

نگرشی بر سیالیت

فلز مذاب در هنگام حرکت درون قالب همواره با پدیده های انتقال حرارت و پیامدهای آن همچون افزایش گرانی، کاهش سرعت، انجماد از دیواره ها و در نهایت انجماد کامل روبرو است. شدت این پدیده ها نباید به قدری باشد که از پر شدن کامل قالب و برقراری شیب دمایی مناسب جلوگیری کند. بنابراین نخستین عامل مهم در طراحی سیستم راهگامی، قابلیت جریان مذاب در این شرایط است که تحت عنوان سیالیت ریخته گری (Casting Fluidity) شناخته می شود. در این تعریف بیشترین مسافتی که مذاب در يك قالب استاندارد طی می کند، طول سیالیت حداکثر (Maximum Fluidity Length) نامیده می شود. البته این تعبیر ریخته گران از سیالیت با تعبیر فیزیکدانها که آن را معکوس گرانی می دانند، تفاوت دترد. مفهوم با ارزش دیگری که غالباً به آن توجه نمی شود، طول بحرانی جریان مذاب است که به آن طول سیالیت پیوسته یا مداوم (Continuous Fluidity Length) گفته می شود.

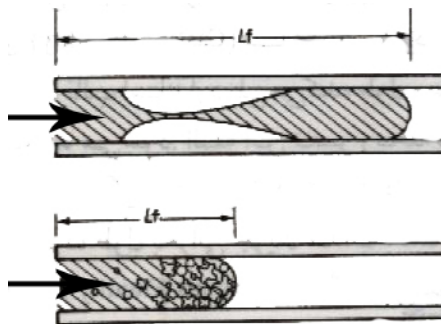
1- عوامل موثر بر سیالیت :

به طور کلی عوامل موثر بر سیالیت را می توان به 4 دسته تقسیم نمود:

- 1) مشخصات مذاب : مثل خواص فیزیکی و حرارتی، کیفیت متالورژیکی و ناخالصی های مذاب
 - 2) مشخصات قالب : مثل خواص حرارتی و کیفیت سطحی
 - 3) روش بارریزی
 - 4) طراحی سیستم راهگامی
- تعدادی از مهمترین عوامل در زیر توضیح داده می شوند :

1-1- رفتار انجماد (Mode of solidification) :

بر اساس تحقیقات انجام شده توسط Kondic (1950-70) و Flemings (1974) و همکارانشان، سیالیت فلزات خالص و آلیاژهای یوتکتیک که در يك درجه حرارت ثابت منجمد می شوند با سیالیت آلیاژهایی که در يك محدوده دمایی منجمد می گردند، متفاوت است. این دونوع رفتار در انجماد به ترتیب انجماد پوسته ای (Skin Solidification) و انجماد خمیری (Mashy Solidification) نامیده می شوند. مدل انجماد جریان يك آلیاژ با انجماد پوسته ای، به صورت جبهه انجماد صفحه ای از دیواره قالب به سمت مرکز است. جریان مذاب تا زمانی می تواند به حرکتش ادامه دهد که جبهه های انجماد به هم برسند و کانال جریان را به طور کامل ببندند (شکل 1).



الف

ب

شکل 1: توقف جریان در اثر:
 الف) انجماد پوسته ای و کامل فلز خالص و آلیاژ یوتکتیک
 ب) انجماد خمیری و نسبی آلیاژ با دامنه زیاد

با فرض اینکه سرعت تقریبی مذاب، مقدار ثابت V و زمان انجماد آن در مقطع کانال، t_f باشد، آنگاه مسافت طی شده جریان (طول سیالیت حداکثر) عبارت است از:

$$L_f = V \cdot t_f \quad \text{معادله (1)}$$

این معادله مشابه معادله پیشنهادی Flemings و همکارانش (1974) است. معمولاً با این روش، L_f بیشتر از مقدار واقعی به دست می آید. چراکه در عمل حرکت مذاب در کانالها به علت تنگ شدن مقطع جریان (ناشی از انجماد)، کند می شود و در نهایت طول سیالیت کمتری را می دهد. به هر حال کارایی این معادله ثابت شده است. برای آلیاژهای با دامنه انجماد زیاد (انجماد خمیری)، دندریتها با جریان مذاب از دیواره قالب شده و تکه تکه می شوند و در نتیجه دو غابی (Slurry) از کریستالهای دندریتی معلق در جریان مذاب بوجود می آید. وقتی که میزان جامد از یک درصد بحرانی بیشتر شود، دندریتها با یکدیگر درگیر شده و چسبندگی آنها به حدی می رسد که در برابر جریان مذاب مقاومت می کنند. شواهدی وجود دارد که نشان می دهد این غلظت بحرانی به ارتفاع مذاب بستگی دارد. این توقف مذاب تقریباً با 20 تا 50 درصد انجماد صورت می گیرد. پس از انجماد پر دامنه، معادله پیشنهادی Campbell (1994) به صورت زیر می باشد:

$$L_f = \frac{V t_f}{5} \text{ تا } \frac{V t_f}{2} \quad \text{معادله (2)}$$

در مقایسه با رابطه (1) می توان گفت که ضریب $\frac{1}{5}$ تا $\frac{1}{2}$ باعث تغییر انجماد از حالت پوسته ای به خمیری می شود. بنابراین سیالیت آلیاژهای با انجماد پوسته ای بیشتر آلیاژهای با انجماد خمیری است.

در اینجا لازم به ذکر است که سیالیت آلیاژهای یوتکتیک اغلب بیشتر از سیالیت در فلز خالص تشکیل دهنده آن است که این امر شاید به دلیل وجود بعضی از ناخالصی ها در فلزات با درجه خلوص بالا باشد.

بر اساس تحقیقات Bastien و Portevin (1934)، شکل کریستالهای جامد رسوب کرده، در سیلان مذاب باقیمانده موثر است. در ترکیبات میانی (Compounds Intermediate) کریستالهای هموار، اصطکاک کمتری نسبت به کریستالهای دندریتی دارند، بنابراین دارای سیلان بیشتری هستند. در مورد کامپوزیت ها افزایش درصد حجمی ذرات تقویت کننده (Reinforcing Particles) ویا کاهش اندازه آنها باعث کم شدن سیالیت می شود.

2-1- درجه حرارت فوق گداز (Superheat Temperature):

همه تحقیقات انجام گرفته در مورد سیالیت نشان می دهند که سیالیت تقریباً به طور خطی با درجه حرارت فوق گداز افزایش می یابد. از طرف دیگر با افزایش درجه حرارت فوق گداز، واکنشهای ترکیبی بین مذاب، قالب و محیط نیز بیشتر شده و باعث تشکیل ویا ورود انواع اکسیدها و آخالها به مذاب می شود که کاهش تدریجی سیالیت را به همراه خواهد داشت. این پدیده در کامپوزیت ها بسیار شدیدتر است.

بعضی اوقات تغییرات سیالیت که ناشی از تغییر در ترکیب شیمیایی آلیاژ است، ممکن است به کاهش نقطه انجماد ودر نتیجه افزایش فوق گداز، مربوط شود. به طور مثال Evans (1951) نشان داد که با افزودن فسفر به مذاب چدن خاکستری (برای حصول

سیالیت بالا) در صورت بارریزی در يك دمای ثابت، سیالیت افزایش می یابد؛ به عبارت دیگر با افزایش فسفر، به دلیل کاهش نقطه انجماد مذاب، میزان فوق گذاز زیاد می شود . اما در صورت ثابت نگهداشتن فوق گذاز، افزایش فسفر تاثیر چندانی روی سیالیت ندارد.

3-1-1- گرمای نهان گذاز (Latent heat):

گرمای نهان حاصل از انجماد، با اثر گذاری بر روی زمان انجماد، بر میزان سیالیت نیز موثر است. گاهی اوقات بعضی آلیاژها حتی در نقطه ذوب، مقدار معینی سیالیت نشان می دهند. دلیل این امر آن است که در این درجه حرارت، گرمای نهان ذوب آزاد شده و در نتیجه حتی در فوق ذوب صفر درجه نیز مقداری سیالیت نیز مشاهده می شود. مهم تر اینکه برای آلیاژهایی از آلومینیوم، حتی در $25-30^{\circ}\text{C}$ زیر نقطه ذوب، مقداری سیالیت دیده شده که احتمالا به همان دلیل درجه حرارت مادون تبرید ویا آزاد شدن گرمای نهان ذوب است.

4-1-1- شکل کانال جریان (Geometry of Flow Channel):

شکل کانال جریان به دو صورت مسافت طی شده توسط مذاب را تحت تاثیر قرار می دهد که در زیر به آنها اشاره می شود:

1-4-1- تنش سطحی :

انحنای هلاله (Meniscus) جبهه جریان مذاب، باعث دفع موینگی شده و به هنگام ورود مذاب به قالب، سبب ایجاد فشار معکوس می شود. فشار معکوس مربوط به تنش سطحی (P_{st}) همان معادله (1) است:

$$P_{st} = \gamma \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r} \right)$$

این فشار معکوس با بزرگ شدن اندازه کانال کوچکتر شده و اثر فشار فلز ایستایی در جهت پرکردن کانال را نشان می دهد. بنابراین فشار موثر خالص برای حرکت مذاب داخل کانال به صورت زیر تعریف می شود:

$$P_{net} = \rho gh - P_{st} \quad \text{معادله (3)}$$

که در آن، h ارتفاع راهگاه بارریز و ρgh فشار ایستایی است.

با توجه به رابطه فوق، ارتفاع موثر خالص، با تقسیم کردن بر ρg بدست می آید:

$$H_{net} = h - \frac{\gamma}{\rho g} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r} \right) \quad \text{معادله (4)}$$

در حالت تعادل نیروهای فشار فلز ایستایی و تنش سطحی مذاب ($P_{net} = 0$)، مذاب متوقف شده و ضخامت بحرانی X_0 از رابطه (2) بدست می آید:

$$\rho gh = p_{st} \quad \text{معادله (3-1)}$$

$$\rho gf = \frac{\gamma}{r} \quad \text{(برای قطعه با ضخامت کم)} \quad \text{معادله (3-2)}$$

X_0 از طرفی:

بنابراین:

$$X_0 = \frac{2\gamma}{\rho gf} \quad \text{معادله (5)}$$

X_0 ضخامت بحراني است که در کمتر از آن، قابلیت پرکنندگي مذاب وجود ندارد.

2-4-1) زمان انجماد:

هر عاملي که زمان انجماد را افزايش دهد، سياليت رانيز افزايش خواهد داد. اثر ضخامت يا ديگر جنبه هاي شکل کانال برروي زمان انجماد با رابطه چورينف (Chvorinov's Rule) به خوبي مشخص است:

$$t_f = K_s \cdot M^2 \quad \text{معادله (6)}$$

که در آن: M : مدول قطعه ريختگي (نسبت حجم به سطح سرده شونده) [m]
 K_s : عدد ثابت که به مشخصات حرارتي قالب و مذاب بستگي دارد.

$$\cdot [s \cdot m^{-2}]$$

رابطه (6) در مورد قالبهاي ماسه اي يا قالبهاي صادق است که جريان حرارتي از قطعه بر اثر خواص حرارتي مواد قالب محدود مي شود.

تأثير مشترك تنش سطحي و زمان انجماد رابرسیاليت مي توان به اين صورت بيان کرد که با کاهش ضخامت کانال جريان، به علت سرعت سرد شدن و تنش سطحي بالاي مذاب، سياليت با آهنگ تندتري کاهش مي يابد به صورتي که Feliu (1964) رابطه سياليت را با مدول مقاطع نازک ريختگي (براي مدول 0/2 تا 0/7 يا ضخامتهاي 1/4 تا 4 ميلي متر) در قالب ماسه اي، با رابطه غيرخطي زير بيان کرده است:

$$L_f = K \cdot M^{\frac{3}{2}} \quad \text{معادله (7)}$$

4-1) خواص قالب (Mould Factor):

سرعت سرد شدن مذاب تا زمان توقف جريان، بستگي به نفوذ گرمابي (Heat Diffusivity) مواد قالب دارد که به صورت زير تعريف مي شود:

$$\beta = \sqrt{KC\rho} \quad \text{معادله (8)}$$

که در آن: K : هدايت حرارتي قالب [$J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ k^{-1} \cdot s^{-1}$]

C : گرمای ویژه قالب [$J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ k^{-1}$]

ρ : چگالي قالب [$kg \cdot m^{-3}$]

Kondic (1949) نشان داد که درجه حرارت قالب از اهميت بالايي برخوردار است. اگر درجه حرارت بارريزي مذاب نزديك نقطه انجماد آلياژ باشد، سيلان مذاب حساسيت بيشتري به درجه حرارت قالب خواهد داشت.

عامل مهم ديگر، نيروي اصطکاکي قالب است که به زيري سطح آن بستگي دارد. پوشش سطح قالب نیز مي تواند با ايجاد سطح صاف و کاهش اصطکاک، سيلان مذاب را افزايش دهد. همچنين پوششهاي فعال (Active Coating) با کاهش ترشوندگي قالب

توسط مذاب، سیالیت مذاب را افزایش می دهند (مثل افزودن پودر زغال به مخلوط ماسه در ریخته گری چدن و مس) (Flemings ، 1959 و Beets ، 1961).

1-6) اثر فشار:

هنگامی که مذاب وارد محفظه قالب می شود، باید به سرعت جایگزین هوای قالب شود. این حالت با طراحی سوراخهای هواکش و تغذیه (Riser) باز و افزایش قابلیت نفوذ مواد قالب امکان پذیر است. اگر این کانالها نامناسب نباشند، فشار برگشتی هوا باعث عدم سیلان مناسب مذاب و در نتیجه کاهش آن می شود. این پدیده در طراحی سیستم راهگاهی از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

2) قابلیت پرکنندگی (Fillability) و قابلیت جریان یابی (Flowability):

Campbell در سال 1971، در مفهوم تازه از سیالیت را به صورت زیر ارائه کرده است :

الف) قابلیت پرکنندگی

اهمیت این مفهوم اولین بار در ریخته گری قطعات نازک مشخص شد، چراکه قابلیت پرکنندگی با تنش سطحی محدود می شود. پرکنندگی قالب هنگامی رخ می دهد که دمایی قالب ویا مذاب بالا باشد و در نتیجه انجماد به تاخیر افتد.

ب) قابلیت جریان یابی :

قابلیت جریان یابی بر اساس سیالیت حداکثر (L_f) اندازه گیری می شود و به طور مستقیم توسط انتقال حرارت محدود می شود. رابطه زیر توسط Flemings (1974) و برای محاسبه طول سیالیت حداکثر و تعیین قابلیت جریان یابی، پیشنهاد شده است :

$$L_f = V \cdot t_f$$

$$t_f = \frac{\rho_s \cdot a}{2h (T_m - T_0)} (H + C \cdot \Delta T) \quad \text{معادله (9)}$$

که در آن : ρ_s : چگالی فلز جامد [$kg \cdot m^{-3}$]

a : شعاع سطح مقطع کانال دایره ای شکل جریان [m]

h : ضریب انتقال حرارت فصل مشترک [$J \cdot s^{-1} \cdot m^{-1} \cdot ^\circ k^{-1}$]

T_m : نقطه ذوب فلز [$^\circ k$]

T_0 : درجه حرارت قالب [$^\circ k$]

H : گرمای ذوب [$J \cdot kg^{-1}$]

C : گرمای ویژه قالب [$J \cdot s \cdot m^{-1} \cdot ^\circ k^{-1}$]

ΔT : فوق ذوب [$^\circ k$]

بنابراین :

$$L_f = \frac{\rho_s \cdot a \cdot V}{2h (T_m - T_0)} (H + C \cdot \Delta T) \quad \text{معادله (10)}$$

باتوجه به رابطه (10)، وقتی دمای قالب و یا مذاب کم باشد، قابلیت جریان کاهش می یابد. در ریخته گری قطعات نازک هر دو عامل انتقال حرارت و تنش سطحی، پرشدن قالب را محدود می کنند.