روندگی مواد مذاب در داخل راهگاهها در ریخته‌گری

نوشتهٔ :

جمشید کامران

استادیار دانشکده فنی

چکیده :

مؤلف براساس تجربه شخصی خود ، طی سالیان دراز در زمینه ریخته‌گری ، دیدی کلی در مراحل مختلف ریخته‌گری فلزات مذاب پیدا کرده است. در این مقاله نگارنده بویژه روش محاسبه راهگاهها را تجزیه و تحلیل میکند.

اساس فکر براین واقعیت استوار میباشد که روندگی مواد مذاب در قالبهای ماسه‌ای همانند قانون هیدرولیک جریان آب در لوله‌هائی با سطوح داخلی زبر میباشد. براساس این فرمولهای نظری بدست‌آمده میتوان عملا قطعات ریخته شده را با حداقل راهگاهها محاسبه کرد .

تکنیک روندگی مواد مذاب در ریخته‌گری از مدتها پیش مورد توجه خاص بوده و همواره در مد نظر ریخته‌گران قرار داشته‌است. ولی آنچه که تاکنون بیشتر مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته روندگی و قابلیت قالب‌گیری فلزات مذاب توسط صورتهای مارپیچی بوده است.

طول مارپیچ یعنی فاصله بین مبداء و نقطه‌ای از مارپیچ که در آن فلز مذاب شروع به انجماد میکند ، معیاری برای قابلیت روندگی و شاخص کار برد آن در قالبها میباشد.

تئوری محاسبات راهگاهها براثر کوشش بسیاری ازمتخصصین و باتوجه به تکنیک روندگی مذاب تنظیم شده است. نگارنده نیز برای ساختن مدل صفحات (ماچ پلیت) از همین روش استفاده کرده است.

روش محاسبه روندگی مذابها :

میتوان ثابت کرد که وقتی فلزات بصورت مذاب کامل درآیند عیناً خواص مایعات حقیقی را دارا میباشند. بدیهی است هنگامی ذوب کامل است که ذرات کلوئیدی (ذرات بصورت معلق) در مواد مذاب وجود نداشته باشد و این حالت زمانی پیش میآید که درجه حرارت مواد مذاب بالاتر از خط لیکیدوس (Liquidusline) باشد .

جنانچه درجه حرارت از حد معینی پائین‌تر باشد دیگر نمیتوان آنرا جز مایع بحساب آورد و موقعیت فوق از نظر ریخته گری بی‌ارزش میباشد. برای اینکه مواد مذاب روندگی کافی داشته باشند باید درجه حرارت آنها بالای خط میعان باشد. روندگی مواد مذاب باشرایط فوق باید از قانون اصطکاك نیوتن یعنی از فرمول صحیح پیروی کند :

$$\tau=\eta\,\frac{dV_x}{dY}$$

در تغییر شکل یک واحد حجم از یک مایع غیر قابل تراکم با سرعت روندگی V یک تنش τ تولید میشود. این تنش به زاویه بین دو صفحه a و a′ (یعنی φ) در زمان معینی و یک مقدار ثابت مادی η بستگی دارد و لذا فرمول فوق به فرمول :

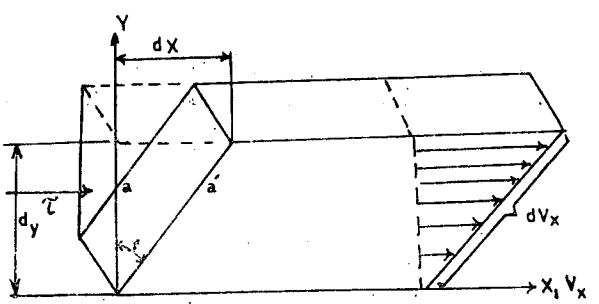
$$\tau=\eta\,\frac{d\varphi}{dt}$$

بدل میشود و هرگاه φ زاویه‌ای کوچک باشد میتوانیم بنویسیم :

$$\varphi \sim \frac{dX}{dY}$$

و در نتیجه تنش اصطکاکی بصورت فرمول زیر بدست میآید :

$$\tau=\eta\cdot\frac{d\left(\frac{dx}{dy}\right)}{dt}=\eta\,\frac{d\left(\frac{dx}{dt}\right)}{dY}=\eta\cdot\frac{dV_x}{dY} \qquad (1)$$



شکل ۱ — تنش و توزیع سرعت در واحد حجم یک مایع با غلظت کافی

که همان فرمول اصطکاکی نیوتن میباشد. این تنش‌ها با گرادیان سرعت که در امتداد جریان قرار دارد و همچنین ضریب اصطکاك η متناسب است.

ویسکوزیته مذابها :

ثابت مواد η که دراینجا ذکر کردیم به چسبندگی دینامیکی معروف است و معکوس آن یعنی $\frac{1}{\eta}$ ومیعان Fluidily نامیده میشود که مقیاسی برای روندگی (سیال) مذاب است.

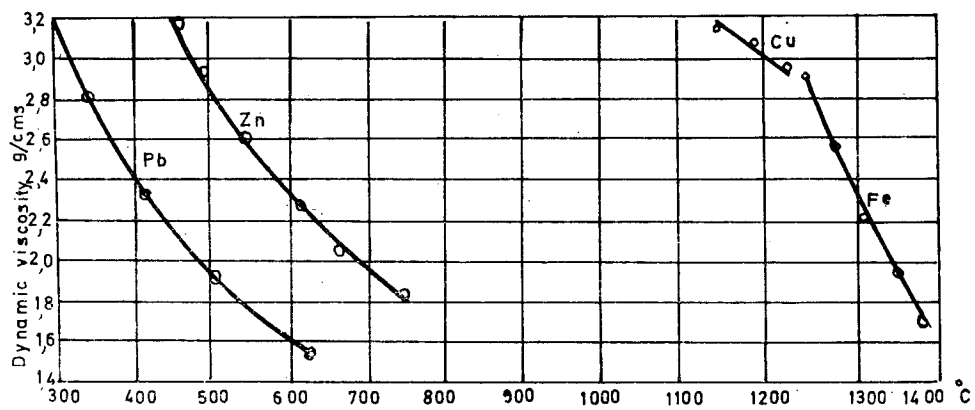
واحد آن پواز (Poise) وکمیت آن $\frac{dyns}{cm^2}$ و یا $\frac{9}{cms}$ میباشد (ودر این حالت 1g mass $=9$ است :

بطور کلی ریخته گران به چسبندگی ماده مذابی علاقه دارند که در بالاتر از نقطه ذوب باشد. (Liquidusline) برای ویسکوزیته دینامیک در حرارتهای بالاتر از نقطه ذوب فرمول زیر معتبر است :

$$\eta = A \cdot e^{\frac{E}{R.T}} \qquad (2)$$

یعنی ویسکوزیته دینامیک تابعی نمائی از درجه حرارت مطلق T و ثابت ماده A و انرژی فعال E و همچنین ثابت گازها R میباشد.

مطالب فوق از منحنی‌های شکل زیر بخوبی روشن میشود.



شکل ۲ — ویسکوزیته هیدرودینامیک چند فلز در حال مذاب

نتایج اولیه برای مواد مذاب برحسب ثابتهای A,E,R متفاوتند. ویسکوزیته باافزایش درجه حرارت بشدت تنزل می‌یابد. در ضمن ویسکوزیته به بزرگی اتم و فاصله اتمهاازیکدیگر وهمچنین به انرژی فعاله آنها وابسته است.

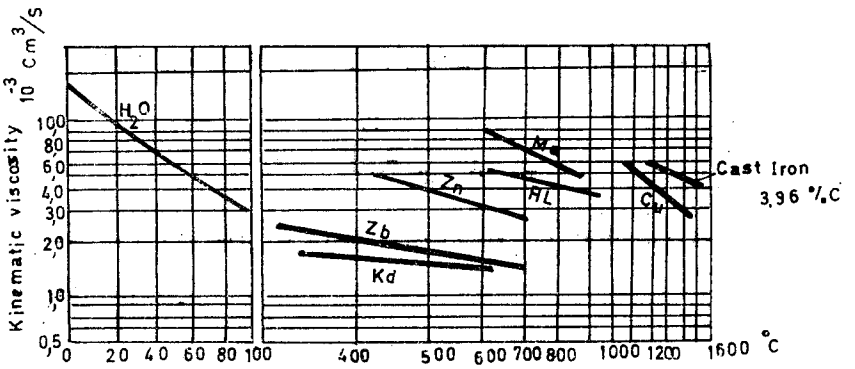
ویسوزیته سینماتیک :

تنش τ بعدازگذاشتن از حد معینی به شتاب بدل میشود و شتاب حاصل در یک تنش معین بجرم Mass و عکس چگالی (φ) وابسته است.

ضریب $r = \frac{\eta}{\rho}$ همچنین نقش مهمی در روندگی دارد. این کمیت ویسکوزیته r نامیده میشود و واحد آن $\frac{cm^2}{S}$ استوك (Stokes) میباشد.

نکته بسیار جالب در این منحنی‌ها وجود تشابه بین ویسکوزیته سینماتیک آب (در دمای ۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد) با سایر فلزات مذاب میباشد (شکل ۳).

بااستفاده از فرمول‌های مربوط به آب می‌توان نتایج حاصله ویسکوزیته سینماتیک سایر مذاب‌ها را پیش‌بینی کرد و یا مستقیماً از فرمولهای مربوط به آب را برای سایر مذابها استفاده کرد.



شکل ۳ — منحنی‌های ویسکوزیته سینماتیک چند فلز مهم در مقیاس لگاریتمی رسم شده است که براثرآن تابع ویسکوزیته سینماتیک‌آب و چند مذاب برحسب درجهٔ حرارت نمائی به منحنی‌های خطی تبدیل شده است

روندگی لامینروتور بولانس :

در روندگی (سیالیت) مواد مذاب ازکانال‌ها ، لوله‌ها و راهگاهها لازم است که دانسته شود که روندگی در چه مواقعی لامینر و درچه مورد توربولانس‌میباشد .

ازبین روندگی لامینروتور بولانس بتوسط عدد رنولد فرمول:

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

مشخص میشود که درآن v سرعت ذوب مواد و d قطرکانال یاراهگاه و ν ویسکوزیته سینماتیک‌است. ملاحظه میشود که عدد رنولد واحد ندارد و از روی آن میتوان فهمید که کی روندگی توربولانس آغاز میشود . چنانچه عدد رنولد $R_e = 2420$ باشد روندگی لامینر میباشد و بعدازآن روندگی به تور بولانس تبدیل میشود .

نتیجه کارهای دانشمندان (Ruff , Guhland Pohl) حاکی از آن است که ماده مذاب در زمانی که ماسه ریخته میشود در شرایط معمولی روندگی توربولانس دارد .

نظر به ناصاف بودن جدارهای راهگاه مقدارعدد رنولد بالااست و حداکثر حدود ۴۰۰۰ میرسد .

افت فشار Δp برای هرنوع روندگی در یک کانال با قطر d و طول l از فرمول زیر محاسبه می‌شود :

$$\Delta p = \frac{v_o^2 \cdot \rho_o l}{2d} \cdot \tag{3}$$

λ مقدار نیروی مقاوم ضریب مقاومت و با نیروی مقاوم در مقابل روندگی را معلوم میکند .

برای روندگی لامینر λ مطابق خواص فیزیکی میتوان فرمولی زیر را بدست آورد .

$$\lambda = \frac{64 \cdot \nu}{v \cdot d} = \frac{64 \cdot \eta}{v \cdot d \cdot \rho} \tag{4}$$

r ویسکوزیته سینماتیک مایع و v سرعت آن و d قطر لوله میباشد .

و در نتیجه افت فشار Δp بصورت فرمول زیر خلاصه میشود.

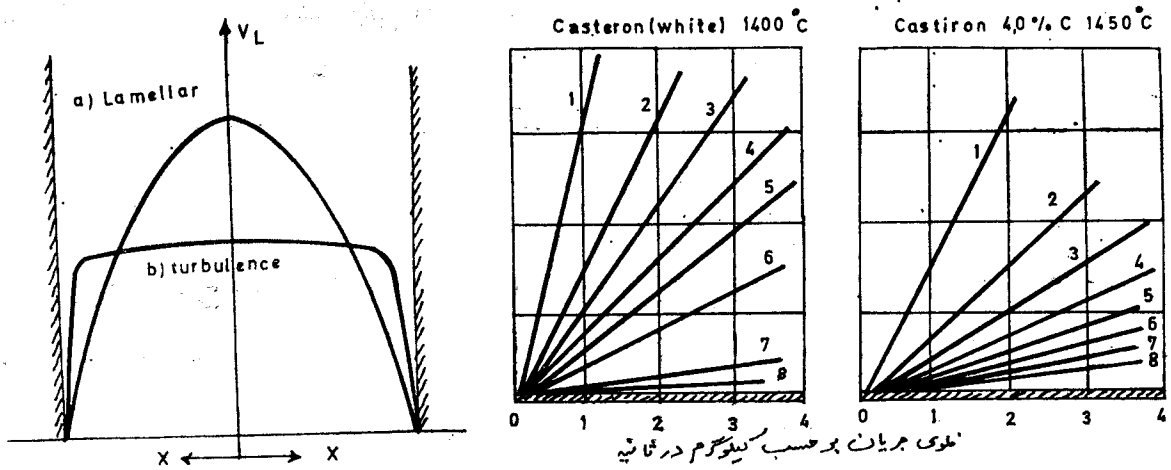
$$\Delta p = 32 \cdot \eta \cdot v_0 \cdot \frac{l}{d^2} \qquad (3a)$$

از آنجا منحنی سرعت پخش مواد مذاب در دهانهٔ یک لوله بسته در شکل ٤ نشان داده شده است و این منحنی یک سهمی است که از معادلهٔ بالا بدست آمده است.

معادله 3a نشان میدهد که بین افت فشار و سرعت متوسط در دهانه لوله‌ای بقطر ثابت، یک تابع خطی برحسب η وجود دارد و براساس همین فرمول میتوان اندازه ویسکوزیته را بدست آورد. اعداد مربوطهٔ رنولد برای بعضی از فلزات در شکل ٦ نشان داده شده است.

در فلزات مذاب در ناحیهٔ مورد نظر (یعنی در زمان معین D و قطر معین d).

جریان لامینر بدست نمی‌آید بلکه یک‌جریان تور بولان تولید میشود که این امر مورد تائید کلیه دانشمندان است. بنابراین در مبحث زیر فقط از جریان توربولان بحث خواهد شد.



شکل ٤ — مقدار عدد رنولد برای عبور از قطرهای مختلف برای چدن برحسب کیلوگرم برثانیه

شکل ٥ — توزیع سرعت برای جریان لامینروتوربولان

روندگی توربولان در لوله‌ها

در روندگی توربولان بین لایه‌های مذاب همواره اصطکاکی وجود دارد. بعلاوه بین دیوارهٔ لوله و مواد مذاب نیز اصطکاکی وجود دارد که از اصطکاك بین لایه‌ها به مراتب بیشتر است. بقیه جریان از توربولانس تشکیل میشود که برحسب زمان تغییر میکند و این تغییر به تمام مقطع نفوذ میکند. دراینجا آن دو بوسیله منحنی در شکل ٥ نشان داده میشود. چنانچه از این منحنی دیده میشود هرقدر جدار ریزتر باشد اصطکاك جداری بیشتر و کندی جریان زیادتر میشود. هراندازه عدد رنولد زیادتر باشد این اصطکاك جداری کمتر و در نتیجه منحنی بقطر نزدیکتر میشود.

و در عوض برآمدگی‌های جداری در عدد مقاومت تأثیر بیشتری می‌گذارند . هرگاه ضریب اصطکاك جداره زیاد شود بزرگی عدد مقاومت باید از نسبت $\frac{kS}{r}$ که در آن ks (زبری و درشتی شن زیری ماسه و r شعاع لوله است بدست میآید.

ویسکوزیته سینماتیک، هنگامیکه جدارلوله ها صاف باشدنقش مهمی درزیادی ضریب مقاومت λ دارد. بدست آوردن اندازه صحیح λ امر مشکلی است (از لحاظ نظری) براساس اندازه گیری‌های متعددی که (توسط Nikuradse و غیره).

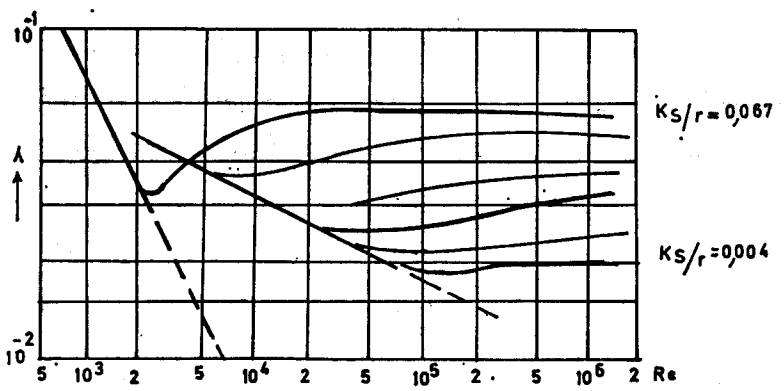
صورت گرفته کولبراك و وایت موفل شده‌اند فرمول تجربی زیر را بدست آورند :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\,tg\left[\frac{2\cdot 51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{K}{3\cdot 72d}\right] \qquad (5)$$

که دز آن نسبت دقیق مقدار زبری K برحسب قطر لوله داده شده است . از رابطه بالا k برحسب λ مطلوب فقط بطور ضمنی بدست آمده است بطوریکه متناسب‌تر است که آنرا از روی منحنی بدست آورد. بطوریکه‌از شکل ٦ دیده میشود وقتی عدد رنولد مفروض زیاد میشود مقدار عدد مقاومت‌هم برحسب مقادیر مختلف زبری زیاد میشود و منحنی بسمت خط افقی یزدیکتر میشود. یک فرمول تقریبی برای عدد مقاومت فرمول زیر است که توسط هویف و فرام بدست آمده است :

$$\lambda = 10^{-2}\left(\frac{k}{d}\right)^{0.314} \qquad (6)$$

در فرمول (٦) خارج قسمت $\frac{k}{d}$ دارای توان کوچکی است لذا تقریبی که ما برای زبری درنظر میگیریم قابل توجه نخواهد بود.



شکل ٦

ازگفته های فوق فرمولهائی بدست آمده است که ریخه گر در محاسبهٔ بآن احتیاج دارد.

١ـ قطر هیدرولیکی $Dh = \frac{\text{٤ برابر مقطع}}{\text{محیط لوله}}$

٢ـ افت فشار در جریان توربولانس در یک لوله افقی با مقطع ثابت :

$$H_o = \lambda \cdot \frac{L}{Dh} \cdot \frac{v^2}{2g} (cm)$$

ضریب مقاومت λ برای ماسه ریخته گری 0.04 می‌باشد.

طول لوله : L

۳- فرمول نیلسن برای دهانی کانال (Nielsen – downspme)

تنگ شدن دهانه کانال قیف نلسن با جمع شدن مایعی که به آزادی و در تحت تأثیر قوه ثقل ریخته میشود کاملا بستگی دارد. برای یک ارتفاع معین h و مقدار معین مایعی که برحسب لیتر در ثانیه Q_s ، ریخته میشود قطر از تساوی زیر بدست میآید.

$$d = \sqrt{28 \cdot 67 \cdot \frac{Q_s}{\gamma \cdot \sqrt{h}}}$$

٤- ضریب افت فشار- اگر ضریب مقاومت λ معلوم باشد - این ضریب به‌عدد رینولد ضریب زبری $\frac{D}{2\varepsilon}$ بستگی دارد 2ε درشتی متوسط دانه ها)و مقدار آن برای ماسه های قالبگیری که درشتی دانه هایش معمولی باشد تقریباً برابر ٤ . ر. است.

ضریب افت فشار ξ از فرمول زیر بدست میاید :

$$\xi = \frac{\lambda \cdot L}{Dh}$$

٥- ضریب سرعت - سرعت خروج نظری $V_{th} = \sqrt{2gh}$ براثر اصطکاك وافت فشار تقلیل پیدا میکند. در اینجا یک فرمول اصلاحی برای محاسبه سرعت واقعی خروج لازم است. این عامل سرعت L نشانداده میشود رابطه زیر را با ضریب افت فشار بستگی دارد :

$$\xi = \sqrt{\frac{1}{1+\xi}}$$

$$n \cdot S_A = \frac{22 \cdot 6 \cdot P}{\xi \cdot t \cdot \gamma \cdot \sqrt{n}}$$

برش مقطع راهگاه — n : تعداد برشها

SA = مقطع یک برش — th : زمان تاریختن مذاب

γ = وزن مخصوص — P : ارتفاع فشار استاتیکی

لیست فرمولهای بکار برده دراین مقاله

ثابت ماده	A
سرعت عبور مایع	D
انرژی فعال	E
ثابت گازها	R

عدد رنولار	Re
درجه حرارت مطلق	T
درشتی شن (ماسه)	k
قطر لوله	d
عدد پیرشن	e
شتاب زمین	g
طول لوله	l
سرعت جریان مایع	v
سرعت جریان مایع روی محور	v_x
میانگین سرعت جریان مایع	v_o
محور مختصات	X_1Y
وزن مخصوص	γ
ثابت تلفات فشار	ζ
ضریب افت سرعت	L
ضریب مقاومت	λ
(چسبندگی) غلظت دینامیکی	η
چسبندگی	ν
چگالی	ρ
تنش	τ
زاویه تغییر شکل	ρ

منابع

1—Giesserei : 26. Dez. 1963 Heft 26

2—Kauisli , A Meizer 1959 Nr. 77

3—D' Ans , Lax , F: Tasehenbuch für Chemiker u. Physiker Berlin Springer Verlag 1949

4—Foundry: 87 (1959) Nr. 12

5—Heming F. Ltofpsoliamein Ratulutiye. Wualta 1961

6—Mécanique des Fluides Editions Mir Moscou 1971

7—Trans. American Foundrym. Soc. 59 (1951)

8—Giesserei—Praxis: 10. Feb. 1962 Betriebsblätter Berlin

9—Ludwig Prandl: Strömungslehre 1944

10—Giesserei Kalender 1975 S. 132 / 133

11—Charles Trencklé: Giesserei 1960 25. Feb.

12—Charles Trenckle: Fonderie Nr. 126 , 1956