، با مصرف انرژی کمتری امکان‌پذیر گردد بهره‌وری افزایش می‌یابد، مثلاً جایگزینی یک لامپ کم‌مصرف به جای لامپ پرمصرف در طول عمر خود موجب کاهش مصرفی معادل با یک بشکه نفت خام می‌شود.

بحث کلاسی

با توجه به جدول ۱ بحث کنید که برای محاسبه هزینه‌های تولید یک محصول فلزی نیاز به چه دانش و مهارتی می‌باشد؟
هدف سؤال این است که هنرجو به این درک برسد که پیش زمینه محاسبه هزینه، داشتن اطلاعات فنی و تخصصی کافی در حوزه‌های مختلف تولید محصول می‌باشد و اینکه بداند هر چه در این زمینه مهارت بیشتری کسب کند، می‌تواند محاسبات خود را با دقت و صحت بیشتری انجام دهد.
لازم به توضیح است مطابق جدول، صرف داشتن اطلاعات کافی در یک حوزه مثلاً شناخت مواد و خواص آنها نمی‌تواند در محاسبه هزینه تولید مفید باشد بلکه باید یک مجموعه‌ای از اطلاعات در حوزه‌های مختلف مرتبط با تولید داشت تا بتوانیم تصمیم‌گیری درستی در نحوه تولید و استفاده از متغیرات مختلف در تولید یک محصول و محاسبه هزینه تمام شده آن داشت.

در مورد سایر موارد در ادامه توضیح داده خواهد شد.

دانش افزایی

برای محاسبه بهای تمام شده نیاز می‌باشد برخی مفاهیم توضیح داده شود.

منظور از هزینه‌یابی و دایره هزینه‌یابی چیست؟

هزینه‌یابی عبارت است از تعیین بهای تمام شده کالای ساخته شده و موجودی کالای در جریان ساخت و منظور از دایره هزینه‌یابی دایره‌ای است که مسئولیت نگهداری اسناد و مدارک مرتبط با حسابداری عملیات تولیدی و غیرتولیدی را به عهده داشته و در ضمن وظیفه تجزیه و تحلیل کلیه هزینه‌های تولیدی، توزیع و فروش جهت ارائه و استفاده مدیریت را به عهده دارد. فعالیت‌های دایره هزینه‌یابی در ارتباط با گذشته، حال و آینده واحد اقتصادی می‌باشد.

کالای ساخته شده چیست؟

کالایی که با گذراندن مراحل تولید به شکل کامل ساخته شده است و در واقع فرایند تولید را به شکل کامل طی نموده است را کالای ساخته شده می‌گویند.

کالای در جریان ساخت چیست؟

کالاهایی که در جریان مراحل تولید قرار گرفته‌اند ولیکن کامل نشده‌اند و بخشی از فرایند تولید را طی نموده‌اند ولی ساخت آنها تمام نشده است را کالای در جریان ساخت گویند.

منظور از تولید چیست؟

هرگاه مواد اولیه با عبور از یک فرایند ساخت تغییر شکل دهد و به یک کالای ساخته‌شده تبدیل شود اصطلاحاً می‌گویند تولید صورت پذیرفته است.

به عنوان مثال اگر یک تکه چوب با گذشت از فرایند برش و اتصال به میز و صندلی تبدیل شود این عمل تولید محسوب می‌گردد و یا فرایند تبدیل چند ماده شیمیایی به رنگ، تولید محسوب می‌شود.

البته باید توجه داشت ممکن است کالای ساخته شده یک فرایند تولید، مواد اولیه تولید دیگر محسوب گردد و در فرایندی دیگر به یک کالای ساخته شده دیگر تبدیل شود.

به‌عنوان مثال سنگ آهن که مواد اولیه ذوب آهن می‌باشد با طی مراحل تولید به ورق آهن و نبشی و اشکال مختلف تبدیل می‌شود و این کالای ساخته شده یعنی همان ورق آهن مواد اولیه ساخت و تولید میز فلزی، اجاق گاز و سایر موارد قرار خواهد گرفت.

توضیحات در خصوص مثال هزینه تمام شده جوشکاری:

هدف از طرح مثال این بوده است که هنرجویان بدانند یک کار مشترک که خواسته ما از آن معلوم است اگر در نحوه اجرا و ساخت آن دقت کافی نشود، تا چه حد ممکن است هزینه‌های متفاوتی داشته باشد.

روش‌های مختلفی برای اجرای یک کار مشخص استفاده می‌شود که با توجه به دانش و تجربه فرد اجراکننده و کنترل یا عدم کنترل آن، ممکن است هزینه‌های بسیار متفاوتی داشته باشند و همان‌طور که در مثال عنوان شده است برای جوشکاری یک اتصال توسط نفرات مختلف، هزینه تمام شده حتی می‌تواند بیش از ۲ برابر متفاوت باشد. پس باید نیازهای خود را در زمان طراحی دقیق مشخص نموده و در زمان اجرا نیز کنترل‌های لازم در خصوص اجرای دقیق آن را هدف داشته باشیم.

نکته

در مثال مطرح شده میزان فلز پرکننده مصرف شده (الکترود) توسط جوشکار دوم ۸ کیلوگرم و توسط جوشکار سوم ۱۲ کیلوگرم از حالت استاندارد (جوشکار اول) بیشتر می‌باشد.

جلسه چهارم و پنجم: برآورد مواد اولیه (ورق و پروفیل)

علاوه بر موارد ذکر شده در کتاب در خصوص محاسبه این بخش ذکر این نکته حائز اهمیت می‌باشد که صرفاً معیار محاسبه وزن برای تمام مصنوعات فلزی کار درستی نمی‌باشد.

حتماً قبل از شروع محاسبه باید به واحد رایج بازار در فروش آن قسمت توجه شود؛ مثلاً برخی مواقع ممکن است ورق‌های نازک یا گالوانیزه یا زنگ نزن یا فلزات غیرآهنی علاوه بر کیلویی، به صورت مترمربعی یا رول یا شیت ورق فروخته شود پس اگر محاسبات ما وزنی باشد، در هنگام سفارش‌گذاری برای خرید کالا دچار مشکل می‌شویم.

نکته دیگری که باید به آن توجه شود در خصوص نحوه سفارش‌گذاری می‌باشد.

باید به این نکته توجه داشت که برای سفارش‌گذاری صرفاً میزان مواد اولیه قیدشده در نقشه ملاک سفارش‌گذاری قرار نگیرد زیرا ممکن است بخشی از ماده اولیه دورریز شود.

علاوه بر مقدار مواد اولیه مورد نیاز برای تولید محصول باید قبل از سفارش‌گذاری به ابعاد استاندارد و رایج موجود در بازار نیز توجه شود چه بسا در تیراژهای بالا ممکن است ابعاد استاندارد موجود در بازار روی اندازه نقشه هم تأثیرگذار باشد یعنی با توجه به اینکه حجم کار زیاد است نیاز باشد ابعاد و اندازه‌ها به صورتی تعیین شود که با ابعاد استاندارد رایج در بازار مطابقت داشته باشد تا دورریز نداشته باشیم، یا بعضاً ممکن است عکس این مطلب اتفاق بیافتد؛ مثلاً میزان نیاز ما از یک نوع یا ابعاد به قدری زیاد باشد که بدون توجه به موارد رایج بازار، مستقیم به کارخانه‌های سازنده سفارش تولید دهیم.

در خصوص پروفیل‌ها نیز در برخی مواقع علاوه بر واحد کیلوگرم، از شاخه یا مترطول یا عدد نیز استفاده می‌شود؛ مثلاً در مورد تیرآهن‌ها معمولاً به صورت شاخه‌ای فاکتور صادر می‌شود.

لازم به توضیح است در صورت استفاده از نرم‌افزارهایی مانند Inventor,solid,Tekla و... برای طراحی مصنوعات و سازه‌ها، دیگر نیازی به محاسبه این موارد به صورت دستی نمی‌باشد و می‌توان با استفاده از نرم‌افزار وزن و مساحت سطح ورق و طول پروفیل مورد نیاز را به‌دست آورد.

در صفحه بعد نمونه‌ای از خروجی این نرم‌افزارها آورده شده است.

جدول وزنی نرم‌افزار Tekla Structure

GENERAL NOTES:						
MATERIAL LIST FOR ASSEMBLY MK'D				1C1/12	1 No. Requlred	
Mark	Profile	Material	No.	Length	Area	Weight
c/145	PL15*400	ST37	4	6000	5.0	282.6
c/146	PL15*400	ST37	4	4100	3.4	193.1
bpl/106	PL30*750	ST37	1	750	1.2	132.5
c/187	PL30*390	ST37	6	380	0.3	34.9
c/152	PL15*250	ST37	2	700	0.4	20.3
c/116	PL10*410	ST37	1	410	0.4	13.2
c/115	PL10*100	ST37	4	700	0.2	5.5
c/118	PL10*200	ST37	1	350	0.2	5.5
c/154	PL15*130	ST37	2	200	0.1	2.9
c/117	PL10*200	ST37	2	180	0.1	2.8
c/153	PL15*120	ST37	6	200	0.1	2.7
spl/106	PL12*100	ST37	3	260	0.1	2.4
spl/105	PL12*100	ST37	3	200	0.0	1.9
u/101	UNP60	ST37	32	300	0.1	1.5
1BK4/4		ST37	3		3.0	196.7
				Total	50.8	3005.5

خروجی نرم‌افزار Inventor

بحث کلاسی

به نظر شما برای محاسبه مواد اولیه محصول بالا، صرفاً به دست آوردن جرم خام محصول کافی می‌باشد؟
هدف از عنوان کردن این بحث درک صحیح از نحوه سفارش مواد اولیه برای ساخت محصول می‌باشد.
مثلاً برای ساخت مثال ذکر شده باید قسمت مثلثی که از روی قطعه C برش داده شده نیز در سفارش در نظر گرفته شود، یعنی یک مکعب مستطیل خریداری شود و با فرایندهای مختلف مانند برش‌کاری، ماشین‌کاری یا سایر روش‌ها، بخش اضافی آن حذف و به عنوان ضایعات فروخته شود.

نکته

در انتخاب فرایند برای حذف بخش فوقانی اجازه دهید هنرجویان با هم بحث کنند و بیاموزند که مثلاً اگر از روش اره‌کاری برای بریدن استفاده کنند ممکن است ضایعات حاصله در جای دیگری قابل استفاده باشد یا به قیمت بالاتری فروخته شود تا اینکه از روش‌های براده‌برداری کامل مانند تراشکاری برای حذف آن بخش استفاده شود.
پس همیشه نباید به بخش‌هایی که در تولید یک محصول قابل استفاده نمی‌باشند به عنوان ضایعات نگاه کرد، بلکه باید به این نکته توجه داشت که ممکن است این بخش که در تولید این محصول استفاده نمی‌شود، در جای دیگری استفاده داشته باشد.

پژوهش کنید

پژوهش کنید آیا معیار جرمی برای تمامی مواد اولیه، ملاک مناسبی برای ارزیابی می‌باشد؟
هدف این پژوهش ایجاد چالش بین هنرجویان در این خصوص می‌باشد که برخی ممکن است به این مسئله برخورده باشند که برای خرید برخی از اقلام غیر از وزن، طول، مساحت یا تعداد یک ماده اولیه برایشان مهم بوده است و این امر سبب می‌شود که هنرجویان بیاموزند که ممکن است صرفاً برای برآورد و خرید مواد اولیه، محاسبه وزن کافی نباشد.

جلسه ششم: نحوه سفارش‌گذاری و استعلام خرید

برای سفارش‌گذاری نیاز به طراحی و نقشه محصول و همچنین شناخت کافی از مواد مهندسی و نحوه محاسبه آنها می‌باشد.
چارت زیر نشان‌دهنده مراحل سفارش‌گذاری است.

همان‌طور که در پودمان انتخاب مواد مهندسی اشاره شده است برای سفارش‌گذاری باید به موارد زیر دقت نمود:
برای خرید ورق فلزی ویژگی‌های زیر باید هنگام خرید در نظر گرفته شود:

۱ طول، عرض و ضخامت (معمولاً بر حسب میلی‌متر)
۲ جنس ورق (سیاه، رنگی، گالوانیزه، عاج‌دار، روغنی، قلع اندود، آلومینیوم، استنلس استیل و...)
۳ کیفیت سطحی (معمولی، بدون خش، براق)
۴ وزن ورق
۵ تعداد برگه‌ها

برای خرید نیم‌رخ‌های نورد شده فلزی مانند تیرآهن، قوطی، نبشی، ناودانی و... نیز باید به موارد صفحهٔ بعد توجه داشت.

۱ نوع محصول (IPE,IPB,INP,UNP,BOX,L و...)؛
۲ ابعاد (با توجه به نوع محصول باید به ابعاد آن توجه شود)؛
۳ وزن محصول (معمولاً پروفیل‌ها با ضخامت متفاوت در بازار وجود دارند که به صورت سبک و سنگین یا نیمه سنگین سفارش داده می‌شوند).

پس از استخراج لیست مواد و مصالح مورد نیاز از روی نقشه‌های مهندسی، آنها را در یک جدول مشابه جدول زیر ثبت نموده و طی مذاکرات با فروشنده‌ها و کارخانجات تولیدکننده از آنها درخواست پیش‌فاکتور می‌کنیم.

مثال ۱: در جدول زیر نمونه فرم درخواست خرید ورق نشان داده شده است.

ردیف	نوع ورق	کد ورق	ابعاد	تعداد
۱	سیاه[۱]	ST۳۷	۱۲۰۰×۱۵۰۰×۱۵	۵
۲	سیاه	ST۳۷	۶۰۰۰×۱۲×۱۰۰۰	۴
۳	سیاه	ST۵۲	۱۲۰۰۰×۲۰×۲۰۰۰	۳
۴	گالوانیزه		۲۰۰۰×۱۰۰۰×۳	۱۰
۵	استیل	۳۰۴L	۱۰۰۰×۵۰۰×۲	۳
۶	روغنی[۲]	ST۱۲	۲۰۰۰×۱۰۰۰×۰/۸	۱۰

نکته

هنگام آماده کردن اطلاعات و جدول مواد مورد نیاز برای استعلام خرید، حتماً باید به این موضوع توجه شود که لزوماً نباید تمامی مواد و مصالح استخراج شده از نقشه در یک جدول آورده شود بلکه با توجه به نوع مواد و تأمین‌کنندگان می‌توان جداول را تفکیک نمود، مثلاً برای تهیه مواد مورد نیاز برای ساخت یک صندلی، مواد فلزی در یک جدول، موارد چوبی در یک جدول، پیچ و مهره در یک جدول و... به صورت مجزا آورده شود، زیرا لزوماً یک فروشنده تأمین‌کننده تمام این مواد و مصالح نیست.

۱ـ به ورق سیاه، ورق نورد گرم نیز گفته می‌شود.
۲ـ به ورق روغنی، ورق سفید یا ورق نورد سرد نیز گفته می‌شود.

در زیر نمونه‌ای از پیش فاکتور مرتبط با مصنوعات فلزی و اطلاعات مورد نیاز در یک پیش فاکتور ارائه شده است.

خریدار: شماره پیش فاکتور: ۹۷۰۱۷۵۱۰۱۸ منبع قابل پرداخت: ۹.۵۷۷.۳۷۱.۲۲۸ ریال

تاریخ ۱۳۹۷/۰۷/۱۷

فروشنده:

مشخصات کالا یا خدمات مورد معامله

ردیف	شرح	تعداد (شاخه)	مورد نیاز کیلوگرم	قیمت واحد (ریال)	قسمت واحد ارزش افزوده (ریال)	هزینه حمل (ریال)	قسمت واحد هزینه حمل (ریال)	مبلغ کل با احتساب هزینه حمل (ریال)
۱	PL 30*2000*6000	–	۹۰۰۱۸	۲۰۰۹۰۰	۲۲۰۵۸۱	۱۰۲۰۰	۲۵.۷۸۱	۳.۲۰۵.۴۹۲.۰۵۸
۲	PL 25*2000*6000	–	۳۰۶۲۰	۲۰۰۹۰۰	۲۲۰۵۸۱	۱۰۲۰۰	۲۵.۷۸۱	۱.۲۰۱.۸۱۲.۲۲۰
۳	PL 20*2000*6000	–	۲۷۸۵۰	۲۰۱۰۱۰۰	۲۲۰۵۸۱	۱۰۲۰۰	۲۵.۷۸۱	۱.۲۷۵.۰۰۰.۸۵۰
۴	PL 15*1500*6000	–	۲۲۷۲۰	۲۰۰۵۰۰	۲۲.۱۲۵	۹۰۰	۲۵.۰۲۵	۱.۰۲۳.۸۷۲.۸۵۰
۵	PL 12*1500*6000	–	۲۶۰	۲۰۰۵۰۰	۲۲.۱۲۵	۹۰۰	۲۵.۰۲۵	۲۰.۷۲۰.۷۰۰
۶	PL 10*1500*6000	–	۱۳۳۱۰	۲۰۰۵۰۰	۲۲.۱۲۵	۹۰۰	۲۵.۰۲۵	۵۱۹.۵۲۸.۹۵۰
۷	PL 8*1500*6000	–	۳۲۴۰	۲۰۰۵۰۰	۲۲.۱۲۵	۹۰۰	۲۵.۰۲۵	۱۵۱.۳۵۱.۲۰۰
۸	UNP 120*6000	–	۱۲.۰۰۰	۲۶۰۲۰۰	۵۱.۸۰۳	۹۰۰	۵۱.۸۰۳	۱.۱۹۱.۴۴۹.۰۰۰
۹	IPE 120*12000	۳	۳۶۲	۸.۵۰۰.۰۰۰	۸.۶۷۸.۰۰۰	–	۸.۶۷۸.۰۰۰	۲۰۹۲۸.۰۰۰
۱۰	IPE 140*12000	۳	۶۶۲	۸.۵۰۰.۰۰۰	۹.۲۶۵.۰۰۰	–	۹.۲۶۵.۰۰۰	۲۷.۷۹۵.۰۰۰
۱۱	IPE 160*12000	۲۰	۳.۷۶۲	۸.۷۰۰.۰۰۰	۹.۹۸۳.۰۰۰	–	۹.۹۸۳.۰۰۰	۱۸۹.۶۶۰.۰۰۰
۱۲	IPE 180*12000	۲۳	۵.۱۸۶	۹.۹۰۰.۰۰۰	۱۰.۷۹۱.۰۰۰	–	۱۰.۷۹۱.۰۰۰	۲۴۸.۱۹۳.۰۰۰
۱۳	IPE 200*12000	۲	۲.۲۱۶	۱۲.۶۶۰.۰۰۰	۱۳.۶۶۰.۰۰۰	–	۱۵.۶۶۰.۰۰۰	۱۳۷.۲۴۰.۰۰۰
۱۴	IPE 220*12000	۲	۶۶۲	۱۶.۰۰۰.۰۰۰	۱۷.۴۲۰.۰۰۰	–	۱۷.۴۲۰.۰۰۰	۳۴.۸۸۰.۰۰۰
۱۵	IPE 240*12000	۲	۲۳۷	۱۷.۰۰۰.۰۰۰	۱۸.۵۳۰.۰۰۰	–	۱۸.۵۳۰.۰۰۰	۳۷.۰۶۰.۰۰۰
۱۶	هزینه حمل تعرفه به ازای ۱۲.۶۰۰ کیلوگرم						۹۰۰	۱۲.۲۲۴.۶۰۰
	:جمع کل	۶۲	۲۰۲.۹۵۲					۹.۵۷۷.۳۷۱.۲۲۸

شرایط و نحوه فروش بعدی: کسورات قانونی: ...

اعضاء فروشنده: اعضاء خریدار:

* اعتبار قیمتها تا تاریخ ۱۳۹۷/۰۷/۱۹

* لازم به ذکر است تحویل مواد مادام دکرشده پس از امضاء اعضاء کامیونداران میباشد

نکته

بر حسب نوع مواد و گستردگی تأمین‌کنندگان و خواسته ما در مورد کیفیت، قیمت و زمان تحویل مواد، می‌توان از چندین منبع مختلف برای خرید یک محصول استعلام کرد.

پس از دریافت پیش‌فاکتورها از منابع مختلف می‌توان کلیه شاخص‌های کمی، کیفی، فنی و مالی تأمین‌کنندگان را مورد ارزیابی قرار داد و بر اساس خواسته‌های مورد نیاز خود، تصمیم‌گیری درستی برای خرید داشته باشیم.

نکته

الزاماً قیمت کمتر نمی‌تواند ملاک درستی برای انتخاب فروشنده باشد بلکه باید به مواردی مانند کیفیت، توان انجام حجم سفارش، زمان تحویل، فاصله انبار تا کارخانه، خوش‌نامی فروشنده و... نیز توجه داشت.

نکته

تصمیم‌گیری در مورد حمل مواد اولیه باید قبل از تکمیل فرایند خرید انجام شود و مشخص شود هزینه حمل آن به عهده خریدار است یا فروشنده.

پس از انتخاب فروشنده و خرید مواد باید به این نکته توجه داشت که فاکتور دریافتی باید شامل یک سری اطلاعات شامل مشخصات خریدار و فروشنده، تاریخ، مبلغ، کد یا شناسه اقتصادی، مهر فروشنده و سایر موارد قانونی باشد که در زیر چندین نمونه فاکتور بر حسب متغیرهای مختلف برای آشنایی بیشتر آورده شده است.

نمونه فاکتور خرید ورق (به صورت کیلویی)

	شماره فاکتور:									
فاکتور فروش کالا و خدمات			تاریخ:	۱۳۹۷/۰۳/۲۸						
مشخصات فروشنده										
نام شخص حقیقی/ حقوقی: شماره تلفن/ نمابر: نشانی:		شماره اقتصادی: کد پستی ۱۰ رقمی:		شماره ثبت/ شماره ملی:						
مشخصات خریدار										
نام شخص حقیقی/ حقوقی: شماره تلفن/ نمابر: نشانی:		شماره اقتصادی: کد پستی ۱۰ رقمی:		شماره ثبت/ شماره ملی:						
مشخصات کالا یا خدمات مورد معامله (کلیه مبلغ به ..... ریال و ..... می‌باشد.)										
ردیف	کد کالا	شرح کالا یا خدمت	تعداد / مقدار	واحد	مبلغ واحد	مبلغ کل	مبلغ تخفیف	مبلغ کل پس از کسر تخفیف	جمع مالیات و عوارض	جمع مبلغ کل به‌علاوه جمع مالیات و عوارض با احتساب تخفیف
۱	۰۰۶۰۱۰۴۶	A۵۱۶GR۷۰N ۱۰×۶۰۰۰×۲۰۰۰	۹۳۰	کیلو	۵۱۵۰۰	۴۷,۸۹۵,۰۰۰	۰	۴۷,۸۹۵,۰۰۰	۴,۲۱۰,۵۵۰	۵۲,۲۰۵,۵۵۰
۲	۰۰۶۰۱۱۰۲	A۲۸۳GRC ۱۲×۶۰۰۰×۲۰۰۰	۱۱۶۰	کیلو	۳۶۷۰۰	۴۲,۵۷۲,۰۰۰	۰	۴۲,۵۷۲,۰۰۰	۳,۸۳۱,۴۸۰	۴۶,۴۰۳,۳۸۰
		جمع کل				۹۰,۴۶۷,۰۰۰	۰	۹۰,۴۶۷,۰۰۰	۸,۱۴۲,۰۳۰	۹۸,۶۰۹,۰۳۰
شرایط و نحوه فروش: ☐ نقدی ☒ غیرنقدی										
توضیحات:										
مهر و امضا فروشنده:					مهر و امضا خریدار:					

نمونه فاکتور خرید فلنچ (به صورت تعدادی)

صورت‌حساب فروش کالا و خدمات
(مبلغ به ریال)

شماره سریال:
تاریخ: ۱۳۹۷/۰۴/۲۸

مشخصات فروشنده	نام شخص حقوقی: نشانی کامل: استان: مرکزی شهرستان: نشانی: شکایت و رضایت مشتریان ـ شماره تلفن: شماره نمابر: شناسه ملی:	شماره قرارداد MSA: تاریخ قرارداد MSA: کد پستی ۱۰ رقمی:	شماره ثبت: شماره اقتصادی:
مشخصات خریدار	نام شخص حقیقی / حقوقی: شرکت صنعتی کاوه مبدل کد مشتری: شناسه ملی: نشانی کامل: استان: تهران شهرستان: تهران شماره قرارداد مشتری: نشانی: تاریخ قرارداد:		شماره اقتصادی: کد پستی ده رقمی: شماره تقاضای مشتری:

شماره اطلاعیه حمل	تاریخ اطلاعیه حمل: ۱۳۹۷/۰۴/۲۸	شماره اطلاعیه ارسال	تاریخ اطلاعیه ارسال: ۱۳۹۷/۰۴/۲۸	وسیله حمل کامیون

ردیف	کد کالا	کد آیتم	شرح کالا یا خدمات	تعداد/ مقدار	واحد	مبلغ واحد	مبلغ کل	مبلغ تخفیف	مالیات ارزش افزوده	عوارض ارزش افزوده	مبلغ کل به‌علاوه جمع مالیات و عوارض
۱	۰۹۴۱۳۶۴۲۳		فلنج RF -SCH 80 -WN-150- 04	۷	عدد	۱,۱۶۱,۰۰۰	۸,۱۲۷,۰۰۰	۰	۴۸۷,۶۲۰	۲۴۳,۸۱۰	۸,۸۵۸,۴۲۰
۲	۰۹۴۱۸۵۵۲۳		فلنج RF -SCH 80 -WN-150- 08	۱۱	عدد	۴,۰۴۷,۰۰۰	۴۴,۵۱۷,۰۰۰	۰	۲,۶۷۱,۰۲۰	۱,۲۲۵,۵۱۰	۴۸,۵۲۲,۵۲۰
۳	۰۹۶۲۱۴۵۲۳		فلنج RF -SCH 80 -WN-150- 02	۹	عدد	۴۲۴,۰۰۰	۳,۸۱۶,۰۰۰	۰	۲۲۸,۹۶۰	۱۱۴,۴۸۰	۴,۱۵۹,۴۴۰
۴	۰۹۶۲۸۸۸۲۳		فلنج RF -SCH 80 -WN-150- 04	۲	عدد	۱,۱۶۱,۰۰۰	۲,۳۲۲,۰۰۰	۰	۱۲۹,۲۲۰	۶۹,۶۶۰	۲,۵۳۰,۹۸۰
۵	۰۹۷۰۵۸۳۲۳		فلنج RF -SCH 80 -WN-150- 06	۱	عدد	۲,۴۷۸,۰۰۰	۲,۴۷۸,۰۰۰	۰	۱۴۸,۶۸۰	۷۴,۲۴۰	۲,۷۰۱,۰۲۰
۶	۰۹۷۰۶۶۸۲۳		فلنج RF L:200 -LWN-300- 01	۹۶	عدد	۱,۸۸۲,۰۰۰	۱۸۰,۷۶۸,۰۰۰	۰	۱۰,۸۴۶,۰۸۰	۵,۴۲۲,۰۴۰	۱۹۷,۰۲۷,۱۲۰
۷	۰۹۷۰۶۶۹۲۳		فلنج RF -SCH 160 -WN-300- 04	۹۵	عدد	۱,۸۹۷,۰۰۰	۱۸۰,۲۱۵,۰۰۰	۰	۱۰,۸۱۲,۹۰۰	۵,۴۰۶,۴۵۰	۱۹۶,۴۲۴,۲۵۰
۸	۰۹۷۰۶۷۰۲۳		فلنج RF -SCH XS -WN-150- 10	۱	عدد	۴,۷۰۴,۰۰۰	۴,۷۰۴,۰۰۰	۰	۲۸۲,۲۴۰	۱۴۱,۱۲۰	۵,۱۲۷,۲۶۰
۹	۰۹۷۰۶۷۱۲۳		فلنج RF -BL -300- 01	۹۶	عدد	۲۲۲,۰۰۰	۲۲,۲۷۲,۰۰۰	۰	۱,۲۲۶,۲۲۰	۶۶۸,۱۶۰	۲۴,۲۷۶,۴۸۰

نمونه فاکتور خام خرید تیرآهن (فاکتور خام تکمیل شده به صورت دستی)

صورت‌حساب فروش کالا و خدمات	شماره سریال:	
	تاریخ:	۹۷/۳/۲۴

مشخصات فروشنده

شرکت سالم تجارت آسیا | شماره اقتصادی: | شماره ثبت:
نشانی: شهرستان: | کدپستی: | شهر: تهران
خیابان: | شناسه ملی: | نمابر / تلفن:

مشخصات خریدار

نام شخص حقیقی / حقوقی: | شماره اقتصادی: | شماره ثبت/ شماره ملی:
نشانی کامل / استان: شهرستان: | کد پستی: | شهر: تهران
نشانی: | | شماره تلفن/ نمابر:

مشخصات کالا یا خدمات مورد معامله

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
ردیف	کدکالا	شرح کالا یا خدمات	تعداد/ مقدار	واحد اندازه‌گیری	مبلغ واحد (ریال)	مبلغ کل (ریال)	مبلغ تخفیف	مبلغ کل پس از تخفیف (ریال)	جمع مالیات و عوارض (ریال)	جمع مبلغ کل به‌علاوه جمع مالیات و عوارض (ریال)
۱	-	تیرآهن ۲۷ طول ۱۲ متر ST۳۷	۳۰	شاخه	۱۴,۳۵۰,۰۰۰	۴۳۰,۵۰۰,۰۰۰	۶۷۲۰	۴۳۰,۴۹۳,۲۸۰	۳۸,۷۴۴,۳۹۵	۴۶۹,۲۳۷,۶۷۵
۲										
۳										
۴										
جمع کل						۴۳۰,۵۰۰,۰۰۰	۶۷۲۰	۴۳۰,۴۹۳,۲۸۰	۳۸,۷۴۴,۳۹۵	۴۶۹,۲۳۷,۶۷۵

شرایط و نحوه فروش: ☐ نقدی ☐ غیرنقدی | توضیحات:

مهر و امضای فروشنده | مهر و امضای خریدار

نمونه فاکتور خرید تیرآهن

شرکت | صورت‌حساب فروش کالا و خدمات | شماره | تاریخ: ۹۷/۰۳/۲۲

نشانی: | شماره ثبت: | شناسنامه ملی:

شماره اقتصادی: | کدپستی: | شماره تلفن: | شماره نمابر: | پیش‌شماره:

مشخصات خریدار

نام شخص حقیقی/ حقوقی:

نشانی: | شماره ثبت: | شناسه ملی:

کد اقتصادی: | کدپستی: | تلفن خریدار: | نمابر:

ردیف	شرح کالا یا خدمات	تعداد	واحد	بهای واحد (ریال)	مبلغ کل (ریال)	تخفیف (ریال)	مبلغ کل پس از تخفیف	جمع مالیات و عوارض (۹٪)	جمع مبلغ کل به‌علاوه مالیات و عوارض	ملاحظات
۱	تیرآهن IPE140	۱۴	شاخه	۵,۷۸۳,۴۰۰	۸۰,۹۶۷,۶۰۰		۸۰,۹۶۷,۶۰۰	۷,۲۸۷,۰۸۴	۸۸,۲۵۴,۶۸۴	
۲	تیرآهن IPE200	۸	شاخه	۸,۷۴۵,۸۰۰	۶۹,۹۶۶,۴۰۰		۶۹,۹۶۶,۴۰۰	۶,۲۹۶,۹۷۶	۷۶,۲۶۳,۳۷۶	
۳	تیرآهن IPE220	۲۶	شاخه	۱۱,۲۴۵,۵۰۰	۲۹۲,۳۸۳,۰۰۰		۲۹۲,۳۸۳,۰۰۰	۲۶,۳۱۴,۴۷۰	۳۱۸,۶۹۷,۴۷۰	
۴	تیرآهن IPE270	۱۲۲	شاخه	۱۳,۹۵۳,۰۰۰	۱,۷۰۲,۲۶۶,۰۰۰		۱,۷۰۲,۲۶۶,۰۰۰	۱۵۳,۲۰۳,۹۴۰	۱,۸۵۵,۴۶۹,۹۴۰	
۵	تیرآهن IPE300	۵	شاخه	۱۷,۰۹۷,۵۰۰	۸۵,۴۸۷,۵۰۰		۸۵,۴۸۷,۵۰۰	۷,۶۹۳,۸۷۵	۹۳,۱۸۱,۳۷۵	
۶	تیرآهن IPE360	۳۹۸۰	کیلوگرم	۵۲,۲۰۰	۲۰۷,۷۵۶,۰۰۰		۲۰۷,۷۵۶,۰۰۰	۱۸,۶۹۸,۰۴۰	۲۲۶,۴۵۴,۰۴۰	
۷										
۸										
۹										
۱۰										
جمع:					۲,۴۳۸,۸۲۶,۵۰۰	۰	۲,۴۳۸,۸۲۶,۵۰۰	۲۱۹,۴۹۴,۳۸۵	۲,۶۵۸,۳۲۰,۸۸۵	

جمع کل فاکتور به حروف: دو میلیارد و ششصد و پنجاه و هشت میلیون و سیصد و بیست هزار و هشتصد و هشتاد و پنج ریال — جمع کل فاکتور: ۲,۶۵۸,۳۲۰,۸۸۵

شرایط و نحوه فروش: ☒ نقدی ☐ غیرنقدی | مهر و امضای خریدار

توضیحات:

نمونه فاکتور خرید سیم‌جوش

صورت‌حساب فروش کالا	شماره سریال: تاریخ:

«مشخصات فروشنده»

شرکت صنعتی — شماره ثبت:
نشانی: — شناسه ملی: — شماره اقتصادی:
تلفن: — نمابر: — پست الکترونیکی: — کد پستی:

«مشخصات خریدار»

نام شخص حقیقی/ حقوقی: — شماره اقتصادی: — کد ملی:
نشانی کامل: — ش / پ: — شناسه ملی: — مرکز مشتری:
تلفن/ نمابر: — شماره حواله: — شماره حواله انبار: — شماره ثبت: — کد پستی:
شماره جاری: — تاریخ درخواست مشتری: — شماره سفارش/ قرارداد: — شماره دفتر مدیریت:

مشخصات کالا

ردیف	کد کالا ایران کد	شرح کالا	تعداد		مقدار جزء (گرم)	مقدار کل (کیلوگرم)	بهای واحد	مبلغ تخفیف	بسته‌بندی	بارگیری	عوارض و مالیات	جمع کل عواض و مالیات
			کارتن	بسته								
۱	264016M12N	مفتول ER705-6 / 40-16M ق ۱/۲	۲۰			۳۰۰	۷۲,۹۱۳			۱۲۰,۰۰۰	۱,۹۷۹,۴۵۱	۲۳,۹۷۳,۳۵۱
بسته‌بندی نایلونی ۴۰۰ ریال / فلزی ۵۰۰۰ ریال / پلاستیکی ۶۰۰۰ ریال / وکیوم ۱۰۰۰۰ ریال جمع کل:						۳۰۰				۱۲۰,۰۰۰	۱,۹۷۹,۴۵۱	۲۳,۹۷۳,۳۵۱

کسر می‌شود پیش‌پرداخت:
مبلغ قابل پرداخت به ریال: ۲۳,۹۷۳,۳۵۱

شرایط فروش: ☒ نقدی ☐ غیرنقدی
توضیحات: واحد فروش سنگ عدد می‌باشد.
توزیع نسخ: سفید خریدار، سبز فروش، زرد مالی، صورتی انبار، آبی نگهبانی

بیست و سه میلیون و نهصد و هفتاد و سه هزار و سیصد و پنجاه و یک

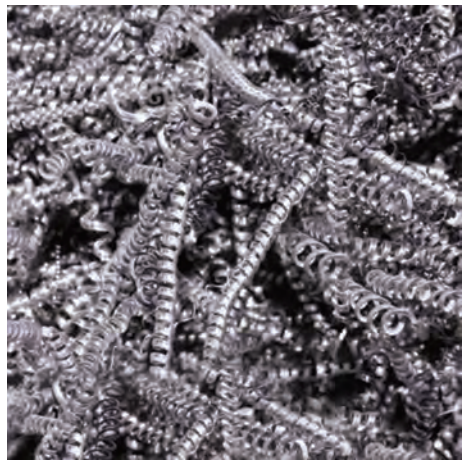
تنظیم‌کننده فاکتور	مدیر فروش	مدیر مالی	نام و امضای خریدار

تحقیق کنید

در مورد دلیل دامنه زیاد قیمت بازیافت مواد اولیه در بازار تحقیق کنید.

هدف از ارائه‌این تحقیق این بوده که هنرجو به این درک برسد که تمامی ضایعات حاصله از تولید قیمت یکسانی ندارند مثلاً ممکن است بخشی از موادی که در ساخت یک محصول ضایعات می‌شوند، خود به عنوان ماده اولیه برای تولید یک محصول دیگر استفاده شود.
یا قیمت ضایعات براساس نوع و سایز ممکن است متفاوت باشد مثلاً ضایعات حاصل از فرایند سوراخ‌کاری به عنوان ضایعات ذوبی با حداقل قیمت فروخته می‌شود ولی ضایعات حاصل از لبه‌گیری ورق‌ها تقریباً قیمتی معادل قیمت مواد اولیه دارند.

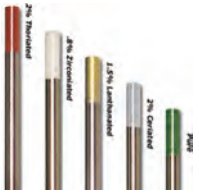
ضایعات لبه ورق



ضایعات حاصل از سوراخ‌کاری

جلسه هفتم : برآورد مواد مصرفی جوش

ابتدا باید براساس هر فرایند پارامترهای مختص به آن را شناسایی و سپس هزینه‌های مربوط به آن را محاسبه نمود.
مثلاً برای فرایند اکسی گاز مواردی مانند میزان مصرف اکسیژن و استیلن و قیمت آنها مهم می‌باشد یا برای فرایند GTAW مواردی مانند میزان مصرف گاز آرگون، هزینه‌های فیلر متال، هزینه الکترود تنگستن و... یا برای فرایندی مانند GMAW مواردی مانند میزان مصرف سیم جوش، میزان گاز مصرف شده و... اهمیت دارد.
علاوه بر مواردی که در مورد پارامترهای هر فرایند توضیح داده شده موارد ثابتی مانند هزینه‌های استهلاک دستگاه، قیمت دستگاه، میزان مصرف انرژی هر دستگاه، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات و... نیز به عنوان پارامترهای ثابت در نظر گرفته می‌شود.
در جدول زیر بخشی از مواد مصرفی مورد نیاز در هر فرایند قید شده است.

SMAW		الکترود روکش‌دار مورد نیاز
OFW		میزان گاز اکسیژن مصرف شده، میزان گاز استیلن مصرف شده، ماده پرکننده در صورت استفاده،
GMAW		میزان سیم‌جوش مصرفی مورد نیاز، میزان گاز مصرفی
FCAW		میزان سیم‌جوش مصرفی مورد نیاز، میزان گاز مصرفی در صورت لزوم به استفاده
GTAW		الکترود تنگستنی، میزان گاز مصرفی، ماده پرکننده در صورت لزوم

باید به این نکته توجه داشت علاوه بر مواد مصرفی و تجهیزات ممکن است برخی ابزارآلات نیز برای جوشکاری نیاز باشد یا برای موقعیت‌دهی ممکن است برای جوشکاری نیاز به فیکسچر یا سایر موارد باشد.

جلسه هشتم : عوامل مؤثر در جوشکاری با الکترود دستی

پارامترهای مؤثر در فرایند الکترود دستی که می‌توانند بر خواص جوش تأثیر بگذارند، عبارت‌اند از:

۱ جریان (نوع، قطب، مقدار)
۲ ولتاژ
۳ سرعت جوشکاری
۴ الکترود (نوع، اندازه)
۵ طول قوس
۶ زاویه الکترود با قطعه کار
۷ مهارت جوشکار

این پارامترها بر کمیت‌های زیر تأثیر می‌گذارند:

نرخ یا میزان ذوب الکترود: جرم الکترود ذوب شده در واحد زمان می‌باشد که با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$M.R. = \frac{(l_1 - l_2)d}{t}$$

l_1 : طول اولیه الکترود

l_2 : طول الکترود باقی‌مانده پس از جوشکاری

d : وزن واحد طول هسته الکترود

t : زمان روشن بودن قوس

ـ **نرخ رسوب:** مقدار فلز رسوب داده شده در واحد زمان. نرخ رسوب معمولاً کمتر از نرخ ذوب است.

$$D.R. = \frac{M_2 - M_1}{t}$$

M_1 : وزن قطعه قبل از جوشکاری

M_2 : وزن قطعه بعد از جوشکاری

ـ **بازدهی الکترود:** درصد وزن فلز رسوب داده شده به وزن فلز ذوب شده از مفتول، بازدهی الکترود می‌باشد. در الکترودهای پودرآهن دار بازدهی از ۱۰۰ ٪ تجاوز می‌کند، زیرا مقداری از پودر آهن موجود در پوشش نیز به وزن رسوب اضافه می‌شود. بازیابی طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\eta = \frac{D.R.}{M.R.} \times ۱۰۰$$

ـ **نرخ اتصال:** مقدار اتصالی که در واحد زمان تکمیل می‌شود. نرخ اتصال به عمق و طول جوش در واحد زمان بستگی دارد. این کمیت طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$J.R. = \frac{x \times y}{t}$$

در رابطه اخیر x عمق جوش، y طول جوش و t زمان جوشکاری است.

ـ **عمق جوش:** برای قطعاتی که پخ‌سازی نشده‌اند، عمق جوش برابر فاصله سطح قطعه تا انتهای جوش می‌باشد.

برای قطعات پخ‌سازی شده عمق جوش برابر پایین‌ترین سطح پخ تا پایین‌ترین سطح جوش می‌باشد.

ـ **پهنای جوش:** برابر با طول خطی است که نشان‌دهنده فاصله دو پنجه جوش در دو طرف گرده جوش است.

ـ **شکل سطح مقطع جوش (پروفیل جوش):** پروفیل جوش شکل سطح مقطع جوش می‌باشد. عمق، برجستگی و پهنای جوش از مشخصات شکل ظاهری جوش می‌باشد.

اثر پارامترهای متفاوت در ولتاژ قوس فرایند SMAW

پارامترهای شدت جریان و ولتاژ قوس با توجه به نوع پوشش، ضخامت پوشش، جنس فلز الکترود و طول قوس در ارتباط است.

مطابق قانون اهم شدت جریان و ولتاژ عکس یکدیگرند این موضوع در دستگاه جوشکاری صادق است ولی در قوس الکتریکی ممکن است در شدت جریان‌های پایین بر خلاف قانون اهم اتفاق افتد و طبق رابطه صفحه بعد خواهد بود.

$$ur = k + \frac{L \times d}{۱۰ \times S} \times I$$

(ولت) ولتاژ قوس = ur　　ضریب ثابت ماده = K
(میلی‌متر) طول قوس= L　　(آمپر) شدت جریان= I
(میلی‌متر) قطر الکترود = d　　(برحسب میلی‌متر مربع) سطح مقطع الکترود=S

ضریب K به جنس الکترود و میزان افت ولتاژ در کاتد ـ یا آند + بستگی دارد و برای فولادها در این روش عدد ۱۲ منظور می‌شود.
در این فرمول چنانچه پارامترها ثابت باشد و فقط جریان افزایش پیدا کند ولتاژ هم افزایش می‌یابد.
چنانچه فقط قطر الکترود افزایش یابد ولتاژ قوس کاهش می‌یابد.
چنانچه طول قوس افزایش یابد ولتاژ قوس هم افزایش می‌یابد.
مثال: در جوشکاری با الکترود d = ۴mm شدت جریان ۱۵۰ آمپر و طول قوس ۳ میلی‌متر باشد، مطلوب است:
الف) ولتاژ قوس را حساب کرده و با ولتاژ حاصل از فرض‌های ب،ج ود مقایسه کنید.
ب) شدت جریان را ۲۰۰ آمپر فرض کنید.
ج) قطر الکترود d = ۵mm آمپر فرض شود.
د) طول قوس را ۴ میلی‌متر فرض کنید.
هدف از آوردن این مطالب این بوده است که هنرجو بداند در فرایندهایی مانند SMAW به دلیل وزن روکش الکترود و مقدار ته الکترود که از هر الکترود به عنوان دور ریز در نظر گرفته می‌شود، در جوش‌های با حجم زیاد می‌تواند بسیار پرهزینه باشد و بازدهی کمی‌داشته باشند ولی در فرایندهایی مانند GMAW به دلیل عدم وجود ته الکترود و سرعت بالا، راندمان جوش می‌تواند بسیار بیشتر باشد.

تأثیر انتخاب فرایند و طرح اتصال در هزینه مواد مصرفی

هنرجو باید به این درک برسد که بتواند در یک برآورد اولیه، قبل از شروع جوشکاری و انتخاب فرایند، میزان مصرف و هزینه‌های لازم برای هر فرایند را بشناسد و همچنین با مزایا و محدودیت‌های هر فرایند آشنا باشد و بداند ممکن است با انتخاب فرایندهای مختلف هزینه‌های جوش را کمتر یا بیشتر کند، پس براساس نوع کار و کیفیت و کمیتی که نیاز است بهترین فرایند را انتخاب کند.
مثلاً در مواقعی که نیاز به جوشکاری گوشه با سرعت بالا و متراژهای زیاد می‌باشد، استفاده از فرایند GMAW به دلیل عدم نیاز به تعویض سیم و تمیزکاری سطح جوش و سرعت بالای آن بسیار توجیه‌پذیرتر از فرایند SMAW می‌باشد و یا برای جوشکاری قطعات ضخیم که نیاز به نرخ رسوب بالا و پرکنندگی می‌باشد استفاده از

فرایند SAW مناسب‌تر از سایر فرایندها می‌باشد یا در صورت عدم امکان جوشکاری با فرایند SAW، استفاده از الکترودهای پودر آهن دار مانند E۷۰۲۴ یا E۷۰۱۸ می‌تواند بسیار سریع‌تر و باکیفیت تر از E۶۰۱۳، در فرایند SMAW باشد.
طرح اتصال نیز در میزان مواد مصرفی جوش پارامتر تعیین‌کننده‌ای می‌باشد که باید برای بهینه‌سازی هزینه‌های جوش در نظر گرفت.
برای مثال میزان مواد مصرف شده در طرح اتصال U شکل کمتر از V شکل می‌باشد ولی هزینه آماده‌سازی اتصال U بیشتر می‌باشد در نتیجه در صورتی که قیمت مواد اولیه ارزان‌تر از هزینه آماده‌سازی طرح اتصال باشد، از طرح اتصال V استفاده می‌کنیم یا بالعکس.
مثلاً برای جوشکاری سوپرآلیاژها ممکن است هزینه الکترود مصرفی مورد نیاز حتی ۲۰ تا ۳۰ برابر الکترودهای فولادی ساختمانی باشد، پس در این صورت هزینه‌های آماده‌سازی برای رسیدن به اتصالاتی که میزان الکترود مصرفی را کم می‌کنند، توجیه‌پذیر خواهند بود.
در جدول زیر به برخی از مزایا و معایب فرایندهای جوشکاری اشاره شده است تا در انتخاب فرایند بتوانیم دید بهتری داشته باشیم.

فرایند	محاسن	معایب
SMAW	۱ـ امکان انجام جوشکاری در محوطه باز ۲ـ امکان جوشکاری بر روی قطعات زنگ زده جزئی. ۳ـ انجام جوشکاری در تمام حالات مانند H-Lo۴۵ ۴ـ امکان جوشکاری اکثر فولادهای کربنی و آلیاژی. ۵ـ ارزانی تجهیزات مورد نیاز. ۶ـ ارزانی مواد مصرفی ۷ـ سادگی تنظیمات دستگاه‌هایSMAW.	۱ـ نرخ رسوب کم (حدود ۳ کیلوگرم در ساعت). ۲ـ نیازمند تعویض الکترود است که در نتیجه زمان جوشکاری و تعداد محل‌های شروع مجدد Resrart بیشتر می‌شود که محل‌های شروع مجدد مستعد بروز عیب می‌باشند. ۳ـ طولانی بودن زمان آموزش جوشکار. ۴ـ نیازمند تمیز کاری گل جوش است.
Oxy-fuel Welding	۱ـ ارزانی تجهیزات ۲ـ ارزانی مواد مصرفی ۳ـ عدم نیاز به انرژی برق ۴ـ امکان جوشکاری قطعات نازک ۵ـ امکان انجام لحیم‌کاری سخت (جوش برنج) ۶ـ سادگی تنظیمات سیستم جوشکاری	۱ـ اعمال حرارت ورودی بالا به قطعه کار. موجب بروز اعوجاج و تغییر ساختار در قطعه می‌گردد. ۲ـ طولانی بودن زمان آموزش جوشکار. ۳ـ عدم رعایت موارد ایمنی بسیار حادثه ساز است. ۴ـ عدم امکان جوشکاری قطعات آلیاژی.

GTAW	۱ـ قابلیت جوشکاری اکثر فلزات مانند Al و Mg. ۲ـ کوتاهی زمان آموزش جوشکار نسبت به SMAW . ۳ـ امکان انجام جوشکاری در تمام حالات. ۴ـ کارایی بالا جهت جوشکاری تعمیراتی. ۵ـ امکان مکانیزه نمودن سیستم جوشکاری. ۶ـ بدون جرقه و گل جوش است. ۷ـ در برخی موارد بدون فیلر نیز می‌توان دو قطعه را متصل نمود. ۸ـ ناحیه HAZ کمتری ایجاد می‌گردد.	۱ـ گرانی تجهیزات و مواد مصرفی ۲ـ به صرفه نبودن جوشکاری قطعات بیشتر ۱۰mm. ۳ـ نرخ رسوب کم (حدود نیم کیلوگرم در ساعت). ۴ـ سرعت کم جوشکاری Cm/min. ۵ـ هزینه زیاد تعمیر و نگهداری سیستم نسبت به SMAW . ۶ـ در محیط‌های باز هنگام وزش باد ملایم حفاظت قوس با محدودیت مواجه است. ۷ـ نسبت به کثیفی درز جوش بسیار حساس است.
GMAW	۱ـ نرخ رسوب بالا (۸ تا ۱۲ کیلوگرم در ساعت) ۲ـ کوتاهی زمان آموزش جوشکار نسبت به SMAW. ۳ـ عدم نیاز به تعویض الکترود (فیلر مصرفی در طول‌های بیش از ۱۰۰۰ متر موجود است). ۴ـ امکان انجام جوشکاری در تمام حالات مانند ۳F ۵ـ امکان مکانیزه نمودن سیستم جوشکاری. ۶ـ امکان جوشکاری قطعات در هر ضخامتی.	۱ـ گرانی تجهیزات. ۲ـ پیچیده‌تر بودن تنظیمات دستگاه‌های GMAW نسبت به SMAW. ۳ـ در محیط‌های باز حفاظت قوس با محدودیت مواجه است.
Spot Welding	۱ـ ارزانی تجهیزات و مواد مصرفی. ۲ـ سرعت بالای انجام کار. ۳ـ یکنواختی خصوصیات جوش‌ها در تعداد زیاد. ۴ـ امکان مکانیزه نمودن سیستم جوشکاری.	۱ـ تنها قابلیت جوشکاری اتصال لب روی هم دارای ضخامت کمتر از ۳mm را داراست. ۲ـ تنها قابلیت جوشکاری برخی فولادها و آلومینیم‌ها را داراست.
SAW	۱ـ ارزانی مواد مصرفی ۲ـ امکان انجام جوشکاری هنگام وزش بادهای ملایم. ۳ـ کوتاهی زمان آموزش اپراتور نسبت به SMAW. ۴ـ ارج رسوب بالا و ۱۵ تا ۲۰ کیلوگرم در ساعت. ۵ـ امکان مکانیزه نمودن سیستم جوشکاری.	۱ـ عدم امکان جوشکاری در تمام حالات. (تنها در حالات IF، ۲F، lG انجام‌پذیر است) ۲ـ گرانی تجهیزات مورد نیاز. ۳ـ تنها جهت جوشکاری برخی فولادها به‌کار می‌رود. ۴ـ پیچیدگی تنظیمات دستگاه مربوطه. ۵ـ عدم امکان جوشکاری قطعات ۵mm

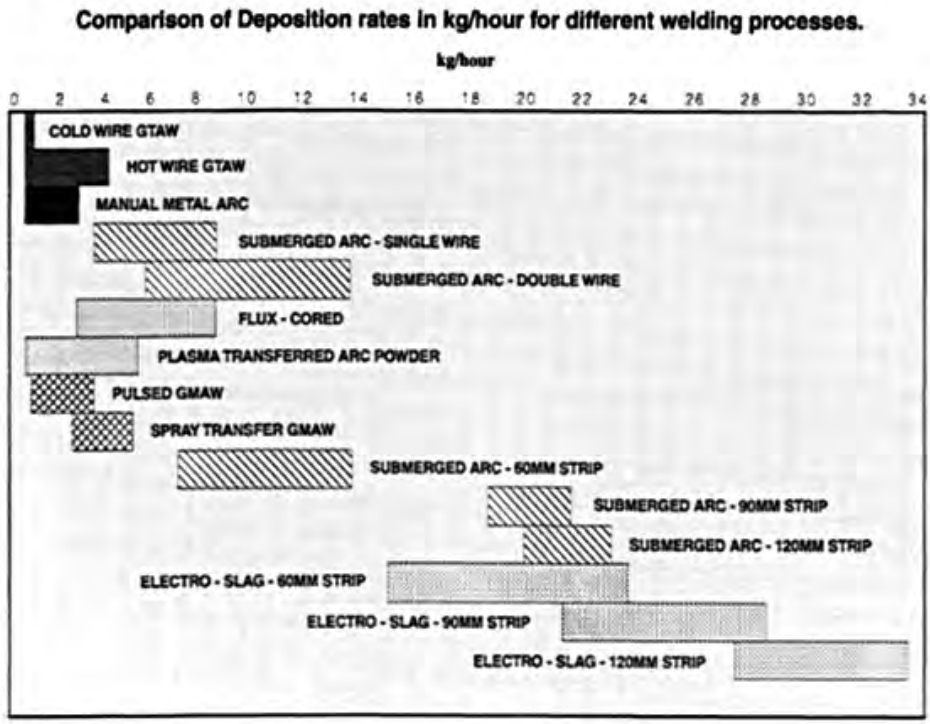
به‌طور مثال جوشکاری با فرایند تیگ نرخ رسوب پایینی دارد ولی دقت و نفوذ آن بالاست.

Welding With the Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) Process: GTAW is typically a low deposition rate process

و جوشکاری زیرپودری فرایندی با نرخ رسوب بسیار بالاست:

Welding Pipeline Double Joints With Submerged Arc Welding: SAW is typically a high deposition rate process

در نمودار زیر نرخ رسوب فرایندهای مختلف با یکدیگر مقایسه شده است:



جلسه نهم : تعیین هزینه جوشکاری

محاسبه هزینه‌های جوش و زمان‌های جوشکاری امری بسیار مهم است، زیرا جوشکاری می‌تواند بخش مهمی از هزینه‌های ساخت‌سازه‌ها و مصنوعات فلزی باشد. دانستن چگونگی برآورد حجم جوش داده شده و زمان معمول انجام جوش برای تعیین بهای تمام شده و برنامه‌ریزی زمانی امری مهم می‌باشد.

عوامل متعددی وجود دارد که باید در هنگام تعیین هزینه کلی جوشکاری مورد توجه قرار گیرد.

باید به این نکته توجه داشت مواد مصرفی تنها بخشی از هزینه جوشکاری را تشکیل می‌دهد و پارامترهای دیگری مانند هزینه نیروی انسانی، هزینه‌های سربار، قیمت تجهیزات مورد استفاده، هزینه‌های انرژی، هزینه، زمان جوشکاری و... نیز در تعیین هزینه تمام شده جوشکاری تأثیر گذارند که اغلب نادیده گرفته می‌شوند.

به عنوان مثال انتخاب یک الکترود یا سیم‌جوش ارزان برای پایین آوردن هزینه جوش کار درستی نیست زیرا ۶۰ تا ۷۰ درصد هزینه جوشکاری مربوط به هزینه نیروی انسانی و سربار می‌باشد، در نتیجه در انتخاب مواد مصرفی علاوه بر قیمت مواد باید به میزان بهره‌وری آن نیز توجه داشت. بنابراین انتخاب الکترودی که بهره‌وری را بهبود می‌بخشد (با افزایش میزان رسوب) بسیار مهم‌تر از انتخاب یک الکترود با هزینه کمتر است.

پس برای تعیین هزینه کامل جوشکاری باید تمام پارامترهای قید شده مورد توجه قرار گیرد تا در انتخاب فرایند یا بهینه‌سازی کارهای در حال اجرا بتوان تصمیم مناسبی گرفت و در نظر گرفتن یک پارامتر مانند هزینه مواد مصرفی نمی‌تواند عامل مناسبی برای انتخاب فرایند یا محاسبه هزینه تمام شده باشد چه بسا ممکن است در بسیاری مواقع هزینه نیروی انسانی بیشتر از مواد مصرفی باشد.

باید به این نکته توجه داشت که زمان جوشکاری، صرفاً زمانی که قوس روشن است و جوشکار مشغول جوشکاری است، در نظر گرفته نشود بلکه زمانی که برحسب نوع فرایند یا عملیات مورد نظر مانند تمیزکاری بین پاسی، عملیات حرارتی احتمالی مورد نیاز، تغییر وضعیت قطعه مانند چرخاندن یا سایر موارد نیز باید در نظر گرفته شوند و تأثیر آن در انتخاب فرایند یا هزینه تمام شده محاسبه شود.

عوامل مؤثر در تعیین هزینه جوشکاری

برآورد هزینه فرایند جوشکاری با تخمین هزینه هر مرحله از جوشکاری امکان‌پذیر است. هزینه کامل جوشکاری می‌تواند به بخش‌های کلی زیر تقسیم شود.

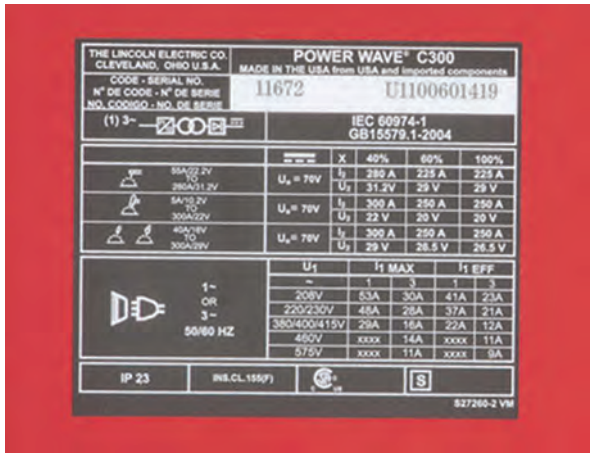
۱. هزینه مواد اولیه
۲. هزینه آماده‌سازی
۳. هزینه نیروی انسانی
۴. هزینه مواد مصرفی (الکترود، گاز، سنگ و...)
۵. هزینه تجهیزات
۶. هزینه‌های انرژی
۷. هزینه‌های بالاسری
۸. هزینه‌های بازرسی
۹. هزینه‌های عملیات تکمیلی

جلسه یازدهم : هزینه‌های انرژی و تأثیر آن در انتخاب فرایند یا هزینه‌های تمام شده

امروزه کارخانه‌های تولیدی علاوه بر تولید محصول با کیفیت و تحویل به موقع آنها، باید توجه ویژه‌ای به مسئله انرژی داشته باشند.
فرایند جوشکاری تقریباً در تمامی صنایع کاربرد دارد و مطابق آمار سازمان جهانی حدود ۹۹ میلیون دلار سالانه هزینه برق فرایندهای جوشکاری در کل دنیا می‌باشد.
بنابراین محیط‌های تولیدی امروز نیازمند یک برنامه بهینه برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی فرایندهای جوشکاری می‌باشد که نه تنها تولید جوش‌های با کیفیت، بلکه صرفه‌جویی در هزینه‌های عملیاتی و انرژی نیز در نظر گرفته شود.

برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های انرژی عملیات جوشکاری
مرحله اول:
کارایی (بازده) تجهیزات موجود خود را ارزیابی کنید.

برای این کار مراحل زیر را دنبال کنید:
۱ـ محاسبه قدرت خروجی: ولتاژ خروجی را که با ولت نشان داده شده است در شدت جریان خروجی که با آمپر نشان داده شده است ضرب کنید. حاصل به‌دست آمده قدرت خروجی می‌باشد.
۲ـ محاسبه قدرت ورودی: قدرت خروجی دستگاه را به بازده دستگاه تقسیم کنید. (این مقدار معمولاً توسط سازنده تجهیزات جوشکاری برای تولید توان ورودی به کیلووات ارائه شده است)



۳ــ هزینه‌های عملیاتی روزانه را در جوش محاسبه کنید

برای محاسبه ساعت KW که در یک روز استفاده می‌شود، قدرت ورودی را در ساعت‌هایی که در هر روز دستگاه جوش فعال است ضرب می‌کنند سپس نتیجه آن را در قیمت هر کیلو وات ساعت ضرب کنید.

۴ــ هزینه‌های عملیاتی روزانه را در طول دوره‌های خالی محاسبه کنید.

برای این کار توان ورودی دستگاه را در هزینه کیلو وات ساعت ضرب کنید.

۵ــ کل هزینه‌های عملیاتی را محاسبه کنید.

مجموع بخش ۳ و ۴ هزینه‌هایی است که باید بابت انرژی برق پرداخت شود.

با مقایسه این هزینه‌ها برای یک منبع قدرت جوشکاری قدیمی با هزینه‌های تخمین زده شده برای دستگاه‌های جدیدتر و کارآمدتر، شما به سادگی می‌توانید بگویید که چه دستگاهی صرفه‌جویی بیشتری در هزینه انرژی و بازده نهایی در سرمایه‌گذاری را فراهم می‌کند، **حال آنکه ممکن است از میزان صرفه‌جویی مصرف برق دستگاه‌های جدیدتر در یک دوره زمانی مشخص سرمایه مورد نیاز برای خرید آن دستگاه را تأمین نمود.**

مرحله دوم

تغییر در تکنولوژی اینورتر را در نظر بگیرید.

منبع تغذیه مبتنی بر اینورتر به تولیدکنندگان اجازه می‌دهد تا قدرت بیشتری را از فناوری الکترونیک جدید به‌دست آورند، که در نتیجه بازده آنها بیشتر است. در گذشته، منابع قدرت جوشکاری بر مبنای ترانسفورماتورهای معمولی بود و منابع صنعتی قدیمی ساخته شده براساس این تکنولوژی معمولاً سنگین و بزرگ هستند.

فناوری اینورتر، قدرت ورودی ۶۰ هرتز را ابتدا به DC تبدیل می‌کند و سپس به بخش مبدل برق اینورتر تغذیه می‌کند که در آن سوئیچ‌های حالت جامد در فرکانس‌هایی تا ۱۲۰،۰۰۰ هرتز روشن و خاموش می‌شوند.

منابع قدرت جوش بر مبنای اینورتر قابل حمل و سبک هستند و قابلیت‌های دقیق شروع قوس و کنترل خروجی پیشرفته را فراهم می‌کنند که جوشکاران را قادر می‌سازند تا پارامترهای مورد نظر را به راحتی تنظیم کنند.

جلسه یازدهم: شناسایی مراحل و فرایندهای مورد نیاز برای تولید محصول

برای اینکه بتوانیم این فعالیت را انجام دهیم باید نسبت به روش‌های تولید، مراحل تولید، تقدم و تأخر فعالیت‌ها و زمان مورد نیاز برای هر فعالیت آشنایی داشته باشیم. به نوعی باید به OPC فرایند آشنا باشیم.

نمودار فرایند عملیات OPC (Operation Process Chart)

با استفاده از OPC، مجموعه عملیات‌های انجام شده یک فرایند را به‌طور ساده و قابل فهم با نمودار نشان می‌دهند.

تهیه نمودارهای فرایند عملیات (OPC) بهترین روش برای مرتب نمودن و نظم بخشیدن به اطلاعات جمع‌آوری شده می‌باشد. بدین صورت که اطلاعات جمع‌آوری شده را در قالب چارت و نمودار به‌صورت مرتب و مشخص بیان و تجزیه تحلیل می‌کنند، سپس در رابطه با لزوم تغییر یاعدم تغییر آن تصمیم می‌گیرند.
در ارزیابی کار و زمان با مفاهیمی نظیر عملیات و بازرسی سر و کار داریم.
عملیات: عملیات را در نمودار فرایند عملیات با دایره نشان می‌دهند. مجموعه تغییرات فیزیکی و شیمیایی عملیات نام دارد، در مواد اولیه و فرایندهای اولیه شاهد آن هستیم.
بازرسی: بازرسی در فرایندهای خدماتی و تولیدی به معنای تطبیق دادن فرایند با استانداردهای مشخص شده است. بازرسی رادر نمودار OPC با علامت مربع نشان می‌دهیم.
بازرسی در فرایندهای خدماتی و تولیدی به دو صورت کیفی و کمی انجام می‌شوند.
معمولاً در جدول فرایند عملیات تمامی اطلاعات از جمله مراحل تولید، مواد اولیه، قطعه نهایی، ماشین‌آلات و ابزارها، زمان و لوازم جانبی را مشخص می‌کنند.
تمامی مراحل ساخت یک قطعه و محصول از ماده اولیه تا محصول نهایی و بازرسی آن در مراحل مختلف و چگونگی اتصال این قطعات را در نمودار جدول فرایند عملیات ثبت می‌کنند.

نکته

حمل‌ونقل، تأخیر و انبار را در OPC قید نمی‌شود.

OPC را به‌صورت نمودار درختی نیز می‌توان تهیه کرد. نمودار OPC مشخص می‌کند هریک از محصولات چه اجزایی دارند و اجزا از چه مواد اولیه و قطعاتی به وجود آمده و مراحلی را که پشت سرگذاشته‌اند مطرح می‌کند. معمولاً واحد مهندسی فرایند عملیات OPC را تنظیم می‌کند.
در نمودار فرایند عملیات از خطوط عمودی و افقی استفاده می‌شود. خطوط عمودی نشان‌دهنده جریان عمومی فرایند و خطوط افقی را زمانی استفاده می‌کنیم که قطعه یا مواد جدید بخریم و در جریان تولید اضافه کنیم.

کاربرد نمودار فرایند عملیات

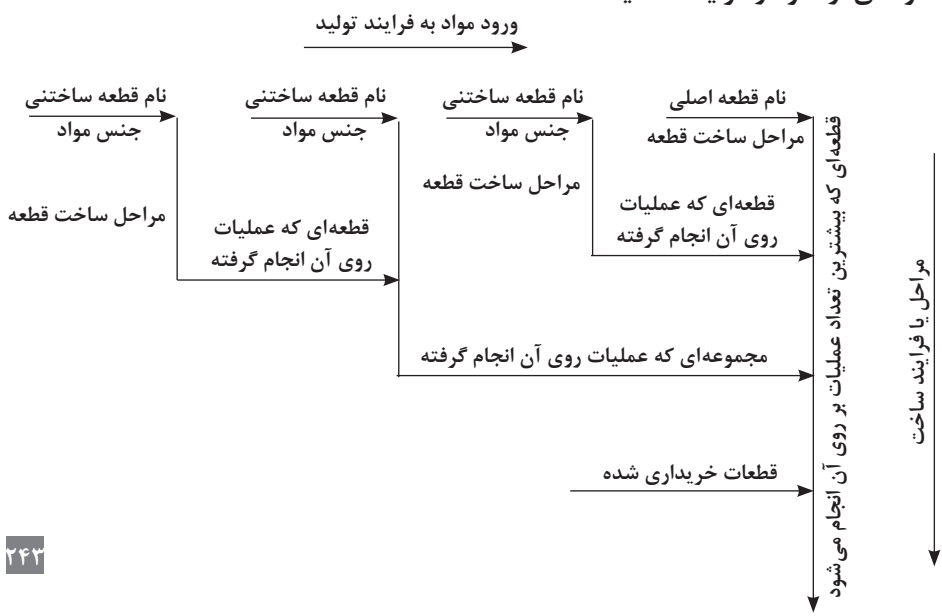
مسیر تولید و مراحل مونتاژ را به‌صورت تلفیقی نشان می‌دهد.
عملیات ساخت و بازرسی را روی قطعه ساختنی محصول نشان می‌دهد.
ترتیب و توالی عملیات را روی هر قطعه نشان می‌دهد.
ارتباط بین قطعات مختلف را حین ساخت و مونتاژ نشان می‌دهد.

طول نسبی خطوط مونتاژ و فضای لازم را نشان می‌دهد.
تقدم و ترتیب ورود قطعات و مواد اولیه را به خط اصلی تولید و مونتاژ نشان می‌دهد.
قطعاتی را که باید تولید و یا خریداری شوند از هم جدا می‌کند.
ابزار مفید برای برآورد تعداد ماشین‌آلات، لوازم، تجهیزات و نیروی انسانی است.
شمای کلی فرایند را نشان می‌دهد و به کمک آن می‌توان در مورد بهبود چاره‌اندیشی کرد.
تفاوت بین قطعاتی را که مستقیماً وارد خط می‌شوند و قطعاتی که قبل از خط مونتاژ چند عملیات و بازرسی روی آنها انجام می‌شود نشان می‌دهد.

طریقه رسم نمودار فرایند عملیات

برای ساخت این نمودار، در ابتدا محصول به مونتاژهای فرعی تشکیل‌دهنده آن تقسیم شده و یک مونتاژ فرعی با نام زیر مونتاژ اصلی در نظر گرفته می‌شود و بقیه مونتاژهای فرعی به ترتیب اهمیت آنها نسبت به اصلی‌ترین مونتاژ فرعی در کنار آن قرار می‌گیرند. سپس سعی می‌شود با توجه به علائمی که در این نمودار وجود دارد نسبت به ساخت OPC برای هریک از مونتاژهای فرعی اقدام گردد.
برای این کار ابتدا یک خط افقی کشیده و روی این خط نام ماده اولیه یا مشخصات فنی قطعه مورد نظر نوشته و بعد روی یک خط عمود بر آن عملیات و بازرسی‌های مورد نیاز برای تولید قطعه اصلی نشان داده می‌شود. سپس برای سایر قطعات نیز به ترتیب ورودشان این کار انجام می‌شود و در پایان عملیاتشان یک خط افقی به جایی که به قطعه اصلی متصل می‌شوند می‌کشیم. این کار را برای تمام قطعات ساختنی می‌کشیم. برای قطعات خریدنی با استفاده از یک خط افقی نحوه و ترتیب ورود هریک از آنها را به خط تولید اصلی تولید نشان می‌دهیم.

نمونه‌ای از نمودار فرایند عملیات



برای محصولاتی که در رشته صنایع فلزی ساخته می‌شود در مثال کتاب سعی شده است تمامی فرایندهای مورد نیاز تفکیک و توضیح داده شود.
لطفاً با تغییر بعضی از این فرایندها و استفاده از تکنولوژی‌های جدید، تأثیر استفاده از این تکنولوژی‌ها در هزینه تمام شده محصول را برای هنرجویان توضیح دهید.
برای مثال اگر به جای گیوتین از دستگاه‌های برش cnc استفاده شود در تیراژهای بسیار زیاد با توجه به کاهش زمان برشکاری هزینه بسیار کم می‌شود و یا اگر از جوش زیرپودری برای تکمیل جوشکاری استفاده شود، با توجه به کاهش تعداد پاس‌های جوش و کم شدن زمان، کاهش هزینه اپراتوری و مدت زمان جوشکاری به‌طور محسوسی مشاهده می‌شود.

جلسه دوازدهم: محاسبات هزینه‌های نیروی انسانی و هزینه سربار

اجزا و عوامل بهای تمام شده کدام است؟
عوامل اصلی بهای تمام شده به‌طور کلی ۳ دسته زیر می‌باشند.
۱ مواد اولیه ۲ دستمزد ۳ سربار (سایر هزینه‌های تولید)

۱ـ مواد اولیه
مواد اولیه رکن اصلی تولید کالا و محصول می‌باشد درضمن می‌دانید که مواد اولیه تولید خود به دو بخش زیر تقسیم می‌شود:
الف) مواد مستقیم: آن بخش از مواد مصرفی که از کالای ساخته شده جدایی‌ناپذیر است و مستقیماً در ساخت کالا نقش دارد را مواد مستقیم گویند به عنوان مثال آرد در ساخت نان مواد مستقیم تولید نان محسوب می‌گردد.
ب) مواد غیرمستقیم: آن بخش از مواد مصرفی که برای تکمیل کالا ضروری می‌باشد ولیکن به علت مصرف ناچیز آن نتوان آن را به عنوان مواد مستقیم مصرفی تولید طبقه‌بندی کرد مواد غیرمستقیم محسوب می‌شود مانند مصرف میخ در ساخت میز و کمد چوبی.

۲ـ دستمزد: (کار)
حقوق و حق‌الزحمه‌ای که در جریان تولید و ساخت برای تبدیل مواد به کالا به کارگران پرداخت می‌شود را به عنوان دستمزد تولید شناسایی می‌کنند.
دستمزد نیز به دو بخش زیر تقسیم خواهد شد:
الف) دستمزد مستقیم: دستمزدی است که بابت کاری پرداخته می‌شود که مستقیم صرف تبدیل مواد اولیه به کالای ساخته شده انجام می‌شود.
ب) دستمزد غیرمستقیم: دستمزدی است که بابت کاری پرداخت می‌شود که مستقیماً در ساخت و ترکیب کالای ساخته شده نقش نداشته است مانند حقوق نگهبانان و سرکارگران کارخانه و...

۳ـ سایر هزینه‌ها (سربار ساخت)

کلیه هزینه‌هایی که در جریان تولید اتفاق می‌افتد ولیکن نمی‌توان آنها را به‌طور مستقیم و مشخص به اقلامی از تولید یا محصولی خاص اختصاص داد به عنوان سربار شناخته می‌شوند.

هزینه‌های سربار در تولید: یکی از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده بهای تمام شده، سربار ساخت می‌باشد.

برخی از این هزینه‌های سربار به شرح ذیل می‌باشد:

۱. هزینه استهلاک ساختمان کارخانه
۲. هزینه اجاره ساختمان کارخانه
۳. هزینه بیمه اجتماعی سهم کارفرما
۴. هزینه سوخت کارخانه
۵. هزینه روشنایی کارگاه و کارخانه
۶. هزینه حقوق سرپرستان و...

جلسه چهاردهم :روش‌های محاسبه هزینه تولید

برای محاسبه هزینه تولید با توجه به دانش فنی متخصصین رشته‌های صنعتی و در حد یک واحد صنعتی کوچک، همان مطالب ذکر شده در کتاب به نظر کافی می‌باشد ولی بدانید محاسبه بهای تمام شده در دنیای امروز با توجه به بزرگ شدن واحدهای صنعتی، بالارفتن حجم تولید و تنوع تخصص‌های مختلف در تولید یک محصول، به قدری مهم می‌باشد که یک رشته تحصیلی دانشگاهی به عنوان حسابداری صنعتی به محاسبه این امر می‌پردازد.

در زیر به نمونه‌ای از اصطلاحات و روش‌های محاسبه بهای تمام شده در رشته حسابداری صنعتی اشاره شده است و در صورت علاقه‌مندی به‌این بحث می‌توانید به کتاب حسابداری بهای تمام شده و مالیاتی رشتهٔ حسابداری گروه بازرگانی و امور اداری شاخهٔ فنی‌وحرفه‌ای پایهٔ دوازدهم دورهٔ دوم متوسطه مراجعه فرمایید.

روش‌های محاسبه بهای تمام شده موجودی مواد

۱. اولین صادره از اولین وارده FIFO (First In First Out)
۲. اولین صادره از آخرین وارده LIFO (Last In First Out)
۳. میانگین موزون متحرک (Moving weighted average)
۴. شناسایی ویژه (Specific identification)

روش اولین صادره از اولین وارده FIFO

هزینه‌یابی مواد صادره به روش اولین صادره از اولین وارده از این اصل پیروی می‌کند

که مواد مصرفی باید به هزینهٔ واقعی قیمت‌گذاری شود. در این روش، فرض بر آن است که مواد ارسالی برای دوایر تولیدی از قدیمی‌ترین مواد موجود در انبار هستند و هزینهٔ آنها هنگام مصرف در تولید، همان هزینهٔ هنگام خرید است.
استفاده از هزینه‌یابی به روش اولین صادره از اولین وارده، در موارد زیر پیشنهاد شده است:
در مواردی که خریدهای متعددی با قیمت‌های متفاوت انجام گیرد و در هر زمان واحدهایی از خریدهای مختلف در انبار وجود داشته باشد، هزینه‌یابی به روش اولین صادره از اولین وارده بسیار پیچیده می‌گردد. در مواردی که مواد به فروشنده یا به انبار برگشت داده می‌شود، پیچیدگی روش بیشتر می‌شود.

روش میانگین موزون متحرک

در این روش فرض بر آن است که مواد ارسال شده از انبار شامل مقادیر یکسانی از هر محمولهٔ موجود در انبار در تاریخ ارسال است. غالباً درج قیمت‌های صورت حساب روی اقلام مواد امکان‌پذیر نیست، بنابراین هزینه‌یابی مواد طبق قیمت‌های مندرج در صورت حساب، عملاً امکان‌پذیر نیست. ممکن است چنین استدلال شود که صدور مواد از انبار به‌طور تصادفی صورت می‌گیرد و نه با توجه به واحدها و هزینه‌های مشخص، به‌این ترتیب هزینهٔ میانگین تمامی واحدهای موجود در انبار در زمان صدور، معیار رضایت بخشی برای هزینه مواد خواهد بود.
در صورتی که مواد از اقلام متعددی که هزینهٔ واحد آنها نیز کم است تشکیل شده باشد و قیمت‌ها نیز به‌طور مستمر در حال تغییر باشند، استفاده از روش میانگین موزون، عملی است و توصیه نیز می‌شود.
در این روش، نرخ موادی که تعداد (وزن) بیشتری دارند، تأثیر بیشتری در نرخ میانگین خواهد داشت.

روش شناسایی ویژه

کاربرد این روش مستلزم پی‌گیری جریان فیزیکی و بهای تمام شدهٔ هر قلم از موجودی‌ها از زمان تحصیل تا موقع مصرف است. این روش در مواردی مناسب است که بتوان هر قلم از موجودی را به‌طور جداگانه مشخص کرد و بهای تمام شدهٔ مربوط به آن را تخصیص داد. بنابراین، روش شناسایی ویژه در مورد اقلام گران قیمت و منحصر به فرد مانند جواهرات و آثار هنری و مانند آنها کاربرد دارد.

جلسه پانزدهم: عوامل تأثیر گذار در قیمت‌گذاری برای یک محصول

معمولاً این کار به‌صورت تخصصی و در مجموعه‌هایی که تولید انبوه و پیوسته دارند، وظیفه رشته‌های مدیریت می‌باشد.

مطالب زیر برای آشنا شدن با برخی از سیاست‌های مدیران در قیمت‌گذاری محصولات ارائه شده است.

تقریباً هر مجموعه‌ای با موضوع قیمت‌گذاری درگیر است؛ چگونه برای محصولات و خدمات خود قیمت‌گذاری کنیم تا تعداد مشتریان را به مقدار مورد نظر برسانیم و سود خود را حداکثر کنیم؟ افزایش قیمت کاهش تعداد مشتریان را در پی دارد؛ کاهش قیمت و افزایش تعداد مشتریان نیز کاهش سود در هر محصول را در بر دارد. موضوع قیمت‌گذاری به‌طور قطع یکی از مهم‌ترین سؤالات مطرح برای هر کسب و کار است.

قیمت‌گذاری اگر اشتباه انجام شود می‌تواند سیل مشتریان را به سازمان بیاورد بی‌آنکه از آن درآمدی کسب شود یا باعث از دست رفتن مشتریان می‌شود.

یکی از بزرگ‌ترین اشتباهاتی که کسب و کارها مرتکب می‌شوند این است که فکر می‌کنند تنها عامل مؤثر بر میزان فروش قیمت است. توانایی شما در فروش باعث افزایش فروش می‌شود. تنها عامل مؤثر در میزان فروش قیمت نیست. «اولین چیزی که باید بدانید این است که قیمت فروش تابع توانایی شما در فروش است و نه چیز دیگری» مشاور با سابقه فروش «لاورنس استینمنتز» در ادامه بیان می‌کند: «تفاوت بین ساعت ۸۰۰۰ دلاری رولکس و ساعت ۴۰ دلاری سیکو چیست؟ سیکو دقیق‌تر است و دستگاه زمان بهتری است! تفاوت در توانایی شما برای فروش خلاصه می‌شود.»

تنها عامل مؤثر در میزان فروش قیمت نیست.

قیمت‌گذاری پایین

اگر چه برخی صاحبان کسب و کار می‌پندارند در شرایط اقتصادی نامساعد باید پایین‌ترین قیمت بازار را ارائه دهند اما «لارا ویلت» استاد اقتصاد دانشگاه بنتلی می‌گوید: «قیمت‌گذاری دقیق در هر شرایط اقتصادی مهم است اما اهمیت آن در دوران رکود اقتصادی بیشتر می‌شود» بسیاری از کسب و کارها در تلاش برای متقاعد کردن مشتری در اینکه پایین‌ترین قیمت بازار در اختیار آنهاست قیمت خود را بسیار پایین می‌آورند اما در بسیاری از مواقع محصول آنها با عنوان «مفت» و «ارزان» برداشت می‌شود. به یاد داشته باشید که مشتریان می‌خواهند «ارزش پول» خود را به دست آورند و قصد خرید از فروشنده ارزان را ندارند. او می‌افزاید: «کسب و کارها باید توجه کنند که عرضه محصول در قیمت پایین باید جوابگوی هزینه‌های شرکت باشد. عرضه محصول در قیمتی که شما فقط هزینه‌ها را به دست می‌آورید در بلند مدت به نفع شرکت شما نیست»

قیمت‌گذاری بالا

در طرف مقابل افزایش قیمت نیز می‌تواند در زده شدن مشتری تأثیر داشته باشد چون مشتری همواره به قیمت رقبا چشم می‌دوزد. قیمت‌گذاری بیشتر از تمایل مشتری برای پرداخت نیز می‌تواند باعث کاهش فروش شود. «توفتوی» می‌گوید: خود را به جای مشتری بگذارید: آیا این قیمت عادلانه است؟ آیا شما حاضرید برای این کالا یا سرویس این مقدار پول پرداخت کنید؟ او می‌گوید بهتر است از مشتریان در مورد قیمت خود و عادلانه بودن نظرسنجی کنید.

اولویت‌هایی غیر از قیمت

گاهی اوقات هدف شما از یک کالا داشتن سهم زیاد در بازار است تا بتوانید محصولات خود و برند خود را به بازار بشناسانید. در برخی موارد یک کالای پرفروش در یک صنعت حاشیه سود کمی‌دارد و شما قصد دارید با فروش بالا با سود کم و قیمت پایین خریداران و خرده فروشان را به خود متمایل کنید. با کسب تمایل خریداران شما می‌توانید محصولات فرعی که حاشیه سود بالاتر و رقابت کمتری را دارند به مشتری بفروشید. (به‌طور مثال یک تولید کننده ویلچر سود خوبی از تولید ویلچر معمولی نمی‌برد اما با در دست داشتن بازار ویلچر معمولی می‌تواند از فروش ویلچر مخصوص و برقی سود خوبی به دست آورد)

شناخت هزینه‌ها

اصلی‌ترین مسئله در قیمت‌گذاری پوشش هزینه‌ها و در مرحله بعدی کسب درآمد است. در بخش حسابداری با مبحث هزینه‌یابی آشنا شده‌اید. هزینه‌های تولید هر کالا بیشتر از هزینه‌های مستقیم آن است و هزینه‌های غیرمستقیم و بالاسری مثل هزینه‌های اداری و مدیریت و انرژی نیز باید پوشش داده شود. باید پس از محاسبه

هزینه‌های مستقیم تولید و هزینه‌های بالاسری مقدار تولید لازم برای پوشش هزینه‌ها را محاسبه کرد. این محاسبات که نقطه سر به سر نام دارد گام اساسی و ضروری در قیمت‌گذاری است.
پس از محاسبه هزینه‌های کلی برای تقسیم هزینه روی هر محصول باید تعداد تقریبی فروش را نیز محاسبه کنید. این یک سبک سنگین کردن بین قیمت و تعداد تولید است. باید در این مرحله با توجه به سهم بازار در نظر گرفته برای محصول خود و بازه قیمتی مد نظر برای مشتریان هدف یک بازه نسبی برای تعداد تولید در نظر بگیرید.
در نظر داشته باشید که با تولید تعداد بیشتری کالا می‌توانید با سرشکن کردن هزینه‌های بالاسری و کلی تولید به قیمت پایین‌تری دست پیدا کنید. پس باید یک نقطه مناسب از تعادل بین قیمت و تعداد تولید پیدا کنید.

برخی از عوامل تأثیرگذار در تعیین سود محصول

تعداد و حجم تولید: اساسی‌ترین عامل تأثیرگذار در سود هر کسب و کار، تعداد و حجم تولید آن محصول است.
بهره‌وری سیستم: افزایش تولید بدون افزایش هزینه‌ها و استفاده از فرایندهای پیشرفته می‌تواند بهره‌وری سیستم را بالا ببرد.
هزینه‌های مستقیم: هزینه‌های مستقیم هزینه‌هایی هستند که با تولید درگیر است و توضیح داده شد.
ارزش هر واحد مواد اولیه: با توجه به حجم و نوع خرید مواد اولیه می‌توانیم مواد مورد نیاز را با شرایط و قیمت بهتری تهیه کنیم، مثلاً به جای اینکه از فروشگاه بخریم از کارخانه تولیدکننده بخریم.
هیچ کدام موارد ذکر شده به تنهایی به عنوان عوامل تعیین‌کننده در قیمت تمام شده و سود یک محصول نیستند بلکه همه آنها باید با هم در نظر گرفته شود تا سودآوری شما را تعیین کنند.
هر عامل را جداگانه در نظر بگیرید. تمام هزینه‌ها را بررسی کنید سپس با توجه به مطالب گفته شده و شرایط رقابتی بازار و حجم تولید و توجیه اقتصادی ما، یک سود معقول به قیمت تمام شده اضافه نموده و قیمت فروش محصول را تعیین می‌کنیم.

ارزشیابی نهایی: واحد یادگیری محاسبه در تولید

شایستگی	استاندارد عملکرد	نمره شایستگی	شاخص
برآورد مادهٔ مورد نیاز برای ساخت محصول	براساس نوع محصول برآورد مقدار مواد مورد نیاز و محاسبه هزینه ساخت آن	۳	۱ـ رعایت شاخص‌های نمره ۲ ۲ـ تشخیص درست از تأثیر تعداد و حجم تولید در قیمت تمام شده
		۲	۱ـ محاسبه مواد اولیه و مواد مصرفی مورد نیاز برای ساخت محصول ۲ـ تفکیک مراحل و فرایندهای مورد نیاز برای ساخت محصول ۳ـ محاسبه هزینهٔ خام مواد اولیه و هزینه‌های قانونی سربار، بالا سری و محاسبه سود برای تعیین بهای تمام شده محصول
محاسبه هزینه محصول		۱	برآورده نکردن یکی از شاخص‌های سطح ۲
توضیحات:			

فصل ۵

فناوری در تولید

جلسه	موضوع جلسه	نوع آموزش	ساعت آموزش	مکان آموزش	منابع و تجهیزات	توضیحات
۱	**دانش:** مقدمه فناوری در تولید، تعریف فناوری، به‌کارگیری فناوری در تولید در گذر زمان و در آینده، نقش فناوری و اهمیت به‌کار گیری آن	نظری	۲	کلاس	کلاس استاندارد ویدئو پروژکتور تخته وایت برد	
۲	**دانش:** شناخت انواع فناوری‌های به‌کار رفته در تولید، آشنایی با فناوری‌های نوین تولید (چشم انداز آینده) شامل چاپگر سه بعدی و اینترنت اشیا	نظری	۲	کلاس	کلاس استاندارد ویدئو پروژکتور تخته وایت برد	
۳	**دانش:** آشنایی با فناوری‌های نوین تولید (چشم‌انداز آینده) شامل نانوفناوری، رایانش ابری و واقعیت افزوده	نظری	۲	کلاس	کلاس استاندارد ویدئو پروژکتور تخته وایت برد	
۴	**دانش:** آشنایی با فناوری‌های روز در تولید، معرفی کنترل عددی رایانه‌ای ماشین‌آلات، آشنایی با سیر تحول به‌کارگیری رایانه‌ها در کنترل ماشین‌آلات تولید، شناخت اجزای سیستم کنترل عددی و سیستم کنترل عددی رایانه‌ای و مزایا و معایب آن	نظری	۲	کلاس	کلاس استاندارد ویدئو پروژکتور تخته وایت برد	
۵	**دانش:** آشنایی با فناوری‌های روز در تولید، شناخت دانش کلیدی مورد نیاز برای به‌کارگیری دستگاه‌های CNC، شناخت انواع دستگاه‌های CNC مورد استفاده در صنایع فلزی	نظری	۲	کلاس	کلاس استاندارد ویدئو پروژکتور تخته وایت برد	
۶	**دانش:** آشنایی با فناوری‌های روز در تولید، شناخت برخی از انواع دستگاه‌های CNC خم‌کاری، برش‌کاری و جوشکاری شامل برک پرس	نظری	۲	کلاس	کلاس استاندارد ویدئو پروژکتور تخته وایت برد	
۷	**دانش:** آشنایی با فناوری‌های روز در تولید، شناخت برخی از انواع دستگاه‌های CNC خم‌کاری، برش‌کاری و جوشکاری شامل فناوری لیزر و برش‌کاری آن	نظری	۲	کلاس	کلاس استاندارد ویدئو پروژکتور تخته وایت برد	

۸	**دانش:** آشنایی با فناوری‌های روز در تولید، شناخت برخی از انواع دستگاه‌های CNC خم‌کاری، برش‌کاری و جوشکاری شامل جوشکاری لیزر	نظری	۲	کلاس	کلاس استاندارد ویدئو پروژکتور تخته وایت برد	
۹	**دانش:** آشنایی با فناوری‌های روز در تولید، شناخت برخی از انواع دستگاه‌های CNC خم‌کاری، برش‌کاری و جوشکاری شامل فناوری پلاسما و برش‌کاری آن	نظری	۲	کلاس	کلاس استاندارد ویدئو پروژکتور تخته وایت برد	
۱۰	**دانش:** آشنایی با فناوری‌های روز در تولید، شناخت برخی از انواع دستگاه‌های CNC خم‌کاری، برش‌کاری و جوشکاری شامل فناوری جوشکاری پلاسما	نظری	۲	کلاس	کلاس استاندارد ویدئو پروژکتور تخته وایت برد	
۱۱	**دانش:** آشنایی با فناوری‌های روز در تولید، شناخت فناوری ربات و به‌کارگیری آن در تولید، آشنایی با آناتومی و سیستم حرکتی ربات‌ها	نظری	۲	کلاس	کلاس استاندارد ویدئو پروژکتور تخته وایت برد	
۱۲	**دانش:** آشنایی با فناوری‌های روز در تولید، شناخت فناوری ربات و به‌کارگیری آن در تولید، آشنایی با انواع ربات های جوشکاری	نظری	۲	کلاس	کلاس استاندارد ویدئو پروژکتور تخته وایت برد	
۱۳	**دانش:** آشنایی با فناوری‌های روز در تولید، شناخت فناوری ربات و به‌کارگیری آن در تولید، آشنایی با ربات‌های نقاشی، مونتاژکاری و بازرسی	نظری	۲	کلاس	کلاس استاندارد ویدئو پروژکتور تخته وایت برد	
۱۴	**ارزشیابی نهایی**					
۱۵	**ارزشیابی نهایی**					

تجهیزات آموزشی (کلاسی):

کتاب درسی ـ تابلوی آموزشی ـ ویدئو پروژکتور

جلسه اول :ایجاد انگیزه در هنرجو

آیا تا به حال پی برده‌اید؟
تولید در گذشته به شکل بوده است؟
قطعات پیچیده و حساس در صنایع مختلف مثل هوا فضا چگونه تولید می‌شود؟
خط تولید محصولات با تیراژ بالا چگونه است؟ تولید در آینده به چه شکل خواهد بود؟
از هنرآموزان بخواهید که در مورد سؤالات فوق بیندیشند و با توجه به دانسته‌های خود پاسخ سؤالات را بدهند، سپس پاسخ تعدادی از آنها را در کلاس مطرح کرده با یکدیگر مقایسه کنید و اجازه دهید هنرآموزان با یکدیگر مباحثه نمایند.
پیشنهاد می‌شود با استفاده از مقدمه جلد پودمان موارد زیر را به هنرجویان متذکر شوید:

- تغییر ماهیت تولید از حالت دستی به ماشینی در سال‌های پس از انقلاب صنعتی اول و دوم با اختراع ماشین بخار و امکان بهره‌گیری از نیروی الکتریسیته که به توسعه تجارت و رشد کسب و کار منجر شد. و ذکر این موضوع که انقلاب صنعتی اول و به دنبال آن دوم نقطه عطفی در تاریخ زندگی بشر است که تقریباً روی هر جنبه از زندگی وی تأثیر گذاشته است زیرا که تغییرات به‌وجود آمده در این برهه از زمان از جمله ماشین بخار و نیروی الکتریسیته صنایع مختلفی نظیر صنایع نساجی، غذایی، حمل و نقل، فلزی، معادن و... را به‌طور کل دگرگون کرد و رشد چشمگیری در جمعیت جهان و درآمد متوسط مردم ایجاد کرد و به دنبال آن سطح استاندارد زندگی عموم افزایش یافت.
- با پیشرفت روز افزون جوامع و نیاز به تولید محصولات با تیراژ بالاتر، کیفیت بیشتر و دقیق‌تر بخصوص با پیشرفت صنعت هوا ـ فضا و انقلاب صنعتی سوم با به‌کارگیری رایانه‌ها در تولید هوشمند آغاز شد و زندگی مدرن برای تولید هر محصولی از پارچه تا فولاد وابسته به ماشین‌آلات پیشرفته شد.
- با توجه به سیر پیشرفت فناوری در تولید و برهۀ زمانی حاضر که عصر دیجیتالی شدن می‌باشد انتظار می‌رود در آینده با پیشرفت فناوری‌های جدید در زمینه‌های مختلف از جمله رباتیک، هوش مصنوعی، فناوری نانو، محاسبات کوانتومی، بلاک چین، بیوتکنولوژی، اینترنت اشیا، چاپگر سه بعدی و وسایل نقلیه هوشمند انقلاب صنعتی چهارم با تغییر شگرف در اقتصاد، مشاغل و حتی جوامع رخ دهد.

دانش افزایی

بیت کوین و فناوری بلاک چین چیست؟
هر کشوری ارز خود را دارد، اکثر کشورهای اروپایی از یورو استفاده می‌کنند، ارز روسیه روبل و ایالات متحده آمریکا دلار آمریکا است. پول‌های معمولی به وسیله

بانک‌های مرکزی ایجاد می‌شوند؛ در واقع بانک‌های مرکزی تصمیم می‌گیرند این پول‌ها وجود داشته باشند تا به وسیله آن از دولت اوراق قرضه خریداری کنند. بانک‌ها و شبکه پرداخت آن را به دقت کنترل می‌کنند تا بتوانند از امتیاز آن بهره‌مند شوند. ما در بانک‌ها یا مبادلات خارجی از ارز مشخصی استفاده می‌کنیم، پول را با استفاده از بانک‌ها و مؤسسات در سراسر جهان انتقال می‌دهیم و یا آن را سرمایه‌گذاری می‌کنیم.

تغییر اقتصاد و ارز با ظهور ارزهای دیجیتال

اما بیت کوین اولین نمونه از ارزهای دیجیتال است که به‌صورت مجازی ساخته و نگهداری می‌شود. کسی آن را کنترل نمی‌کند، چاپ نمی‌شود و به وسیله نرم‌افزارهای رایانه‌ای که در سراسر جهان مشغول حل مسائل ریاضی هستند، تولید می‌شود. از نظر فنی بیت‌کوین نخستین پول دیجیتال نامتمرکز است. چرا که بدون بانک مرکزی یا مسئول مرکزی کار می‌کند. پشتوانه ارزهای رایج، طلا و نقره است. از لحاظ تئوری اگر شما یک دلار را به بانک بدهید آنها بایستی به اندازه آن به شما طلا بدهند (هر چند در عمل، این امکان وجود ندارد). اما پشتوانه این ارز دیجیتال طلا نیست بلکه فرمول‌های ریاضی است.

این شبکه همتا به همتا است. (در شبکه همتا به همتا رایانه‌ها همه در یک سطح کار می‌کنند، به این مفهوم که هر رایانه می‌تواند از اطلاعات رایانه دیگر استفاده کرده یا به رایانه دیگر اطلاعات بفرستد.) و تراکنش‌ها، مستقیماً و بدون واسطه بین کاربران انجام می‌شود. هیچ‌کس مالک شبکه بیت‌کوین نیست و مانند ایمیل، این کاربران بیت‌کوین هستند که آن را کنترل می‌کنند. هرکسی روی شبکه، کنترل پول خود را بر عهده دارد و هرکسی می‌تواند با دانلود نرم‌افزار رایگان بیت کوین و اجرای آن روی رایانه شخصی‌اش، روی سیستم مالی بیت کوین تأثیرگذار باشد.

چه کسی آن را خلق کرده است؟

یک برنامه‌نویس رایانه‌ای به نام ساتوشی ناکاموتو ایده تولید آن را مطرح کرد که یک سیستم پرداخت براساس اصل «اثبات کار» بود. پروتکل اثبات کار یا همان Proof of Work یک سیستم اجرایی در حوزه‌های اقتصادی مختلف است که در آن افراد براساس میزان فعالیتشان در سیستم، پاداش دریافت می‌کنند. ایده اصلی او تولید پول، مستقل از هر نوع مرکز دولتی، قابل انتقال به‌صورت مجازی، با سرعت انتقال بالا و با هزینه انتقال خیلی کم بود.

روش‌های کسب بیت‌کوین

- بیت‌کوین‌ها عموماً از طریق فعالیت‌های استخراج (ماینینگ) که همان فرایند پردازش تراکنش‌های بیت‌کوین است، به‌دست می‌آیند. این روش مستلزم در اختیار داشتن رایانه‌ها و سخت‌افزارهای قدرتمندی است. در خصوص ماینینگ، این فعالیت به معنای میزان قدرت محاسباتی رایانه کاربران است. در واقع هر چه میزان هش (Hash Rate) مسائل حل شده توسط رایانه بیشتر باشد، میزان پاداش افزایش پیدا می‌کند. در اصل هش (Hash) یک فرمول ریاضی است که به شکل یک عبارت کوتاه شده در فرایند اعتبار بخشی داده‌های تراکنش در شبکه بلاک‌چین (Block Chain) کاربرد دارد. فرمولی که از طریق هش به‌دست می‌آید معمولاً تصادفی و بسیار مشکل است و برای حل آن از پلتفرم‌های رایانه‌ای استفاده می‌شود. در حوزه استخراج ارزهای دیجیتال زمانی که ماینر یا همان استخراج‌کننده، هش شکل گرفته در شبکه را در قالب یک بلاک (Block) محاسبه می‌کند، کوین‌ها و یک درصد از هزینه‌های تراکنش که در آن بلاک تعبیه شده، به‌عنوان پاداش به آدرس کیف پول او منتقل می‌شود.
- خرید بیت‌کوین از صرافی‌ها
- می‌توان با پذیرفتن بیت‌کوین به‌عنوان وجه پرداختی در برابر کالا یا خدمات، بیت‌کوین به‌دست آورد.

تفاوت اصلی بیت کوین با ارزهای سنتی غیرمتمرکز بودن آن است. بیت کوین روی یک پایگاه داده غیرمتمرکز به اسم بلاک چین فعالیت می‌کند.

بلاک چین چیست؟

به زبان ساده، در جهان امروز بیش از ۸۰ درصد امور روزمره ما به شرکت‌ها و سازمان‌های واسطه وابسته است. وقتی شما در بانکی حساب باز می‌کنید یا وارد ایمیل شخصی خود می‌شوید، در حقیقت از سازمان‌های واسطه کمک گرفته‌اید. شرکت‌ها و سازمان‌های واسطه بر تمام اطلاعات شما کنترل دارند. مثلاً وقتی به دوست خودتان در شبکه اجتماعی پیام می‌فرستید در حقیقت این پیام را ابتدا برای پایگاه‌های داده آن شبکه ارسال می‌کنید و پایگاه داده آن شبکه آن را برای دوست شما می‌فرستد.

در پایگاه‌های داده بلاک چین، داده‌ها بین میلیون‌ها رایانه توزیع شده‌اند و هیچ‌کس قادر به کنترل داده‌ها نیست و اگر شخصی بخواهد بلاک چین را هک کند باید بیش

از ۵۱ درصد از رایانه‌های شبکه را که با رمزنگاری پیشرفته حفاظت شده‌اند را هک کند که تقریباً غیرممکن است. مثلاً اگر توییتر روی بلاک چین اجرا شود هیچ‌کس به جز شما نمی‌تواند توییت‌های خودتان را پاک کند، حتی مدیران توییتر. بلاک چین برای بسیاری از صنایع و مشاغل قابل استفاده است مانند رأی‌گیری، پرداخت، سیستم‌های اداری، ذخیره قراردادها و... .

بلاک چین نوعی دیتابیس یا پایگاه داده است که روی یک یا چند سرور خاص قرار ندارد بلکه روی تمام رایانه‌هایی که به شبکه متصل می‌شوند، توزیع شده است. بلاک چین در حقیقت یک دفتر کل برای ثبت رکوردها و گزارشات است و به دلیل نوع رمزنگاری و ثبت آن در همه رایانه‌های شبکه، گزارشات ثبت شده قابل هک یا حذف نیستند.

بیت کوین اولین کاربرد این فناوری بود اما از این سیستم انقلابی برای هر سیستمی که نیاز به ثبت گزارش داشته باشد می‌توان بهره برد.

فناوری چیست؟

پیشنهاد می‌شود این بخش از کتاب با بیان مثالی عینی از به‌کارگیری فناوری در زندگی و برطرف شدن مشکل پیش روی بشر با به‌کارگیری آن مطرح شود مثلاً:

- مهارت به‌کارگیری و کنترل آتش توسط بشر برای پخت و پز، گرما، حفاظت و شکار نقطه عطفی در جنبه فرهنگی تکامل انسان بوده و به پراکندگی جغرافیایی انسان، نوآوری‌های فرهنگی و تغییرات در رژیم و رفتار وی منجر شد. علاوه‌براین، ایجاد آتش باعث گسترش فعالیت‌های انسانی تا ساعت‌های تاریک و سردتر از شب می‌شود. بشر در گذر زمان روش و ابزار به‌کارگیری آتش را توسعه داده و به‌کارگیری آن را برای خویش آسان کرده است.
- اختراع چرخ توسط بشر با استفاده از مواد اولیهٔ موجود در طبیعت نظیر سنگ و چوب که باعث سهولت در جابه‌جایی و حمل و نقل برای بشر شد.

سنگ نگاره‌ای متعلق به ۲۵۰۰ سال قبل از میلاد که ارابه‌ای چرخ‌دار در آن به چشم می‌خورد.

چرخ‌دندانه‌دار در نمایشگاه موزه ملی ایران متعلق به هزاره دوم قبل از میلاد

دانش افزایی

فناوری یا تکنولوژی دانش ـ مهارتی است برای ساختن افزار (نرم یا سخت). این دانش ـ مهارت ممکن است پیچیده یا ساده، شخصی یا شایع، جدید یا قدیمی و... باشد. در واقع شگردها و به‌کاربردن ابزارها، دستگاه‌ها، ماده‌ها و فرایندها به منظور گره‌گشایی از دشواری‌های پیش روی انسان فناوری می‌باشد. فناوری فعالیتی انسانی است و از همین رو، از دانش و از مهندسی دیرینه‌تر می‌باشد.

تکنولوژی به معنای آمیزهٔ هنر و مهارت با دانش است. می‌توان گفت که انسان خردمند در تعامل با طبیعت به قوانین عام آن دست می‌یابد و با بازآفرینی این قوانین توسط علم و دانش در محیط و شرایط دلخواه کاربردهای موردنظر خود را ایجاد می‌نماید.

کار کلاسی

هنرجویان به‌صورت گروهی فعالیت کلاسی را انجام داده و هر کدام از گروه‌ها یکی از فعالیت‌های روزانه که بشر توانسته به کمک پیشرفت فناوری آن را برای خویش آسان‌تر نماید شرح دهد.

روند پیشرفت فناوری از گذشته تا به امروز

شکل ۲ سیر پیشرفت تکنولوژی از گذشته تا به امروز و چشم‌انداز آینده آن را نشان می‌دهد. از هنرجویان بخواهید با دقت در شکل پاسخ سؤال مطرح شده در زیر شکل را بدهند جواب تعدادی از آنها را در کلاس مطرح کنید و در نهایت موارد صفحه بعد را در پاسخ به سؤال مطرح کنید:

در سال‌های ۱۸۶۰ـ۱۷۸۰ اختراع ماشین بخار تولید دستی را به سمت تولید ماشینی برد. از صنایع بارز که در این برهه دچار تحول شدند می‌توان صنعت نساجی را نام برد.
در سال‌های ۱۹۶۰ـ۱۸۷۰ به‌کارگیری الکتریسیته اولین خطوط مونتاژ را در کارخانه‌ها ایجاد کرد. از صنایع بارز که در این برهه دچار تحول شدند می‌توان صنعت خودروسازی را نام برد.
۲۰۱۰ـ۱۹۷۰ ساخت میکرو پروسسرها و کوچک شدن مدارهای الکتریکی امکان به‌کارگیری تجهیزات الکترونیکی مثل رایانه‌ها را در تولید فراهم کرد. از صنایع بارز که در این برهه دچار تحول شدند می‌توان صنایع فلزی را نام برد.
آینده ـ۲۰۲۰ به‌کارگیری فناوری‌های دیجیتالی مختلف و تولید هوشمند که انتظار می‌رود در آینده رخ دهد.

نقش فناوری:
پیشنهاد می‌شود در این قسمت توضیح دهید که چگونه فناوری به تولید سریع‌تر، ساده‌تر و کارآمدتر منجر می‌شود. با بیان این موضوع که فناوری با ماشینی کردن فرایند تولید سرعت آن را افزایش داده است به‌علاوه کنترل ماشین‌آلات توسط رایانه‌ها تولید را برای بشر ساده‌تر کرده است ضمن اینکه با وجود امکان شبیه‌سازی قبل از مرحله تولید به کمک بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال تولید کارآمدتر شده است.

تمرین

از هنرجویان بخواهید فهرستی از ابزار جایگزین شده با دستگاه‌های رایانه‌ای در صنایعی نظیر صنایع فلزی، نجاری، خودرو، ساخت‌وساز، غذایی، پوشاک و... تهیه کنند. سپس پاسخ تعدادی از آنها را در کلاس مطرح کنید.
مثلاً در صنایع فلزی ابزار برش‌کاری، خم‌کاری، جوشکاری، براده برداری و...
در صنایع نجاری ابزار برش‌کاری و منبت‌کاری
در صنایع غذایی بسیاری از محصولات بدون دخالت دست تولید می‌شوند و فرایندهایی نظیر سورتینگ، قالب زدن، خرد کردن، بسته‌بندی و...
در صنایع پوشاک کلیه مراحل فرایند تولید شامل بریدن، مونتاژ کردن، دوختن و...
و بسیاری از فرایندهای دیگر در صنایع مختلف توسط رایانه‌ها کنترل می‌شوند.

تجهیزات آموزشی (کلاسی):
کتاب درسی ـ تابلوی آموزشی ـ ویدئو پروژکتور

جلسه دوم:انواع فناوری در تولید

اشاره به تقسیم‌بندی فناوری‌های تولید با توجه به متن کتاب درسی و مطالب ذکر شده در جلسه اول که شامل فناوری‌های نوین و فناوری‌های روز می‌شود.

فناوری‌های نوین در تولید

چاپگر سه بعدی: علاوه‌بر توضیحات مطرح شده در متن کتاب درسی نمایش فیلم آموزشی که فرایند تولید به کمک چاپگر سه بعدی را نشان دهد توصیه می‌شود.

دانش افزایی

نکته جالب در خصوص چاپگرهای سه بعدی این است که بازار چاپگرهای سه بعدی شخصی در حال حاضر بسیار سریع در حال رشد است و بیش از یک میلیون چاپگر شخصی سه بعدی تا سال ۲۰۲۰ فروخته خواهد شد.

هم اکنون برای کاربران این چاپگرها دسترسی ساده و کم هزینه و بعضاً رایگان به تعداد زیادی مدل از طریق مراجعه به سایت‌های ارائه دهندهٔ این خدمات فراهم می‌باشد. در کمال تعجب به‌راحتی با مراجعه به یک سایت می‌توانید طرح مربوط به یک قسمت جایگزین برای داشبورد خودرو خود یا یک کلاهک لنز جدید برای دوربین خود را دانلود کنید و سپس با کیفیت قابل استفاده در چاپگر سه بعدی خود با هزینه کمتری چاپ کنید. برای تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان قطعات یدکی، این یک فناوری کاملاً هشداردهنده است!

بنابراین به کمک این فناوری هر کسی می‌تواند طرح های دیجیتالی خود را تبدیل به واقعیت مادی کند و حتی برای فروش تجاری ارائه دهد که این خود به ایجاد کسب و کارهای جدید و احداث فروشگاه‌های آنلاین منجر می‌شود و این امکان فراهم می‌شود که شخصی بدون هیچ‌گونه سرمایه‌گذاری در سهام و یا ابزار تولید به کسب و کار تولیدی برسد.

فناوری اینترنت اشیا

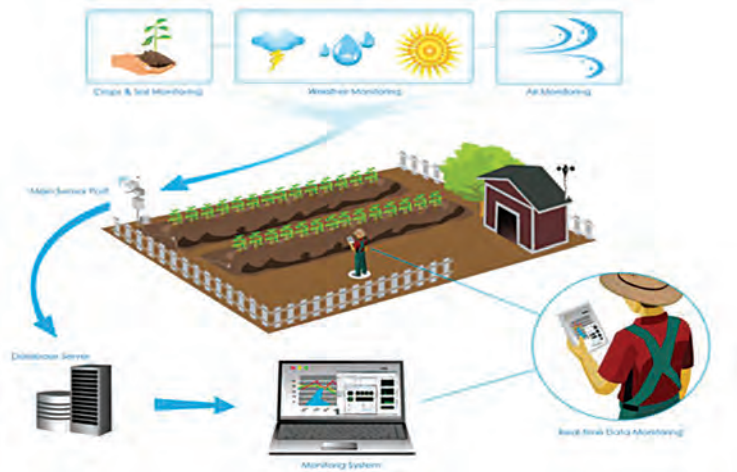
علاوه‌بر توضیحات مطرح شده در متن کتاب درسی و نمایش فیلم آموزشی که نقش این فناوری را در زمینه‌های مختلف نشان دهد توصیه می‌شود.

دانش افزایی

اینترنت اشیا در واقع مجموعه‌ای از دستگاه‌ها، وسایل، ابزار، اشیا و ... است که به کمک یک دکمه خاموش و روشن روی یک شبکه مشخص به یکدیگر یا اینترنت متصل می‌شوند و از طریق این شبکه کنترل می‌شوند.

مثال‌هایی از کاربرد این فناوری:

- شهرهای هوشمند، که به سامانه‌های هوشمند پارکینگ برای یافتن مکان‌های موجود جهت پارک خودرو، نورپردازی جهت تغییر شدت نور متناسب با وضعیت آب‌وهوایی، معدوم‌سازی زباله‌های شهری براساس نوع آنها و خیابان‌ها و بزرگراه‌ها جهت اعلام هشدارهای لازم در شرایط آب و هوایی خاص یا شرایط اضطراری مجهز هستند.
- محیط زیست هوشمند که به سامانه‌های هوشمند پیش‌بینی وقوع آتش در جنگل‌ها از طریق محاسبه میزان گازهای موجود، کنترل میزان بارش برف در ارتفاعات و پیش‌بینی وقوع بلای طبیعی مثل سیل و سونامی مجهز هستند.
- صنعت هوشمند مجهز به سامانه‌های کنترل هوشمند کیفیت هوا داخل سالن نظارت بر میزان گاز سمی و اکسیژن در داخل کارخانه‌های شیمیایی برای اطمینان از ایمنی کارگران و کالاها، نظارت بر دما برای کنترل دمای داخل سردخانه صنعتی و پزشکی با کالای حساس و کنترل ماشین‌آلات تولید
- فروشگاه‌های هوشمند مجهز به سامانه‌های نرم‌افزاری خرید هوشمند برای دریافت راهنمایی در مورد فروش با توجه به عادت‌های مشتری، ترجیحات، واکنش‌های آلرژیک به محصولات خاص و اعلام تاریخ انقضا و مدیریت محصول هوشمند برای کنترل چرخش محصولات در قفسه‌ها و انبارها
- کشاورزی هوشمند مجهز به سامانه هوشمند کنترل کیفیت محصولات از طریق بررسی رطوبت خاک و قطر تنه درختان برای کنترل میزان قند در محصولات و سلامتشان، گلخانه‌ها جهت کنترل شرایط میکرو هواشناسی برای به حداکثر رساندن تولید میوه‌ها و سبزیجات و کیفیت آن، زمین‌های کشاورزی مجهز به آبیاری انتخابی در مناطق خشک برای کاهش منابع آب مورد نیاز، شبکه ایستگاه هواشناسی برای بررسی شرایط آب و هوایی در زمینه‌های پیش‌بینی بارش یخ، بارش باران، خشکسالی، برف یا تغییرات باد.



کشاورزی هوشمند با به‌کارگیری اینترنت اشیا

■ خانه‌های هوشمند مجهز به سامانه‌های هوشمند کنترل مصرف آب و انرژی برای دریافت راهنمایی در مورد چگونگی صرفه‌جویی در هزینه و منابع، لوازم خانگی کنترل از راه دور جهت خاموش و روشن کردن وسایل از راه دور برای جلوگیری از حوادث و صرفه‌جویی در انرژی و سیستم‌های تشخیص ورود افراد غریبه از طریق تشخیص پنجره‌ها و درها و نقاط ضعف برای جلوگیری از مزاحمان.

خانه‌های هوشمند با به‌کارگیری اینترنت اشیا

در انتها می‌توانید تصویر زیر را یا تصویر مشابه دیگری در کلاس به بحث بگذارید و نظر هنرآموزان را جویا شوید.

۱۰ چیزی که با آمدن اینترنت اشیا منسوخ می‌شوند.

تجهیزات آموزشی (کلاسی):
کتاب درسی ـ تابلو آموزشی ـ ویدئو پروژکتور

جلسه سوم: فناوری نانو

در آغاز جلسه عبارت زیر را روی تخته بنویسید:
نانو تکنولوژی قابلیت کنترل و دستکاری مواد در مقیاس اتمی و مولکولی است.
از هنرجویان بخواهید مواردی از کاربرد فناوری نانو که با آن برخورد داشته‌اند نام ببرند و بگویند نقش فناوری نانو در کاربرد ذکر شده چیست و چه مزیتی به دنبال داشته است.
سپس ضمن تدریس مطالب موجود در کتاب درسی موارد زیر را نیز در کلاس مطرح کنید.

■ نقطه شروع و توسعه اولیه فناوری نانو به‌طور دقیق مشخص نیست. شاید بتوان گفت که اولین نانوتکنولوژیست‌ها شیشه‌گران قرون وسطایی بودند که از قالب‌های قدیمی برای شکل دادن شیشه‌هایشان استفاده می‌کرده‌اند. البته این شیشه‌گران وسطایی نمی‌دانستند که چرا با اضافه کردن طلا به شیشه رنگ آن تغییر می‌کند. در آن زمان برای ساخت شیشه‌های کلیساهای قرون وسطایی از ذرات نانومتری طلا استفاده می‌شده است و با این کار شیشه‌های رنگی بسیار جذابی به‌دست می‌آمده است. این قبیل شیشه‌ها هم‌اکنون در بین شیشه‌های بسیار قدیمی یافت می‌شوند. رنگ به‌وجودآمده در این شیشه‌ها برپایه این حقیقت استوار است که مواد با ابعاد نانو دارای همان خواص مواد با ابعاد میکرو نمی‌باشند. در واقع یافتن مثال‌هایی برای استفاده از نانو ذرات فلزی چندان سخت نیست. رنگدانه‌های تزئینی جام مشهور لیکرگوس در روم باستان (قرن چهارم بعد از میلاد) نمونه‌ای از آنهاست. این جام هنوز در موزه بریتانیا قرار دارد و بسته به جهت نور تابیده به آن رنگ‌های متفاوتی دارد. نور انعکاس یافته از آن سبز است ولی اگر نوری از درون آن بتابد، به رنگ قرمز دیده می‌شود. آنالیز این شیشه حکایت از وجود مقادیر بسیار اندکی بلورهای فلزی ریز (۷۰۰nm) که حاوی نقره و طلا با نسبت مولی تقریباً ۱۴ به ۱ است دارد. حضور این نانوبلورها باعث رنگ ویژه جام لیکرگوس است. بعد از دهه نود که فناوری اطلاعات هیاهوی بسیاری در جهان به پا نمود در آغاز قرن بیست و یک دانشمندان تمرکز خود را بر روی فناوری نوینی معطوف کرده‌اند که به عقیده عده‌ای نه تنها قسمتی از آینده بشری می‌باشد، بلکه این فناوری تمامی آینده بشر را متحول خواهد ساخت. نانو تکنولوژی دارای سابقه زیادی نمی‌باشد. این موضوع برای اولین بارحدود ۴۰ سال پیش مطرح شد.

جام لیکرگوس متعلق به قرن چهارم پس از میلاد

■ نانو تکنولوژی در ترجمه لفظ به لفظ، به معنی تکنولوژی بسیار کوچک است. نانو تکنولوژی، فناوری تغییر در خواص مولکول‌های تشکیل‌دهنده مواد است و به همین دلیل مقیاس نانو بهترین تعریف برای این تکنولوژی می‌باشد. ماهیت فناوری نانو توانایی کارکردن در تراز اتمی، مولکولی و فراتر از آن در ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، با هدف ساخت و دخل و تصرف در چگونگی آرایش اتم‌ها یا مولکول‌ها با استفاده از مواد، وسایل و سیستم‌هایی با توانایی‌های جدید و با تغییر این ساختارها و رسیدن به بازدهی بیشتر مواد است. در واقع اگر همه مواد و سیستم‌ها ساختار زیربنایی خود را در مقیاس نانو ترتیب دهند؛ آنگاه تمام واکنش‌ها سریع‌تر و بهینه‌تر صورت می‌گیرد و توسعه پایدار پیش گرفته می‌شود.

■ با توجه به تعریف نانوذرات، یکی از سؤال‌های مهم در تولید مواد نانو این است که آرایش هندسی و پایداری اتم‌ها با تغییر اندازه ذرات چه تغییری می‌کند؟

در تکنولوژی نانو اولین اثر کاهش اندازه ذرات، افزایش سطح است. افزایش نسبت سطح به حجم نانوذرات باعث می‌شود که اتم‌های واقع در سطح، اثر بسیار بیشتری نسبت به اتم‌های درون حجم ذرات، بر خواص فیزیکی ذرات داشته باشند. این ویژگی واکنش‌پذیری نانوذرات را به شدت افزایش می‌دهد علاوه‌بر این افزایش سطح ذرات فشار سطحی را تغییر داده و منجر به تغییر فاصله بین ذرات یا فاصله بین اتم‌های ذرات می‌شود، تغییر در فاصله بین اتم‌های ذرات و هندسه ذرات روی خواص الکترونیکی ماده هم تأثیرگذار است. وقتی اندازه ذرات کاهش می‌یابد پیوندهای الکتریکی در فلزات ظریف‌تر می‌شوند. افزایش نسبت سطح به حجم وتغییرات در

هندسه و ساختار الکترونیکی تأثیر شدیدی روی فعل و انفعالات شیمیایی ماده می‌گذارد و برای مثال فعالیت ذرات کوچک با تغییر در تعداد اتم‌ها و درنتیجه اندازه ذرات تغییر می‌کند.

دانش افزایی

نانو مواد چیست؟

موادی که حداقل یکی از ابعاد آنها (طول، عرض یا ضخامت) بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد، نانومواد نامیده می‌شوند. این مواد براساس ابعاد یا نوع ساختار ظاهری دسته‌بندی می‌گردند.

طبقه‌بندی نانو مواد براساس ابعاد آنها

نانومواد با توجه به اندازهٔ ابعادشان در راستای محورهای مختصات به سه گروه تقسیم می‌شوند:

۱ نانومواد تک بعدی: این گروه شامل موادی هستند که یک بعد آنها بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. نمونه‌ای از این مواد، نانو لایه‌ها و فیلم‌های نازک هستند که ضخامت آنها در مقیاس نانومتری است.

۲ نانومواد دوبعدی: موادی که دو بعد آنها بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است، نانومواد دوبعدی نامیده می‌شوند. نانولوله‌های کربنی از جمله نانومواد دو بعدی هستند که سطح مقطع آنها در ابعاد نانومتری است.

۳ نانومواد سه بعدی: این مواد در سه بعد، ابعادی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارند. نانوذرات از جمله موادی هستند که در این گروه قرار می‌گیرند.

طبقه‌بندی نانومواد براساس ساختار ظاهری آنها

این مواد به گروه‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

- **نانو ذرات:** نانوذرات‌ها از مدت‌ها قبل مورد استفاده بوده‌اند. شاید اولین موارد استفاده از آنها در لعاب ظروف سفالی سلسله‌های اولیه چین باشد. نانو ذرات در واقع ذراتی با قطر بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که مهم‌ترین آنها شامل نانوذرات نیمه رسانا، نانوذرات سرامیکی، نانوذرات فلزات و غیره می‌باشد. این ذرات در شکل‌هایی مانند کروی ـ سوزنی، ورقه‌ای ـ شاخه‌ای، میله‌ای و صفحه‌ای یافت می‌شوند.
- **نانو الیاف:** الیاف نسبتاً کوتاهی که قطرشان در مقیاس نانومتری است و به گروه‌های بسیار متنوعی تقسیم می‌شوند که به مهم‌ترین آنها، یعنی نانو الیاف کربنی، نانو الیاف پلیمری و نانو الیاف معدنی می‌توان اشاره کرد. نسبت سطح به حجم بالا و مقاومت زیاد در مقابل سایش از جمله خواص نانو الیاف است. از نانو الیاف‌ها برای تولید لباس‌های محافظ، تولید آینه‌های قابل استفاده در فضا، فیلتر هوا و... استفاده می‌شود.
- **نانو کپسول‌ها:** نانوکپسول‌ها به نانوذره‌ای گفته می‌شود که دارای یک پوسته و

یک فضای خالی جهت قرار دادن مواد مورد نظر در داخل آن باشد. نانو کپسول‌های پلیمری و نانوامولسیون‌ها از این جمله هستند.

- **نانو لوله‌ها:** نانولوله‌ها به موادی گفته می‌شود که قطر آنها تا حدود ۱۰۰ نانومتر است. لغت نانولوله در حالت کلی در مورد نانولوله‌های کربنی به‌کار می‌رود. البته شکل‌های دیگری از نانولوله‌ها همچون نانولوله‌های بورنیترید نیز ساخته شده‌اند.
- **نانو سیم‌ها:** نانوسیم یک ساختار دو بعدی است و به دلیل اینکه در این ابعاد آثار کوانتومی مهم هستند، سیم‌های کوانتومی نیز نامیده می‌شوند و انواع نانوسیم‌های فلزی، نانوسیم‌های آلی، نانوسیم‌های پلیمری و نیمه‌هادی را در برمی‌گیرند.
- **نانو روکش‌ها:** روکش‌ها، لایه‌هایی هستند که روی ماده‌ای دیگر نشانده می‌شوند و ضخامتی کمتر از ماده دوم دارند. روکش‌ها کاربردهای متنوعی در صنایع مختلف از خودروسازی گرفته تا صنایع لوازم خانگی دارند. دلیل استفاده از این روکش محافظت یا تزئین محصولاتی چون شیشه‌ها، فلزات، پلاستیک‌ها، عینک‌های آفتابی، لوازم ورزشی، مبلمان، وسایل آشپزی، وسایل پزشکی، الکترونیک، خودروها و... است. از این روکش‌ها برای محافظت از سطوح در برابر آسیب‌هایی مانند باران، برف، اشعهٔ ماورای بنفش، نور آفتاب و رطوبت استفاده می‌شود.

نانو روکش‌ها در واقع لایه‌های نانومتری و روکش‌های نانوساختار هستند. نانو روکش‌ها دارای کاربردهای فراوانی هستند. فناوری نانو از خش برداشتن، تکه تکه شدن و خورده شدن روکش‌ها جلوگیری می‌کند. از جملهٔ نانوروکش‌ها می‌توان به روکش‌های ضد انعکاس در مصارف خودروسازی و روکش‌های محافظ (ضدخش، غیرقابل رنگ‌آمیزی و قابل شست‌وشوی آسان) و روکش‌های زینتی اشاره کرد.

- **مواد نانو حفره‌ای:** زئولیت ماده‌ای است که به‌عنوان کاتالیزگر استفاده می‌شود. ویژگی قابل توجه زئولیت‌ها حفره‌های بسیار ریز یا نانومتری موجود در آنهاست. نسبت سطح به حجم زیاد این ساختار نانو متخلخل سبب شده است از آن به‌عنوان کاتالیزگر استفاده شود. همچنین، تخلخل‌های موجود در این مواد برای رشد دادن نانو مواد یک بعدی (نانوسیم‌ها و نانولوله‌ها) مناسب است. مواد نانو حفره‌ای به‌طور گسترده در سیستم‌های زیستی موجود است. برای مثال بعضی از غشاهای نانوحفره‌ای موجود در طبیعت مانند دیوارهٔ سلول‌ها، قابلیت عبور دادن انتخابی مواد از خود را دارند. این مواد کاربردهای مختلف و فراوانی دارند. از این مواد برای ارسال داروها به قسمت‌های مورد نظر در بدن استفاده می‌شود.

رایانش ابری

علاوه‌بر توضیحات مطرح شده در متن کتاب درسی و نمایش فیلم آموزشی که نقش این فناوری را در زمینه‌های مختلف نشان دهد توصیه می‌شود.

پردازش ابری را این‌گونه در نظر بگیرید که امکان دسترسی به داده‌ها یا برنامه‌های شما از سراسر اینترنت فراهم باشد یا حداقل یک سری داده را با سایر اطلاعات موجود در وب همگام‌سازی کرده باشید. در کسب‌وکارهای بزرگ، شاید نیاز داشته باشید که اطلاعاتی در مورد آن‌سوی اتصال داشته باشید. به‌عنوان یک کاربر شخصی، شاید هیچ‌گاه به این موضوع فکر نکنید که در طرف دیگر اتصال، چه فرایندهای عظیم پردازشی در حال انجام هستند. نتیجهٔ نهایی در نهایت یکسان است؛ با یک اتصال آنلاین، امکان انجام پردازش‌های ابری از هر کجا و در هر زمان وجود دارد. یک کلود یا ابر، در حقیقت ردیفی گسترده از رایانه‌هایی است که به یکدیگر متصل شده‌اند و به‌عنوان یک اکوسیستم واحد به فعالیت می‌پردازند. ابرها به‌گونه‌ای پیکربندی می‌شوند تا یک یا چند نوع سرویس خاص (نظیر ذخیرهٔ داده، تحویل محتوا یا اپلیکیشن‌ها) را به‌گونه‌ای ارائه کنند که کاربران آن یعنی ما و شما بتوانیم از راه دور به این سرویس‌ها دسترسی داشته باشیم. تصور کنید که یک فضای ذخیره‌سازی روی یک سرور اجاره کرده‌اید. اگر این سرور به‌صورت واحد و بدون هیچ ارتباطی با سایر سرورها وظیفهٔ نگهداری و پردازش داده‌های شما را بر عهده داشته باشد، ممکن است بارها و بارها بنا بر دلایل مختلفی از به‌روزرسانی سیستم‌عامل گرفته تا مشکل سخت‌افزاری با نقصان مواجه شود. حال اگر مجموعه وسیعی از رایانه‌ها را به‌گونه‌ای سازمان‌دهی کنیم که بار پردازشی و ذخیره‌سازی در میان آنها به‌صورت پویا تقسیم شود، نتیجه چه خواهد شد؟ مسلماً پایداری بی‌نظیر یکی از خصیصه‌های اصلی این اقدام خواهد بود؛ و این همان ابر یا کلود است.

مزایا

بهره‌گیری از رایانش ابری مزایای فراوانی برای سازمان می‌تواند داشته باشد که برخی از آنها به این شرح‌اند:

۱ **حذف تعمیر و نگهداری:** در ابر عمومی، منابع رایانه‌ای در مراکز داده‌های شرکت خدمات‌دهنده قرار دارند و سازمان درگیر پیاده‌سازی، نگهداری تجهیزات و نرم‌افزارهای زیرساختی نمی‌شود.

۲ **افزایش امنیت:** هر چند که مراکز داده‌های شرکت‌های خدمات‌دهنده رایانش ابری از اهداف مورد علاقه نفوذگران است؛ اما ناگفته پیداست که این شرکت‌ها با بهره‌گیری از متخصصان امنیتی خبره و تجهیزات امنیتی مناسب، حداکثر تلاش خود را در امن نگاه داشتن داده‌های کاربران می‌کنند، همچنین در اکثر مواقع تهیه نسخه پشتیبان از سیستم‌عامل بر عهده شرکت خدمات‌دهنده است. علاوه‌بر آن، متمرکز کردن داده‌ها در صورتی که با تدابیر صحیحی همراه باشد راهکاری برای کاهش خطر سرقت داده‌های سازمان محسوب می‌شود.

۳ **توسعه‌پذیری:** پیش‌بینی نیازمندی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در هنگام

برنامه‌ریزی بودجه سازمان در بسیاری از مواقع با خطا همراه است. حال آنکه در ابر عمومی در مدت زمانی بسیار کوتاه، می‌توان خدمات را افزایش یا کاهش داد. برای مثال، اگر مراجعین وب‌گاه سازمان به‌دلیلی از قبل پیش‌بینی نشده، چند برابر شوند، می‌توان از شرکت خدمات‌دهنده خواست تا منابع اختصاص داده شده به وب‌گاه را افزایش دهد.

۴ **دسترسی از هر جا:** در ابر عمومی، کاربران قادرند در هر زمان با اتصال به اینترنت با هر دستگاهی از منابع اشتراکی ابر استفاده کنند.

۵ **در دسترس بودن همیشگی:** قطع برق، آتش‌سوزی و بلایای طبیعی هر یک می‌توانند خدمات‌دهی سازمان را برای ساعت‌ها و حتی روزها دچار اشکال کنند. در صورتی که شرکت‌های خدمات‌دهنده دارای طرح‌هایی موسوم به Disaster Recovery Plan برای بازگشت به وضعیت عادی در زودترین زمان ممکن هستند.

۶ **کاهش هزینه‌ها:** بارزترین مزیت استفاده از رایانش ابری کاهش هزینه‌های سازمان در بخش فناوری اطلاعات است که از مواردی که در بالا به آنها اشاره شد، ناشی می‌شود.

فناوری واقعیت افزوده

علاوه‌بر توضیحات مطرح شده در متن کتاب درسی نمایش فیلم آموزشی که نقش این فناوری را در زمینه‌های مختلف نشان دهد توصیه می‌شود.

۷ راه که واقعیت افزوده به وسیله آنها در تولید، انقلاب ایجاد می‌کند.

۱ـ افزایش سرعت کار کارگران و مهندسان: مثلاً در مونتاژ هواپیماها با کمک عینک واقعیت افزوده که شامل سنسورحرکتی و دوربین است می‌توان تصاویر و اطلاعات شامل وضعیت مهره و کابل‌ها، شماره اعضا و دستورالعمل نصب آن را به تصاویر واقعی اضافه کرد که باعث سهولت در انجام کار و افزایش سرعت آن می‌شود.

با این روش دقت مهندسین تا ۹۶٪ افزایش می‌یابد و آنها قادر به انجام کار تا ۳۰٪ سریع‌تر هستند.

۲ـ حل مشکلات روزانه کارگاه شما: به منظور نشان دادن تمام نقاط ضعف، آسیب‌پذیر و حساس کارگاه خود به تیم تولید خود و یا انتقال این مطالب به تیم مهندسین یا تعمیرات و نگهداری جهت برطرف کردن این موارد یا مراقبت بیشتر می‌توانید از واقعیت افزوده استفاده کنید به‌علاوه که این فناوری این مزیت را دارد که امکان برطرف کردن عیب بدون قطع پروسه تولید وجود دارد و زمان پیش‌بینی رفع عیب به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود.

۳ـ دسترسی راحت و سریع به اطلاعات: با بهره‌گیری از فناوری اینترنت اشیا و اختصاص هویت مجازی برای تمامی دستگاه‌ها و تجهیزات به کمک واقعیت افزوده شما می‌توانید به‌راحتی این اطلاعات را به تصاویر واقعی اضافه کرده و دائم در دسترس داشته باشید.

۴ـ کاهش زمان‌های نگهداری تجهیزات: استفاده از نرم‌افزارهایی که به کمک واقعیت افزوده اطلاعات مربوط به وضعیت قطعات تجهیزات و دستگاه‌ها را نشان می‌دهد زمان‌های نگهداری را کاهش می‌دهد.
۵ـ کاهش زمان‌های توقف تولید: واقعیت افزوده با ارائه اطلاعات به روز با قابلیت دسترسی آسان به‌صورت واقعیت موجود در تصاویر واقعی می‌توان نقاط ضعف خط تولید را پیش از تبدیل آن به عیب و توقف تولید شناسایی و برطرف کرد.
۶ـ جلوگیری از ایجاد عیوب در محصولات: واقعیت افزوده با نمایش اطلاعات محصولات و میزان انطباق آن با شرایط ایده‌آل می‌تواند مانع تولید محصولات معیوب شود.
۷ـ آموزش پرسنل و تکنسین‌ها: این فناوری با افزودن المان‌های مجازی به تصاویر واقعی می‌تواند در آموزش پرسنل بسیار مؤثر باشد.

تجهیزات آموزشی (کلاسی):
کتاب درسی ـ تابلو آموزشی ـ ویدئو پروژکتور

جلسه چهارم: فناوری‌های روز در تولید

با اشاره به شکل ۹ و متن کتاب درسی به هنرجویان یادآوری کنید که فناوری‌های روز تولید در صنایع مختلف به وفور به‌کار می‌روند.

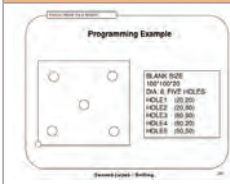
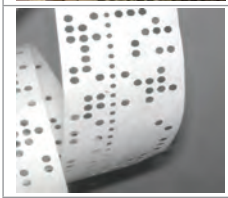
فناوری کنترل عددی رایانه‌ای ماشین آلات

با توجه به شکل ۱۰ کتاب درسی مطالب زیر را علاوه‌بر کتاب درسی ارائه دهید.
کنترل عددی به معنای کنترل ماشین‌آلات با استفاده از اعمال پردازش اعداد, حروف و نشانه‌ها می‌باشد. در واقع اعداد و نشانه‌ها برنامهٔ مورد نظر هستند که منظور انجام کار خاصی نوشته شده است. با تغییر کار مورد نظر برنامه نیز تغییر می‌کند.

اجزای اصلی سیستم کنترل عددی

- **برنامه دستورالعمل‌ها:** برنامه دقیق و گام به گام عملیاتی است که دستگاه باید انجام دهد. این برنامه مجموعه کدهایی به شکل اعداد و نشانه‌هاست که دستگاه قادر به خواندن آنهاست. معمول‌ترین آنها نوارهای پانچ شده است که دستورات لازم را به‌دستگاه می‌دهد.
- **واحد کنترل‌کننده دستگاه:** دستگاهی است شامل اجزای الکترونیکی و سخت‌افزارهایی که وظیفه اصلی آن خواندن و تفسیر دستورالعمل‌ها و تبدیل آن به اقدامات مکانیکی ماشین ابزار نظیر حرکت دستگاه است که معمول‌ترین آنها دستگاه نوارخوان است.

● **ماشین ابزار:** بخش دیگری از دستگاه NC ماشین ابزار است که فرایند مورد نظر از طریق کنترل عددی توسط آن انجام می‌شود.

مرحله	عملکرد و توضیحات	شکل
تهیه برنامه دستورالعمل‌ها	برنامه دستورالعمل براساس اعداد و نشانه‌ها برای انجام فرایند مورد نظر نوشته می‌شود.	
تبدیل برنامه نوشته شده به نوار پانچ شده	برنامه نوشته شده با استفاده از دستگاه پانچ و یا رایانه به نوار مناسب تبدیل می‌شود.	
خروجی نهایی نوار پانچ شده	نوار تهیه شده از دستگاه خارج شده و به واحد کنترل‌کننده منتقل می‌شود.	
قراردادن نوار در دستگاه نوارخوان (واحد کنترل‌کننده دستگاه)	واحد کنترل‌کننده دستگاه با خواندن نوار پانچ شده براساس مدارهای الکتریکی و سخت‌افزاری که دارد حرکت مکانیکی را ایجاد می‌کند.	
انجام فرایند خوانده شده توسط ماشین ابزار	با حرکت مکانیکی ماشین ابزار براساس نوع آن کار مورد نظر انجام می‌شود.	

در ادامه در خصوص سیستم‌های کنترل رایانه‌ای عددی موارد زیر در کلاس درس مطرح شوند.

CNC یک سیستم کنترل مبتنی بر ریزپردازنده است که مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها را در قالب یک برنامه رایانه‌ای می‌پذیرد و پس از پردازش این دستورالعمل‌ها اطلاعات لازم برای کنترل ماشین ابزار را به آن ارسال می‌کند و همچنین بازخورد اطلاعات ارسال شده به ماشین ابزار براساس دستورالعمل مربوطه را نیز جهت کسب اطمینان از حرکت و سرعت مناسب ماشین ابزار را دریافت می‌کند.

دانش افزایی

ریز پردازنده تراشه کوچکی است که می‌تواند عملیات حسابی و منطقی را انجام دهد. این تراشه‌ها از تعداد بسیار زیادی ترانزیستور ساخته شده‌اند.

ریزپردازنده قلب هر رایانه‌ای است که به‌عنوان واحد پردازشگر مرکزی شناخته شده‌است. یک دستگاه محاسبه‌ای کامل است که روی یک تراشه واحد ساخته می‌شود و مجموع دستورهای دستگاه را اجرا می‌کند. سه کار مهم را انجام می‌دهد یکی اینکه از واحد همبستگی منطقی/ حساب، استفاده می‌کند یعنی کارهای وابسته به ریاضی چون جمع، تفریق، ضرب و تقسیم‌کردن را انجام می‌دهد، دوم می‌تواند اطلاعات را از مکان یک حافظه به حافظه دیگر انتقال دهد و سوم اینکه می‌تواند تصمیم بگیرد و به یک سری از دستورهای جدید که براساس آن تصمیمات است جهش کند.

میکروپروسسور یک پردازنده همه کاره قابل برنامه‌ریزی است که داده‌های دیجیتال را از ورودی می‌خواند و براساس دستورالعمل‌هایی که درحافظه دارد داده‌ها را پردازش می‌کند و نتایج را در خروجی به‌صورت دیجیتال ارائه می‌دهد. ریز پردازنده‌ها در منطق باینری کار می‌کنند و اطلاعات را براساس این منطق دریافت و پردازش می‌کنند.

قبل از ارائه ریزپردازنده‌ها، رایانه‌ها برای پردازش از چندین برد الکترونیکی که شامل آی‌سی‌های MSI و SSI بودند بهره می‌بردند اما میکرو پروسسورها این بردها را به یک یا چند چیپست LSI و VLSI تغییر شکل دادند و از حجم آنها کاستند. به‌علاوه که هزینه تهیه رایانه‌ها را به شدت کاهش دادند و زمینه ورود آنها به ابعاد مختلف زندگی بشر را فراهم کردند. رفته رفته با پیشرفت میکروپروسسورها، سایر اشکال پردازنده‌ها به کلی منسوخ گردید. امروزه همهٔ وسایل دیجیتال از ساعت‌های هوشمند گرفته تا سرورها دارای یک یا چند میکروپروسسور هستند.

اجزای مهم ماشین‌آلات CNC عبارت‌اند از:

۱ـ برنامه قطعه کار: شامل مجموعه‌ای از اطلاعات هندسی مربوط به قطعه کار و نحوه حرکت ماشین ابزار متناسب با قطعه کار است.

۲ـ واحد ورود برنامه: رایانه‌ای که برنامه مربوط به قطعه کار را شامل دستورالعمل‌هایی

در برگیرنده پارامترهای دستگاه را دریافت می‌کند. (وسیله‌ای برای معرفی برنامه قطعه کار به کنترل‌کننده دستگاه)

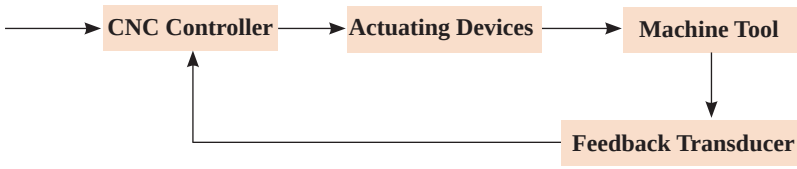
۳ـ واحد کنترل‌کننده دستگاه (MCU): واحد کنترل واحد دستگاه قلب یک سیستم CNC است. برای اجرای توابع زیر استفاده می‌شود:

- برای خواندن دستورالعمل‌های کد شده؛
- برای رمزگشایی دستورالعمل‌های کد شده؛
- برای ایجاد دستورات حرکت محور؛
- برای دریافت سیگنال‌های بازخورد موقعیت و سرعت؛
- برای اجرای توابع کنترل کمکی مانند خنک‌کننده یا تغییر ابزار.

۴ـ سیستم حرکتی دستگاه: حرکت کنترل شده دستگاه به‌منظور انجام دستورالعمل‌ها توسط این واحد انجام می‌شود. سیستم حرکت شامل مدار تقویت‌کننده، موتور و پیچ و مهره است. واحد کنترل‌کننده دستگاه سیگنال‌های حرکتی را به تقویت‌کننده ارسال می‌کند و سپس با تبدیل سیگنال به حرکت مکانیکی توسط موتور ماشین ابزار حرکت می‌کند.

۵ـ ماشین ابزار: انواع مختلف ماشین‌آلات توسط پردازش رایانه‌ای کنترل می‌شوند. صرف‌نظر از نوع ماشین‌آلات ماشین ابزار شامل یک میز کار و یک اسپیندل برای کنترل موقعیت و سرعت ماشین ابزار است. میز کار در محورهای X و Y کنترل می‌شود، در حالی که اسپیندل در امتداد محور Z کنترل می‌شود.

۶ـ سیستم ارسال سیگنال بازخورد از دستگاه: با استفاده از مبدل‌های موقعیت و سرعت سیگنال لازم جهت کنترل سرعت و حرکت ماشین ابزار به‌طور مداوم به واحد کنترل‌کننده دستگاه می‌فرستد.



مراحل مختلف پردازش اطلاعات و انجام عملیات در دستگاه‌های CNC

تمرین

الف) سیستم کنترل‌کننده دستگاه در ماشین‌آلات CNC یک رایانه است که اطلاعات ورودی در قالب برنامه قطعه کار که به زبان برنامه‌نویسی مناسب نوشته شده را پردازش می‌کند و سیگنال حاصل را به سیستم حرکتی دستگاه

می‌فرستد. اطلاعات می‌تواند از طریق یک رایانه دیگر، دیسک نوری و انواع حافظه‌های خارجی قابل حمل به واحد کنترل‌کننده دستگاه ارائه شود. اما سیستم کنترل‌کننده دستگاه در ماشین ابزار NC براساس نحوه انتقال اطلاعات می‌تواند رایانه‌های اولیه یا نوارخوان‌های مغناطیسی یا پانچ شده باشد و اطلاعات می‌تواند از طریق کارت‌های پانچ شده، نوارهای مغناطیسی یا نوارهای پانچ به آن وارد شده و پس از پردازش به سیگنال حرکتی تبدیل می‌شود.

ب) همان‌طور که گفته شد کنترل‌کننده دستگاه سیستم CNC رایانه‌های مدرن هستند که در آنها اطلاعات به‌صورت دیجیتال به‌دستگاه وارد می‌شود و در صورتی که در سیستم‌های NC اطلاعات به‌صورت آنالوگ به‌دستگاه وارد می‌شود رایانه‌ها اطلاعاتی که جهت پردازش به آنها وارد می‌شود به وسیله سیستم کدهای دو دویی پردازش می‌کنند. در این سیستم برای فهماندن مفهوم مورد نظر از اعداد صفر و یک استفاده می‌کنیم. من چراغی را روشن و خاموش می‌کنم، می‌خواهم به ماشین بگویم چراغ خاموش یا روشن است، چگونه می‌توانم این مفهوم را به ماشین منتقل کنم؟ ماشین مفهوم روشن را نمی‌داند. برای فهماندن به ماشین مفهوم صفر و یک را تعریف می‌کنیم. می‌گوییم اگر ولتاژ به حد معینی رسید یعنی یک است. یعنی لامپ روشن است و اگر ولتاژ در حد معینی پایین آمد و نزدیک به صفر شد مفهوم آن صفر است یعنی لامپ خاموش است؛ بنابراین یک کد دودویی نشان‌دهنده متن، دستورالعمل‌های پردازندهٔ رایانه است که از سیستم دو نماده استفاده می‌کند، اما غالباً سیستم دودویی از اعداد ۰ و ۱ استفاده می‌کند. این کد باینری یک الگوی رقم‌های دودویی را به هر حرف، دستورالعمل و غیره اختصاص می‌دهد.

سیستم عددی ده دهی متداول، در مبنای ده بوده و از ارقام ۰ تا ۹ استفاده می‌کند. در سیستم‌های دو دویی برای نمایش اعداد بزرگ‌تر از یک به تعداد ارقام بیشتری نسبت به سیستم ده دهی نیاز است. یک عدد در مبنای دو به‌وسیله تعدادی ۰ و ۱ پشت سر هم نشان داده می‌شود. در رایانه‌ها، اعداد دودویی با دو سطح ولتاژ مختلف نمایش داده می‌شوند.

در نتیجه سیستم باینری چهارچوب کاری را به ما خواهد داد تا بتوانیم اعداد را به‌صورت رشته‌ای از ۰ها و ۱ ها نمایش دهیم. به محض اینکه دریافتیم چگونه اعداد را دستکاری کنیم، می‌توانیم حروف الفبا را نیز مدیریت کنیم. به این ترتیب که به هر حرف کد عددی را نسبت می‌دهیم. رشته‌هایی از حروف، کلمات را تشکیل می‌دهند و رشته‌هایی از کلمات جملات، دستورات و نتیجه‌گیری‌هایی را تشکیل می‌دهند که می‌توانند درست یا غلط باشند. در نتیجه یک سیستم جامع ممکن است با استفاده از آشنایی با این مفهوم، به این فرم باینری نمایش داده شود.

تجهیزات آموزشی (کلاسی)
کتاب درسی ـ تابلو آموزشی ـ ویدئو پروژکتور

جلسه پنجم: دانش مورد نیاز در به کارگیری دستگاه‌های CNC

با وجود پیچیدگی مفهوم و عملکرد دستگاه‌های CNC کسب مهارت در به‌کارگیری آنها موضوع پیچیده‌ای نیست. درواقع CNC گسترش مهارت قبلی موجود است. مثلاً برش‌کاری دستی و برش‌کاریCNC. برای به‌کارگیری CNC نیاز به کسب مهارت در چند زمینه کلیدی زیر است:

۱ـ مهارت رایانه‌ای
مهارت اصلی برای به‌کارگیری دستگاه‌های CNC در تمام زمینه‌ها، مهارت پایه رایانه است. از آنجایی که تمام مراحل فرایند CNC به‌وسیله رایانه انجام و کنترل می‌شود نیاز است اپراتور عملکردهایی مثل آغاز و توقف برنامه‌ها، ذخیره کردن، کپی و حذف و کردن فایل‌ها، نصب و به روزرسانی برنامه‌ها و یافتن فایل‌های ذخیره شده روی رایانه را به خوبی فرا گیرد. لذا لازم است اپراتور دانش پایه رایانه‌ها و سیستم عامل‌های آن مثل ویندوز را کسب کند.

۲ـ طراحی و نرم افزارهای آن
برای به‌کارگیری دستگاه‌هایCNC لازم است طرح مورد نظر در رایانه کنترل‌کننده دستگاه ایجاد شود. برای انتقال طرح موردنظر نیاز به‌کارگیری نرم‌افزار طراحی می‌باشد، لذا لازم است مهارت لازم در این زمینه کسب شود. نرم‌افزار طراحی این امکان را فراهم می‌کند که، طراحی انجام شده روی کاغذ به دستوراتی تبدیل شود که دستگاه قادر به‌دنبال کردن آنها باشد.
طراحی به کمک نرم‌افزار به اختصارCAD (Computer Aided Design) نامیده می‌شود. با رشد روزافزون صنعت رایانه و صنعت مکانیک، نرم‌افزارهای رایانه‌ای به کمک مهندسان آمده‌اند. مهندسان می‌توانند با استفاده از این نرم‌افزارها محاسبات خود را با سرعت انجام دهند و همچنین تمام مواردی که نیاز دارند شبیه‌سازی کنند. طراحی رایانه‌ای (CAD) استفاده از سیستم‌های رایانه‌ای برای ایجاد، اصلاح، تحلیل یا بهینه‌سازی یک طرح می‌باشد. نرم‌افزار CAD برای افزایش بهره‌وری طراح، بهبود کیفیت طراحی، بهبود ارتباطات از طریق مستندات و ایجاد پایگاه داده برای تولید استفاده می‌شود. خروجی نرم‌افزارهای CAD اغلب به شکل فایل‌های الکترونیکی برای چاپ، ماشین‌کاری و یا سایر عملیات تولید است. امروزه بسیاری از مراحل طراحی قطعات و اجزای مختلف توسط رایانه‌ها انجام می‌شود. بسیاری از قطعات تحت شرایط مختلف باید آزمایش شوند و اگر بخواهیم تحت آزمایش واقعی قرار

دهیم مستلزم هزینه‌های بسیار زیاد می‌شود. با نرم‌افزارهای بسیار متنوع می‌توان این شبیه‌سازی را انجام داد.
تمام رشته‌های مهندسی برای طراحی از نرم‌افزارهای مناسب خود استفاده می‌کنند. نرم‌افزارهای مورد استفاده در طراحی معماری و طراحی صنعتی اغلب نرم‌افزارهای گرافیکی هستند. از نرم‌افزارهای سه بعدی که بیشتر در طراحی معماری و طراحی صنعتی استفاده می‌شوند می‌توان به اتوکد، سالیدورکس، اینونتور، سالید اج و مکانیکال دسکتاپ اشاره کرد. علاوه بر این موارد، نرم‌افزارهای گرافیکی دو بعدی مانند فتوشاپ، کورل‌دراو و فری‌هند نیز بسیار پرکاربرد هستند. کتیا، یونیگرافیکس و پرو/ اینجینیر هم از بهترین نرم‌افزارهای گرافیکی مورد استفاده است که با امکان محاسبات پیچیده مهندسی از قبیل محاسبات تنش‌های محوری و هزاران قابلیت حرفه‌ای دیگر به طراحان کمک کرده‌اند.
PV Elite نرم‌افزار تخصصی برای طراحی مخازن تحت فشار و مبدل‌های حرارتی است. برای طراحی مخازن بدون استفاده از PV Elite شما باید به‌طور مجزا از نرم‌افزارهای طراحی CAD، استانداردهای طراحی مخازن به‌عنوان مثال ASME SEC VIII و نرم‌افزارهای محاسباتی استفاده کنید و در نهایت با شبیه‌سازی و تحلیل المان محدود طراحی خود را اعتبارسنجی کنید.

۳ـ به‌کارگیری و نگهداری دستگاه CNC

شناخت محدودیت‌ها و نحوه به‌کارگیری دستگاه CNC و نگهداری صحیح و اصولی دستگاه در انجام پروژه‌ها و تولید محصولات بسیار مهم است. به‌خاطر داشته باشید که بهترین طراحی ممکن هم در دستگاهی که به‌درستی تنظیم نشده باشد قابل اجرا نیست.
همچنین هنگام تهیه دستگاه‌های CNC با توجه به هزینه‌های بالای تهیه آنها شناخت محدودیت‌ها و توانایی‌های دستگاه و مقایسه آن با موارد مورد انتظار بسیار مهم است زیرا **هیچ چیز بدتر از دستگاهی نیست که با هزینه بسیار گزاف تهیه شده و کارایی لازم را ندارد.**
از آنجایی که تمام دستگاه‌های CNC به‌وسیله یک نرم‌افزار کنترل می‌شوند در تهیه نرم‌افزار نیز لازم است دقت کافی مبذول شود که شرکت سازنده دارای سایت فعال باشد و خدمات کافی و مناسبی ارائه دهد.
ساخت به کمک رایانه (CAM) معنای لغوی Computer Aided Manufacturing است و به معنی استفاده از نرم‌افزار برای کنترل ماشین‌آلات در تولید قطعات می‌باشد. مرحله‌ای است که در آن روش ساخت مورد بررسی قرار می‌گیرد و توسط نرم‌افزارهای خاص به کمک کدها به دستگاه می‌فهماند که چه مراحلی را برای ساخت باید طی کند و چگونه و با چه سرعتی حرکت کند و در واقع نرم‌افزار کنترل‌کننده دستگاه

است. انواع معمول نرم‌افزارهای ساخت شامل:

۱ اج کم یا Edge CAM اولین و مشهورترین نرم افزار ساخت و تولید با رایانه می‌باشد و بیشتر در زمینه طراحی و عملیات ساخت و تولید با دستگاه‌های فرز و تراشکاری CNC می‌باشد.

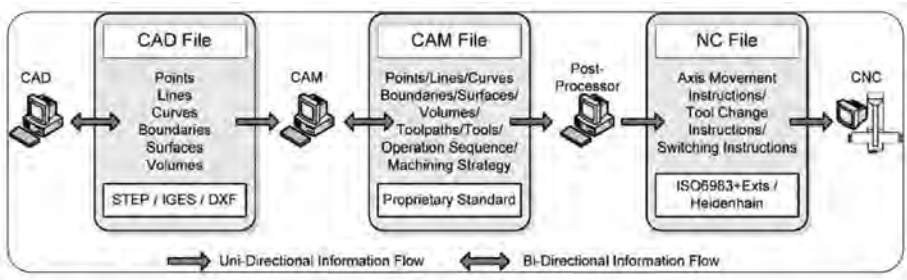
۲ Master Cam از نرم‌افزارهای پیشکسوت در ایجاد مسیر ماشین کاری برای دستگاه‌های CNC می‌باشد که کمپانی سازنده آن. CNC Software Inc است.

۳ اورمیل از قوی‌ترین و مشهورترین نرم‌افزارهای CAM است که بیشتر برای تهیه مسیر حرکت در دستگاه‌های CNC به‌کار می‌رود. این نرم‌افزار محصول شرکت Delcam می‌باشد.

استفاده از سیستم‌های رایانهی در طراحی و تولید، در صنعت نتایج بهینه‌تری، هم از لحاظ زمانی و هم از نظر دقت نسبت به سیستم‌های سنتی در پی داشت که این امر باعث مقبولیت آن در صنعت شد. امروزه نرم‌افزارهایی در حوزه CAD/CAM توسط متخصصین تولید شده‌اند که تمام مراحل تحلیل، طراحی و تولید پروژه‌های مختلف را به‌صورت یکپارچه تحت نظارت و کنترل خود دارند.

۴ـ دانش مواد و ابزار

مواد و ابزار نقش کلیدی در موفقیت پروژه‌های CNC دارند. مواد مورد استفاده روی هر مرحله از تولید تأثیرگذار است. مهم‌ترین چالش‌های مواد مورد استفاده انتخاب ابزار مناسب، سرعت انجام فرایند و نرخ انجام آن است.



طراحی و تولید به کمک نرم افزار

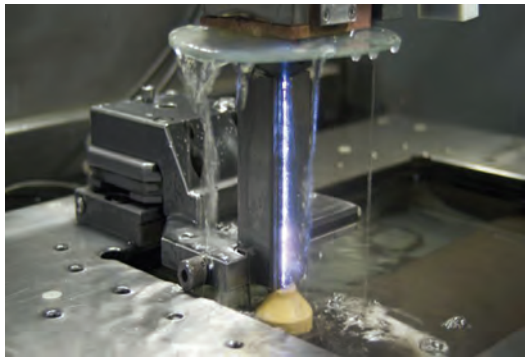
برای تدریس این بخش و تکمیل جدول ابتدا موارد زیر را در کلاس مطرح کنید و فیلم‌های مربوطه را در کلاس نمایش دهید و روی تخته کلاس آنها را یادداشت کرده سپس از هنرجویان بخواهید جدول را کامل کنند.

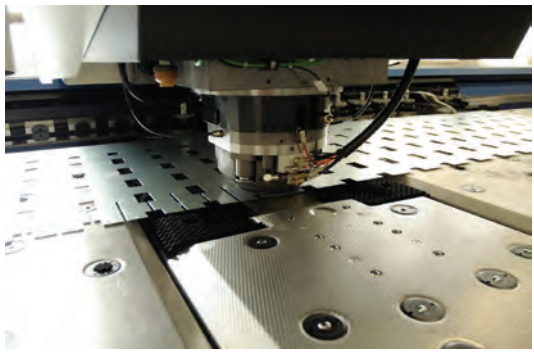
ماشین‌آلاتی که توسط CNC کنترل می‌شوند را می‌توان به دسته‌های زیر طبقه‌بندی کرد:

۱ ماشین‌آلات ماشین‌کاری CNC (ماشین با ابزار عمودی یا افقی)
۲ ماشین‌آلات تراش و تراشکاری CNC
۳ ماشین‌آلات ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی (EDM) (وایر کات EDM و سوراخ‌کاری EDM)
۴ ماشین‌آلات سنگ‌زنی CNC (ماشین سنگ‌زنی نواری، استوانه‌ای، سطح ساب و...)
۵ ماشین‌آلات برش‌کاری CNC (لیزر، پلاسما، اشعه الکترون یا شعله)
۶ ماشین‌آلات ساخت CNC (دستگاه‌های پرس، پانچ و خم کن و...)
۷ ماشین‌آلات جوشکاری (لیزر، پلاسما، اشعه الکترونی، الکترود تنگستنی و...)

تمرین

نوع دستگاه	انواع	شکل
ماشین‌آلات ماشین‌کاری CNC	ماشین با ابزار عمودی یا افقی	
ماشین‌آلات تراش و تراشکاری کاری CNC		

ماشین‌آلات ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی CNC	وایر کات EDM و سوراخ‌کاری EDM	
ماشین‌آلات سنگ‌زنی CNC	ماشین سنگ‌زنی نواری، استوانه‌ای، سطح‌ساب	
ماشین‌آلات برش‌کاری CNC	لیزر، پلاسما، اشعه الکترون یا شعله	

ماشین‌آلات ساخت CNC	دستگاه‌های پرس، پانچ و خم‌کن	
ماشین‌آلات جوش‌کاری CNC	لیزر، پلاسما، اشعه الکترونی، الکترود تنگستنی	

تجهیزات آموزشی (کلاسی)
کتاب درسی - تابلو آموزشی - ویدئو پروژکتور

جلسه ششم:ماشین‌آلات CNC پر کاربرد در صنایع فلزی

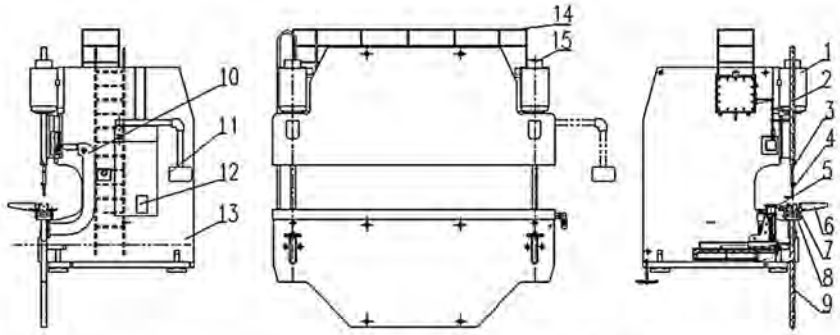
برک پرس
دستگاه برک پرس به‌عنوان یک دستگاه صنعتی پرکاربرد محسوب می‌شود که در بخش‌های مختلف صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دستگاه به کمک اجزای هیدرولیکی و مکانیکی خود ورقه‌ای فلزی را به‌وسیلهٔ یک نیروی زیاد خم می‌کند. کارکردن با این دستگاه نیازمند به‌کارگیری ملاحظات ایمنی و دقت بالایی است. با ورود رایانه‌ها به عرصه کنترل ماشین‌آلات دستگاه برک پرس نیز از این قاعده مستثنی نبوده و امروزه ماشین ابزارهایی با قابلیت کنترل دقیق فرایند توسط رایانه‌ها و ایجاد خم‌ها در قطعات براساس طراحی اولیه فراهم شده است.

دسته‌بندی برک پرس: دستگاه دستی، هیدرولیک و CNC

برای کنترل حرکت قطعه کار حین انجام فرایند از سنسورهای نوری استفاده می‌شود تا خم‌کاری دقیقاً در محل مورد نظر انجام شود.

تصاویر موجود در شکل ۱۶ کتاب درسی دستگاه برک پرس هیدرولیکی را نشان می‌دهد که در آن قطعه کار توسط اپراتور جابه‌جا می‌شود تا خم‌کاری در محل‌های معین انجام شود. نمایش فیلم آموزشی مرتبط نیز توصیه می‌شود.

پیشنهاد می‌شود تصویری مطابق شکل زیر در کلاس نمایش داده شود تا هنرجو با اجزای مختلف این دستگاه آشنا شود.



1.Hydraulic Oil Cylinder
2. Silder
3. Stage Die
4. Top Punch
5. Backgauge
6. Front Support
7. Bottom Die
8. Convex Workbench
9. Workbench
10. Feedback Arm
11. CNC Controller
12. Electrical Cabinet
13. Machine Frame
14. Protection Guard
15. Hydraulic Servo Syster
16. Hydraulic System

تمرین

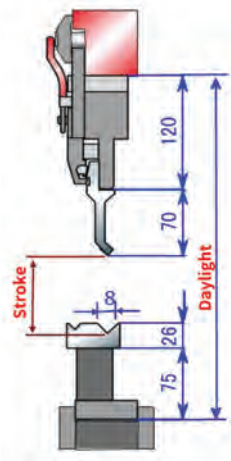
در هر مرحله از انجام فرایند اپراتور با دقت طبق الگوی موجود از قبل قطعه کار را زیر فک دستگاه قرار می‌دهد تا خم‌کاری در محل مورد نظر انجام شود. فرایند از یک سمت قطعه کار آغاز می‌شود سپس با ایجاد سه خم در یک سمت از سمت مقابل به‌صورت مشابه عمل می‌شود.
مزیت این فرایند نسبت به فرایند دستی سهولت، سرعت و دقت بسیار بالاتر است که به افزایش کیفیت محصولات منجر می‌شود. به علاوه فرایند تکرار پذیری بالایی دارد.

در خصوص کنترل رایانه‌ای دستگاه پرس برک نمایش فیلم آموزشی در خصوص تولید تیرهای چراغ برق با جابه‌جایی هوشمند پیشنهاد می‌شود. در این دستگاه‌ها حرکت جک‌ها توسط خود نرم‌افزار دستگاه کنترل شده و از این طریق، پایین آمدن فک بالا کاملاً بالانس خواهد بود و در نتیجه زوایا در تمام طول ورق یکسان خواهد بود.
در دستگاه برک پرس CNC کافی است قطعه یا قطعات در زیر فک دستگاه قرار گیرند سپس دستگاه مطابق برنامه تعیین شده مرحله به مرحله عملیات خم‌کاری را انجام می‌دهد.

مراحل راه‌اندازی دستگاه CNC

۱ جریان برق را وصل کنید سپس سوئیچ موجود روی پنل کنترل دستگاه را بچرخانید تا پمپ هیدرولیک شروع به‌کار کند.
۲ دامنه حرکت فک دستگاه را تنظیم کنید و قبل از به‌کارگیری آن حتماً آن را تست کنید. هنگامی که فک بالا کاملاً پایین باشد باید فضای خالی به اندازه ضخامت ورق وجود داشته باشد در غیر این صورت ابزار دستگاه آسیب می‌بینند.

تنظیم دامنه حرکت فک دستگاه



Stroke = Daylight - Middle Plate Height - Punch Height - Dle Base Height - (Dle Height - 0.57 + t)
For example:
Daylight: 370mm
Max Strole: 100mm
Stroke = 370 - 120- 70 - 75 (26-0.5 * 8+t) = (83-t) mm

۳ انتخاب قالب مناسب برای ایجاد خم‌کاری به این صورت که عرض شیار موجود روی آن باید ۸ برابر ضخامت ورق باشد.
۴ تنظیم پارامترهای عقب سنج و نیروی محرکه موتور و سایر پارامترهای دستی
۵ آغاز کار دستگاه با فشردن دکمه شروع و انجام عملیات خم‌کاری

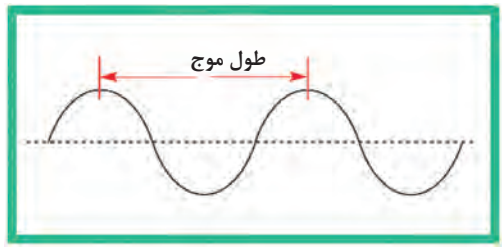
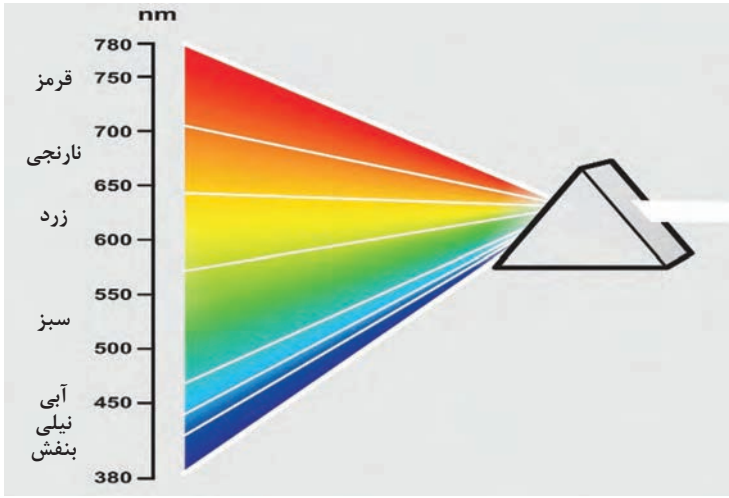
نرم افزار Delem

شرکت Delem یک شرکت هلندی می‌باشد که بهترین نرم‌افزارهای دنیا را به‌صورت اختصاصی برای دستگاه پرس برک تولید می‌کند. این نرم‌افزار قابلیت اتصال به اینترنت را دارد و لذا در صورت بروز اشکال امکان رفع عیب از راه دور وجود دارد. همچنین این نرم‌افزار قابلیت‌های بسیار زیادی داشته و به کاربر این امکان را می‌دهد تا به‌راحتی خم‌های پیچیده را (نظیر منحنی) انجام دهد.

تجهیزات آموزشی (کلاسی)
کتاب درسی - تابلو آموزشی - ویدئو پروژکتور

جلسه هفتم و جلسه هشتم: فناوری لیزر

در آغاز جلسه جملهٔ زیر را روی تخته بنویسید.
لیزر ابزاری است که **نور** را به‌صورت پرتوهای **موازی** و بسیار **باریک** که **طول موج مشخصی** دارند ساطع می‌کند.
از هنرجویان بخواهید برداشت خود را از این جمله بیان کنند سپس ضمن اشاره به مطالب و تصاویر موجود در کتاب درسی در خصوص فناوری لیزر مطالب صفحه‌بعد را نیز ارائه دهید.

ماهیت نور	نور در واقع موجی الکترو مغناطیس است که چشم انسان و سایر موجودات قابلیت تشخیص آن را دارد. (در مقابل امواج الکترومغناطیس دیگری مثل اشعه ایکس با چشم قابل مشاهده نیستند.)
طول موج نور	ساده‌ترین تصوری که از موج می‌توانید داشته باشید به شکل منحنی متناوب است مثل شکل زیر:  با توجه به شکل بالا مفهوم طول موج برای امواج تعریف می‌شود که بیانگر فاصله بین دو برآمدگی یا فرورفتگی است. برای نور مرئی طول موج عددی بین ۳۸۰ تا حدود ۷۴۰ نانومتر می‌باشد که در برگیرنده یک طیف از امواج است. به این معنی که نور مرئی که ما در اطراف خود مشاهده می‌کنیم شامل مجموعه‌ای از امواج است.
طیف رنگ‌ها	همان‌طورکه در تجربه تجزیه نور توسط منشور یا مشاهده رنگین‌کمان در آسمان مشاهده کردید طیف نور مرئی که به رنگ سفید قابل مشاهده است شامل مجموعه‌ای از امواج به رنگ‌های زیر است: 
انتشار نور	هنگامی که نور توسط یک منبع مثل لامپ تولید می‌شود در تمامی جهات در محیط منتشر می‌شود. چنانچه بخواهیم پرتو باریکی از نور تولید کنیم باید آن را از یک روزنه عبور دهیم.

سپس در ادامه در خصوص منابع تولید اشعه لیزر موارد زیر را بیان کنید.

مکانیزم تولید اشعه لیزر:
همان‌طور که گفتیم پرتو لیزر از نظر ماهیت شبیه پرتو نور است با این تفاوت دارای طول موج مشخصی است که به صورت پرتوهای موازی و همدوست منتشر می‌شود.
برای تولید پرتو لیزر ابتدا به یک محیط نیاز است که بتواند انرژی را در خود ذخیره کند مثل بلورهایی مانند یاقوت یا ایتریم یا گازهایی مثل هلیوم یا کربن دی اکسید، با انجام تخلیه الکتریکی در این محیط‌ها مولکول‌های آنها ابتدا انرژی جذب کرده و ناپایدار می‌شوند سپس این انرژی اضافی را به شکل پرتو لیزر آزاد می‌کنند تا مجدد به حالت پایدار درآیند.

خواص فیزیکی اشعه لیزر	توضیحات	تصویر
تک رنگی	تمامی پرتوهای نور لیزر دارای یک طول موج مشخص و مشابه می‌باشد.	
موازی بودن پرتوها و واگرایی کم	پرتو لیزر به صورت یک باریکه تقریباً موازی و نسبتاً مستقیم در مسیر معین منتشر شده و پراکنده نمی‌شود.	
همدوسی	در امواج نور لیزر تمامی امواج با هم گام برمی‌دارند، در صورتی که نور معمولی غیرهمدوس است.	
شدت بالا	تمرکز تمامی پرتو لیزر در یک مقطع کوچک باعث درخشندگی و شدت بالا برای لیزر می‌گردد.	

در ادامه به شکل ۱۹ کتاب درسی اشاره کنید و با توجه با آنچه گفته شد اجزای آن را برای هنرجویان توضیح دهید.

تمرین

زمینه کاربرد	کاربرد	نوع کاربرد
صنایع نظامی	در اسلحه‌ها برای سهولت در هدف‌گیری	پرتوهای موازی و باریک
پزشکی	ابزار جراحی عمل جراحی قرنیه چشم	پرتوهای موازی و باریک موازی بودن پرتوها و شدت بالا
پلیس راهنمایی و رانندگی	دوربین‌های کنترل سرعت	پرتوهای موازی و باریک
ابزارهای اندازه‌گیری	متر لیزری	پرتوهای موازی و باریک
صنایع فلزی، چوب و نساجی	برش‌کاری لیزری هک‌کاری ماشین‌کاری	موازی بودن پرتوها و شدت بالا
رسانه	پردازش اطلاعات از روی درایو	موازی بودن پرتوها
نجوم	تلسکوپ	موازی بودن پرتوها و شدت بالا
فروشگاه‌ها	خواندن بارکد محصولات	پرتوهای موازی و باریک

دانش افزایی

لیزرهایی که محیط فعال آنها یک گاز است.

بسیاری از لیزرها محیط فعالشان برپایه گاز است. عناصر وجودی تشکیل‌دهنده محیط فعال لیزر هم اتم‌ها هستند و هم مولکول‌ها و در برخی اوقات نیز به‌صورت ترکیب با مواد دیگری استفاده می‌شوند که نقش توابع کمکی را دارند. بیشتر لیزرهای گازی برای عملکرد معمولاً به یک منبع تغذیه با ولتاژ بالا و توان الکتریکی بالا نیازمندند. برخی از لیزرهای گازی توان بالا از یک سیستم برای چرخش سریع گاز استفاده می‌کنند.

انواع لیزرهای گازی

انواع بسیار متفاوتی از لیزرهای گازی وجود دارند که در رژیم‌های کاملاً متفاوتی از

نظر طول موج و توان خروجی عمل می‌کنند:

■ **لیزر هلیوم- نئون (He-Ne laser):** لیزر هلیوم نئون معمولاً نور قرمز با طول موج ۶۳۲/۸ نانومتر گسیل می‌کند ولی می‌تواند برای دیگر طول موج‌ها نظیر ۵۴۳/۵ nm سبز، ۵۹۴/۱ nm زرد، ۶۱۱/۹ nm نارنجی، ۳/۳۹ μm و ۱/۱۵ μm نیز ساخته شود. لیزرهای هلیوم- نئون رایج دارای یک سلول گازی با طولی در حدود ۲۰ cm هستند و با توان الکتریکی ورودی چندین وات، توان خروجی‌ای درحد چند میلی وات با طول موج قرمز ۶۳۲/۸ nm در مد کاری پیوسته تولید می‌کنند. لیزرهای هلیوم- نئون اغلب برای کاربردهای تنظیم و تداخل سنجی مورد استفاده قرار می‌گیرند و با لیزر دیودها که فشرده‌تر و پربازده هستند به رقابت می‌پردازند.

■ **لیزرهای یون آرگون:** معمولاً شامل یک لوله بلند (حدود ۱ متر) حاوی پلاسمای آرگون است که توسط آب خنک‌کاری می‌شود. پلاسمای آرگون توسط تخلیه الکتریکی و با اعمال چگالی جریان بالا برای ایجاد غلظت مناسب یون‌های آرگون به‌وجود می‌آید. این لیزرها قادر هستند توان خروجی بیش از ۲۰ وات در طول موج سبز ۵۱۴/۵ nm و طول موج‌های کمتر ۴۵۷/۹ nm، ۴۸۸ nm یا ۳۵۱ nm تولید کنند. بازده توان خروجی این لیزرها پایین است، به همین علت چند ده کیلو وات توان الکتریکی ورودی برای تولید چند وات خروجی نور سبز لازم است و سیستم خنک کاری آنها نیز حائز اهمیت است. لوله‌های کوچک‌تری نیز برای لیزرهای آرگونی که توسط هوا خنک می‌شوند، وجود دارند که در آنها چند صد وات توان نیاز است تا چند ده میلی وات توان خروجی تولید کنند. لیزرهای یون آرگون می‌توانند برای دمش لیزرهای یاقوت-تیتانیوم و لیزرهای رنگی مورد استفاده قرار بگیرند و با لیزرهای حالت جامد فرکانس دوبل شده دارای دمش دیودی رقابت می‌کنند.

لیزرهای یون کریپتون: شبیه لیزرهای یون آرگون هستند و می‌توانند توان‌های بالا در طول موج ۶۴۷/۱ nm و چند طول موج دیگر تولید کنند.

■ **لیزرهای دی اکسید کربن (CO_2):** از یک گاز شامل مخلوطی از گازهای CO_2، هلیوم، نیتروژن و احتمالاً مقداری هیدروژن، بخار آب و زنون برای ایجاد طول موج ۱۰/۶ μm استفاده می‌کنند. کیفیت پرتو این لیزرها بالاست و با بازده بالای ۱۰٪ برای توان‌های خروجی چندین کیلو وات مناسب هستند. این لیزرها در فراوری مواد مثل برش، جوشکاری، حکاکی و همچنین در جراحی لیزری کاربرد دارند.

■ **لیزر نیتروژن:** نوع دیگری از لیزرهای پالسی فرابنفش است که بر پایه نیتروژن خالص، ترکیبی از هلیوم- نیتروژن و گاهی اوقات هوا (با کارایی کمتر) عمل می‌کنند. گسیل اغلب در طول موج ۳۳۷/۱ nm انجام می‌شود. بازده بالای این لیزرها منجر می‌شود که حتی بدون رزوناتور لیزر بتوانند گسیل سوپرلومینسانس نسبتاً خوبی را انجام دهند. ساخت لیزر نیتروژن به نسبت ساده است وتوسط بسیاری از علاقه مندان بدون نیاز به تجهیزات آزمایشگاهی ساخته شده است.

کاربردهایی از لیزرهای گازی:

یکی از دلایلی که از برخی لیزرهای گازی به جای لیزرهای حالت جامد استفاده می‌شود این است که طول موج‌های خاصی را می‌توانند تولید کنند که از طریق روش‌های دیگر بسیار سخت حاصل می‌شوند. دیگر جنبه جالب توجه لیزرهای گازی قابلیت تولید توان خروجی بالای آنها در مقایسه با لیزرهای حالت جامدی است که دمش دیودی دارند و قیمت آنها نیز کمتر به میزان توان خروجی مورد نیاز بستگی دارد. یک مثال خوب از هر ۲ جنبه ذکر شده لیزر دی‌اکسیدکربن است که یک منبع منحصر به‌فرد طول موج‌های بلند و توان خروجی بالا است. به‌طور مشابه لیزرهای اگزایمر نیز در محدوده فرابنفش توان‌های بالایی ایجاد می‌کنند.

تاکنون لیزر هلیوم- نئون به‌طور وسیع به‌عنوان چشمه نور قرمز مورد استفاده قرار می‌گرفت، ولی اکنون توسط لیزر دیودهای ارزان‌تر و فشرده‌تر جایگزین شده است. به‌طور مشابه لیزرهای یون آرگون نیز اغلب برای پمپاژ لیزرهای تیتانیوم-یاقوت مورد استفاده قرار می‌گرفتند که اکنون توسط لیزرهای حالت جامد فرکانس- دوبل شده جایگزین شده‌اند.

برش‌کاری لیزر

برش لیزری فناوری است که در آن از اشعه لیزر برای برش اجسام استفاده می‌شود؛ و نوعاً از این فناوری در زمینه صنعت استفاده می‌شود. برش لیزری توسط اعمال اشعه لیزر از یک خروجی روی اجسامی که می‌خواهند بریده شوند انجام می‌شود. قسمتی از جسم مورد نظر که بریده می‌شود یا آب می‌شود یا می‌سوزد یا تصعید می‌شود و توسط فشار گاز از روی جسم پاک می‌شود؛ و سرانجام سطح بریده شده با کیفیت خیلی عالی ایجاد می‌شود.

مراحل انجام برش‌کاری با توجه به شکل ۲۱ کتاب درسی

۱ مطابق شکل ۲۱ اشعه لیزر توسط منبع گسیل‌کننده پرتو تولید می‌شود و وارد قسمت متمرکزکننده دستگاه می‌شود.

۲ در قسمتی که لنزها و آینه‌ها قرار گرفته‌اند پرتو لیزر در مسیر مورد نظر قرار می‌گیرد و با عبور از عدسی‌های مختلف متمرکزتر می‌شود.

۳ اشعه متمرکز شده از طریق نازل خارج شده و روی قطعه کار تابیده می‌شود و در آن نقطه ذوب موضعی رخ می‌دهد.

۴ گاز برش‌کاری که فشار آن از طریق گیج فشار قابل تنظیم است نیز مذاب ایجاد شده را از ناحیه برش‌کاری خارج می‌کند.

دانش‌افزایی

عدسی یا لنز از ابزارهای نوری است که نور در اثر عبور از آن می‌شکند و همگرا یا واگرا می‌شود. عدسی‌ها از ماده‌های شفاف مانند شیشه و پلاستیک ساخته می‌شوند. عینک طبی و ذره‌بین و لنز دوربین‌های عکاسی و دوربین دوچشمی همه از عدسی ساخته شده‌اند. عدسی‌ها از نظر شیوه شکست نور در آنها به دو دسته همگرا (محدب یا کوژ) و واگرا (مقعر یا کاو) تقسیم می‌شوند. یک عدسی ساده تنها از یک عنصر نوری تشکیل شده‌است. یک عدسی مرکب از یک مجموعه عدسی ساده که یک محور مشترک دارند تشکیل شده است. مزیت عدسی مرکب نسبت به عدسی ساده این است که بسیاری از بیراهش‌های نوری در آن قابل رفع هستند در حالی که این کار تنها با یک عدسی ساده امکان‌پذیر نیست. کاربرد عدسی تنها به امواج نوری محدود نمی‌شود، هر ابزاری که سایر امواج الکترومغناطیسی در اثر عبور از آن بشکند نیز عدسی خوانده می‌شود، به‌طور مثال لنز پارافین برای امواج مایکروویو وجود دارد.

عدسی همگرا: در عدسی همگرا، پرتوهای تابش، پس از شکست و گذر از عدسی، به هم نزدیک می‌شوند (یعنی همگرا می‌شوند). در عدسی‌های همگرا، لبه‌ها نازک‌تر از وسط آن است و به‌طور معمول برای کاربردهای متفاوت به شکل‌های دو کوژ، کوژ تخت و هلالی همگرا ساخته می‌شوند. این عدسی از اتّصال دو منشور که از قاعده به یکدیگر وصل شده‌اند تشبیه شده است. از این نوع عدسی در میکروسکوپ‌ها (تمام قسمت‌ها) تلسکوپ‌ها (برخی قسمت‌ها) و عینک افراد دوربین یا آستیگمات (ترکیب عدسی‌های محدّب با چینش مخصوص) استفاده می‌شود.

عدسی واگرا: در عدسی‌های واگرا، پرتوهای تابش، پس از شکست و گذر از عدسی، از هم دور می‌شوند (یعنی واگرا می‌شوند). لبه این عدسی‌ها پهن‌تر از وسط آن است و به شکل‌های دو کاو، کاو تخت و هلالی واگرا ساخته می‌شوند. این نوع عدسی را می‌توان به دو منشور که از زاویه مقابل قاعده به یکدیگر وصل شده‌اند تشبیه کرد. از این عدسی می‌توان به عنوان عینک برای افراد نزدیک بین ـ آستیگمات استفاده نمود.

جوشکاری لیزر

نمایش فیلم آموزشی که جوشکاری لیزر و دستگاه آن را نشان دهد توصیه می‌شود. سپس در ادامه مطالب کتاب درسی در کلاس مطرح شود.

تجهیزات آموزشی (کلاسی)

کتاب درسی ـ تابلو آموزشی ـ ویدئو پروژکتور

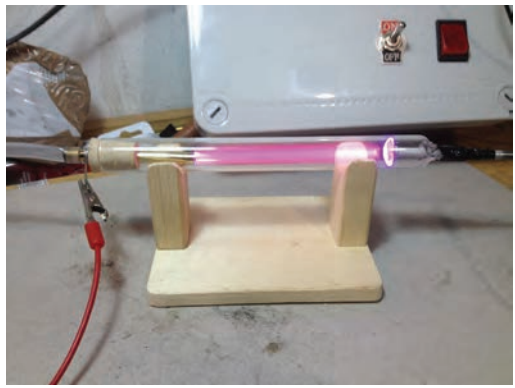
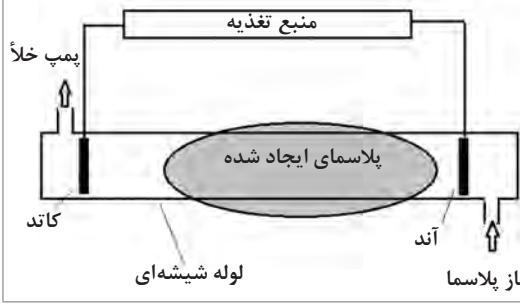
جلسه نهم و دهم: فناوری پلاسما

در ابتدا جلسه تصویری مطابق شکل زیر نمایش دهید.

حالت‌های مختلف آب

از هنرجویان بخواهید تمام حالت‌های ماده را نام ببرند.
برای آنها توضیح دهید که با جذب انرژی تغییر حالت‌های مختلف در ماده انجام می‌شود. ماده ذوب شده و از حالت جامد به مایع تبدیل شده و سپس تبخیر شده و به گاز تبدیل می‌شود. حال اگر این گاز را بیشتر گرم کنیم در دماهای بسیار بالا مثل ۱۲ هزار درجهٔ سانتی‌گراد اتم‌های سازنده گاز تجزیه شده و الکترون‌ها از هسته خود جدا شده و یون بر جای می‌گذارند. بنابراین پلاسما شبیه گازی است که متشکل از ترکیبی از یون‌های مثبت و الکترون با غلظت معین می‌باشد که مقدار الکترون‌ها و یون‌های مثبت در یک محیط پلاسما تقریباً برابر است و حالت پلاسمای مواد، تقریباً حالت شبه خنثایی دارد.
مواد طبیعی در حالت پلاسما عبارت‌اند از انواع شعله، بخش خارجی جو زمین، اتمسفر ستارگان، بسیاری از مواد موجود در فضای سحابی و بخشی از دم ستاره دنباله‌دار و شفق‌های قطبی شمالی که نمایش خیره‌کننده‌ای از حالت پلاسمایی ماده است که در میدان مغناطیسی جریان می‌یابد.
تفاوت پلاسما با گاز: پلاسما حالت ماده‌ای مشابه گاز است، اما تفاوت‌های کمی دارد. پلاسما همانند گاز، شکل دقیق و حجمی ندارد. تفاوت پلاسما با گاز این است که، اگرچه در حالت گاز است اما از ذرات بارداری ساخته شده است که این ذرات به شدت بر یکدیگر بر هم کنش دارند و به شدت در حال حرکت‌اند. این بر هم‌کنش در میان ذرات گازها بسیار کمتر است. پلاسما به‌شدت تحت‌تأثیر نیروهای الکتریکی و مغناطیسی قرار می‌گیرد.
گفته می‌شود ۹۹٪ ماده موجود در طبیعت در حالت پلاسماست. این برآورد، تخمین معقولی است از این واقعیت که درون ستارگان و اتمسفر اطراف آنها ابرهای گازی و نیز فضای بین ستارگان اغلب به‌صورت پلاسماست. در نزدیکی خود ما، هنگامی که جو زمین را ترک می‌کنیم بلافاصله با پلاسمایی مواجه می‌شویم که شامل کمربندهای

تشعشعی وان آلن و بادهای خورشیدی است. با نگاهی به زندگی پیرامونمان می‌توان نمونه‌های متنوعی از پلاسما را یافت. جرقه رعد و برق، تابش ملایم شفق قطبی، گازهای داخل یک لامپ فلورسنت یا لامپ نئون و یونش و لامپ مهتابی.
همان‌طورکه گفته شد برای تولید پلاسما لازم است انرژی کافی به ذرات سازنده گاز داده شود تا ذرات تجزیه شود یکی از روش‌های تولید پلاسما تخلیه الکتریکی در گاز است که انرژی لازم را فراهم می‌کند.
مکانیزم تشکیل پلاسما به‌وسیله تخلیه الکتریکی به‌صورت زیر است.

مکانیزم تولید پلاسما	تصویر
برای تولید پلاسما به وسیله تخلیه الکتریکی در دو سر یک لوله حاوی گاز آرگون یا هلیم، ولتاژ بالایی در حدود چندین هزار ولت برقرار می‌شود. اختلاف ولتاژ دو سر لوله باعث می‌شود. اتم‌های سازنده گاز به ذرات باردار تجزیه شده و باعث ایجاد جریان در لوله می‌شود حضور جریان نشان می دهد که تعداد قابل توجهی ذره باردار داخل لوله وجود دارد، در اثر برخورد این ذرات باردار به یکدیگر و تغییر سطح انرژی آنها پلاسما در لوله ایجاد می‌شود.	 

تمرین جدول ۴:

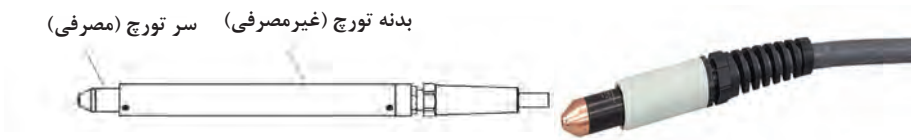
زمینه کاربرد	کاربرد
روشنایی	انواع لامپ‌های پلاسما، نئون و فلوئورسنت
رسانه	پنل‌های پردازش تصویر در نمایشگرهای پلاسما
صنعت	برش‌کاری و جوشکاری و پوشش دهی فلزات

در ادامه در خصوص به‌کارگیری پلاسما در جوشکاری و برش‌کاری و نحوه تشکیل پلاسما به وسیله قوس الکتریکی مطالب کتاب درسی در کلاس تدریس شود و فیلم آموزشی مناسب نمایش داده شود.

از آن جایی که پلاسما حاوی ذرات باردار است برای انتقال قوس به سطح قطعه کار نیاز است که آن رسانا باشد لذا برای برش‌کاری فلزات از آن استفاده می‌شود.

تجهیز	نقش و ویژگی
الکترود	الکترود مسی که دربرگیرنده هافنیم یا تنگستن و یا الکترود تنگستنی بسته به نوع گاز پلاسما است و وظیفه آن برقراری قوس الکتریکی جهت یونیزاسیون گاز پلاسما است.
گاز پلاسما	گاز پلاسما که اطراف الکترود از نازل خارج می‌شود تا در اثر قوس الکتریکی یونیزه شده تا پلاسما ایجاد شود. گازهای خنثی نظیر آرگون برای الکترود تنگستنی و گازهای اکسیژن و کربن دی‌اکسید برای الکترودهای مسی استفاده می‌شود.
منبع قدرت	منبع قدرت در این فرایند منبع جریان ثابت با قطبیت DCEN با ولتاژ مدار باز درآن ۲۵۰ـ۴۰۰ ولت است و جریان آن با توجه به ضخامت و سرعت برش‌کاری قابل تنظیم است.
گاز ثانویه	به منظور افزایش تمرکز قوس روی قطعه کار و جلوگیری از اتلاف انرژی به‌کار می‌رود و امکان استفاده از پلاسما با دما پایین‌تر را فراهم می‌کند همچنین روی کیفیت لبه برش تأثیرگذار است. اکسیژن، هوا و نیتروژن نمونه‌هایی از آن است.

برای انجام برش‌کاری پلاسما از تورچ پلاسما استفاده می‌شود. شکل زیر تورچ پلاسما را نشان می‌دهد.



تورچ پلاسما

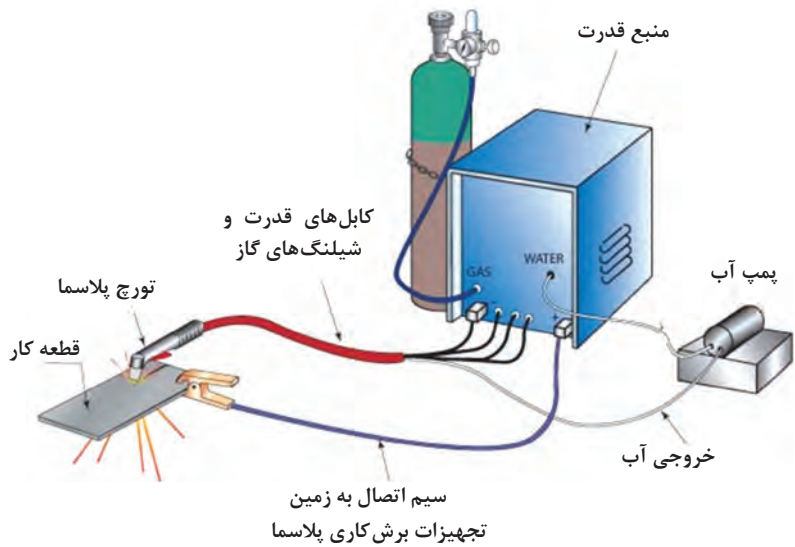
ملحقات مصرفی تورچ پلاسما

تورچ پلاسما شامل یک قسمت غیرمصرفی است که بدنه تورچ می‌باشد که کابل‌های قدرت و شیلنگ‌های گاز از آن عبور می‌کنند و به قسمت سر تورچ که مصرفی می‌باشد، (با استفاده مداوم خورده می‌شوند و نیاز به تعویض دارند) می‌رود. ملحقات مصرفی موجود در سر تورچ شامل موارد موجود در این دو شکل است.

بدنه حلقه چرخنده الکترود نازل کلاهک نگهدارنده محافظ

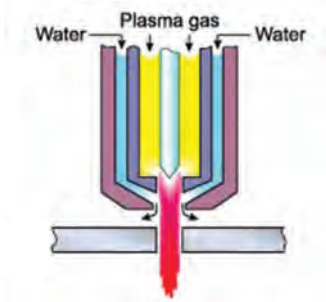
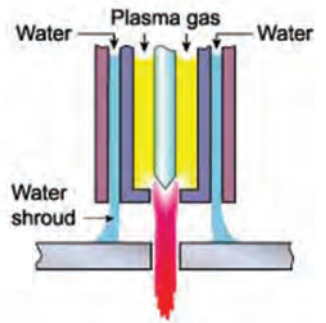
اجزای مصرفی تورچ پلاسما

مجموعه نازل و الکترود که معمولاً از جنس تنگستن یا مس است در داخل کلاهک نگهدارنده قرار می‌گیرند. نازل دارای یک روزنه کوچک مخروطی شکل است که جریان گاز پلاسما را کنترل و متمرکز می‌کند و با خروج گاز پلاسما از آن قوس پلاسما ابتدا بین الکترود و نازل تشکیل می‌شود و سپس به قطعه کار منتقل می‌شود. حلقه چرخنده از جنس پلاستیک مقاوم در برابر حرارت می‌باشدکه دارای سوراخ در زوایای مختلف می‌باشد که با عبور گاز پلاسما از آن به‌صورت گردابی می‌چرخد و به کنترل و تمرکز قوس کمک می‌کند. گاز ثانویه نیز که با هدف حفاظت از ناحیه برش‌کاری و متمرکز کردن قوس اضافه می‌شود از سوراخ‌های محافظ در تورچ خارج شده و به ناحیه برش‌کاری دمیده می‌شود. شکل صفحهٔ بعد تجهیزات برش‌کاری پلاسما را نشان می‌دهد.



دانش افزایی

گاهی یک کلاهک آبگرد نیز به تورچ پلاسما اضافه می‌شود و مطابق شکل ۱۲ یک سیستم آبگرد نیز در تجهیزات برش‌کاری پلاسما قرار می‌گیرد.

فرایند	توضیحات	تصویر
Water Injection	در این فرایند به منظور افزایش تمرکز آب به ناحیه قوس تزریق می‌شود و منجر به افزایش کیفیت لبه برش‌کاری، سرعت برش‌کاری و کاهش خوردگی نازل می‌شود.	
Water Shroud	در این فرایند آب به عنوان یک سپر محافظ در برابر تشعشعات، بخارات و سرو صدای قوس پلاسما است اما تأثیر در کاهش دما، سرعت برش‌کاری و کیفیت لبه برش ندارد.	

گاز پلاسما

برای تشکیل پلاسما از هر گاز یا مخلوط گازی می‌توان استفاده کرد اما پرکاربردترین گازهای پلاسما به شرح ذیل است:

گاز	توضیحات
هوای فشرده	معمول‌ترین گاز پلاسما است که در برش‌کاری فولادها، فولاد زنگ نزن و آلومینیم به‌کار می‌رود و کیفیت برش‌کاری متوسط و سرعت برش‌کاری خوبی را فراهم می‌کند، به علاوه هزینه آن نیز چندان بالا نیست. اما ممکن است در لبه‌های برش نیتراسیون و اکسیداسیون رخ دهد لذا در موارد حساس به‌کار نمی‌رود.
اکسیژن	اکسیژن در برش‌کاری فولادهای کربنی بسیار کاربرد دارد زیرا کیفیت نهایی برش‌کاری با استفاده از آن بسیار خوب است به علاوه سرعت برش‌کاری نیز بالا است. استفاده از این گاز برای فولاد زنگ نزن و آلومینیوم توصیه نمی‌شود. در برش‌کاری فولادها اکسیژن با فلز مذاب واکنش داده و آن را اکسید می‌کند لذا مذاب راحت‌تر از ناحیه برش خارج می‌شود، (چرا؟) و سطح نهایی برش کیفیت خوبی دارد. مشکلات استفاده از گاز اکسیژن هزینه‌های مربوط به تهیه گاز و افزایش نرخ خوردگی قسمت‌های مصرفی تورچ است.
نیتروژن	نیتروژن بهترین انتخاب برای برش‌کاری آلومینیوم و فولادهای زنگ نزن است و با استفاده از آن کیفیت نهایی برش‌کاری خوب است به علاوه عمر تجهیزات مصرفی نیز نسبت به هوا بسیار بیشتر است. اما در ضخامت‌های بالا نمی‌توان از نیتروژن استفاده کرد.
آرگون-هیدروژن	ترکیب آرگون و هیدروژن داغ‌ترین گاز پلاسما می‌باشد که برای برش‌کاری ضخامت‌های بالای آلومینیم و فولادهای زنگ نزن از آن استفاده می‌شود و کیفیت نهایی سطح با استفاده از آن بسیار عالی می‌باشد و این ترکیب معمولاً به صورت ۶۵ درصد آرگون و ۳۵ درصد هیدروژن به‌کار می‌رود. تنها مشکل آن نیز هزینه بسیار بالای تهیه گاز است.

گاز محافظ (ثانویه)

همان‌طور که گفته شد به منظور حفاظت ناحیه برش‌کاری و افزایش تمرکز قوس پلاسما از یک گاز محافظ بسته به گاز پلاسمای به‌کار رفته طبق جدول زیر استفاده می‌شود:

گاز پلاسما	گاز محافظ
هوای فشرده	بهترین انتخاب برای گاز محافظ هوای فشرده است.
اکسیژن	معمولاً از هوای فشرده به‌عنوان گاز محافظ استفاده می‌شود.
نیتروژن	معمولاً از هوای فشرده یا دی‌اکسیدکربن استفاده می‌کنیم. هوا هزینه کمتری دارد نسبت به دی‌اکسیدکربن اما نرخ خوردگی تجهیزات مصرفی با استفاده از دی‌اکسیدکربن کمتر است و کیفیت برش‌کاری بهتر است. همچنین از آب نیز می‌توان استفاده کرد که نیاز به اضافه کردن تجهیزات دارد اما کیفیت نهایی برش بسیار خوب می‌شود. (به‌طور کلی با استفاده از این گازها آلومینیم نسبت به فولاد زنگ نزن کیفیت برش‌کاری بهتری دارد)
آرگون - هیدروژن	معمولاً از نیتروژن به‌عنوان گاز محافظ استفاده می‌شود.

در ادامه مطالب موجود در کتاب درسی در خصوص انجام برش‌کاری و مراحل آن در کلاس تدریس شود و فیلم مناسب نمایش داده شود.

ایمنی

۱ـ در فرایند برش‌کاری قوس پلاسما به‌دلیل استفاده از منبع تغذیه با ولتاژ بالا خطر برق گرفتگی وجود دارد، لذا استفاده از تجهیزات ایمنی مناسب مثل دستکش و کفش کار عایق بسیار ضروری است.
۲ـ در محل انجام برش‌کاری پلاسما گازها و بخارات سمی وجود دارد لذا لازم است محل مذکور دارای سیستم تهویه مناسب باشد.
۳ـ در مورد موادی که به‌وسیله این فرایند برش‌کاری می‌شوند باید دقت شود که حاوی ترکیبات سمی نباشند.
۴ـ در این فرایند خطر سوختگی در اثر تماس مستقیم با قوس یا تجهیزات داغ فرایند وجود دارد لذا استفاده از تجهیزات ایمنی مقاوم به حرارت مثل دستکش ضروری است.
۵ـ امکان آسیب چشم در اثر نگاه مستقیم به قوس وجود دارد لذا باید از تجهیزات ایمنی مناسب مثل عینک یا ماسک استفاده شود.
۶ـ قوس پلاسما دارای تشعشعات ماورای بنفش است لذا پوشیدن لباس ایمنی برای جلوگیری از آسیب تشعشعات قوس ضروری است.
۷ـ این فرایند آلودگی صوتی شدیدی دارد بخصوص در فرایندهایی با قدرت بالا، لذا استفاده از تجهیزات ایمنی محافظت‌کننده گوش ضروری است.

جوشکاری پلاسما

این فرایند شبیه جوشکاری تیگ است با این تفاوت که در این فرایند گاز پلاسما به همراه گاز پوشش مورد استفاده قرار می‌گیرد. طرح کلی این روش شبیه جوش قوس تنگستن ـ گاز است با این تفاوت که در این نوع دستگاه‌های قوس الکتریکی اولیه در دهانه ورودی نازل گاز بی‌اثر به‌وجود می‌آید که در نتیجه آن گازهای بی‌اثر هنگام ورود به نازل بر اثر حرارت بالا یونیزه می‌شوند و محیط پلاسمایی پدید می‌آورند. این پلاسما به قوس الکتریکی بین تنگستن و فلزی که جوش داده می‌شود، منتقل شده و به‌علت دارا بودن حرارت بسیار بالا سرعت و کیفیت جوشکاری به نحوه چشمگیری افزایش می‌یابد.

در جوشکاری با قوس پلاسما قوسی تولید می‌شود که بسیار بلندتر، داغ‌تر و قابل کنترل از قوس ایجاد شده در جوشکاری تیگ است.

تورچ جوشکاری و برش‌کاری پلاسما و تجهیزات آنها شبیه یکدیگرند.

مزایای جوشکاری قوسی پلاسما

- نیاز به مهارت کمتر اپراتور به دلیل تلرانس خوب قوس در مقابل نامیزانی
- نرخ جوشکاری بالا
- قابلیت نفوذ بالا یا اثر سوراخ کلید
- دقت بالا
- جوشکاری قطعات کوچک

ویژگی‌های روش جوشکاری پلاسما

۱ حفاظت الکترود که زمان استفاده از آن را طولانی‌تر می‌کند.

۲ قابلیت جوشکاری با آمپراژ پایین (پایین‌تر از ۰/۰۵ آمپر).

۳ پایداری و یکنواختی قوس و شروع آرام آن، جوش‌های مستحکمی تولید می‌کند.

۴ پایداری قوس در هنگام شروع و آمپراژ پایین جوشکاری.

۵ امکان بالا بردن سرعت جوشکاری و اینکه چگالی انرژی قوس به ۳ برابر چگالی انرژی فرایند GTAW می‌رسد.

۶ فرایند جوش در کمتر از ۰/۰۰۵ ثانیه انجام می‌شود.

۷ چگالی انرژی از H .A .Z می‌کاهد و کیفیت جوش را افزایش می‌دهد.

۸ طول قوس، شکل و حتی توزیع حرارت آن از ویژگی‌های مهم آن است.

۹ قطر و ضخامت قوس از طریق سوراخ نازل انتخاب می‌شود.

کاربرد جوشکاری قوس پلاسما

جوشکاری قطعات کوچک

ابزار برش و تعمیر قالب‌ها

جوشکاری تسمه‌های فلزی

جوشکاری تیوب
در ادامه نمایش فیلم‌های آموزشی در زمینه جوشکاری و برش‌کاری اتوماتیک پلاسما پیشنهاد می‌شود.

تجهیزات آموزشی (کلاسی)
کتاب درسی - تابلو آموزشی - ویدئو پروژکتور

جلسه یازدهم تا سیزدهم: ربات صنعتی

صحبت از ربات‌هاست ربات‌هایی که امروزه پیچیده‌ترین کارها را جهت تولید انجام می‌دهند، تا سرعت، کیفیت و دقت را درسالن‌های تولید به چالش بکشند. ربات‌های صنعتی در افزایش بهره‌وری تولید در سراسر جهان حضور دارند و بهبود کیفیت و ایمنی محیط کار را در بردارند. پیشرفت این تکنولوژی در ۳۵ سال گذشته بسیار چشمگیر بوده به‌طوری که در ابتدا ربات‌ها کارهای نسبتاً ساده و وظایف یکنواخت در محیط‌های خطرناک داشتند. اما امروزه تکامل و پیشرفت نسبت به نیاز در این زمینه باعث شده تا ربات‌های صنعتی تکالیف پیچیده‌تر در تولید را انجام دهند و فضای انعطاف‌پذیرتری نسبت به گذشته ایجاد کنند.

تاریخچه ربات‌های صنعتی
اولین ربات صنعتی در سال ۱۹۶۱ توسط جوزف انگل پدر ربات‌های صنعتی به‌صورت هیدرولیکی طراحی و به بازار صنعت ریخته‌گری عرضه شد. در سال ۱۹۷۴ اولین ربات تمام برقی که تنها ظرفیت ۶ کیلوگرم را داشت نه‌تنها منحصر به فرد بود از پیکربندی انسان استفاده شده و سیستم راه‌اندازی آن به‌صورت میکروپروسسوری بود که رد پای کوچکی از سرعت حرکت و دقت موقعیت‌یابی در خود داشت. راه‌اندازی برقی ربات‌ها به نوعی بود که کم‌کم هیدرولیک‌ها را از چرخه تولید خارج کرد زیرا برنامه‌های جدید با کاربردهای هیدرولیکی همسو نبود. نسل اولیه این ربات‌های الکتریکی جهت پرداخت فولاد ضدزنگ و خم لوله‌های فولادی برای صنایع غذایی استفاده می‌شد. البته ناگفته نماند ربات نقطه جوش با ظرفیت ۶۰کیلو گرم در سال ۱۹۷۵ به پایداری عمر ربات‌های هیدرولیکی افزود تا دوباره بازار تازه‌ای در صنعت ایجاد کند.
استفاده از ربات‌ها مزایای زیادی دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
- ربات‌ها خسته نمی‌شوند و بی‌وقفه و ۲۴ ساعته و بدون تعطیلی می‌توانند کار کنند.
- ربات‌ها وقت ناهار و نماز و شام و ... ندارند.
- ربات‌ها نیاز به بیمه تأمین اجتماعی ندارند و حقوق بازنشستگی و سنوات و عیدی و ... نمی‌خواهند.

- ربات‌ها نه‌تنها کار را بهتر و با کیفیت‌تر و یکنواخت‌تر انجام می‌دهند بلکه سرعت بالاتری نسبت به انسان دارند
- کمیت تولید را نیز بالا می‌برند.
- با اندکی تغییر می‌توانند وظایف مختلفی را انجام دهند و در قیمت دیگری از خط تولید انجام وظیفه نمایند.
- کاری که به آنها محول شده بدون کم‌کاری انجام می‌دهند و چیزی از کار کم نمی‌گذارند.
- و بسیاری از مزیت‌های دیگری که باعث شده هر روزه کارخانه‌های بیشتری در جهان و کشور عزیزمان ایران از آنها استفاده کنند.

۹ دلیل اصلی برای سرمایه‌گذاری در زمینه ربات صنعتی

۱ـ کاهش هزینه‌های اجرایی: استفاده از ربات صنعتی شما را قادر می‌سازد که هزینه‌های اولیه و هزینه‌های پیش‌رو را کاهش دهید. ایجاد یک تغییر چشمگیر درصحنه رقابت و کاهش انرژی از جمله مزایای آن می‌باشند. بدون نیاز به هیچ ابزاری و با کمترین نیاز به روشنایی و حرارت، ربات‌ها موقعیت مناسبی را برای کاهش هزینه‌های انرژی شما ایجاد می‌کنند. برآوردهای جاری نشان می‌دهد که به‌ازای هریک درجه سانتی‌گراد کاهش دما، انرژی هشت درصد ذخیره می‌شود و با خاموش کردن وسایل روشنایی غیرضروری تا حدود بیست درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌شود. ربات‌ها همچنین می‌توانند هزینه‌های مربوط به کارگران را حذف کنند، نه‌تنها هزینه‌های مربوط به حقوق کارگران بلکه هزینه‌های اضافی مانند آموزش، سلامتی و امنیت و مسایل حقوقی را نیز حذف می‌کنند.

۲ـ بهبود کیفیت و ثبات محصول: توسط یک ربات صنعتی شما همواره می‌توانید محصولاتی با بالاترین کیفیت را تولید نمایید، زیرا که ماشین تحت‌تأثیر خستگی، حواس پرتی و یا اثرات ناشی از امور تکراری و خسته‌کننده قرار نخواهد گرفت. دقت ذاتی و قابلیت تکرار آنها باعث می‌شود که شما همچنین بتوانید روی کیفیت بالا برای تولید هر محصول حساب کنید. با بهبود کیفیت کار برای کارگران توسط ربات‌ها شما می‌توانید شرایط کار برای کارکنان خویش را بهبود بخشید. آنها دیگر مجبور نخواهند بود در محیط‌های آلوده به گرد و غبار، محیط های گرم و یا پر خطر کار کنند. به‌علاوه با آموزش نحوۀ کار با ربات‌ها به افراد، آنها می‌توانند مهارت‌های برنامه‌نویسی ارزشمندی را فرا گرفته و کار هیجان‌انگیزتری را انجام دهند.

۳ـ افزایش نرخ تولید محصولات: ربات صنعتی می‌تواند در طول شب و حین تعطیلات با اعمال نظارتی مختصر به کار خود ادامه دهد، بنابراین شما می‌توانید سطح تولید خود را افزایش داده و درخواست‌های ضرب‌الاجل مشتریان را برآورده نمایید. یک سیستم رباتیک باعث هدر رفتن زمان به‌علت تنفس، بیماری، حواس‌پرتی

و یا تمرکز نمی‌شود. امروزه ربات‌ها همچنین قابلیت برنامه‌ریزی به‌صورت off-line را دارند و تجهیزات جدید جهت تولید سریع‌تر در حال عرضه می‌باشند.

۴ـ افزایش انعطاف پذیری تولید محصول: ربات صنعتی می‌تواند قابلیت انعطاف‌پذیری خط تولید را افزایش دهند. زمانی که پروسه‌های مورد نیاز به کنترلر ربات انتقال پیدا می‌کند، شما به‌راحتی می‌توانید از یک ربات صنعتی به دیگری سوییچ نمایید و با به‌کارگیری ابزارهای رباتیک برای تولیدات مختلف سرمایه‌گذاری خود را بهینه سازید.

۵ـ کاهش ضایعات تولید و افزایش راندمان: با به‌کارگیری ربات صنعتی، شما قادر خواهید بود کیفیت تولید خود را افزایش دهید. شما محصولات بیشتری مطابق با استانداردهای مربوطه خواهید داشت و در پی آن، با کاهش مقدار ضایعات ناشی از کیفیت پایین و یا تولید ناقص محصول روبه‌رو خواهید شد. با هر بار تولید محصولات با سطح کیفی بالا، راندمان تولید بالا می‌رود.

۶ـ مطابقت بااصول ایمنی و بهبود سلامت و ایمنی محل کار: ربات صنعتی به‌سادگی می‌تواند مانع بروز موارد ناخوشایند و دشوار و عوامل تهدیدکننده سلامت که ممکن است توسط کارگران ایجاد شود گردد. شما می‌توانید احتمال حوادث ناشی از تماس شخص با ماشین افزار و یا خطرات بالقوه دیگر فرایندهای مکانیکی را کاهش دهید. همچنین ربات‌ها می‌توانند به حذف آثار درد ناشی از فرایندهای تکراری و شدید مانند لکه‌های ناشی از زخم و لرزش دست کمک کنند.

۷ـ کاهش نیاز به کارگر و دشواری‌های استخدام کارگر: دقت بالای مورد نیاز پروسه‌های صنعتی امروزی در گرو سطحی بالا از مهارت و آموزش است. از آنجا که استخدام نیروی متخصص سخت و هزینه‌بردار است، یک ربات صنعتی می‌تواند گزینهٔ مناسبی به حساب بیاید. پس از برنامه‌ریزی ربات‌ها به منظور انجام پروسه‌ای خاص، آنها آمادهٔ شروع به‌کار بدون هیچ‌گونه هزینهٔ استخدام و یا آموزش می‌باشند. ربات‌ها همچنین می‌توانند قابلیت انعطاف‌پذیری بیشتری در هر دو زمینه الگوهای کاری و توانایی در اجرای امور فرایندهای مختلف ارائه دهند.

۸ـ کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری (موجودی اولیه، کار در حال جریان): توسط ربات صنعتی هزینه‌های مواد مصرفی و نیز ضایعات کاهش پیدا می‌کند. به‌وسیله انتقال سریع‌تر تولیدات در صنعت تولید، شرکت‌های تجاری بهتر می‌توانند سرعت تولید را پیش‌بینی نموده و نسبت به یک سرویس سریع و مطمئن تصمیم‌گیری نمایند.

۹ـ صرفه‌جویی در فضا در مناطق صنعتی: ربات‌ها قادر هستند در سیستم‌های طبقه‌ای، روی دیوارها و یا حتی روی سقف قرار گیرند. آنها همچنین می‌توانند به‌منظور کار در فضاهای محدود برنامه‌ریزی گردند در نتیجه نقاط ارزشمند فضای کار هدر نمی‌رود.

آناتومی ربات

بازوی ربات‌های صنعتی کاملاً شبیه بازوی انسان است و عملکردی مشابه بازوی انسان دارند.

پایه ربات همچون بدن انسان است که بازو به آن متصل می‌شود. رابط شماره صفر همچون کتف است که حرکات بازو را حمایت می‌کند. مفصل ۱ همچون شانه است که آزادی حرکت برای بازو فراهم می‌کند. رابط ۱ همچون بازو در بدن انسان است و مفصل ۲ مشابه آرنج است. رابط ۲ نیز همچون ساعد انسان عمل می‌کند. درنهایت عملگر ربات که براساس کاربرد آن به بازو متصل می‌شود همچون مچ دست می‌باشد.

شاخص‌های فنی

- **تعداد محور:** جهت دستیابی به هر نقطه دلخواه در یک صفحه، دو محور حرکتی ضروری است. برای دسترسی به هر نقطه دلخواه در فضا به سه محور مورد نیاز می‌باشد. جهت کنترل کامل راستای آخرین بند بازوی ربات به سه محور دیگر نیز احتیاج است. از این‌رو ربات‌های صنعتی اقلب دارای ۶ محور حرکتی هستند. در برخی کاربردها بنابر محدودیت‌های تجاری، دقت یا سرعت برخی از محورها حذف می‌شوند.

درجات آزادی

- **فضای کاری:** محدوده‌ای که ربات قادر به دسترسی به آن نقاط می‌باشد. این فضا در ربات‌های بندبند حدوداً به‌صورت یک کره می‌باشد که شعاع آن را به‌عنوان اندازه فضای کاری بیان می‌کنند. در کاتالوگ‌های ربات‌ها نیز مقطع دوبعدی از این فضا به‌صورت یک منحنی بسته رسم می‌شود؛
- **ظرفیت وزنی:** حداکثر وزن ابزار با قطعاتی که توسط بند انتهایی بازو قابل حمل هستند، بدون آنکه به دقت و سرعت ربات لطمه‌ای وارد شود؛
- **سرعت:** حداکثر سرعت حرکت هر یک از محورها؛
- **شتاب:** حداکثر شتاب قابل ارائه به هریک از محورهای ربات با وجود بار مشخص؛ در کاربردهایی نظیر بردار و بگذار؛
- **تکرارپذیری:** عبارت است از مقدار اختلاف مکانی ربات در چندین بار حرکت به یک نقطه. این پارامتر معمولاً در کاربردهای دقیق اهمیت بسیاری دارد؛
- **دقت:** میزان اختلاف مابین مختصات عددی یک نقطه در نرم‌افزار ربات و مکانی که ربات در واقعیت به آن حرکت کرده است.

در ادامه در خصوص هریک از کاربردهای ربات‌های صنعتی فیلم آموزشی در کلاس نمایش داده شود.

ارزشیابی نهایی: واحد یادگیری فناوری در تولید

شایستگی	استاندارد عملکرد	نمره شایستگی	شاخص
فناوری در تولید	تشخیص و مقایسه فناوری‌های نوین با روش‌های دستی در تولید مصنوعات فلزی	۳	۱ـ مقایسه کار با روش لیزر در صنایع فلزی با سایر روش‌ها ۲ـ شرح جوشکاری و برش‌کاری پلاسما تشریح فناوری لیزر در صنایع فلزی ۳ـ تشریح کاربرد دستگاه های CNC در جوشکاری و برش‌کاری ۴ـ بیان فناوری ربات‌ها در صنایع فلزی
		۲	۱ـ تشریح کاربرد دستگاه‌های CNC در جوشکاری و برش‌کاری ۲ـ مقایسه روش کار با CNC و روش دستی ۳ـ بیان عملکرد دستگاه CNC و NC براساس نوع دستگاه
		۱	بیان انواع فناوری‌ها براساس روش تولید
توضیحات:			