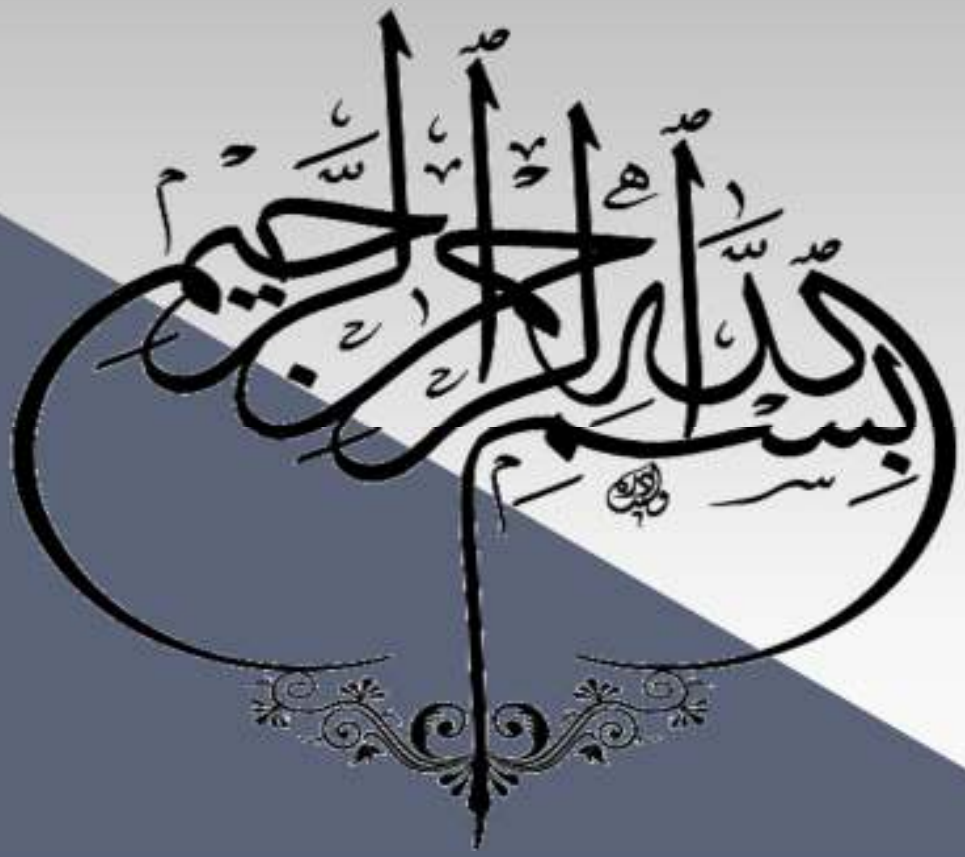
سازمان جهاددانشگاهی تهران

شرحی کوتاه بر طرح فناورانه
" تکمیل دانش فنی ساخت و تولید کریستالیزاتور صنایع فولاد و ریختگی"

عنوان مدرک:
گزارش فنی کریستالیزاتور

مجری:
حسین شهریاری احمدی
مرکز تحقیقات و فناوری فراوری مواد ویژه فلزی

۱۴۰۱


بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمه

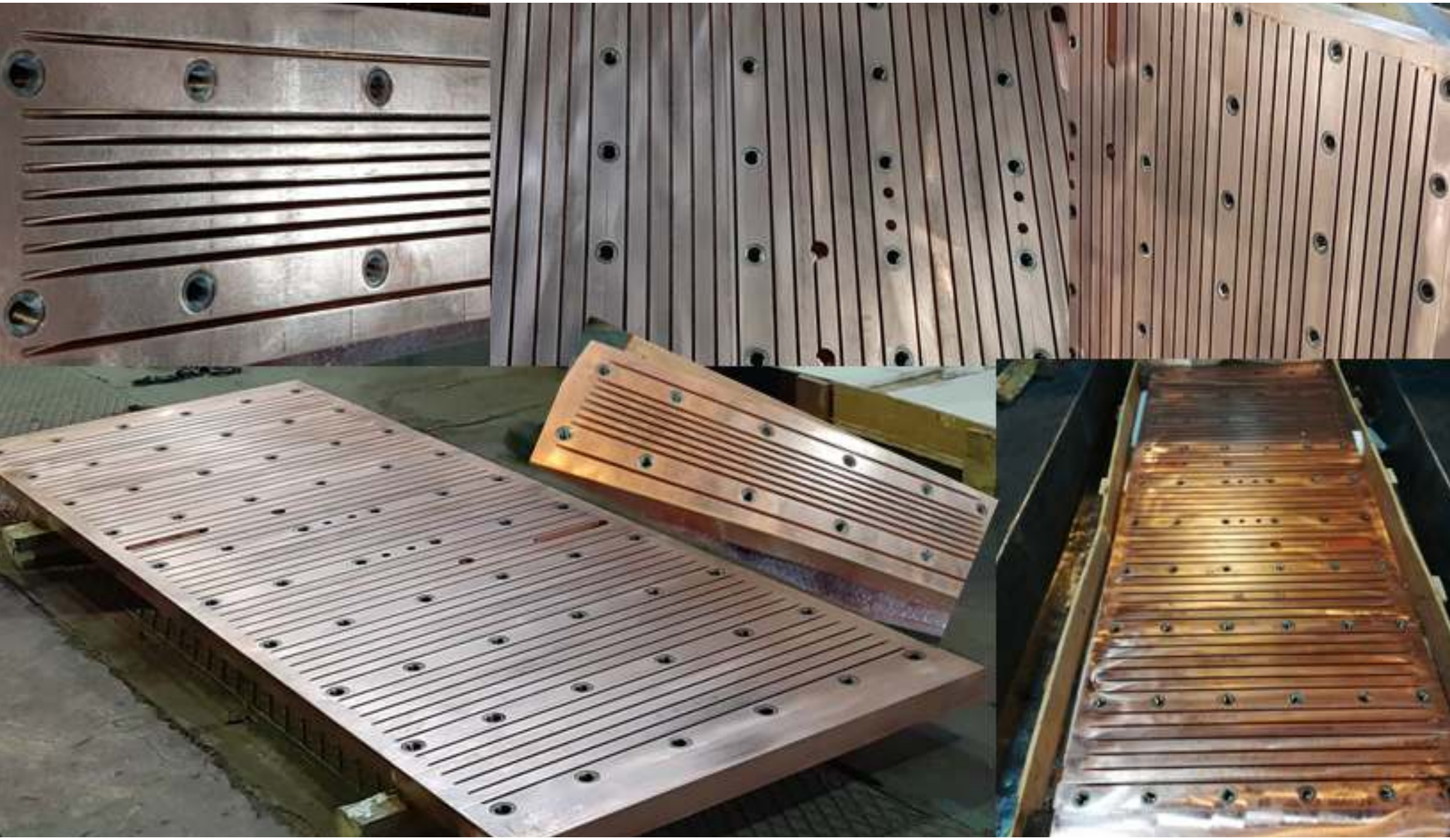
حدود (۹۰-۸۵)٪ از فولاد جهان به روش ریخته‌گری پیوسته تولید می‌گردد. قالب‌های انجماد یا کریستالیزاتورها مهم‌ترین و استراتژیکی‌ترین بخش ریخته‌گری پیوسته است که نقش گلوگاهی در این صنعت را داراست. قالب‌های انجماد قطعاتی از مس آلیاژی است که محفظه انجماد تبدیل مذاب به شمش جامد را تشکیل می‌دهد و بسته‌به‌نوع محصول فولادی، بصورت تیوپی، یکپارچه و یا چهارتکه ساخته می‌شود.

۱- معرفی کریستالیزاتور

کریستالیزاتور بعنوان اولین کاهش دهنده دمای مذاب، اصلی‌ترین قسمت ماشین ریخته‌گری پیوسته فولاد است که در آن انجماد مذاب و شکل‌گیری شمش آغاز می‌شود. مهم‌ترین کار کریستالیزاتور انتقال حرارت بالای فولاد مذاب در حال انجماد و ایجاد مداوم پوسته جامد بیرونی شمش ریخته‌گری است بطوریکه این پوسته در هنگام خروج شمش از کریستالیزاتور دچار پارگی نشود. ارزش قالب جدا از مواد و هزینه‌ی ساخت، بستگی به عمر کاری و کیفیت محصول تولیدی آن دارد که در محاسبه اقتصادی مؤثر است.

عمر کاری قالب، مقدار تناژ تولیدی یا تعداد دفعاتی است که قالب می‌تواند بدون آنکه پایداری ابعادی خود را از دست بدهد در ذوب ریزی مورد استفاده قرار گیرد و محصول تولیدی مطابق با استاندارد تعیین شده باشد.

قالب ساخته شده در مرکز فرآوری جهاد دانشگاهی تهران از نوع قالب صفحه‌ای است که برای ریخته‌گری تختال‌های بزرگ (اسلب) به کار می‌رود. چهار صفحه مسی که دیواره قالب را تشکیل می‌دهند به یک قالب فولادی به نام ژاکت (جعبه آب) پیچ می‌شود. شیارهای خنک کاری در دیواره پشت صفحات قالب مسی و در جعبه آب به وسیله ماشین‌کاری ایجاد می‌شود.



۲- ساخت کریستالیزاتور

جهت تولید قطعات ویژه مسی و به خصوص کریستالیزاتور، فرآیند ویژه‌ای صورت می‌گیرد که فعالیت‌های کلی این فرآیند به شرح زیر می‌باشد:

- ❖ انتخاب مواد اولیه مناسب
- ❖ خرید مواد اولیه
- ❖ عملیات ذوب و ریخته‌گری
- ❖ آماده‌سازی سطوح جهت شکل‌دهی گرم
- ❖ شکل‌دهی گرم
- ❖ آماده‌سازی سطوح جهت شکل‌دهی سرد
- ❖ شکل‌دهی سرد
- ❖ ماشین‌کاری و سایزینگ

هدایت گرمایی

در هنگام انجماد، حرارت مذاب از دیواره قالب به آب خنک‌کننده منتقل می‌شود. لذا جهت بازدهی مطلوب، لازم است که فلز به کار گرفته شده در ساخت قالب، بالاترین هدایت حرارتی را دارا باشد.

خواص مکانیکی

استحکام و مقامت جنس قالب تعیین کننده میزان پایداری و ثبات قالب است. لذا، برای به حداقل رساندن اعوجاج و خوردگی مکانیکی (خراشیدگی) ناشی از حرکت رشته‌ای فولاد و سرباره در قالب، مقاومت مکانیکی و سختی بالا برای فلز قالب اصل کلی و لازم محسوب می‌گردد.

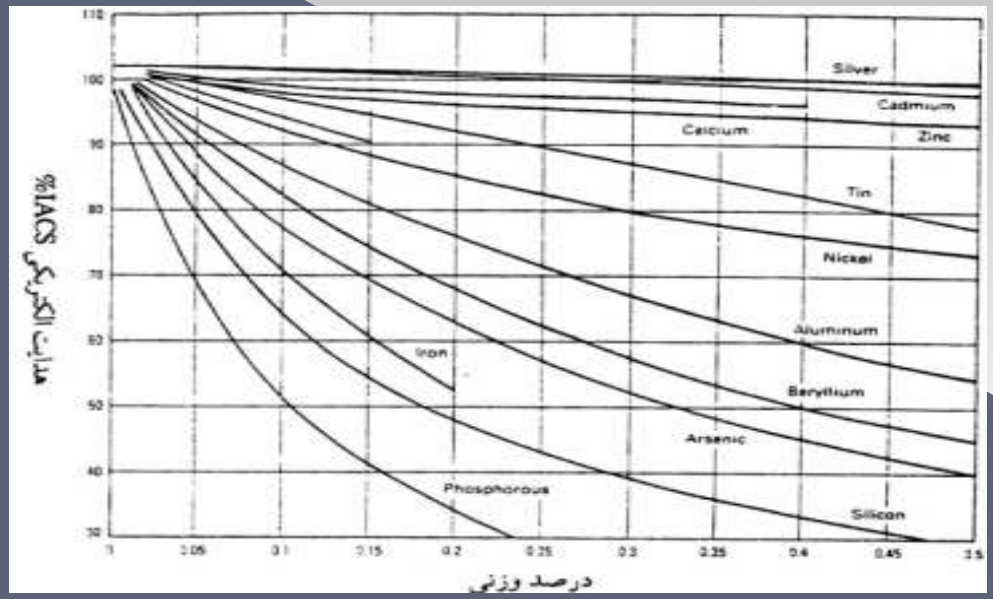
مقاومت در دماهای بالا، دمای تبلور مجدد

به جهت آنکه در دیواره‌های قالب دمای بالایی وجود خواهد داشت، باید جنس قالب در این دما از استحکام و مقاومت لازم برخوردار باشد؛ یعنی آنکه که دمای تبلور مجدد آن به اندازه کافی بالا باشد تا از نرم شدن فلز جلوگیری شود.

اضافه کردن ۰٫۱٪ نقره به مس سبب افزایش دمای تبلور مجدد تا حدود $100^{\circ}C$ می‌شود. لذا، آلیاژ مس- نقره به طور گسترده‌ای برای تولید کریستالیزاتورها به کار گرفته می‌شود.

ذوب و ریخته‌گری

بطور کلی ذوب و ریخته‌گری آلیاژهای مس از جمله آلیاژ مس- نقره، از پیچیدگی خاصی برخوردار است؛ زیـرا از طرفـی در هنگـام ذوب حلالیت و جذب گاز در مس مذاب افزایش می‌یابد و از طـرف دیگـر استفاده از مواد گاز زدا و اکسیژن زدا باید محـدود باشـد تـا مقـدار باقیمانده این مواد در آلیاژ باعث کاهش هدایت حرارتی نگردد. بطور کلی عناصر آلیاژی باعث کـاهش هـدایت الکتریکـی می‌گردنـد. در شکل ۱ نموداری در رابطه با تأثیر برخی از مواد بر هدایت الکتریکـی نشان داده شده است.



شکل ۱- تأثیر ناخالصی‌ها بر روی هدایت الکتریکی

عنصر فسفر یکی از عناصر مهم برای گاز زدایی در مس و آلیاژهای آن است و محدوده مجاز این عنصر در آلیاژ قالب مسی کمتر از PPM ۱۴۰ است. علیرغم اینکه فسفر اثر نامطلوبی بر روی هدایت الکتریکی آلیاژ دارد، وجود آن به میزان کنترل شده موجب می‌شود که نفوذ و جذب اکسیژن به مس مذاب در مرحله ذوب و ریخته‌گری کاهش یابد.

برای انجام عملیات ذوب و ریخته‌گری، ابتدا مس خالص به داخل بوته کوره القایی شارژ می‌شود به منظور جلوگیری از نفوذ گاز از پودر زغال چوب بعنوان پوشش محافظ بر روی سطح مذاب استفاده می‌شود و برای حذف گازهای داخل مذاب از موادی مانند آلیاژ مس- فسفر، بعنوان اکسیژن زدای استفاده می‌گردد. پس از ذوب مواد و رسیدن دمای ذوب به درجه حرارت مناسب، نقره به آن اضافه می‌گردد و سپس مذاب آماده، به پاتیل انتقال داده می‌شود و از پاتیل به داخل قالب فلزی از قبل پیشگرم شده تخلیه می‌گردد.

بسمه تعالی

پژوهشکده توسعه تکنولوژی

آزمایشگاه متالورژی جهاد شریف

گزارش نتایج آزمون

درخواست کننده: جهاد فنی تهران
نشانی : خ کارگر شمالی- بعد از تقاطع جلال آل احمد
نام نمونه: CC02-I-01
شماره شناسایی: ۴۱۰۶۳۱
(بررسی تکمیلی)
تاریخ انجام آزمون: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳ تاریخ صدورگزارش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳
تاریخ درخواست: ۱۴۰۱/۰۶/۰۲

نوع آزمون: کوانتومتری

■ نمونه برداری توسط مشتری انجام شده و نتایج فقط برای نمونه‌های ارسالی معتبر است.

استاندارد مرجع: DIN EN 15079-15
استاندارد کنترل شرایط محیطی : ASTM E 406-81(2012)

آنالیز آلیاژ مس- نقره

نتایج: برحسب درصد وزنی

Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni	Si
- 99.88	0.0055	0.00061	0.00058	0.0253	< 0.00020	0.0672	0.0142	< 0.00040
Mg	Cr	As	Sb	Cd	Bi	Co	Al	S
0.0022	0.0009	0.00024	< 0.00010	0.00062	< 0.00010	< 0.00060	< 0.00070	0.0033
Be	Zr	B	Ti	Ag	---	---	---	---
< 0.00010	< 0.00010	0.00018	< 0.00010	< 0.250	---	---	---	---

تذکر : به دلیل عدم دسترسی به نمونه استاندارد با ترکیب شیمیایی فوق (جهت کنترل کالیبره دستگاه کوانتومتری)، احتمال وجود خطای جزئی در آنالیز قطعه فوق وجود دارد.

آزمایشگاه متالورژی و متالوگرافی
مدیر فنی جهاد شریف
گروه پژوهشی متالورژی

کارشناس آزمون

گواهینامه ISO/IEC 17025
تاییدیه صلاحیت شماره ۱۸۵

تاییدیه شرکت ملی گاز ایران

تاییدیه شرکت سایکو

تاییدیه شرکت MRGT

تاییدیه شرکت مگامونور

تاییدیه سازه گستر سایپا

● تنها اصل گزارش با برچسب هولوگرام مورد تایید است. ● مسئولیت تطابق نام نمونه با قطعه ارسالی بر عهده آزمایشگاه نمی‌باشد. ● نمونه‌های آزمون و باقیمانده آنها حداکثر به مدت یکماه نگهداری خواهند شد.

نشانی: تهران ـ خیابان آزادی ـ خیابان شهید صادقی ـ روبروی درب شمالغربی دانشگاه شریف- مجتمع جهاد دانشگاهی شریف وب سایت: www.jdsharif-met.com ایمیل: material@tdins.org
تلفن مستقیم پذیرش: ۲-۶۷۶۴۱۲۳۱ ـ فاکس: ۶۶۰۷۵۲۰۰- صدای مشتری : ۶۷۶۴۱۲۳۳

شکل‌دهی

فورج یا آهنگری

عملیات فورج یکی از قدیمی‌ترین روش‌های شکل‌دهی است که به صورت گرم و سرد انجام می‌شود. اغلب فورج گرم متداول است. در طول فورج گرم، فلز تحت تغییر شکل پلاستیک در دماهای بالا (بالای دمای تبلور مجدد) به شکل موردنظر، تبدیل می‌شود.

بعد از ریخته‌گری شمش، سطح آن را از ناخالصی و اکسیدهای سطحی تمیز کرده و آن را آماده فورج گرم می‌نماییم.

ابتدا شمش مطابق شکل ۲ جهت عملیات فورج، پیشگرم می‌شود .شمش اولیه، استوانه‌ای شکل است و سپس تحت فورج گرم طبق شکل‌های ۳ و ۴ به شکل مکعب مستطیل در می‌آید. در نهایت محصول نهایی در شکل ۸ نشان داده شده است.

شکل ۲- پیشگرم شمش به قطر۶۵۰ میلیمتر و طول ۱۱۰۰ میلیمتر، آماده برای عملیات فورج گرم

شکل ۳– مراحل اولیه فورج گرم

شکل ۴– ادامه فورج گرم

شکل ۵- ادامه فورج گرم (دور کوبی)

شکل ۶- ادامه فورج گرم

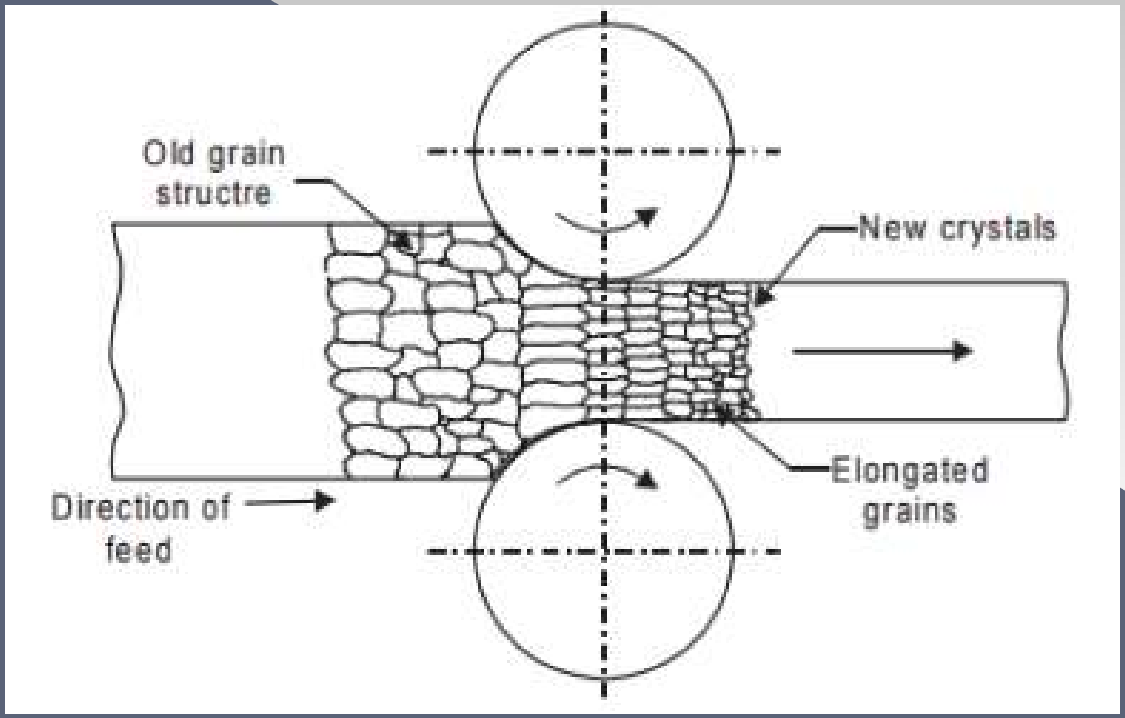
شکل ۷- ادامه فورج گرم

شکل ۸- صفحه مسی به دست آمده بعد از فورج گرم باابعاد: ۱۴۰*۷۲۰ *۳۶۰۰ میلیمتر

نورد گرم

پروسه نورد عبارت است از شکل دادن فلـزات، بـه صورت سرد یا گرم، با عبور شمش از بین دو غلتـک که می‌توانند صـاف یـا کـالیبردار باشـد. غلتک‌هـا سـرعت مسـاوی ولـی در خـلاف جهـت یکـدیگر می‌چرخند. در نورد، فلز توسط نیروهای اصـطکاکی مابین غلتک‌ها بـه داخـل گـپ غلتک‌هـا کشـیده می‌شود و بر اثر نیروهای فشاری اعمال شده توسـط غلتک‌ها تغییر فرم پلاستیک می‌دهد.

مطابق شکل ۹:



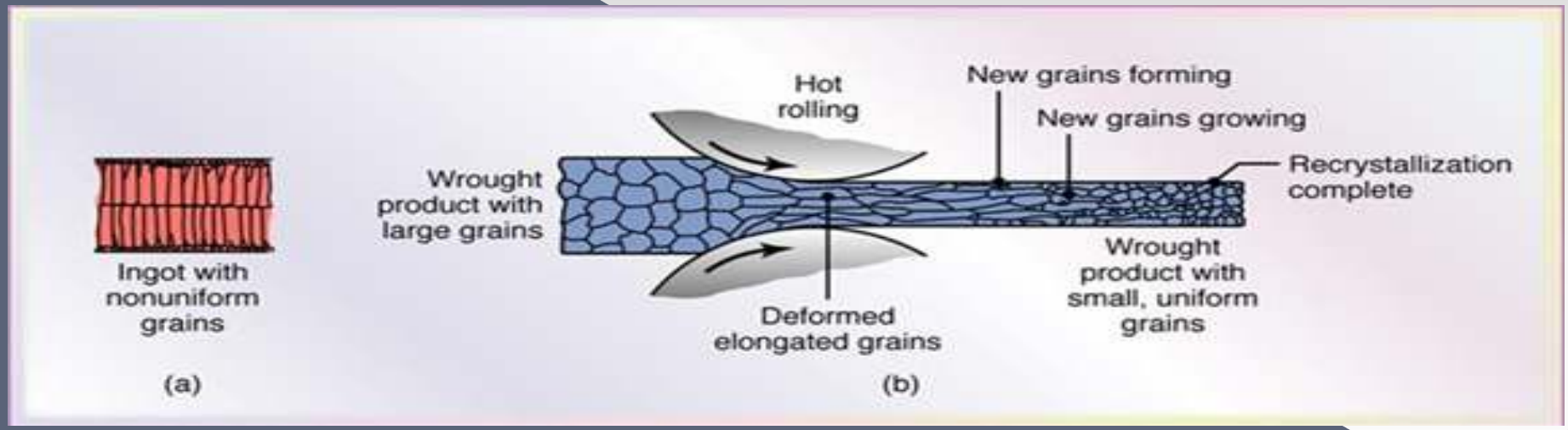
شکل ۹- تغییر فرم پلاستیک

بعد از عملیات فورج گرم بیلت استوانه‌ای تبدیل به اسلبی با طول حدود ۳ متر گردید آنگـاه آن اسـلب جهـت ماشـینکاری،برای بـراده برداری سطحی (رفع ترک‌های ناشی از فورج گرم) و برشکاری به کارگاه ماشینکاری ارسال شد . آنگاه با استفاده از نورد گرم و در درجـه حرارت ۸۵۰ الی ۹۵۰ درجه سانتیگراد، ضخامت این اسلب از ۱۴۰ میلیمتر به ۹۰ میلیمتر کاهش داده شد.

شکل ۱۰- نورد گرم

لازم به ذکر است دمای کاری در نورد گرم بالای دمای تبلور مجدد است و این امر باعث تبلور مجدد شده که خود موجب ریز شدن دانه‌ها و افزایش استحکام در دمای اتاق می‌شود. همچنین به دلیل دمای بالای فرایند، تنش سیلان کاهش یافته و ماده شکل‌پذیری بهتری از خود نشان می‌دهد.

در شکل زیر تبلور مجدد دینامیکی حین نورد گرم مشاهده می‌شود.



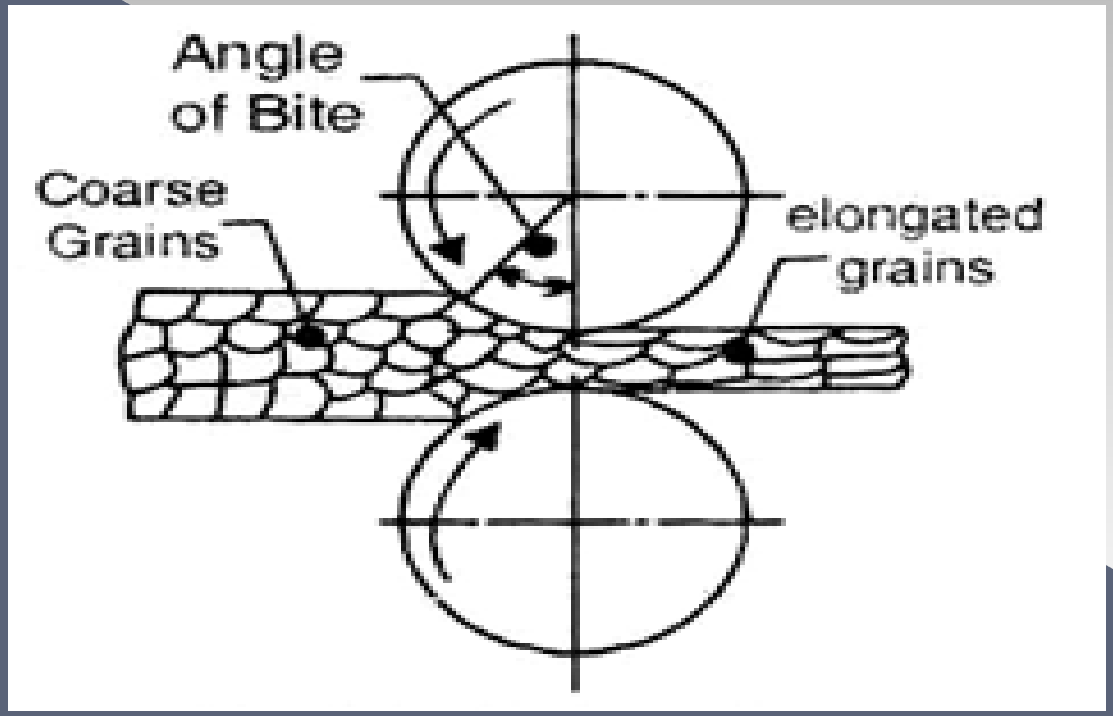
شکل ۱۱- تبلور مجدد دینامیکی و ریز شدن دانه‌ها حین نورد گرم

نورد سرد

در نورد سرد معمولاً از طریق کار مکانیکی، استحکام بخشی به محصول مورد استفاده اعمال میگردد. این پروسه زیر دمای تبلور مجدد انجام می‌شود.

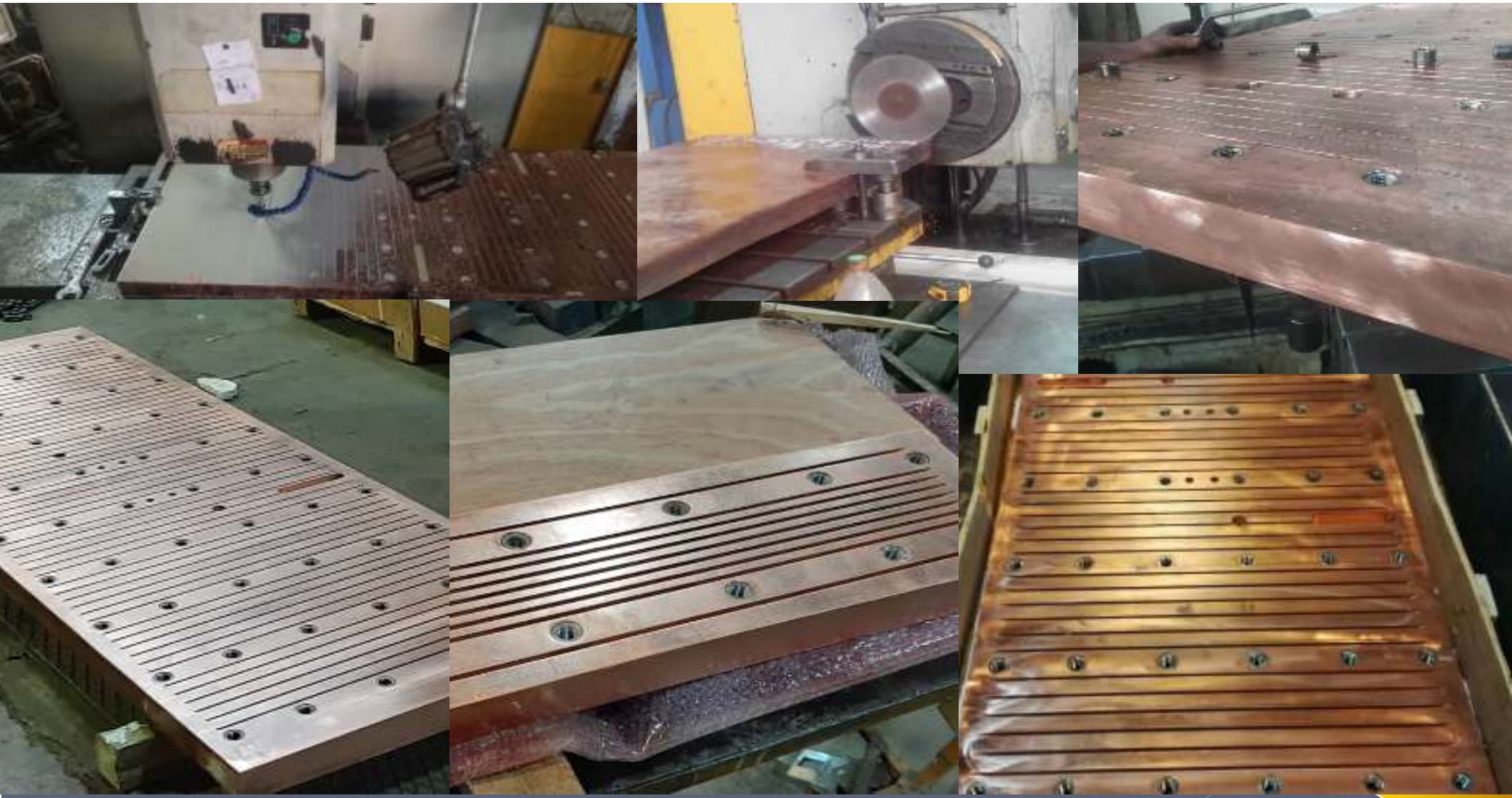
محصول تولیدی دارای سطحی خوب ونیز تلرانس ابعادی بهتری در مقایسه با محصول نورد گرم شده دارد. زیرا در دمای پایین اکسیدی تشکیل نمی‌شود و همچنین انبساط حرارتی کمتری داریم.

همچنین برخلاف نورد گرم، تبلور مجدد در نورد سرد اتفاق نمی‌افتد. فشار مورد نیاز در نورد سرد خیلی بالا است و کاهش اندازه در هر پاس خیلی کم است. مطابق شکل زیر دانه‌ها پس از نورد سرد در راستای تغییر شکل امتداد یافته‌اند.



شکل ۱۲- تغییر شکل دانه‌ها در اثر نورد سرد

نورد سرد برای افزایش خواص مکانیکی اسلب تولیدی در دستور کار است و اندازه نهایی صفحات بزرگ کریستالیزاتور بعد از نورد سرد، برابر با ۶۲ * ۷۱۰ * ۱۹۵۰ میلیمتر می باشد.



شکل ۱۳- صفحات کریستالیزاتور

برای ساخت قالب کریستالیزاتور، دو صفحه بزرگ و دو صفحه کوچک، مورد استفاده قرار می گیرد.

ابعاد نهایی صفحات ماشینکاری شده:

صفحه بزرگ: ۵۵*۷۰۴*۱۸۵۰ میلیمتر.

صفحه کوچک : ۶۵*۷۰۴*۲۱۵ میلیمتر.

بعد از انجام سه مرحله کارعملیاتی، شامل ذوب و ریخته‌گری، شکل‌دهی ، ماشین‌کاری و برای اطمینان از کیفیت قطعات تهیه شده ،آزمایش‌های مختلفی در مراحل فرایند تولیدانجام می‌پذیرد.

نظر به اهمیت تولید ماده ای سالم و عاری از عیوب متالورژیکی، از آزمایش فوسیکو جهت تعیین درصد گازهای موجود در مذاب درهنگام ریخته گری استفاده می‌شود. همچنین تعیین میزان کمی وکیفی عناصر شیمیایی محصول با انجام آزمایش کوانتومتری تعیین می‌گردد. کلیه قطعات پس از آماده‌سازی مورد آزمایش آلتراسونیک با حساسیت بالا قرار می‌گیرند چراکه عیوب ریز داخلی در حین کار عمر قالب را کاهش می‌دهد. همچنین ابعاد صفحه تولیدی با استفاده از ابزارهای دقیق کنترل می‌شود.

به طورکل آزمایش‌های لازم شامل: آنالیز شیمیایی، تعیین هدایت حرارتی، سختی سنجی، متالوگرافی، آزمایش آلتراسونیک، آزمایش کشش، آزمایش ابعادی و صافی سطح می‌باشد.

شرکت فولاد مبارکه اصفهان

(سهامی خاص)

تاریخ ۱۴۰۰/۱/۲۵
شماره ۹۹/۱۰۲/۹۸۰۰۰۰
پیوست دارد

جناب آقای دکتر سید محمد طباطبایی قمی

رییس محترم مرکز تحقیقات و فناوری فرآوری موارد ویژه فلزی جهاد دانشگاهی تهران

با سلام و احترام

پیرو نامه ۱۴۰۰/۳ ف ص آن سازمان و با توجه به ارجاع سه عدد صفحه Narrow Face و یک عدد صفحه Broad Face بومی سازی شده توسط آن سازمان به شرکت فولاد مبارکه و نصب این قطعات در خطوط تولید، عملکرد این صفحات تاکنون در خطوط تولید مناسب ارزیابی می شود. لازم به ذکر می باشد که صفحه Broad Face ارجاعی تاکنون در حدود ۲۰ هزارتن تختال تولید کرده و با توجه به بررسی انجام شده، علی رغم تولید ۲۰ هزارتن تختال، تخریب و سایش خاصی روی صفحه مشاهده نشد که نشان از کیفیت مطلوب ساخت این صفحه دارد. لذا با توجه به شرایط مطلوب آن، قالب بدون دمونتاژ و ماشین کاری مجددا آماده سازی و در اولین فرصت برای مرتبه دوم بر روی ماشین ریخته گری نصب خواهد شد.

لازم به ذکر می باشد که متوسط میزان تولید تختال جهت صفحات Broad Face خارجی تا انجام تراش اولیه، در حدود ۶۵ هزار تن می باشد.

۱۴۰۰/۱/۲۵

مهدی شهیدی

رییس واحد بومی سازی عوارد، قطعات و تجهیزات

اخذ تأییدیه از شرکت فولاد مبارکه اصفهان