تدوین دانش فنی تولید فولادهای زنگ نزن گرید LVM۳۱۶ و فولادهای ضد زنگ بسیار نازک Ultrathin sheet

(گزارش مقطع اول)

گروه پژوهشی مواد نوین

سازمان جهاددانشگاهی استان خراسان رضوی

بهار ۱۴۰۱

بسم الله الرحمن الرحيم

شناسنامه گزارش

عنوان گزارش: گزارش مقطع دوم

شمارهٔ ویرایش: اول

عنوان فارسی طرح پژوهشی: تدوین دانش فنی تولید فولادهای زنگ نزن گرید LVM۳۱۶ و فولادهای ضد زنگ بسیار نازک Ultrathin sheet

عنوان انگلیسی طرح: Development of technical knowledge for the production of 316LVM stainless steels and Ultrathin sheet stainless steels

تالیف کننده‌ها: احمد مولودی-حسین نوروزی-اکرم صالحی-فائزه برزگر

ویرایش علمی: اکرم صالحی- احمد مولودی-مسعود گلستانی پور

ویرایش ادبی: حسین امینی مشهدی-حسین نوروزی

سطح دسترسی به سند: محرمانه (بدون موافقت کتبی، نسخه‌برداری یا تکثیر ممنوع است)

نام مسئول یا همکار	محل استخدام	تخصص	عناوین فعالیت‌ها
احمد مولودی	جهاددانشگاهی مشهد	مواد پیشرفته	همکاری در جمع آوری و تدوین گزارش مقطع اول، همکاری در طراحی آزمون‌ها، در خرید مواد اولیه و تجهیزات
اکرم صالحی	جهاددانشگاهی مشهد	مواد پیشرفته	همکاری در جمع آوری و تدوین گزارش مقطع اول، همکاری در طراحی آزمون‌ها، در خرید مواد اولیه و تجهیزات
مسعود گلستانی پور	جهاددانشگاهی مشهد	مواد پیشرفته	همکاری در طراحی آزمون‌ها و مشاور طرح
فائزه برزگر	جهاددانشگاهی مشهد	خوردگی	همکاری در جمع آوری و تدوین گزارش مقطع اول، همکاری در طراحی آزمون‌ها
حسین امینی مشهدی	جهاددانشگاهی مشهد	نانومواد	همکاری در طراحی آزمون‌ها و مشاور طرح
حسین نوروزی	جهاددانشگاهی مشهد	خوردگی	همکاری در طراحی آزمون‌ها

سازمان مجری: سازمان جهاددانشگاهی استان خراسان رضوی

گروه مجری: گروه پژوهشی مواد نوین

نشانی: مشهد، پردیس دانشگاه، گروه پژوهشی مواد جهاددانشگاهی مشهد

تلفن محل کار تالیف‌کننده اصلی: ۰۵۱-۳۱۹۹۷۴۷۱

نشانی پست الکترونیک تالیف‌کننده اصلی: ahmad_moloodi@yahoo.com

این سند به همه همکارانی که برای انجام کارهای پژوهشی در کشور بی‌دریغ کوشش می‌نمایند، تقدیم می‌شود.

چکیده

فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶LVM یکی از مواد زیستی پرمصرف برای وسایل تثبیت خارجی یا داخلی است زیرا ترکیب خوبی از خواص مکانیکی، زیست سازگاری و مقرون به صرفه بودن را دارد. علاوه بر این، امکان خم شدن و شکل دادن به ایمپلنت، آن را به یک کلاس مطلوب از مواد ایمپلنتی برای ایجاد بیشترین تناسب مورد نیاز در اتاق عمل تبدیل می‌کند. در این گزارش ابتدا معرفی این فولاد و همچنین خواص و نحوه ارزیابی آن آورده شده است. سپس نقشه راه برای رسیدن به دانش فنی تولید تولید این فولاد ترسیم شده است. در ادامه به مواد و روش کار و اقداماتی مانند تهیه قراضه خام، تهیه اسناد مربوط به مشخصات فولادهای مشابه خارجی و ... که تا کنون انجام شده است، اشاره گردیده است.

[1] Low Vacuum Melting

فهرست

۱- فصل اول: مقدمه ۷

۱- ۱- مقدمه ۸

۲- فصل دوم: مروری بر منابع ۱۰

۲- ۱- فولادهای زنگ نزن ۱۱

۲- ۲- فولادهای زنگ نزن آستنیتی ۱۲

۲- ۳- فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶LVM ۱۴

۲- ۴- تأثیر عناصری آلیاژی ۱۵

۲- ۵- ریزساختار فولادهای آستنیتی ۱۶

۲- ۶- فرایند انجماد فولادهای زنگ نزن آستنیتی ۱۹

۲- ۶- ۱- انواع مکانیزم های انجماد ۱۹

۲- ۷- خواص مکانیکی فولادهای آستنیتی ۲۱

۲- ۸- روش‌های استحکامدهی فولادها ۲۲

۲- ۹- تغییر شکل سرد و آنیل فولاد زنگ نزن آستنیتی ۲۴

۲- ۱۰- استانداردهای کاربردی در راستای تولید فولاد ۳۱۶LVM ۲۴

-1 -10 -2 بررسی استاندارد F138 ..... ۲۵

۳- منابع و مراجع ۳۷

۱- فصل اول: مقدمه

۱- ۱- مقدمه

در حالت کلی زیست ماده به کار رفته در محیط بدن بایستی از زیست سازگاری مطلوبی به خصوص در زمان های طولانی برخوردار باشد. زیست مواد بکار رفته در بدن در معرض محیط خورنده یعنی مایعات بدن حاوی یون های کلر، آمینواسیدها و پروتئین های مختلف قرار دارند. زیست سازگاری مواد کاشتنی در بدن بسته به مقاومت آنها در برابر واکنش‌های بیولوژیکی مضر مانند خورده شدن کاشتنی فلزی در محیط پلاسمای خون ارزیابی می شود.

در ساخت کاشتنی های ارتوپدی، فلزات نقش انکار نشدنی دارند. در این میان فولادهای زنگ نزن بدلیل تاریخچه مصرف طولانی و در نتیجه رفتار شناخته شده و همچنین هزینه کمتر در مقایسه با دیگر بیومواد فلزی و در عین حال زیست سازگاری مناسب در کاربردهای کوتاه مدت، موقعیت خود را در بین بیومواد فلزی تثبیت کرده است. اولین مواد فلزی که به طور موثر در زمینه پزشکی مورد استفاده قرار گرفته است، فولاد زنگ نزن است. فولاد زنگ نزن یک نام مرسوم برای برخی از فولادهای مقاوم به خوردگی است.

فولادهای زنگ نزن آستنیتی به دلیل مقاومت به خوردگی خوب و انعطاف پذیری مناسب از جمله مواد مهندسی می باشند که کاربرد پزشکی بالایی دارند اما خواص مکانیکی پایین، استفاده آنها را در صنعت محدود ساخته است. از جمله خصوصیات این گروه از فولادهای زنگ نزن، تبدیل فاز آستنیت به مارتنزیت در حین عملیات تغییر شکل در زیر دمای M_d (دمای استحاله مارتنزیتی در تغییر شکل پلاستیکی سرد) می باشد. به عبارت دیگر فاز آستنیت یک فاز نیمه پایدار می باشد که در اثر این تبدیل می توان استحکام مکانیکی را تا ۲GPa نیز افزایش داد، ضمن اینکه انعطاف پذیری قابل قبولی نیز از خود نشان می دهد. نکته مهم این است که با تشکیل فاز مارتنزیت در ساختار، خواص خوردگی فولاد کاهش خواهد یافت. بنابر این افزایش استحکام این فولادها از طریق حضور فاز مارتنزیت چندان مناسب نمی باشد.

فولادهای زنگ نزن آستنیتی ، یا آلیاژهای فلزی به خصوص نوع ۳۱۶LVM با دارا بودن خواص مکانیکی مناسب، به عنوان ماده زیستی کاربردهای متعددی در مواد کاشتنی و ارتوپدی در بدن پیدا کـرده اسـت. فولادهای زنگ نزن آستنیتی در کاشتنی های مورد استفاده در بدن همچون جایگزین بافت های سـخت مانند مفاصل مصنوعی، ترمیم شکستگی های استخوان، وسایل تثبیت ستون فقرات و ... کاربرد پیدا کرده است.

۲- فصل دوم: مروری بر منابع

۲- ۱- فولادهای زنگ نزن

فولادهای زنگ نزن آلیاژهای پایه آهن می باشند که دارای حداقل ۱۰/۵٪ کرم می باشند. مقاومت به خوردگی مناسب این فولادها به دلیل تشکیل لایه اکسید کرم بر روی سطح آنها است و شامل گروههای مختلفی با خواص گوناگون می باشند که انواع آنها در زیر آمده است:

- **فولادهای زنگ نزن فریتی:** فولادهای زنگ نزن فریتی ساختاری مشابه آهن خالص در دمای محیط داشته و انعطاف پذیری و خواص خوردگی متوسطی دارند و در صنایع خودروسازی مورد استفاده قرار می گیرند.
- **فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی:** فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی دارای کربن نسبتا بالا، استحکام و سختی بالا همراه با خواص خوردگی متوسط می باشند و در وسایل جراحی و تیغه چاقو بکار می روند.
- **فولادهای زنگ نزن آستنیتی:** فولادهای زنگ نزن آستنیتی دارای خواص خوردگی و چقرمگی بسیار بالایی می باشند و پر کاربردترین دسته از فولادهای زنگ نزن را تشکیل می دهند و در صنایع شیمیایی، پزشکی و خودروسازی بکار می روند.
- **فولادهای زنگ نزن دو فازی (آستنیت + فریت)**: فولادهای زنگ نزن دو فازی خواص بینابین گروه فریتی و آستنیتی داشته و دارای استحکام بالایی می باشند و بیشتر در صنایع پتروشیمی مصرف می شوند.
- **فولادهای زنگ نزن رسوب سختی**: فولادهای زنگ نزن رسوب سختی دارای استحکام بالا همراه با خواص خوردگی متوسطی می باشند و بر اساس ساختارشان به سه دسته آستنیتی، نیمه آستنیتی و مارتنزیتی تقسیم می شوند. این دسته از فولادها به دلیل استحکام بالای آنها در صنایع هوا فضا و پیشرفته مورد استفاده قرار می گیرند [۱].

۲- ۲- فولادهای زنگ نزن آستنیتی

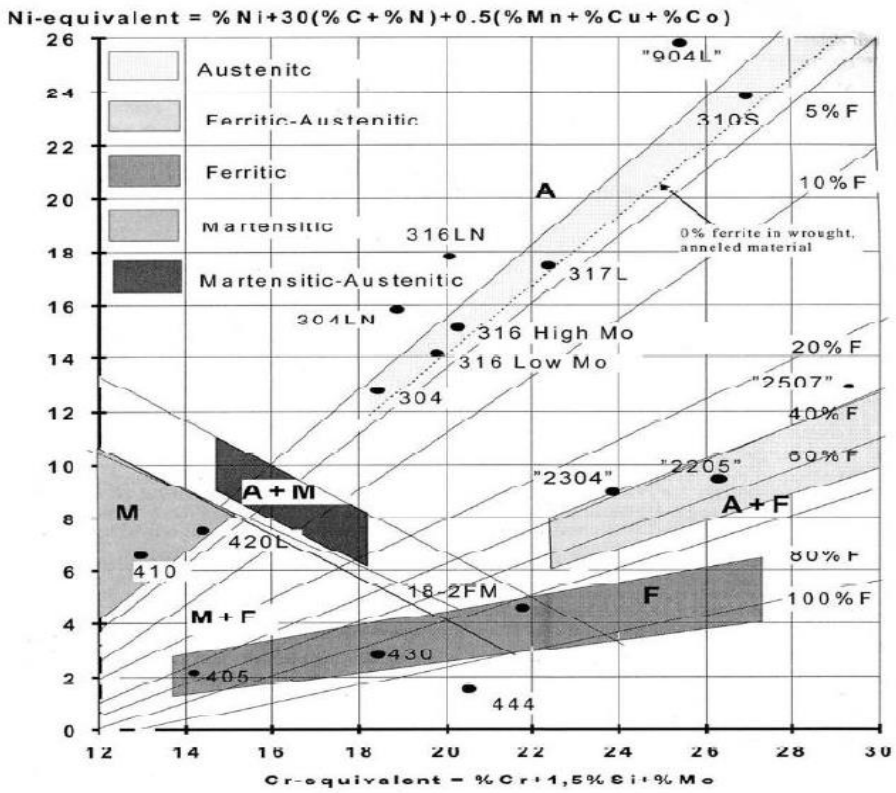
در نمودار شفلر (شکل ۱) فولادهای آستنیتی کم آلیاژ در گوشه چپ نمودار نزدیک به ناحیه فولادهای مارتنزیتی قرار گرفته اند که فولادهای زنگ نزن آستنیتی نیمه پایدار نامیده می شوند. در این دسته از فولادها آستنیت در اثر تغییر شکل به مارتنزیت تبدیل می شود. آستنیت در فولادهای آستنیتی پرآلیاژ، پایدارتر بوده و در اثر تغییر شکل به مارتنزیت کمتری تبدیل می شود. فولادهای آستنیتی نیمه پایداری نظیر ۳۰۱ دارای انعطاف پذیری بسیار بالایی بوده و در کاربردهایی که نیازمند شکل پذیری بالایی باشند، استفاده می شوند. از جمله خواص دیگر این فولادها، کرنش سختی بسیار بالا و استحکام مکانیکی نسبتا پایین آنها است. فولادهای ۳۰۲ و ۳۰۴ به دلیل مقاومت به خوردگی بالا بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند. با اضافه نمودن مولیبدن، فولاد ۳۱۶ با خواص خوردگی بالاتر و استحکام دمایی بالا تولید می شود. در جدول ۱ ترکیب شیمیایی تعدادی از فولادهای زنگ نزن آستنیتی آمده است.

فولاد ضد زنگ ۳۱۶ دارای کربن بیشتری نسبت به ۳۱۶L است. به یاد داشته باشید، کاراکتر L در آلیاژ ۳۱۶L مخفف کلمه "کم" (low) است اما با وجودی که کربن کمتری دارد، از نظر ظاهری ۳۱۶L بسیار شبیه به ۳۱۶ بوده و تشخیص آن از ظاهر آلیاژ کار سختی است. هزینه تولید و فروش این آلیاژ تقریبا یکسان است و هر دو مقاومت در برابر خوردگی بالایی دارند.

در تفاوت استیل ۳۱۶ و ۳۱۶L باید گفت استیل ۳۱۶L یک انتخاب بهتر برای یک مصارفی است که نیاز به جوشکاری زیادی دارد. در واقع جوش پذیری استیل ۳۱۶L بهتر از جوش پذیری فولاد ۳۱۶ است زیرا برای پیوند آلیاژی نیاز به ذوب کمتری دارد، همچنین آلیاژ ۳۱۶L انتخاب مناسب‌تری برای کاربرد در دمای بالا می‌باشد. به همین دلیل است که برای استفاده در ساخت و ساز و پروژه های دریایی بسیار محبوب است.

فولاد ضد زنگ آستنیتی ۳۱۶LVM کاربرد گسترده ای به عنوان یک ماده زیستی دارد زیرا خواص مکانیکی خوب را با زیست سازگاری معقول ترکیب می کند. علاوه بر این، هزینه پایین و مکانیزاسیون

آسان آن، در مقایسه با سایر مواد کاشت فلزی، فولاد ۳۱۶LVM را به کلاس مطلوبی از مواد ایمپلنت برای کاربردهای ارتوپدی تبدیل می‌کند. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که تثبیت بهبود یافته ایمپلنت‌های کوتاه‌مدت مورد استفاده برای ترمیم شکستگی استخوان ممکن است در مراحل اولیه کاشت بسیار مهم باشد[۱ و ۲].



شکل ۱. نمودار شفلر به منظور پیش بینی ساختار فولادهای زنگ نزن از روی ترکیبات شیمیایی [۲].

جدول ۱. ترکیب شیمیایی تعدادی از فولادهای زنگ نزن آستنیتی [۱].

عنصر	AISI 304	AISI 302	AISI 301	AISI 310	AISI 316	AISI 316L	AISI 316LVM
C	<۰/۰۷	<۰/۱۵	۰/۰۵-۰/۱۵	<۰/۱	<۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۳
Si	-	<۰/۷۵	<۲	<۱/۵	<۱	۱	۰/۷۵
Mn	۲-۱	<۲	<۲	<۲	<۲	۲	۲
Cr	۱۹-۱۷/۵	۱۹-۱۷	۱۹-۱۶	۲۶-۲۴	۱۶/۱۸-۵/۵	۱۶/۱۸-۵/۵	۱۹-۱۷
Mo	-	-	<۰/۸	-	۲-۲/۵	۲-۲/۵	۲/۳-۲۵
Ni	۱۰-۸/۵	۱۸-۸	۹-۶/۵	۲۲-۱۹	۱۳-۱۰	۱۳-۱۰	۱۵-۱۳
N	<۰/۱۱	<۰/۱	<۰/۱۱	<۰/۱۱	<۰/۱۱	۰/۱	۰/۱
Fe	باقی مانده	باقی مانده	باقی مانده	باقی مانده	باقی مانده	باقی مانده	باقی مانده

۲- ۳- فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۱۶LVM

فولاد ضد زنگ ۳۱۶LVM یک فولاد زنگ نزن آستنیتی است که توسط ذوب در خلاء تولید می‌شود. مقاومت در برابر خوردگی به طور قابل توجهی در مقایسه با مدل قبلی خود، یعنی ۳۱۶L به دلیل تمیزی عالی و همگنی ساختاری افزایش می یابد. این فولاد ضد زنگ برای تولید ایمپلنت های موقت و دائمی مناسب است.

مانند سایر بیومواد فلزی، فولاد ۳۱۶LVM در مقایسه با تیتانیوم و آلیاژ تیتانیوم، مستعد به خوردگی زیر مایع بدن است. ایمپلنت های فولادی ضد زنگ به روش های مختلفی مانند خوردگی حفره ای (pitting)، شیاری (crevice) و فرتینگ (fretting) خورده می شوند. محصولات خوردگی برای بدن مضر بوده و باعث ایجاد حساسیت، تحریک، التهاب و عفونت می شوند.

روش های مختلفی برای افزایش مقاومت در برابر خوردگی و افزایش خواص مکانیکی فولاد ۳۱۶LVM مانند عملیات سطحی و اصلاح ترکیبات شیمیایی، پیشنهاد شده است. عملیات سطحی شناخته شده که معمولاً مورد استفاده قرار می گیرند شامل پسیو کردن سطح، سندبلاست، پاشش یون، نیترید کردن،

کربونیتریدینگ می باشد. غیرفعال (پسیو) سازی سطحی تنها قادر به بهبود مقاومت در برابر خوردگی آن است. سندبلاست قادر به افزایش سختی آن است اما مقاومت در برابر خوردگی آن را کاهش می دهد. نیتریدینگ و کربونیتریداسیون به دلیل تشکیل لایه نازکی در حدود چند میکرومتر روی فاز آستنیتی منبسط شده، می توانند هم مقاومت به خوردگی و هم سختی آن را بهبود بخشند.

فاز آستنیت منبسط شده خواص فرومغناطیسی ضعیفی را ایجاد می کند. به دلیل نیاز به محیط های تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI[۱]) باید از حضور مواد فرومغناطیسی اجتناب شود. از آنجایی که MRI به طور گسترده به عنوان ابزار تصویربرداری بالینی استفاده می شود، بیومواد فلزی بایستی جهت سازگاری با دستگاه MRI، دارای خواص غیرمغناطیسی باشند.

نشان داده شده است که انجام عملیات سندبلاست منجر به تشکیل کسر حجمی بسیار کوچکی از مارتنزیت α' در زیر سطح می شود که خواص فرومغناطیسی دارد. علیرغم اینکه حضور آن در هنگام استفاده از تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI) یک عامل محدود کننده می باشد، می تواند نقش مضری برای مقاومت به خوردگی و آزادسازی یون نیز ایفا کند [۳ و ۴].

۲- ۴- تأثیر عناصری آلیاژی

کرم به عنوان یکی از عناصر اصلی آلیاژی وظیفه ایجاد مقاومت به خوردگی را دارد. کرم با اکسیژن واکنش داده و سبب تشکیل اکسید کرم به ضخامت nm ۱-۲ بر روی سطح می شود. حداقل کرم مورد نیاز برای تشکیل لایه یکنواخت در حدود ۱۱٪ می باشد.

نیکل به منظور حصول خواص خوردگی مناسب به خصوص در محیط اسید سولفوریک اضافه می گردد. زمانی که لایه مقاوم تخریب و یا از بین رود حضور نیکل به منظور حفظ مقاومت به خوردگی ضروری است. نیکل همچنین از طریق استحکام دهی محلول جامد سبب افزایش استحکام فولاد می شود.

---

[۱] magnetic resonance imaging

مولیبدن به منظور مقاومت به خوردگی شیاری در محیط‌های کلریدی و مقاومت به خوردگی حفره‌ای به فولاد اضافه می شود. همچنین تمایل لایه اکسیدی به تجزیه را نیز کاهش می دهد.

منگنز به دلیل تمایل به تشکیل ترکیبات اکسیدی و سولفیدی به منظور بهبود مقاومت به اکسیداسیون و جلوگیری از تشکیل ناخالصی های سولفیدی که عامل پارگی داغ می باشند به فولاد اضافه می شود.

کربن پایدار کننده قوی فاز آستنیت محسوب می‌شود و از طریق استحکام‌دهی محلول جامد سبب افزایش استحکام فولاد می شود. اما به دلیل تمایل به تشکیل کاربید کرم و کاهش مقاومت به خوردگی، به میزان کمی به فولادهای ۳۱۶L و ۳۱۶LVM که کاربرد پزشکی دارند اضافه می شود.

نیتروژن سبب افزایش مقاومت به خوردگی موضعی فولاد از جمله حفره‌دار شدن و خوردگی بین دانه‌ای، به دلیل تشکیل Cr_2N به جای $Cr_{23}C_6$ می‌شود. نیتروژن همچنین از طریق استحکام‌دهی محلول جامد سبب افزایش استحکام مخصوصا در فولادهای کم‌کردن می شود. همچنین به دلیل قیمت ارزان تر آن نسبت به نیکل، جایگزین مناسبی برای نیکل می باشد. تیتانیوم و دیگر عناصر پایدار کننده نظیر Nb به منظور جلوگیری از تشکیل $Cr_{23}C_6$ و پایدار شدن فولاد ممکن است اضافه شوند [۷-۵].

۲- ۵- ریزساختار فولادهای آستنیتی

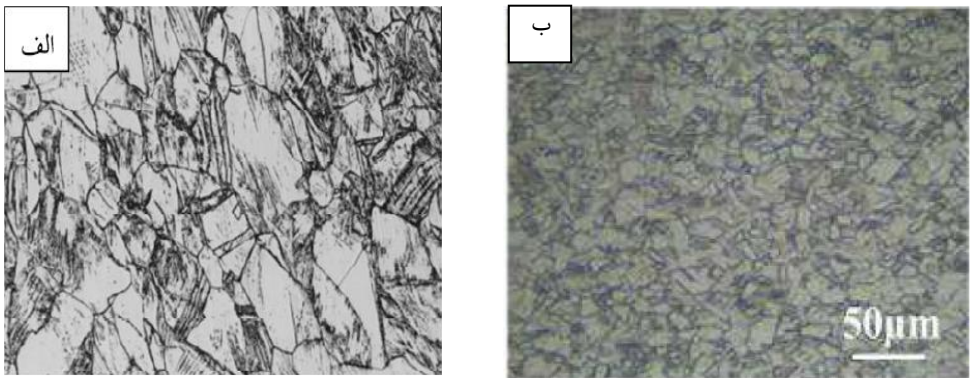
ریزساختار ایده آل فولادهای زنگ نزن آستنیتی فقط شامل آستنیت است اما به علت جدایش در ضمن انجماد، فریت تمایل دارد که تشکیل شود که در فولادهای زنگ نزن آستنیتی ریخته‌گری و جوشکاری شده اغلب دیده می شود.

حضور فریت در فولادهای زنگ نزن آستنیتی ممکن است منجر به تشکیل فاز سیگما (σ) شود. این فاز اثرات سوء بر انعطاف پذیری و مقاومت به خوردگی فولادهای زنگ نزن آستنیتی دارد. تشکیل فاز سیگما از فریت دلتا می تواند توسط اعمال کرنش تشدید شود. در فولادهای زنگ نزن به جز فازهای فریت، سیگما و $M_{23}C_6$ ، فازهای دیگری نیز ممکن است تشکیل شوند. این فازها شامل انواع مختلف کاربیدها

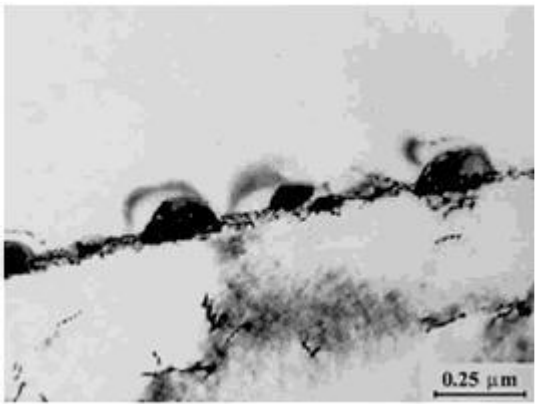
و فازهای بین فلزی اند. تشکیل این فازها بستگی به ترکیب شیمیایی فولاد، فرایند ساخت و شرایط کاری آن دارد.

در شکل ۲ ریزساختار نوری این فولادها که علاوه بر فاز آستنیت حاوی باندهای برشی و مارتنزیت نیز است، نشان داده شده است. در شکل ۲ب، ساختار ریزدانه فولادهای ۳۱۶LVM که اندازه دانه متوسط ۱۰ میکرومتر دارد، نشان داده شده است.

چنانچه فولادهای آستنیتی در محدوده دمایی $^{\circ}C$ ۹۵۰ -۵۰۰ حرارت داده شوند، کربن نفوذ می کند و سبب تشکیل رسوبات کاربیدی می شود. در دماهای بالای آنیل در صورت دادن زمان مناسب، این کاربیدها حل شده و چنانچه فولاد سریع کوئنچ شود از تشکیل مجدد کاربیدها جلوگیری می شود. اغلب رسوبات کاربیدی به صورت $M_{23}C_6$ تشکیل می شوند (شکل ۳)، اما کاربیدهای دیگری نظیر M_7C_3 و M_6C_9 نیز ممکن است تشکیل شوند. نکته مهم آنکه تشکیل کاربیدها مخصوصا کاربید کرم سبب کاهش شدید مقاومت به خوردگی فولاد خواهد شد [۲، ۳، ۵-۷].



شکل ۲. (الف) ساختار فولاد آستنیتی حاوی مقادیر زیاد باندهای برشی در آستنیت، (ب) ساختار فولاد ۳۱۶LVM [۳ و ۵].



شکل ۳. مورفولوژی $M_{23}C_6$ در مرزدانه فولاد زنگ نزن آستنیتی [۲].

فازهای سیگما[۱] چی[۲] و لاوه[۳] سه فاز مختلف و متداول در فولادهای آستنیتی محسوب می شوند. تمامی این فازها سخت و ترد می باشند. فولادهای آستنیتی پر کرم حساس به تشکیل فاز سیگما می باشند. ساختار این فاز به صورت تتراگونال بوده و در محل برخورد سه دانه و یا مرزدانه معمولا تشکیل می شوند. فاز چی نیز مشابه فاز سیگما تشکیل می شود، با این تفاوت که ساختار متفاوتی دارد و فولادهایی با مولیبدن بالا نسبت به تشکیل این فاز مستعد می باشند.

تبدیل مارتنزیت α' به آستنیت در فولادهای ناپایدار (مثلاً ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۰۴، ۳۰۴L، ۳۱۶ و۳۱۶L) معمولاً با تغییر دمای شروع و نهایی برگشت از ۴۳۳ درجه سانتیگراد به ۴۴۵ درجه سانتیگراد و از ۷۰۵ درجه سانتیگراد تا ۷۲۴ درجه سانتیگراد، بسته به میزان تغییر شکل و نرخ گرمایش، امکان پذیر است. با این حال، کاربرد این عملیات حرارتی برای فولاد ۳۱۶LVM سندبلاست شده می‌تواند با شل شدن همزمان تنش‌های پسماند فشاری زیرسطحی محدود شود، بعلاوه اینکه احتمال تشکیل ترک‌های خستگی در این مناطق نیز وجود دارد [۸-۱۰].

---

[۱] sigma

[۲] chi

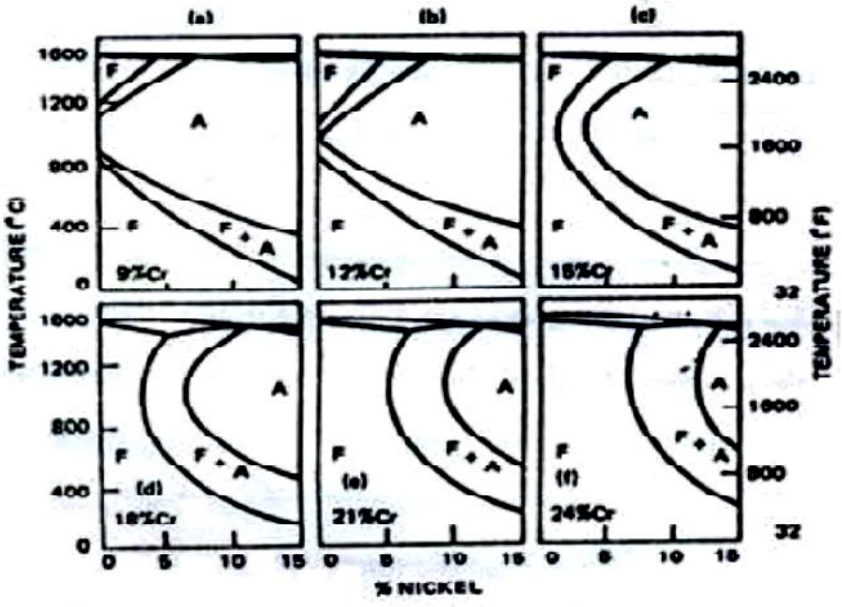
[۳] laves

۲- ۶- فرایند انجماد فولادهای زنگ نزن آستنیتی

۲- ۶- ۱- انواع مکانیزم های انجماد

نمودار سه تایی آهن-کروم-نیکل، به عنوان سه عنصر اصلی در فولادهای زنگ نزن آستنیتی در شکل ۴ نشان داده شده است که بیانگر چگونگی شرایط انجماد تعادلی در این سیستم سه تایی است. با توجه به درصد عناصر آلیاژی در چنین فولادهایی و نیز طبق نمودار تعادلی، فولاد پس از انجماد دارای زمینه آستنیتی و یا آستنیتی-فریتی می باشد. البته عدم وجود شرایط تعادلی انجماد یا به عبارتی سرعت تبرید زیاد، در فرایندهای مختلف مانند ریخته گری شمش ریزی و جوشکاری مزیتی است که بواسطه آن در دمای محیط، زمینه این فولادها آستنیتی شود.

عناصر آلیاژی دیگر و ناخالصیهای موجود در فولاد و سرعت نفوذ محدود هر عنصر آلیاژی در فازهای مختلف، منجر به تغییر در چگونگی انجماد چنین فولادهایی می شود. تحت چنین شرایطی، استفاده از نمودارهای تعادلی، برای پیش بینی انجماد مناسب نبوده و نیاز است تا توسط روشهای مختلف و مناسب، فرایند انجماد تعادلی را مرحله به مرحله دنبال نمود.



شکل ۴. نمودار سه تایی آهن-کرم-نیکل [۱۱].

طبق نتایج تحقیقات برخی از محققان، نحوه انجماد فولادهای زنگ نزن آستنیتی، با توجه با تغییر شرایط ترکیبی و تبریدی، به چهار گروه عمده تقسیم بندی می‌گردد:

۱- انجماد تکفازی آستنیتی: مذاب صرفا تبدیل به آستنیت شده و در دماهای بالا هیچ استحاله دیگری صورت نمی گیرد.

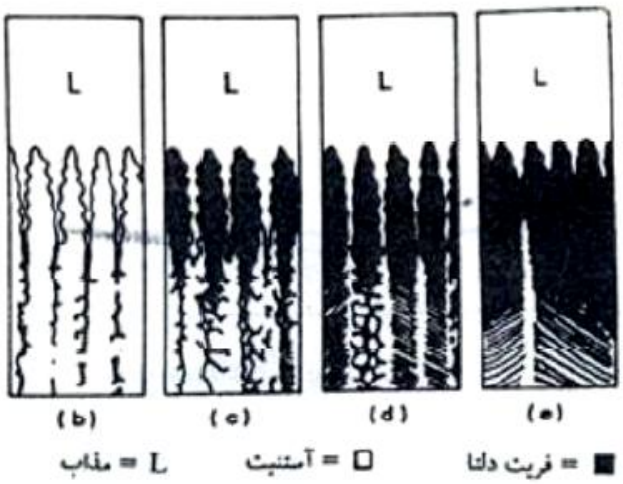
۲- انجماد دو فازی آستنیتی- فریتی: فاز رسوبی اولیه آستنیت بوده و قبل از تکمیل انجماد مابقی مذاب تبدیل به فریت می گردد.

۳- انجماد دو فازی فریتی-آستنیتی: فریت، فاز رسوبی اولیه از مذاب بوده (فریت اسکلتی) بواسطه واکنش پریتکتیکی و یا یوتکتیکی میان سه فاز مذاب، فریت و آستنیت، فاز آستنیت در لابلای دندریتهای فریت رسوب نموده و در ادامه انجماد، آستنیت موجود ضمن پیشروی در مذاب، به داخل فریت دلتا نیز رشد می نماید. در این حالت کاهش شدید درصد حجمی فریت دلتا حاصل خواهد شد. البته در اثر بروز جدایش عناصر آلیاژی فریت زا، همواره مقادیری کمی فریت در آخرین مراحل انجمادی در لابلای دندریتها باقی خواهد ماند.

۴- انجماد تک فازی فریتی: فریت تنها فاز در حین انجماد بوده و پس از اتمام انجماد، آستنیت بطور ترجیحی در مرزدانه ها جوانه زده و توسط مکانیزم ویدمنشتاتن در داخل فریت رشد می نماید.

شکل ۵ الگوی انجمادی هر یک از گونه های فوق را نشان می دهد. البته در تقسیم بندی فوق دو مشکل وجود دارد و آن تفکیک دقیق میان گونه های مختلف انجمادی است. به نحوی که برخی معتقدند در انجماد نوع اول بواسطه بروز جدایش تا حدودی فریت دلتا تشکیل می گردد. دیگر اینکه گاهی انجماد نوع دوم و سوم در کنار یکدیگر و بطور همزمان بوقوع می پیوندند. طبق مطالب فوق، زمینه اصلی در فولادهای زنگ نزن آستنیتی، فاز آستنیت است که مقادیر جزئی فاز فریت دلتا نیز در کنار آن وجود

دارد. فاز فریت دلتا بواسطه جدایش کروم موجودبه داخل مذاب پسماند و یا جامد موجود در زمینه فولاد و در لابلای دندریتهای آستنیتی رسوب کرده و تا دمای محیط پایدار می ماند [۱۱-۱۴].



شکل ۵. شماتیک مدل انجمادی فولادهای زنگ نزن آستنیتی : a- آستنیتی، b- آستنیتی- فریتی، c- فریتی- آستنیتی، d- فریتی [۱۱].

۲- ۷- خواص مکانیکی فولادهای آستنیتی

فولادهای آستنیتی در شرایط آنیل انعطاف پذیری در حدود ۵۰٪ از خود نشان می دهند. این گروه از فولادها خواص مکانیکی نسبتا پائینی دارند و به همین دلیل استفاده از آنها را محدود ساخته است. خواص مکانیکی تعدادی از فولادهای آستنیتی در جدول 2 آمده است. تشکیل مارتنزیت سبب افزایش چشمگیر استحکام مکانیکی فولاد می شود اما انعطاف پذیری و مقاومت به خوردگی فولاد را که هدف اصلی استفاده از فولادهاست تخریب می سازد. بهبود خواص مکانیکی بدون تخریب خواص خوردگی همراه انعطاف پذیری مناسب سبب افزایش چشمگیر در قابلیت های این گروه از فولادهای پر مصرف زنگ نزن خواهد شد [۱].

جدول 2. خواص مکانیکی برخی از فولادهای زنگ نزن آستنیتی [۱].

خواص	AISI304	AISI301	AISI316L	AISI302
استحکام کششی (MPa)	۵۸۰	۷۲۵	۴۸۵	۶۲۰
استحکام تسلیم	۲۹۰	۲۷۵	۱۷۰	۲۷۵
انعطاف پذیری	۵۵	۶۰	۴۰	۵۵

۲- ۸- روش‌های استحکام‌دهی فولادها

روش های زیر برای بهبود خواص مکانیکی فولادها ارائه شده اند که به طور مختصر توضیح داده خواهند شد:

- استحکام بخشی محلول جامد

برای فولادهای زنگ نزن فریتی و آستنیتی که در معرض هیچ استحاله ای نیستند، استحکام بخشی از طریق محلول جامد می تواند موثر باشد.

- **استحکام بخشی استحاله‌ای**

در حین نورد سرد فولاد زنگ نزن آستنیتی نیمه پایدار، مارتنزیت ناشی از کرنش در آنها تولید می شود و باعث افزایش استحکام آنها می شود.

- **کار سختی**

در حین نورد سرد فولاد زنگ نزن آستنیتی و در دماهای بالاتر از M_d به دلیل پدیده کار سختی استحکام افزایش می یابد. اما به دلیل افزایش انرژی درونی ماده مقاومت فولاد در برابر خوردگی کاهش خواهد یافت.

- **پیرسازی کرنشی**

پدیده پیرسازی کرنشی، پدیده متداولی در فلزات است. در پیرسازی کرنشی علاوه بر برگشت نقطه تسلیم و افزایش تنش تسلیم پس از پیرسازی، نرمی کم می شود. پیرسازی کرنشی با وقوع حالت

دندانهای در منحنی تنش - کرنش (تسلیم مکرر یا منقطع) همراه است. چنانچه فولاد زنگ نزن آستنیتی نورد سرد شده و سپس در دمای پایین آنیل شوند، استحکامشان ممکن است در خلال پیرسازی کرنشی افزایش یابد. میزان افرایش به پایداری آستنیت، ترکیب شیمیایی، دمای نورد سرد، میزان کاهش و دمای آنیل بستگی دارد.

- **استحکام بخشی رسوبی**

رسوباتی به صورت ترکیبات بین فلزی که با زمینه همبسته هستند چنانچه در عملیات پیرسازی رسوب کنند، می توانند استحکام مواد را بهبود بخشند.

- **ریز کردن دانه**

به طور کلی، اندازه دانه ریزتر باعث افزایش استحکام فلز می شود. هال - پچ نشان دادند که رابطه بین تنش تسلیم و اندازه دانه (رابطه ۲-۱) و همچنین سختی با اندازه دانه (رابطه ۲-۲) به صورت زیر می باشد [۱ و ۱۵]:

$$\sigma = \sigma 0 + Kd^{-0.5} \qquad (۲-۱)$$

$$HV = HV0 + K'd^{-0.5} \qquad (۲-۲)$$

d= اندازه دانه

σ و HV: تنش تسلیم و سختی

HV_o: سختی زمانی که اندازه دانه بی نهایت است

σ_0: تنش اصطکاکی

K و K': شیب نمودار σ بر حسب $d^{-0.5}$ و HV بر حسب $d^{-0.5}$

۲- ۹- تغییر شکل سرد و آنیل فولاد زنگ نزن آستنیتی

آستنیت در فولادهای زنگ نزن آستنیتی به صورت یک فاز نیمه پایدار است و در اثر تغییر شکل در زیر دمای M_d به فاز مارتنزیت تبدیل می شود. در ادامه فرایند تغییر شکل سرد، مارتنزیت تشکیل شده خرد می شود و مکان‌های مناسب جوانه زنی را برای برگشت مارتنزیت به آستنیت در حین عملیات آنیل بعدی فراهم می کند ودر نهایت منجر به ریزدانگی آستنیت می شود. این عملیات، فرایند مارتنزیت نامیده می شود.

دو نوع مارتنزیت α' و ε در این فولادها تشکیل می گردد. مارتنزیت α' ترجیحا در محل برخورد بین صفحه های مارتنزیت ε با دوقلوییها و مرزهای دانه تشکیل می شود. مارتنزیت ε همچنین می تواند حین سرد شدن تا دماهای پایین بدون تغییر شکل پلاستیکی شکل گیرد، در حالیکه برای تشکیل مارتنزیت α' تغییر شکل لازم است. حین تغییر شکل در دماهای کم، مارتنزیت ε زودتر از α' تشکیل می شود. مقدارε با افزایش میزان تغییر شکل زیاد می شود و پس از رسیدن به یک ماکزیمم کاهش می یابد اما مقدار α' به طور مداوم با تغییر شکل افزایش می یابد [۳ و ۴].

۲- ۱۰- استانداردهای کاربردی در راستای تولید فولاد ۳۱۶LVM

فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶LVM برای ساخت کاشتنی‌های ارتوپدی به کار می‌رود و کاربردهایی از قبیل پروتز استخوان لگن و پیچ دارد. کاربرد گسترده این فولاد بیشتر به دلیل مقاومت به خوردگی و خواص مکانیکی مناسب آن برای کاربردهای پزشکی می‌باشد. با توجه به حساسیت‌های موجود در این زمینه کاری، استانداردهایی برای تولید و کاربرد این فولاد تدوین شده است که در جدول 3 آورده شده است. همانطور که در این جدول مشخص است، دو استاندارد مختلف برای مقاطع گرد و تخت این فولاد وجود دارد. در ادامه استاندارد مربوط به مقاطع گرد این فولاد (F138) مورد بررسی قرار می‌گیرد [۱۶ و ۱۷].

جدول 3. نام و عنوان استانداردهای مرتبط با تولید و کاربرد فولاد LVM۳۱۶ در حوزه تجهیزات پزشکی [۱۶ و ۱۷].

ردیف	استاندارد	عنوان
۱	ASTM F138	Wrought 18Chromium-14Nickel-2.5Molybdenum Stainless Steel Bar and Wire for Surgical Implants (UNS S31673)
۲	ASTM F139	Wrought 18Chromium-14Nickel-2.5Molybdenum Stainless Steel Sheet and Strip for Surgical Implants (UNS S31673)

۲- ۱۰- ۱- بررسی استاندارد F138

۲- ۱۰- ۱- ۱ - مواد و روند ساخت

روند ساخت مقاطع گرد این فولاد پس از ریختگری شامل کار گرم، آنیل، کار سرد می‌باشد. در جدول 4 خواص مکانیکی مورد نیاز برای این مقاطع پس از هر مرحله آورده شده است. محصول نهایی باید کار سرد شده است. کیفیت سطح نیز می‌تواند پس از سنگ‌زنی، پولیش شده یا ... بنا به سفارش مشتری باشد.

جدول 4. خواص مکانیکی مورد نیاز مقاطع گرد فولاد LVM316 پس از مراحل مختلف تولید [۱۶].

شرایط	قطر (mm)	استحکام نهایی (حداقل) (MPa)	استحکام تسلیم (حداقل) (MPa)	ازدیاد طول* (حداقل) (%)	سختی** (حداکثر) (HB)
کار گرم		-	-	-	۲۵۰
آنیل	۱/۶	۴۹۰	۱۹۰	۴۰	-
کار سرد	۱/۶ تا ۳۸/۱	۸۶۰	۶۹۰	۱۲	-
کار سرد مازاد	۱/۶ تا ۶/۳۵	۱۳۵۰	-	-	-
کار سرد برای سیم‌های نازک	کمتر از ۱/۶	۱۰۳۵ تا ۸۶۰	-	۵	-

* طول سنجه (Gage length) باید حتما در نتیجه آزمون ذکر شود ($4D = 4 \times$ diameter; $4W = 4 \times$ width). همچنین در صورت توافق بین خریدار و تامین کننده می‌توان طول سنجه را مطابق استانداردهای E8/E8M یا ISO6892 در نظر گرفت (۵/۶ برابر مساحت سطح مقطع نمونه).

** سختی سنجی برینل با بار ۳۰۰۰ Kgf

۲- ۱۰- ۱- ۲ - الزامات ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی مورد نیاز این فولاد که حاصل آنالیز حرارتی می‌باشد در جدول ۴ برای آورده شده است. آنالیز حرارتی باید مطابق با استاندارد A751 انجام شود. ترکیب شیمیایی فولاد ۳۱۶LVM باید مطابق با استاندارد E354 اندازه‌گیری شود. محدوده مجاز اختلاف هر عنصر از میزان استاندارد ارائه شده توسط آنالیز حراتی، مطابق با استاندارد E354 نیز در جدول 5 گزارش شده است.

جدول 5. ترکیب شیمیایی مورد نیاز مقاطع گرد و تخت به همراه محدوده مجاز اختلاف هر محصول نسبت به استاندارد [۱۶].

عنصر	درصد وزنی	محدوده مجاز	توضیحات
C	حداکثر ۰/۰۳	۰/۰۰۵	*مقادیر کروم و مولیبدن باید مطابق زیر باشد: $\% Cr + 3.3 \times \% Mo \geq 26.0$ ** نیاز به ارائه مقدار آهن نمی‌باشد.
Mn	حداکثر ۲	۰/۰۴	
P	حداکثر ۰/۰۲۵	۰/۰۰۵	
S	حداکثر ۰/۰۱۰	۰/۰۰۵	
Si	حداکثر ۰/۷۵	۰/۰۵	
Cr*	۱۷-۱۹	۰/۲۰	
Ni	۱۳-۱۵	۰/۱۵	
Mo*	۲/۲۵ – ۳	۰/۱۰	
N	حداکثر ۰/۱۰	۰/۰۱	
Co	حداکثر ۰/۵۰	۰/۰۳	
Fe**	باقیمانده	-	

۲- ۱۰- ۱- ۳ - الزامات متالورژیکی

- در ریزساختار این فولاد با بزرگنمایی ۱۰۰X، نباید فازهای دلتا فریت، چی[۱] و سیگما[۲] مشاهده شود. متالوگرافی و حکاکی[۳] این فولاد باید مطابق با استاندارد E407 انجام شود.

[۱] Chi

[۲] Sigma

[۳] Etch

- ساختار فولاد از نظر تمیزی[1]باید توسط روش A استاندارد E45، بدون استفاده از صفحه I-r، بررسی گردد و میزان ناخالصی نباید از مقادیر ارائه شده در جدول 6 تجاوز کند.

جدول 6. مقادیر مجاز ناخالصی در ساختار فولاد اندازه‌گیری مطابق با استاندارد E45 [۱۶].

نوع ناخالصی	A - سولفید	B- آلومینا	C- سلیکات	D- اکسیدهای کروی
نازک (Thin)	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
ضخیم (Heavy)	۱	۱	۱	۱

۲- ۱۰- ۱- ۴ - خواص مکانیکی

– خواص کششی

خواص کششی باید توسط آزمون کشش و مطابق استاندارد E8/E8M اندازه‌گیری شود. نتیجه باید با الزامات مناسب از نظر خواص مکانیکی مشخص شده در جدول 4 مطابقت داشته باشد. میله و سیم در شرایط کار سرد شده می‌تواند با استحکام کششی بالاتر و ازدیاد طول کمتری مطابق با سفارش خرید عرضه شود.

حداقل یک تست کشش از هر محصول باید انجام شود. اگر الزامات مشخص شده برآورده نشد، برای هر قطعه آزمایشی ناموفق، باید دو قطعه دیگر که نماینده همان محصول هستند، به همان روش تحت آزمون قرار گیرد. در صورتی که نتیجه تمام آزمون‌ها الزامات مشخص شده را تامین نماید، محصول مورد تایید است. در آزمایش کشش، برای هر گونه شکست نمونه خارج از طول سنجه در صورتی که حداقل ازدیاد طول مورد نظر حاصل شود، نتیجه آزمون قابل قبول در نظر گرفته می‌شود (مطابق استاندارد E8/E8M). اگر ازدیاد طول کمتر از حداقل نیاز باشد، آزمایش باید دوباره تکرار گردد.

– سختی

[1] Microcleanliness

سختی‌سنجی باید مطابق استاندارد E10 یا E18 انجام شود. در صورتی که سطح مقطع نمونه کافی باشد، سختی‌سنجی باید در سطح مقطع نمونه و میان مرکز و سطح قطعه انجام شود. مقدار سختی فقط برای اطلاع است و نباید به عنوان مبنایی برای رد محصول استفاده شود.

۲- ۱۰- ۱- ۵ - آزمون‌های ویژه

- محصولات با مقطع گرد و سیم‌ها باید مطابق با استاندارد A262 آزمون حساسیت خوردگی بین دانه‌ای را پشت سر بگذارد.

- نمونه‌ها در شرایط گرم کار باید قبل از آزمون مطابق با استاندارد A262، تحت عملیات حرارتی حساس‌سازی[۱] قرارگیرند.

- محصول باید دارای اندازه دانه ASTM ۵ یا ریزتر باشد. اندازه‌گیری اندازه دانه باید بعد از کارگرم یا بعد از آنیل نهایی و قبل از کارد سر نهایی باشد. اندازه‌گیری اندازه دانه پس از کار سرد نهایی باید یا با توافق با مشتری یا مطابق استاندارد E112 انجام شود.

- تمام محصولات با سطح سنگ‌زده و پولیش شده باید با قطر نهایی تحت آزمون التراسونیک طبق استاندارد AMS 2630 تحت بازرسی قرار گیرند.

- بیلت‌ها باید قبل از نورد گرم تحت آزمون التراسونیک قرار گیرند تا عاری از عیوب داخلی باشند. معیار پذیرش این آزمون بین خریدار و تولید کننده باید توافق شود [۱۲].

[۱] Sensitization heat treatment

۳- مواد و روش ساخت

۳-۱ نمودار کلی تولید

۳-۲ لیست مراکز و شرکت های خدمات دهنده

		تامین کننده/پیمانکار		اطلاعات تماس
مواد اولیه	**قراضه 316 LVM**	شرکت ابزار پزشکی اسوه آسیا		۰۵۱۳۲۴۰۰۸۵۸
ساخت	**کوره ذوب خلا**	آزمایشگاه انرژی‌های تجدیدپذیر، مغناطیس و نانوتکنولوژی گروه فیزیک دانشکده علوم فردوسی		۳۸۸۰۴۱۴۶-۰۵۱
		آزمایشگاه متالورژی رازی		۶۳۰۷-۰۲۱
	کشش سرد	شرکت پایدار فلز ویرا		۲۲۸۷۶۸۳۲-۰۲۱
		گروه صنعتی صبا		۵۵۵۰۸۰۴۰-۰۲۱
		گروه صنعتی آتروپارت		۵۶۲۷۷۲۵۹-۰۲۱
بررسی و آنالیز نمونه	**آزمون کشش**	آزمایشگاه متالورژی رازی		۶۳۰۷-۰۲۱
		آزمایشگاه خواص مکانیکی فردوسی		۰۵۱۳۸۸۰۶۰۹۷
		آزمایشگاه خواص مکانیکی پارک علم و فناوری خراسان		۰۵۱۳۵۰۰۳۳۳۳
	سختی سنجی	آزمایشگاه متالوگرافی مجتمع فنی مهندسی جهاددانشگاهی مشهد		۰۵۱۳۱۹۹۷۸۴۴
	متالوگرافی و بررسی ریزساختار	آزمایشگاه متالوگرافی مجتمع فنی مهندسی جهاددانشگاهی مشهد		۰۵۱۳۱۹۹۷۸۴۴
	آنالیز ترکیب شیمیایی	کوانتومتری	شرکت آلومینیوم رضا	۰۵۱۳۶۲۲۷۶۷۱
		ICP	آزمایشگاه مرکزی فردوسی	۰۵۱۳۸۸۰۴۳۹۴
			آزمایشگاه متالورژی رازی	۶۳۰۷-۰۲۱
		شیمی تر	ریحان آزما	۰۵۱۳۶۶۵۴۶۱۸
	آزمون حساسیت به خوردگی بین دانه ای	آزمایشگاه خوردگی دانشگاه فردوسی		۳۸۸۳۷۳۹۸-۰۵۱
		آزمایشگاه انرژی‌های تجدیدپذیر، مغناطیس و نانوتکنولوژی گروه فیزیک دانشکده علوم فردوسی		۳۸۸۰۴۱۴۶-۰۵۱

۳-۳ مشخصات فنی فولاد 316LVM

با توجه به اهمیت خواص و حساسیت این نوع فولاد، نمونه ای از مشخصات فنی فولاد زنگ نزن 316LVM خارجی (شرکت EZM آلمان) که مورد تائید اداره تجهیزات پزشکی می باشد و مجوز واردات برای کاربرد در ساخت پیچ و پلاک اورتوپدی راداراست، از شرکت ابزار پزشکی اسوه تهیه گردید. در ادامه چندین مشخصات فنی آورده شده است.

EZM EDELSTAHLZIEHEREI MARK

Datum / Date : **28.02.2019**

EZM Edelstahlzieherei Mark GmbH - Nordstraße 14 – 58300 Wetter

Osveh Asia Medical Instrument Co.

No:139, 2nd Sanat St., Sanat Blv,

IR-. Mashhad

Abnahmezeugnis

INSPECTION CERTIFICATE

CERTIFICAT DE RECEPTION

3.1 nach DIN EN 10204

Ihr Zeichen und Bestelldatum / Customer Identify and Order No Date / N° de commande et Date
E-mail **09.08.2018**

Ihr Ansprechpartner / Contact Person / Notre Contact
Wilk, Nadine +49 2335/977-415

Ihr Ansprechpartner QM / Contact Person QM / Notre Contact QM
Herr R. Naumann, Tel.: +49 (0)2335/ 977-474

bright stainless steel bars
grade X 2 CrNiMo 18153 (1.4441 ESU-remelt)
acc. to ISO 5832-1 2007 and ASTM F 138-08
cold drawn, ground and polished
tolerance h8
tensile strength min. 1100 N/mm²

test certificate EN 10204/3.1

EZM - Auftragsnummer : **CA-00119464 / 10**
Supplier reference / N° d ordre fourmisseur
Lieferschein / Prod.-Nr. : **CL-00232876-10 / FA-00028568**
Dicke : **5.000** Tol. : **+ 0.000 / -0.018 mm**
Breite : Tol. :
Profil : **0**
Länge : **3000.000 - 3100.000 mm**

Versanddatum/ Shipping date / Date d´expedition : **28.02.2019**
Liefergewicht / Weight of Delivery / Poids Livre : **150.00 kg**

Heat-No.: / No de colee / Chargennr.:074-61234-18 **Erschmelzung : ESU Blockguss**

Schmelzanalyse [Angaben in Gewichtsprozent [%]

C	SI	MN	P	S	CR	MO	NI	CU	N	C-Wert
0.0200	0.5300	1.8500	0.0160	0.0010	17.7300	2.7700	13.8000	0.0600	0.0880	26.8710

Zugversuch gemäß DIN EN ISO 6892

		Abmessung	RP 0.2	RM	A4	A5
Einheit	:	mm	[(N/mm²)-MPa]	[(N/mm²)-MPa]	[%]	[%]
Sollwerte	:		min 862	min 1100	min 12	min 12
Istwerte	1	4.992	1084	1271	27	22
	2	4.993	1084	1269	29	23

Das Material ist frei von Delta - Ferrit, Chi und Sigmaphase.
Prüfung bei 100-facher Vergrößerung gemäß Practice E407.
IK-Beständigkeit gemäß DIN EN ISO 3651-2 / ASTM A 262.

The material is free from delta-ferrite, chi and sigma-phases,
examined metallographically at 100x magnification in acc. with Practice E407.
Resistant to intergranular corrosion in acc. with DIN EN ISO 3651-2 / ASTM A262.

Die Lieferung wurde auf Identität geprüft (Spektro),
US- oder äquivalentes Verfahren auf Lunker im Vormaterial geprüft,
Staboberfläche visuell kontrolliert, auf Maß kontrolliert, für gut befunden und freigegeben.

Identity checked (spectrometry).
Ultrasonic or equivalent test for voids in billets.
Inspections carried out: Crack test (visuell) and control of dimension accuracy.

Fe = Balance

Korngröße gemäß DIN-EN ISO 643 / ASTM E 112: 10.0 und feiner.
Grain size in accordance with DIN-EN ISO 643 / ASTM E 112: 10.0 and finer.

Mikroreinheitsgrad nach ISO 4967 / ASTM E 45, Methode A:
Microscopic cleanliness in acc. with ISO 4967 / ASTM E 45, Methode A:

A dünn / thin	**= 0.0**
A dick / heavy	**= 0.0**
B dünn / thin	**= 0.5**
B dick / heavy	**= 0.0**
C dünn / thin	**= 0.0**
C dick / heavy	**= 0.0**
D dünn / thin	**= 1.5**
D dick / heavy	**= 0.0**

EZM Edelstahlzieherei
Mark GmbH
Nordstraße 14 • 58300 Wetter
Postfach 41 63 • 58294 Wetter

2 Kyf

EZM Edelstahlzieherei Mark GmbH Werkssachverständige /r : **Weber** Zeichen des Lieferanten / Prüfstempel : **EZM** QA

Es wird bestätigt, daß die Ergebnisse der Prüfungen den vereinbarten Lieferbedingungen entsprechen
This is to certify, that the results are in agreement with the specifications.
Nous confirmons ques les resultats des essais sont Conformes aux conditions convenues de vente

Werkstoffbescheinigungen die durch ein Datenverarbeitungssystem erstellt werden sind gem. EN 10204 Abschnitt 5 ohne Unterschrift gültig

EZM EDELSTAHLZIEHEREI MARK

Datum / Date : **28.02.2019**

EZM Edelstahlzieherei Mark GmbH - Nordstraße 14 – 58300 Wetter

Osveh Asia Medical Instrument Co.

No:139, 2nd Sanat St., Sanat Blv,

IR-. Mashhad

Abnahmezeugnis

INSPECTION CERTIFICATE

CERTIFICAT DE RECEPTION

3.1 nach DIN EN 10204

Ihr Zeichen und Bestelldatum / Customer Identity and Order No Date / N° de commande et Date

E-mail **09.08.2018**

Ihr Ansprechpartner / Contact Person / Notre Contact

Wilk, Nacline +49 2335/977-415

Ihr Ansprechpartner QM / Contact Person QM / Notre Contact QM

Herr R. Naumann, Tel.: +49 (0)2335/ 977-474

bright stainless steel bars
grade X 2 CrNiMo 18153 (1.4441 ESU-remelt)
acc. to ISO 5832-1 2007 and ASTM F 138-08
cold drawn, ground and polished
tolerance h7
tensile strength 950-1080 N/mm²

test certificate EN 10204/3.1

EZM - Auftragsnummer : **CA-00119464 / 20**
Supplier reference / N° d ordre fournisseur
Lieferschein / Prod.-Nr. : **CL-00232876-20 / FA-00028523**
Dicke : **6.000** Tol. : **+ 0.000 / -0.012 mm**
Breite : Tol. :
Profil : **0**
Länge : **3000.000 - 3050.000 mm**

Versanddatum/ Shipping date / Date d' expedition : **28.02.2019**
Liefergewicht / Weight of Delivery / Poids Livre : **13.00 kg**

Heat-No.: / No de coire / Chargenr.:**039-860112/227-1** Erschmelzung : ESU Blockguss

Schmelzanalyse [Angaben in Gewichtsprozent [%]

C	SI	MN	P	S	CR	MO	NI	CU	N	C-Wert
0.0210	0.6100	1.7400	0.0160	0.0010	17.3400	2.7300	13.8500	0.0700	0.0980	26.3490

Zugversuch gemäß DIN EN ISO 6892

		Abmessung	RP 0.2	RM	A4	A5
Einheit	:	mm	[(N/mm²)-MPa]	[(N/mm²)-MPa]	[%]	[%]
Sollwerte	:		min 690	950 - 1080	min 15	min 15
Istwerte	1	5.991	827	980	31	27
	2	5.990	839	979	27	23

Das Material ist frei von Delta - Ferrit, Chi und Sigmaphase.
Prüfung bei 100-facher Vergrößerung gemäß Practice E407.
IK-Beständigkeit gemäß DIN EN ISO 3651-2 / ASTM A 262.

The material is free from delta-ferrite, chi and sigma-phases,
examined metallographically at 100x magnification in acc. with Practice E407.
Resistant to intergranular corrosion in acc. with DIN EN ISO 3651-2 / ASTM A262.

Die Lieferung wurde auf Identität geprüft (Spektro),
US- oder äquivalentes Verfahren auf Lunker im Vormaterial geprüft,
rissgeprüft und auf Maß kontrolliert.

Identity checked (spectrometry).
Ultrasonic or equivalent test for voids in billets.
Inspections carried out:
Crack test and control of dimension accuracy.

Fe = Balance

Korngröße gemäß DIN-EN ISO 643 / ASTM E 112: 9.0 - 10.0
Grain size in accordance with DIN-EN ISO 643 / ASTM E 112: 9.0 - 10.0

Mikroreinheitsgrad nach ISO 4967 / ASTM E 45, Methode A:
Microscopic cleanliness in acc. with ISO 4967 / ASTM E 45, Methode A:

A dünn / thin	**= 0.0**
A dick / heavy	**= 0.0**
B dünn / thin	**= 0.0**
B dick / heavy	**= 0.0**
C dünn / thin	**= 0.0**
C dick / heavy	**= 0.0**
D dünn / thin	**= 1.5**
D dick / heavy	**= 0.5**

EZM Edelstahlzieherei
Mark GmbH
Nordstraße 14 • 58300 Wetter
Postfach 41 63 • 58294 Wetter

EZM Edelstahlzieherei Mark GmbH Werkssachverständige/r : **Weber** Zeichen des Lieferanten / Prüfstempel : **EZM** QA

Es wird bestätigt, daß die Ergebnisse der Prüfungen den vereinbarten Lieferbedingungen entsprechen

This is to certify, that the results are in agreement with the specifications.

Nous confirmons que les resultats des essais sont Conformes aux conditions convenues de vente

Werkstoffbescheinigungen die durch ein Datenverarbeitungssystem erstellt werden sind gem. EN 10204 Abschnitt 5 ohne Unterschrift gültig

EZM EDELSTAHLZIEHEREI MARK

Datum / Date : 28.02.2019

EZM Edelstahlzieherei Mark GmbH - Nordstraße 14 – 58300 Wetter

Osveh Asia Medical Instrument Co.

No:139, 2nd Sanat St., Sanat Blv,

IR-. Mashhad

Abnahmezeugnis

INSPECTION CERTIFICATE

CERTIFICAT DE RECEPTION

3.1 nach DIN EN 10204

Ihr Zeichen und Bestelldatum / Customer Identity and Order No Date / N° de commande et Date
E-mail **09.08.2018**

Ihr Ansprechpartner / Contact Person / Notre Contact
Wilk, Nadine +49 2335/977-415

Ihr Ansprechpartner QM / Contact Person QM / Notre Contact QM
Herr R. Naumann, Tel.: +49 (0)2335/ 977-474

bright stainless steel bars
grade X 2 CrNiMo 18153 (1.4441 ESU-remelt)
acc. to ISO 5832-1 2007 and ASTM F 138-08
cold drawn, ground and polished
tolerance h7
tensile strength 950-1080 N/mm²

test certificate EN 10204/3.1

EZM - Auftragsnummer : **CA-00119464 / 20**
Supplier reference / N° d ordre fournisseur
Lieferschein / Prod.-Nr. : **CL-00232876-20 / FA-00029965**
Dicke : **6.000** Tol. : **+ 0.000 / -0.012 mm**
Breite : Tol. :
Profil : **0**
Länge : **3000.000 - 3050.000 mm**

Versanddatum/ Shipping date / Date d' expedition : **28.02.2019**
Liefergewicht / Weight of Delivery / Poids Livre : **495.00 kg**

Heat-No.: / No de coloe / Chargenne.:039-860262/463-1 **Erschmelzung :** ESU Blockguss

Schmelzanalyse [Angaben in Gewichtsprozent [%]

C	SI	MN	P	S	CR	MO	NI	CU	N	C-Wert
0.0170	**0.6700**	**1.7400**	**0.0140**	**0.0010**	**17.2600**	**2.7400**	**13.6700**	**0.0900**	**0.0940**	**26.3020**

Zugversuch gemäß DIN EN ISO 6892

		Abmessung	RP 0.2	RM	A4	A5
Einheit	:	mm	[(N/mm²)-MPa]	[(N/mm²)-MPa]	[%]	[%]
Sollwerte	:		min 690	950 - 1080	min 15	min 15
Istwerte	1	5.991	872	1021	30	25
	2	5.996	841	1009	27	23

Das Material ist frei von Delta - Ferrit, Chi und Sigmaphase.
Prüfung bei 100-facher Vergrößerung gemäß Practice E407.
IK-Beständigkeit gemäß DIN EN ISO 3651-2 / ASTM A 262.

The material is free from delta-ferrite, chi and sigma-phases,
examined metallographically at 100x magnification in acc. with Practice E407.
Resistant to intergranular corrosion in acc. with DIN EN ISO 3651-2 / ASTM A262.

Die Lieferung wurde auf Identität geprüft (Spektro),
US- oder äquivalentes Verfahren auf Lunker im Vormaterial geprüft,
rissgeprüft und auf Maß kontrolliert.

Identity checked (spectrometry).
Ultrasonic or equivalent test for voids in billets.
Inspections carried out:
Crack test and control of dimension accuracy.

Fe = Balance

Korngröße gemäß DIN-EN ISO 643 / ASTM E 112: 9.0 - 10.0
Grain size in accordance with DIN-EN ISO 643 / ASTM E 112: 9.0 - 10.0

Mikroreinheitsgrad nach ISO 4967 / ASTM E 45, Methode A:
Microscopic cleanliness in acc. with ISO 4967 / ASTM E 45, Methode A:

A dünn / thin	= 0.0
A dick / heavy	= 0.0
B dünn / thin	= 0.0
B dick / heavy	= 0.0
C dünn / thin	= 0.0
C dick / heavy	= 0.0
D dünn / thin	= 1.0
D dick / heavy	= 0.5

EZM Edelstahlzieherei
Mark GmbH
Nordstraße 14 • 58300 Wetter
Postfach 41 63 • 58294 Wetter

EZM Edelstahlzieherei Mark GmbH Werkssachverständige /r : **Axmann** Zeichen des Lieferanten / Prüfstempel : **EZM QA**

Es wird bestätigt, daß die Ergebnisse der Prüfungen den vereinbarten Lieferbedingungen entsprechen

This is to certify, that the results are in agreement with the specifications.

Nous confirmons quea les resultats des essais sont Conformes aux conditions convenues de vente

Werkstoffbescheinigungen die durch ein Datenverarbeitungssystem erstellt werden sind gem. EN 10204 Abschnitt 5 ohne Unterschrift gültig

EZM EDELSTAHLZIEHEREI MARK

Datum / Date : 28.02.2019

EZM Edelstahlzieherei Mark GmbH - Nordstraße 14 – 58300 Wetter

Osveh Asia Medical Instrument Co.

No:139, 2nd Sanat St., Sanat Blv,

IR-. Mashhad

Abnahmezeugnis

INSPECTION CERTIFICATE

CERTIFICAT DE RECEPTION

3.1 nach DIN EN 10204

Ihr Zeichen und Bestelldatum / Customer identity and Order No Date / N° de commande et Date
E-mail **09.08.2018**

Ihr Ansprechpartner / Contact Person / Notre Contact
Wilk, Nadine +49 2335/977-415

Ihr Ansprechpartner QM / Contact Person QM / Notre Contact QM
Herr R. Naumann, Tel.: +49 (0)2335/ 977-474

bright stainless steel bars
grade X 2 CrNiMo 18153 (1.4441 ESU-remelt)
acc. to ISO 5832-1 2007 and ASTM F 138-08
cold drawn, ground and polished
tolerance h8
tensile strength min. 1200 N/mm²

test certificate EN 10204/3.1

EZM - Auftragsnummer : **CA-00119464 / 150**
Supplier reference / N° d'ordre fournisseur
Lieferschein / Prod.-Nr. : **CL-00232876-150 / FA-00028566**
Dicke : **4.500** Tol. : **+ 0.000 / -0.018 mm**
Breite : Tol. :
Profil : **0**
Länge : **3000.000 - 3100.000 mm**

Versanddatum/ Shipping date / Date d' expedition : **28.02.2019**
Liefergewicht / Weight of Delivery / Poids Livre : **150.00 kg**

Heat-No.: / No de coloe / Chargennr.: **074-61234-18** Erschmelzung : ESU Blockguss

Schmelzanalyse [Angaben in Gewichtsprozent [%]

C	SI	MN	P	S	CR	MO	NI	CU	N	C-Wert
0.0200	0.5300	1.8500	0.0160	0.0010	17.7300	2.7700	13.8000	0.0600	0.0880	26.8710

Zugversuch gemäß DIN EN ISO 6892

		Abmessung	RP 0.2	RM	A4	A5
Einheit	:	mm	[(N/mm²)-MPa]	[(N/mm²)-MPa]	[%]	[%]
Sollwerte	:		min 862	min 1200	min 12	min 12
Istwerte	1	4.491	1167	1347	28	23
	2	4.490	1132	1345	25	21

Das Material ist frei von Delta - Ferrit, Chi und Sigmaphase.
Prüfung bei 100-facher Vergrößerung gemäß Practice E407.
IK-Beständigkeit gemäß DIN EN ISO 3651-2 / ASTM A 262.

The material is free from delta-ferrite, chi and sigma-phases,
examined metallographically at 100x magnification in acc. with Practice E407.
Resistant to intergranular corrosion in acc. with DIN EN ISO 3651-2 / ASTM A262.

Die Lieferung wurde auf Identität geprüft (Spektro),
US- oder äquivalentes Verfahren auf Lunker im Vormaterial geprüft,
Staboberfläche visuell kontrolliert, auf Maß kontrolliert, für gut befunden und freigegeben.

Identity checked (spectrometry).
Ultrasonic or equivalent test for voids in billets.
Inspections carried out: Crack test (visuell) and control of dimension accuracy.

Fe = Balance

Korngröße gemäß DIN-EN ISO 643 / ASTM E 112: 10.0 und feiner.
Grain size in accordance with DIN-EN ISO 643 / ASTM E 112: 10.0 and finer.

Mikroreinheitsgrad nach ISO 4967 / ASTM E 45, Methode A:
Microscopic cleanliness in acc. with ISO 4967 / ASTM E 45, Methode A:

A dünn / thin	**= 0.0**
A dick / heavy	**= 0.0**
B dünn / thin	**= 0.5**
B dick / heavy	**= 0.0**
C dünn / thin	**= 0.0**
C dick / heavy	**= 0.0**
D dünn / thin	**= 1.5**
D dick / heavy	**= 0.0**

EZM EdelstahlZieherei
Mark GmbH
Nordstraße 14 • 58300 Wetter
Postfach 41 63 • 58294 Wetter

EZM Edelstahlzieherei Mark GmbH Werkssachverständige/r : **Weber** Zeichen des Lieferanten / Prüfstempel : **EZM** QA

Es wird bestätigt, daß die Ergebnisse der Prüfungen den vereinbarten Lieferbedingungen entsprechen
This is to certify, that the results are in agreement with the specifications.
Nous confirmons ques les resultats des essais sont Conformes aux conditions convenues de vente

Werkstoffbescheinigungen die durch ein Datenverarbeitungssystem erstellt werden sind gem. EN 10204 Abschnitt 5 ohne Unterschrift gültig

۴- منابع و مراجع

[1] Smith, W.F, Structure and Properties of Engineering Alloys, McGraw-Hill Book Company, (1981).

[2] Hedstrom, P, “Deformation induced martensitic transformation of metastable stainless steel AISI 301”, Lulea University of Technology, PhD thesis, (32005)

[3] Soekrisno, Raden, Dharmastiti SR Suyitno, and Agus Suprihanto. "Evaluation of hardness, wear, corrosion resistance and magnetic properties of Austenitic Stainless Steel 316LVM by means short high temperature gas nitriding." Journal of Chemical and Pharmaceutical Research 7.12 (2015): 28-34.

[4] Multigner, M., et al. "Influence of the sandblasting on the subsurface microstructure of 316LVM stainless steel: Implications on the magnetic and mechanical properties." Materials Science and Engineering: C 29.4 (2009): 1357-1360.

[5] Metals Handbook, Metallography and Microstructures, American Society for Metals, 8th ed., Vol.9, 1980.

[۶] گلعذار، م.ع، اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۱.

[7] Metals Handbook, Heat Treating, American Society for Metals, 9th ed., Vol.4, 1981.

[8] Multigner, M., et al. "Superficial severe plastic deformation of 316 LVM stainless steel through grit blasting: Effects on its microstructure and subsurface mechanical properties." Surface and Coatings Technology 205.7 (2010): 1830-1837.

[9] Chobaut, N., et al. "Miniaturized tube fixed plug drawing: Determination of the friction coefficients and drawing limit of 316 LVM stainless steel." Journal of Materials Processing Technology 263 (2019): 396-407.

[10] Barriuso, Sandra, et al. "Improvement of the blasting induced effects on medical 316 LVM stainless steel by short-term thermal treatments." Surface and Coatings Technology 258 (2014): 1075-1081.

[۱۱] حبیب الله زاده، ع. انجماد فولادهای زنگ نزن آستنیتی، کنفرانس انجمن مهندسین متالورژی، ۱۳۷۶.

[12] Ura-Bińczyk, E., et al. "Mechanical properties and corrosion resistance of hydrostatically extruded 316 LVM stainless steel after low-temperature plasma nitriding." Surface and Coatings Technology 375 (2019): 565-572.

[13] Ahmadi, S., S. M. M. Hadavi, and A. Shokuhfar. "Evaluation of deoxidation process in medical grade of 316L stainless steel." International Journal of Iron & Steel Society of Iran 3.2 (2006): 22-28.

[14] Krawczynska, A. T., et al. "Mechanical properties of nanostructured 316LVM stainless steel annealed under pressure." Mechanics of Materials 67 (2013): 25-32.

[15] Ahmadi, S., et al. "Evaluation of the electroslag remelting process in medical grade of 316LC stainless steel." Journal of materials science & technology 25.5 (2009): 592.

[16] Standard Specification for Wrought 18 Chromium- 14 Nickel- 2.5 Molybdenum Stainless Steel Bar and Wire for Surgical Implants (UNS S31673)1, (2008).

[17] Standard Specification for Wrought 18Chromium-14Nickel-2.5Molybdenum Stainless Steel Sheet and Strip for Surgical Implants (UNS S31673), (2012).