

سیمای فصل ششم

۶- تغذیه‌گذاری در قطعه‌های ریختگی

۱-۶- روش مدول

۲-۶- روش انقباض و راندمان تغذیه

۳-۶- روش کاین

۶- تغذیه‌گذاری در قطعه‌های ریختگی

فلزات و آلیاژها در هنگام انجماد منقبض شده و حجم آنها کاهش می‌یابد. این کاهش حجم برای فلزات و آلیاژها حدود ۲ تا ۶/۵ درصد است. این انقباض در قطعات ریختگی سبب ایجاد عیوبی مانند کشیدگی و کاهش حجم می‌شود. به همین دلیل برای جلوگیری از به‌وجود آمدن این عیوب در قطعه ریختگی معمولاً از تغذیه استفاده می‌شود. تغذیه کمبود مذاب ناشی از کاهش حجم و قطعه را جبران نموده و پس از انجماد قطعه منجمد می‌شود. بنابراین در هنگام محاسبات مربوط به تغذیه باید انقباض قطعه و منبع تغذیه را با هم در نظر گرفت و جمع نمود.

با توجه به موارد فوق حجم و اندازه تغذیه بستگی به نوع آلیاژ، درجه حرارت بار ریزی، شکل و اندازه قطعه ریختگی و نوع قالب دارد. بنابراین باید در محاسبه حجم و اندازه تغذیه دو مورد را در نظر گرفت :

الف - اندازه تغذیه باید به گونه‌ای باشد که قطعه ریختگی سالم و بدون عیب تولید شود.

ب - اندازه تغذیه باید حداقل مقدار ممکن باشد تا درصد اتلافات مذاب کمتر باشد و در نتیجه حداکثر بازدهی قطعات ریختگی را داشته باشد.

روش‌های مختلفی برای محاسبه حجم و اندازه تغذیه وجود دارد که در اینجا به چند مورد پرداخته می‌شود.

۱-۶- روش مدول :

این روش براساس رابطه چورنیف می‌باشد. رابطه چورنیف برای محاسبه زمان انجماد قطعه ریختگی عبارت

$$t_c = k \left(\frac{V_c}{A_c} \right)^p \quad \text{رابطه (۱-۶)} \quad \text{است از :}$$

که در این رابطه :

t_c : زمان انجماد قطعه

V_c : حجم قطعه ریختگی

A_c : سطح کامل قطعه ریختگی که در آن سطح تماس تغذیه با قطعه ریختگی در نظر گرفته نمی‌شود.

K : ضریب ثابتی است که به مشخصات فلز و قالب بستگی دارد.

* در مورد تغذیه نیز می‌توان رابطه چورنیف را به صورت زیر به کار برد :

$$t_r = k \left(\frac{V_r}{A_r} \right)^p \quad \text{رابطه (۲-۶)} \quad \text{که در آن :}$$

t_r : زمان انجماد تغذیه

V_r : حجم تغذیه

A_r : سطح کل تغذیه که در آن سطح مشترک تماس تغذیه با قطعه ریختگی از مقدار کل سطح تغذیه کسر

شود.

از طرف دیگر نسبت حجم به سطح قطعه، مدول قطعه نامیده می‌شود که رابطه آن برای قطعه ریختگی به صورت زیر است :

$$M_c = \frac{V_c}{A_c} \quad \text{رابطه (۶-۳)}$$

که در آن :

V_c : حجم قطعه ریختگی

A_c : سطح کل قطعه ریختگی

M_c : مدول قطعه ریختگی

رابطه (۶-۳) برای تغذیه به صورت زیر است :

$$M_r = \frac{V_r}{A_r} \quad \text{رابطه (۶-۴)}$$

که در آن :

V_r : حجم تغذیه

A_r : سطح کل تغذیه

M_r : مدول تغذیه

بنابراین با توجه به رابطه چورنیف و مدول می‌توان در مورد قطعه نوشت :

$$\left. \begin{array}{l} t_c = k \left(\frac{V_c}{A_c} \right)^p \\ \Rightarrow M_c = \frac{V_c}{A_c} \end{array} \right\} \Rightarrow t_c = k(M_c)^p \quad \text{رابطه (۶-۵)}$$

از طرفی

داریم

$$\left. \begin{array}{l} t_r = k \left(\frac{V_r}{A_r} \right)^p \\ \Rightarrow M_r = \frac{V_r}{A_r} \end{array} \right\} \Rightarrow t_r = k(M_r)^p \quad \text{رابطه (۶-۶)}$$

در مورد تغذیه نیز خواهیم داشت :

اگر دو رابطه فوق را بر هم تقسیم نمائیم خواهیم داشت :

$$\frac{t_r}{t_c} = \frac{k(M_r)^p}{k(M_c)^p} \quad \text{رابطه (۶-۷)}$$

با توجه به اینکه k برای قطعه و تغذیه ثابت و یکسان است. به دلیل اینکه مشخصات قالب و فلز برای قطعه و

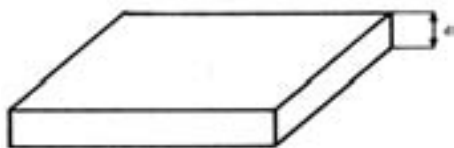
تغذیه به زمان انجام قطعه برابر خواهد بود با :

$$\frac{t_r}{t_c} = \left(\frac{M_r}{M_c} \right)^p \quad \text{رابطه (۶-۸)}$$

با توجه به این رابطه مشخص می‌شود، برای اینکه تغذیه درست عمل نماید باید دیرتر از قطعه منجمد شود. بنابراین باید t_r افزایش یابد و برای اینکه t_r افزایش یابد باید نسبت $\frac{M_r}{M_c}$ افزایش یابد یعنی M_r (مدول تغذیه) باید از M_c (مدول قطعه) بزرگ‌تر باشد.

به عنوان مثال برای فولادها $M_r = 1/2 M_c$ است که مذاب رسانی تغذیه خوب انجام می‌شود برای آلیاژهای دیگر نیز این نسبت $\left(\frac{M_r}{M_c}\right)$ بین $1/2$ تا $1/5$ متغیر می‌باشد.

در محاسبات اندازه تغذیه می‌توان برای بعضی شکل‌ها بدون محاسبه سطح و حجم واقعی، مدول را محاسبه نمود. مثلاً برای یک صفحه، مدول برابر نصف ضخامت صفحه است. $M_c = \frac{d}{2}$



شکل ۶-۱

در شکل ۶-۴ صفحه ۱۲۵، شکل‌های متداول منابع تغذیه محاسبه شده و مدول تغذیه برحسب ابعاد مختلف آن داده شده است که به راحتی می‌توان با در دست داشتن مدول یک تغذیه ابعاد آن را مشخص نمود.

تمرین ۶-۱ مدول قطعه‌ای مکعبی شکل به ضلع ۱۲cm را به دست آورید.
حل: (توسط هنرجو)

مثال ۶-۱ مطلوبست محاسبه مدول قطعه‌ای مکعبی شکل به ضلع ۱۰ cm.
حل:

مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها:

داده	خواسته
طول ضلع = ۱۰ cm	$M_c = ?$

مرحله (۲) نوشتن روابط مورد نیاز

$$\text{حجم مکعب} = V = a^3 = a \times a \times a$$

$$\text{سطح مکعب} = A = 6 \times a^2 = 6 \times a \times a$$

$$M_c = \frac{V_c}{A_c}$$

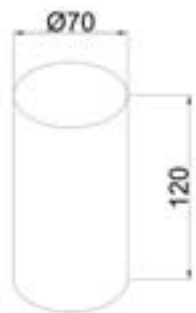
مرحله (۳) جای گذاری داده‌ها در روابط فوق

$$V_c = 10^3 = 10 \times 10 \times 10 \Rightarrow V_c = 1000 \text{ cm}^3$$

$$A_c = 6 \times 10 \times 10 \Rightarrow A_c = 600 \text{ cm}^2$$

$$M_c = \frac{1000}{600} = \frac{10}{6} \Rightarrow M_c = 3 / 33$$

تمرین ۲-۶ مدول قطعه‌ای استوانه‌ای شکل به قطر ۷ cm و ارتفاع ۱۲ cm را به دست آورید.



شکل ۳-۶

حل (توسط هنرجو):

مثال ۲-۶ مطلوبست محاسبه مدول قطعه‌ای استوانه‌ای شکل به قطر ۵ cm و ارتفاع ۱۰ cm و $\pi = 3$



شکل ۲-۶

حل:

مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها:

داده‌ها	خواسته
$H = 10 \text{ m}$	$M_c = ?$
$D = 5 \text{ cm}$	
$\pi = 3$	

مرحله (۲) نوشتن روابط مورد نیاز

ارتفاع \times مساحت قاعده (دایره) = حجم استوانه V_c

$$V_c = \frac{\pi D^2}{4} \times H = \frac{\pi \times 5^2}{4} \times 10$$

$$V_c = \frac{3 \times 25 \times 10}{4} \Rightarrow V_c = 187.5 \text{ cm}^3$$

$2 \times$ مساحت قاعده (دایره) = سطح استوانه A_c

ارتفاع \times محیط قاعده (دایره)

$$A_c = \left(\frac{2\pi D^2}{4} \right) + (\pi D \times H) = \left(\frac{2 \times 3 \times 5^2}{4} \right) + (3 \times 5 \times 10)$$

$$A_c = 37.5 + 150 \Rightarrow A_c = 187.5 \text{ cm}^2$$

مرحله ۳) محاسبه مدول قطعه

$$M_c = \frac{V_c}{A_c}$$

$$M_c = \frac{187/5}{187/5} = 1$$

تمرین ۳-۶ قطعه‌ای مکعبی شکل از جنس چدن به ضلع ۲۵ cm باید با روش ریخته‌گری تهیه شود. در صورتی که $k=2/1$ دقیقه بر سانتی‌مترمربع باشد زمان انجماد قطعه را به دست آورید.
حل (توسط هنرجو):

مثال ۳-۶ قطعه‌ای مکعبی شکل از جنس چدن به ضلع ۲۰ cm باید با روش ریخته‌گری تهیه شود. در صورتی که k برابر $2/1$ دقیقه بر سانتی‌مترمربع باشد، زمان انجماد قطعه را محاسبه کنید.
حل:
مرحله ۱) داده‌ها و خواسته‌ها:

داده‌ها	خواسته‌ها
$a = 20 \text{ Cm}$	$M_c = ?$
$k = 2/1 \text{ min/cm}^2$	$t_c = ?$

مرحله ۲) روابط مورد نیاز

$$M_c = \frac{V_c}{A_c}$$

$$t_c = k(M_c)^2$$

مرحله ۳) محاسبه سطح و حجم مکعب:

$$V_c = a^3 = 20 \times 20 \times 20 \Rightarrow V_c = 8000 \text{ cm}^3$$

$$A_c = 6a^2 = 6 \times 20 \times 20 \Rightarrow A_c = 2400 \text{ cm}^2$$

مرحله ۴) محاسبه مدول قطعه

$$M_c = \frac{8000}{2400} \Rightarrow M_c = 3/33$$

مرحله ۵) محاسبه زمان انجماد قطعه

$$t_c = 2/1(3/33)^2 \Rightarrow t_c = 23/29 \text{ دقیقه}$$

تمرین ۴-۶ قطعه‌ای از استوانه شکل از جنس فولاد به قطر ۱۲ cm و ارتفاع ۱۸ cm از روش ریخته‌گری تهیه می‌شود. در صورتی که $k=1/8$ دقیقه بر سانتی‌مترمربع باشد زمان انجماد قطعه را محاسبه کنید. ($\pi = 3$) حل (توسط هنرجو):

مثال ۴-۶ قطعه‌ای استوانه شکل از جنس فولاد به قطر ۱۰ cm و ارتفاع ۲۰ cm از روش ریخته‌گری تهیه می‌شود. در صورتی که k برابر $1/8$ دقیقه بر سانتی‌مترمربع باشد زمان انجماد قطعه را محاسبه کنید. ($\pi = 3$)

حل: مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها :

داده‌ها	خواسته‌ها
$D = 10 \text{ cm}$	
$H = 20 \text{ cm}$	$t_c = ?$
$k = 1/8 \text{ min/cm}^2$	$M_c = ?$
$\pi = 3$	

مرحله (۲) روابط مورد نیاز

$$M_c = \frac{V_c}{A_c}$$

$$t_c = k(M_c)^2$$

مرحله (۳) محاسبه سطح و حجم استوانه :

$$V_c = \frac{\pi D^2}{4} \times H = \frac{3 \times (10)^2}{4} \times 20$$

$$V_c = 1500 \text{ cm}^3$$

$$A_c = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) + (\pi D \times H)$$

$$A_c = 150 + 600 \Rightarrow A_c = 750 \text{ cm}^2$$

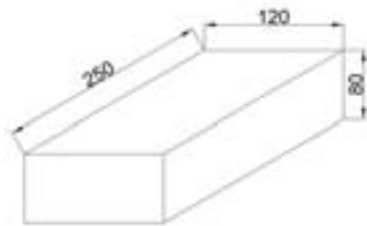
مرحله (۴) محاسبه مدول

$$M_c = \frac{1500}{750} \Rightarrow M_c = 2$$

مرحله (۵) محاسبه زمان انجماد قطعه :

$$t_c = 1/8(2)^2 = 1/8 \times 4 \Rightarrow t_c = 7/2 \text{ دقیقه}$$

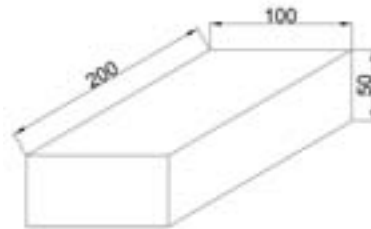
تمرین ۵-۶ قطعه‌ای مکعب مستطیل شکل از جنس آلومینیم به ابعاد $۸ \times ۱۲ \times ۲۵$ سانتی‌متر باید با روش ریخته‌گری تهیه شود. در صورتی که $k = ۱/۶$ دقیقه بر سانتی‌متر مربع باشد زمان انجماد قطعه را محاسبه کنید.



شکل ۵-۶

حل (توسط هنرجو):

مثال ۵-۶ قطعه‌ای مکعب مستطیل شکل از جنس آلومینیم به ابعاد $۵ \times ۱۰ \times ۲۰$ سانتی‌متر باید با روش ریخته‌گری تهیه شود. در صورتی که k برابر $۱/۶$ دقیقه بر سانتی‌متر مربع باشد، زمان انجماد قطعه را محاسبه کنید.



شکل ۴-۶

حل: مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها:

داده‌ها	خواسته‌ها
ابعاد مکعب مستطیل $۵ \times ۱۰ \times ۲۰$ $k = ۱/۶ \text{ min/cm}^2$	$M_c = ?$ $t_c = ?$

مرحله (۲) نوشتن رابطه مورد نیاز برای حل مسأله

$$M_c = \frac{V_c}{A_c}$$

$$t_c = k(M_c)^2$$

مرحله (۳) محاسبه سطح و حجم مکعب مستطیل:

ارتفاع \times عرض \times طول = حجم مکعب مستطیل

$$V_c = a \times b \times c$$

$$V_c = ۵ \times ۱۰ \times ۲۰ \Rightarrow V_c = ۱۰۰۰ \text{ cm}^3$$

$$A_c = \text{سطح مکعب مستطیل}$$

$$= ۲(\text{طول} \times \text{ارتفاع}) + ۲(\text{عرض} \times \text{ارتفاع}) + ۲(\text{طول} \times \text{عرض})$$

$$A_c = ۲(a \times b) + ۲(b \times c) + ۲(a \times c)$$

$$A_c = ۲(۵ \times ۱۰) + ۲(۱۰ \times ۲۰) + ۲(۵ \times ۲۰)$$

$$A_c = ۱۰۰ + ۴۰۰ + ۲۰۰ \Rightarrow A_c = ۷۰۰ \text{ cm}^2$$

مرحله ۴) محاسبه مدول قطعه

$$M_c = \frac{V_c}{A_c} = \frac{100}{700} \Rightarrow M_c = 1/43$$

مرحله ۵) محاسبه زمان انجماد قطعه

$$t_c = 1/6(1/43)^2 \Rightarrow t_c = 3/27$$

مثال ۶-۶) قطعه‌ای مکعب مستطیل شکل از جنس

چدن به ضلع ۱۰ cm از روش ریخته‌گری تهیه می‌شود.

در صورتی که تغذیه آن به شکل استوانه در نظر گرفته

شود، (مطابق شکل زیر) و $\frac{t_r}{t_c} = 1/2$ باشد، مطلوبست:

الف - محاسبه نسبت مدول تغذیه به قطعه

ب - محاسبه مدول تغذیه و قطعه

تمرین ۶-۶) قطعه‌ای مکعب شکل از جنس چدن

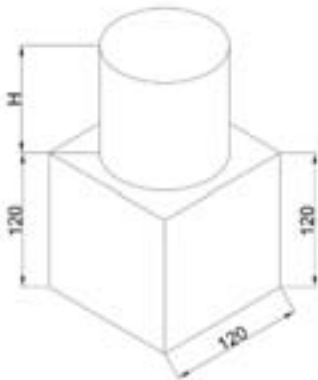
به ضلع ۱۲ cm از روش ریخته‌گری تهیه می‌شود.

در صورتی که تغذیه آن به شکل استوانه در نظر گرفته

شود و $\pi = 3$ باشد مطلوبست :

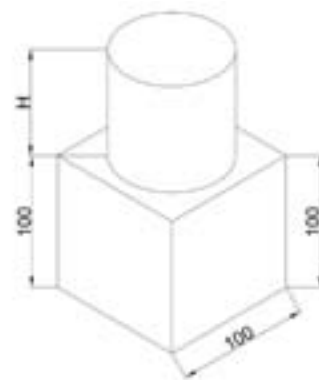
الف - محاسبه نسبت مدول تغذیه به قطعه

ب - محاسبه مدول تغذیه و قطعه



شکل ۶-۷

حل (توسط هنرجو):



شکل ۶-۶

حل: مرحله ۱) داده‌ها و خواسته‌ها :

داده‌ها	خواسته‌ها
$q = 10 \text{ cm}$	$\frac{M_r}{M_c} = ?$
$\frac{t_r}{t_c} = 1/2$	$M_r = ?$
	$M_c = ?$

مرحله ۲) نوشتن روابط مورد نیاز برای حل مسأله

$$M_c = \frac{V_c}{V_r}$$

$$\frac{t_r}{t_c} = \left(\frac{M_r}{M_c} \right)^2$$

مرحله ۳) محاسبه نسبت مدول تغذیه به قطعه

$$\frac{t_r}{t_c} = \left(\frac{M_r}{M_c} \right)^2 \Rightarrow \left(\frac{M_r}{M_c} \right)^2 = 1/2$$

$$\Rightarrow \frac{M_r}{M_c} = \sqrt{1/2} \Rightarrow \frac{M_r}{M_c} = 1/1.41$$

مرحله ۴) محاسبه مدول قطعه

$$V_c = a \times a \times a = 10 \times 10 \times 10 \Rightarrow V_c = 1000 \text{ cm}^3$$

$$A_c = 6a^2 = 6 \times 10 \times 10 \Rightarrow A_c = 600 \text{ cm}^2$$

$$M_c = \frac{V_c}{A_c} = \frac{1000}{600} \Rightarrow M_c = 1.67$$

مرحله ۵) محاسبه مدول تغذیه

$$\frac{M_r}{M_c} = 1/1.41 \Rightarrow \frac{M_r}{1.67} = 1/1.41$$

$$\Rightarrow M_r = 1.67 \times 1/1.41 \Rightarrow M_r = 1.19$$

تمرین ۶-۷ در مثال ۶-۶ (قبل)، اگر نسبت ارتفاع به قطر تغذیه استوانه‌ای ۱/۶ در نظر گرفته شود مطلوبست : محاسبه ابعاد تغذیه و نسبت حجم آن به حجم قطعه (از محاسبه سطح محل اتصال تغذیه به قطعه صرف نظر شود). ($\pi = 3$)

حل (توسط هنرجو):

مثال ۶-۷ در مثال ۶-۶ (قبل)، اگر نسبت ارتفاع به قطر تغذیه استوانه‌ای ۱/۴ در نظر گرفته شود. مطلوبست : محاسبه ابعاد تغذیه و نسبت حجم آن به حجم قطعه. (از محاسبه سطح محل اتصال تغذیه به قطعه صرف نظر شود). ($\pi = 3$)

حل: مرحله ۱) داده‌ها و خواسته‌ها :

داده‌ها	خواسته‌ها
$M_r = 1/1.19$	$D = ?$
$\frac{H_r}{D_r} = 1/4$	$H = ?$
$\pi = 3$	$\frac{V_r}{V_c} = ?$

مرحله ۲) رابطه حجم و سطح استوانه و مدول

$$V_r = \frac{\pi D^2}{4} \times H$$

$$A_r = \frac{2\pi D^2}{4} + \pi D H$$

مرحله ۳) محاسبه مدول بر حسب قطر

$$M_r = \frac{V_r}{A_r} = \frac{\frac{\pi D^2 H}{4}}{\frac{r^2 \pi D^2}{4} + \frac{\pi D H}{1}}$$

$$\frac{H}{D} = 1/4 \Rightarrow H = 1/4 D$$

$$M_r = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \times 1/4 D}{\frac{r^2 \pi D^2}{4} + \pi D \times 1/4 D}$$

$$M_r = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \times 1/4 D}{\frac{r^2 \pi D^2}{4} + 1/4 \pi D^2}$$

$$M_r = \frac{\frac{1/4 \pi D^3}{4}}{\frac{r^2 \pi D^2}{4} + \frac{1/4 \pi D^3}{4}}$$

$$M_r = \frac{1/4 D}{7/6}$$

مرحله ۴) محاسبه قطر و ارتفاع تغذیه

$$\frac{1/84}{1} = \frac{1/4 D}{7/6} \Rightarrow 1/4 D = 7/6 \times 1/84$$

$$D = 9/98 \text{ cm}$$

$$H = 1/4 D \Rightarrow H = 1/4 \times 9/98$$

$$\Rightarrow H = 13/97 \text{ cm}$$

مرحله ۵) محاسبه حجم تغذیه و قطعه

$$V_r = \frac{\pi D^2}{4} \times H = \frac{3 \times (9/98)^2}{4} \times 13/97$$

$$\Rightarrow V_r = 1043/56 \text{ cm}^3$$

$$V_c = 10 \times 10 \times 10 = 1000 \text{ cm}^3$$

مرحله ۶) محاسبه نسبت حجم تغذیه به حجم

قطعه

$$\frac{V_r}{V_c} = \frac{1043/56}{1000} \approx 1/043$$

تمرین ۸-۶ مطلوبست محاسبه مثال قبل (۷-۶) را در صورتی که از محاسبه سطح محل اتصال تغذیه به قطعه صرف نظر نشود. ($\pi = ۳$)

مثال ۸-۶ مطلوبست محاسبه مثال قبل در صورتی که از محاسبه سطح محل اتصال تغذیه به قطعه صرف نظر نشود. ($\pi = ۳$)

حل:

مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها:

داده‌ها	خواسته‌ها
$M_r = 1/۸۴$	$D = ?$
$\frac{H}{D} = 1/۴$	$H = ?$
$\pi = ۳$	$\frac{V_r}{V_c} = ?$

مرحله (۲) رابطه حجم و سطح استوانه با کسر سطح فصل مشترک از تغذیه

$$V_r = \frac{\pi D^2}{4} \times H$$

$$A_r = \frac{\pi D^2}{4} + \pi D H$$

مرحله (۳) محاسبه مدول بر حسب قطر

$$M_r = \frac{V_r}{A_r} = \frac{\frac{\pi D^2 H}{4}}{\frac{\pi D^2}{4} + \pi D H} \Rightarrow M_r = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \times 1/۴ D}{\frac{\pi D^2}{4} + 1/۴ \pi D^2}$$

$$\Rightarrow M_r = \frac{\pi D^2 \times \frac{1}{4} D}{\pi D^2 \left(\frac{1}{4} + 1/۴ \right)} \Rightarrow M_r = \frac{1/۴ D}{1/۶۵}$$

$$M_r = \frac{1/۴ D}{۴ \times 1/۶۵} \Rightarrow M_r = \frac{1/۴ D}{۶/۶}$$

$$\Rightarrow 1/۸۴ = \frac{1/۴ D}{۶/۶} \Rightarrow 1/۴ D = 1/۸۴ \times ۶/۶$$

$$D = \frac{1/84 \times 6/6}{1/4} \Rightarrow D = 8/67 \text{ cm}$$

$$H = 1/4 D = 1/4 \times 8/67 \Rightarrow H = 12/14 \text{ cm}$$

مرحله ۵) محاسبه حجم تغذیه و قطعه

$$V_r = \frac{\pi D^2}{4} \times H = \frac{3(8/67)^2}{4} \times 12/14$$

$$\Rightarrow V_r = 687/41 \text{ cm}^3$$

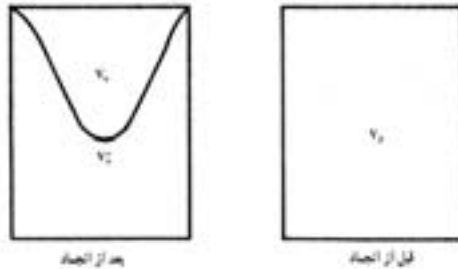
$$V_c = 10 \times 10 \times 10 \Rightarrow V_c = 1000 \text{ cm}^3$$

مرحله ۶) محاسبه نسبت حجم تغذیه به قطعه

$$\frac{V_r}{V_c} = \frac{687/41}{1000} \approx 0/687$$

۲-۶- روش انقباض و راندمان تغذیه :

این روش براساس حجم حفره انقباض و راندمان تغذیه است. تغذیه‌ای به حجم V_r در نظر گرفته می‌شود، بعد از انجماد و مذاب رسانی حجم آن به V_r' می‌رسد. واضح است که V_r بزرگ‌تر از V_r' می‌باشد.



شکل ۸-۶

بنابراین حجم مذابی که صرف جبران انقباض قطعه می‌شود برابر است با :

$$V_s = V_r - V_r' \quad \text{رابطه (۹-۶)}$$

هرچه قدر مذاب بیشتری از تغذیه به قطعه منتقل شود، نشان دهنده این است که تغذیه بهتر انجام می‌شود. به عبارت دیگر هرچه قدر V_r' کوچک‌تر باشد با V_s به V_r نزدیک‌تر شود، مذاب رسانی بهتر انجام می‌شود. در نتیجه راندمان یا بازده تغذیه بیشتر است بنابراین می‌توان راندمان تغذیه را به صورت رابطه زیر نوشت :

$$R_r = \frac{V_r - V_r'}{V_r} \quad \text{رابطه (۱۰-۶)}$$

که در آن :

V_r : حجم تغذیه

V_r' : حجم تغذیه بعد از انجماد و مذاب رسانی

R_r : راندمان تغذیه

راندمان تغذیه به عواملی همچون شکل تغذیه، استفاده از مواد عایق و گرمازا برای جلوگیری از انجماد سریع تغذیه و مذاب رسانی صحیح تغذیه، گرم نگه داشتن تغذیه و سرد کردن سریع قطعه (استفاده از برد) بستگی دارد، برای اینکه تغذیه نسبت به قطعه دیرتر منجمد شده و مذاب رسانی بهتر انجام شود.

راندمان تغذیه برای ریخته‌گری صفحات و ورق‌های نازک ۰/۱ تا ۱ درصد و برای قطعات استوانه‌ای با نسبت $D=H$ تا $H=1/5D$ ، حدود ۱۲ تا ۲۴ درصد و برای کره تا حدود ۵۳ درصد متغیر می‌باشد. شکل ۸-۶ صفحه ۱۲۹ کتاب درسی، چند تغذیه با راندمان‌های مختلف را نشان می‌دهد.

- روش محاسبه حجم تغذیه به صورت زیر است:

$$R_r = \frac{V_r - V_r'}{V_r} \quad \text{رابطه (۱۱-۶)}$$

در صورتی که انقباض حجمی آلیاژ در قطعه و تغذیه هنگام انجماد برابر β باشد، خواهیم داشت:

$$\beta = \frac{V_r - V_r'}{V_r + V_c} = \frac{\text{حجم تغذیه} - \text{حجم تغذیه بعد از انجماد}}{\text{حجم قطعه} + \text{حجم تغذیه}}$$

$$\Rightarrow \beta \times (V_r + V_c) = V_r - V_r'$$

طرفین رابطه را بر V_r تقسیم می‌کنیم $\beta V_r + \beta V_c = V_r - V_r'$

$$\frac{\beta V_r + \beta V_c}{V_r} = \frac{V_r - V_r'}{V_r}$$

$$\frac{\beta V_r}{V_r} + \frac{\beta V_c}{V_r} = \frac{V_r - V_r'}{V_r}$$

با توجه به اینکه $R_r = \frac{V_r - V_r'}{V_r}$ می‌باشد لذا خواهیم داشت :

$$\beta + \beta \frac{V_c}{V_r} = R_r$$

طرفین رابطه به $R_r - \beta$ تقسیم می‌کنیم. $\beta \frac{V_c}{V_r} = R_r - \beta \Rightarrow \beta V_c = V_r (R_r - \beta)$

$$\frac{\beta V_c}{R_r - \beta} = \frac{V_r (R_r - \beta)}{R_r - \beta} \Rightarrow V_r = \frac{\beta V_c}{R_r - \beta} \quad \text{رابطه (۱۲-۶)}$$

که در آن :

V_r : حجم تغذیه

V_c : حجم قطعه

β : درصد انقباض حجمی آلیاژ

R : راندمان تغذیه

با توجه به این رابطه می‌توان به این نتیجه رسید، برای اینکه تغذیه وظیفه مذاب رسانی را صحیح انجام دهد

باید V_r برابر یا بزرگ‌تر از $\frac{\beta V_c}{R_r - \beta}$ باشد.

تمرین ۶-۹ حجم تغذیه لازم برای قطعه‌ای به حجم 1500 cm^3 در حالتی که تغذیه استوانه‌ای شکل در راندمان تغذیه ۱۵٪ و انقباض حجمی آلیاژ ۲٪ در نظر گرفته شود را حساب کنید.
حل (توسط هنرجو):

مثال ۶-۹ مطلوبست محاسبه حجم تغذیه لازم برای قطعه‌ای به حجم 1000 cm^3 در حالتی که تغذیه استوانه‌ای شکل و راندمان تغذیه ۲۰٪ انقباض حجمی آلیاژ ۳٪ در نظر گرفته شود.

حل: مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها:

داده‌ها	خواسته‌ها
$H = 1/2 D$ ابعاد تغذیه	
$V_c = 1000 \text{ cm}^3$	$V_r = ?$
$R_r = 20\%$	
$\beta = 3\%$	

مرحله (۲) نوشتن رابطه مربوطه

$$V_r = \frac{V_c \beta}{R_r - \beta}$$

مرحله (۳) جای‌گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه فوق

$$V_r = \frac{1000 \times 3}{20 - 3} = \frac{300}{17} \Rightarrow V_r = 176 / 47 \text{ cm}^3$$

در صورتی که در مثال قبل تغذیه مطابق شکل ۴-۶

کتاب حالت ب انتخاب شود مدول و ابعاد تغذیه را محاسبه کنید.

حل:

مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها:

داده‌ها	خواسته‌ها
$V_r = 169 M_r^3$	$M_r = ?$
$D = 6 M_r = H$	
$V_r = 176 / 47 \text{ cm}^3$	
$H = D$	

مرحله ۲) محاسبه مدول تغذیه :

$$176/47 = 169M_r^3$$

$$\Rightarrow M_r^3 = \frac{176/47}{169} = 1/044$$

$$M_r = \sqrt[3]{1/044} \Rightarrow M_r = 1/01$$

مرحله ۳) محاسبه قطر و ارتفاع تغذیه

$$D = H = 6M_r = 6 \times 1/01 = 6/06 \text{ cm}$$

۳-۶- روش کاین :

در این روش برای محاسبه تغذیه، از منحنی مربوط به هر آلیاژی استفاده می‌شود که توسط کاین ارائه شده است. منحنی هر آلیاژ متفاوت است، از طرف دیگر این منحنی‌ها به صورت تجربی به دست آمده‌اند و در آزمایشگاه و کارگاه ریخته‌گری منحنی‌های تجربی قابل رسم می‌باشند. این منحنی‌ها بسیار مفید هستند زیرا با در دسترس بودن این منحنی‌ها برای آلیاژهای مختلف می‌توان برای قطعات مختلف تغذیه با اندازه مناسب را محاسبه کرد. شکل ۹-۶ صفحه ۱۳۲ کتاب درسی نمونه منحنی کاین برای فولاد را نشان می‌دهد.

در این منحنی‌ها، محور طول‌ها جذر نسبت زمان انجماد تغذیه به زمان انجماد قطعه است یا به عبارت دیگر

نسبت مدول تغذیه به مدول قطعه و محور عرضی‌ها نسبت حجم تغذیه به حجم قطعه می‌باشد.

$$X = \frac{M_r}{M_c} = \sqrt{\frac{t_r}{t_c}} \quad Y = \frac{V_r}{V_c} \quad \text{رابطه (۶-۱۳)}$$

شکل منحنی کاین به صورت هذلولی است که رابطه کلی آن به صورت زیر خواهد بود :

$$X = \frac{a}{y-b} + c \quad \text{(رابطه ۶-۱۴)}$$

که در آن a ، b و c ضرایب ثابتی هستند که به نوع آلیاژ، میزان انقباض، نوع انجماد و سرعت نسبی سرد کردن تغذیه و قطعه دارد.

به عنوان مثال :

$$X = \frac{0/1}{y-0/03} + 1 \quad \text{(رابطه ۶-۱۳) برای فولادها این رابطه به صورت مقابل می‌باشد}$$

$$X = \frac{0/1}{y-0/06} + 1/08 \quad \text{(رابطه ۶-۱۴) و برای آلیاژهای آلومینیم رابطه به صورت مقابل می‌باشد}$$

تمرین ۱۰-۶ با توجه به شکل ۹-۶ کتاب ابعاد تغذیه لازم برای قطعه‌ای مکعبی شکل به ضلع ۱۲ cm را محاسبه کنید. با فرض اینکه $X = \frac{M_r}{M_c} = 1/8$ و تغذیه استوانه‌ای با $\frac{H}{D} = 1$ حل (توسط هنرجو):

مثال ۱۰-۶ با توجه به شکل ۹-۶ کتاب ابعاد تغذیه لازم برای قطعه‌ای مکعبی شکل به ضلع ۱۰ cm را محاسبه کنید. با فرض اینکه $X = \frac{M_r}{M_c} = 1/6$ و تغذیه استوانه‌ای با $\frac{H}{D} = 1$

حل: مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها:

داده‌ها	خواسته‌ها
$a = 10 \text{ cm}$	
$X = \frac{M_r}{M_c} = 1/6$	$H = ?$
$\frac{H}{D} = 1$	$D = ?$

مرحله (۲) محاسبه حجم قطعه

$$V_c = 10 \times 10 \times 10 \Rightarrow V_c = 1000 \text{ cm}^3$$

مرحله (۳) با توجه به ۹-۶ هنگامی که $X = \frac{M_r}{M_c} = 1/6$ باشد، $Y = \frac{V_r}{V_c} = 0/18$ است. بنابراین:

$$\frac{V_r}{1000} = 0/18 \Rightarrow V_r = 1000 \times 0/18 = 180 \text{ cm}^3$$

مرحله (۴) محاسبه ابعاد تغذیه H و D

با توجه به شکل ۴-۶ قسمت ب رابطه بین Vr و D

به صورت زیر است:

$$V_r = 0/785 D^3 \Rightarrow 180 = 0/785 D^3$$

$$\Rightarrow D^3 = \frac{1800}{0/785} \Rightarrow D = \sqrt[3]{229/29}$$

$$\Rightarrow D \approx 6/12 \text{ cm}$$

$$\frac{H}{D} = 1 \Rightarrow H = D = 6/12 \text{ cm}$$

مثال ۶-۱۱ مطلوبست محاسبه حجم تغذیه لازم برای قطعه‌ای به حجم 500 cm^3 از آلیاژی با انقباض حجمی ۵٪ در دو حالت زیر:

الف - راندمان تغذیه ۱۵٪

ب - راندمان تغذیه ۵۵٪

ج - معلوم کنید در حالت دوم چند برابر حجم تغذیه کاهش می‌یابد.

حل: مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها:

داده‌ها	خواسته‌ها
$\beta = 5\%$ انقباض حجمی	$V_r = ?$
$R_r = 15\%$ راندمان تغذیه	$V_r = ?$
$R_r = 55\%$ راندمان تغذیه	$\frac{V_r}{V_c} = ?$
$V_c = 500 \text{ cm}^3$ حجم قطعه	

مرحله (۲) نوشتن رابطه محاسبه حجم تغذیه با استفاده از روش انقباض و راندمان تغذیه

$$V_r = \frac{V_c}{R_r - \beta}$$

مرحله (۳) محاسبه حجم تغذیه در حالتی که $R_r = 15\%$ باشد.

$$V_r = \frac{500}{15 - 5} = \frac{500}{10} \Rightarrow V_r = 50 \text{ cm}^3$$

مرحله (۴) محاسبه حجم تغذیه در حالتی که $R_r = 55\%$ باشد.

$$V_r = \frac{500}{55 - 5} = \frac{500}{50} \Rightarrow V_r = 10 \text{ cm}^3$$

مرحله (۵) محاسبه نسبت‌های حجم تغذیه

$$\frac{V_r}{V_r} = \frac{10}{50} = \frac{1}{5}$$

تمرین ۶-۱۱ مطلوبست محاسبه حجم تغذیه لازم برای قطعه‌ای به حجم 600 cm^3 از آلیاژی با انقباض حجمی ۴٪ در دو حالت زیر:

الف - راندمان تغذیه ۱۸٪

ب - راندمان تغذیه ۶۰٪

ج - معلوم کنید در حالت دوم چند برابر حجم تغذیه کاهش می‌یابد.

حل (توسط هنرجو):

تمرین ۱۲-۶ برای یک قطعه‌ای مکعب مستطیل شکل به ابعاد $۱۱۰ \times ۱۶۰ \times ۳۰۰$ میلی‌متر از تغذیه استوانه‌ای به نسبت $H = ۱/۵D$ استفاده شده است. زمان انجماد تغذیه به قطعه $\frac{t_r}{t_c} = ۱/۶۴$ می‌باشد، مطلوبست:

الف - تعیین نسبت مدول تغذیه به قطعه

ب - تعیین مدول تغذیه و قطعه

ج - تعیین ابعاد تغذیه

د - تعیین حجم تغذیه

حل (توسط هنجرو):

مثال ۱۲-۶ برای یک قطعه‌ای مکعب مستطیل شکل به ابعاد $۱۲۰ \times ۱۸۰ \times ۳۲۰$ میلی‌متر از تغذیه استوانه‌ای به نسبت $H = ۱/۵D$ استفاده شده است. زمان انجماد تغذیه به قطعه $\frac{t_r}{t_c} = ۱/۴۴$ می‌باشد، مطلوبست:

الف - تعیین نسبت مدول تغذیه به قطعه

ب - تعیین مدول تغذیه و قطعه

ج - تعیین ابعاد تغذیه

د - تعیین حجم تغذیه

(از محاسبه سطح مشترک تغذیه و قطعه صرف‌نظر

شود)

حل:

مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها:

داده‌ها	خواسته‌ها
ابعاد مکعب مستطیل $= ۳۲۰ \text{ mm} \times ۱۸۰ \text{ mm} \times ۱۲۰ \text{ mm}$	$\frac{M_r}{M_c} = ?$
$H = ۱/۵D$ تغذیه استوانه	$M_r = ?$
$\frac{t_r}{t_c} = ۱/۴۴$	$M_c = ?$
	$V_r = ?$
	$H = ?$
	$D = ?$

مرحله (۲) نوشتن روابط مورد نیاز برای حل

$$\frac{t_r}{t_c} = \left(\frac{M_r}{M_c} \right)^p$$

$$M_c = \frac{V_c}{A_c}$$

$$M_r = \frac{V_r}{A_r}$$

مرحله (۳) به دست آوردن نسبت $\frac{M_r}{M_c}$

$$\frac{t_r}{t_c} = \left(\frac{M_r}{M_c} \right)^p \Rightarrow ۱/۴۴ = \left(\frac{M_r}{M_c} \right)^p$$

$$\Rightarrow \sqrt{\left(\frac{M_r}{M_c}\right)^2} = \sqrt{1/44}$$

$$\Rightarrow \frac{M_r}{M_c} = 1/2$$

مرحله ۴) به دست آوردن مدول قطعه :

همانطور که می دانیم قطعه مکعب مستطیل می باشد

کافی است حجم کل آن را به دست آوریم و بر سطح

آن تقسیم کنیم

ارتفاع × عرض × طول = حجم مکعب مستطیل

$$V_c = 320 \times 180 \times 120 \Rightarrow V_c = 6912000 \text{ mm}^3$$



شکل ۹-۶

مجموع سطوح مکعب مستطیل = سطح مکعب

مستطیل

$$A_c = 2 \times (180 \times 20) + 2(320 \times 180) + 2(320 \times 120)$$

$$A_c = 43200 + 115200 + 76800 \Rightarrow A_c = 235200 \text{ mm}^2$$

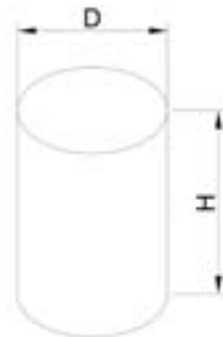
$$M_c = \frac{V_c}{A_c} = \frac{6912000}{235200} \Rightarrow M_c = 29/39 \text{ mm}$$

مرحله ۵) به دست آوردن مدول تغذیه :

$$\frac{M_r}{M_c} = 1/2 \Rightarrow \frac{M_r}{29/39} = \frac{1/2}{1}$$

$$\Rightarrow M_r \times 1 = 29/39 \times 1/2 \Rightarrow M_r = 35/27 \text{ mm}$$

مرحله ۶) به دست آوردن ابعاد تغذیه :



شکل ۱۰-۶

با توجه به اینکه تغذیه به شکل استوانه است لذا

خواهیم داشت :

$$M_r = \frac{V_r}{A_r}$$

حجم استوانه $V_r = \frac{\pi D^2}{4} \times H$

سطح کل استوانه $A_r = 2 \times \frac{\pi D^2}{4} + \pi D \times H$

$$M_r = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \times H}{2 \times \frac{\pi D^2}{4} + \pi D \times H}$$

$$M_r = \frac{\pi D \left(\frac{DH}{4} \right)}{\pi D \left(\frac{D}{2} + H \right)}$$

$$M_r = \frac{\frac{DH}{4}}{\frac{D}{2} + H}$$

$$35/27 = \frac{\frac{D \times 1/5D}{4}}{\frac{D}{2} + 1/5D}$$

$$35/27 = \frac{\frac{D \times 1/5D}{4}}{\frac{10/5D + 1/5D}{1}}$$

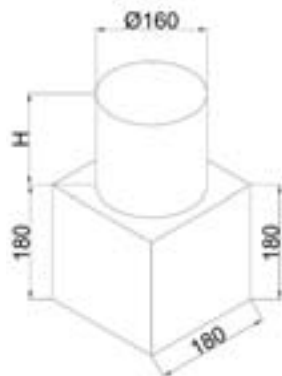
دور در دور و نزدیک در نزدیک

$$35/27 = \frac{(D \times 1/5D) \times 1}{4 \times (10/5D + 1/5D)}$$

$$35/27 = \frac{1/5D^2}{4D}$$

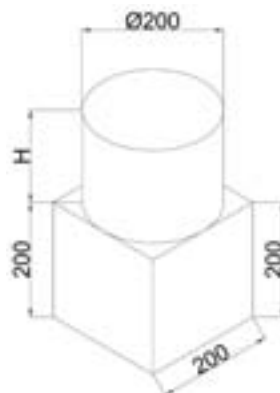
$$\frac{35/27}{1} = \frac{1/5D}{8}$$

	<p>طرفین و وسطین انجام می‌دهیم</p> $\Rightarrow 1/5 D \times 1 = 35 / 27 \times 8$ <p>طرفین تقسیم بر ضریب مجهول (D)</p> $D = \frac{35 / 27 \times 8}{1/5} \Rightarrow \boxed{D = 188 / 11 \text{ mm}}$ <p>از طرفی داریم :</p> $H = 1/5 D$ $H = 1/5 \times 188 / 11 \Rightarrow \boxed{H = 282 / 16 \text{ mm}}$ <p>مرحله ۷) به دست آوردن حجم تغذیه</p> $V = \frac{\pi D^2}{4} \times H$ <p>با جای گذاری خواهیم داشت :</p> $V = \frac{\pi \times (188 / 11)^2}{4} \times 282 / 16$ $\boxed{V = 7837704 / 2 \text{ mm}^3}$
<p>تمرین ۱۳-۶ برای قطعه‌ای مکعبی شکل به ضلع ۱۸ cm تغذیه‌ای استوانه‌ای به قطر ۱۶ cm در نظر گرفته شده، در صورتی که ارتفاع تغذیه ۱۶ cm و ضریب ثابت برای مذاب این قطعه فولادی $k=1/5$ دقیقه بر سانتی‌متر مربع باشد مطلوبست :</p> <p>الف - زمان انجماد قطعه بر حسب دقیقه</p> <p>ب- زمان انجماد دقیقه بر حسب دقیقه</p> <p>ج - نسبت زمان انجماد تغذیه به قطعه</p> <p>د- آیا این تغذیه مناسب قطعه است؟ چرا؟ (از سطح مشترک تغذیه و قطعه در محل اتصال صرف‌نظر شود)</p>	<p>مثال ۱۳-۶ برای قطعه‌ای مکعبی شکل به ضلع ۲۰ cm تغذیه‌ای استوانه‌ای به قطر ۲۰ cm در نظر گرفته شده، در صورتی که ارتفاع تغذیه ۲۰ cm و ضریب ثابت برای مذاب این قطعه فولادی $k=2$ دقیقه بر سانتی‌متر مربع باشد مطلوبست :</p> <p>الف - زمان انجماد قطعه بر حسب دقیقه</p> <p>ب- زمان انجماد دقیقه بر حسب دقیقه</p> <p>ج - نسبت زمان انجماد تغذیه به قطعه</p> <p>د- آیا این تغذیه مناسب قطعه است؟ چرا؟ (از سطح مشترک تغذیه و قطعه در محل اتصال صرف‌نظر شود)</p>



شکل ۶-۱۲

حل (توسط هنجرو):



شکل ۶-۱۱

حل:

مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها:

داده‌ها	خواسته‌ها
$a = 20 \text{ cm}$	
$D = 20 \text{ cm}$	$t_c = ?$
$H = 20 \text{ cm}$	$t_r = ?$
$k = 2 \frac{\text{min}}{\text{cm}^2}$	$\frac{t_r}{t_c} = ?$
$\pi = 3$	

مرحله (۲) نوشتن روابط مورد نیاز

$$M_r = \frac{V_r}{A_r} \quad t_c = k(M_c)^2$$

$$M_c = \frac{V_c}{A_c} \quad t_r = k(M_r)^2$$

مرحله (۳) به دست آوردن حجم و سطح مکعب و

تغذیه استوانه‌ای

$$\text{حجم مکعب } V_c = a^3 = 20 \times 20 \times 20 = 8000 \text{ cm}^3$$

$$\text{سطح مکعب } A_c = 6a^2 = 6 \times (20 \times 20) = 2400 \text{ cm}^2$$

$$\text{حجم استوانه } V_c = \frac{\pi D^2}{4} \times H = \frac{\pi \times (20)^2}{4} \times 20$$

$$V_c = \frac{3 \times 8000}{4} \Rightarrow V_c = 6000 \text{ cm}^3$$

$$A_r = \left(r \times \frac{\pi D^2}{4} \right) + (\pi DH) \quad \text{مساحت استوانه}$$

$$A_r = \left(r \times \frac{\pi \times (r_0)^2}{4} \right) + (\pi \times r_0 \times r_0)$$

$$A_r = \frac{r \times \pi \times 400}{4} + \frac{\pi \times 20 \times 20}{1}$$

$$A_r = 600 + 1200 \Rightarrow A_r = 1800 \text{ cm}^2$$

مرحله ۴) به دست آوردن مدول قطعه مکعبی و

تغذیه :

$$M_c = \frac{8000}{2400} = 3 / 33$$

$$M_r = \frac{6000}{1800} = 3 / 33$$

مرحله ۵) به دست آوردن زمان انجماد قطعه

$$t_c = r \times (3 / 33)^2 \Rightarrow t_c = 22 / 17 \text{ دقیقه}$$

مرحله ۶) به دست آوردن زمان انجماد تغذیه

$$t_r = r \times (3 / 33)^2 \Rightarrow t_r = 22 / 17 \text{ دقیقه}$$

مرحله ۷) به دست آوردن نسبت زمان انجماد تغذیه

به قطعه

$$\frac{t_r}{t_c} = \frac{22 / 17}{22 / 17} \Rightarrow \frac{t_r}{t_c} = 1$$

مرحله ۸) جواب قسمت د : این تغذیه برای قطعه

مناسب نیست چون زمان انجماد آن با قطعه برابر است،

تغذیه‌ای مناسب است که بعد از انجماد کامل قطعه،

منجمد شوند.