

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



بسم الله الرحمن الرحيم



فرآیندهای نیمه جامد

گردآوری: یونس اصغری بیاتی 86342792

اسفند 1388

www.iran-mavad.com

مرجع دانلود رایگان مهندسی مواد و متالورژی



چکیده

فرآیندهای نیمه جامد، از جمله روشهای نوین تولید مواد هستند که دارای عمری در حدود 30 سال میباشند. این روشها مشتمل بر شکل دهی مخلوطی نیمه جامد- نیمه مذاب با استفاده از روشهای ریخته گری و فرمدهی مکانیکی میباشند. نکته کلیدی این فرآیندهای ساخت مواد، ایجاد ساختاری غیردندریتی در مخلوط نیمه جامد است. در این تحقیق نیز پس از ارایه مختصری از تاریخچه و تعریف فرآیند به معرفی 11 روش ایجاد ساختار غیر دندریتی پرداخته شده است. سپس بطور اجمالی نحوه تبدیل ساختار دندریتی به کروی مطرح شده و نهایتاً شرایط مواد مصرفی در این فرآیند و مزایا و معایب و برخی از کاربردهای این روش بررسی شده است.



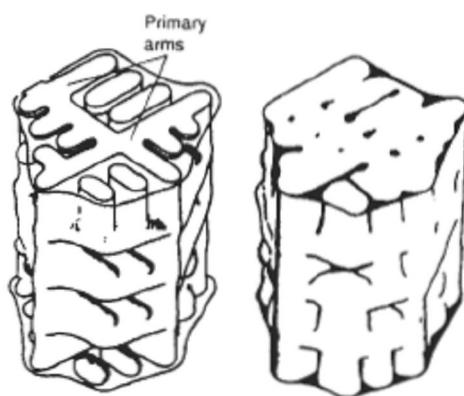
فهرست

صفحه	عنوان
3	1- مقدمه
6	2- تاریخچه فرآیندهای نیمه جامد.....
7	3- تعریف فرآیند نیمه جامد.....
9	4- تکنیکهای تولید ساختار غیر دندریتی در حالت نیمه جامد.....
9	1-4- همزدن مکانیکی.....
13	2-4- همزدن با استفاده از روشهای مغناطیسی.....
16	3-4- روش SIMA.....
19	4-4- روش سطح شیبدار خنک کننده.....
21	5-4- روش اسپری کردن.....
22	6-4- ریخته گری با دمای فوق ذوب پایین.....
23	7-4- استفاده از امواج اولتراسونیک.....
24	8-4- ریزدانه کردن شمیایی.....
25	9-4- NRC یا رئوکست جدید.....
26	10-4- روش غلتک سردکننده برشی یا SCR.....
27	11-4- روش گلوله های نسوز.....
28	5- چگونگی تبدیل مورفولوژی دندریتی به گلوبولار
29	1-5- نظریه خرد شدن بازوهای دندریتی.....
29	2-5- ذوب ریشه بازوهای دندریتی.....
30	3-5- مکانیزم شد کنترل شده.....
31	4-5- مکانیزم به هم پیوستن.....
31	6- مواد مصرفی در فرآیند نیمه جامد.....
32	7- مزایا و معایب.....
34	8- مراجع.....



1- مقدمه

انجماد دندریتی معمولترین نوع انجماد در قطعات ریختگی است. در این فرایند، از روی هر یک از جوانه های موجود در مذاب، یک شاخه ستونی جوانه زده و در جهات جلو و پهنا رشد مینماید و سپس بازوهای ثانویه ای از آن منشعب میشوند. این پدیده ادامه میابد تا نهایتاً بازوها به هم پیوسته و یک شبکه کریستالی موسوم به دانه به وجود آید. در شرایط ایده آل که عمل مذاب رسانی بطور کامل انجام میشود، دانه حاصله کاملاً یکنواخت خواهد بود. اما تحت شرایط کارگاهی، اغلب انجماد دندریتی منجر به عدم مذاب رسانی کامل و به تبع آن ایجاد عیوب انقباضی در بین بازوهای دندریتی میشود [5].



شکل 1-1) دندریت نسبتاً نامنظمی که در آلیاژهای آلومینیوم معمول است. الف - 50 درصد جامد. ب - 90 درصد جامد [5].

از طرفی هنگامیکه رشد دندریتی در حجم زیادی از ماده، بطور مداوم انجام گیرد، ساختار بدست آمده به شدت انیزوتروپ خواهد بود. در این حالت جدایش میکروسکوپی مغزه بندی در اثر وجود اختلاف غلظت بین مرکز و سطح خارجی بازوهای دندریتی اتفاق



می افتد. این امر در موارد حاد خود میتواند منجر به تشکیل فاز ثانویه در بین بازوهای دندریتی شود [6].

برای رفع مشکل جدایش در قطعات ریختگی، فرایند همگن سازی مطرح است. اما این فرآیند ضمن دارا بودن مشکلات متالورژیکی خاص خود، بسیار زمانبر و در مواردی غیر اقتصادی است [6]. استفاده از مقدار زیاد جوانه زای نیز عملی است که ضمن کاهش عیوب انقباضی میزان جدایش را میکاهد.

روش دیگر حذف عیوب مذکور در قطعات ریختگی از بین بردن دندریتها و تبدیل آنها به ذرات جامد کروی است. این امر امروزه در فرآیندهای نیمه جامد بطور گسترده ای مورد بهره وری قرار گرفته است.

فرآیند ریخته گری و شکل دهی در حالت نیمه جامد در چند دهه اخیر به عنوان یک روش موفق و قابل اعتماد جهت ساختن قطعاتی با ابعاد نزدیک به نهایی و ریزساختار یکنواخت مورد توجه قرار گرفته است. از جمله مزایای مهم این فرآیند، دمای پایین فرآیند و کاهش مصرف انرژی گرمایی، رفتار ویسکوز مواد هنگام سیلان به قالب، کاهش میزان حلالیت گاز و حفرات گازی، کاهش انقباض حین انجماد، افزایش عمر قالب و بهبود خواص مکانیکی میباشد [7و8].



2- تاریخچه فرآیندهای نیمه جامد

فرآیند نیمه جامد، تکنولوژی نسبتاً جدیدی است. مطالعه بر روی این فرآیند، برای اولین بار در سال 1971 و در راستای تز دکترای اسپنسر¹ و تحت نظارت فلمینگز² در MIT آغاز گردید. در طی آن تحقیق، اسپنسر به این نتیجه رسید که برش و شکستن دندریتهای موجود در یک آلیاژ نیمه جامد، منجر به بروز رفتار تیکسوتروپیک (کاهش ویسکوزیته در اثر اعمال تنش برشی) در یک آلیاژ نیمه جامد میشود [1].

از سال 1971 تا کنون، تحقیقات زیادی بر روی روشهای تولید قطعات با استفاده از فرآیند نیمه جامد انجام گرفته است. عمده این تحقیقات بر مبنای نحوه ایجاد ساختار هم محور و غیر دندریتی در حالت نیمه جامد بوده است. در رابطه با نوع ماده مورد تحقیق نیز باید گفت که در سالهای ابتدایی، آلیاژهای فولادی مد نظر بوده اند، ولیکن با گذشت زمان و نیاز روزافزون صنایع هوافضا و خودروسازی به آلیاژهای سبک، نوع ماده اولیه فرآیند به سمت آلیاژهای آلومینیوم و آلیاژهای منیزیم سوق یافته است [1].

امروزه فرآیند نیمه جامد به عنوان یک روش کاملاً علمی و در عین حال با صرفه اقتصادی مطرح است بطوریکه قطعات حاصله از این روش، امکان برخورداری از خواص مکانیکی مطلوب، اشکال پیچیده و همچنین ابعاد دقیق را دارا میباشند [1].

¹-Spenser
²-Flemings



3- تعریف فرآیند نیمه جامد

ماده اولیه مصرفی فرآیند و نیز روش تهیه آن به علاوه نحوه شکل دهی این مواد، مهمترین مشخصات کلیدی به منظور شناخت روش نیمه جامد هستند.

ماده اولیه مصرفی این فرآیندها متفاوت از ماده اولیه سایر روشهای معمول میباشد، چرا که بر خلاف روشهای ریخته گری معمولی (که از مذاب به عنوان ماده اولیه استفاده میکنند) و روشهای فورج و نورد (که ماده شروع کننده دارای حالت جامد است)، ماده اولیه مصرفی فرآیند نیمه جامد، دوغاب فلزی نیمه جامد- نیمه مذاب میباشد؛ به بیان بهتر در این فرآیندها، مخلوطی متشکل از ذرات جامد غیر دندریتی پخش شده در فاز مذاب فلزی به عنوان ماده شروع کننده فرآیند مورد استفاده قرار میگیرد [1].

به منظور تهیه دوغاب نیمه جامد، بطور کلی دو روش اصلی وجود دارد که عبارتند از [1]:

1. روش رئوکست¹: در این روش ساختار نیمه جامد مستقیماً از فاز مذاب و با کاهش دما بدست می آید و سپس دوغاب حاصله به درون قالب هدایت میشود.

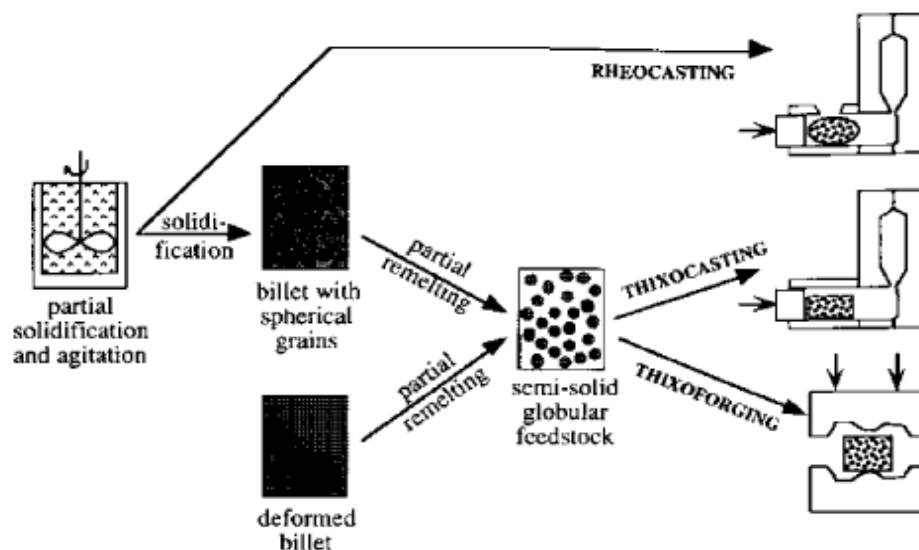
2. روش تیکسوفرمینگ: در این روش ابتدا آلیاژ نیمه جامد بصورت شمش ریخته شده و سپس تا دمای نیمه جامد، حرارت داده میشود، در مرحله بعدی تحت فرآیندهای خاصی که در ادامه ذکر خواهد شد به ساختار جامد غیر دندریتی پراکنده شده در مذاب فلزی

¹-RheoCast



تبدیل شده و نهایتاً دوغاب حاصله یا در قالب تزریق شده¹ و یا تحت فرآیند شکل دهی² قرار میگیرد.

روش رئوکستینگ که در واقع فرایند تولید مخلوطهای نیمه جامد غیردندریتی بوسیله یک روش برشی در هنگام انجماد میباشد، یکی از روشهای تولید در تحقیقات اولیه است ولیکن این روش به صورت تجاری در نیامد. دلیل این امر کیفیت پایین مخلوطهای نیمه جامد تولید شده بوسیله این روش است. البته برخی پارامترها مانند مصرف انرژی کمتر یک از مزایای روش رئوکست است [4].



شکل 1-2) تصویر شماتیک فرایندهای مختلف جهت تولید قطعات به روش نیمه جامد [4]

¹-Thixocasting
²-Thixoforming

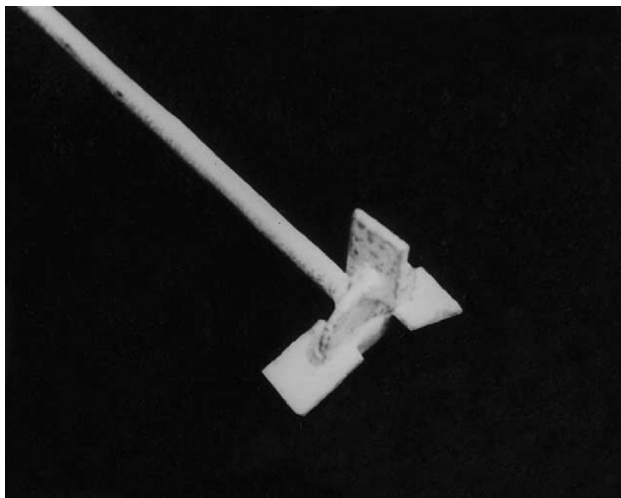


4- تکنیکهای تولید ساختار غیردندریتی در حالت نیمه جامد

همانطور که پیشتر اشاره شد، روشهای ریخته گری نیمه جامد، به دو دسته عمده رئوکست و تیکسوفرمینگ قابل دسته بندی هستند. در هر یک از آنها به منظور تهیه ساختار نیمه جامد غیردندریتی میبایستی فرآیند خاصی انجام پذیرد؛ در این قسمت از تحقیق به بررسی انواع متدهای ایجاد ساختار غیر دندریتی در حالت نیمه جامد خواهیم پرداخت.

4-1- همزدن مکانیکی¹

تکنیک همزدن مکانیکی که برای اولین بار در دانشگاه MIT مورد استفاده قرار گرفت، قدیمی ترین روش تبدیل ساختار دندریتی به گلوبولار در حالت نیمه جامد میباشد [1].



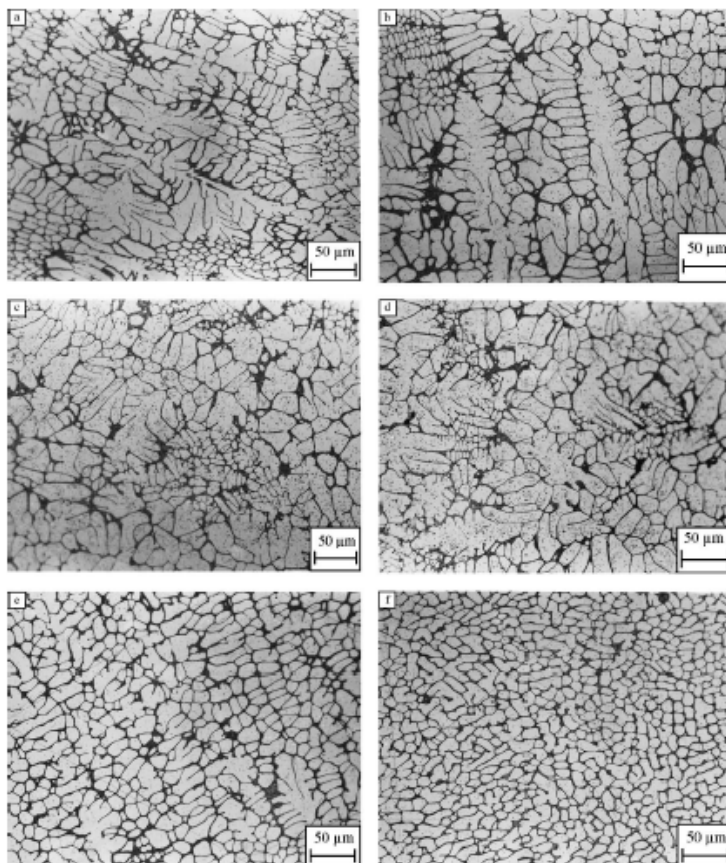
شکل 4-1) تصویر پره متصل به شیف دوار که بهمنور همزدن مکانیکی استفاده میشود- جنس مواد مصرفی به منظور ساخت این وسیله فولاد کم کربن بوده و سطح آن بوسیله بنتونیت پوشش داده شده است [10].

مکانیزم کاری این روش بدین ترتیب است که چرخش یک سری پره متصل به یک شفت دوار (شکل 4-1) در دوغاب مذاب منجر به اعمال نیروی برشی و به تبع آن شکستن دندریتهای جامد میشود. مشخص شده است که در این روش دما، مدت زمان و سرعت همزدن بر مورفولوژی و اندازه گلبولها در حالت نیمه جامد موثر است. در

¹-Mechanical stirring

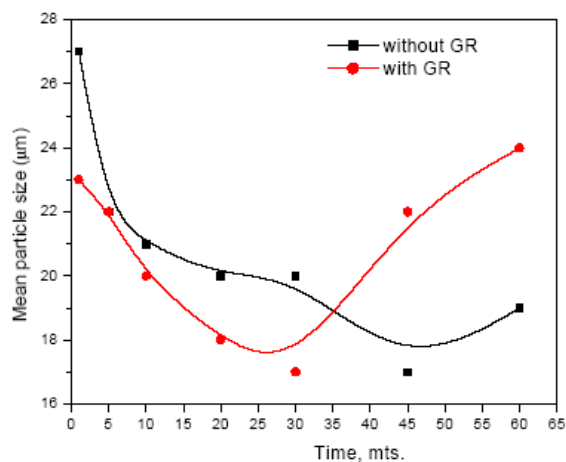


شکل 4-2 اثر مدت زمان همزدن بر اندازه گلبولهای α -Al در آلیاژ Al-5.2Si در حالت نیمه جامد نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده میشود با افزایش زمان همزدن مکانیکی ساختار از حالت دندریتی به گلبولی تبدیل شده و در یک زمان معینی اندازه گلبولها به حداقل خود رسیده و از آن به بعد مجدداً اندازه گلبولها رشد میکند. در شکل 4-3 نیز تاثیر سرعت برش بر روی اندازه گلبولها نشان داده شده است، طبق این شکل با افزایش سرعت اعمال برش، اندازه گلبولها کاهش میابد. همچنین معلوم شده است که اندازه گلبولها

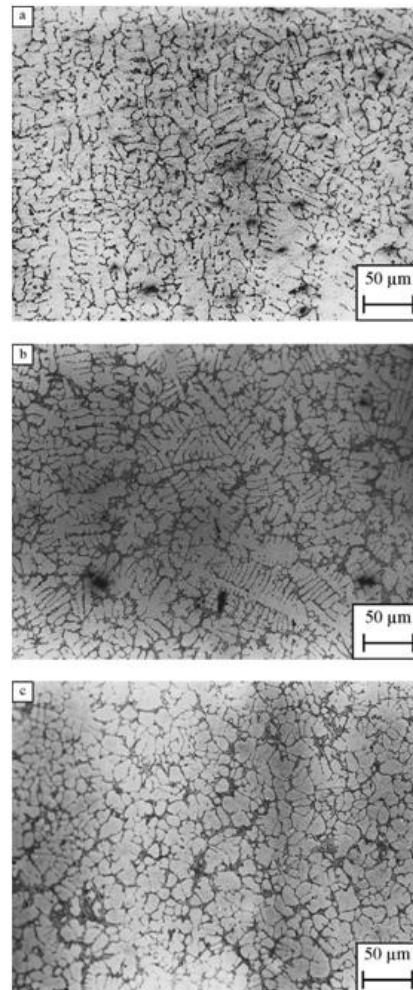


در این حالت به ریز ساختار اولیه وابسته بوده و با اصلاح اندازه دانه می توان به گلبولهای با اندازه کوچکتر در این روش دست یافت (شکل 4-4) [10 و 1].

شکل 4-2 ریز ساختار آلیاژ Al-5.2 Si ناشی از همزدن مکانیکی با سرعت 210S^{-1} در مدت زمانهای الف (1، ب (5، پ (10، ت (20، د (30 و ج (45 دقیقه [10]



شکل 4-4) اثر اصلاح اندازه دانه بر روی اندازه گلبولها در حالت نیمه جامد آلیاژ Al-5.2Si در حالت نیمه جامد تولید شده به روش همزدن مکانیکی در دمای 615C و سرعت $210S^{-1}$



شکل 3-4) ریز ساختار آلیاژ Al-5.2 Si ناشی از همزدن مکانیکی در مدت زمان 20 دقیقه و سرعت برش الف)، $210 s^{-1}$ ، ب) $320 s^{-1}$ ، پ) $535 s^{-1}$ ، [10]

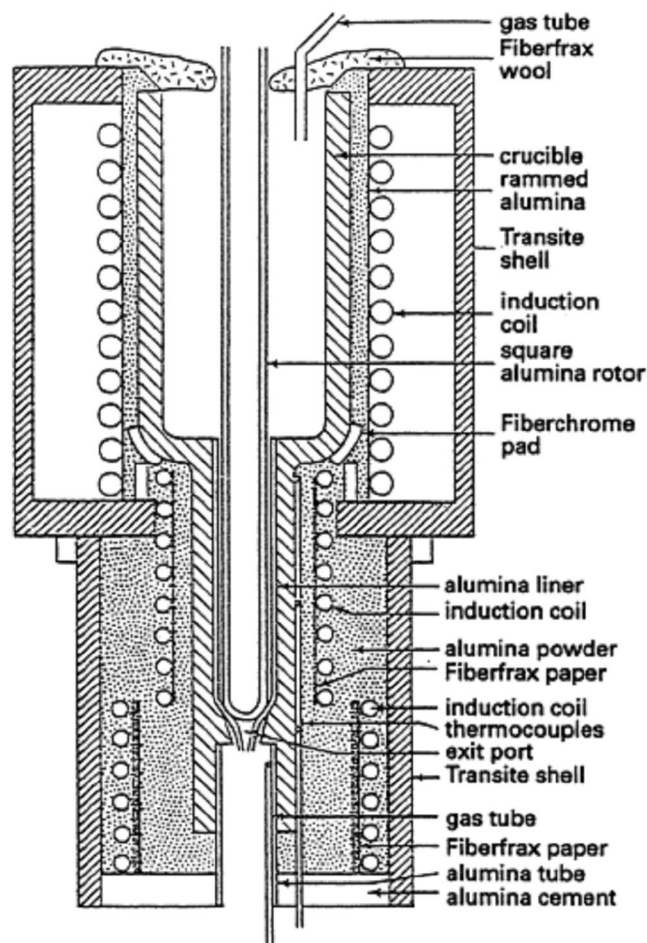
روش همزدن مکانیکی با تکنیک مذکور بنا به مشکلات ناشی از اکسیداسیون و واکنشهای شیمیایی مذاب با پره های گردان و زمان طولانی فرآیند به عنوان یک روش اولیه و تکباری مطرح است که امروزه در صنایع کمتر به منزله فرآیند اصلی تولید ساختار غیردندریتی استفاده میشود. این روش به منظور افزایش بازده کاری، طی ابداعاتی منجر به



ایجاد یک روش مداوم تولید ساختار غیردندریتی با استفاده از همزدن مکانیکی شده است [1].

روش ریخته گری مداوم توام با همزدن مکانیکی که در شکل 5 نشان داده شده است، عبارت است از فرآیندی که در آن مذاب با فوق ذوب بالا از یک ظرف نگهدارنده به سمت یک سیلندر عمودی ریخته میشود، این سیلندر حاوی یک سری میله گردان مجراهای خنک کننده میباشد. تاثیر همزمان این دو بخش سیستم باعث دوغاب غیردندریتی میشود. این دوغاب در ادامه این فرآند از قسمت تحتانی سیستم خارج شده و بصورت محصولات تمام شده (رئوکست شده) و یا شمشهای مصرفی تیکسوفرمینگ مورد بهره وری قرار میگیرد [1].

سرعت بالای کار، قیمت تمام شده پایینتر، اتوماسیون و سهولت فرآیند مهمترین مزایای روش مداوم همزدن مکانیکی هستند. ولیکن این روش دارای مشکلات مهم متالورژیکی است، چراکه ساختار حاصله آن دارای روزتهای خشن بوده و ضمناً غیر یکنواخت است علاوه بر این امر مشکلات ناشی از اکسیداسیون و واکنش با ادوات همزدن نیز مطرح است [1].



شکل 4-5) تصویر شماتیک ماشین رئوکستر دما بالا [1]

2-4- همزدن با استفاده از روشهای مغناطیسی¹ MHD

روش همزدن مغناطیسی توسط آلوماکس² به منظور غلبه بر مشکلات ناشی از حضور همزن مکانیکی در دוגاب ابداع شد؛ این روش امروزه به عنوان پرکاربردترین و سودمندترین روش مصرفی در فرآیندهای نیمه جامد مطرح است. اساس کار این روش به مانند چرخش

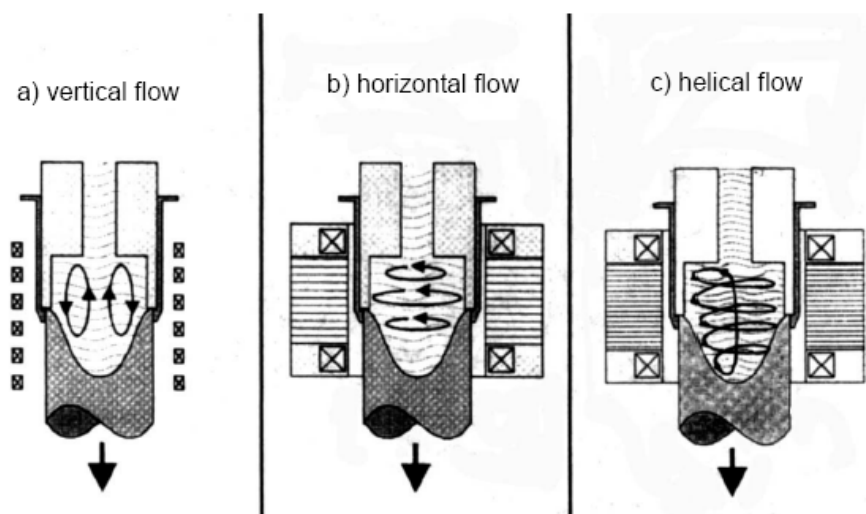
¹- Magnetohydrodynamic stirring

²-Alumax



مذاب در کوره های القایی میباشد. در این روش، برش موضعی بوسیله میدانهای دورانی الکترومغناطیسی در درون یک قالب ریخته گری پیوسته ایجاد شده و بیلت با ساختار غیردندریتی به صورت پیوسته تولید می شود. همزدن در درون حمام مذابی که قبلا فیلتر و گاززدائی شده انجام شده و از ورود آخال به درون مذاب جلوگیری می شود. در حال حاضر از روش MHD به مقدار وسیعی جهت تولید ماده خام فرآیندهای تیکسوفرمینگ استفاده می شود [1 و 12].

همزدن الکترومغناطیسی به سه روش امکان پذیر است که عبارتند از جریان عمودی، افقی و مارپیچی، که روش آخر ترکیبی از دو روش اول و دوم است (شکل 4-6) [1].



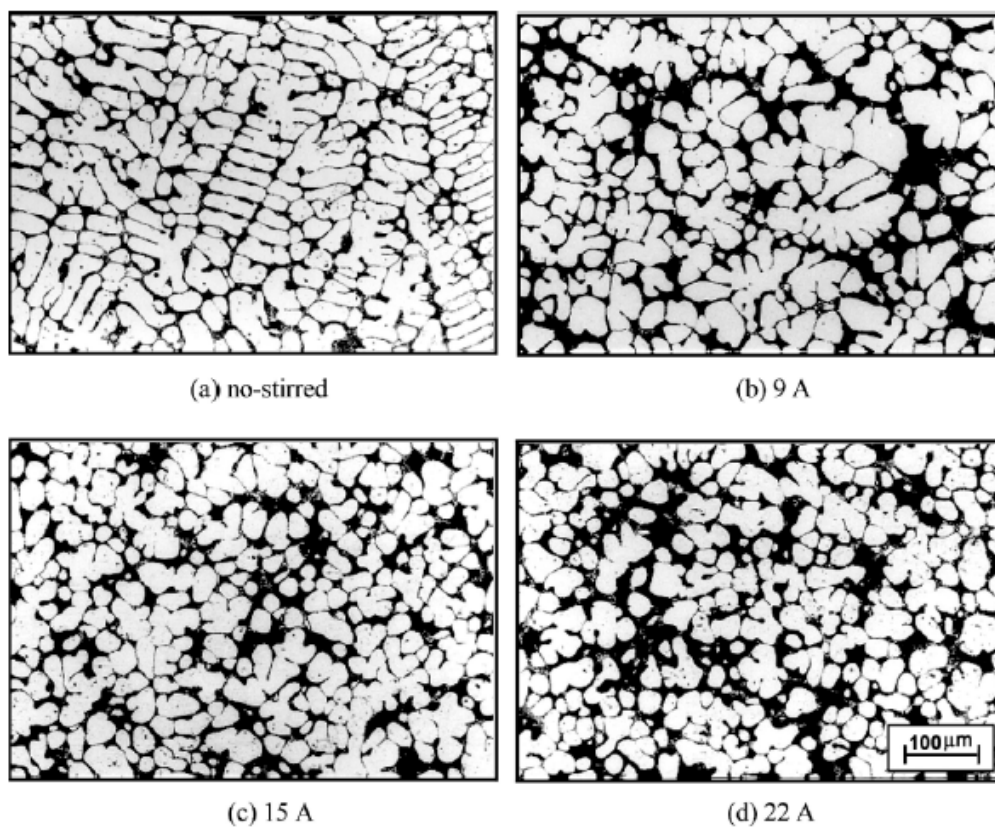
شکل 4-6) جریانهای مختلف ایجاد شده در همزدن مذاب به روش الکترومغناطیسی، الف) جریان عمودی، ب) جریان افقی، ج) جریان مارپیچی [2]

در روش جریان افقی، حرکت ذرات در یک صفحه شبه همدما¹ انجام شده که احتمالاً مکانیزم غالب جهت کروی شدن است. در جریان عمودی، دندریتهای قرار گرفته در نزدیکی

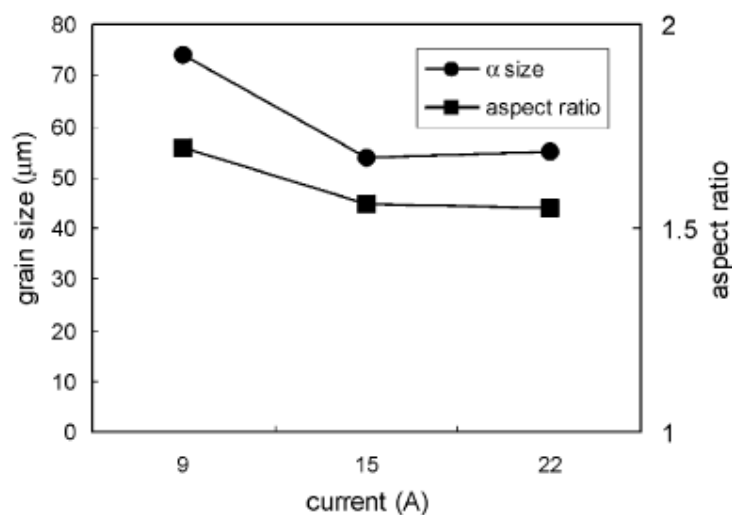
¹-quasi isothermal plane



لبه انجماد به مناطق گرم تر محفظه همزن منتقل شده و به صورت جزئی ذوب می شوند. در نتیجه فرایند حرارتی در این حالت جهت کروی کردن غالبتر از مکانیزم برشی است [1]. از جمله پارامترهای مهم در این فرآیند مقدار جریان الکتریسته عبوری از کویلها می باشد که می توانند بر اندازه گلبولها موثر باشند [11]. در شکل های 4-7 و 4-8 اثر جریان عبوری از کویلها بر روی اندازه گلبولها در آلیاژ A356 نشان داده شده است. دیده می شود با افزایش جریان اندازه گلبولها کاهش می یابد.



شکل 4-7) اثر میزان جریان الکتریسته بر ریز ساختار در حالت نیمه جامد [12]



شکل 4-8) تاثیر میزان جریان بر اندازه و نسبت ابعادی گلوله‌های در حالت نیمه جامد [12]

3-4- روش SIMA¹

فرآیند SIMA به عنوان یک روش مناسب جهت جایگزین شدن فرآیندهای همزدن در حالت مذاب می‌باشد. این روش اولین بار توسط یونگ² توسعه داده شد [1].

در روش SIMA بر خلاف اغلب روشهای نیمه جامد که بر کنترل ریزساختار حین انجماد ماده (شکستن دندریتها و جلوگیری از تشکیل ساختار دندریتی) استوارند، با اعمال کار مکانیکی و ذخیره کرنش در ماده، نیروی محرکه لازم جهت تبلور مجدد دانه های جدید هم محور فراهم شده و در اثر گرمایش ماده و ورود به منطقه نیمه جامد، ذوب در مرزهای پر انرژی ساختار در حال تبلور مجدد، آغاز شده و بدین ترتیب ساختار نیمه جامد کروی جوانه زده میشود [9].

¹- Strain induced melt activation

²-Young



مراحل انجام این فرآیند عبارتند از [1]:

1- تغییر فرم پلاستیک جهت ایجاد تنش پلاستیک در قطعه

2- گرم کردن نمونه تغییر فرم یافته تا محدوده دمای نیمه جامد جهت تولید

ساختار گلبولی

3- شکل دهی در حالت نیمه جامد

فرآیند تغییر فرم پلاستیک در اغلب مواد، بصورت سرد انجام میشود. بدین منظور نیز، تا به حال روشهای مختلف شکل دهی مکانیکی (مثل فشار یک جهته، نورد، پرس، اکستروژن و...) مورد استفاده قرار گرفته اند. یکی از متدهایی که اخیراً جهت اعمال کرنش ابداع شده، روش $ECAP^1$ یا پرس زاویه ای با مقطع یکسان میباشد. $ECAP$ یکی از روشهای اعمال تغییر شکل پلاستیک شدید میباشد. مکانیزیم کاری آن بدین ترتیب است که ماده فلزی از بین دو کانال متقاطع با سطح مقطع یکسان تحت تنش بسیار زیاد (مثلاً برای نمونه ای مطابق شکل 9 با قطر 30 میلیمتر و طول 70 میلیمتر، بار حدوداً 70 تنی اعمال شده است) عبور داده میشود. این فرآیند ضمن عدم تغییر سطح مقطع نمونه، کرنش زیادی بر آن وارد میسازد (شکل 4-9) [7].

$ECAP$ در مقایسه با سایر روشهای اعمال کرنش در $SIMA$ ، دارای مزایای بسیاری

است، اهم آنها عبارتند از [7 و 9]:

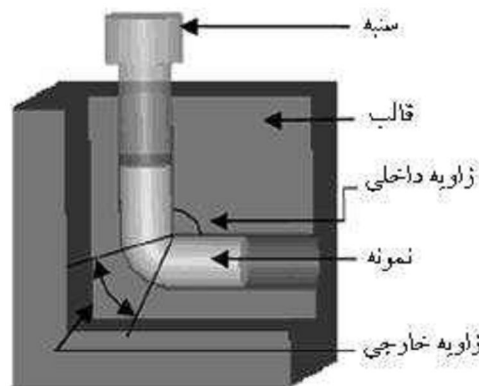
- ثابت ماندن سطح مقطع شمش اولیه پس از اعمال کرنش: که امکان تکرار

فرآیند را برای پایههای بعدی ممکن میسازد.

¹ - Equal Channel Angular Pressing



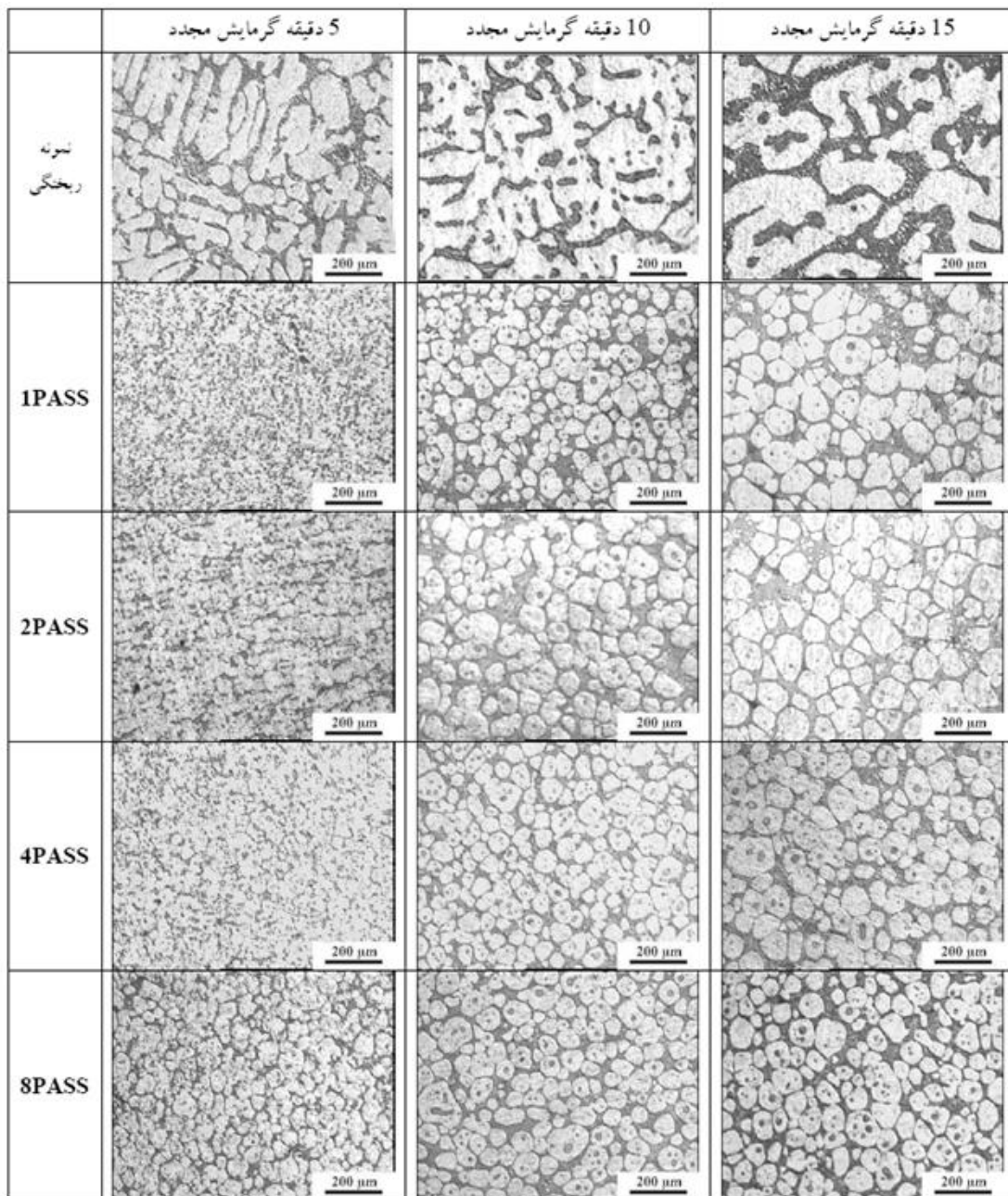
- اعمال کرنش بالا تنها در یک پاس کاری بدون اینکه شکست یا پارگی دیده شود: طبق گزارشهای Sang-Yong گفته شده است که در روشهای معمولی تغییر شکل، بیش از 70 درصد کارسرد منجر به ایجاد ترک در آلیاژ میشود، این در حالی است که در روش ECAP در هر پاس کاری حدودا 100 درصد کرنش ایجاد میگردد و در موارد تا 4 پاس کاری، در اکثر مواد، هیچ ترکی گزارش نشده است.
 - همگنی تغییر شکل و در نتیجه همگنی کرنش: در نتیجه این امر همگنی ساختار نیمه جامد در اثر یکنواختی مناطق آغاز جوانه زنی مشاهده شده است.
 - سادگی فرآیند و قابلیت انجام فرآیند بر روی نمونه ها با ابعاد مختلف .
- در نتیجه موارد فوق مکانیزم ECAP یک روش مناسب جهت تولید دوغاب نیمه جامد با ذرات جامدی که دارای ساختار یکنواخت و ریز کروی هستند، میباشد.



شکل 4-9) شماتیک قالب ECAP [7].



از عوامل مهم و تاثیر گذار در روش SIMA، مقدار کارسرد اولیه و نیز زمان نگهداری آلیاژ در منطقه دوفازی میباشد. بطوریکه با افزایش میزان کارسرد، ذرات جامد ریزتر و کروی تر میشوند (شکل 4-10). تاثیر زمان نگهداری نیز به مانند روشهای همزدن مکانیکی است.



شکل 4-10) ریزساختار نمونه هایی از آلیاژ A356 که تحت فرآیند نیمه جامد SIMA قرار گرفته اند - روش تغییر شکل با استفاده از: ECAP، دما، نگهداری، د، منطقه نیمه جامد 585 د، حه سانتیگراد نهاده است [7].



روش SIMA برای تولید ساختارهای نیمه جامد در آلیاژهای مختلف مانند آلیاژهای منیزیم و آلومینیوم استفاده شده است. البته یکی از معایب روش SIMA هزینه بالاتر این روش در مقایسه با روش MHD است. بطوریکه دارای هزینه ای در حدود 3 تا 5 برابر MHD میباشد [2]. ولی تکنولوژی مورد نیاز برای این فرایند در دسترس و ارزان بوده و ضمناً قطعات حاصل از آن دارای ساختار کرویتتری از قطعات تولیدی روش MHD هستند [2 و 4].

4-4- روش سطح شیبدار خنک کننده¹

این روش یکی از جدیدترین تکنیکهای تولید قطعات از طریق فرآیند نیمه جامد بوده و به منظور تولید شمشهای تیکسوفرم شده کاربرد دارد [8]. در این روش مذابی با دمای فوق ذوب جزیی تهیه شده و سپس این مذاب از طریق یک سطح شیبدار خنک کننده به سمت قالب روانه میشود؛ در اثر این امر، جوانه های جامدی تشکیل شده و این جوانه ها بنا به برش ناشی از حرکت بر روی سطح شیبدار، شکسته شده و به حالت غیر دندریتی در می آیند [2]. نهایتاً مذاب در انتهای سطح شیبدار تبدیل به دوغاب نیمه جامد با ذرات جامد کروی شده، وارد قالب میشود و سریعاً منجمد میشود [8].

زاویه سطح خنک کننده، طول تماس، دمای بارریزی و جنس قالب از عوامل مهم در روش سطح شیبدار هستند [8].

¹ - Cooling Slope Method



با تغییر زاویه دو پارامتر اصلی تغییر می کند:

1- میزان تنش برشی و تلاطم ایجاد شده در مخلوط نیمه جامد که هر چه زاویه بیشتر باشد

میزان تنش برشی اعمال بیشتر بوده و برای ایجاد ساختار کروی مفید تر می باشد .

2- مدت زمان اعمال تنش برشی که ، هر چه زاویه کمتر باشد زمان سیلان مذاب نیمه جامد

روی سطح بیشتر بوده بنابراین احتمال حصول ساختاری با درصد کرویت بالاتر و توزیع

یکنواخت، بیشتر است.

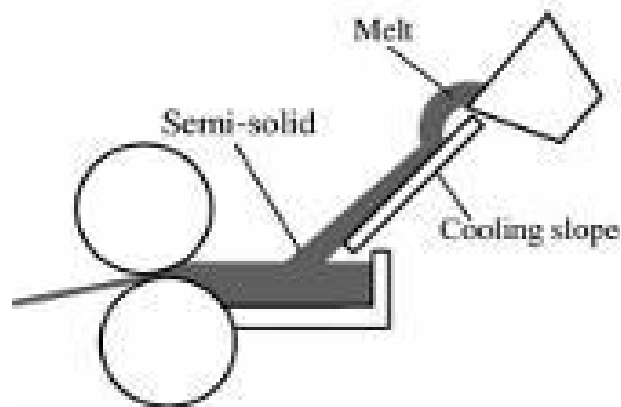
طول سطح شیبدار نیز بر مدت زمان اعمال تنش تاثیر گذار است . در نتیجه برای

تعیین شرایط بهینه سطح شیبدار از نظر میزان و مدت زمان اعمال تنش برشی ، باید تاثیر

متقابل زاویه و طول سطح شیبدار در نظر گرفته شود [10].

دمای بارریزی نیز دارای یک حد بهینه است که با توجه به طول سطح شیبدار و

نیز قدرت خنک کنندگی سطح تغییر میکند [8].



شکل 4-11) تصویر شماتیک روش سطح شیبدار خنک کننده [8].



4-5- روش اسپری کردن¹

اسپری کردن یکی از گرانترین تکنیکهای مصرفی در فرآیند نیمه جامد است، ولیکن دارای این قابلیت مهم است که برخی آلیاژهای خاص (مثل آلیاژهای سیلومین با بیش از 20 درصد سیلیسیم) فقط به این روش قابل تولید هستند [4].

روش اسپری کردن نیز به مانند تکنیک SIMA یکی از روشهای غیر تلاطمی است که جهت تولید ماده با ساختار غیر دندریتی استفاده میشود. در این فرآیند آلیاژ مذاب از طریق یک نازل باریک به سمت جریانی پرفشار از گازهای بی اثر (آرگون یا نیتروژن) هدایت میشود تا مذاب در اثر تماس با جریان گاز به سمت قالبی اتمیزه شود. پس از این مرحله، ذرات مذاب یا تبدیل به قطرات بسیار ریز (میکرومتری) شده و در مسیر حرکت کاملاً منجمد شده اند و یا قطرات بزرگی را تشکیل داده و کاملاً مذاب باقی مانده اند و یا اینکه دارای سایز متوسطی بوده و بصورت نیمه جامد درآمدند. کلیه این قطرات در ادامه به هم متصل شده و تشکیل یک ماده واحد را داده و سپس منجمد میشوند. ساختار حاصله از این فرآیند، حاوی دانه های بسیار ریز و هم محوری میباشد [1].

4-6- ریخته گری با دمای فوق ذوب پایین

این روش که تحقیق بر روی آن اخیراً توسعه یافته است، عبارت است از فرآیندی دو مرحله ای که در قدم اول آن مذابی با درجه حرارت نزدیک دمای لیکویدوس به درون قالبی

¹-Spray Casting



با قابلیت هدایت حرارتی بالا ریخته میشود، در اثر این امر آلیاژ دارای ساختاری تقریباً هم محور میشود. این آلیاژ سپس تا منطقه دمایی نیمه جامد حرارت داده شده و نهایتاً تحت فرآیند تیکسوفرمینگ قرار میگیرد. همچنین طی ابداعات جدیدی این روش تحت فرآیند رئوکست نیز مورد بهره‌وری قرار گرفته است. بدین منظور آلیاژ با فوق ذوب بسیار کم به قالب اکستروژن ریخته شده و طی اعمال تنش برشی، سرد شده و به قالب اکستروژن می‌گردد [2 و 1].

در اثر استفاده از فرآیند ریخته‌گری با دمای فوق ذوب پایین، ساختار آلیاژ دارای دانه‌های ریز و کروی با یکنواختی بالای ساختاری و شیمیایی میشود. سادگی و ارزانی فرآیند از دیگر مزایای این روش هستند. درحالی‌که مشکلاتی چون سختی کنترل‌های دمایی و ساختاری بر سر راه این روش وجود دارد [1].

4-7- استفاده از امواج اولترا سونیک

کاربرد لرزش از طریق امواج فراصوتی با انرژی بالا در یک مذاب در حال انجماد به اواسط دهه 70 باز می‌گردد. در سال‌های اخیر رویکرد دوباره‌ای به این روش به عنوان راهی برای تولید مواد اولیه شده است. تجربیات به خوبی نشان داده‌اند که اعمال امواج فراصوتی بر مذاب در حال سرد شدن درست از قبل از دمای حد مایع میتواند به طور مؤثر ساختار ریز غیر دندریتی تولید کند که برای مراحل بعدی مناسب است [1].



اعمال امواج فراصوتی به مذب، منجر به دو پدیده فیزیکی حباب سازی و تولید جریان صوتی میشود. فرآیند حباب سازی شامل مراحل تشکیل، رشد، نوسان و اضمحلال حبابهای ریز در داخل مذب میباشد. این حبابهای ناپایدار ممکن است دارای چگالی بالایی شده و در اثر نوساناتشان، سبب پیدایش امواج هیدرولیکی و به تبع آن منابع مصنوعی جوانه شوند. همچنین اشاعه امواج شدید اولتراسونیک میتواند باعث تولید جریانات پایدار صوتی در داخل مذب شده و این امر ایجاد اختلاط شدید و هموژن سازی مذب را سبب میگردد[1].

در نتیجه پدیده حباب سازی، شکستن دندریتها و در اثر تولید جریان صوتی، پخش دندریتهای شکسته شده حاصل میشود. اگر این پدیده ها در حین انجماد انجام پذیرند، آلیاژ دارای ویژگیهای ریزدانگی، افزایش یکنواختی ساختار و کاهش جدایش خواهد شد[1].

8-4- ریزدانه کردن شیمیایی

این فرآیند مانند سایر روشهای جوانه زنی ریخته گری است، بطوریکه ماده جوانه زای پیشگرم شده به مذب فلزی افزوده شده و عمل جوانه زایی هتروژن صورت میگیرد. در اثر این فرآیند ساختاری ریز و هم محور تولید میشود. و سپس آلیاژ حاوی چنین ساختاری به عنوان ماده مصرفی تیکسوفرمینگ استفاده میشود[1].

ریزدانه کردن شیمیایی اغلب به عنوان یک فرآیند تکمیلی به همراه سایر روشهای تولید ساختار کروی در روشهای نیمه جامد مصرف میشود. عدم کاربرد این روش برای



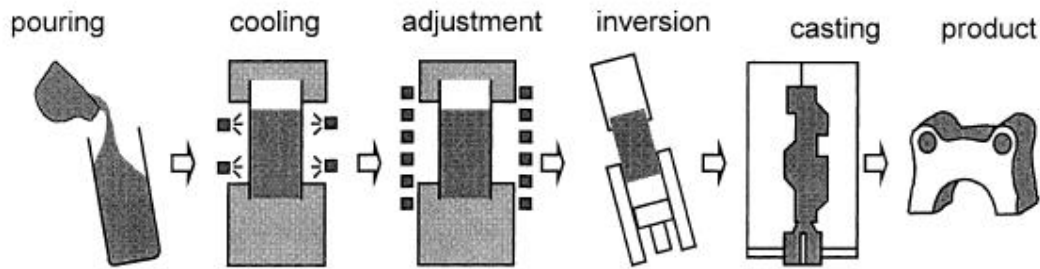
تمامی آلیاژها و نیز امکان بقای جوانه زها بصورت ترکیبات بین فلزی مضر در ساختار نهایی آلیاژ از مهمترین عیوب روش مذکور هستند [1].

9-4- NRC¹ یا رئوکست جدید

روش جدید رئوکست معروف به NRC به وسیله شرکت ژاپنی صنایع UBE اختراع شد. با استفاده از این روش میتوان مستقیماً از مذاب به ساختار نیمه جامد دست یافت. ریز ساختار ریختگی، ریز و عاری از عیوب و همگن است که این، خواص مکانیکی خصوصاً مقاومت در برابر بارهای دوره ای را اصلاح می کند. در این روش مذاب با دمای فوق ذوب جزیی، در یک ظرف بوته مانند فولادی - که بر روی یک چرخ دوار مستقر است - ریخته شده و با استفاده از سرد کننده کنترل شده ای تا دمای نیمه جامد سرد شده و در این دما نگهداری میشود تا ساختار گلبولی لازم برای شکل دهی نیمه جامد تشکیل شود. به این وسیله اسکلت پایداری از فاز جامد بعد از تنها چند دقیقه بعد از پر شدن بوته تشکیل می شود. سپس برای همگن شدن دمایی، لقمه ی استوانه ای شبه جامد - قبل از آنکه به محفظه افقی ماشین تزریق منتقل شود - به وسیله ی روش القایی حرارت دیده؛ و نهایتاً تزریق انجام شده و لقمه شکل و ابعاد نهایی خود را پیدا می کند [1 و 3].

آلیاژهای ریختگی و نوردی آلومینیم و منیزیم از جمله موادی هستند که تا به حال با استفاده از روش NRC تولید شده اند. روشی که دارای مزایای پایین بودن هزینه و نیز قابلیت استفاده برای گستره وسیعی آلیاژها میباشد [1].

¹-New RheoCasting



شکل 4-12) تصویر شماتیک فرآیند SCR [1].

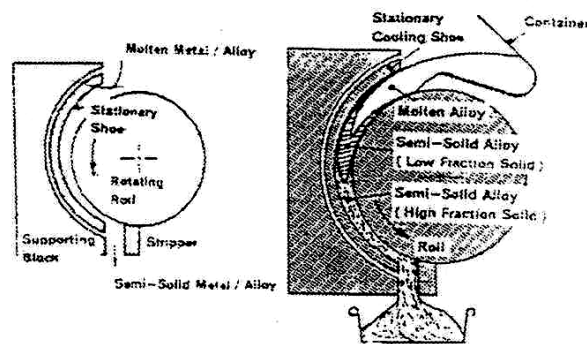
4-10- روش غلتک سرد کننده برشی¹ یا SCR

در روشهای متداول همزدن بخصوص روشی که Fleming بیان کرد، ایجاد ساختار یکنواخت و همچنین همزدن بعد از اینکه درصد جامد بیشتر از 40% می شود ، بسیار مشکل و در بعضی موارد غیر ممکن است و در ضمن بعضی از این روشها مخلوط نیمه جامد ایجاد شده از نازل یا خروجی محفظه بخوبی خارج نمی شود . شکل 4-13 روش SCR را نشان می دهد . دستگاه SCR شامل یک غلتک و یک کفشک است که کار خنک کردن و اعمال تنش برشی را به عهده دارند. این دستگاه طوری تنظیم می شود که فاصله ی معینی بین غلتک و کفشک ایجاد شود و در هنگام لزوم این غلتک و کفشک خنک یا گرم می شود . ذوب که تا دمای مورد نظر گرم شده است در این فضا ریخته شده و توسط نیرویی که غلتک در حال چرخش به مذاب اعمال می کند از فضای بین آن عبور می کند و در عین حال نیروی برشی به آن وارد می شود. در حین سرد شدن انجماد صورت می گیرد و دندریتها در روی سطوح غلتک و کفشک شروع و تشکیل می کنند و توسط نیروی برشی

¹ Shearing – cooling roll



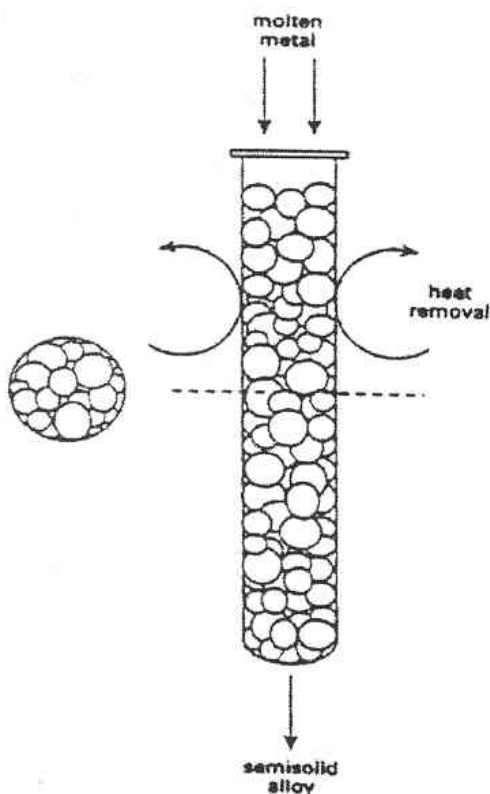
اعمالی به ذرات کوچکتر تبدیل شده و داخل مذاب قرار می گیرند و لذا تبدیل به مذاب نیمه جامد شده و در نهایت این مخلوط نیمه جامد از دستگاه مذکور به بیرون اکستروود می شود [14].



شکل 4-13) روش غلتک سردکننده جهت تولید مخلوط نیمه جامد [14].

4-11- روش گلوله های نسوز

در این روش همانطور که در شکل 14-14 بصورت شماتیک نشان داده شده است مذاب با اعمال فشار و یا نیروی وزن از میان گلوله هایی مقاوم در برابر تنش و حرارت با اندازه های متفاوت عبور داده می شود . در اثر انتقال حرارت از دیواره محفظه و گلوله ها تشکیل می شود ولی در اثر جریان مذاب این دندریتها شکسته شده و محصول نهایی مخلوط نیمه جامد خواهد بود . البته باید توجه داشت که فضای بین گلوله ها باید قابل مقایسه با اندازه دندریتها حاصل از انجماد باشد . از مزایای این روش ، جلوگیری از اثرات مضر همزن و ایجاد و ورود اکسید به مذاب می باشد . البته می توان از فیلتر های ریخته گری نیز به جای گلوله های نسوز استفاده کرد که البته احتمال بسته شدن راه عبور مذاب در این حالت بیشتر است [14].



شکل 14-14) روش گلوله های نسوز جهت تولید مخلوط نیمه جامد [14].

5- چگونگی تبدیل مورفولوژی درندریتی به گلوبولار

در رابطه با علت تبدیل مورفولوژی ذرات جامد موجود در دوغاب نیمه جامد، از نوع دندریتی به هم محور، تئوریهای مختلفی ارائه شده است. این نظریه ها گرچه در مواردی با هم اختلاف دارند، ولیکن تمامی آنها بر این باورند که هم زدن مذاب باعث تبدیل مورفولوژی دندریتی به کروی و یا روزتی میشود. معتبرترین این تئوریا در ادامه گفته میشود.



5-1- نظریه خرد شدن بازوهای دندریتی:

این نظریه به وسیله ووگل¹ ارایه شده است. برطبق آن در اثر نیروی برشی ناشی از همزدن مذاب، بازوهای دندریتی بطور پلاستیک خم میشوند. این پدیده باعث ایجاد یک سری عدم تطابقهای بزرگی در داخل بازوهای دندریتی میشود که در اثر آن نابجاییهای هندسی ظاهر میشوند. در دمای بالا و از طریق تبلور مجدد، نابجایی مذکور آرایش مرزهای با زاویه باز به خود میگیرند (مرزهای با انرژی بالا). هر مرز دانه ای با انرژی بیش از دو برابر انرژی فصل مشترک جامد-مایع به وسیله مذاب خیس شده و جدایش بازوهای دندریتی اتفاق می افتد. این فرآیند در شکل 15 بطور شماتیک نشان داده شده است [1].

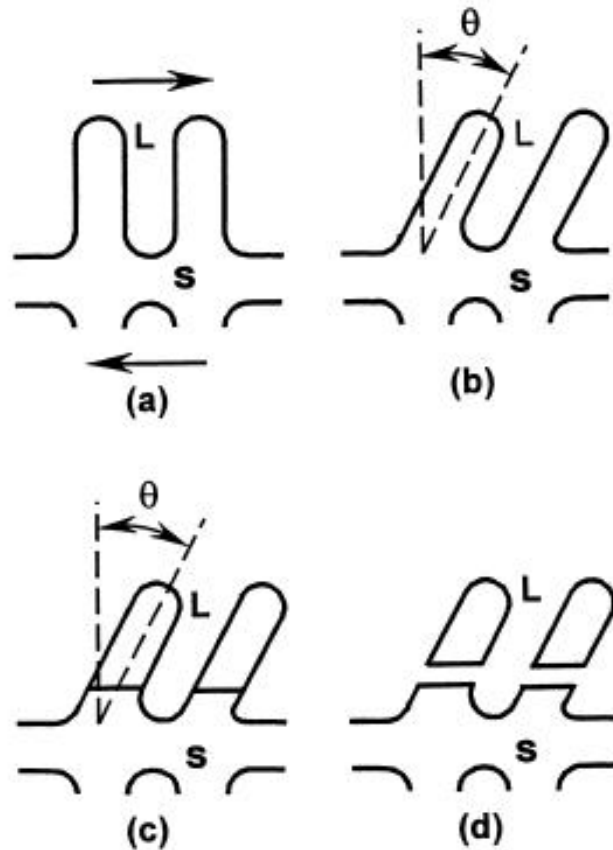
این نظریه دارای ایراداتی است که بعدها آن را به چالش کشاند. از جمله اینکه آیا مقدار برش اعمالی به مذاب جهت ایجاد چنین گشتاوری کافی است و نیز اینکه ممکن است مرزهای با زاویه کم که در تصویر دوبعدی دیده میشوند، ممکن است بخشی از یک دندیت یا رزت سه بعدی باشند [1].

5-2- ذوب ریشه بازوهای دندریتی

با توجه به نظریه فلمینگر² در اثر حبس شدن مذاب در فاصله بازوهای دندریتی، غلظت موضعی این قسمت از مذاب افزایش یافته و ایجاد شیب غلظتی در نواحی بین دندریتی میکند که در نهایت باعث حل شدن ریشه بازوها شده و جدایش آنها صورت میگیرد. وجود عیوب ناشی از اعمال کارسرد این پدیده را تشدید می کند [1 و 15].

¹-Vogel

²-Flemings



شکل 5-1- شماتیک مکانیزم پیشنهادی ووگل در جدا شدن بازوهای دندریتی [1].

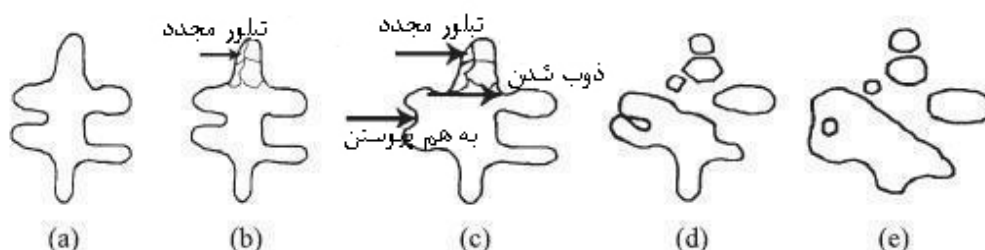
5-3- مکانیزم رشد کنترل شده

طبق این نظریه در سیلانهای کم، نیروی برشی توانایی جدا کردن بازوهای دندریتی را ندارد ولی بطور حتم میتواند ضخامت لایه نفوذی اطراف ذرات یا بازوهای در حال رشد را کنترل کند. به این صورت با کنترل یکنواخت این لایه، امکان رشد بصورت رزتی فراهم میشود [15].



5-4- مکانیزم به هم پیوستن¹:

اگر فضای بین دو بازوی دندريت کم باشد، دو بازو به هم می‌رسند و به یک ریز ساختار درشت با مقداری مایع محبوس در داخل آن در هنگام حرارت دهی تبدیل می‌شود. با گذشت زمان در اثر حرارت ریزساختار به صورت کروی در می‌آید [16]. در شکل 19- این سه مکانیزم به وضوح دیده می‌شود.



شکل 5-2 (a) بعد از تغییر فرم پلاستیک، ساختار دندریتی شکسته شده حاصل می‌شود (b) تبلور مجدد در هنگام گذر از دمای تبلور مجدد شروع می‌شود (c) متعاقباً فرایندهای ذوب شدن و پیوستن به همدیگر و نفوذ مایع در مرزخانه‌های تبلور مجدد یافته شروع می‌گردد (d, e) با ادامه حرارت دهی، اجزاء ذوب شده و تبلور مجدد یافته از دندريت اولیه جدا می‌گردد و بقیه دندريت های ترکیب شده با مایع محصور در داخل آن‌ها به حالت کروی تر تبدیل می‌شود [16].

6- مواد مصرفی در فرآیند نیمه جامد

از جمله شرایط لازم و اساسی آلیاژها جهت استفاده در فرایند ریخته گری نیمه جامد می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [2]:

- مواد باید به اندازه کافی دامنه انجماد داشته و استحاله از سالیدوس تا لیکوئیدوس بصورت پیوسته باشد.

¹ - Coalescence mechanism



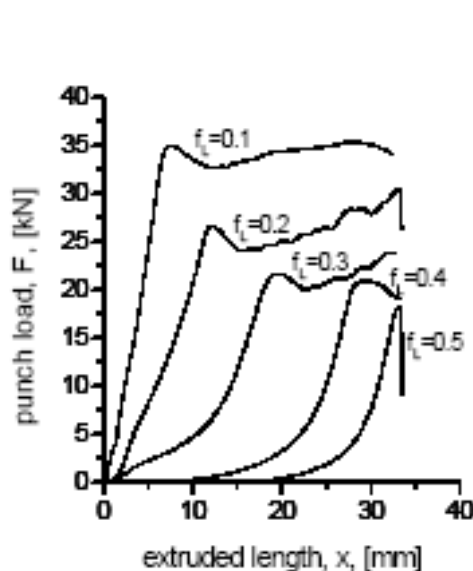
- مواد بایستی دارای قابلیت تشکیل گلبولهای غیردندریتی جامد باشند.

در آلیاژهای حاوی دو پارامتر فوق، ویسکوزیته بشدت هنگام اعمال تنش برشی در

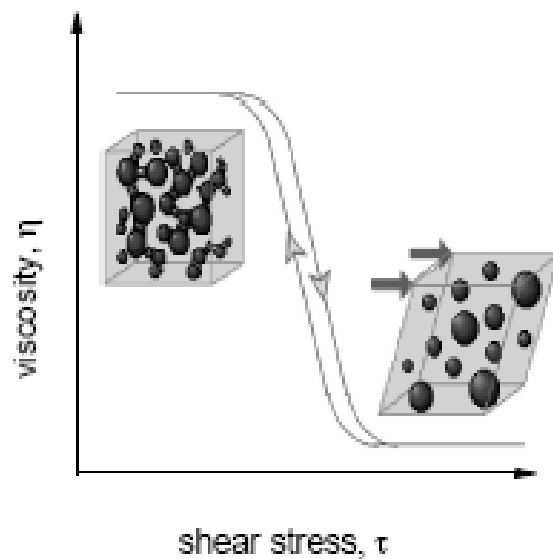
حالت نیمه جامد کاهش می یابد (شکل 6-1)

نکته مهم دیگر در رابطه با ماده مصرفی جهت فرآیند شکل دهی نیمه جامد، مقدار

کسر حجمی جامد میباشد. افزایش این پارامتر باعث افزایش تنش برشی لازم جهت شکل دهی میشود (شکل 6-2).



شکل 6-2) رفتار تیکسوتروپی آلیاژ 70/30 آلومینیوم در هنگام برش [2]



شکل 6-1) شکل شماتیک شکسته شدن ساختار اسکلتی در ساختار نیمه جامد هنگام اعمال تنش برشی [2].

7- مزایا و معایب

بدلیل پر شدن آرام محفظه قالب و دمای پایین در فرایند نیمه جامد، مزایای زیادی برای

قطعات تولید شده به روش نیمه جامد در مقایسه با فرایندهای شکل دهی معمولی به

صورت بالفعل و بالقوه قابل تصور است (جدول 7-1):



جدول 7-1) مشخصه های بالفعل و بالقوه فرایند ریخته گری نیمه جامد [2]

مشخصه	مزایای بالقوه یا بالفعل
محتوای گرمایی کمتر نسبت به فلز مذاب	سایش کمتر قالب شکل دهی مواد فعال شکل دهی آلیاژهای پایه آهن شکل دهی مواد با نقطه ذوب بالا
حضور فاز جامد در هنگام پرشدن قالب	حفرات انقباضی کمتر نیاز به تغذیه کمتر جدایش کمتر ساختار با دانه های کوچکتر
ویسکوزیته بالاتر از فلزات مذاب و قابل کنترل	گازهای گیرافتاده کمتر اکسیدهای کمتر شکل دهی با سرعت بالاتر کیفیت سطحی بالاتر اتوماسیون فرایندهای جدید
تنش سیلان کمتر از فلزات جامد	شکل دهی اجزای پیچیده شکل دهی با سرعت بالاتر قیمت پایین تر شکل دهی با سرعت بالا اجزا بصورت پیوسته (به عنوان مثال اکستروژن)
قابلیت وارد نمودن مواد جدید	تولید کامپوزیتهای
توانایی جدا نمودن مذاب و جامد	خالص سازی (Purification)



8- مراجع:

- [1]. Z. Fan, 'Semisolid Metal Processing', International Materials Reviews, 47, 2, 2002, 1-37.
- [2]-E. Orgis, 2002, Development of Al-Si-Mg Alloys for Semi-Solid Processing and Silicon Spheroidization Treatment (SST) for Al-Si Cast Alloys" Ph. D. Thesis
- [3]. M.C. Flemings, 'Behavior of Metal Alloys in The Semisolid State', Metallurgical Transactions, A 22, 1991, 957-981.
- [4]- H.V. Atkinson, Modelling the semisolid processing of metallic alloys, Progress in Materials Science 50 (2005) 341-412
- [5]. Rheo-processing of an Alloy Specifically Designed for Semi-Solid Metal Processing Based on The Al-Mg-Si System, Materials Science and Engineering A476 (2008) 341-349
- [5]-J. Campbell, Castings 2nd edition, Elsevier Science Ltd. 2003.
- [6]-G.J. Davies, Solidification & Casting

[7]- مرضیه مرادی، بشیر حیدریان، صالح آشوری، محمود نیلی احمدآبادی - بررسی ریزساختار نیمه جامد آلیاژ AL-A356 ایجاد شده به روش SIMA-اولین همایش مشترک انجمن مهندسیین متالورژی ایران و انجمن علمی ریخته گران ایران-1387

[8]- مرتضی مرادیان، غلامحسین اکبری - بررسی تاثیر پارامترهای ریخته گری بر ریزساختار شمش AL-A356 تولید شده در حالت نیمه جامد با استفاده از سطح شیبدار - دومین همایش مشترک انجمن مهندسیین متالورژی ایران و انجمن علمی ریخته گران ایران-1388



[9]- میثم رنجبر، محمود نیلی احمدآبادی، مجتبی اسمعیل زاده، مرضیه مرادی- اصلاح ریزساختار نیمه جامد آلیاژ 7075 به روش SIMA-دومین همایش مشترک انجمن مهندسين متالورژی ایران و انجمن علمی ریخته گران ایران-1388

[10]-K. Sukumaran, B.C. Pai, M. Chakraborty, The effect of isothermal mechanical stirring on an Al-Si alloy in the semisolid condition", Materials Science and Engineering A369 (2004) 275-283

[11] C.G. Kang, J.W. Bae, B.M. Kim, The grain size control of A356 aluminum alloy by horizontal electromagnetic stirring for rheology forging", Journal of Materials Processing Technology 187-188 (2007) 344-348

[12] B. I. Jung, C. H. Jung, T. K. Hun, Electromagnetic stirring and Sr modification in A356 alloy, journal of materials processing 11 (2001) 69-73

[13]-م. قلم باز، بررسی اثر سطح شیبدار روی سیلسیم اولیه و یوتکتیک در آلیاژ آلومینیوم 390 ، ششمین همایش علمی - دانشجویی مهندسين مواد و متالورژی ، دانشگاه علم و صنعت ایران، ص. 221 - 230.

[15]-سید محمد باقر خواجه باشی، فرشاد اخلاقی، محمود نیلی- بررسی تاثیر پارامترهای تولید بر ریزساختار آلیاژ Al356 ریخته گری شده در حالت نیمه جامد -نیمه مایع -نشریه ریخته گری- صفحه 44- شماره 80 - بهار 84

[16] -J.G.Wang, P.Lu, H.Y.Wang, Q.C.Jiang, "Effect of predeformation on the semisolid microstructure of Mg-9Al-0.6Zn alloy", Jiang, Materials Letters, Vol 58, pp 3852, (2004).