

# نورد فولاد

فصلنامه علمی، تخصصی و مهارتی - شماره ۷ - بهار ۱۳۹۷

شرکت فولاد اکسین خوزستان Khouzestan Oxin Steel Co.

**KhOuzestan**

شرکت فولاد اکسین خوزستان

**Oxin Steel Co.**



# بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

و انزلنا الحديد فيه باس شديد و منافع للناس

آیه ۲۵ سوره الحديد

## فهرست

**صاحب امتیاز:** شرکت فولاد اکسین خوزستان-

واحد تحقیق و توسعه

**مدیر مسئول:** رضا آبدیده

**سر دبیر:** محمد هیزم بر

**هیأت تحریریه:**

امین آسیابان، محمد سجاد غفوری، یعقوب غلامی،

میلاذ خجسته پور، احمد بساق زاده، مهدی سلطانعلی نژاد،

دکتر مصطفی اسکندری، دکتر سید رضا علوی زارع

**مشاور اجرایی و روابط عمومی:** مهدی قمر

**گروه تامین محتوا و ویراستاری:** علیرضا حاجی پور،

آرش آرپناهی، علیرضا افضل، زهرا شیرالی پور، هدا ختیا

**طراحی و صفحه آرایی:** کانون تبلیغاتی هدف

**نشانی:** اهواز، کیلومتر ۱۰ جاده بندر امام خمینی (ره)،

شرکت فولاد اکسین خوزستان، فصلنامه تخصصی نورد فولاد

**کد پستی:** ۱۳۱۱۱-۶۱۷۸، **صندوق پستی:** ۱۷۳۳-۶۱۷۷۵

**تلفکس:** ۰۶۱-۳۲۹۰۹۱۶۵

**نشانی سایت:** [www.oxinsteel.ir](http://www.oxinsteel.ir)

**پست الکترونیکی:** [rollingjournal@oxinsteel.ir](mailto:rollingjournal@oxinsteel.ir)

**چاپ مطالب به منزله تایید دیدگاه پدید آورندگان**

**آن نیست.**

**نقل و اقتباس از مطالب این نشریه با ذکر ماخذ آن**

**بلامانع است. دستورالعمل تهیه مقالات جهت درج**

**در این نشریه در صفحه آخر ارائه شده است.**

صفحه	عنوان
۲	پیام مدیر عامل و مدیر مسئول
۴	تعیین دمای بهینه عملیات حرارتی نرماله کردن بر روی ورق فولادی ASTMA516-Gr70 تولید شده به روش نورد گرم
۸	تاثیر Ti و Nb بر روی رفتار تبلور مجدد دینامیکی فولادهای کم کربن
۱۴	پاکسازی نرمة های اکسید آهن از باکتری های احیا کننده سولفات در صنعت نورد گرم فولاد با استفاده از مقدار بهینه بایوسایدهای CMIT/MIT
۱۸	تولید الکتريسيته ساکن در طی تصفيه روغن
۲۶	نقش نظام پیشنهادات در شکل گیری عادت مسئله یابی و رفع مشکلات خط تولید شرکت فولاد اکسین خوزستان
۳۰	ادغام سیستم کنترل کیفیت با سیستم رهگیری محصول در خط تولید شرکت فولاد اکسین خوزستان برای اولین بار در کشور
۳۶	تعمیر اساسی و بومی سازی سیستم اتوماسیون ماشین برش هواگاز در شرکت فولاد اکسین خوزستان
۴۲	تحلیل روند بازار داخلی و بین المللی ورق فولادی
۵۵	Production of Ultrafine Grained API X70 Steel with Controlled Rolling
۷۱	Analytical approach of asymmetrical thermo- mechanical rolling by slab method
۷۲	دستورالعمل تهیه مقاله برای فصلنامه تخصصی نورد فولاد

## پیام مدیر عامل

همانطور که می دانیم پژوهش ضامن بقای هر صنعت بوده و هرگونه هزینه کردن در آن، سرمایه گذاری برای آینده است. ارتباط مستقیم بین دانشگاه و صنعت در ایران در راستای کاربردی کردن پژوهش ها از اهمیت فراوانی برخوردار است. در کشورهای پیشرفته رابطه صنعت و دانشگاه آنقدر عمیق شده که با هم عجین شده اند. چنین تعاملی ریشه در این اصل دارد که در کشورهای توسعه یافته دانشگاه پا به پای صنعت در حال حرکت است و در واقع هر دوی اینها به روز هستند. این رابطه برای طرفین سودآور است.

دانشگاه به عنوان یکی از متولیان مرزگشائی علمی مطرح است و در عین حال پرورش نیروهای توانمند علمی را در دستور کار خود دارد و در مقابل صنعت از این دو پرورده دانشگاه در جهت ارتقاء خود بهره می برد. نیروی انسانی، تحقیق را در دانشگاه آموخته و در کمترین زمان برنامه ها و اهداف صنعت را تشخیص داده و درصدد چاره جویی آن بر می آید مشروط به اینکه صنعت بستری برای تحقیقات و انتشار دانش دایر کند و برنامه های تحقیقاتی خود را از آن طریق دنبال کند. شرکت فولاد اکسین خوزستان با تاسیس و بهره برداری از مرکز تحقیقات نورد فولاد در دانشگاه شهید چمران اهواز و نیز تدوین و انتشار فصلنامه تخصصی نورد فولاد با هدف تبادل آخرین اطلاعات علمی - پژوهشی صنعت نورد با دانشگاهیان و صنعتگران کشور، در این راستا قدم های موثری را برداشته است.

عبدالرضا محمود پور

## پیام مدیر مسئول

نسخه حاضر فصلنامه تخصصی نورد فولاد همانند شماره قبلی، شامل سه بخش "مقالات علمی"، "بومی سازی در صنعت نورد فولاد" و "تحلیل بازار ورق های فولادی" می باشد.

بخش اول دربرگیرنده ۵ مقاله علمی - پژوهشی در موضوعات متالورژی عملیات ترمومکانیکی فولاد، عملیات حرارتی ورق های فولادی، تاسیسات نورد و نظام پیشنهادها و ۲ مقاله ترجمه در موضوعات "تولید الکتروسیته ساکن در حین تصفیه روغن" و "اثر عناصر آلیاژی بر رفتار تبلور مجدد فولادها" می باشد.

در بخش بومی سازی در صنعت نورد فولاد، ۲ مقاله یکی با موضوع "ادغام سیستم کنترل کیفیت با سیستم رهگیری محصولات در خط تولید" و دیگری با موضوع "بومی سازی سیستم اتوماسیون ماشین برش هوا گاز"، آورده شده است.

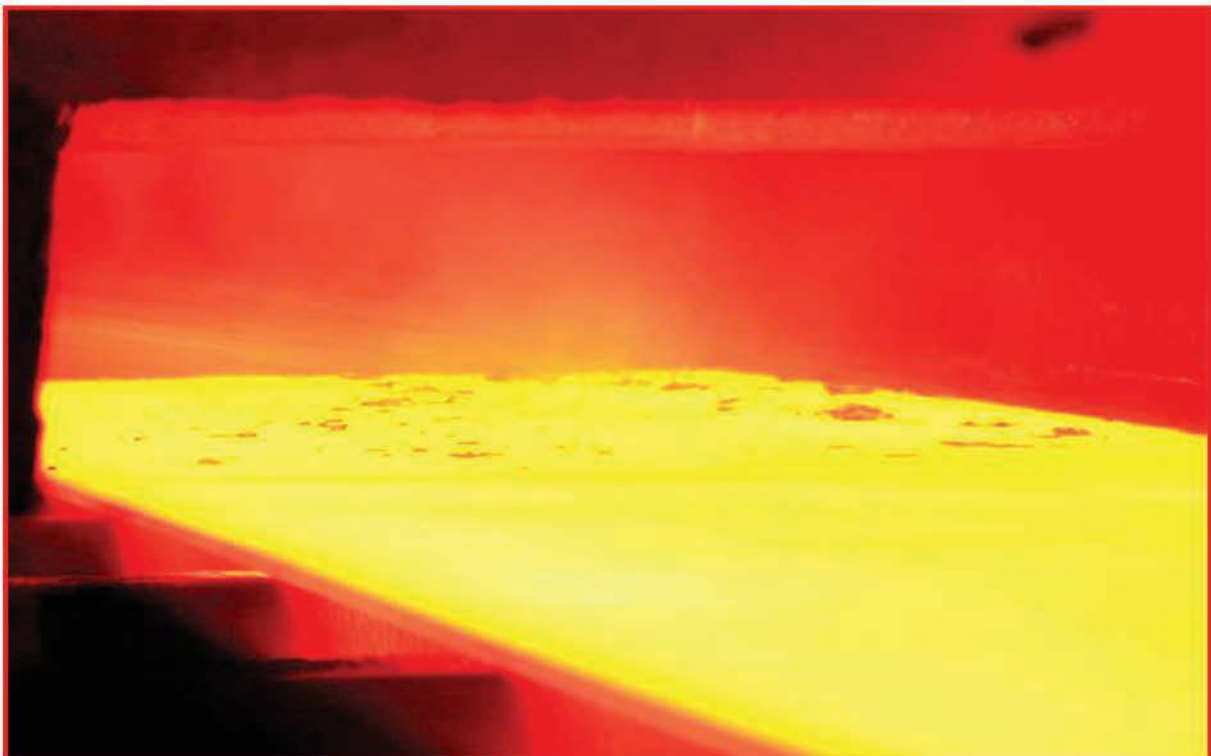
در بخش "تحلیل بازار ورق های فولادی" آخرین تحولات این حوزه گردآوری شده است. در پایان از تمامی پژوهشگران، دانشگاهیان و صنعتگران که با ارسال مقالات و نوشته های خود ما را در تدوین این نشریه یاری کردند سپاسگزاری می نمایم و همواره نظرات خوانندگان گرامی چراغ راه ما خواهد بود.

رضا آبدیده

# مقالات علمے

(فارسے)





## تعیین دمای بهینه عملیات حرارتی نرماله کردن بر روی ورق فولادی ASTM A516-Gr70 تولید شده به روش نورد گرم

بهرنگ اهدائی<sup>۱</sup>، امین رضا بیضاوی، مسلم محمدی زاده، سعید پشم فروش، علی باوی  
شرکت فولاد اکسین خوزستان

### چکیده

در این پژوهش اثر دماهای مختلف عملیات حرارتی نرماله کردن بر روی ریزساختار و خواص مکانیکی فولاد ساده کربنی و میکرو آلیاژی ASTM A516-Gr70 جهت تعیین دمای بهینه مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه ها به مدت زمان ۲۰ دقیقه در دماهای ۸۳۰، ۸۵۰، ۸۷۰ و ۸۹۰ درجه سانتیگراد در کوره های عملیات حرارتی قرار داده شد. جهت بررسی خواص مکانیکی و ریزساختاری از آزمون کشش و روش متالوگرافی استفاده شد. با تحلیل نتایج مشخص شد که با افزایش دمای عملیات نرماله کردن تا ۸۷۰ درجه ساختار فریت و پرلیت کشیده ناشی از نورد تغییر یافته و به پرلیت ریز کروی با پراکندگی یکنواخت در زمینه فریتی تبدیل می شود. با افزایش دما به ۸۹۰ درجه سانتیگراد رشد دانه اتفاق افتاده و خواص مکانیکی افت می کند. در نهایت دمای ۸۷۰ درجه سانتیگراد به عنوان دمای بهینه عملیات حرارتی نرماله کردن فولاد ASTM A516-Gr70 تعیین شد.

واژگان کلیدی: ASTM A516، نرماله کردن، فولاد میکروآلیاژی.

1- B.ehdai@oxinsteel.ir

## مقدمه

عناصر بر روی محل خطوط بحرانی در این نمودار مناسب ترین راه جهت بدست آوردن دمای شروع آستنیت شدن در گرمایش، استفاده از فرمول های تجربی در این زمینه است. در این پژوهش به منظور بدست آوردن دمای شروع آستنیت شدن از رابطه (۱) استفاده شد [۳].

رابطه (۱)

$$AC3 = 910 - 203\sqrt{C} - 15.2Ni + 44.7Si + 104V + 31.5Mo + 13.1W - (30Mn + 11Cr + 20Cu - 700P - 400Al - 120Ars - 400Ti)$$

با قراردادن ترکیب شیمیایی ورق مورد استفاده در فرمول بالا دمای آستنیت شدن ۷۶۸ درجه سانتیگراد تعیین شد. این دمای به عنوان معیاری برای انتخاب ۴ دمای عملیات حرارتی مورد توجه قرار گرفت. با اتکا به موارد ذکر شده عملیات حرارتی نرماله کردن با دما های ۸۳۰، ۸۵۰، ۸۷۰ و ۸۹۰ درجه سانتیگراد در یک زمان ثابت (۲۰ دقیقه) بر روی فولاد مذکور انجام شد و اثر این پارامتر بر روی ریزساختار و خواص مکانیکی آن مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت دمای بهینه عملیات نرماله کردن استخراج گردید.

به منظور ارزیابی استحکام کششی این ورق فولادی از روش آزمون کشش تک محوره استفاده گردید. نمونه سازی و آزمون بر اساس استاندارد ASTM A370 انجام شد.

جهت بررسی ریز ساختار و ارزیابی کیفی این ورق فولادی در شرایط مختلف عملیات حرارتی نرماله کردن در دماهای ذکر شده انجام شد. نمونه سازی و بررسی ریزساختار جهت متالوگرافی بر اساس استاندارد ASTM E112 صورت گرفت. محلول اچ مورد استفاده نایتال ۲٪ بوده و میکروسکوپ نوری مورد استفاده olympuse مدل PMG3 بوده است.

## بحث و نتیجه گیری

تأثیر دمای عملیات نرماله کردن بر ریز ساختار شکل ۱ تصاویر متالوگرافی مربوط به ریز ساختار نمونه های a تا e که به ترتیب عملیات حرارتی نشده و نرماله شده در ۸۳۰، ۸۵۰، ۸۷۰ و ۸۹۰ درجه سانتیگراد می باشند را نشان می دهد. با دقت در تصاویر متالوگرافی در شکل ۱ مربوط به نمونه های a و b و مقایسه آن ها می توان نتیجه گرفت که دمای ۸۳۰ درجه برای تغییر فازهای ناشی از نورد به آستنیت و انحلال و توزیع کربن در آنها کافی نبوده است. در این دو تصویر دانه های کشیده شده ناشی از نورد و مورفولوژی نواری پرلیت قابل مشاهده است. میزان تغییر در فازها و ضریب نفوذ کربن در هر فاز وابسته به دما است. همچنین میزان نفوذ و همگن بودن در ساختار تابع دما و زمان می باشد. چنانچه دما و زمان عملیات حرارتی کافی باشد طی

فولاد ASTM A516-Gr70 از جمله فولاد های ساده کربنی و میکرو آلیاژی استحکام بالا با مقادیر محدودی عناصر آلیاژی می باشد که به جهت کنترل رشد دانه های آستنیت و بهبود خواص مکانیکی به ویژه تافنس به کار گرفته می شود. در حال حاضر ورق فولادی A516 کاربرد بسیار زیادی در ساخت بدنه مخازن تحت فشار دارد که علت آن دارا بودن همزمان استحکام و قابلیت انعطاف مطلوب و قابلیت جذب انرژی ضربه در دمای پایین است. فولاد A516 برای کاربرد در بویلرهای جوشکاری شده و دیگر مخازن تحت فشار نیز مناسب است. همه گرید ها تولید شده از این خانواده ی فولادی دارای خواص مکانیکی و ویژگی های کلی یکسانی هستند. ماکزیمم ضخامت ورق هایی تحت این مشخصات تولید می گردند به صورت جدول (۱) است [۱].

یکی از روش های کم هزینه و مرسوم برای بهبود خواص مکانیکی این فولادهای تولید شده با روش نورد گرم، عملیات حرارتی می باشد. در این فولاد ها در صورت اضافه نمودن عناصر آلیاژی معمولاً سرعت رشد دانه به علت اثر کششی اتم محلول عناصر آلیاژی جدایش یافته به داخل مرز دانه ی آستنیت کاهش می یابد [۱، ۲]. کنترل رشد دانه های آستنیت در طی پروسه نورد گرم و نهایتاً عملیات حرارتی، بسته به نوع و مقدار عناصر آلیاژی دارد. تحقیقات نشان می دهد که تشکیل کاربید ها، نیتريد ها و کربونیتريد ها (ذرات فاز ثانویه) موجب قفل شدن مرز دانه ها می گردد و این کار بقدری موثر می باشد که باعث می شود در دماهای پایین آستنیت کردن، هیچ رشد دانه ای اتفاق نیافتد [۳].

## روش تحقیق

در این پژوهش فولاد ساده کربنی و میکرو آلیاژی ASTM A516-Gr70 مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت، ترکیب شیمیایی این فولاد در جدول (۲) آمده است. این فولاد طی مراحل ذوب در کوره قوس الکتریکی به صورت تختال ریخته گری شد. سپس این تختال طی انجام یک پروسه نورد گرم به ورق با ابعاد ۶۰۰۰\*۲۰۰۰\*۲ میلی متر تبدیل گردید. سپس قطعاتی از این ورق جدا شده و تحت عملیات حرارتی نرماله کردن با ۴ سیکل متفاوت عملیات حرارتی مطابق جدول (۳) قرار گرفتند. از این قطعات پس از عملیات حرارتی جهت آزمون های کشش و متالوگرافی نمونه گیری شده است. آنالیز شیمیایی ورق مذکور نشان می دهد که ورق ASTM A516-Gr70 جزء فولادهای ساده کربنی می باشد (جدول شماره ۲).

با توجه به تئوری های مطرح در زمینه عملیات حرارتی نرماله کردن، دمای مناسب این عملیات ۵۰ درجه بالای خط Ae3 در نمودار تعادلی آهن-کربن می باشد. با توجه به اثرگذاری سایر

یکنواختی در زمینه فریتی حاصل شده است. همچنین اندازه دانه فریت زمینه از اندازه دانه های فریت حاصل از نورد کمتر است که این امر را می توان علت بهبود خواص مکانیکی دانست [7].

با دقت در عکس های متالوگرافی و نتایج از مون کشش نمونه شماره ۵ می توان مشاهده کرد که در بعضی از مناطق فرآیند رشد دانه رخ داده است و به همین علت خواص مکانیکی پایین تر از نمونه شماره ۴ می باشد. در نهایت با توجه به بررسی های صورت گرفته دمای بهینه عملیات حرارتی نرماله کردن ۸۷۰ فولاد ASTM A516 Gr70 درجه سانتیگراد تعیین شد.

### نتیجه گیری

۱- با انجام عملیات حرارتی نرماله کردن در دماهایی پایین تر از ۸۷۰ درجه سانتیگراد برای نمونه های نورد شده با ضخامت 20mm ، فرآیند آستنیت و تبلور مجدد به طور کامل رخ نمی دهد و ساختارهای کشیده ناشی از نورد با ساختارهای کروی جایگزین نمی گردند.

۲- عملیات حرارتی نرماله کردن با دمای ۸۷۰ درجه سانتیگراد منجر به ریز شدن دانه های می شود.

۳- دمای بهینه عملیات حرارتی نرماله کردن برای فولاد ASTM A516 Gr70 تولید شده به روش نورد گرم ۸۷۰ درجه سانتیگراد است.

۴- عملیات حرارتی نرماله کردن در دمای بالاتر از ۸۷۰ درجه سانتیگراد منجر به رشد دانه و افت خواص مکانیکی می گردد.

### منابع

- [1] T. Gladman, " The Physical Metallurgy of Microalloyed Steel ", The Institute of Materials, London, 1997.
- [2] J.R. Wilcox, R.W.K. Honeycomb, Mater. Sci. Technol, 1987, 3, pp. 849-854.
- [3] I. Anderson, O.Grong, Acta Metall. Mater, 1995, 7, pp.8503-8511.
- [4] ع. ا. اکرامی، عناصر آلیاژی در فولاد، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول، ۱۳۷۵.
- [5] ع. سجادی، "رفتار مکانیکی مواد"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۷۴.
- [6] M.D.C. Sobral, P.R. Mei, H.J. Kestenbach, Materials Science and Engineering A, 367 (1-2), 2004, pp.321-321.
- [7] Y.L.Ustinovschicko, J.N. Shabanova, V.A. Sapukin, And V.A. Trapeznikov, Embrittlement of Alloy Steel During Tempering, Phys. Met. Met. Metall. Vol. 69. No. 2, pp. 91-99, 2012.

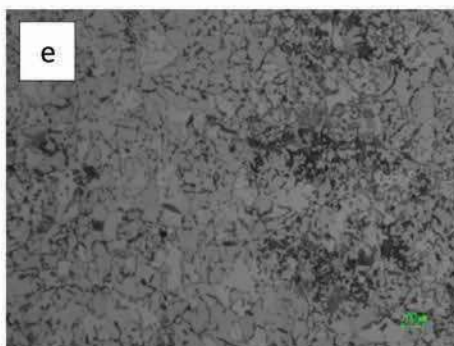
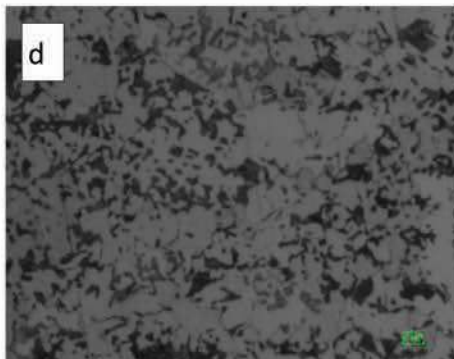
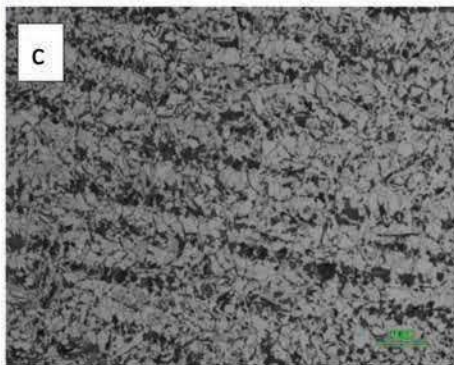
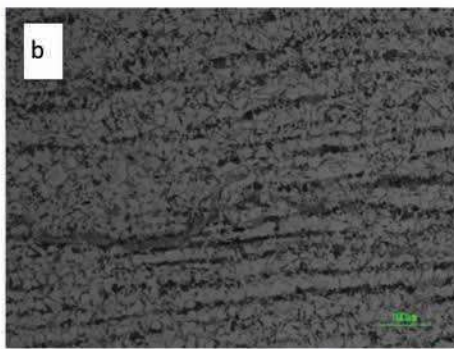
گرمایش، انحلال کربن در آستنیت و توزیع یکنواخت آن صورت می گیرد و پس از سرد شدن در هوا پرلیت های کروی پراکنده در زمینه فریتی ایجاد خواهد شد و ساختارهای حاصل از نورد بصورت نواری وجود نخواهند داشت [۴، ۵]. همچنین با مشاهده تصویر شکل ۱ (c) نیز ساختار پرلیت های نواری قابل مشاهده است. علت این امر دمای پایین عملیات حرارتی و عدم توزیع مناسب کربن در آستنیت می باشد و همچنان مورفولوژی نواری در فازها قابل مشاهده است. شکل ۱ (d) با دمای ۸۷۰ درجه سانتی گراد عملیات حرارتی شده است. با مشاهده تصویر متالوگرافی گرفته شده می توان نتیجه گرفت که کاملاً پرلیت ها به صورت کروی در آمده است. همچنین ساختار به جامانده از مرحله نورد گرم کاملاً اصلاح شده و دمای مورد استفاده جهت انحلال کربن در آستنیت مناسب بوده است. همچنین زمان نگهداری در این دما منجر به رشد دانه ها نگشته است. تصاویر متالوگرافی شکل ۱ (e) نشان می دهد که دما و زمان مورد استفاده برای عملیات حرارتی قرار این فولاد باعث درشت شدن فاز زمینه و افت خواص مکانیکی شده است.

### تاثیر دمای عملیات نرماله کردن بر خواص مکانیکی

با دقت در این نتایج و توجه به تصاویر ریزساختاری هر نمونه می توان ارتباط بین اندازه دانه و مورفولوژی فازها با استحکام تسلیم، استحکام کششی و درصد ازدیاد طول را مشاهده کرد. نتیجه حاصل از آزمون کشش نمونه شماره ۱ و مقایسه آن با استاندارد ASTM A516 نشان می دهد که این ورق قبل از انجام عملیات حرارتی نرماله کردن فاقد حداقل خواص مورد نظر استاندارد بوده و قابلیت به کارگیری را نداشته است.

با انجام عملیات حرارتی بر روی نمونه های شماره ۲ و ۳ در دماهای ۸۳۰ و ۸۵۰ تغییر چندانی در خواص مکانیکی رخ نداده است. نمونه شماره ۲ از نظر استاندارد مورد تایید نمی باشد اما نمونه شماره ۳ با اختلاف کمی بالاتر از حد پذیرش استاندارد قرار دارد و می تواند مورد استفاده قرار گیرد اما باید دقت کرد که این میزان اختلاف باعث کاهش ضریب اطمینان به این محصول شده و به عنوان خواص بهینه برای این ورق قابل قبول نیست. بهبود خواص مکانیکی در نمونه شماره ۳ را می توان به کاهش تنش های پسماند ناشی از نورد، و تبلور مجدد رخ داده در بعضی از نقاط نمونه نسبت داد [۶].

با توجه به عکس های متالوگرافی و نتایج از مون کشش نمونه شماره ۴ می توان مشاهده کرد که عملیات آستنیت کردن در این ورق و در دمای ۸۷۰ درجه سانتی گراد به طور مناسبی انجام شده و تمام ساختارهای فریت و پرلیت کشیده ناشی از نورد تغییر یافته اند. در اثر توزیع یکنواخت و مناسب کربن در آستنیت و همچنین سرد کردن به موقع، پرلیت ریز و



جدول ۱: مشخصات انواع گرید ها فولاد ASTM A516Gr70

70	65	60	55	درجه فولادی (grade)
205	205	205	305	بیشترین ضخامت (mm)

جدول ۲: آنالیز شیمیایی فولاد ASTM A516Gr70

Cu	Al	P	Mn	Si	C	عنصر
0.015	0.055	0.012	1.255	0.265	0.2	درصد وزنی
Fe	Ca	B	N	Sn	Ti	عنصر
98.146	0.002	0	0.003	0.005	0.004	درصد وزنی
Mo	Nb	V	Ni	Cr	S	عنصر
.024	0.032	.018	0.02	0	0.006	درصد وزنی

جدول ۳: اطلاعات عملیات حرارتی بر روی نمونه های فولاد ASTM A516Gr70

دمای عملیات حرارتی (C°)	زمان (min)	نمونه
بدون عملیات حرارتی	-----	1
830	20	2
850	20	3
870	20	4
890	20	5

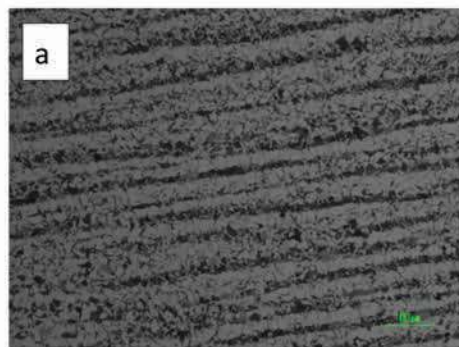
جدول ۴: نتایج آزمون کشش

EL(8")%	TS(Mpa)	YS (Mpa)	شماره نمونه
20	479	245	1
21	490	257	2
22	515	264	3
24	527	288	4
25	505	271	5

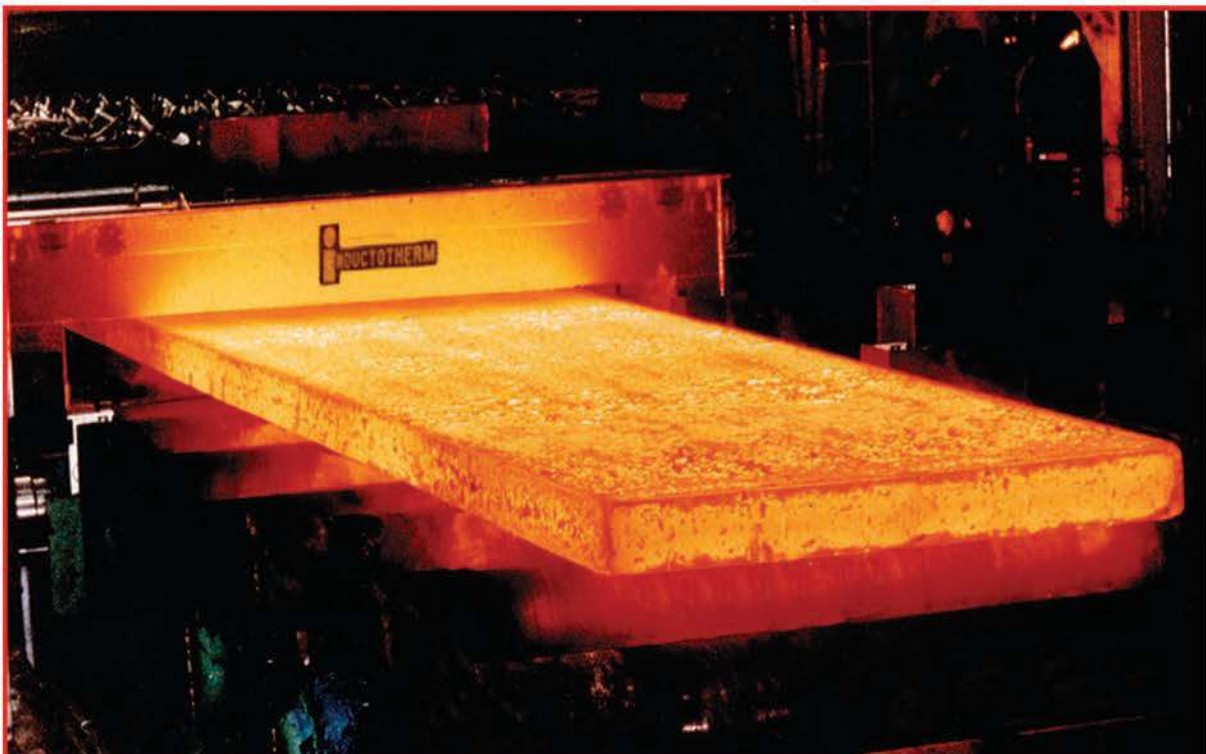
شکل ۱: تصاویر متالوگرافی مربوط به ریز ساختار نمونه های a: عملیات نشده

b: نرماله در دمای ۸۳۰ درجه سانتی گراد c: ۸۵۰ درجه سانتی گراد

d: ۸۷۰ درجه سانتی گراد e) ۸۹۰ درجه سانتی گراد







## تاثیر Nb و Ti بر روی رفتار تبلور مجدد دینامیکی فولادهای کم کربن

MA Li-qiang, LIU Zhen-yu, JIAO Si-hai, YUAN Xiang-qiad, WU Di

مترجم: ایمان برون  
شرکت فولاد اکسین خوزستان

### چکیده

با استفاده از دستگاه شبیه ساز ترمومکانیکال<sup>۱</sup> Gleeble-3800، تاثیر Nb و Ti بر روی رفتار تبلور مجدد دینامیکی<sup>۲</sup> (DRX) در فولادهای کم کربن مورد بررسی قرار گرفت. تست های فشاری تک محوره همدمای در محدوده دمایی 850 - 1150 درجه سانتیگراد و نرخ کرنش های ثابت<sup>۱</sup> 0.5-1s<sup>-1</sup> انجام شد. نتایج تست ها نشان داد که افزایش Nb و Ti به فولاد کم کربن، به طور قابل ملاحظه ای باعث افزایش تنش قله<sup>۳</sup> ( $\sigma_p$ ) و تنش حالت پایدار<sup>۴</sup> ( $\sigma_{ss}$ ) می شود، همچنین نشان داد که انرژی فعال سازی تغییر شکل<sup>۵</sup> ( $Q_p$ ) از انرژی فعال سازی که همراه با تنش حالت پایدار ( $Q_{ss}$ ) باشد، بزرگتر است. به علاوه اختلاف بین  $Q_p$  و  $Q_{ss}$  با افزایش Nb و Ti بیشتر می شود. از طرفی به خاطر کشیدگی محلول و قفل شدن رسوبات دینامیکی Ti و Nb، بطور موثری باعث به تاخیر افتادن DRX می شود که نتیجه آن افزایش مقادیر کرنش قله<sup>۶</sup> ( $\epsilon_p$ ) و کرنش حالت پایدار<sup>۷</sup> ( $\epsilon_{ss}$ ) می باشد. در نهایت تاثیر Nb و Ti بر روی نیرو محرکه DRX و اندازه دانه حالت پایدار مشخص شد.

واژگان کلیدی: تنش قله، کرنش قله، انرژی فعال سازی، تبلور مجدد دینامیکی.

- 1- Thermo-Mechanical Simulator
- 2 - Dynamic Recrystallization
- 3 - Peak Stress
- 4 - Steady State Stress
- 5 - Activation Energy of Deformation
- 6 - Peak Strain
- 7 - Steady State Strain

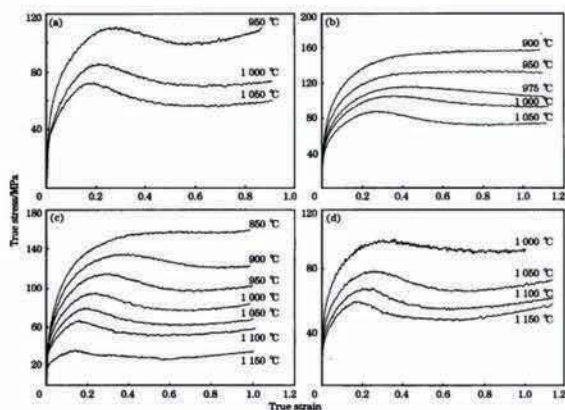
دمایی به مدت 30 ثانیه در این دما نگه داشته شدند. همچنین برای جلوگیری از اکسیداسیون سطح نمونه ها، از گاز نیتروژن و جهت کاهش اصطکاک بین نمونه ها و سندان، از ورق های تانتالوم<sup>8</sup> در دو انتهای نمونه ها استفاده شد و نهایتاً نمونه ها با نرخ کر  $1.2s^{-1}$  تحت فشار قرار گرفته و از 12mm به 3.6mm کاهش طول پیدا کردند. در هنگام تغییر شکل، نمونه ها طبق دستورالعمل استاندارد جهت مشاهده ریزساختار، تا دمای اتاق بوسیله آب خنک و سپس پالیش شده و توسط محلول غلیظ اسید پیکریک<sup>9</sup> جهت مشخص شدن ریزساختار آستنیت، اچ شدند. مشاهده و تعیین خواص به وسیله میکروسکوپ نوری و متوسط اندازه دانه به روش برش خطی<sup>10</sup> (AGI) تعیین شد.

## بحث و نتیجه گیری

### نمودارهای تنش سیلان

نمودارهای تنش سیلان نمونه ها در شکل 1 نشان داده شده است. شکل های (a) تا (d) به ترتیب مربوط به نمونه های A، B، C و D می باشند. همان طور که انتظار می رفت، مقادیر کرنش قله، کرنش حالت پایدار، تنش قله و تنش حالت پایدار با کاهش دمای تغییر شکل، افزایش می یابند. نمودار نمونه های فولادی دارای اختلاف می باشند که این اختلاف به خاطر افزودن Nb و Ti می باشد. افزودن Nb و Ti باعث تاخیر در فرایند تبلور مجدد دینامیکی و استحکام دهی محلول می شود که دگرگونی قابل ملاحظه ای را در رفتار سیلان آستنیت در فولادهای کم کربن ایجاد می کند.

شکل 1- نمودارهای تنش سیلان برای نمونه های فولادی (A)(a) و (B)(b)، C(c)، D(d) در نرخ کرنش  $s^{-1}$



- 8 - Tantalum
- 9 - Picric Acid
- 10 - Average Grain Intercept Method

تحقیقات عملی بر روی DRX آستنیت، اهمیت زیادی در پیش بینی ساختار میکروسکوپی و همچنین بهینه کردن فرایند کنترل مکانیکی دما در فرایند نورد دارد از این رو تلاش های زیادی برای جنبه های گوناگون DRX، نیرو محرکه قابل توجه و اندازه دانه اختصاص یافت و تاثیر عناصر آلیاژی بر روی این پدیده ها مورد بررسی قرار گرفت [4-1]. بیشتر این مطالعات بر روی تاثیر افزایش Nb به تبلور مجدد آستنیت متمرکز شده است و تاثیر افزایش Ti و افزایش همزمان Nb و Ti بر روی DRX هنوز به طور جدی مورد مطالعه قرار نگرفته است. هدف از این مطالعه، تحقیق در مورد تاثیر عناصر Nb و Ti بر روی رفتار DRX فولادهای کم کربن و درک بهتر نقش این عناصر میکروآلیاژ در فولاد می باشد. مطالعه انجام شده در مورد تاثیر Nb و Ti بر روی جنبه های گوناگون DRX، که شامل انرژی فعال سازی، مشخصه های کرنش، نیرو محرکه ها و همچنین اندازه دانه در حالت پایدار، همانند مدل های کوچکی است که قبلاً مورد مطالعه قرار گرفته اند.

## مواد و روش آزمایش

چهار نوع فولاد کم کربن (A, B, C, D) که حاوی Nb و Ti می باشند و توسط فرایند ذوب و ریخته گری تحت خلاء استاندارد تولید شده اند، جهت آزمایش انتخاب شدند. نمونه فولادی A به عنوان مرجع استفاده شد. جدول 1 آنالیز شیمیایی فولادهای تحت آزمایش را نشان می دهد. نمونه ها به صورت استوانه ای شکل با طول 12mm و با نسبت طول به قطر 1.5 ماشینکاری و تولید شدند. تست های فشاری همدمای توسط دستگاه شبیه ساز ترمومکانیکال Gleeble-3800 انجام شد. دمای آستنیتن کردن نمونه های فولادی A و B درجه سانتیگراد بوده که بالاتر از دمای محلول جامد تعادلی ( $T_c$ ) است و برای نمونه های فولادی C و D درجه سانتیگراد انتخاب شد. این دماها به وسیله معادله ای که توسط Siciliano و همکارانش توسعه یافت [8]، محاسبه شدند. بر اساس معادله حاصل ضرب قابلیت انحلال [9-10] و مدل انحلال منظم زیرشبکه [11]، مشخص شد که در این دماها، تمام Nb و مقدار زیادی از Ti در آستنیت حل می شوند.

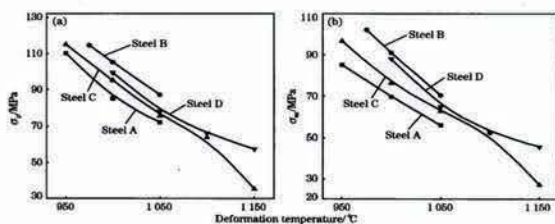
جدول 1- آنالیز شیمیایی نمونه های فولادی مورد آزمایش بر حسب درصد جرمی

Steel	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	N
A	0.11	0.15	1.15	0.005	0.005	-	-	0.004
B	0.11	0.17	1.23	0.006	0.005	0.038	-	0.004
C	0.12	0.18	1.23	0.006	0.005	-	0.015	0.004
D	0.13	0.18	1.25	0.006	0.005	0.039	0.031	0.004

تست های فشار، در نرخ کرنش های ثابت  $0.5-1s^{-1}$  انجام شدند. نمونه ها دوباره تا دمای آستنیت گرم شده و به مدت 3 دقیقه در این دما نگه داشته شدند، سپس با نرخ خنک کردن  $4C^{\circ}/s$  تا دمای 850-1150 درجه سانتیگراد برای رسیدن به دمای تغییر شکل خنک شده و سپس جهت حذف ناهمگنی

با توجه به داده های موجود در جدول 2، می توان دید که مقادیر  $Q_d$  نسبت به  $Q_{ss}$  سایر نمونه های فولادی بالاتر می باشد که این موضوع با مشاهدات Mequeen [18] مطابقت دارد. بعلاوه اختلاف بین  $Q_d$  و  $Q_{ss}$  به خاطر افزایش Nb و Ti قابل توجه می باشد که می تواند به این دلیل باشد که با افزایش Nb و Ti، مقدار  $Q_d$  به طور قابل توجهی افزایش پیدا می کند و این در صورتی است که مقدار  $Q_{ss}$  افزایش جزئی دارد. حضور Nb و Ti به طور چشمگیری بر روی حرکت و جنبش نابجایی ها و مرزدانه های فرعی اثر می گذارد که این امر منجر به تاخیر قوی در فرایند بازیابی دینامیکی و شروع تبلور مجدد دینامیکی می شود [3]. بنابراین  $Q_d$  مربوط به این دو رویداد متالورژیکی، افزایش زیادی دارد. از طرف دیگر Ti و Nb موجود در محلول ها، نرخ مهاجرت مرزدانه ها و مرزدانه های فرعی را به طور جزئی کاهش می دهد که این موضوع منجر به تضعیف تاخیر در تبلور مجدد دینامیکی می شود [2]. در نتیجه  $Q_{ss}$  مربوط به سینتیک DRX، اندکی افزایش پیدامی کند.

شکل ۲- تاثیر Ti و Nb و دمای تغییر شکل بر روی  $\sigma_p$  (a) و  $\sigma_{ss}$  (b) در نرخ کرنش  $0.1s^{-1}$



در شکل 3 (a) و (b) تاثیر Nb و Ti و دمای تغییر شکل بر روی کرنش قله و کرنش حالت پایدار را نشان می دهد. همانطور که در شکل 3 (a) نشان داده شده است، نمودارهای  $\ln \dot{\epsilon}_p$  و  $T/1$  برای فولادهای A و C، یک رابطه خطی در محدوده دمای تغییر شکل را نشان می دهد. با این وجود، یک نقطه گذار در نمودار مذکور برای نمونه های B و D مشاهده می شود و دماهای تغییر شکل، متناظر با نقطه های گذار برای نمونه های B و D به ترتیب 1000 و 1050 درجه سانتیگراد می باشند. پیدایش نقاط گذار ممکن است به خاطر وقوع رسوب دینامیکی ذرات کاربید و نیتريد Nb برای نمونه فولادی B و کمپلکس کاربونیتر بدماهای Nb-Ti برای نمونه D، پیش از انجام DRX باشد [4-12]. همانطور که در شکل 3 قسمت (b) مشخص است، کرنش حالت پایدار با کاهش دمای تغییر شکل و افزایش Nb و Ti افزایش پیدا می کند. همچنین مقدار کرنش حالت پایدار برای نمونه های فولادی میکروآلیاژی Nb دار (نمونه B) به بیشینه مقدار خود میرسد که این می تواند به خاطر اثر قدرتمند تاخیری Nb بر تبلور مجدد دینامیکی باشد. تاثیر Nb و Ti و شرایط تغییر شکل بر روی کرنش قله و کرنش حالت پایدار را می توان به وسیله معادلات زیر توضیح داد [14-19].

تاثیر Nb و Ti بر روی تنش قله و تنش حالت پایدار در شکل 2، عکس های a و b تاثیر Nb و Ti، تاثیر دمای تغییر شکل بر تنش قله ( $\sigma_p$ ) و تنش حالت پایدار ( $\sigma_{ss}$ ) را نشان می دهند. می توان دید که با افزایش دمای تغییر شکل در همه نمونه های فولادی تحت آزمایش، هر دو تنش قله و حالت پایدار کاهش پیدا می کنند.

همچنین می توان مشاهده کرد که با افزایش Ti، Nb و Ti+ Nb، مقادیر تنش قله و تنش حالت پایدار افزایش پیدا می کنند که این موضوع به دو علت بستگی دارد. اول اینکه محلولی که با عنصر Nb استحکام دهی شود دارای استحکام بیشتری نسبت به محلولی است که با Ti استحکام دهی شده است، زیرا اندازه اتمی و اختلاف الکترونی Nb نسبت به آهن آستنیت بزرگتر از نسبت Ti به آهن آستنیت می باشد [12]. دوم اینکه افزودن Ti به فولاد میکروآلیاژی Nb دار، باعث کاهش مقدار Nb حل شده در آستنیت می شود و در واقع مقداری از Nb به عنوان N(Ti,Nb) تجمع پیدا خواهد کرد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که افزودن همزمان Ti و Nb باعث کاهش تاثیر استحکام دهی می شود.

تاثیر Nb و Ti و شرایط تغییر شکل بر روی تنش قله و تنش حالت پایدار را می توان به کمک معادلات زیر تحلیل کرد.

$$1) Z = \epsilon^{\circ} \exp(Q_d / RT) = A \sinh(\alpha \sigma_p)^n$$

$$2) \sigma_{ss} = A_{ss} [\epsilon^{\circ} \exp(Q_{ss} / RT)]^{1/n_{ss}}$$

در معادلات بالا، Z پارامتر زرنر-هولومن<sup>11</sup>،  $\epsilon^{\circ}$  نرخ کرنش،  $Q_d$  انرژی فعال سازی تغییر شکل، R ثابت گازها، T دما مطلق (کلوین)،  $Q_{ss}$  انرژی فعال سازی در حالت تنش پایدار و A،  $A_{ss}$ ،  $n$ ،  $n_{ss}$  و  $q_{ss}$  ثابت های مربوط به ماده می باشند. از این طریق، مقادیر  $Q_d$  برای همه نمونه های فولادی مورد آزمایش تعیین و در جدول 2 آورده شده است. پارامترهای a و n نیز با استفاده از روش پیشنهادی که توسط Jonas & Uvira ارائه شد، تعیین شدند [15] و همچنین مقادیر  $A_{ss}$ ،  $Q_{ss}$  و  $q_{ss}$  به وسیله تحلیل رگرسیون<sup>12</sup> تعیین و در جدول 2 آمده است. مقادیر بدست آمده در این آزمایشات با مقادیر بدست آمده در سایر تحقیقات مطابقت دارد [16-17].

جدول ۲- نتایج محاسبه شده انرژی فعال سازی و پارامترهای نمونه های فولادی

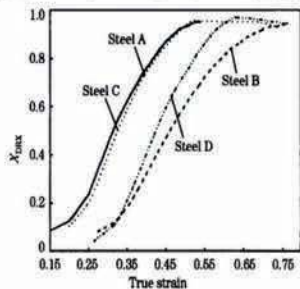
Steel	$Q_d$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )	n	$\alpha$ / Mpa <sup>-1</sup>	A	$Q_{ss}$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )	$q_{ss}$	$A_{ss}$
A	335.4	4	0.006	$2.9 \times 10^{14}$	325.5	0.174	0.47
B	423.4	5.31	0.0097	$8.8 \times 10^{14}$	347.9	0.174	0.51
C	361.1	5.31	0.012	$3.1 \times 10^{14}$	338.7	0.0174	0.45
D	436.3	5.6	0.014	$9.9 \times 10^{14}$	351.4	0.178	0.52

11) Zener-Hollomon Parameter

12) Regression Analysis

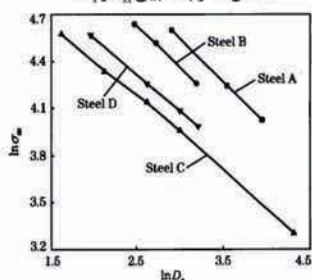
<sup>13</sup>تحلیل رگرسیون، یک فرایند آماری برای تخمین روابط بین متغیرها است. این تحلیل نشان می دهد که چگونه مقدار متغیر وابسته با تغییر هر کدام از متغیرهای مستقل و با ثابت بودن دیگر متغیرهای مستقل تغییر می کند.

شکل ۴- تاثیر Nb و Ti بر روی سینتیک DRX در نرخ کرنش  $0.1s^{-1}$  و دمای  $1050^{\circ}C$  درجه سانتیگراد



در شکل 5 رابطه بین تنش حالت پایدار و اندازه دانه حالت پایدار ( $D_p$ ) نشان داده شده است. می توان دید که با افزایش تنش حالت پایدار، اندازه دانه حالت پایدار، کاهش می یابد که این امر به خاطر افزایش Nb و Ti می باشد. کاهش در  $D_p$  به خاطر افزایش Nb و Ti ممکن است باعث اثر تاخیری قدرتمند در رشد دانه های نامحلول تبلور مجدد یافته جدید و رسوب دینامیکی کربونیتزیدهای Nb و Ti شود. در شکل 5، وابستگی  $\sigma_{ss}$  و  $D_p$  به خوبی نشان داده شده است [20].

شکل ۵- رابطه بین  $\sigma_{ss}$  و  $D_p$



$$6) \sigma_{ss} = BD_p^{(k)}$$

در معادله بالا مقادیر B و k توسط تحلیل رگرسیون تعیین و در جدول 3 آورده شده است. همچنین مشاهده می شود که مقادیر B و k به خاطر افزودن Nb و Ti، کاهش می یابند.

### نتیجه گیری

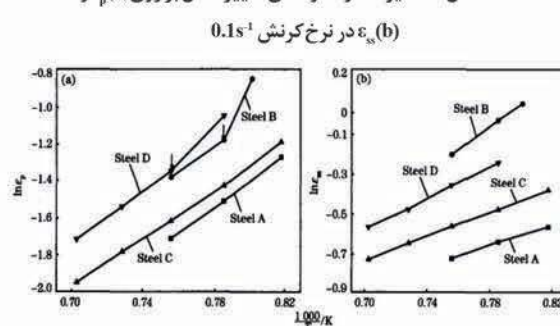
- افزودن Nb و Ti به فولادهای کم کربن، بطور قابل ملاحظه ای باعث افزایش تنش قله و تنش حالت پایدار می شود.
- انرژی فعال سازی تغییر شکل بزرگتر از انرژی فعال سازی ناشی از تنش حالت پایدار است. بنابراین اختلاف بین  $Q_p$  و  $Q_{ss}$  به خاطر افزودن Nb و Ti قابل توجه می باشد.
- شروع تبلور مجدد دینامیکی، به خاطر کشیدگی محلول و قفل شدن رسوب دینامیکی Nb و Ti به تأخیر می افتد که نتیجه آن بالا رفتن مقادیر کرنش قله می باشد.
- سینتیک تبلور مجدد دینامیکی به خاطر افزودن Nb و Ti کاهش می یابد.
- کاهش اندازه دانه حالت پایدار با افزایش تنش حالت پایدار که علت آن افزایش Nb و Ti می باشد.

$$3) \varepsilon_p = A_1 D_0^{P_1} Z^{q_1}$$

$$4) \varepsilon_{ss} = A_2 D_0^{P_2} Z^{q_2}$$

در معادلات بالا،  $D_0$  اندازه دانه آستنیت اولیه،  $A_1$  و  $A_2$  ثوابت ماده،  $p_1$ ،  $p_2$ ،  $q_1$  و  $q_2$  پارامترهای مدل می باشند. با توجه به تحقیقاتی که قبلاً انجام شده [3,9]، مقادیر  $P_1$  و  $P_2$  معمولاً 0.5 می باشد و مقادیر  $A_1$ ،  $A_2$ ،  $q_1$  و  $q_2$  به وسیله تحلیل رگرسیون تعیین شدند. همه پارامترهای مدل ها در جدول 3 خلاصه سازی شدند. همانطور که نشان داده شده است، مقادیر  $q_1$  و  $q_2$  برای همه نمونه های فولادی مورد آزمایش نزدیک به هم می باشند. بعلاوه مقادیر  $A_1$  و  $A_2$  به دلیل افزودن Nb و Ti افزایش می یابند.

شکل ۳- تاثیر Nb و Ti و دمای تغییر شکل بر روی  $\varepsilon_p$  (a) و  $\varepsilon_{ss}$  (b) در نرخ کرنش  $0.1s^{-1}$



جدول ۳- پارامترهای محاسبه شده مدل ها

Steel	$A_1$	$P_1$	$q_1$	$A_2$	$P_2$	$q_2$	$m$	$B$	$k$
A	$2.5 \times 10^{-4}$	0.5	0.149	$4.5 \times 10^{-4}$	0.5	0.15	1.57	478	0.5
B	$3.5 \times 10^{-4}$	0.5	0.152	$5.5 \times 10^{-4}$	0.5	0.149	1.27	379	0.53
C	$2.6 \times 10^{-4}$	0.5	0.15	$4.7 \times 10^{-4}$	0.5	0.151	1.43	208	0.47
D	$2.9 \times 10^{-4}$	0.5	0.149	$4.8 \times 10^{-4}$	0.5	0.149	1.36	240	0.47

تکته: m ثابت ماده، B ثابت مستقل ماده و k پارامتر مدل می باشد.

### تاثیر Nb و Ti بر روی انرژی جنبشی DRX

تاثیر Nb و Ti بر روی سینتیک DRX در شکل 4 نشان داده شده است. می توان مشاهده کرد که بخش هایی از نمودارهای تبلور مجدد دینامیکی به کرنشی بزرگ تغییر مسیر می دهند که این امر به خاطر افزایش Nb و Ti می باشد که به طور عمده به علت تأخیر بر روی عناصر Nb و Ti توسط تأثیر کشیدگی محلول می باشد. همانطور که در شکل 4 نشان داده شده است، سیر تکاملی بخشی از تبلور مجدد دینامیکی را می توان به خوبی به وسیله معادله AVRAMI شرح داد:

$$5) X_{DRX} = 1 - \exp\{-0.693[(\varepsilon - \varepsilon_p)/\varepsilon_p]^m\} \quad (\varepsilon > \varepsilon_p)$$

در معادله بالا،  $X_{DRX}$  کسر حجمی دانه های تبلور مجدد یافته دینامیکی،  $\varepsilon$  کرنش و  $\varepsilon_p$  کرنش بحرانی است [4]  $[\varepsilon_c = 0.65 \varepsilon_p]$  از آنجاییکه m به سینتیک DRX اشاره دارد بنابراین مقدار m با افزایش Nb و Ti به طور چشمگیری کاهش پیدا می کند. افزایش مقادیر Nb و Ti باعث تأخیر در نرخ تبلور مجدد دینامیکی می شود که این امر منجر به کاهش نیرو محرکه خالص DRX و در نتیجه کاهش مقدار m می شود.

## منابع و مراجع

- Microalloyed Steel Containing Three Levels of Manganese [J]. *Acta Metal*, 1984, 32(4): 591.
- 13- Hong S G , Kang K J, Park C G. Strain-Induced Precipitation of NbC in Nb and Nb-Ti Microalloyed HSLA Steels [J]. *Ser Mater*, 2002, 46(2): 163.
- 14- Sellars C M, Tegart W J M. Relationship Between Strength and Structure in Deformation at Elevated Temperatures [J]. *Mem Sci Rev Met*, 1966, 63(9): 731.
- 15- Uvira J L, Jonas J J. Hot Compression of Armocon Iron and Silicon Steel [J]. *Trans Metall Soc AIME*, 1968, 242(8) : 1619.
- 16- Cho S H , Kang K B, Jonas J J. The Dynamic, Static and Metadynamic Recrystallization of a Nb-Microalloyed Steel [J]. *ISIJInt*, 2001, 41(1) 63.
- 17- Stewart G R , Jonas J J, Montheillet F. Kinetics and Critical Conditions for the Initiation of Dynamic Recrystallization in 304 Stainless Steel [J]. *ISIJInt*, 2004, 44(1) 1581.
- 18- McQueen H J , Ryan N D. Constitutive Analysis in Hot Working [J]. *Mater Sci Eng*, 2002, 322A(1-2): 43.
- 19- Sellars C M. Recrystallization of Metals During Hot Deformation [A]. Sellars C M, Davies G J, ed. *Proceedings of the International Conference on Hot Working and Forming Processes* [C]. London, UK: Metals Society, 1980. 3.
- 20- Derby B, Ashby M F. On Dynamic Recrystallization [J]. *Ser Metall*, 1987, 21(6) : 879.
- 1- Medina S F, Hernandez C A. The Influence of Chemical Composition on Peak Strain of Deformed Austenite in Low Alloy and Microalloyed Steels [J]. *Acta Mater*, 1996, 44(1) 8 149.
- 2- Medina S F, Hernandez C A. Modeling of the Dynamic Recrystallization of Austenite in Low Alloy and Microalloyed Steels [J]. *Acta Mater*, 1996, 44(1): 165.
- 3- Cho S H, Kang K B, Jonas J J. Mathematical Modeling of the Recrystallization Kinetics of Nb Microalloyed Steels [J]. *ISU Int*, 2001, 41(7): 766.
- 4- Elwazri A M, Wanjara P, Yue S. Dynamic Recrystallization of Austenite in Microalloyed High Carbon Steels [J]. *Mater Sci Eng*, 2003, 339A(1-2): 209.
- 5- Ferndndez A I, Uranga P , L6pez B, et al. Dynamic Recrystallization Behavior Covering a Wide Austenite Grain Size Range in Nb and Nb-Ti Microalloyed Steels [J]. *Mater Sci Eng*, 2003. 361A(1-2) : 367.
- 6- YU Chi-bin, YE Chuan-long, ZHAO Gang, et al. Dynamic Recrystallization and Recrystallization Model of Nb-Ti Steels in Hot Deformation [J]. *J of Wuhan Uni of Sci and Tech (Natural Science Edition)*, 2003, 26(4) : 334 (in Chinese).
- 7- MA Li-qiang, YUAN Ximg-qian, LIU Zhen-yu, et al. Study on Dynamic Recrystallization of Nb-Microalloyed Steels [J]. *Journal of Iron and Steel Research*, 2006, 18(9) : 47 (in Chinese).
- 8- Siciliano F Jr, Jonas J J. Mathematical Modeling of the Hot Strip Rolling of Microalloyed Nb, Multiply-Alloyed C r M o , and Plain C-Mn Steels [J]. *Metall Trans*, 2000, 31A(2), 511.
- 9- Irvine K J, Pickering F B, Gladman T. Grain-Refined C-Mn Steel [J]. *Iron Steel Inst*, 1967, 205(2) : 161.
- 10- Matsuda S , Okumura N. Effect of Distribution of Ti Nitride Precipitate Particles on the Austenite Grain Size of Low Carbon and Low Alloy Steels [J]. *Trans Iron Steel Inst Jpn*, 1978, 18(4): 198.
- 11- Zou H L, Kirkaldy J S. Thermodynamic Calculation and Experimental Verification of the Carbonitride Austenite Equilibrium in Ti-Nb Microalloyed Steels [J]. *Metall Trans*, 1992, 23A, 65.
- 12- Akben M G, Chandra T, Plassiard P , et al. Dynamic Precipitation and Solute Hardening in a Titanium





## پاکسازی نرمه های اکسید آهن از باکتری های احیاکننده سولفات در صنعت نورد گرم فولاد با استفاده از مقدار بهینه بایوسایدهای CMIT/MIT

رضا خاکساری نژاد، هداختیال  
شرکت فولاد اکسین خوزستان

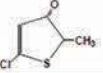
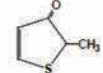
### چکیده

نرمه های اکسید آهن با ابعاد (۳ تا ۳۰ میکرومتر) که به مقدار بسیار زیاد در بخشهای کوره های پیشگرم و نورد گرم فولاد تولید می شوند، در استخرهای ته نشینی آب های خنک کننده انباشته شده و با توجه به دمای مناسب و آلوده بودن آب به روغن های اسیدی، بستری مناسب برای رشد باکتری احیاکننده سولفات (SRB) فراهم میکنند. این وضعیت باعث ایجاد بوی نامطبوع در اطراف استخرهای ته نشینی و بروز خوردگی میکروبی بخصوص در بخشهایی از تجهیزات کارخانه که مانند آب بیشتری دارند، می شود. در این تحقیق وضعیت رشد باکتری و خوردگی میکروبی خطوط لوله و تجهیزات با استفاده از تست شمارش باکتری و پایش کوپن گذاری در شرایط استفاده از ترکیب بایوسایدهای (CMIT/MIT) در شرکت فولاد اکسین اهواز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج کوپن گذاری (دوره های ۳۰ روزه به مدت ۱۸۰ روز) با توجه بهینه ترین مقدار مصرف بایوساید (۷۵ میلی گرم در لیتر در هر ماه) در شرایط سولفات موجود در آب (میانگین ۱۴۳ میلی گرم در لیتر) و دمای آب (۳۴ تا ۳۷ درجه سانتی گراد)، مقدار خوردگی قبل و بعد از مصرف بایوساید را به ترتیب 6mpy و 2mpy ثبت کرده اند.

واژگان کلیدی: باکتری احیاکننده سولفات، بایوساید CMIT/MIT، نرمه های اکسید آهن، خوردگی میکروبی.

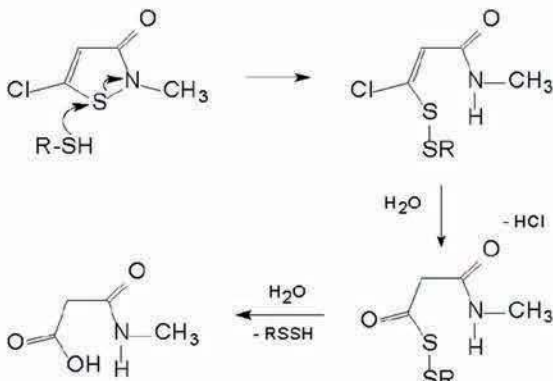
## ۱- مقدمه

کارایی بایوساید ایزوتیازولون برای کنترل میکروبی در تصفیه آبهای صنعتی اثبات شده است. دانستن مکانیزم عمل بایوساید های صنعتی برای بهینه سازی استفاده آنها در کنترل خوردگی میکروبی اهمیت دارد. این خانواده از بایوسایدها بصورت ترکیبی از دو ساختار آن (CMIT/MIT) مورد استفاده قرار می گیرند (شکل ۲).

CMI/MI		Mixture of 5-Chloro-2-methyl- 2H-isothiazol-3-one
		Methyl-2H-isothiazol- 3-one

شکل ۲- ساختار شیمیایی بایوساید های CMIT/MIT

ایزوتیازولون ها طی مکانیزم دو مرحله ای میتوانند در دوز کم با آسیب رساندن به دیواره سلولی، مانع متابولیسم و رشد طیف وسیعی از باکتری ها شوند (شکل ۳).



شکل ۳- مکانیزم عمل بایوساید های CMIT/MIT

## ۲- مواد و روش تحقیق

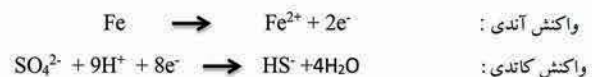
از ترکیب بایوسایدهای (CMIT/MIT) با دوزهای مختلف از ۵۰ تا ۱۰۰ میلی گرم در لیتر در همراه بصورت تزریق شوکی برای آب سیستم خنک کننده به حجم ۷۴۰۰ مترمکعب استفاده شد. این عملیات به مدت سه ماه تا بدست آمدن مقدار بهینه دوز بایوساید ادامه داده شده. وضعیت شمارش تعداد میکروب با استفاده از کیت های SRB در این مدت پایش شد. سپس با تزریق دوز بهینه بدست آمده از بایوساید، به مدت ۱۸۰ روز عملیات کوپن گذاری با کوپن های C1010 طی دوره های ۳۰ روزه و در ماه های تیر تا آذر انجام شد. وضعیت میزان پارامترهای شیمیایی آب در گردش از جمله مقدار یون های سولفات، دما و pH اندازه گیری شدند.

استخرهای ته نشینی نرمه های اکسید آهن و روغن و گریس بستری مناسب برای رشد باکتری های بی هوازی احیا کننده سولفات ایجاد میکنند که باعث تولید بویی نامطبوع شده و از طرفی خوردگی های میکروبی در بخش های وسیعی از سیستم آبهای خنک کننده رخ میدهند [۷-۱]. در محیط های طبیعی انواعی از میکرواورگانیزم ها باعث خوردگی فلزات می شوند، از جمله باکتری بی هوازی احیا کننده سولفات [۸]. در صنعت نورد گرم فولاد، پوسته های اکسید آهن با دانه بندی ۳ تا ۳۰ میکرومتر در مخازن آب و استخرهای ته نشینی واحد های تصفیه آب رسوب کرده و بستری مساعد برای رشد باکتری بی هوازی احیا کننده سولفات ایجاد می کنند (شکل ۱).



شکل ۱- استخر ته نشینی پوسته های اکسید آهن و جمع آوری روغن های صنعتی

با توجه به اینکه آبهای در گردش برای خنک کاری تجهیزات به روغن نیز آلوده می شوند شرایط تغذیه برای این باکتری ها نیز تا حدودی فراهم می شود. این باکتری میتواند در غیاب منبع کربن آلی بصورت مستقیم الکترون ها را از آهن جذب کرده و با احیا کردن سولفات تکثیر پیدا کند [۹-۱۰]. در صنعت نورد گرم فولاد، استخرهای ته نشینی دارای بستری از نرمه های اکسید آهن به عمق ۶۰ تا ۷۰ سانتی متر می باشند. در لایه های میانی و تحتانی این بستر شرایط بی هوازی برای رشد باکتری کاملاً مهیا می باشد. با توجه به اینکه این باکتری های از فیلترهای شنی عبور میکنند، میتوانند وارد خطوط لوله و تجهیزات صنعتی شوند. بخش هایی از این تجهیزات و خطوط لوله که به دلایل فرایندی گاهی با توقف آب در مسیر مواجه هستند، کانونی برای تجمع باکتری و بروز خوردگی می شوند. مکانیزم خوردگی القا شده توسط این باکتری به صورت روابط زیر می باشد:





## ۳- نتایج و بحث

نتایج تست کیت SRB روند کاهش را در تعداد باکتری نشان می دهند. در ماه سوم کوپن گذاری مقداری افزایش در تعداد باکتری دیده می شود که دلیل این مسئله لایه رومی کمتر استخرهای ته نشینی بوده است. در ادامه کار با لایه رومی بیشتر بستر نرمه های اکسید آهن و تخلیه آنها از داخل استخر دوباره روند کاهش باکتری مشاهده می شود. در روند پایش خوردگی نیز سیر کاهش مشاهده می شود. تنها در ماه چهارم کمی افزایش نسبت به ماه قبل دیده می شود و به نظر می رسد به دلیل زیاد شدن مقدار سولفات آب بوده که باعث کاهش اثر بایوساید شده است. نتایج وضعیت شمارش باکتری SRB، بهینه ترین شرایط را برای دوز ۷۵ میلی گرم در لیتر نشان داد. از این دوز بایوساید برای دوره های کوپن گذاری استفاده شد. مقدار خوردگی در پایان هر ماه محاسبه شد که بهترین نتیجه بدست آمده مقدار 2mpy می باشد (جدول ۱).

زمان (روز)	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
سولفات (ppm)	۱۶۵	۱۳۳	۱۳۰	۱۶۰	۱۴۶	۱۳۵
دما (سانس گراد)	۳۶	۳۲	۳۵	۳۶	۳۵	۳۷
pH	۷/۸۷	۷/۷۵	۷/۴۱	۷/۸۹	۷/۸۲	۷/۹۷
بایوساید (ppm)	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵
شمارش باکتری ( $\times 10^3$ )	$1.5 \times 10^3$	$1.2 \times 10^3$	$1.1 \times 10^3$	$1.1 \times 10^3$	$1.1 \times 10^3$	$< 10^3$
خوردگی (mpy)	۶	۳/۷	۲/۱	۲/۵	۲	۲/۱
تصویر کوپن						
شماره کوپن	۱	۲	۳	۴	۵	۶

جدول ۱. نتایج بدست آمده از آنالیز شیمیایی و میکروبی آب و میزان خوردگی میکروبی طی ۶ ماه (کوپن های شماره ۱ تا ۶ به ترتیب مربوط به ماه های تیر، مرداد، شهریور، مهر، آبان و آذر سال ۹۵ می باشند)

## ۴- نتیجه گیری

باتوجه به اینکه کیفیت پارامترهای شیمیایی آب صنعتی کارخانه نورد فولاد اهواز متأثر از کیفیت آب رودخانه کارون در فصول مختلف سال است، لذا کوپن گذاری به مدت ۶ ماه (تیر تا آذر) انجام شد و از بایوسایدهای (CMIT/MIT) با دوز ۷۵ میلی گرم در لیتر استفاده شد. نتایج نشان داده که این بایوساید میتواند تا حد قابل قبولی بر کاهش جمعیت باکتری SRB تأثیر داشته باشد. این مقدار بایوساید در شرایطی استفاده شد که وضعیت سولفات آب صنعتی بطور میانگین ۱۴۰ میلی گرم بر لیتر بود و نرمه های اکسید آهن نیز بستری برای رشد این باکتری ها فراهم کرده بود. این تحقیق نشان می دهد که پارامترهایی مانند مقدار سولفات آب، پوسته های

انواعی از میکروارگانیسم ها (باکتری های هوازی و بی هوازی، قارچ ها، جلبک ها و پروتوزوا ها) به عنوان عوامل مضر در صنایع شناخته شده اند. بایوسایدهای (CMIT/MIT) برای کنترل طیف وسیعی از عوامل میکروبی در بخش های زیادی از آب های صنعتی استفاده می شود. باکتری های احیا کننده سولفات SRB به دلیل ایجاد خوردگی های میکروبی، بطور خاصی مورد توجه صنعتگران می باشد. فولینگ هایی که اجتماع این باکتری ایجاد میکنند می توانند کارایی سیستم ها را در بخش های انتقال حرارت و برج های تبخیری کاهش دهند. نتایج شرایط عادی برای رشد باکتری SRB نشان می دهد که مقدار کم بایوساید ایزوتیازولون (۱ تا ۶ میلی گرم در لیتر) قادر است رشد این باکتری را در شرایط آزمایشگاه مهار کند. در شرکت فولاد اکسین که بستری با ضخامت ۶۰ تا ۷۰ سانتی متر از نرمه های اکسید آهن در استخرهای آب تشکیل می شوند به همراه وجود روغن های هیدرولیک با پایه اسیدی در آب، شرایط برای رشد این باکتری مهیا شده و علی رغم تصفیه فیزیکی آب، خوردگی های میکروبی ناشی از تجمع باکتری در بخش هایی از خط تولید که ماند آب وجود دارد مشاهده می شود (شکل ۴).



شکل ۴- نرمه های اکسید آهن تولید شده از بخش های کوره های پیشگرم و فرایند نورد که داخل استخر ته نشین می شوند

لذا در این شرایط سخت، وضعیت پایش خوردگی میکروبی با کمک کوپن گذاری و استفاده از بایوسایدهای ایزوتیازولون مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه این بایوسایدها زمانی که میزان سولفید آب زیاد باشد تجزیه شده و کارایی آنها کاهش پیدا می کند. لذا مقدار سولفات آب نیز طی دوره های کوپن گذاری اندازه گیری شد. بررسی وضعیت خوردگی کوپن ها مقدار کاهش قابل توجهی را نشان می دهند.

- 8- H. Liu, C. Fu, T. Gu, G. Zhang, Y. Lv, H. Wang, H. Liu, Corrosion behavior of carbon steel in the presence of sulfate reducing bacteria and iron oxidizing bacteria cultured in oilfield produced water, *Corros. Sci.*(2015), 100 , 484–495.
- 9- P. Zhang, D. Xu, Y. Li, K. Yang, T. Gu, Electron mediators accelerate the microbiologically influenced corrosion of 304 stainless steel by the *Desulfovibrio vulgaris* biofilm, *Bioelectrochem.*(2015),101, 14–21.
- 10- Y. Chen, Q. Tang, J.M. Senko, G. Cheng, B.-m.Z. Newby, H. Castaneda, L.-K. Ju, Long-term survival of *Desulfovibrio vulgaris* on carbon steel and associated pitting corrosion, *Corros. Sci.* (2015),90 , 89–100.

اکسید آهن که دارای مقدار بسیار زیادی پودر آهن نیز می باشند می توانند باعث رشد باکتری SRB شوند. با توجه به اینکه روغن های صنعتی پایه اسیدی وارد استخر ته نشینی شده است مراحل رشد باکتری را با تولید H<sup>+</sup> تکمیل می کند. در صنعت فولاد اکسین تلاش شده تا با کمک کاستیک pH از محدوده اسیدی خارج شود و همانطور که نتایج نشان داده pH استخرهای ته نشینی بالای ۷ می باشند. این بایوسایدها از طریق پیوندی که میان بخش سولفور خود با پروتئین های سولفوردار باکتری برقرار می کنند روی باکتری تاثیر گذاشته و آن رامهار می کنند. اگر در محیط عامل سولفور داری موجود باشد می تواند با این بایوساید پیوند برقرار کرده و فعالیت آن را برای پیوند با آنزیم های باکتری کاهش دهد.

## ۵-مراجع

- 1- D. Xu, Y. Li, F. Song, T. Gu, Laboratory investigation of microbiologically influenced corrosion of C1018 carbon steel by nitrate reducing bacterium *Bacillus licheniformis*, *Corros. Sci.* (2013),77,385–390.
- 2- P.F. Beese-Vasbender, S. Nayak, A. Erbe, M. Stratmann, K.J. Mayrhofer, Electrochemical characterization of direct electron uptake in electrical microbially influenced corrosion of iron by the lithoautotrophic SRB *Desulfofipila corrodens* strain IS4, *Electrochim. Acta* (2015),167 ,321–329.
- 3- G. Doyle, M.V. Seica, M.W. Grabinsky, The role of soil in the external corrosion of cast iron water mains in Toronto, Canada, *Can. Geo. J.*(2003), 40,225–236.
- 4- H.W. Liu, B. Chen, F. Zhang, S. Qin, G.A. Zhang, H.F. Liu, Effects of iron-oxidizing bacteria on carbon steel in oilfield produced water, *ECS Trans.* (2014),59, 409– 420.
- 5- E.C. Rios, A.M. Zimer, E.C. Pereira, L.H. Mascaro, Analysis of AISI 1020 steel corrosion in seawater by coupling electrochemical noise and optical microscopy, *Electrochim. Acta* (2014),124, 211–217.
- 6- Shiqiang Chen, Y. Frank Cheng, Gerrit Voordouw, A comparative study of corrosion of 316L stainless steel in biotic and abiotic sulfide environments, *Int. Biodeterior. Biodegrad.*(2017), 120 , 91–96.
- 7- H. Liu, T. Gu, G. Zhang, Y.F. Cheng, H. Wang, H. Liu, The effect of magneticfield on biomineralization and corrosion behavior of carbon steel induced by iron-oxidizing bacteria, *Corros. Sci.*(2016), 102 , 93–102.



## تولید الکتریسیته ساکن در طی تصفیه روغن

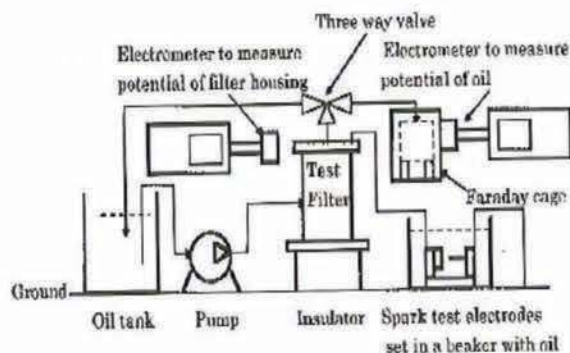
AKIRA SASAKI , SHINJI UCHIYAMA and TAKASHI YAMAMOTO

مترجم: محمد سجاد غفوری

### چکیده

فیلترها به طور گسترده ای برای حفاظت از سیستم های هیدرولیک و روانکاری در برابر آلاینده های مضر مورد استفاده قرار می گیرند. اما همچنان مشکلات هیدرولیکی می تواند وجود داشته باشند به علت اینکه برخی آلاینده ها مانند فراورده های اکسیداسیون روغن را نمی توان با فیلترهای خیلی ریز حذف کرد. روغن و یاف هر دو برای فیلتر ریز، نارسا هستند. احتمال زیادی وجود دارد که در زمان عبور روغن از فیلتر ریز، الکتریسیته ساکن تولید شود. نویسندگان این مقاله یک دستگاه برای آزمایش اندازه گیری پتانسیل روغن و محفظه فیلتر از طریق الکترومتر، ابداع نمودند. این بررسی نشان می دهد که فیلتر مکانیکی با اصطکاک پیدا کردن با روغن، الکتریسیته ساکن تولید می کند و این الکتریسیته ساکن در فیلتر و احتمالاً در مخزن روغن جرقه الکتریکی ایجاد می کند. این تخلیه الکتریکی به صورت جرقه، مولکول های روغن را می شکند.

واژگان کلیدی: فیلترها، روانکارها، الکتریسیته ساکن.



شکل ۱- طرح کلی دستگاه آزمایش مولد الکتریسیته

## دستگاه تست

### دستگاه تست متداول

نمای کلی دستگاه تست در شکل ۱ نشان داده شده است. این دستگاه شامل یک مخزن روغن، یک پمپ با موتور الکتریکی، و فیلتر آزمایشی است. مخزن روغن، پمپ و پاک کننده روغن آزمایش از طریق یک لوله با قطر درونی ۶ میلی متر به یکدیگر متصل شده اند. از آنجا که اندازه گیری مستقیم پتانسیل الکتریکی فیلتر غیر ممکن است، محفظه فیلتر از طریق قرار دادن یک صفحه پلی تترافلورو اتیلن، عایق شده است. مخزن روغن و پمپ جهت تخلیه بار الکتریکی از روغن آزمایش، به زمین وصل شده اند.

### اندازه گیری پتانسیل

وقتی الکتریسیته ساکن یک ماده اندازه گیری می شود، نوبزهای ناشی از اتمسفر باید قطع گردند. به همین دلیل همان گونه که در شکل ۲ مشاهده می شود از واحد ترکیبی محفظه فارادی با ظرفیت  $27.0\text{pF}$  و الکترومتری که به صورت تجاری در بازار موجود می باشد، استفاده شده است. به منظور ثابت نگهداشتن سرعت جریان روغن عبوری از فیلتر آزمایش، یک شیر سه راهه در خروجی محفظه فیلتر برای نمونه گیری روغن نصب شده است.

الکترومتر را می توان جدا کرد. پتانسیل محفظه فیلتر الکتریکی شده، بوسیله الکترومتر مستقل در فاصله  $50\text{mm}$  از محفظه فیلتر اندازه گیری می شود.

در زمان اندازه گیری پتانسیل روغن و محفظه فیلتر، دمای اتاق  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  و دمای روغن عبوری از درون فیلتر  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  بود.

### روغن آزمایش

روغن مبدل با پایه نفتی و با  $7.1\text{cSt}$  و دمای  $40^\circ\text{C}$  برای آزمایش فیلترینگ مورد استفاده قرار گرفت. روغن روانکاری ISO32 درجه R&O با کیفیت Turbine برای آزمایش جرقه الکتریکی در لیوان آزمایشگاه استفاده شد. و بسکوزیته بالاتر روغن، اصطکاک روغن بالاتری ایجاد می کند.

## مقدمه

Day گزارش می دهد که 85% مشکلات هیدرولیکی مرتبط با آلاینده های موجود در روغن هیدرولیک است. فیلترهای مکانیکی بطور گسترده ای برای حفاظت سیستم های هیدرولیکی و روانکاری توصیه می گردند. شیرهای Servo نیز جهت استفاده در سیستم های هیدرولیک رواج یافتند، زیرا برای کنترل دقیق، عملکرد عالی دارند. با این حال این شیرها نسبت به آلاینده های روغن بسیار حساس هستند و نیاز به فیلترهای با منافذ بسیار ریز دارند. اگرچه مشکلاتی حل نشده زیادی همچنان بعثت آلاینده ها وجود دارد.

Lauer و Antal جریان بار الکتریکی درون غشاء فیلتر پلی تتراواتیلن در محدوده ۲ تا ۳۰ میکرون را اندازه گیری کردند. آن ها نشان دادند که منافذ ریز تر، بار جریان بیشتر تولید می کنند. همچنین سرعت جریان بیشتر نیز، بار جریان بیشتری ایجاد می کند. این مطالعه مشکلات روغن های هیدرولیک و روانکاری در زمان چرخش آزاد در ماشین ها را مورد بحث قرار نمی دهد. شکی نیست که وقتی روغن از فیلتر می گذرد، الکتریسیته ساکن تولید شده و در فیلتر و روغن تجمع می یابد. این جریان کم است ولی پتانسیل آن زیاد است. الکتریسیته ساکن تجمع یافته از طریق جرقه الکتریکی بین مواد برقرار شده فیلتر و هر گونه ماده رسانای نزدیک به فیلتر تخلیه می گردد. مشخص نیست که تخلیه جرقه الکتریسیته ناشی از الکتریسیته ساکن در داخل فیلتر، اتفاق می افتد.

نویسندگان این مقاله فیلتر نوع چین دار چندین مرتبه استفاده شده را بریده و مورد آزمایش قرار دادند. آن ها شواهدی مبنی بر جرقه الکتریکی ناشی از الکتریسیته ساکن بین مواد فیلتر عایق و لبه های تیز سوراخهای پانچ شده در مرکز هسته فیلتر بدست آوردند.

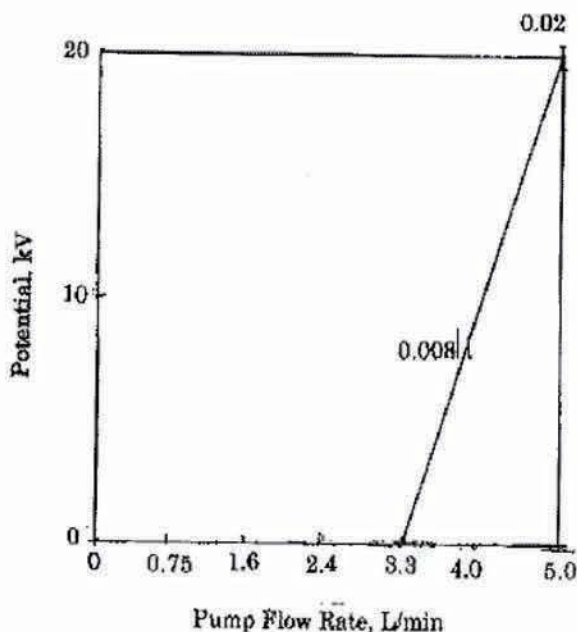
این احتمال وجود دارد که الکتریسیته ساکن هنگام عبور روغن از منافذ ریز فیلترهای مکانیکی می تواند مولکول های روغن را شکسته و آلاینده های جدیدی تولید کند. همچنین احتمال ایجاد تخلیه الکتریکی الکتریسیته ساکن بین روغن دارای الکتریسیته و انتهای لبه تیز لوله غوطه ور در روغن درون مخزن وجود دارد.

این مقاله نشان می دهد که یک فیلتر مکانیکی می تواند در هنگام عبور روغن از درون فیلتر، از طریق اصطکاک، الکتریسیته ساکن تولید کرده و اشاره می کند که احتمالاً الکتریسیته ساکن تجمع یافته به وسیله جرقه الکتریکی در فیلتر و مخزن روغن تخلیه گردد.

متصل به زمین در محفظه فارادی اندازه گیری شد.

### بحث و نتیجه گیری

الکترومتر، پتانسیل نمونه روغن را بر اساس معادله زیر اندازه گیری کرد.



شکل ۳- برقدار شدن 0.2L روغن وقتی روغن از درون لوله فلزی و لوله وینیلی عبور می کند.

$$V=QC$$

که در آن :

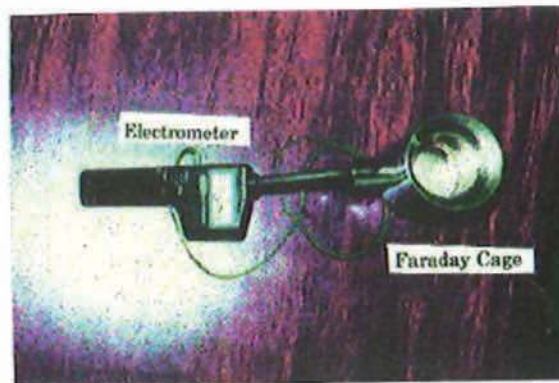
Q : بار الکتریکی (Coulomb)

C : ظرفیت (27.0pF)

V : پتانسیل (Volt)

وقتی روغن مورد آزمایش، الکتروسیسته داشته باشد پتانسیل روغن را می توان با ولتاژ بدست آورد. پتانسیل روغن 0.2L عبوری از درون محفظه فیلتر خالی در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهند که برقدار شدن روغن به دلیل اصطکاک با لوله فولادی و لوله وینیلی تا زمانی که سرعت جریان از 4L/min فراتر نرود، قابل چشم پوشی است. پتانسیل 0.1L و 0.2L روغن در شکل ۴ نشان داده شده است. پتانسیل 0.2L روغن دو برابر پتانسیل 0.1L روغن است. این امر نشان می دهد که پتانسیل روغن با مقدار روغن موجود در محفظه فارادی تناسب دارد. بنابراین 0.2L روغن در این مقاله بررسی می شود. در کنار آن، این نتایج نشان می دهند که احتمالاً پتانسیل روغن در ماشین هایی که حجم روغن زیادی دارند، بالاست، حتی اگر زمان افت الکتروسیسته ساکن از آن کسر شود.

به منظور انجام آزمایش در دمای اتاق و بدون گرم شدن روغن، روغن مبدل با پایه نفتی جهت آزمایش فیلترینگ انتخاب گردید.



شکل ۲- محفظه فارادی و الکترومتر قرار داده شده برای اندازه گیری پتانسیل روغن و فیلتر

### فیلترهای آزمایش

دو فیلتر زیر مورد آزمایش قرار گرفتند؛ فیلتر نوع عمیق پلی پروپیلن با قطر اسمی ۲ میکرون و فیلتر نوع چین خورده با قطر دقیقاً ۳ میکرون. فیلتر پلی پروپیلن تحت دو ویژگی مختلف برای آزمایش تهیه شدند: اولی به مدت ۲۴ ساعت در آون ترموستاتیک 800 درجه خشک گردید و دیگری به مدت دو هفته در معرض هوای مرطوب قرار گرفت.

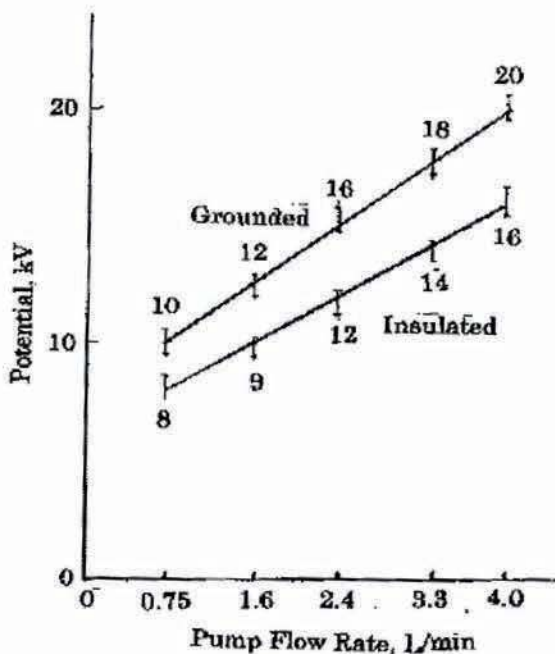
## آزمایش برای شناختن اثر جریان روغن بر پتانسیل الکتریکی

### آزمایشات

به منظور تعیین اثرات جریان روغن بر پتانسیل، محفظه فیلتر برای آزمایش فیلتر عمیق پلی پروپیلن با حجم 0.15L طراحی شده است. محفظه فیلتر یک گذرگاه باریک شامل یک لوله فولادی ضد زنگ و یک لوله وینیلی دارد. لوله وینیلی به لوله فولادی ضد زنگ در انتهای شیر خروجی محفظه فیلتر نصب شده است. قطر درونی لوله 5mm و طول آن 25mm است. قطر درونی لوله وینیلی 6mm و طول آن از لوله فولادی ضد زنگ تا محفظه فارادی 250mm می باشد. حجم محفظه فارادی 0.5L است. با توجه به زمان افت الکتروسیسته ساکن و از نظر اینکه اغتشاش روغن با سرعت بالای جریان ممکن است باعث سر ریز روغن به خارج از محفظه فارادی شود، پتانسیل روغن با نمونه گیری 0.1L و 0.2L روغن در محفظه فارادی اندازه گیری می شود. پتانسیل 0.2L روغن بدون وجود فیلتر در محفظه فیلتر و با سرعت جریان 0.75 تا 5.0L/min اندازه گیری شد. پتانسیل روغن 0.1L و 0.2L در عبور از فیلتر خشک پلی پروپیلن

تجمع یافته به وسیله افت کردن یا در اتمسفر از دست می رود. سپس خازن می تواند بار الکتریکی معادل مقدار از دست رفته را بپذیرد. بار الکتریکی که از طریق اصطکاک جدا شده ولی به خازن نرسیده با بار مخالف در روغن خنثی می شود. این امر دلیل آن است که چرا پتانسیل روغن با محفظه فیلتر متصل به زمین بالاتر از پتانسیل نمونه عایق شده است که در شکل ۵ نشان داده شده است.

همه دستگاه ها اتصال به زمین دارند. بنابراین وقتی به هر دستگاهی دست می زنیم، برق را احساس نمی کنیم. با این حال نتایج آزمایش نشان می دهند احتمال اینکه روغن در ماشین های متصل به زمین برق دار شود و پتانسیل روغن در مخزن روغن آن ها افزایش یابد وجود دارد.



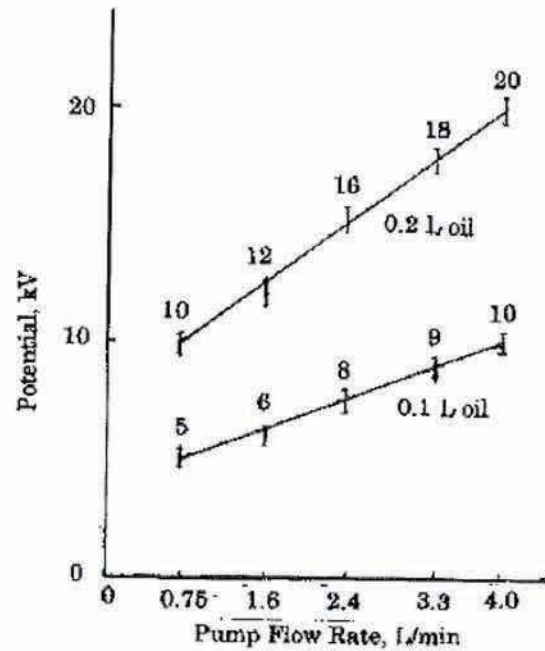
شکل ۵- برق دار شدن روغن 0.2L با فیلتر خشک در زمانی که محفظه فیلتر به زمین وصل و عایق شده است.

شکل ۶ نشان می دهد که هر چه نرخ جریان پمپ بالاتر باشد، زمان رسیدن به پتانسیل اشباع کوه تاهتر می شود. هنگامیکه پتانسیل محفظه فیلتر اندازه گیری می شود، صداهای تخلیه به طور دوره ای شنیده می شود. این امر بیانگر این است که بار الکتریکی بالاتر از 50kv به اتمسفر تخلیه می شود. نتایج آزمایش یک احتمال در یک دستگاه در حال کار را نشان می دهند بدین صورت که بار الکتریکی تجمع یافته در فیلتر نارسانا با یک جرقه الکتریکی در نزدیک ترین نقطه تیز فلزی در فیلتر نصب شده بر دستگاه متصل به زمین، تخلیه می گردد.

## آزمایشی برای شناخت اثر اتصال به زمین و عایق کردن فیلتر بر پتانسیل الکتریکی

### آزمایشات

پتانسیل روغن با فیلتر عمیق و خشک پلی پروپیلن، در زمان اتصال محفظه فیلتر به زمین و عایق شدن آن با قرار دادن یک صفحه پلی - تترافلورواتیلن اندازه گیری شد. پتانسیل محفظه فیلتر عایق شده نیز اندازه گیری شد.



شکل ۴- پتانسیل 0.2L و 0.1L روغن در محفظه فارادی هنگامی که فیلتر خشک به زمین متصل شده است.

### بحث و نتیجه گیری

پتانسیل روغن در فیلترهای عایق و متصل به زمین در شکل ۵ و پتانسیل محفظه روغن عایق در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج آزمایش نشان می دهند که روغن بار مثبت و فیلتر بار منفی دارد.

پتانسیل روغن عبوری از فیلتر متصل به زمین بالاتر از پتانسیل فیلتر عایق است. با توجه به نوعی از خازن که در محفظه فیلتر قرار داده شده است می توان نتایج را دریافت کرد. وقتی محفظه فیلتر به زمین متصل باشد، بار منفی به سمت زمین رفته و خازن خالی می گردد. وقتی خازن خالی باشد، بار منفی می تواند بطور نامحدود در خازن ذخیره شده و جداسازی بار الکتریکی افزایش می یابد. متعاقباً ذخیره بار مثبت در روغن افزایش می یابد.

وقتی محفظه فیلتر عایق باشد، بار الکتریکی رسیده به خازن ذخیره می گردد. اگر خازن پر شود، بار الکتریکی اضافی در آن پذیرفته نمی شود. با این حال بخشی از بار الکتریکی

## آزمایشی برای شناخت اثر رطوبت بر پتانسیل

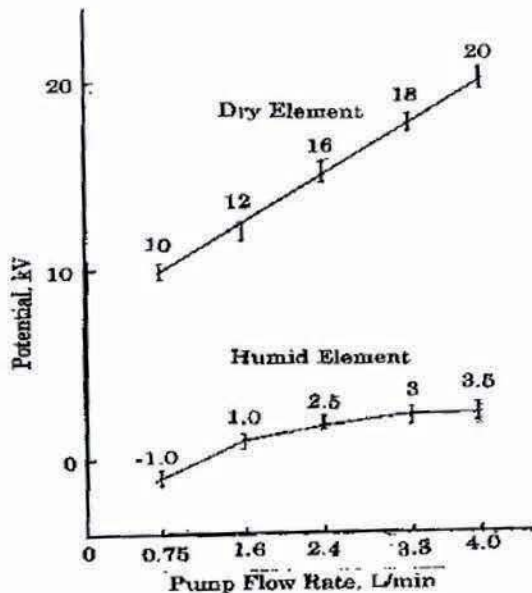
### آزمایشات

به منظور آزمایش اثر رطوبت بر پتانسیل، فیلتر عمیق پلی پروپیلن به مدت دو هفته در معرض هوای مرطوب قرار گرفت. پتانسیل روغن و محفظه فیلتر در هنگامی که فیلتر مرطوب به زمین متصل شده و عایق شده بود، اندازه گیری گردید.

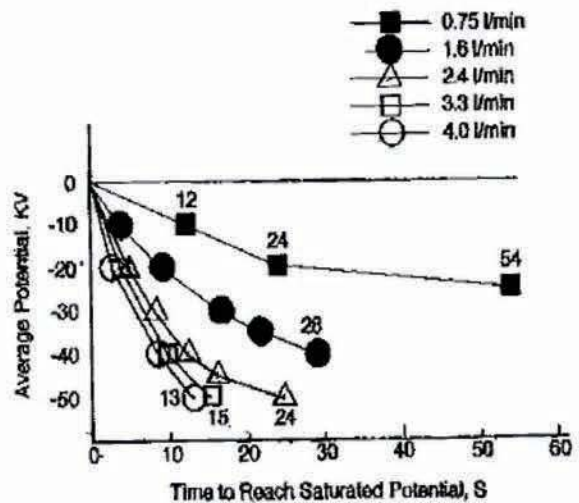
### بحث و نتیجه گیری

پتانسیل اندازه گیری شده روغن در شکل ۷ نشان داده شده است. پتانسیل اشباع محفظه فیلتر عایق و میانگین زمان رسیدن به پتانسیل اشباع در شکل ۸ نشان داده شده است.

پتانسیل اشباع محفظه فیلتر همراه با فیلتر مرطوب در شکل ۸ نشان داده شده است که اندکی کمتر از پتانسیل آن با فیلتر خشک در شکل ۶ می باشد. زمان رسیدن به پتانسیل اشباع با فیلتر مرطوب طولانی تر از این مقدار با فیلتر خشک است. چنین تفاوتی ممکن است ناشی از جذب آب باشد که یون های آزاد بیشتری در مقایسه با روغن دارد. جدای از اینکه مقداری از بار الکتریکی روغن ممکن است به وسیله این یون ها و یا دیگر حامل هایی که در فیلتر مرطوب جذب شوند، خنثی گردد، این داده ها بیان می کنند که فیلتر مرطوب پتانسیل هر دوی روغن و محفظه فیلتر را کم می کند. پتانسیل اشباع و زمان رسیدن آن به  $\pm 20\text{kv}$ ،  $\pm 10\text{kv}$  و  $\pm 25\text{kv}$  با سرعت جریان  $0.75\text{L/min}$  در شکل های ۶ و ۸ نشان داده شده اند که با قطب مخالف مشابهت جالبی دارند. با این حال هنوز نمی توان معنی آن را دریافت نمود.



شکل ۷- برق دار شدن روغن در هنگام عبور آن از فیلتر خشک عمیق و فیلتر مرطوب



شکل ۸- برق دار شدن محفظه فیلتر؛ پتانسیل اشباع شده و زمان رسیدن به پتانسیل اشباع با فیلتر خشک

پتانسیل روغن اساساً کمتر از مقدار آن برای فیلتر خشک است.

قطبیت بار الکتریکی در روغن با فیلتر مرطوب و با سرعت جریان روغن  $0.75\text{L/min}$  منفی است ولی در سرعت  $1.6\text{L/min}$  و بالاتر به مثبت تبدیل می شود. از طریق این آزمایش نمی توان گفت چرا پتانسیل روغن در سرعت  $0.75\text{L/min}$  منفی است و چرا در سرعت های  $1.6\text{L/min}$  و بالاتر بر عکس (مثبت) می شود؟ انجام مطالعات بیشتری در مورد این مسئله ارزشمند خواهد بود.

پتانسیل روغن متناسب با سرعت جریان از  $0.75\text{L/min}$  به  $2.4\text{L/min}$  افزایش می یابد ولی با سرعت جریان بالاتر از  $2.4\text{L/min}$  تقریباً اشباع می گردد.

این نشان می دهد که بار جدا شده تحت تاثیر قرار گرفته و به وسیله بار مخالف در فیلتر مرطوب خنثی می شود. همچنین بیان می کند که فیلتر رسانا کمتر روغن را بر مقدار می کند.

## آزمایش تخلیه الکتریکی به وسیله جرقه

### آزمایش ها

برای تشریح تخلیه الکتریکی الکتریسیته ساکن تجمع یافته در فیلتر، یک جفت الکترود با فاصله ثابت  $1\text{mm}$  در قاب پلی تترافلورو اتیلن آماده شد. یکی از الکترودها که دارای سطح صاف است، از طریق یک کابل برق ولتاژ بالا به محفظه فیلتر متصل گردید و الکترود سوزنی شکل دیگر به زمین متصل گردید همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است. مجموعه الکترودها در  $0.5\text{L}$  روغن در لیوان آزمایشگاه قرار داده شدند.

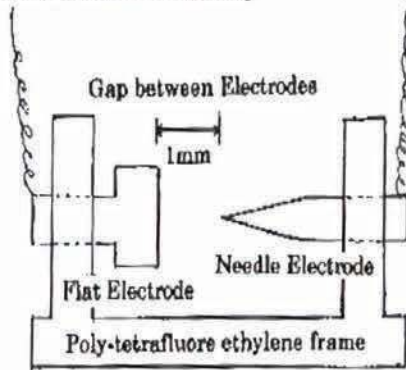
### بحث و نتیجه گیری

نتایج آزمایش در شکل ۱۱ نشان داده شده اند. پتانسیل اندازه گیری شده روغن منفی بود اگر چه قطبیت بار الکتریکی روغن در عبور از فیلتر پلی پروپیلن مثبت بود. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است. فیلتر چین دار، از سه لایه از الیاف مصنوعی بافته نشده ساخته شده است. جزئیات جنس آنها مشخص نبوده است. بنابراین مشخص کردن علت قطبیت مخالف آن مشکل است.

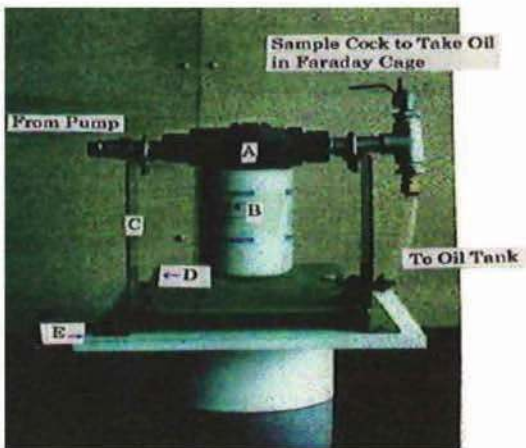
شکل نقاط اندازه گیری روی میز آزمایش فیلتر و جهت اندازه گیری و نتایج اندازه گیری در شکل ۱۲ و ۱۳ ارائه شده اند. با اینکه شرایط اندازه گیری در هر دو یکسان بود پتانسیل نقاط صاف به کلی متفاوت از پتانسیل نقطه تیز است. چنین تفاوتی، چگالی شار الکتریکی را منعکس می کند که بستگی به شعاع انحنای نقاط اندازه گیری میز آزمایش و محافظه فیلتر دارد. تیزی بیشتر لبه، پتانسیل بیشتری ایجاد می کند. این نتیجه نشان می دهد که احتمال تخلیه الکتریکی الکتریسیته ساکن تجمع یافته در روغن، روی لبه تیز انتهای لوله غوطه ور در مخزن روغن وجود دارد.

Electric Cable to Ground

Electric Cable From Filter Housing



شکل ۹- شماتیک ساختار آزمایش جرعه تجهیز الکترود



شکل ۱۰- فیلتر چین دار روی یک پایه عایق بندی شده: A، B، C، D و E نقاط اندازه گیری پتانسیل هستند.

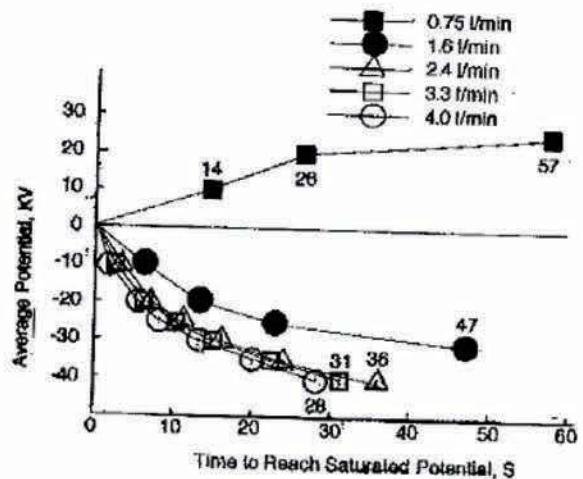
### بحث و نتیجه گیری

تکرار جرعه ناشی از تخلیه الکتریسیته ساکن بین الکترودهای موجود در روغن ظرف آزمایشگاه تقریباً در هر ثانیه در سرعت جریان 4.0L/min رخ می داد. فاصله زمانی وقوع جرعه ناشی از تخلیه ها در سرعت جریان بالاتر، کوتاه تر می شود. حباب های گاز و اثرات کربن در هر جرعه از بین الکترودها بیرون می آمدند. این امر بیان می کند که مولکولهای روغن بوسیله جرعه ناشی از تخلیه الکتریسیته ساکن می شکنند.

### آزمایش فیلتر چین دار

#### آزمایشات

فیلتر چین دار در یک قاب فولادی نصب شده و همانند شکل ۱۰ روی یک پایه پلی تترا فلورو اتیلن قرار گرفت. از آنجاییکه فیلتر هیچ پمپی نداشت، از یک پمپ خارجی برای آزمایش استفاده شد.



شکل ۸- برق دار شدن محافظه فیلتر، پتانسیل اشباع و زمان رسیدن به پتانسیل اشباع با فیلتر مرطوب

طبق کاتالوگ تولید کننده فیلتر چین دار، وقتی افت فشار مجموعه فیلتر حدود 98kpa (1kgf/m<sup>2</sup>) باشد سرعت جریان روغن با ویسکوزیته 32cSt حدود 60L/min است. با این حال آزمایش با سرعت جریان حدود 2.6 تا 7.4L/min انجام گرفت که موجب سرریز روغن به خارج از محافظه فارادی شد و آن روغن سرریز شده حسگر الکترومتر را آلوده کرد.

پتانسیل محافظه فیلتر و میز آزمایش در خلال آزمایش و در پنج نقطه A تا E اندازه گیری شد.

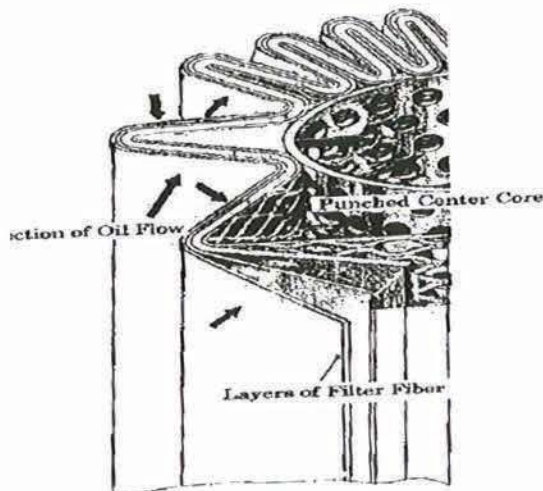
چندین فیلتر چین دار که در کارخانجات استفاده می شدند بریده شده و برای یافتن علایمی از تخلیه الکتریکی الکتریسیته ساکن در فیلتر مورد آزمایش قرار گرفتند.



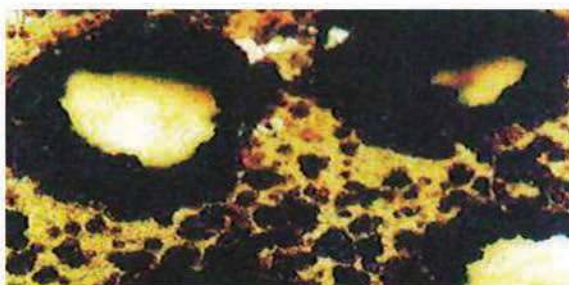
با در نظر گرفتن اینکه حجم بیشتر روغن پتانسیل بالاتری ایجاد می کند (شکل ۴ و معادله ۱)، احتمال اینکه پتانسیل روغن و مخزن آن افزایش یافته و تخلیه الکتریکی روغن برق دار و لبه لوله درون مخزن ایجاد گردد وجود دارد (شکل ۱۳) از نظر حفاظت روغن و ماشین ها و نظر به موارد بررسی شده در این تحقیق، طراحی فعلی استفاده از فیلترهای مکانیکی در جریان اصلی روغن باید مورد تجدید نظر قرار گیرد.

## نتایج

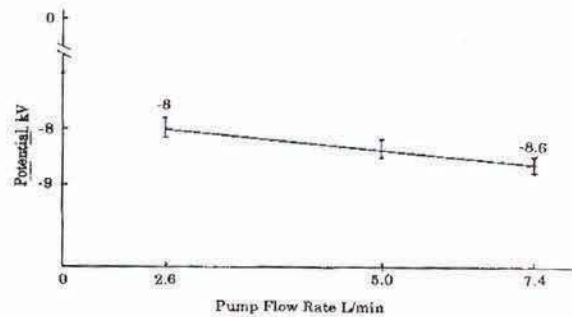
۱. هنگام عبور روغن از درون فیلتر به دلیل اصطکاک، الکتریسیته در روغن ایجاد شده و پتانسیل روغن به تناسب سرعت جریان افزایش می یابد.
۲. پتانسیل روغن در فیلترهای خشک بیش از مقدار آن در فیلترهای مرطوب است.
۳. پتانسیل روغن وقتی محفظه فیلتر متصل به زمین باشد بالاتر از مقدار آن در مقایسه با محفظه فیلتر عایق است.
۴. الکتریسیته بخاطر قطبیت مخالف درون روغن در فیلتر بوجود می آید و بار الکتریکی روی فیلتر می تواند تا سطح بالا تجمع یافته و بصورت جرقه الکتریکی تخلیه گردد.



شکل ۱۴- ساختار کلی فیلتر چین خورده



شکل ۱۵- شواهد مبنی بر وجود جرقه تخلیه الکتریکی در گوشه تیز منافذ پانچ شده فیلتر چین دار



شکل ۱۱- برق دار کردن روغن عبوری از درون فیلتر چین دار

شکل ۱۴ ساختار کلی فیلتر مورد آزمایش را نشان می دهد. شکل ۱۵، منافذ کربنی پانچ شده در هسته مرکزی فیلتر را نشان می دهد. این تصویر بیان می کند که بار الکتریکی در الیاف عایق جمع شده و در لبه های تیز منافذ پانچ شده که در آن ها چگالی شار الکتریکی بالاست، تخلیه می گردند. این امر می تواند نتایج آزمایش نمایش داده شده در شکل ۱۳ را شرح دهد.

## طرح فعلی مدار روغن

بسیاری از ماشین ها در مسیر جریان اصلی روغن در قسمت مکش یا در سمت تحویل و یا در سمت برگشت جریان، دارای فیلتر هستند. بعضی از ماشین ها از فیلترهایی در مجرای فرعی استفاده می کنند. سرعت جریان روغن در مسیر اصلی آن معمولا بالاست. سرعت بالای جریان، موجب پتانسیل بالاتر در روغن و فیلتر می گردد. تقریبا همه ماشین ها اتصال به زمین دارند. این امر نشان می دهد که پتانسیل الکتریکی روغن زیاد است.

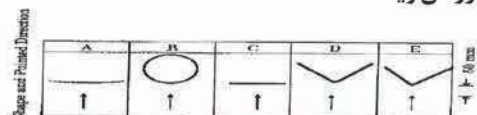
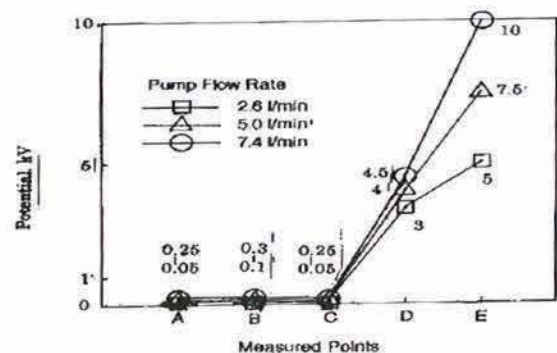


Fig. 12—The shape of the point A, B, C, D and E at which the electrometer pointed.

شکل ۱۲- شکل نقاط A، B، C، D و E که محل قرارگیری الکترومتر بوده است



شکل ۱۳- پتانسیل اندازه گیری شده در ۵ نقطه از A تا E روی میز آزمایش و محفظه فیلتر چین دار

۵. الکتروسیسته ساکن تجمع یافته در الیاف فیلترهای چین دار با منافذ ریز به صورت جرقه های الکتریکی بین این الیاف و لبه تیز منافذ پانچ شده در مرکز فیلتر متصل به زمین تخلیه می گردد.

۶. از نظر حفاظت روغن و ماشین ها، فیلترهای مکانیکی احتمال آسیب رساندن به روغن را دارند و استفاده از فیلترهای مکانیکی در جریان اصلی روغن می تواند مورد تجدید نظر قرار گیرد.

### مرجع

1-AKIRASASAKI, SHINJI UCHIYAMA and TAKASHI YAMAMOTO, Technical Paper; "Generation of Static Electricity During Oil Filtration"; Presented at the 53rd Annual Meeting in Detroit Michigan; May 17-21, 1998.



## نقش نظام پیشنهادات در شکل‌گیری عادت مسئله‌یابی و رفع مشکلات خط تولید شرکت فولاد اکسین خوزستان

آرش آرپناهی<sup>۱</sup>، علیرضا حاجی پور، کیوان دشت‌بزرگی  
شرکت فولاد اکسین خوزستان

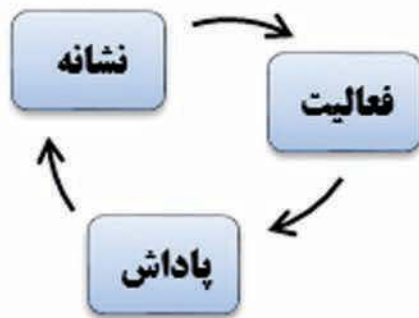
### چکیده

از بارزترین ویژگی‌های دورانی که در آن به سر می‌بریم دگرگونی‌ها و تغییرات نوین، پیاپی و بزرگ است. دورانی که معضلات و مسائل گوناگون در تمامی عرصه‌ها و حوزه‌های فردی و اجتماعی روی می‌دهد. بدیهی است که محیط مدام در حال تغییر، پدیده‌های نو، به روش‌های نوین در حل مسائل و مشکلات نیاز دارد. در این محیط پویا، فرد و سازمان برای حفظ بقای خویش هم باید بتواند مسایل فعلی خود را حل کند و هم آماده پیش‌بینی و حل مسائل و مشکلات آینده باشد. در این بین مشارکت کارکنان و مردم در مسئله‌یابی و حل مشکلات روشی نوین و پذیرفته شده است که از اثربخشی زیادی برخوردار می‌باشد. در این مقاله با توجه به تجربیات کاربردی گذشته در خصوص نظام پیشنهادات، سعی شده است نقش آن بر شکل‌گیری عادت مسئله‌یابی که خود گام نخست در بروز خلاقیت می‌باشد را مشخص نموده و با ارائه مدل تاثیر آن بر حل مشکلات خط تولید را ارائه نماییم.

واژگان کلیدی: نظام پیشنهادات، عادت، مسئله‌یابی.

1- a. arpanahi@oxinsteel.ir

که مغز انسان به صورت مداوم در جستجوی روشهایی است که تلاش هایش را حداقل کند و وقتی که کاری در ما به عادت تبدیل شد با راحتی بیشتر و صرف انرژی کمتر آنرا انجام می دهیم. به طور مثال فرایند رانندگی را تصور کنید که در آن چشمها، گوشها، دستها، پاها و مغز، همه در حال انجام فعالیت هستند و فرایندی پیچیده است اما چون به عادت تبدیل شده است آنرا به راحتی انجام می دهیم [۱]. طبق تحقیقات انجام شده توسط آقای چارلز داهیگ و دیگر اندیشمندان، چرخه عادت به شکل زیر است و زمانی یک عادت شکل می گیرد که این چرخه تکمیل گردد:



با تغییر هر یک از عناصر این چرخه می توان عادتها را تغییر داد. یک عادت را حذف نمود و عادت جدید ایجاد نمود. افراد موفق آموخته اند که عادت‌های خود را شناخته و کنترل و تغییر دهند. عادت‌های کلیدی باعث ایجاد موفقیت‌های کوچک می شوند و این دستاورد به افراد کمک می کند متوجه شوند کسب موفقیت‌های بزرگتر نیز ممکن است. در یک برنامه افراد به دیگران نگاه می کنند و فکر می کنند اگر این برنامه برای فلانی مؤثر بوده است برای من هم می تواند مؤثر باشد اما اگر افراد تنها باشند ممکن است نسبت به توانایی‌هایشان برای تغییر بدبین باشند ولی یک گروه آنها را متقاعد می کند که بی اعتقادی را کنار بگذارند. یک جامعه باور و اعتقاد ایجاد می کند [۱]. اگر شما بر تغییر دادن یا پایه گذاری عادت‌های مبنای تمرکز کنید می توانید سبب تغییرات بسیار گسترده ای شوید. مثل ورزش که باعث ایجاد عادت‌های خوب دیگر می شود. برای یافتن عادت‌های مبنای بداندید نگاه و توجهتان کجا باشد. به عادت‌های مبنای بردهای کوچک گفته می شود مثل سحر خیزی. دانشجویان افسری در وست پوینت برای موفق شدن به عادت‌های مبنای نظیر دور هم جمع شدن هر روزی دوستان با تفکر همسان نیاز دارند تا به یافتن نیرو برای مسلط شدن بر موانع به هم دیگر نیرو بدهند. طبق آموزش‌های استارباکس نیروی اراده عادت مبنای بسیار مهم برای موفقیت افراد است [۱].

## ۱- مقدمه

تمام زندگی ما تا به الان که فرم مشخصی گرفته است مجموعه ای از عادت‌هاست. ممکن است اینطور به نظر برسد که بیشتر انتخاب‌هایی که ما در طول روز می کنیم محصول تصمیم گیریهای ماست که به دقت انجام شده است ولی این واقعیت ندارد. عادت‌ها بیشتر از ۴۰ درصد فعالیت‌های روزانه ما را شکل می دهند یعنی تقریباً نیمی از کارهایی که انجام می دهیم بر اساس عادت‌هایی است که در ما شکل گرفته است [۱]. یکی از عادت‌هایی که بصورت ذاتی در بعضی از افراد وجود دارد یا در دوران کودکی در آنها شکل گرفته است، عادت مسئله یابی و یا همان دیدن مشکلات است که قابل آموزش و اکتسابی نیز می باشد. از اینروست که بررسی این عادت‌ها و تاثیرگذاری و تغییر آنها در جهت بهره وری سازمان می تواند بسیار حائز اهمیت باشد. با توجه به اینکه عادت‌ها دارای یک چرخه هستند با طراحی و تجزیه و تحلیل عوامل این چرخه می توان یک عادت را ایجاد یا حذف و یا تغییر داده و بهره وری را افزایش داد.

## ۲- مفهوم و تعاریف نظام پیشنهادها

نظام پیشنهادها یک نظامی است که در آن با برنامه و مکانیزم مشخصی پیشنهادهای کارکنان در مورد بهبود وضعیت سازمان جمع آوری، ارزیابی و بعضاً به مورد اجرا گذاشته می شود. پاداش‌های مادی و غیر مادی از سوی سازمان تعلق می گیرد [۲]. نظام پیشنهادها تکنیکی است که می توان از فکر و اندیشه های کارکنان برای مسئله یابی، چاره جوئی و حل مسائل و مشکلات سازمانی بهره جست. بر اساس نظام پیشنهادها کلیه کارکنان از عالی ترین رده سازمانی تا پایین ترین سطح آن میتوانند پیشنهادها، ایده ها، ابتکارات و نظرات خود را برای رفع نارسایی های موجود در روند کاری و یا بهبود روشهای انجام کار و یا افزایش کیفیت تولید ارائه دهند. البته نظام پیشنهادها فقط انتقاد نیست بلکه در آن راه چاره نیز ارائه می گردد. فقط به بیان مشکلات پرداخته نمی شود بلکه راه حل‌های رفع مشکلات نیز ارائه می شود. از این طریق کارکنان می توانند به همه امور و فعالیت‌های سازمان بپردازند و پیشنهادها را اصلاحی خود را بر اساس فرآیندی مشخص تدوین و ارائه نمایند. استقرار نظام پذیرش و بررسی پیشنهادها در یک سازمان توجه و حساسیت کارکنان را به فرآیندهای کار بیشتر کرده و باعث مشارکت بیشتر کارکنان در سازمان می شود [۳].

## ۳- مفهوم و تعاریف عادت

چنانچه یک فعالیت چندین بار تکرار شود به مرور زمان تبدیل به یک عادت خواهد شد و تمام فرم زندگی ما مجموعه ای از عادت‌هاست. عادت‌ها از آن جهت بروز می کنند

#### ۴- مفهوم و تعاریف مسئله یابی

مسئله پدیده‌ای غیرعادی در روند کار سیستم است که به دلیل ایجاد اختلال و بی‌نظمی سبب افت کمی و کیفی جریان کارها و بازده سیستم می‌گردد.

مسئله یابی فعالیت‌های گسترده، منظم و متوالی به منظور یافتن و اجرای راه‌حل موثر برای اصلاح یک وضعیت نامطلوب است. مهارت حل مسئله در واقع فرآیندی شناختی- رفتاری- عاطفی است که در آن فرد یا گروه تلاش می‌کند راه حل یا شیوه مقابله موثر یا سازگارانه‌ای برای یک مسئله خاص شناسایی یا کشف نماید. در واقع منظور از حل مسئله، یافتن جواب یا جوابهایی برای یک سوال است. حل مسئله منعکس‌کننده رویکردی مثبت نسبت به زندگی است و نقطه مقابل درماندگی محسوب می‌شود. باید مسائل بزرگ را زمانی که هنوز خیلی کوچک هستند شناخت و برطرف نمود. بنابراین تشخیص مسئله مهمتر از حل آن است [۴].

همان‌گونه که گفتیم برای تشخیص مسئله یا مسئله یابی بهتر است از دیدگاه سیستمی به پدیده‌ها بنگریم تا بتوانیم مسائل را به درستی شناسایی کنیم. برای تشخیص مسائل و مشکلات می‌توان از روش‌های مختلف بنا به ضرورت‌ها و موقعیت‌های گوناگون بهره گرفت. برخی از این روش‌ها به صورت سنتی در سازمان‌های ما رایج است و برخی دیگر نیاز به یافتن مهارت‌های جدید دارند. مسئله ممکن است ناشی از یک مشکل بیرونی باشد و یا از درون فرد نشأت گرفته باشد (مثل اهداف، نیازها یا تعهدات شخصی). همچنین مسائل ممکن است به صورت‌های زیر باشند:

مسائل اتفاقی: این نوع مسائل مشخص و روشن هستند و از طریق کنترل و شناسایی علت‌ها، یافتن راه‌حل‌های مختلف و انجام مناسب‌ترین آن‌ها برطرف می‌شوند.

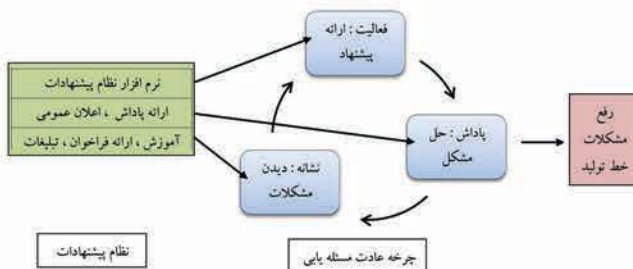
مسائل مزمن: این نوع مسائل چندان مشهود نیستند، بلکه پذیرفته شده و عادت شده‌اند. نگرشی برای حل این نوع مسئله متصور نمی‌باشد و برای برطرف کردن آن‌ها باید از فرآیند بهبود استفاده کرد زیرا مشکل در سیستم نهادینه شده است [۴].

#### ۵- نقش نظام پیشنهادات در شکل‌گیری عادت مسئله یابی

در شرکت فولاد اکسین خوزستان به عنوان اولین و تنها تولیدکننده ورق‌های عربض فولادی در ایران و خاورمیانه، دستورالعمل اجرائی نظام پیشنهادات در انتهای سال ۱۳۹۱ به تصویب رسیده و این نظام از ابتدای سال ۱۳۹۲ به طور رسمی آغاز به کار کرده است. با ایجاد سیستم نظام پیشنهادات و انجام آموزش‌های لازم در این خصوص و بسترسازی مناسب و با اجرای چند تکنیک سعی در شکل‌دهی این عادت در

کارکنان شده است. با توجه به وجود حدود ۱۰۰۰ نفر پرسنل جوان و با تحصیلات دانشگاهی، با راهکارهای مناسب حس رقابت کارکنان تحریک گردید و به مرور زمان افراد بیشتری وارد این فضای رقابت شدند و مسائل را دیده و راه حل آن را در سیستم نظام پیشنهادات ارائه دادند. تکرار این فرایند به یک عادت موثر در این کارکنان تبدیل شده است.

مکانیزه کردن سیستم نظام پیشنهادات و امکان مانیتورینگ آمارها و افراد برتر توسط تمامی پرسنل به این رقابت دامن زده است. چاپ بنر، ارسال ایمیل و پیامک و معرفی افراد برتر در سایت اینترنتی شرکت نیز از جمله عوامل دیگر تاثیرگذار بوده است و سبب افزایش انگیزه کارکنان شده است. مدل زیر نقش نظام پیشنهادات در شکل‌گیری عادت مسئله یابی کارکنان و رفع مشکلات خط تولید شرکت فولاد اکسین خوزستان را نمایش می‌دهد.

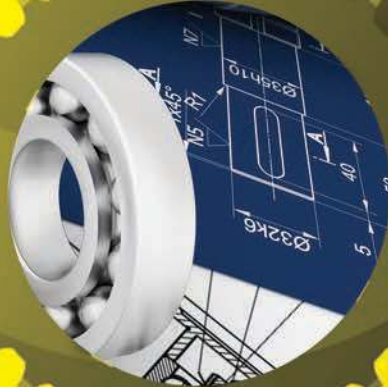


شکل ۱- نقش نظام پیشنهادات در شکل‌گیری عادت مسئله یابی

#### ۶- مراجع

- [۱] چارلز داهیگ، قدرت عادت، ۲۰۰۹
- [۲] طوسی، محمد علی ((فرهنگ سازمان)) (تهران، مرکز آموزش مدیریت دولتی، چاپ اول، ۱۳۷۶).
- [۳] محمدی، کاوه، پایان نامه کارشناسی ارشد: نظام پیشنهادات ابزار پرورش خلاقیت در سازمان، دانشگاه آزاد اسلامی سنندج، ۱۳۸۷.
- [۴] دکتر ناهید جعفری، دکتر طاهره ثنایی، مرکز مدیریت شبکه، معاونت بهداشت، ۱۳۹۳.

بومے سازی  
در صنعت نورد فولاد





## ادغام سیستم کنترل کیفیت با سیستم رهگیری محصول در خط تولید شرکت فولاد اکسین خوزستان برای اولین بار در کشور

یعقوب غلامی، علیرضا ساری پور، روح الله خسروی، مجتبی مسعودی پور، امید فرجی

شرکت فولاد اکسین خوزستان  
y.gholami@oxinsteel.ir

### چکیده

با توجه به استقرار سیستم<sup>1</sup> IMS در شرکت فولاد اکسین خوزستان و همچنین تاکید استاندارد های ISO 9001<sup>2</sup> و TS 29001<sup>3</sup> جهت اجرای صحیح و کامل سیستم مدیریت کیفیت، نیاز یک سیستم برای رهگیری<sup>4</sup> محصول نهایی از زمان ورود مواد اولیه به کارخانه تا زمان خروج محصول از کارخانه می باشد. در فولاد اکسین خوزستان یک سیستم یکپارچه رهگیری محصول در خط تولید مستقر شده است که علاوه بر ردیابی محصول، رویدادها، عملیات و فرایندهای انجام شده بر روی آن محصول تولیدی در حین فرآیند تولید را ثبت و نگهداری می کند. واحد کنترل کیفیت نیز در کنار واحد تولید، برای انجام وظایف محوله خود، ورق های تولید شده را مورد بررسی قرار می دهد و نیاز می باشد که واحد کنترل کیفیت به روشی اقدام به ثبت و رهگیری کیفیت محصولات در طول خط تولید نماید.

طبق بررسی انجام شده توسط کارشناسان اتوماسیون صنعتی شرکت فولاد اکسین خوزستان در اکثر شرکت های فولادی کشور، سیستم کنترل کیفی، بصورت یک سیستم مستقل در کنار سیستم رهگیری محصول<sup>5</sup> مستقر می باشد و یا از روش های کاملاً سنتی بر اساس پر کردن فرم های کاغذی برای این امر استفاده می کنند. در خط تولید فولاد اکسین خوزستان، یک سیستم کنترل کیفی در کنار سیستم ردیابی محصول قرار دارد و اپراتور اقدام به ثبت اطلاعات کنترل کیفی محصول در این سیستم می نماید. یکی از مشکلات این سیستم در این می باشد که اپراتور خط تولید و همینطور بازرسی کنترل کیفی مجبور هستند که هم زمان سیستم رهگیری محصول و سیستم کنترل کیفی را مورد بررسی و توجه قرار دهد که این امر موجب کندی کار و اشتباهات انسانی می گردد. دیگر ایراد اصلی در این می باشد که ورق هایی که داری کد عیب هستند و باید در مسیر خروجی خط تولید تفکیک شده و به جای ورود به انبار محصول به مسیر دیگری ارسال گردند، به دلیل یکپارچه نبودن این دو سیستم، نیاز به شناسایی محصول معیوب و تفکیک ورق ها به صورت دستی می باشد، این موضوع منجر به توقف زیاد در خط تولید و همچنین اشتباه زیاد در تفکیک ورق ها می شود. با توجه به پیچیدگی فرایند در خط تولید فولاد اکسین نیاز به سیستم جدید احساس شد که سیستم کنترل کیفی را با سیستم رهگیری محصول در خط تولید ادغام نماید تا علاوه بر افزایش سرعت در کار، خطاهای انسانی را کاهش دهد و تفکیک ورق های معیوب از سایر ورق ها را بطور اتوماتیک انجام نماید، با تکیه بر توان کارشناسان واحد اتوماسیون صنعتی شرکت فولاد اکسین خوزستان و با همکاری واحد کنترل کیفیت تصمیم به طراحی و اجرا یک سیستم یکپارچه برای رهگیری محصول و کنترل کیفیت در طول خط تولید گرفته شد، این سیستم با موفقیت طراحی و به اجرا در آمده است. در ادامه به شرح این موضوع پرداخته می شود.

واژگان کلیدی: کنترل کیفیت، رهگیری محصول، WinCC، Simatic manager، SQL Server، #C.

1- Integrated Management System سیستم مدیریت یکپارچه-1

2- ISO 9001:2008 بند 3-5-7 شناسایی و ردیابی محصول در استاندارد-2

3- ISO 9001:2015 بند 5-2-8 شناسایی و ردیابی محصول در استاندارد

3- Clause 7: Product Realization, Production and service provision TS 29001:2010

4 - Tracing

5 - Tracking System

6 - Integration

## ۱- مقدمه

رهگیری محصول در برگیرنده کنترل مواد اولیه و بازرسی محصولات نهایی می باشد. هدف کنترل کیفیت شناسایی محصولات نامنتطبق با استانداردهای ملی و بین المللی و جلوگیری از عرضه به بازار مصرف می باشد.

فولاد اکسین خوزستان حسن شهرت خود نزد مصرف کنندگان را همانند سرمایه ای ارزشمند دانسته و بطور مستمر در پی حفظ و استمرار و ارتقاء آن است. لذا تاکید بر کیفیت و تولید محصول منطبق بر استانداردهای ملی و بین المللی را سرلوحه کار خود قرار داده است. از این رو بازرسی واحد کنترل کیفیت به کمک تجهیزات پیشرفته و آزمایشگاه مرکزی شامل آزمایشگاه های آنالیز شیمیایی، خواص مکانیکی و متالوگرافی از بدو ورود مواد اولیه به کارخانه و در جریان فرایند تولید تا انبارش و خروج محصول نهایی از کارخانه، کلیه مراحل تولید را کنترل و بررسی می نمایند. با توجه استقرار سیستم IMS در شرکت فولاد اکسین خوزستان و تاکید استاندارد های ISO 9001 و TS 29001، جهت اجرای صحیح و کامل سیستم مدیریت کیفیت، نیاز به رهگیری محصول نهایی از زمان ورود مواد اولیه به کارخانه تا زمان خروج محصول از کارخانه می باشد.

هر صنعتی بسته به نوع کار و چرخه تولید محصول از سیستم ردیابی و شناسایی خاصی استفاده می کند و در نهایت گزارشات جامعی از تولید ارائه می دهد. در بسیاری از کارخانه ها این کار بصورت دستی و در فرم هایی جمع آوری می گردند؛ امروزه سیستم جامع اطلاعاتی در کنار عواملی چون نیروی انسانی مواد اولیه سرمایه انرژی و ماشین آلات بعنوان یکی از عناصر تولید نقش مهمی را ایفا می کند و روز بروز با اهمیت آن افزوده می شود. لذا کارخانه های پیشرفته استفاده از سیستم های جامع اطلاعاتی را به عنوان ابزاری برای تقویت سازمان خود به شدت مورد توجه قرار داده اند و سیستمی یکپارچه متشکل از کاربر و ماشین را برای ارایه اطلاعات در پشتیبانی از عملیات تولید، ردیابی محصول، قطعات و فرایند های مهم و مدیریت و تصمیم گیری در سازمان خود مورد استفاده قرار داده اند. این سیستم از يك سو داده های محیطی را جمع آوری و داده های مبادله شده و عملیات سازمانی را ثبت می کند و سپس آنها را با فیلترهای تعریف شده سازمان دهی و انتخاب کرده و بعنوان اطلاعات به مدیران روسا، سرپرستان و ... ارایه می نماید. در فولاد اکسین خوزستان نیز سیستم کنترل کیفی قسمتی از سیستم جامع اطلاعاتی می باشد و این سیستم در کنار سیستم ردیابی محصول در خط تولید قرار دارد و اپراتور اقدام به ثبت اطلاعات کنترل کیفی محصول در این سیستم می نماید.

## ۲- تعریف مسئله و روش پیشنهادی

در شرکت فولاد اکسین خوزستان، مواد اولیه شامل تختال می باشد که در طی فرایند نورد به ورق های فولاد با ابعاد متفاوت تبدیل می شوند، با توجه به اهمیت رهگیری محصول از لحظه ورود مواد اولیه به انبار مواد اولیه تا لحظه خروج محصول نهایی از کارخانه، یک سیستم یکپارچه ردیابی و رهگیری محصول در خط تولید مستقر شده است که وظیفه ردیابی و رهگیری محصول را در خط تولید بر عهده دارد و رویداد ها، عملیات و فرایند های انجام شده بر روی آن محصول تولیدی در حین فرایند تولید را ثبت و نگهداری کرده و به تهیه گزارشات مناسب در خط تولید می پردازد. در تصویر [۱] قسمتی از سیستم ردیابی محصول در خط تولید فولاد اکسین خوزستان نشان داده شده است.



تصویر ۱: قسمتی از سیستم رهگیری محصول خط تولید

این سیستم برای رهگیری محصول در طول خط تولید، آن را به صورت نرم افزاری به قسمت های مختلف تقسیم کرده است و با استفاده از نرم افزار Wincc، Simatic manager و PLC S7 بر اساس مقدار جابجایی هر ورق با توجه به حرکت موتور های الکتریکی، موقعیت هر ورق را به همراه ابعاد ورق و نوع عملیات و فرایند مشخص کرده در سیستم ثبت و نگهداری می کند، سپس این اطلاعات بین ایستگاه های کاری بطور خودکار منتقل می شود تا مانع از سردرگمی کاربران خط تولید و جا به جایی ورق ها گردد. در تصویر زیر [۲] قسمتی از تقسیم خط تولید نشان داده شده است.

Area	Deck	Area	Deck	Area	Deck	Area	Deck
Area 20	Deck 1	Area 20	Deck 1	Area 20	Deck 1	Area 20	Deck 1
Area 20	Deck 2	Area 20	Deck 2	Area 20	Deck 2	Area 20	Deck 2
Area 20	Deck 3	Area 20	Deck 3	Area 20	Deck 3	Area 20	Deck 3
Area 20	Deck 4	Area 20	Deck 4	Area 20	Deck 4	Area 20	Deck 4
Area 20	Deck 5	Area 20	Deck 5	Area 20	Deck 5	Area 20	Deck 5
Area 20	Deck 6	Area 20	Deck 6	Area 20	Deck 6	Area 20	Deck 6
Area 20	Deck 7	Area 20	Deck 7	Area 20	Deck 7	Area 20	Deck 7
Area 20	Deck 8	Area 20	Deck 8	Area 20	Deck 8	Area 20	Deck 8
Area 20	Deck 9	Area 20	Deck 9	Area 20	Deck 9	Area 20	Deck 9
Area 20	Deck 10	Area 20	Deck 10	Area 20	Deck 10	Area 20	Deck 10

تصویر ۲: قسمتی از تقسیم بندی نرم افزاری خط تولید



جدول ۱: موارد مورد بازرسی در کنترل کیفیت

FD1: عيوب سطحی و داخلی		FD2: عيوب ابعادی شکل ظاهری و ردیابی	
کد	نام عيب	کد	نام عيب
QC101	ترک طولی (Cracks Longitudinal)	QC201	طول کم
QC102	ترک عرضی (Crack Transverse)	QC202	طول زیاد
QC103	پوسته (Scale)	QC203	عرض کم
QC104	خوبستگي (Laps)	QC204	عرض زياد
QC105	زخم رول شده (matter Rolled in)	QC205	ضخامت کم
QC106	مارک فلنگ (marks)	QC206	ضخامت زياد
QC107	مارک لولر (marks leveler)	QC207	شمعري لبه (Edge Camber)
QC108	تول (Blister)	QC208	کمي برش (Out of square)
QC109	مک های سوزنی (holes Pin)	QC209	Out of Flatness in length
QC110	پوست زخم رول شده (scale)	QC210	نشت لبه (Out of Flatness in width)
QC111	رول شده ثانویه (rolled in secondary scale)	QC211	اختلاف ضخامت عرضی
QC112	گرد گردیده (dust)	QC212	اختلاف ضخامت در طول
QC113	پوسته قرمز قرمز (Red scale)	QC213	اختلاف کد
QC114	پوسته شکن (Edges Cracked)	QC214	نفاذ کد
QC115	عیب ناشی از برش (edge defects Shear)	QC215	باقی ماندن کوبان در سر یا ته ورق (UT)
QC116	عیب ناشی از لبه (flame on edge defects)	QC500	موجود از تست UT
QC117	عیب ناشی از لبه (Trimmer)	0	سنگ زنی
QC118	عیب ناشی از لبه (Spills-Slivers)		
QC119	زائده (Spills-Slivers)		
QC120	عیب ناشی از نوسان (Sand Patches)		
QC121	عیب ناشی از نوسان (Seam)		
QC122	درز (Seam)		
QC123	چاشنی لبه ای (strip edges) Split		
QC124	سدمات مکانیکی (Mechanical damage)		
QC125	رگه ماسه ای (Sand Patches)		
QC126	عیب برشی (Defects Internal)		
QC127	مطره واپس بزرگ (Rupture Massive)		
QC128	خراشیدگی و پاره شدن (Gouges & Scratches)		
QC129	تفاوت ترکیب شیمیایی (Out of order chemical composition)		
QC130	تفاوت خواص مکانیکی (Out of order mechanical properties)		
QC131	پوسته (Porosity)		
QC132	ترک ارتداد نوسان (dism oscillation mark Crack)		
QC133	سازگاری		

از آن جایی که این اطلاعات بسیار زیاد می باشند و همچنین بر اساس نوع فرایند تولید، نقاط ورود و خروج متعددی در خط تولید وجود دارد و با در نظر گرفتن این نکته که ممکن است یک ورق مادر به چندین سفارش فروش که جنبه های متفاوتی دارند اختصاص داده شده باشد، دسته بندی و آمارگیری از جنبه کنترل کیفی بسیار سخت و در برخی مواقع حتی امری ناممکن است به همین منظور نرم افزار هایی جهت ردیابی اطلاعات کنترل کیفی هر ورق در خط تولید نیاز می باشد.

موارد و خواسته های مورد نیاز واحد کنترل کیفیت در سیستم رهگیری محصول در خط تولید گنجانده نشده است و نیاز می باشد که واحد کنترل کیفیت به روشی اقدام به ثبت و رهگیری اطلاعات کنترل کیفی محصولات در طول خط نماید، نکته مهم اینکه با توجه به وجود ایستگاه های کاری زیادی که در طول خط وجود دارد و نیاز به اشتراک گذاری و بررسی مجدد این اطلاعات وجود دارد، همچنین با توجه به نوع ایراد تشخیص داده شده برای هر ورق، مسیر جداگانه ای برای خروج ورق از خط تولید در نظر گرفته شده است و نباید ورق هایی که داری کد ایراد هستند وارد انبار محصول گردند. در اکثر کارخانه های پیشرفته از جمله فولاد اکسین خوزستان، یک سیستم کنترل کیفیت محصول در کنار سیستم تولید قرار گرفته است و بازرسان خط تولید اقدام به ثبت اطلاعات کنترل کیفی در این سیستم می نماید و این اطلاعات از طریق این سیستم در اختیار دیگر ایستگاه های کاری قرار می گیرد. مشکل بزرگ این روش در این می باشد که اپراتور خط تولید و همین طور بازرسین کنترل کیفی مجبور هستند که همزمان سیستم رهگیری محصول و سیستم کنترل کیفیت

واحد کنترل کیفیت در کنار واحد تولید، برای انجام وظایف محوله خود نیاز به بررسی ورق های تولید شده در ناحیه بستر های خنک کننده و ناحیه میز بازرسی و انجام تست التراسونیک<sup>۳</sup> دارد، همچنین در انتهای خط تولید، قبل از انتقال محصول نهایی به انبار، واحد کنترل کیفیت محصول نهایی را مجدداً مورد بررسی قرار می دهد، جهت افزایش دقت در این بازرسی از یک سیستم بر اساس پردازش تصویر برای بازرسی ابعاد ورق های تولید شده در انتهای خط استفاده می شود. واحد کنترل کیفیت برای هر ورق اقدام به بررسی موارد اشاره شده در جدول شماره ۱ می نماید. در تصویر [۳] قسمتی از این تست التراسونیک نشان داده شده است و در تصویر [۴] قسمتی از این سیستم اندازه گیری تصویری ورق نشان داده شده است.

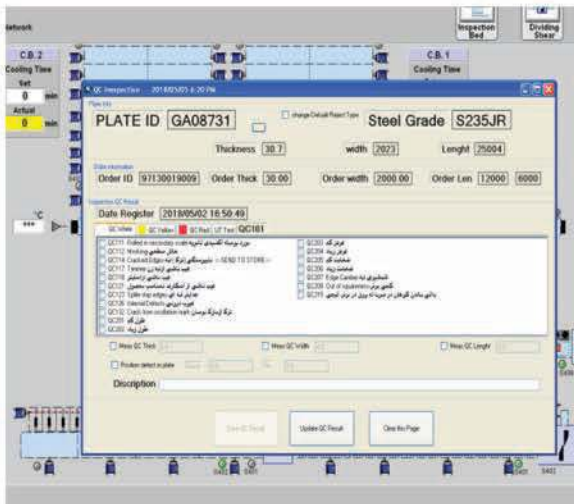


تصویر ۳: سیستم تست التراسونیک ورق

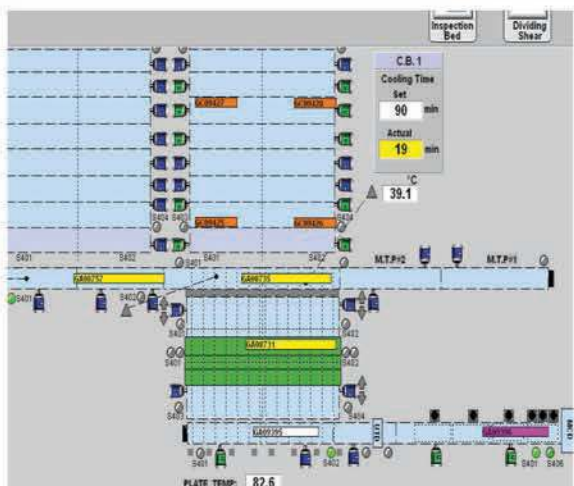


تصویر ۴: سیستم اندازه گیری Final QC

برای حل مشکل عدم ثبت و پیگیری اطلاعات کنترل کیفی در سیستم رهگیری محصول، یک سیستم جدید با عنوان رهگیری اطلاعات کنترل کیفی، در سطح اوسط و سطح اتوماسیون با استفاده از نرم افزارهای WinCC، Simatic manager، بانک اطلاعاتی Sqlserver و زبان برنامه نویسی #C طراحی و اجرا شد. سیستم جدید نیز مشابه سیستم رهگیری محصول، خط تولید را به نواحی مجازی تقسیم می کند و با حرکت کردن هر ورق بر روی میزهای غلطکی، اطلاعات کنترل کیفی نیز با آن در قسمت های مختلف حرکت خواهد کرد و به واحد کنترل کیفیت اجازه می داد که با استفاده از سیستم رهگیری محصول اقدام به ثبت اطلاعات کنترل کیفی نماید و نتیجه بازرسی خود را بلافاصله در سیستم رهگیری محصول وارد نماید.

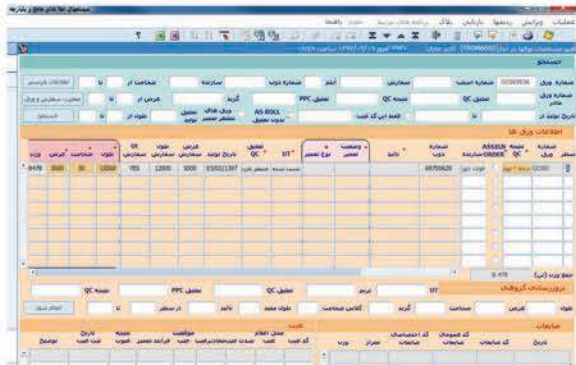


تصویر ۶: ثبت اطلاعات کنترل کیفیت در سیستم رهگیری محصول



تصویر ۷: نمایش اطلاعات کنترل کیفیت در سیستم رهگیری محصول

را مورد بررسی و توجه قرار دهند و نتایج را پس از تطبیق با سیستم رهگیری محصول در سیستم کنترل کیفی ثبت نمایند که این موضوع منجر به مشکلات زیاد و کندی کار می شود. دیگر ایراد اصلی در این می باشد که ورق هایی که داری کد عیب هستند و باید در مسیر خروجی تفکیک شده و به جای ورود به انبار محصول به مسیر دیگری ارسال گردند را باید به گونه ای از سایر ورق ها تفکیک کرد. این موضوع که سیستم رهگیری محصول از سیستم کنترل کیفیت مستقل می باشد و اطلاعی از وضعیت کنترل کیفی ندارد و باید پس از تطبیق سیستم تولید و کنترل کیفی بصورت دستی اقدام به تفکیک ورق های داری کد عیب نمود. این موضوع منجر به توقف زیاد در خط تولید و همچنین اشتباه زیاد تفکیک ورق های می شود. در تصویر زیر [۵] قسمتی از سیستم کنترل کیفی نشان داده شده است.



تصویر ۵: سیستم کنترل کیفیت قسمتی از سیستم های جامع تولید می باشد

با بررسی و مطالعه انجام شده، مشاهده شد که تقریباً همگی به روشی که در پاراگراف قبل اشاره شد عمل کرده اند و سیستم کنترل کیفی، بصورت یک سیستم مستقل در کنار سیستم تولید مستقر می باشد و با از روش های کاملاً سنتی بر اساس پر کردن فرم های کاغذی برای این امر استفاده می کنند. با توجه به پیچیدگی فرایند در خط تولید فولاد اکسین نیاز به سیستم جدید احساس می شد که سیستم کنترل کیفی را با سیستم رهگیری محصول در خط تولید ادغام نماید تا علاوه بر افزایش سرعت در کار، خطاهای انسانی را کاهش دهند، با توجه به پیچیدگی فنی و گسترده بودن سیستم رهگیری محصول بین چندین ایستگاه کاری و نبود نمونه مشابه در کشور، ابتدا تصمیم به استفاده از شرکت سازنده دانیلی جهت اجرای این طرح بود ولی با توجه به هزینه بسیار بالا که بیش از ۲۰۰ هزار یورو تقریب زده می شد، تصمیم به طراحی و اجرا یک سیستم یکپارچه برای رهگیری محصول و کنترل کیفی با تکیه بر توان کارشناسان واحد اتوماسیون صنعتی و با همکاری واحد کنترل کیفیت گرفته شد.

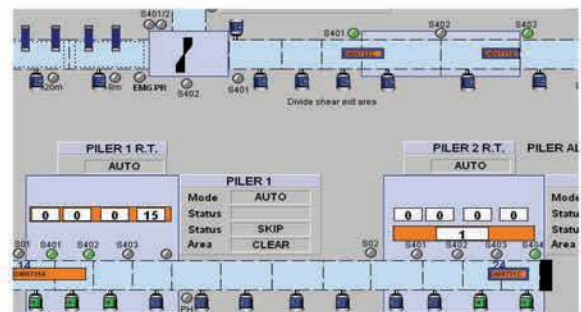
این سیستم در مدت ۳ ماه و با تکیه بر توان کارشناسان اتوماسیون صنعتی فولاد اکسین خوزستان، در نواحی بسترهای خنک کننده و میز بازرسی، سیستم تست التراسونیک، سیستم اندازی گیری تصویری ورق ها و پایلرهای انتهایی خط تکمیلی به اجرا در آمد، همچنین این اطلاعات بلافاصله پس از ثبت در سیستم رهگیری محصول برای سیستم جامع تولید و انبارداری ارسال می گردد و نیاز به ثبت مجدد اطلاعات در سیستم های جامع توسط کاربران نیز وجود ندارد که این موضوع منجر به کاهش خطای انسانی و سرعت در انجام کارها شده است.

### ۳- نتیجه گیری و پیشنهاد

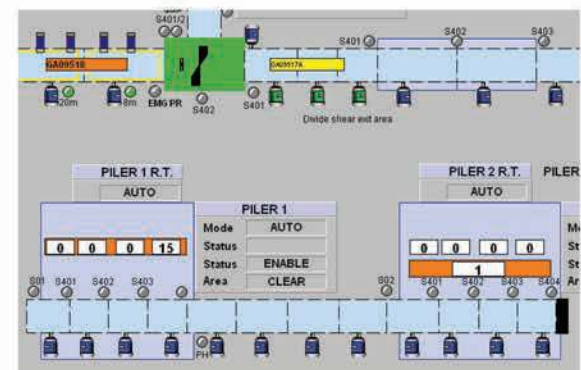
با اجرای این سیستم و ادغام سیستم کنترل کیفیت با سیستم رهگیری محصول که می توان آن را اولین نمونه از نوع خود در کشور دانست، علاوه بر جلوگیری خروج ارز از کشور و کاهش هزینه های مالی شرکت، امکان ثبت اطلاعات کنترل کیفی در کنار اطلاعات فرایند بصورت یکپارچه فراهم آمده است، همچنین این اطلاعات بلافاصله در اختیار سیستم جامع تولید و انبارداری قرار می گیرد، اجرای این سیستم باعث کاهش اشتباه انسانی در ثبت اطلاعات کنترل کیفی و در نتیجه کاهش در زمان انبارداری، کاهش در زمان صدور تاییدیه کنترل کیفیت برای ورق ها، کاهش در زمان تحویل ورق به مشتری و کاهش شکایت مشتری از کیفیت محصول را به دنبال داشته است. همچنین فشار کاری بر کاربران خط تولید و کنترل کیفیت به دلیل استفاده از یک سیستم واحد جهت انجام وظایف محوله کاهش یافته است. با ثبت اطلاعات دقیق از فرایند کنترل کیفیت ورق و اطلاعات ثبت شده از فرایند در حین تولید محصول، این امکان فراهم خواهد آمد که در آینده نزدیک با استفاده از تکنیک های داده کاوی<sup>۹</sup>، اقدام به استقرار سیستم های پیشگو عیوب<sup>۱۰</sup> ورق در زمینه کنترل کیفیت نمود و با بررسی اطلاعات فرایند ورق و مقایسه نتایج مشاهده شده در کنترل کیفیت، با اصلاح فرایند های تولید، مانع از وقوع مجدد عیوب در محصول شد و ضایعات را کاهش داد. همچنین پیشنهاد می شود که در راستای تکمیل پروسه های کنترل کیفی و ادغام هر چه بیشتر این سیستم با سیستم رهگیری محصول در خط تولید، سیستم نمونه گیری اتوماتیک برای کاهش اشتباه در نمونه گیری به اجرا در آید.

همانطور که در تصویر [۶] دیده می شود، بازرسی کنترل کیفیت به راحتی می تواند نتیجه بازرسی و عیوب تشخیص داده شده برای محصول را در سیستم رهگیری محصول ثبت نماید. در تصویر [۷] با نشان دادن شد است برای هر ورق با توجه به نوع کد عیب، یک هشدار با رنگ بر روی سیستم رهگیری کیفی، نمایش داده شده است. در تصویر بالا یک ورق معیوب با Rej 1 (رنگ سفید)، یک ورق معیوب با Rej 2 (رنگ زرد) و یک ورق معیوب با Rej 3 (رنگ قرمز) نشان داده شده است.

از اطلاعات ثبت شده در سیستم رهگیری کنترل کیفیت برای نمایش هشدار های مناسب در سیستم رهگیری محصول و تفکیک اتوماتیک ورق های داری کد عیب استفاده می شود. ارتباط سیستم رهگیری محصول و کنترل کیفیت بر اساس یک شناسه عددی<sup>۸</sup> منحصر به فرد برای هر ورق که بین دو سیستم مشترک است، انجام می گیرد و با ورود هر ورق به هر قسمت از خط تولید، اطلاعات کنترل کیفی آن ورق با استفاده از این شناسه عددی استخراج شده و در کنار سیستم رهگیری محصول برای اپراتور به نمایش در می آید. تصویر [۸] و در صورتی که کد عیب برای ورق لحاظ شده باشد، سیستم رهگیری محصول اقدام به نمایش هشدار های مناسب برای اپراتور تولید می نماید و همچنین ورق های داری کد عیب بصورت اتوماتیک تفکیک شده و اجازه ورود به انبار را نخواهند یافت (تصویر ۹).



تصویر ۸: نمایش هشدار در مورد طول ورق با نمایش کادر آبی رنگ



تصویر ۹: تفکیک وره های معیوب، داری کد رنگ، توسط سیستم اتوماتیک پایلر

9 - Data Mining  
10 - Defect Prediction





## تعمیر اساسی و بومی سازی سیستم اتوماسیون ماشین برش هواگاز<sup>۱</sup> در شرکت فولاد اکسین خوزستان

امیدفرجی، ایوب دزفولی، روح الله خسروی، یعقوب غلامی، مجتبی مسعودی پور

شرکت فولاد اکسین خوزستان

o.farggi@oxinsteel.ir

### چکیده

در دوران مدرن کنونی خودکار سازی ماشین و تجهیزات از لحاظ تجاری برای کارخانه جات یک مزیت می باشد، کاربرد تکنولوژی مدرن باعث افزایش سرعت در کارها، کاهش ضایعات و همچنین افزایش ضریب ایمنی کاربران سیستم خواهد شد. از این رو استفاده از یک سیستم کنترل مدرن برای اتوماتیک ساختن فرایند برش ورق های با ضخامت بالای ۵۰ میلی متر در فولاد اکسین خوزستان، توسط ماشین برش هواگاز ضروری می باشد. این تجهیز مهم در طول سال های اولیه راه اندازی کارخانه دچار آسیب شده بود و امکان بهره برداری از آن مقدور نبود. سیستم کنترلی ماشین دچار مشکل شده بود و برنامه سیستم کنترلی نیز موجود نبود، همچنین تعدادی زیادی از کارت های ابزار دقیق، سنسورها، موتورها، شیرهای کنترلی آسیب دیده یا موجود نبود، حجم زیادی از کابل های کنترلی نیز آسیب دیده و نیاز به تعویض داشت. با وجود سفارش خرید از سوی مشتریان برای ورق های با ضخامت بالای ۵۰ میلی متر، به ویژه جهت صادرات به اروپا، امکان بهره برداری از این تجهیز و نتیجه فروش این محصولات مقدور نبود. این موضوع به معنی ضرر و زیان برای شرکت محسوب می شد، با توجه به وجود محدودیت زمانی برای تولید ورق های با ضخامت بالای ۵۰ میلی متر جهت صادرات و همچنین هزینه بالای تعمیر تجهیز، به کارشناسان اتوماسیون صنعتی شرکت فولاد اکسین فرصت بومی سازی این سامانه داده شد؛ هنگام اجرای این پروژه کلیه کابل های کنترلی بازرسی و یا تعویض گشت، سپس کلیه پارامترها و چرخه های<sup>۲</sup> کاری دستگاه برش هوا برش بررسی و تحلیل و بر اساس آنها در سیستم اتوماسیون جدید برنامه نویسی شد. با توجه به تعداد زیاد پارامترها و چرخه ها و توابع های<sup>۳</sup> کنترلی متعدد و پیچیده در عملکرد ماشین برش برنامه نویسی و تست اتوماسیون جدید بیش از سه ماه و به میزان بیش از هزار نفر ساعت کار کارشناسی بطول انجامید که در ادامه شرح آن خواهیم پرداخت. با اجرای این طرح علاوه بر به حداقل رساندن توقف تجهیز، ساده سازی شبکه کنترلی انجام شد که منجر به خطایابی ساده تر در سیستم می شود، تهیه راحت قطعات یدکی و رفع عیب سریع تجهیز میسر شد. با اتوماتیک شدن فرایند برش، ضریب ایمنی با حذف روش برش توسط اپراتور، افزایش یافت و کیفیت و سرعت برش نیز ارتقا یافت و از تحمیل هزینه ۲۵ هزار یورویی به شرکت جلوگیری شد. بیش از ۲۳۰۰ شاخه ورق معادل ۲۸۰۰۰ هزار تن ورق تولید شده از زمان راه اندازی دستگاه تا کنون، که بخش بزرگی از آن نیز صادر شده است، تایید کننده اهمیت این تجهیز می باشد.

کلمات کلیدی: ورق فولادی، ماشین هوا برش، ابزار دقیق، PLC S7300، Simatic Manager

1 - OXYCUTTING MACHINE

2 - Cycle

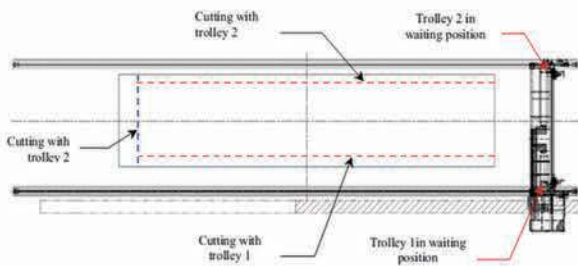
3 - Function



تصویر ۲: دستگاه برش هواگاز



تصویر ۳: دستگاه برش هواگاز



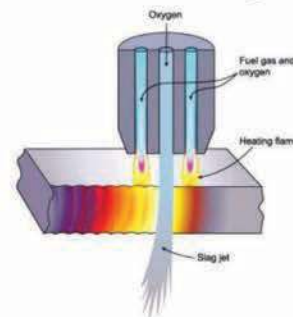
تصویر ۴: مسیر حرکت مشعل هادر دستگاه برش هواگاز

تکرار این فرایند، باعث می شود تا مشعل بتواند بر روی سطح فلز حرکت نموده و نهایتاً ورق فولادی بریده شود. در انبار ورق های ضخیم، یک دستگاه برش هواگاز که از گاز طبیعی به عنوان سوخت استفاده می کند، به همراه ساختار لازم برای قرار گرفتن ورق تحت برش، وجود دارد، همان گونه که در تصویر [۲،۳،۴] مشاهده می شود، ساختار این دستگاه برش بصورت دروازه ای می باشد که امکان برش ورق هایی به طول حداکثر ۲۱ متر، عرض ۴/۵ متر و ضخامت ۳۰۰ میلی متر را دارا می باشد. این دستگاه داری ۲ مشعل برش مجزا می باشد که می توان از آنها برای برش لبه کناری ورق بصورت هم زمان استفاده نمود، همچنین هر مشعل می تواند برای انجام برش های عرضی در ورق بکار رود. مکانیزم حرکتی این مشعل ها بصورت دنده شانه ای می باشد و از موتورهای 9AC برای انجام حرکت های عمودی، طولی و عرضی با دقت ۰/۱ میلی متر در

9 - AC motor

## مقدمه

امروزه دستگاه های برش هوا گاز یکی از پرکاربردترین دستگاه های برش در صنایع مختلف می باشد. با توجه به اینکه برش لبه کناری و سر و ته ورق های با ضخامت بالای ۵۰ میلی متر باقیچی های مستقر در خط تولید ناحیه تکمیلی مقدور نمی باشد، از این تجهیز برای این کار استفاده می شود. از این رو این تجهیز نقش مهمی در تولید ورق های با ضخامت بالای ۵۰ میلی متر دارد، همچنین از این تجهیز برای اصلاح ورق های معیوب و بازبایی و فروش این دسته از محصولات استفاده می شود. خلاصه فرآیند برش فولاد در این تصویر [۱] نشان داده شده است.



تصویر ۱: خلاصه فرآیند برش فولاد

گاز اکسیژن (سوخت اول) و سوخت مورد نظر (سوخت دوم)، در داخل مشعل<sup>۴</sup> با یکدیگر ترکیب شده و بصورتی که در تصویر [۱] نمایش داده شده است، به سمت نازل<sup>۵</sup> هدایت می شوند. همان گونه که در شکل نیز مشخص است، نازل مشعل دارای یک خروجی<sup>۶</sup> (اوریفیس) در مرکز بوده که گاز اکسیژن خالص به تنهایی از آن خارج می شود. در حالی که خروجی های محیطی مشعل، وظیفه انتقال گاز ترکیبی را به خارج از نازل بعهده دارند. گاز ترکیبی بلافاصله پس از خروج از نازل مشتعل می شود، فولاد را پیش گرمایش<sup>۷</sup> می نماید، بگونه ای که دمای نقطه مورد نظر را بالا برده تا آنجا که کاملاً سرخ شده اما ذوب نشود. این دما برای فولاد بین ۷۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد می باشد. خروجی مرکزی نازل، گاز اکسیژن خالص را با فشار زیاد به سمت نقطه حرارت داده شده (پیش گرم شده) پرتاب می نماید که این امر باعث یک واکنش شیمیایی شدیداً حرارت زا بین اکسیژن و فلز شده و منجر به شکل اکسید آهن یا اسلگ<sup>۸</sup> (در اصطلاح عامیانه به آن گل گفته می شود) می شود. اکسیژن خالصی که کماکان از خروجی (اوریفیس) مرکزی و با فشار به سمت بیرون هدایت می شود، باعث می شود تا اکسید آهنی که بدلیل واکنش شیمیایی بین اکسیژن و فلز تشکیل شده است به سمت بیرون پرتاب و باعث ایجاد برش در فلز شود.

- 4 - Torch
- 5 - Nuzzle
- 6 - orifice
- 7 - Pre Heat
- 8 - Slag

دستگاه مشخص شد که سیستم کنترلی ماشین دچار مشکل شده است و برنامه سیستم کنترلی نیز موجود نبود، همچنین تعدادی زیادی از کارت های ابزار دقیق، سنسورها، موتورها، شیرهای کنترلی (تصویر ۶) آسیب دیده بودند یا موجود نبودند، حجم زیادی از کابل های کنترلی نیز آسیب دیده و نیاز به تعویض داشت.



تصویر ۶: شیرکنترلی هوا و گاز طبیعی

با وجود سفارش خرید از سوی مشتریان برای ورق های با ضخامت بالای ۵۰ میلی متر، به ویژه جهت صادرات به اروپا، به دلایل مطرح شده، امکان بهره برداری از این تجهیز و نتیجه فروش این محصولات مقدور نبود، این موضوع به معنی ضرر و زیان برای شرکت محسوب می شد، با توجه به اهمیت موضوع از شرکت سازنده برای راه اندازی تجهیز درخواست کمک شد.

به دلیل اهمیت این تجهیز و انحصاری بودن آن، شرکت سازنده درخواست هزینه بالغ بر ۲۵ هزار یورو برای راه اندازی سیستم را داشت، با توجه به محدودیت زمانی برای تولید ورق های با ضخامت بالای جهت صادرات و همچنین هزینه بالای تعمیر تجهیز، به کارشناسان اتوماسیون صنعتی شرکت فولاد اکسین فرصت بومی سازی این سامانه داده شد.

هنگام اجرای این پروژه کلیه کابل های کنترلی بازرسی و در صورت نیاز تعویض گشت، سپس کلیه پارامترها و چرخه های<sup>۱۶</sup> کاری دستگاه برش مشعل بررسی و تحلیل و بر اساس آنها در سیستم اتوماسیون جدید با افزار Simatic Manager برنامه نویسی شد.

با توجه به تعداد زیاد پارامترها و چرخه ها و توابع های کنترلی متعدد و پیچیده در عملکرد ماشین برش، برنامه نویسی و تست سیستم اتوماسیون جدید بیش از سه ماه و به میزان بیش از هزار نفر ساعت کار کارشناسی بطول انجامید.

16 - Cycle

ابزار دقیق، عملگرها و کنترل کننده ها<sup>۱۰</sup> مقدور شده است. استفاده از دستگاه برش هواگاز مدرن که به جای انجام برش توسط انسان، با کنترل کننده اتوماسیونی کنترل می شود، داری مزایای ذیل می باشد:

- سرعت بالا
- ایمنی بالاتر برای کاربر
- دقت و کیفیت بالاتر

## شرح مشکل و راه حل پیشنهادی

دستگاه برش هواگاز داری یک سیستم کنترلی PLC S7300 می باشد که با دریافت فرامین از صفحه کلید توسط اپراتور، فرایند برش را انجام می دهد شکل [۵]. همچنین برای کنترل فرایند حرکت هر مشعل در جهت عمودی، طولی و عرضی از راه انداز<sup>۱۱</sup> "Omron F7" برای کنترل موتورها استفاده می کند، همچنین مکان هر مشعل در هر محور عرضی و طولی با استفاده از تجهیزات ابزار دقیق به نام انکدر<sup>۱۲</sup> تعیین می شود، مکان عمودی هر مشعل نیز از طریق سنسور اندازه گیری ابزار دقیق به نام سنسور کنترلی<sup>۱۵</sup> On/Off برای باز و بسته کردن گاز اکسیژن و گاز طبیعی استفاده شده است، همچنین تعدادی سنسور محدوده حرکتی در هر محور راکنترل می کند و مانع خروج هر مشعل از آن محور می شود.



تصویر ۵: میز فرمان کنترلی

این تجهیز مهم در طول سال های اولیه راه اندازی کارخانه دچار آسیب شده بود، امکان بهره برداری از آن مقدور نبود، طی بررسی های انجام شده برای بهره برداری از

- 10 - PLC
- 11 - Drive
- 12 - omron شرکت سازنده تجهیزات برقی و کنترلی -
- 13 - Encoder
- 14 - Linear position transducer
- 15 - Control Valve

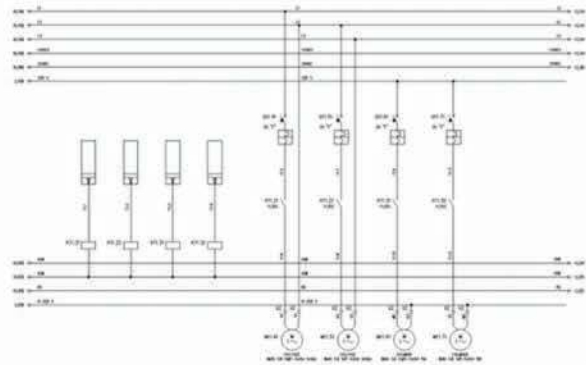
در این سیستم اتوماسیونی جدید، پس از قرار گرفتن ورق بر روی پایه های برش، ابتدا اپراتور یکی از روش های، برش لبه یا برش عرضی ورق را انتخاب می کند، سپس طول و عرض و ضخامت ورق را در سیستم وارد می نماید. با فرمان اپراتور، شعله پایلوت جهت مشعل پیش گرمایش روشن شده، مشعل ها به سمت لبه های ورق حرکت می کنند، با تشخیص لبه های ورق، مشعل ها در فاصله تعیین شده از لبه ورق متوقف شده، سپس سیستم پیش گرمایش ورق آغاز بکار کرده و مشعل پیش گرمایش شروع به گرم کردن لبه های ورق می کند، هم زمان سیستم خنک سازی ساختار دستگاه فعال شده و آب را جهت خنک سازی به گردش در می آورد، با پایان مدت زمان گرمایش، سیستم برش فعال می شود، مشعل برش در جهت عمودی حرکت می کند و در فاصله تعیین شده از سطح ورق قرار می گیرد، سپس فرایند برش آغاز می شود، و مشعل در راستای طولی یا عرضی شروع به حرکت می کند، سرعت برش و حرکت مشعل توسط اپراتور قابل کنترل می باشد، همچنین اپراتور امکان توقف و یا خاتمه عملکرد سیستم در هر مرحله را دارا می باشد. این فرایند تا پایان برش ادامه می یابد.

### نتایج

با اجرای این طرح علاوه بر به حداقل رساندن توقف تجهیز، ساده سازی شبکه کنترلی، تهیه راحت قطعات یدکی و رفع عیب سریع تجهیز میسر شد، با اتوماتیک شدن فرایند برش ضریب ایمنی با حذف روش برش توسط اپراتور حذف شد و کیفیت و سرعت برش نیز ارتقا یافت، از تحمیل هزینه ۲۵ هزار یورویی به شرکت جلوگیری شد. حجم ورق های تولید شده در نمودار شماره ۱ (۲)، از زمان راه اندازی دستگاه تاکنون، تاییدکننده اهمیت این تجهیز می باشد. لازم به ذکر که بخش عمده ای از این محصولات به خارج از کشور صادر شده است.



نمودار شماره ۱: تناژ محصولات تولیدی ضخامت بالای ۵۰ میلی متر پس از راه اندازی تجهیز



تصویر ۷: مدار سیستم حرکتی مشعل



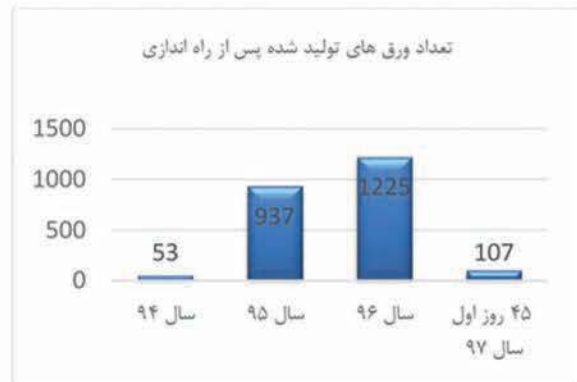
تصویر ۸: راه انداز موتور Omron F7

مطابق تصویر [۷،۸]، هر مشعل دارای سه موتور AC برای حرکت در سه جهت مختلف می باشد و نیاز می باشد که سیستم کنترل امکان فرمان حرکت رو به جلو و عقب در هر سه بعد را از طبق راه اندازهای Omron F7 داشته باشد، جهت انجام فرایند برش از مکان مشعل در هر بعد بطور دقیق آگاه باشد، همچنین عملکرد شیرهای کنترلی مربوط به گاز اکسیژن، گاز طبیعی و آب مورد نیاز خنک سازی بررسی و در سیستم جدید در نظر گرفته شد. با توجه به در دسترس نبودن سورس کد<sup>۱۷</sup> برنامه اتوماسیونی این تجهیز، جهت نحوه ارتباط و کنترل بین PLC S300 و راه اندازهای Omron F7 از طریق شبکه اتوماسیون صنعتی پروفی باس<sup>۱۸</sup> در نرم افزار simatic Manager مطالعات زیادی انجام شد که منجر به باز نویسی کامل این سامانه شد.

17 - SOURCE CODE  
18 - Profibus



مشعل هنگام برش بالا نیست، استفاده از سیستم کنترلی با ثابت زمانی بالا در پروسه کنترلی خلی ایجاد نمی کند. همچنین اقدامات انجام شده بستر را برای تبدیل دستگاه برش به یک دستگاه برش CNC که قابلیت برش اشکال هندسی متفاوت را دارد، فراهم آورده است.



نمودار شماره ۲: تعداد شاخه محصولات تولیدی ضخامت بالای ۵۰ میلی متر پس از راه اندازی تجهیز

این نتایج، در ابتدای سال ۹۷ منجر به ثبت سفارش فروش این دسته از محصولات با ضخامت بالا، به وزن ۶۰ هزار تن شده است که سودآوری زیادی را نصیب شرکت خواهد کرد.

### پیشنهادهای

با بومی سازی سیستم اتوماسیون دستگاه برش هواگاز، امکان ارتقا اتوماسیون بیشتر در این سیستم فراهم شده است و امکان اصلاح سیستم بگونه ای که ایجاد برش در عرض هر دو مشعل بصورت هم زمان مقدور باشد، وجود دارد، همچنین می توان جهت افزایش کیفیت کار با استفاده از نرم افزار WinCC رابط کاربری<sup>۱۹</sup> پیشرفته برای اپراتور ایجاد کرد.

با توجه به بومی بودن سامانه کنترلی فعلی می توان ارتباطی را بین این سیستم و سیستم جامع اطلاعاتی انبار ایجاد کرد و اطلاعات ابعادی ورق های برش داده شده را بطور اتوماتیک به سیستم جامع اطلاعاتی ارسال نمود و اطلاعات صحیح و دقیق تر را در سیستم اطلاعاتی ثبت نمود.

پیشنهاد دیگر ایجاد مکانیزم برای تنظیم خودکار فاصله مشعل برش با ورق در حین برش می باشد. با توجه به اینکه کیفیت خروجی دستگاه به متغیرهای زیادی وابسته است که یکی از مهمترین این پارامترها، تنظیم دقیق ارتفاع نازل با سطح کار می باشد. از آنجا که ابعاد قطعه کار بزرگ و وزن آن بسیار سنگین است، امکان وجود خم و قوس در این قبیل سطوح وجود دارد، به همین دلیل متغیر بودن فاصله بین نازل و سطح ورق اجتناب ناپذیر است. نصب سیستم کنترل ارتفاع<sup>۲۰</sup> برای این قبیل دستگاه ها، موجب ثابت بودن فاصله مشعل برش تا سطح ورق می شود که تاثیر زیادی در کیفیت قطعه کار خروجی دستگاه دارد. با اجرای این مکانیزم، فاصله مشعل بطور خودکار با ورق تنظیم می شود. کنترل این پروسه بصورت حلقه بسته می باشد و از آنجا که سرعت خطی حرکت

19 - HMI - Human machine interface

20 - Torch height controller



تحلیل بازار ورق های فولادی



## تحلیل روند بازار داخلی و بین المللی ورق فولادی

اسلام پور بندری، علی اکبر عبدی زاده، اسماعیل شفیانی  
شرکت فولاد اکسین خوزستان

### بررسی وضعیت فولاد در بازار ایران

پیش بینی های بازار فولاد نشان از رشد قیمت ها در سال ۹۷ دارد. با توجه به افزایش چشمگیر نرخ دلار و همچنین خروج آمریکا از برجام، طی ماه های آینده با افزایش قیمت محصولات فولادی مواجه خواهیم شد. اگر چه در ابتدای هر سال و پس از تعطیلات نوروزی به دلیل محدودیت های موجود آمده، در عرضه و تقاضا افزایش زیادی دیده نمی شود. از دیگر دلایل احتمالی افزایش قیمت در سال جاری، محدودیت عرضه از سوی کارخانه های تولیدی می باشد، همین امر باعث افزایش قیمت محصولات فولادی در یک برهه زمانی می شود که می تواند بر دیگر بازارها از جمله بازار مسکن تاثیر بسزایی بگذارد.

بررسی ها نشان می دهد در شرایط فعلی تجار و فروشندگان در بازار از وضعیت پیش آمده ناراضی هستند و تمایلی به خرید و فروش ندارند. همچنین صادر کنندگان در این حوزه ترجیح می دهند بجای فروش ارز با نرخ ۴۲۰۰ تومان، در بازار داخل فعالیت نمایند و ۹ درصد مالیات بر ارزش افزوده را پرداخت کنند. در حال حاضر شرکت های فولادی به دنبال خروج آمریکا از برجام به دنبال خرید مواد اولیه هستند که همین امر موجب التهابات زیادی در بازار گشته و به دنبال آن فروشندگان خارجی از این وضعیت سوء استفاده کرده و قیمت هایشان را افزایش داده اند.

از طرفی طی هفته های گذشته خبر هایی مبنی بر احتمال شروع جنگ تجاری بین کشور چین و آمریکا بر نگرانی های بازار افزوده است. از دیگر عوامل فشار بر قیمت فولاد نیز رشد شاخص دلار بوده است.

به دنبال تحریم مجدد ایران از تاریخ ۸ آگوست سال ۲۰۱۸ از طرف آمریکا و درج فولاد در بند های این تحریم کاملاً مشخص است که صادرات فولاد ایران از این تاریخ به بعد با مشکلات بسیار زیادی مواجه خواهد شد.

قانونی را طی نموده و اقدام به باز کردن حساب کرده اند، می توانند در معاملات سنگ آهن سپتامبر شرکت نمایند. سنگ آهن اولین کامودیتی است که در یکی از بورس های چین به خریداران خارجی عرضه می شود. چین قصد دارد، بورس دالیان را به پنج مارک سنگ آهن دنیا تبدیل نماید و از این طریق یوان را در معاملات سنگ آهن تثبیت کند.

انتظار می رود با حضور هر چه بیشتر خریداران خارجی در بورس دالیان، بهای این نهاد تولید در کوتاه مدت تقویت شود، اما لازم به ذکر است که بهای سنگ آهن در بلند مدت تابعی از عرضه و تقاضا خواهد بود.

### ۳. کاهش پنج هفته ای موجودی انبارها

موجودی انبارهای فولاد در چین برای پنجمین هفته متوالی افت داشته و به ۱۵.۱۴ میلیون تن رسیده که ۷/۵ درصد کاهش را در یک هفته نشان می دهد.

با رشد تقاضا از اوایل آوریل و توقف فعالیت تولیدکنندگان فولاد در استان ژوژو، تولید فولاد طی هفته های گذشته افت یافت. این تحولات به بنیاد عرضه و تقاضا کمک نموده است و احتمال می رود فضا برای رشد بیشتر قیمت آهن در بازار داخلی چین مهیا باشد.

از سوی دیگر، با سودآوری بالای تولیدکنندگان فولاد چینی، فشار کمبود نقدینگی تا حدود زیادی از روی آنها برداشته شده و نیاز به پایین آوردن قیمت برای فروش محصولات فولادی کمتر شده است. لذا فروشندگان توانایی مانور بیشتری در پیشنهادات خود پیدا نموده اند.

البته شایان ذکر است که با افزایش حاشیه سود تولیدکنندگان آهن آلات به بالای ۱۰۰۰ یوان در تن از یک سو و رفع محدودیت های تولید خصوصا در منطقه ژوژو از سوی دیگر (افزایش عرضه)، رشد قیمت کمی تحت فشار قرار خواهد گرفت.

### ۴. فشار بازار برای دوره آتی تنظیم قیمت ها

در سیاست انقباضی دولت، احتمال بالا بودن سطح تقاضا در بلند مدت چندان زیاد نیست و دولت مرکزی قصد دارد تا به هر ترتیب ریسک های مرتبط با بدهی بالا به اقتصاد را کاهش دهد. افت سفارشات جدید فولاد طی ماه های گذشته دلیلی بر همین مدعاست و می تواند در دوره آتی قیمت فولاد را تحت فشار قرار دهد.

به علاوه، بسیاری از فولادسازان در حال تکمیل کوره های قوس خردمی باشند تا با شروع زمستان و محدودیت ها برای کوره بلندها، مجبور به کاهش تولید نباشند. لذا کاهش صادرات محموله های قراضه حاکی از همین مسئله می باشد.

نهایتا سایه تهدید جنگ تجاری میان چین و آمریکا همچنان بر سر بازار فولاد چین می باشد و می تواند عامل فشار دیگری بر قیمت هائی دوره پیش رو باشد.

هر چند پس از خروج آمریکا از برجام شاهد رشد کاذب قیمت محصولات فولادی در بازار بودیم، اما این افزایش قیمت به دلیل بروز یک جو روانی در این بازار بوده و برخی از کارشناسان بر این عقیده اند که در بلند مدت تحریم ها تاثیر چندانی بر بازار فولاد نخواهد گذاشت.

## بررسی وضعیت فولاد در جنوب شرق آسیا

با توجه به اینکه راه اندازی کوره جدید شرکت Formosa در ویتنام (کوره بلند دوم این شرکت) به میزان ۳.۵ میلیون تن ظرفیت تولید این شرکت را در نیمه دوم سال جاری افزایش خواهد داد، به این ترتیب ظرفیت تولید فولاد خام شرکت مذکور به ۷ میلیون تن خواهد رسید و لذا توان تولید ۶.۲ میلیون تن ورق سیاه را خواهد داشت.

لذا بر این اساس صادرات ورق سیاه چین به این کشور کاهش خواهد یافت و این موضوع بر قیمت ورق سیاه در آن منطقه تاثیرگذار خواهد بود. به این ترتیب با کوچک شدن بازار واردات ویتنام، صادرات چینی ها تحت تاثیر قرار خواهند گرفت.

در سال ۲۰۱۷ صادرات کلاف گرم چین به ویتنام ۴.۶۴ میلیون تن بود که نسبت به ۵.۳۶ میلیون تن در سال ۲۰۱۶ کاهش داشته است.

شرکت Formosa در حال حاضر ماهیانه ۲۰۰,۰۰۰ تن کلاف گرم در بازار داخلی ویتنام عرضه می کند و کمتر از ۵۰,۰۰۰ تن در ماه به کشورهای همسایه صادر می کند.

## بررسی وضعیت فولاد در بازار چین

### ۱. رشد فولاد در سه ماهه دوم سال با تمهیدات جدید زیست محیطی

دولت محلی تانگشان اعلام کرد که تمهیدات زیست محیطی سه ماهه دوم را به واحدهای آلاینده اعلام می کند. در میان واحدهای آلاینده شناسایی شده در سطح کشور ۲۱۸۳ واحد صنعتی وجود دارند که نزدیک به ۱۶۴ واحد مرتبط با تولید آهن آلات می باشند و از این تعداد ۶۴ تولیدکننده در تانگشان مستقر هستند.

دولت تانگشان اعلام کرده که به این واحدها اخطار اولیه ارسال خواهد کرد و در صورت عدم توجه، نسبت به توقف تولید آنها واکنش نشان خواهد داد.

لذا انتشار این خبر باعث شد تا در ادامه افزایش های قیمت فولاد، بهای زنجیره فولاد در بازار فیوچرز افزایش یابد. از این رو، انتظار می رود این روند بر قیمت فولاد سایر مناطق جهان تاثیر بسزایی داشته باشد.

### ۲. باز شدن درب های بورس سنگ آهن دالیان به روی سرمایه گذاران خارجی بدون واسطه

در بازار سنگ آهن دالیان، سرمایه گذاران خارجی که مراحل

به دلیل اینکه امکان واردات کلاف گرم از چین در قیمت های کنونی وجود ندارد، فولادسازهای هندی می توانند قیمت کلاف گرم را بدون مقاومت خریداران افزایش دهند.

## ۲. غیبت هندی ها در بازارهای صادراتی در پی رشد مصرف داخلی

رشد مصرف فولاد هند حضور صادرکنندگان این کشور در بازارهای صادراتی را کم رنگ نموده است. هند بیش از این از فعال ترین صادرکنندگان بویژه در بخش محصولات تخت بود، اما در حال حاضر تولیدکنندگان این کشور بر بازار داخلی تمرکز یافته اند، زیرا با توجه ویژه دولت بر توسعه زیر ساخت ها مصرف داخلی فولاد ۴/۳ درصد افزایش داشته است.

بخش ساخت و ساز در هند حدود ۶۰ درصد از مصرف فولاد را به خود اختصاص داده و با توجه به تصمیم دولت برای حمایت بیشتر از پروژه های مسکن ارزان قیمت و اینکه اعلام شد مالیات بر کالاها و خدمات مرتبط با این ساختمان ها کاهش می یابد و از طرفی موافقت خود برای افزایش سرمایه گذاری در پروژه های زیر ساختی را اعلام نموده است، این موضوع باعث افزایش مصرف فولاد در این کشور خواهد شد.

به عنوان نمونه بودجه سال ۲۰۱۸ هند ۲۰ درصد افزایش داشته و حدود ۲۵ درصد آن در بخش ریلی سرمایه گذاری خواهد شد. یکی دیگر از بخش هایی که دولت هند در سال جاری میلادی بر آن تمرکز بیشتری خواهد یافت، مناطق روستایی و بخش کشاورزی است. مناطق روستایی از آن بابت مهم هستند که صنایع اصلی مانند دوچرخه و تراکتور بسیار وابسته به اقتصاد روستایی هستند.

بخش کالاهای سرمایه ای مانند ساختمان سازی و تجهیزات مربوط به معدن هم ۱۵ درصد از فولاد هند را مصرف می کند.

## ۳. مشکل ظرفیت پایین کارخانجات هندی

در ماه مارس اروپا تحقیقاتی را برای وضع تعرفه های حمایتی آغاز کرد و همین امر خریداران را محتاط و هندی ها را در اروپا کمی محدود نمود، بنابراین برخی از آنها به خاورمیانه روی آوردند اما در این بازار با استقبال چندانی روبرو نشدند. کمپانی هندی اسار هنوز به اروپا صادرات دارد، به طوری که ۵۰ درصد از تولیدش را به این قاره و مابقی را به خاورمیانه، آمریکای لاتین و جنوب شرق آسیا صادر می کند.

امکان بازبایی نقش هند در بازارهای صادراتی وجود دارد و بسیاری از فعالان بازار عقیده دارند آن زمان می تواند سه ماهه چهارم سال ۲۰۱۸ باشد. سال ۲۰۱۹ هند با انتخابات در این کشور روبه رو است و معلوم نیست میزان تقاضای داخلی همانند شرایط فعلی بالا باشد و البته این نکته را هم باید در ذهن داشت که تولید هند تا پایان سال ۲۰۱۸ افزایش می یابد، زیرا اغلب کارخانه های هند با ظرفیت های پایینی مشغول تولید هستند.

## ۵. ممنوع شدن واردات قراضه به چین

چین واردات قراضه و ضایعات بالای ۲۵٪ منگنز و اتیلین را با در نظر گرفتن مشکلات زیست محیطی ممنوع کرده است. در سال ۲۰۱۹ نیز ۱۶ قلم دیگر اعلام خواهند شد.

## بررسی وضعیت فولاد در بازار آمریکا

در سال ۲۰۱۷ ایالات متحده آمریکا ۳۴ میلیون و ۶۰۰ هزار تن فولاد از ۸۵ کشور دنیا وارد کرد که این میزان نسبت به سال ۲۰۱۶ حدود ۱۵ درصد افزایش داشت. در سال ۲۰۱۶، ایالات متحده حدود ۸ درصد از کل واردات فولاد در سراسر جهان را در اختیار داشت. بر اساس داده های موجود حجم واردات فولاد ایالات متحده در این سال حدود ۱۵ درصد بیشتر از دومین واردکننده بزرگ جهان یعنی آلمان بود. ۱۰ کشور حدود ۷۷ درصد از نیاز وارداتی فولاد آمریکا را تأمین می کنند.

کانادا با صادرات ۵ میلیون و ۸۰۰ هزار تن حدود ۱۷ درصد از بازار وارداتی آمریکا را در اختیار دارد. برزیل ۱۴ درصد، کره جنوبی ۱۰ درصد، مکزیک ۹ درصد، روسیه ۸ درصد، ترکیه ۶ درصد و ژاپن ۵ درصد از بازار وارداتی فولاد آمریکا را از آن خود کرده اند. آلمان، تایوان، چین و ویتنام نیز به ترتیب با ۴، ۳ و ۲ درصد در رده های بعدی قرار دارند.

خالص واردات ایالات متحده در سال ۲۰۱۶ حدود ۲۱ میلیون و ۷۰۰ هزار تن بود. کل واردات فولاد شامل محصولات تخت، طویل، لوله ها و محصولات نیمه ساخته و فولاد زنگ نزن است که محصولات نیمه ساخته فولاد خام با حجمی نزدیک به ۷ میلیون و ۵۰۰ هزار تن، حدود ۲۲ درصد از حجم واردات را شامل می شود و محصولات تخت با حجم حدود ۱۲ میلیون تن سهم ۳۵ درصدی از واردات آمریکا را دارند. عمده تأمین کننده محصولات نیمه ساخته فولادی (انواع شمش ها) به ترتیب برزیل، روسیه، مکزیک، ژاپن و کانادا هستند.

از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ به طور میانگین سالانه حدود ۸۲ میلیون تن فولاد خام در آمریکا تولید شده است، اما تقاضای این سال ها به طور میانگین حدود ۱۰۷ میلیون تن بود. با توجه به تقاضا و صادرات و واردات فولاد در ایالات متحده می توان نتیجه گیری کرد این کشور به طور میانگین سالانه حدود ۳۵ درصد از نیاز خود را از طریق واردات تأمین کرده است و با توجه به تقاضا و شرایط کنونی صنعت فولاد بالادستی این کشور، پیش بینی شده این روند ادامه دار باشد.

## بررسی وضعیت فولاد در بازار هند

### ۱. افزایش قیمت ورق سیاه داخلی هند

در نیمه اردیبهشت ماه فولادسازهای هندی قیمت واحد ورق سیاه داخلی را ۸۰۰ روپیه، معادل ۱۲ دلار افزایش دادند و به ۶۷۹ تا ۶۸۶ دلار (EXW) رساندند.

## بررسی وضعیت فولاد در بازار ترکیه

۱. سقوط قیمت ورق فولادی ترکیه به دنبال سقوط ارزش لیره قیمت اکثر محصولات تخت از جمله قیمت ورق سیاه در بازار داخلی کشور ترکیه طی هفته جاری روند نزولی را طی کرده است و این روند در بازار وارداتی و صادراتی نیز مشاهده گردیده است.

همچنین میزان تقاضای در بازار ورق این کشور به شدت کاهش یافته است. تولیدکنندگان این محصول در بازار داخلی در حال حاضر رزرو خود را بسته اند و اعلام کرده اند که در ماه آینده قیمت محصولات خود را کاهش خواهند داد.

همچنین بنابر اخبار منتشر شده ارزش لیره کشور ترکیه نیز در حال کاهش بوده و در نتیجه قیمت محصولات وارداتی به این کشور افزایش یافته است.

ارزش لیره ترکیه در تاریخ ۱۸ ماه می به میزان ۲۲/۴۸ دلار بوده است در حالی که ارزش این پول در تاریخ ۴ آوریل به میزان ۲۵/۱۰ دلار بوده است.

همچنین در تاریخ ۲۴ ماه آینده انتخابات در کشور ترکیه برگزار خواهد شد و در نتیجه بازار فولاد این کشور تحت تاثیر قرار خواهد گرفت.

### ۲. معاملات فروش ورق سیاه ترکیه در هفته های گذشته

تولیدکنندگان ورق سیاه در بازار داخلی ترکیه قیمت این محصول را به میزان ۵۸۰-۶۰۰ دلار به ازای هر تن پیشنهاد داده اند. شنیده ها حاکی از این است که یک معامله برای فروش این محصول به مبلغ ۶۱۰ دلار به ازای هر تن در بازار داخلی ترکیه طی هفته جاری منعقد شده است.

ارزیابی متال بولتن از قیمت ورق سیاه در بازار داخلی ترکیه به میزان ۵۸۰-۶۱۰ دلار به ازای هر تن تا تاریخ ۱۸ ماه می بوده است که نسبت به قیمت ۶۳۰-۶۲۰ دلار به ازای هر تن قبلی کاهش یافته است.

در حال حاضر هیچ یک از خریداران تمایلی به خرید نداشته و در انتظار قیمت های پیشنهادی به میزان ۶۰۰-۵۹۰ دلار به ازای هر تن می باشند. برخی از آنها بیان کرده اند که در حال حاضر ارزش پول ترکیه کاهش یافته است و خرید در این شرایط عاقلانه نمی باشد.

### ۳. بازار وارداتی ورق فولادی کشور ترکیه

قیمت ورق سیاه پیشنهادی اوکراین به ترکیه به میزان ۵۸۰ دلار به ازای هر تن بر آورد شده است در حالی که پیشنهادات رسیده از کشور روسیه در محدوده ۵۹۰ دلار به ازای هر تن گزارش شده است.

پیشنهادات خریداران ترکیه در بازار این کشور در مناقصات نیز در محدوده ۵۷۰-۵۶۰ دلار به ازای هر تن بوده است. به گفته یکی از فعالان بازار این کشور در حال حاضر قیمت ها بسیار بالا می باشد و به همان نسبت میزان تقاضا نیز پایین می باشد.

در حالی که تعرفه کالاهای وارداتی نیز ۹ درصد اعلام شده است. ارزیابی ها از قیمت ورق سیاه در بازار وارداتی ترکیه به میزان ۵۸۰-۵۷۰ دلار به ازای هر تن بوده که نسبت به قیمت ۶۱۰-۶۰۰ دلار به ازای هر تن قبلی کاهش یافته است. قیمت ورق سرد نیز در بازار وارداتی در محدوده قیمت ۶۶۰-۶۵۰ دلار به ازای هر تن اعلام شده است و این نرخ برای ورق وارداتی از منطقه CIS بوده است در حالی که پیشنهادات خریداران در مناقصات به میزان ۶۳۰ دلار به ازای هر تن اعلام شده است.

### ۴. بازار صادراتی ورق فولادی کشور ترکیه

تولیدکنندگان ورق فولادی کشور ترکیه قیمت ورق سیاه صادراتی از این کشور را در محدوده ۶۰۰-۵۸۰ دلار به ازای هر تن اعلام کرده اند ولی میزان تقاضا برای خرید این محصول بسیار پایین بوده است.

هم چنین ارزیابی ها از قیمت این محصول در بازار صادراتی در محدوده ۵۹۰-۵۸۰ دلار به ازای هر تن اعلام شده که نسبت به قیمت ۶۲۰-۶۱۵ دلار به ازای هر تن کاهش یافته است.

## ارزیابی قیمت ورق سیاه در بازار اروپا

### ۱. ارزیابی متال بولتن

از قیمت ورق سیاه در جنوب اروپا در گستره ی قیمتی ۵۴۰ تا ۵۶۵ یورو EXW برای بازار داخلی و ۵۲۵ تا ۵۵۰ یورو CFR بود که به ترتیب ۵ تا ۱۰ یورو در بازار داخلی و ۲۵ یورو در بازار واردات کاهش داشته اند.

به دلیل مقاومت خریداران در برابر قیمت های جدید، بهای ورق سیاه در بازار داخلی اروپا کاهش یافت. با اینکه کارشناسان ثبات قیمت برای ورق سیاه داخلی اروپا پیش بینی کرده بودند، کاهش بهای واحد س کلاف گرم نیز باعث تاثیر منفی بر بازار اروپا شد. اتحادیه اروپا در ۲۶ مارس تحقیقات تعرفه ای جدیدی برای محصولات فولادی را آغاز کرد که ورق سیاه نیز در بین آنها قرار دارد. انتظار می رفت آغاز این تحقیقات منجر به افزایش قیمت های داخلی اروپا بشود اما پیشنهاد های پایین واردکننده ها عامل فشار بیشتر بر افت قیمت های داخلی اروپا شد.

### ۲. ارزیابی شرکت SSAB سوئد

شرکت SSAB تولیدکننده فولاد استحکام بالا، کلاف گرم، ورق و مقاطع فولادی تو خالی می باشد. کل ظرفیت تولیدی این شرکت در سه کشور مذکور ۸.۸ میلیون تن است. این شرکت همچنین دارای خطوط فرایند های نهایی فولادی در کشورهای چین و برزیل و چند کشور دیگر می باشد. فولاد ساز سوئدی پیش بینی کرد قیمت آهن آلات در سه ماهه دوم سال ۲۰۱۸ در مقایسه با سه ماهه اول افزایش خواهد یافت.

این شرکت که در سوئد، فنلاند و امریکا واحدهای تولید فولاد دارد، پیش بینی کرد تقاضای ورق سنگین در امریکای شمالی در سه ماهه دوم بالا خواهد بود و در اروپا تقاضای کلاف گرم و ورق سنگین تقویت خواهد شد.

بطوریکه سنگ آهن با عیار ۶۲ درصد که تا پیش از این حتی تا مرز ۸۰ تن/دلار افزایش قیمت را تجربه نموده بود، با تغییر فاز و قرار گرفتن در یک مسیر کاهشی تاکنون: نرخ زیر ۶۵ تن/دلار CFR رایج ثبت رسانده است.

۴. ساخت کارخانه ۱۰ میلیون تنی فولاد در منطقه مکران: کنسر سیومی از سه شرکت فولاد مبارکه، چادر ملو و گل گهر این کارخانه را خواهند ساخت. ظرفیت آن کارخانه ۱۵ میلیون تن گندله و ۱۲ میلیون تن آهن اسفنجی و ۱۰ میلیون تن فولاد خواهد بود. کنسانتره سنگ آهن آن نیز از استرالیا تامین خواهد شد.

### چکیده مهمترین رویدادهای بین المللی حوزه فولاد در طی چند ماه گذشته

۱. اعمال تعرفه ۲۵ درصدی بر واردات فولاد به امریکا: هدف ترامپ از این دستور بیشتر جنگ تجاری با چین بوده است و طرفی گرفتن امتیازات تجاری از کشورهایی مانند کره جنوبی و کانادا و دیگر کشورها بوده، بطوریکه کمتر از یک ماه از وضع تعرفه ها، بیش از ۶۵ درصد کشورها یا معاف شده و یا تفاهم نامه تجاری بسته شده است.

۲. تعرفه های امریکا باعث کاهش صادرات ترکیه شده و این امر سبب کاهش تقاضای ترک ها جهت خرید اسلب و شمش از حوزه CIS شده که خود نیز تسریع کننده در روند نزولی قیمتتها بوده است و تاثیر خود را بر اسلب ایران نیز داشته است (فولاد خوزستان پیشنهاد ۵۵۰-۵۳۵ دلار را برای آسیا، اروپا و شمال آفریقا رایج کرده است).

۳. توسعه و رونق در بازار محصولات فولادی شمال آفریقا جهت توسعه در شمال آفریقا ۷۳۹ میلیارد دلار پروژه تعریف شده است که ۶۲ درصد آن مربوط به مصر و ۲۶ درصد آن الجزایر و ۸ درصد آن مراکش بوده است.

شمال آفریقا در سال ۲۰۱۷ به میزان ۲۴ میلیون تن مصرف فولاد داشته است که ۴۸ درصد مصر، ۲۵ درصد الجزایر و ۱۲ درصد مراکش بوده است طی همین سال نیز تولید آن ۱۳ میلیون تن بوده است که ۵۵ درصد تولیدات مربوط به مصر و ۱۶ درصد نیز الجزایر بوده است.

۴. رشد ۳۹ درصدی صادرات فولاد ایران:

در سال ۱۳۹۶ که میزان صادرات در حدود ۷.۳۸ میلیون تن محصولات فولادی بوده است، ذوب آهن ۸۰ درصد، فولاد خوزستان ۴۶ درصد، مبارکه ۱۶ درصد، فولاد آلیاژی ۴۹ درصد و فولاد خراسان ۴۷ درصد رشد صادرات داشته اند. فولاد اکسین خوزستان نیز ۲۲ هزار و ۴۶۶ تن صادرات داشته اند.

۵. افزایش صادرات و کاهش واردات فولاد اروپا از بندر Antwerp:

در سه ماهه اول سال میلادی واردات اروپا کاهش ۹/۹ درصدی

قیمت ورق سیاه در بازار داخلی کشورهای اروپایی طی هفته گذشته روند ثابتی را طی کرد. با این حال، جو روانی ایجاد شده در بازار فولاد این کشور منفی بوده و این روند در جنوب و مرکز اروپا مشاهده گردید.

این امر در نتیجه فعالیت خرید محدود و رقابت از سوی بازارهای وارداتی بوده است. در شمال اروپا هر چند قیمت این محصول با ثبات اعلام گردید ولی میزان فعالیت خرید نسبت به سایر مناطق روند بهتری را در پیش گرفت.

کمیسسیون اروپا تعرفه های جدیدی را برای واردات ۲۶ محصول فولادی صادر کرد و علت این امر تلاش در جهت بهبود بازار داخلی این کشور عنوان گردیده است.

### ارزیابی قیمت ورق سیاه در بازار کشورهای منطقه CIS

ورق گرم صادراتی سی آی اس ۲۰ تا ۳۰ دلار نسبت به چند هفته قبل افت داشته است. چرا که کارخانه ها نتوانستند تولیدات حمل ژوین را در قیمت های قبلی بفروشند.

از این رو قیمت را پایین آوردند تا فعالیت بازار بیشتر شود. قیمت فعلی ورق گرم صادراتی سی آی اس ۵۵۰ تا ۵۷۰ دلار هر تن فوب است. برخی از فولادسازان نیز ۵۶۰ تا ۵۸۰ دلار هر تن فوب پیشنهاد می دهند.

### چکیده مهمترین رویدادهای داخلی حوزه فولاد در ایام نوروز ۱۳۹۷

۱. کاهش ۵ الی ۱۰ درصدی تعرفه وارداتی بعضی از اقلام ورق در کشور.

۲. در حال حاضر به واسطه افت ارزش ریال نسبت به ابتدای سال ۹۶، متوسط قیمت های داخلی حوزه فولاد با وجود پشت سر گذاشتن افزایش متوسط حدود ۶۰ الی ۶۵ درصدی از ابتدای سال ۹۶ تاکنون: به نظر می رسد که هنوز هم قیمت های فعلی در لایه های مختلف حوزه فولاد حداقل کیلویی ۳۰۰ الی ۵۰۰ تومان پایین تر از تراز جهانی و قیمت های صادراتی آن ایستاده باشد؛ که دولت فعلا و حداقل تا خردادماه سال ۹۷، اجازه افزایش قیمت بیش از این قیمت ها را برای این حوزه و حداقل در بورس کالا صادر نکرده است؛ بطوریکه با رسانه ای شدن خبر عدم اجازه دولت در ادامه افزایش قیمت ها مقارن با روزهای پایانی سال قبل، شاهد برخی عقب نشینی هادر خصوص بازار قراضه آهن و شمش القایی بودیم که در نهایت این موضوع با مقاومت حوزه نورد در برابر کاهش قیمت ها، به بعد از تعطیلات نوروزی سال ۹۷ موکول گردید.

۳. تغییر جهت سمت و سوی قیمت سنگ آهن در بازارهای بین المللی و در واپسین روزهای باقیمانده سال ۹۶ به سمت کاهش و ادامه نوسانات پلکانی کاهشی این کالا مقارن با تعطیلات نوروزی، از جمله دیگر خبرهای مهم حوزه فولاد به شمار می رود.

۱۳. خروج دانیلی از بازار فولاد ایران:  
در حال حاضر پروژه هایی به مبلغ ۱.۸ میلیارد دلار متوقف خواهند شد.



در نمودار بالا میزان مصرف جهانی فولاد از طرف انجمن جهانی فولاد پیش بینی شده است از دیگر پیش بینی های صورت پذیرفته در نمودار فوق می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

\* مصرف فولاد تخت در سال ۲۰۱۸ رشد ۱/۸ درصد خواهد داشت و به یک میلیارد و ۶۱۶ میلیون تن خواهد رسید، این مقدار برای سال ۲۰۱۹ با ۰/۷ درصد کاهش به یک میلیارد و ۶۲۷ میلیون تن خواهد رسید.

\* چین در سال ۲۰۱۸ به عنوان بزرگترین تولید کننده و مصرف کننده فولاد در نظر گرفته شده است که معادل ۷۳۶.۸ میلیون تن می باشد ولی در سال ۲۰۱۹ با دو درصد کاهش به ۷۲۲.۱ میلیون تن خواهد رسید.

\* میزان مصرف در سال ۲۰۱۸ برای ایران با ۵/۵ درصد رشد به ۲۱.۰۵ میلیون تن و در سال ۲۰۱۹ با رشد ۰/۵ درصدی به ۲۲.۱ میلیون تن خواهد رسید.

داشته است. با توجه به تعرفه های متعدد بر محصولات چینی شاهد افت شدید بوده، برای هند نیز به آرامی در حال انجام می باشد. اما واردات ترکیه و روسیه به اروپا در حال افزایش می باشد و در سه ماهه اول واردات کلاف گرم به اروپا با ۱۱ درصد رشد به ۱.۳۴ میلیون تن رسید است. ولی در جنوب اروپا همچنان واردات بسته است. در خصوص صادرات نیز شاهد ۱۹/۷ درصد افزایش هستیم که عمده دلیل آن معاف کردن اتحادیه اروپا از تعرفه های جدید آمریکایی باشد.

۶. وضعیت اسلب در روسیه:  
در ماه آینده میلادی ۸۹۱ هزار تن اسلب از طرف روسیه به بازار تحویل خواهد شد که ۲ درصد بیشتر از ماه گذشته خواهد بود. در سه ماهه اول سال میلادی روس ها ۲.۳ میلیون تن صادرات اسلب داشته اند که ۸ درصد کمتر از مدت مشابه در سال گذشته است. این امر با توجه به تعرفه های جدید آمریکایی تسریع در روند کاهش قیمت ها در بازار روسیه و CIS خواهند شد.

۷. تعرفه های جدید تایوان برای چین:  
کشور تایوان به دنبال وضع تعرفه های جدید بر روی محصولات چینی می باشد.

از طرف دیگر تایوانی ها به دنبال مذاکره با آمریکا برای گرفتن معافیت تعرفه ۲۵ درصدی فولاد هستند.

۸. اتحادیه اروپا به دنبال افزایش تعرفه فولاد چین:  
اتحادیه اروپا تحقیقات گسترده ای در خصوص افزایش تعرفه ضد دامپینگی محصولات چینی آغاز کرده است و دنبال افزایش میزان تعرفه می باشد.

۹. کاهش صادرات ورق فولادی کره جنوبی:  
در سه ماه میلادی ۵.۵۶ میلیون تن ورق صادر کرده است که ۳ درصد کمتر از سال گذشته می باشد. کره می تواند بدون تعرفه ۲۵ درصدی به آمریکا ۲.۶۸ میلیون تن فولاد صادر کند.

۱۰. روند نزولی قیمت محصولات فولادی در حوزه خلیج فارس:  
کاهش تقاضا در کشورهای عربستان و امارات باعث کاهش قیمت محصولات تخت شده است.

۱۱. اعلام قید و شرط های اتحادیه اروپا در برابر تعرفه فولاد آمریکا:  
اتحادیه اروپا در نظر دارد در صورتی که آمریکا برای صادرات فولاد و آلومینیوم تعرفه اعلامی را حفظ کند این اتحادیه نیز بر واردات ۲.۸ میلیارد دلار محصولات آمریکایی تعرفه وضع نماید. جمع ارزش صادرات اتحادیه اروپا به آمریکا ۷.۷ میلیارد دلار است.

۱۲. بهبود تولید فولاد اکراین و کاهش صادرات:  
تولید فولاد اکراین طی ۴ ماهه گذشته رشد ۲۵/۱ درصدی داشته و به تناژ ۴.۶ میلیون تن رسیده است ولی در زمینه صادرات با کاهش ۳/۵ درصدی مواجه شده است (حجم صادرات آن ۳.۸ میلیون تن بوده است).



مقایسه متوسط قیمت ورقهای اکسین و کاویان در سایزهای مشابه در بازار



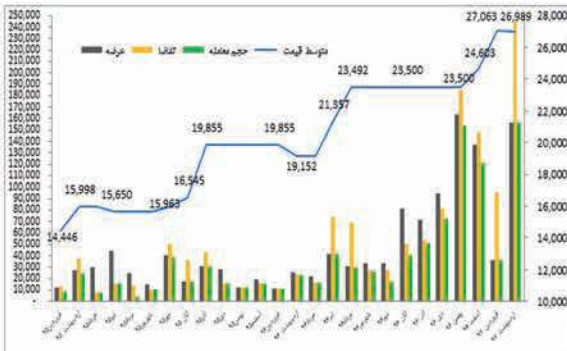
پیش بینی قیمت اسلب در بازار جهانی

Price Forecast for the Next 3 Months

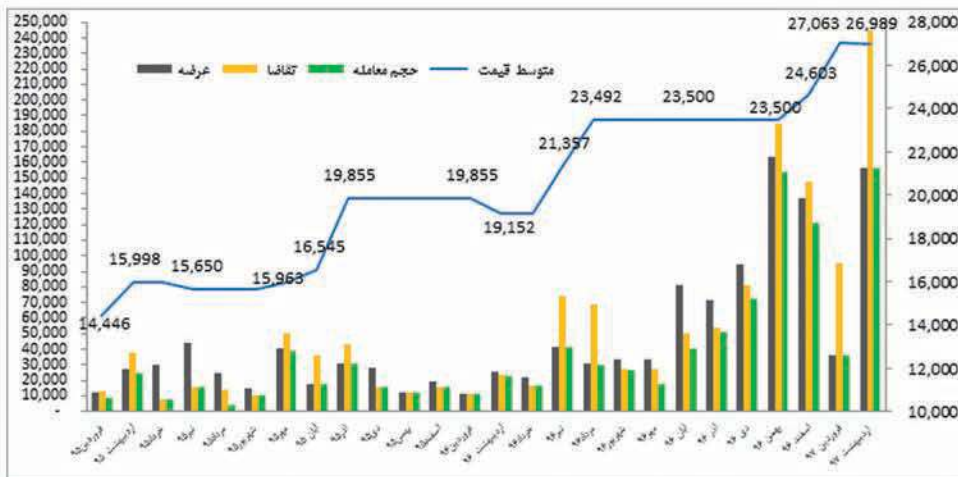
Continuously Casted Slab, ASTM A36/A572, \$/t fob Black Sea*	
Current week	530-540
Next week	530-540
A week after	525-535
June 2018	520-535
July 2018	520-540

\* - The price of producers for major and regular clients for shipment in 4-5 weeks for lots of 2-7 th t. L/C.

مقایسه عرضه، تقاضا و حجم مبادله شده ورق گرم، مبارکه در بورس کالا



مقایسه متوسط قیمت ورقهای اکسین و مبارکه در سایزهای مشابه در بازار



تحلیل عوامل تاثیر گذار بر نوسان قیمت تا سه ماه آینده

تاثیر	اثر قیمت ها
۳	<ul style="list-style-type: none"> <li>- با توجه به ذخایر شکل گرفته از معامله گران، سطح عمومی تقاضا برای فولاد صنعتی به علت آغاز ماه رمضان (از ۱۵ می تا ۱۴ ژوئن) به طور قابل توجهی افزایش می یابد.</li> <li>- با این حال، تقاضای مصرف کنندگان اروپایی در ماه جاری همچنان بالا است، اما عرضه کنندگان از کشورهای CIS در ماه جولای شروع به فروش محصولات نوردی برای تحویل در ماه می خواهند کرد.</li> <li>- همچنین در ماه می، کاهش قیمت های موضعی برای سنگ آهن و ذغال سنگ کک شو در چین پیش بینی شده است که احتمالا منجر به افزایش هزینه های تولید فولاد تحویلی در قوب بنادر دریای سیاه خواهد شد.</li> </ul>
	<p>کاهش احتمالی قیمت ها و ثبات در نیمه دوم ماه ژوئن</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- در ماه ژوئن، بخشی از عوامل منفی که روند حرکت قیمت در ماه های گذشته را تعیین می کردند (مانند کاهش چشمگیر قیمت های موضعی برای سنگ آهن، کاهش فصلی تقاضای فولاد از کشورهای CIS با تحویل در ماه اوت یا کاهش فعالیت تجاری با ترکیه در نیمه اول ماه به دلیل ماه رمضان)، همچنان عملی خواهد بود.</li> <li>- تا اواسط ماه، به احتمال زیاد، با توجه به عوامل مثبت (افزایش نرخ ضایعات فولاد، افزایش تقاضای مصرف کنندگان ترکیه پس از پایان ماه رمضان، آغاز فروش محصولات نوردی از کشورهای CIS با تحویل در ماه سپتامبر) قیمت ها در ثبات خواهند بود.</li> </ul>
	<p>ثبات در نیمه اول و افزایش قیمت در نیمه دوم ماه</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- احتمالا ماه ژوئیه، یک ماه مهم از نظر پویایی قیمت فولادهای تخت در بنادر دریای سیاه خواهد بود.</li> <li>- علی رغم کاهش قیمت قرارداد سنگ آهن و ذغال سنگ کک شو روند مشابهی در بازار به نظر نمی رسد.</li> <li>- قیمت های اعلام شده برای قراضه آهن در ترکیه افزایش خواهد یافت.</li> <li>- از نقطه نظر هزینه تولید، وضعیت برای تامین کنندگان CIS رو به بهبود است.</li> <li>- افزایش تقاضا، عامل اصلی تغییر قیمت می باشد، بعد از پایان ماه رمضان، عوامل تقاضا در بازار ترکیه فعالتر خواهند شد.</li> <li>- در مورد اروپا، مصرف کنندگان نهایی احتمالا برای دوره های تعطیلات تابستانی بازار را ترک خواهند کرد، اما معامله گران فعالیت خود را برای قرارداد تحویل در ماه سپتامبر افزایش خواهند داد.</li> </ul>

پیش بینی و تجزیه و تحلیل وضعیت قیمت فولاد در سطح جهان

عوامل کلان	شرح	تاثیر عوامل بر قیمت
اقتصاد و تقاضای فولاد	در سه ماهه دوم سال ۲۰۱۸، انتظار می رود مصرف محصولات تخت در جهان افزایشی باشد. در ماه می و ژوئن احتمالا شاهد افزایش قیمت خواهیم بود.	رو به بالا
	شروع بررسی تعرفه ضد دامپینگ در کشورهای اتحادیه اروپا برای واردات از اوکراین و روسیه و همچنین افزایش تعرفه ۲۵٪ در واردات محصولات فولادی به ایالات متحده آمریکا	رو به پایین
	شاخص فعالیت تجاری در صنعت فولاد در چین (PMI) در ماه آوریل ۱،۱ درصد افزایش یافت (تا ۵۱،۷ درصد رسید). با توجه به احتمال رشد تقاضا، می توان به وضعیت خوش بین بود.	رو به بالا
	در ماه آوریل، قیمت داخلی برای محصولات فولادی تخت چینی به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است. و حمایت مشابه از قیمت های بازار جهانی را فراهم می کند	رو به بالا
فصلی	در طی ماه آینده فعالیت معامله گران به تدریج کاهش می یابد. انتظار می رود شاهد کاهش تقاضای فصلی برای محصولات نوردی از کشورهای حوزه CIS با تحویل در ماه ژوئن (با توجه به جشن ماه رمضان در کشورهای اسلامی از ۱۴ تا ۱۵ خردادماه) باشیم. با توجه به فاکتور فصلی، کاهش تقاضای معامله گران در ماه ژوئن برای محصولات کشورهای CIS با تحویل در ماه های ژوئن-اوت رخ خواهد داد.	رو به پایین
	تقاضای مصرف کنندگان نهایی برعکس، به طور سنتی در دوره بهار افزایش می یابد. علاوه بر این، در ماه ژوئن، انتظار می رود بازار ترکیه پس از ماه رمضان افزایشی باشد، و همچنین این افزایش برای کشورهای عضو اتحادیه اروپا در ماه سپتامبر رخ خواهد داد.	رو به بالا
تأمین محصولات نوردی	گسترش محدودیت تولید فولاد در چین امکان پذیر است. برای مثال در شهر هنان (در سال ۲۰۱۷ تولید فولاد ۱۱۳ میلیون تن بود)، مقامات محلی تا ماه نوامبر ۲۰۱۸ حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد بار را کاهش داده اند.	رو به بالا
بازار	تأمین کنندگان از کشورهای CIS عملا به فروش محصولات تولید ژوئن پایان داده اند. معامله گران در حال حاضر سطح لازم موجودی را برای دوره بهار تشکیل داده اند، فعالیت های خود را کاهش داده و تقاضای خود را کنترل می کنند.	رو به پایین
هزینه تولید	پر کردن انبار سفارشات، سطح فعلی قیمت را تا حدی حفظ خواهد کرد. با این وجود، مصرف کنندگان به طور قابل توجهی فعالیت خرید را کاهش می دهند، انتظار کاهش بیشتر قیمت ها در شرایط کاهش هزینه نورد نیز دور از انتظار نیست.	رو به پایین
	در ماه می و ژوئن، میانگین قیمت های نهایی برای ذغال سنگ کک شو و سنگ آهن با روند کاهشی انتظار می رود.	رو به پایین
	انتظار روند معکوس برای قیمت های سنگ آهن و ذغال سنگ در چین در ماه جولای و همچنین قیمت قراضه فولاد در ترکیه (احتمالا در ماه مه و جولای) می باشد.	رو به بالا
	در ماه ژوئیه، انتظار می رود قیمت های زغال سنگ کک و سنگ آهن کاهش یابد.	رو به پایین

# مقالات علمے

(انگلیسے)

re-search  
(noun) 1 th  
study of

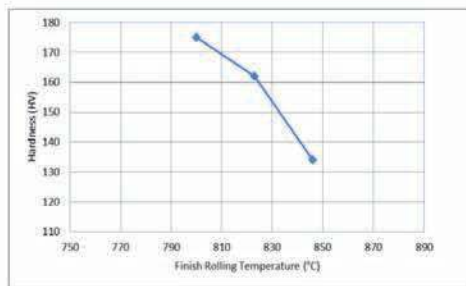


Fig. 8- The effect of finish rolling temperature on hardness of the samples

## Summary

- 1- Decreasing of finish rolling temperature causes decrease in Ferrite grain size and increasing hardness and toughness. This phenomenon is due to increasing Zener-Hollomon parameter with decreasing finish rolling temperature.
- 2- Rolling of API X70 steel in the vicinity of the  $A_{13}$  temperature and high strain rate causes the ultrafine grained structure. Also it causes non-homogeneity in microstructure. This is due to Strain Induced Transformation.
- 3- Driving force of grain refinement processes will be increased with decreasing of finish rolling temperature which is due to increasing of stored energy, so the final grains will be finer.
- 4- Decreasing of finish rolling temperature due to increasing Zener-Hollomon parameter, causes increasing yield and tensile strength and also decrease in the elongation.

## References

- [1] K. Dehghani, A. Momeni, Metallurgy of Thermo-mechanical Treatment, Vol. 1, Iran, 2007. [2] U. Sharma, GD. Ivey, Microstructure of Microalloyed Line Pipe Steels, Proc. Int. Conf. on Pipeline, ASME 2000, Canada, Vol. 1, 2000, PP. 193–201.
- [3] F. J. Humphreys, M. Hatherly, Recrystallization and Related Annealing Phenomena, British, 2004.
- [4] K. Mazanec, E. Mazancova., Physical Metallurgy of Thermomechanical Treatment of Structural Steels, Cambridge International Science Publishing, New York, 1997.
- [5] J. Adameczyk, Development of the Microalloyed Constructional Steels, Jamme, 2006, 14, pp. 920.
- [6] H. Hillenbrand, M. Gras, C. Kalwa, Development and production of high-strength pipeline steels,

EUROPIPE International, Technical Publications, Germany, 2001.

- [7] A. Nasserri Esfahani, H. Payandeh, b. Shahriari, A. Ghazi Askar, The Effect of finish rolling temperature on formability and mechanical properties of plain carbon steels with the ability deep drawing, Steel Symposium 90, Esfahan Mobarakeh Steel Company, Iran, 2012.
- [8] Y. Weng, Ultra-Fine Grained Steels, Metallurgical Industry Press, China, 2008.
- [9] H. Sung, S. Sohn, S. Shin, S. Lee, N. Kim, S. Chon, J. Yoo, Effects of finish rolling temperature on inverse fracture occurring during drop weight tear test of API X80 pipeline steels, Materials Science and Engineering: A, Volume 541, 2012, pp. 181-189.
- [10] W. Guo, Z. Wang, S. Liu, X. Wang, Effects of Finish Rolling Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of Ferritic-Rolled P-Added High Strength Interstitial-Free Steel Sheets, Journal of Iron and Steel Research, International, Volume 18, Issue 5 May 2011, pp. 42-46.
- [11] B. Eghbali, A. Abdollah-Zadeh, Strain- Induced Transformation in a Low Carbon Microalloyed Steel during Hot Compression Testing, Scripta Materialia, 2006.
- [12] C. Srikunwong, Hot Deformation Behaviors of Low Carbon Steels, the 20th, Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, 2006.

As you can see, by decreasing finish rolling temperature average coaxial Ferrite grain size has been reduced from 9  $\mu\text{m}$  at 846°C to about 2-3  $\mu\text{m}$  at 800°C. The reason for this phenomena is the increasing of Zener-Hollomon (Z) parameter with decreasing finish rolling temperature [9,10]. In the microstructure of the rolled specimen in the finish rolling temperature of 800°C, has been shown that the microstructure contains mainly of ultrafine and coaxial Ferrite grains and a few coarse pro-eutectoid Ferrite grains. Existence of ultrafine Ferrite grains are due to transformation of work hardened austenite to the Ferrite. Driving force of grain refinement processes will be increased with decreasing of finish rolling temperature which is due to increasing of stored energy, so the final grains will be finer [8]. Existence of pro-eutectoid Ferrite grains can be explained that the deformation in the vicinity of the  $A_{r3}$  temperature and high strain rate causes increasing of saved strain energy on the deformed Austenite grain boundaries and consecutive increasing of the Ferrite nucleation sites and increasing the starting temperature of Austenite to Ferrite transformation. So Ferrite nucleated on the Austenite grain boundaries before reaching  $A_{r3}$  temperature. This phenomenon is called Strain-Induced Transformation (SIT) [11,12]. Curves in Fig. 4 and Fig. 5 show yield and tensile strength of the specimens respectively vs. finish rolling temperature. As you can see, reducing finish rolling temperature, significant increases in yield and tensile strength are shown. The reason of this is the increase of Zener-Hollomon parameter with decreasing of finish rolling temperature and consequently decreasing of Ferrite grain size. Achieving high yield and tensile strength in the finish rolling temperature of 800°C is due to the ultrafine grained microstructure in the steel.

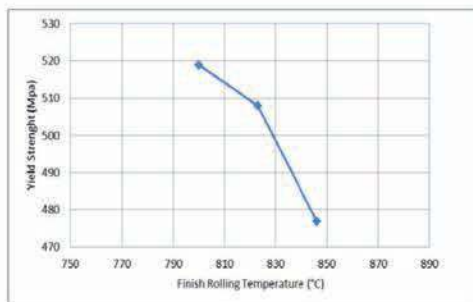


Fig. 4- The effect of finish rolling temperature on yield strength of the samples

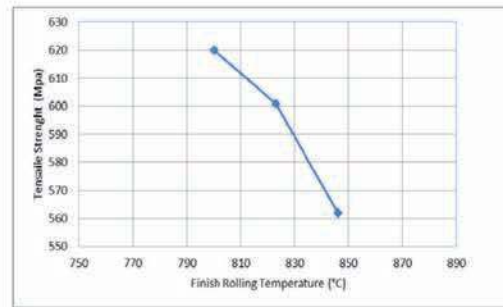


Fig. 5- The effect of finish rolling temperature on tensile strength of the samples

Analyzing Fig. 6 shows that increases in yield and tensile strength with reducing finish rolling temperature, accompanied with decreasing of the Elongation.

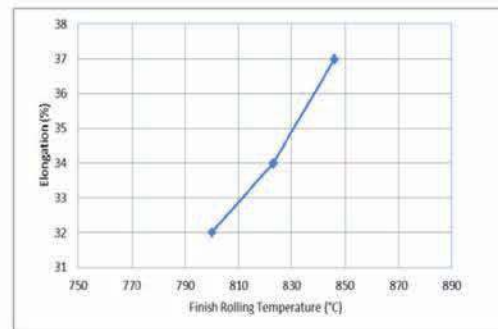


Fig. 6- The effect of finish rolling temperature on elongation of the samples

In Curves of Fig. 7 and Fig. 8 results of impact and hardness tests are shown respectively. As it is shown, with decreasing of finish rolling temperature, toughness and hardness of specimens increase due to decrease of coaxial Ferrite grain size. Achieving high toughness and hardness in the finish rolling temperature of 800°C is due to the ultrafine grained microstructure in the steel.

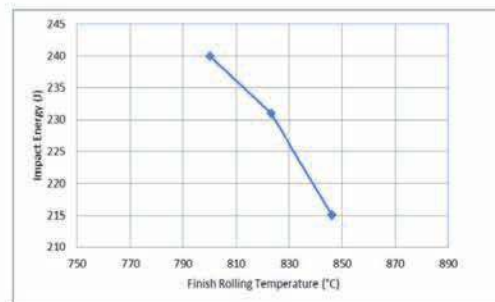


Fig. 7- The effect of finish rolling temperature on impact energy of the samples at -20°C

800°C accompanied with fixing of other hot rolling parameters. The Schedule for the performed rolling has been shown in Table 2. After finishing the rolling process, the specimens were immediately applied to the controlled cooling operation by water spray and their temperatures were reduced to about 500°C.

Samples are prepared for metallography, tension and impact tests. To study the final microstructure, the samples were polished then were etched by 2% Naylor solution.

Ferrite grain size is determined with linear method according to ASTM E112 standard. Tension and impact tests were performed on the samples according to ASTM A370 standard in order to investigate the mechanical properties.

Microhardness of the samples was measured with 500gr load according to Vickers.

Table 2- The rolling schedule was performed on samples

No. of passes	Entry thickness (mm)	Exit thickness (mm)	Reduction (%)	Draft (mm)
1	20	16	20	4
2	16	13	18.7	3
3	13	9	30.7	4
4	9	7	22.2	2

## Results and Discussion

Results of the DSC are shown in Fig. 2. This test determined critical temperature of  $T_{br}=970^{\circ}\text{C}$ ,  $A_{13}=790^{\circ}\text{C}$  and  $A_{11}=730^{\circ}\text{C}$  for the studied steel. Peaks located in low temperature relate to spot defect removal and can be neglected. But the reasons of existence of the peaks in high temperatures are dislocation removal, transformation and recrystallization [3].

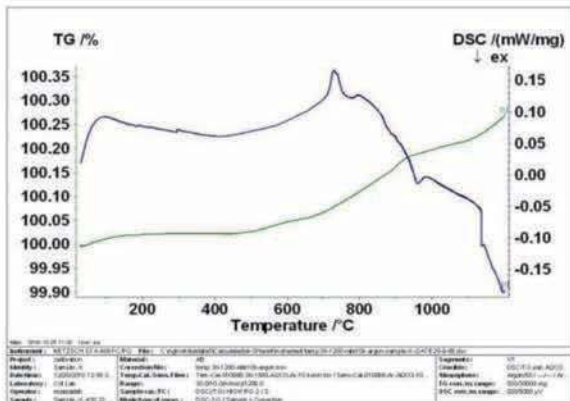


Fig. 2- Curve of DSC test

Fig. 3 shows the optical microscope images of the rolled specimens at finish temperatures of 846, 823 and 800°C. Main part of the microstructures is coaxial Ferrite grains.

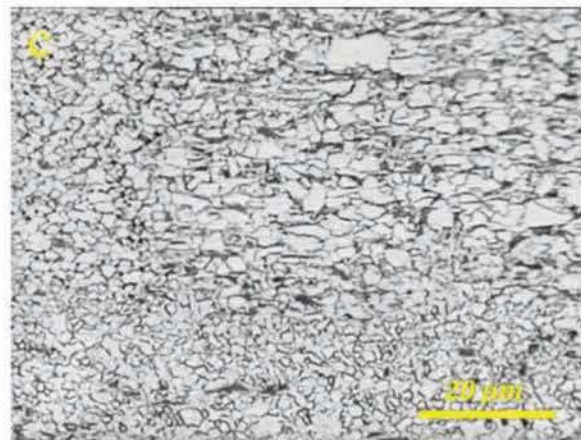
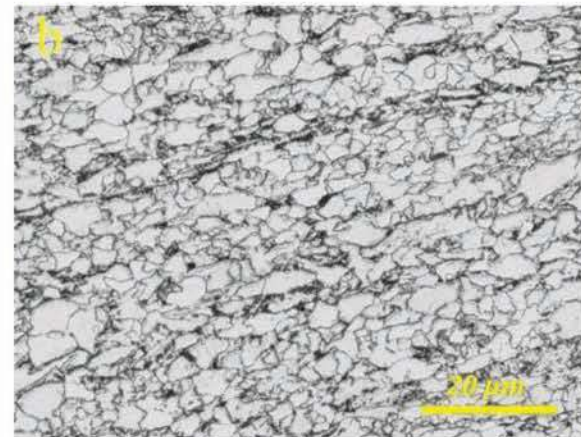
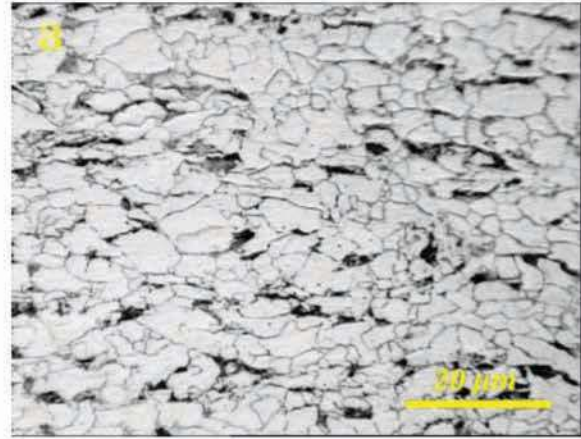


Fig. 3- Microstructures of the samples at three various finish rolling temperatures a) 846, b) 823 and c) 800°C

## Introduction

In recent decades; production of microalloyed steels is accounted as a significant advancement in the metallurgical field. Annual production of these steels which have appropriate properties such as strength, flexibility, toughness, Formability and weldability provide high percent of structural steels in the world market [1]. Development of construction in transmission pipeline for oil and gas evolves the requirement of microalloyed steels with higher strength and lower price. Increasing of steel grade will reduce costs of pipe production and implementing action [2]. API X70 steel is categorized in the high strength microalloyed steels and is used as the main steel in production of the transmission pipelines of oil and gas, due to the mechanical strength. Production process of these types of steels is the controlled rolling operation which is a thermomechanical treatment. In this operation, plastic deformation and phase transformation are consecutively scheduled in such a way that act with each other and produce a microalloyed steel with the best properties [3,4]. An alloy having nature of phase transformation or precipitation can be performed with thermomechanical treatment [5].

The trend of development of X-series microalloyed steels is shown in Fig. 1 [6].

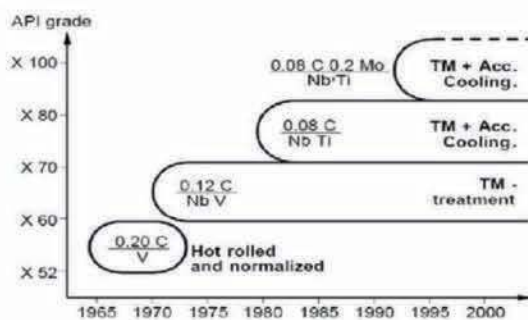


Fig. 1- Development of X-series microalloyed steels [6]

Overall technology of thermomechanical rolling includes:

- 1- Selection of appropriate chemical composition.
- 2- Preheating of the slab in order to compositional Homogenization and solution of precipitations of microalloyed elements.
- 3- Deformation in the recrystallization area.
- 4- Deformation in the non-recrystallization area (below  $T_{nr}$ ).

6- Controlled cooling in air or with water (Accelerated Cooling (ACC)).

The purpose of the thermomechanical treatment is to modify the microstructure for achieving the optimum strength and toughness simultaneously. In each cycle of thermomechanical treatment by controlling hot work parameters such as temperature, strain rate and strain value the optimized microstructure can be achieved [7,8]. One of the most important of these parameters is the finish rolling temperature. In this research, it has been tried that with fixing other hot rolling parameters, the Effect of finish rolling temperature for achieving an ultrafine grained microstructure of API X70 steel are studied by the experimental rolling operation. Rolling process are designed in such a way that the rolling of the specimens finished at 846, 823 and 800 °C.

## Experimental

In this research, three specimens of API X70 steel are used for experimental rolling to investigate the Effect of finish rolling temperature on microstructure of the steel for achieving an ultrafine grained microstructure. All three specimens are prepared from the rolled steel plate. Chemical composition of the studied specimens is shown in Table 1.

Table 1- Chemical composition of steel used during research

Elements	C	Mn	Si	P	S	N	Al	Nb
Wt%	0.08	1.48	0.19	0.018	0.002	0.003	0.033	0.035
Elements	Cr	Mo	B	Co	V	Ni	Ti	
Wt%	0.030	0.002	0.0002	0.004	0.044	0.010	0.022	

Dimensions of the studied specimens were 20\*100\*200 mm. the Preheating temperature of these steels is considered 1200°C according to the mathematical calculation and analysis of the solution mechanism of the carbonaytrayd precipitation of microalloyed element, by thermo-calc software. Differential scanning calorimeter (DSC) test was used for determination of  $T_{nr}$ ,  $Ar_3$  and  $Ar_1$  of steel. These specimens were rolled by the 2-Hi experimental rolling stand with 1000 tons capacity. First steels were preheated at 1200°C for 30-35 min. the rolling process was done in four passes wherein specimen thicknesses were reduced from 20mm to 7mm.

In order to investigate the Effect of finish rolling temperature, the process was planned so that the rolling of the specimens finished at three temperatures including 846, 823 and



## Production of Ultrafine Grained API X70 Steel with Controlled Rolling

Reza Abdideh \*, Mohammad Hizombor, Reza Mohammadian Rad, Iman Mohammad Zadeh

Khuzestan Oxin Steel Co., Ahvaz, Khuzestan, Iran

rabdideh@oxinsteel.ir

### Abstract

Development of industries in recent years reveals the essential need to the microalloyed steels with high strength and good ductility. Refinement of Ferrite grains by thermomechanical Treatment is the only lower cost effective method to improve strength and toughness spontaneously in this type of steels. API X70 steel belongs to high strength microalloyed steel group. The manufacturing process of this steel is controlled rolling which is a kind of thermomechanical treatment and it is considered as a grain refining method. In this research, three specimens of API X70 steel were experimentally rolled in order to achieve ultrafine grained microstructure. Rolling operations are designed in such a way that the rolling of these specimens finished at 846, 823 and 800°C. Results of the experiments were analyzed by mechanical tests and microstructures observations. The microstructure observations show that decreasing of finish rolling temperature causes decrease in Ferrite grain size. Results also show that rolling of API X70 steel in the vicinity of Ar3 temperature and high strain rates lead to ultrafine Ferrite grains in microstructure. This is due to the transformation of work hardened austenite to Ferrite. On the other side, Tensile and impact tests show that decreasing of finish rolling temperature causes increasing in yield and tensile strength and also improves the toughness.

Keywords: API X70 steel, Ultrafine grained steel, Controlled rolling, Microstructure, Mechanical properties.



$T_u, T_l$	Upper and lower surface temperature of slab, respectively
$V_A$	Speed rate of roll
$V_u, V_l$	Circumferential speed of upper and lower roll, respectively
$x$	Distance of rolled element from exit of roll gap
$x_{nu}, x_{nl}$	Distance of upper and lower rolled element from the exit of roll gap, respectively
Greek letters	
$\bar{\epsilon}_{cu}, \bar{\epsilon}_{cl}$	Critical equivalent strain of upper and lower surface of slab, respectively
$\bar{\epsilon}_{maxu}, \bar{\epsilon}_{maxl}$	Maximum Equivalent strain of upper and lower surface of slab, respectively
$\bar{\epsilon}_u, \bar{\epsilon}_l$	Equivalent strain of upper and lower surface of slab, respectively
$\dot{\bar{\epsilon}}_u, \dot{\bar{\epsilon}}_l$	Equivalent strain rate of upper and lower surface of slab, respectively
$\mu_u, \mu_l$	Upper and lower friction coefficient, respectively
$\sigma$	Stress at any element of the vertical side of roll gap
$\sigma_u, \sigma_l$	Stress at any upper and lower element of vertical side of roll gap, respectively
$\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$	Normal and shear stresses at any element of roll gap, respectively
$\tau$	Mean shear stress at any element of the vertical side of roll gap
$\tau_u, \tau_l$	Shear stress at the upper and lower surface of roll gap, respectively
$\Delta h$	Rolling draft

## Nomenclature

$a_u, a_l$	Material constant of upper and lower surface of slab, respectively
$C$	Temperature sensitivity of slab
Core. Total	The contrast sum of squared of the single examination versus the Comprehensive average of
C.V.	Coefficient of Variation
$D$	Work roll material constant
Degrees of freedom (D.F)	The number of separate attainable collations for estimation a parameter
$F$	Rolling force per width unit
$F_1, F_2, F_3, n$	Slab material constant
$F_{2u}, F_{2l}$	Material constant of upper and lower surface of slab, respectively
$F_u, F_l$	Material constant of upper and lower surface of slab, respectively
$h$	Variable slab thickness
$h_i, h_o$	Slab thickness in entrance and exit of roll gap, respectively
$h_{iu}, h_{il}$	Upper and lower slab thickness in entrance and exit of roll gap, respectively
$h_u, h_l$	Upper and lower variable slab thickness, respectively
$k$	Mean yield shear stress of the slab
$k_u, k_l$	Upper and lower mean yield shear stress of the slab, respectively
$L$	Contact length of roll gap
Mean square	The sum of squares divided to the degrees of freedom parallel to variance
Model sum of squares	Total of the sum of squares for the all of model terms
Model D.F	Generally it is equal to the sum of model terms minus 1
Model F-value	A trial for comparison of model versus residual variance
$m$	Strain rate dependent parameter of slab
$m_u, m_l$	Upper and lower friction factor, respectively
$Q_u, Q_l$	Upper and lower differential stress factor, respectively
PRESS	Predicted Residual Error Sum of Squares
$p_u, p_l$	Upper and lower rolling pressure, respectively
Residual sum of squares	The total of the sum of squares of the model terms not counting the model
Residual D.F	Adjusted total degree of freedom minus the model one
RSM	Response surface methodology
$R^2$	Coefficient of determination
$R_{eq}$	Equivalent roll radius
$R_u, R_l$	Upper and lower roll radius, respectively
$r$	Thickness reduction
Std. Dev.	Standard deviation
$T$	Slab temperature
$T_0$	Reference temperature

estimation of friction. *International Journal of Mechanical Sciences* 50 (2):315-327

11. Tian Y, Guo Y-H, Wang Z-D, Wang G-D (2009) Analysis of rolling pressure in asymmetrical rolling process by slab method. *Journal of Iron and Steel Research International* 16 (4):22-38

12. Zhang S, Zhao D, Gao C, Wang G (2012) Analysis of asymmetrical sheet rolling by slab method. *International Journal of Mechanical Sciences* 65 (1):168-176

13. Chen F, Feng G, Cui Z (2014) Mathematical Modeling of Critical Condition for Dynamic Recrystallization. *Procedia Engineering* 81:486-491

14. Qwamizadeh M, Kadkhodaei M, Salimi M (2014) Asymmetrical rolling analysis of bonded two-layer sheets and evaluation of outgoing curvature. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 73 (1-4):521-533

15. Afrouz F, Parvizi A (2015) An analytical model of asymmetric rolling of unbounded clad sheets with shear effects. *Journal of Manufacturing Processes* 20, Part 1:162-171.

doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2015.08.007>

16. Tang D, Liu X, Song M, Yu H (2014) Experimental and theoretical study on minimum achievable foil thickness during asymmetric rolling. *PloS one* 9 (9):e106637

17. Byon S, Kim S, Lee Y (2004) Predictions of roll force under heavy-reduction hot rolling using a large-deformation constitutive model. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 218 (5):483-494

18. Liu J, Kawalla R (2012) Influence of asymmetric hot rolling on microstructure and rolling force with austenitic steel. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 22, Supplement 2 (0):s504-s511. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S1003-6326\(12\)61753-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1003-6326(12)61753-1)

19. Wronski M, Wierzbanski K, Bacroix B, Lipinski P Asymmetric rolling textures of aluminium studied with crystalline model implemented into FEM. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2015. vol 1. IOP Publishing, p 012012

20. Yu HL, Lu C, Tieu AK, Li HJ, Godbole A, Zhang SH (2016) Special Rolling Techniques for Improvement of Mechanical Properties of Ultrafine-Grained Metal Sheets: a Review. *Advanced Engineering Materials* 18 (5):754-769

21. Salimi M, Kadkhodaei M (2004) Slab analysis of asymmetrical sheet rolling. *Journal of Materials Processing Technology* 150 (3):215-222

22. Yanagida A, Liu J, Yanagimoto J (2003) Flow curve determination for metal under dynamic recrystallization using inverse analysis. *Materials Transactions* 44 (11):2303-2310

23. Galantucci LM, Tricarico L (1999) Thermo-mechanical simulation of a rolling process with an FEM approach. *Journal of Materials Processing Technology* 92-93 (0):494-501.

doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00242-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00242-3).

24. Siciliano Jr F, Jonas JJ (2000) Mathematical modeling of the hot strip rolling of microalloyed Nb, multiply-alloyed Cr-Mo, and plain C-Mn steels. *Metallurgical and materials transactions A* 31 (2):511-530

25. Yanagida A, Yanagimoto J (2005) Regression method of determining generalized description of flow curve of steel under dynamic recrystallization. *ISIJ international* 45 (6):858-866

26. Box GE, Wilson K (1992) On the experimental attainment of optimum conditions. In: *Breakthroughs in Statistics*. Springer, pp 270-310

27. Ayaz M, Khaki DM, Arab NBM (2014) Influence of Hot Rolling on Formability of Nb-Microalloyed Steel: An Experimental Design Study. *Transactions of the Indian Institute of Metals* 67 (3):429-436

28. Davidson MJ, Balasubramanian K, Tagore G (2008) Surface roughness prediction of flow-formed AA6061 alloy by design of experiments. *Journal of materials processing technology* 202 (1):41-46

29. Razani N, Aghchai AJ, Dariani BM (2014) Flow-forming optimization based on hardness of flow-formed AISI321 tube using response surface method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 70 (5-8):1463-1471

30. Hwang Y-M, Tzou G-Y (1995) An analytical approach to asymmetrical hot-sheet rolling considering the effects of the shear stress and internal moment at the roll gap. *Journal of Materials Processing Technology* 52 (2-4):399-424.

doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0924-0136\(94\)01731-F](http://dx.doi.org/10.1016/0924-0136(94)01731-F).

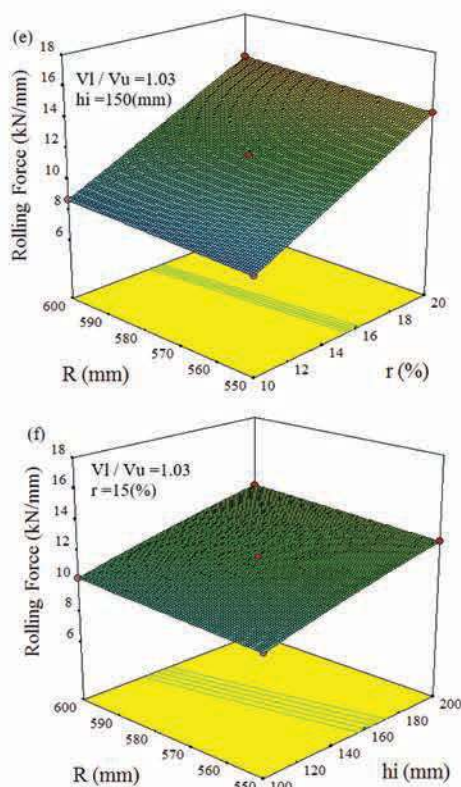


Fig. 9 The interaction effects of parameters on the rolling force.

## Conclusions

In this work, based on the slab analysis method and RSM's design, an advanced analytical model for calculation of TMR force is presented. In the present model, in addition to imposing visco-plastic flow stress of the rolled material (X70 and P265GH steel grades), the effects of rate dependent and strain hardening condition on yield shear stress of upper and lower surfaces of the rolled slab are investigated. A new index of asymmetry (ARI) is introduced for the rolling process. In comparison scenario, the ranges of the calculated results of the rolling force in the present model are higher than other models and have a good agreement with experimental data. The outcome results of the presented model are implied the following concepts:

1. By imposing the strain hardening condition the positions of neutral points are moved in the rolling exit direction.
2. Increasing of the rolling temperature and thickness reduction per rolling passes reduces the dimension of the ARI and leads to a reduction of the asymmetrical rolling intensity.
3. The initial thickness has a minimum effect on the ARI level and the speed rate roles as an intensifier of parameters'

effect on the ARI.

4. The interaction of thickness reduction and initial thickness increase the value of rolling force.

The combination of the high value of speed rate with the low percent of thickness reduction lead to the restrict arise of the ARI level.

## Acknowledgment

This work has supported by the Khuzestan Oxin Steel Co. (KOSC).

The authors sincerely appreciate the continuous cooperation and encouragement of R&D management.

## References

1. Aboutorabi A, Assempour A, Afrasiab H (2016) Analytical approach for calculating the sheet output curvature in asymmetrical rolling: In the case of roll axis displacement as a new asymmetry factor. *International Journal of Mechanical Sciences* 105:11-22
2. Kadkhodaei M, Salimi M, Poursina M (2007) Analysis of asymmetrical sheet rolling by a genetic algorithm. *International journal of mechanical sciences* 49 (5):622-634
3. Qwamizadeh M, Kadkhodaei M, Salimi M (2012) Asymmetrical sheet rolling analysis and evaluation of developed curvature. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 61 (1-4):227-235
4. Hwang Y-M, Tzou G-Y (1995) An analytical approach to asymmetrical hot-sheet rolling considering the effects of the shear stress and internal moment at the roll gap. *Journal of materials processing technology* 52 (2):399-424
5. Hwang Y, Tzou G (1995) Analysis of asymmetrical hot strip rolling by the slab method. *Journal of materials engineering and performance* 4 (3):265-274
6. Hwang Y-M, Tzou G-Y (1997) Analytical and experimental study on asymmetrical sheet rolling. *International Journal of Mechanical Sciences* 39 (3):289-303
7. Tzou G-Y (1999) Relationship between frictional coefficient and frictional factor in asymmetrical sheet rolling. *Journal of Materials Processing Technology* 86 (1):271-277
8. Salimi M, Sassani F (2002) Modified slab analysis of asymmetrical plate rolling. *International Journal of Mechanical Sciences* 44 (9):1999-2023
9. Mousavi SA, Ebrahimi S, Madoliat R (2007) Three dimensional numerical analyses of asymmetric rolling. *Journal of Materials Processing Technology* 187:725-729
10. Gudur P, Salunkhe M, Dixit U (2008) A theoretical study on the application of asymmetric rolling for the

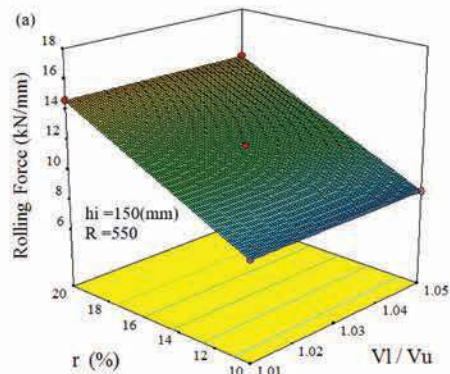
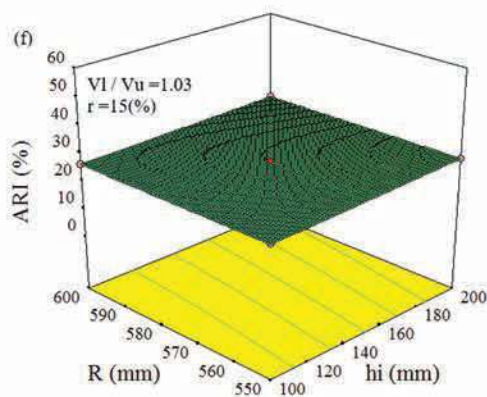


Fig. 8 The interaction effects of parameters on the ARI.

Fig. 8d shows the interaction effects of initial thickness and reduction on the ARI. In constant speed rate with an increase of the levels of reduction, the ARI range is raised. But the variation of initial thickness has a negligible effect on the ARI. In the high level of reduction, reduction of the imposed moment on the vertical side of the deformation zone leads to decrease the length of CSR and ARI, consequently. The speed rate has a considerable effect on the ARI, generally. Also, this parameter performs an intensifier for the ARI in the rolling process.

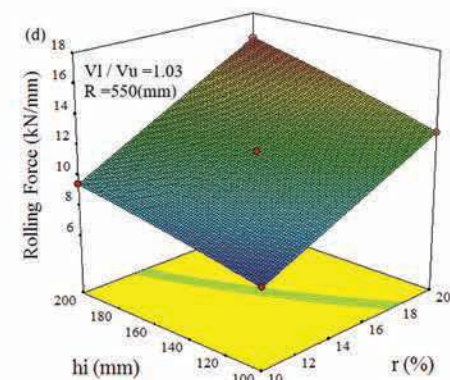
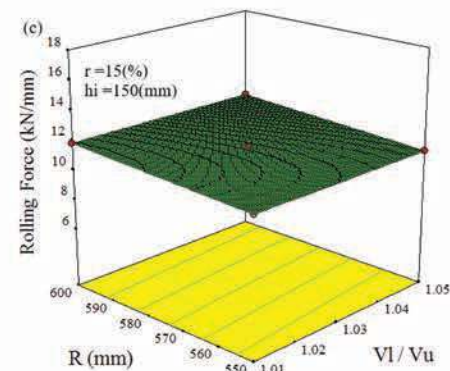
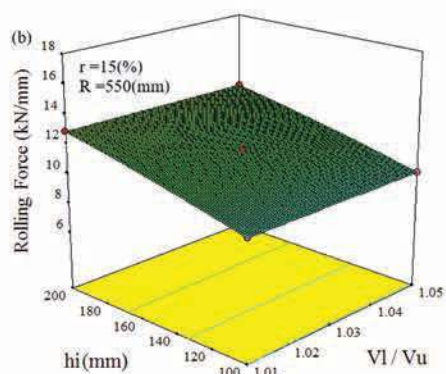
As indicated in Fig. 9(a, b and c), increasing the parameters of reduction, initial thickness and roll radii leads to increase the pressure distribution, bending moment onto the vertical sided of roll gape and friction stress, respectively. Hence, the rolling force value arise, consequently. Whereas, in this range of parameters, the roll radii has negligible effect on the rolling force (Fig. 8c, e and f). Furthermore, Speed rate and its interaction with roll radii have an unnoticeable effect on the rolling force (Fig. 9c).

As the speed rate and the roll radii have a revers effect on ARI (Fig. 8c), the interaction of them neutralizes their effects on the rolling force.

A considerable feature is shown in Fig. 9d where the interaction of thickness reduction and initial thickness increase the value of rolling force, intensively.

The reason cause of this overlapping is the simultaneous growth of shear stress and imposed moment on vertical sides of the deformed region.

Also, as indicated in Fig. 9e the interaction effect of roll radii and thickness reduction leads to intensify the imposed friction stress onto vertical side of roll gape and increase the rolling force, consequently.



The adequacy of the ARI and rolling force models are checked in Table 7.

Table 7 - The adequacy of the ARI and rolling force model.

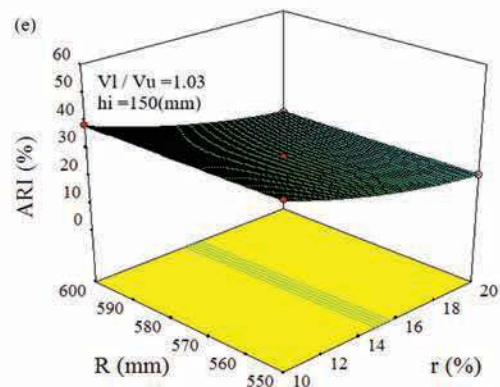
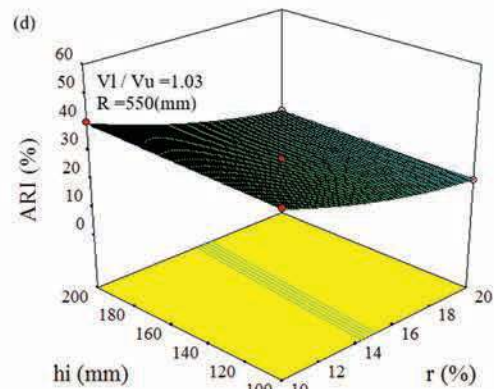
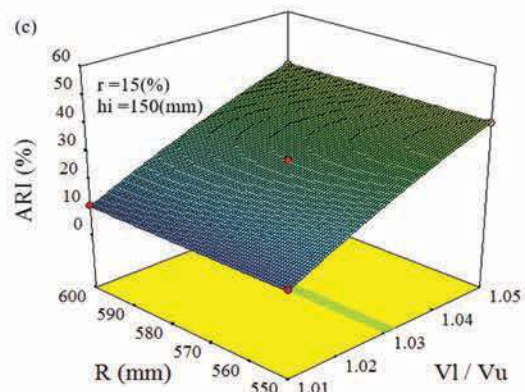
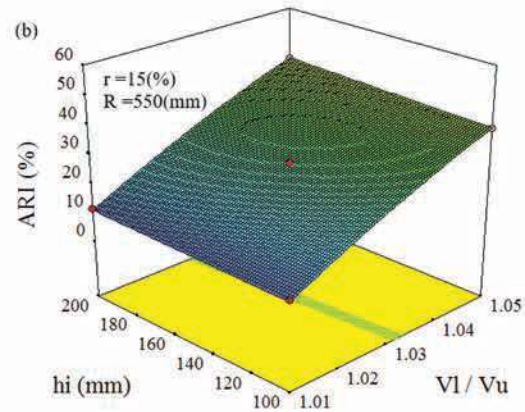
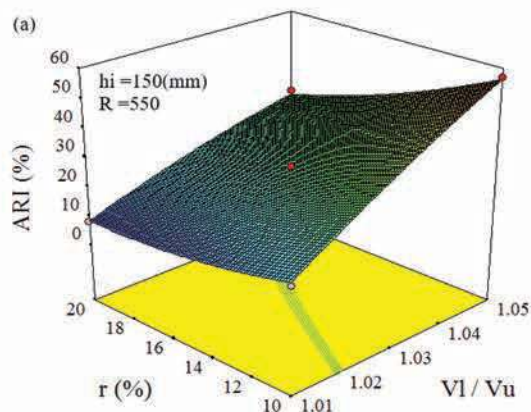
Terms	Value		Terms	Value	
	ARI	Force		ARI	Force
Std. Dev.	0.58	0.015	R <sup>2</sup>	0.9988	1.0000
Mean	27.64	11.48	Adjusted R <sup>2</sup>	0.9976	1.0000
C.V. %	2.09	0.13	Predicted R <sup>2</sup>	0.9930	0.9999
PRESS	26.84	0.019	Adequate Precision	115.416	822.407

The high computed coefficient of the regression amount reveals the precision performance of the obtained model. In addition, the favorable values for the adjusted coefficient of regression and Adequate Precision in high values (value > 4) demonstrate the adequacy of the models[29].

### 3D graphs and interaction effects

The interaction effects of the studied parameters on the ARI and rolling force are evaluated using the following 3D graphs. From Fig. 8, it is clear that ARI reduces with an increase in thickness reduction and rises due to increase of speed rate [30]. The combination of the low amount of thickness reduction with the high value of speed rate intensifies the rise of the ARI (Fig. 8a).

Because in low reduction, the presence of speed rate increases the difference of bending moment in upper and lower interface of the roll gap. Hence, in higher values of thickness reduction and lower value of speed rate, the amount of the ARI is at the lowest level. Also the high level of thickness reduction compensates the effects of speed rate when the initial thickness is constant. Fig. 8b shows the interaction effects of initial thickness and speed rate on the ARI. Regarding to this figure and based on the presented ANOVA model terms given in Table 6, the term of initial thickness has the lowest effect on the ARI model and high values of the ARI is occurred in high levels of speed rate. From Figures 8(c, e and f), it is found that the parameter of roll radii, initial thickness and their interaction have minimum effect on ARI.



The dictated analytical layout of the Box-Behnken matrix and their factors' levels are introduced in Table 4.

Table 4 - Analytical layout of the Box-Behnken matrix (material=X70; rolling speed=2500 mm/s;  $\mu = m = 0.57$ ;  $R_u = R_l = 586.5$  mm;  $T = 1373$ K).

Run	Parameters					Responses							
	$V_r/V_u$	$r$	$h_i$	$R$	ARI	force	Run	$V_r/V_u$	$r$	$h_i$	$R$	ARI	force
No.	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(kN)	No.	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(kN)		
1	1.03	15	150	575	27.	14.6	15	1.03	15	200	550	28.4	12.74
2	1.01	15	150	550	11.	11.53	16	1.05	15	150	600	40.1	11.19
3	1.05	10	150	575	56.	9.69	17	1.03	10	100	575	37.5	14.22
4	1.05	20	150	575	30.	11.53	18	1.03	20	100	575	20.0	8.23
5	1.03	15	150	575	27.	11.53	19	1.05	15	150	550	40.5	16.21
6	1.03	15	100	550	26.	9.47	20	1.03	20	150	550	20.8	15.03
7	1.03	15	150	575	27.	11.53	21	1.03	10	150	550	39.0	8.48
8	1.03	15	150	575	27.	14.65	22	1.03	20	200	575	21.4	10.25
9	1.03	10	200	575	40.	13.19	23	1.03	20	150	600	20.6	11.87
10	1.03	15	150	575	27.	9.95	24	1.01	10	150	575	16.3	12.81
11	1.01	20	150	575	8.1	8.67	25	1.03	15	100	600	26.3	9.99
12	1.03	15	200	600	28.	12.51	26	1.01	15	150	600	10.9	12.89
13	1.05	15	100	575	39.	11.82	27	1.05	15	200	575	41.6	14.6
14	1.03	10	150	600	38.	7.25	28	1.01	15	100	575	10.6	11.53
							29	1.01	15	200	575	11.4	9.69

### ANOVA analysis

The Box-Behnken design technique can evaluate the interaction effects of variable parameters on response function and estimate a regression model by implementation of analysis of variance (ANOVA) [26]. The ANOVA is a precise method that by overall estimation of variance of response function and evaluation of the influence of each parameter on reactions, runs statistical trials to reveal which variables have a major effect on the test runs. When the "P-value" be less than 0.05, the factor is taken into account that has a significant effect on response function with confidential level of 95% [27]. In this study, ANOVA is used for identification of the confidence level of parameter's effect on the ARI. In Table 5, the models summery statistics are given with their regression terms and predicted residual error sum of squares (PRESS). R2, Adjusted R2 and Predicted R2 are the criterion for determination of the range of variation of response toward the mean value described by the model; the number of predicted model's terms correspond to the points in the design matrix and the range of variation for new predicted results, respectively. The definitions of other ANOVA terms are presented in nomenclature. Regarding to Table 5, The minimum value of Predicted Residual Error Sum of Squares (PRESS) and the maximum value of adjusted R2 and predicted R2 is the most suitable model suggested by ANOVA. Hence, this model is selected for analysis the data[28]. The response surface model of the ARI and rolling force and the contribution effect of parameters on the model's terms are analyzed by ANOVA. The significance

of quadratic model terms are given in Table 6. The Model "P-value" less than 0.0001 demonstrates the precise estimation of the models.

Table 5 - Model Summary Statistics of ARI and rolling force.

Model	Std. Dev.		R <sup>2</sup>		Adjusted R <sup>2</sup>		Predicted R <sup>2</sup>		PRESS	
	ARI	Force	ARI	Force	ARI	Force	ARI	Force	ARI	Force
Linear	2.52	0.15	0.9601	0.9962	0.9535	0.9955	0.9376	0.9940	239.1	0.84
2FI	2.03	0.077	0.9806	0.9992	0.9699	0.9988	0.9361	0.9976	244.9	0.33
Quadratic	0.58	0.015	0.9988	1.0000	0.9976	1.0000	0.993	0.9992	26.84	0.019

For ARI function, the comparison of parameters "F-value" and contributions indicated that the speed rate with the highest level of criteria's and the initial thickness with the lowest ones have the major and minor influence on the ARI, respectively [29]. In addition, interaction effect of speed rate - reduction and reduction-roll radii have the major and minor effect on the ARI, respectively.

Table 6 - ANOVA for quadratic model of the ARI and rolling force.

Source	Sum of Squares		D.F	Mean Square		F-value		P-value		Contribution(%)	
	ARI	Force		ARI	Force	ARI	Force	ARI	Force	ARI	Force
Model	3827.26	140.04	14	273.38	10.00	821.29	42979.83	<0.0001	<0.0001	-	-
A-V <sub>r</sub> /V <sub>u</sub>	2719.84	9.6E-3	1	2719.84	9.6E-3	8171.05	41.39	<0.0001	<0.0001	71.06	6E-3
B-r (%)	948.39	113.65	1	948.39	113.65	2849.18	4.88E+5	<0.0001	<0.0001	24.77	81.15
C-h <sub>i</sub> (mm)	10.66	24.68	1	10.66	24.68	32.02	1.06E+5	<0.0001	<0.0001	0.27	17.62
D-R (mm)	0.19	1.17	1	0.19	1.17	0.57	5008.35	0.6025	<0.0001	4E-3	0.83
AB	77.35	2.5E-5	1	77.35	2.5E-5	232.38	0.11	<0.0001	0.7400	2.02	2.5E-5
AC	0.82	4.0E-4	1	0.82	4.0E-4	2.46	1.72	0.1391	0.2110	0.02	4E-4
AD	0.014	2.5E-5	1	0.014	2.5E-5	0.043	0.11	0.8382	0.7480	3E-4	2.5E-5
BC	0.39	0.39	1	0.39	0.39	1.17	1678.39	0.297	<0.0001	0.01	0.27
BD	6.4E-3	0.034	1	6.40E-3	0.034	0.019	147.05	0.8917	<0.0001	1E-4	0.024
CD	0.011	3.6E-3	1	0.011	3.6E-3	0.033	15.47	0.8582	0.0015	2E-4	0.002
A*2	17.57	4.5E-6	1	17.57	4.5E-6	52.79	0.019	<0.0001	0.8913	0.45	3E-6
B*2	39.47	3.2E-4	1	39.47	3.2E-4	118.57	1.40	<0.0001	0.2567	1.03	2.3E-4
C*2	0.02	0.094	1	0.02	0.094	0.06	404.12	0.8103	<0.0001	5E-4	6.7E-2
D*2	4.1E-03	4.5E-6	1	4.1E-3	4.5E-6	0.013	0.019	0.9123	0.8913	1E-4	3E-6
Residual	4.66	3.2E-3	14	0.33	2.3E-4						
Pure Error	0	0	4	0	0						
Cor Total	3831.92	140.05	28							100	100

For rolling force function, the comparison of the mentioned criteria indicates that reduction, initial thickness and interaction of them are the most important parameter influencing the rolling force. Comprising the "F-value" of interaction Effect of speed rate - reduction and reduction- initial thickness reveals that the increase of ARI accused to reduce the rolling force.

The mathematical model of the ARI in thermomechanical the rolling process of X70 is extracted based on the rolling parameters such as speed rate ( $V_r/V_u$ ), thickness reduction ( $r$ ), initial thickness ( $h_i$ ) and roll radii ( $R$ ). This model can be presented as follows:

$$\begin{aligned}
 ARI &= f(V_r/V_u, r, h_i, R) \\
 &= -5734.5 + 9889.5(V_r/V_u) + 40.5(r) - 0.41(h_i) - 0.07(R) \\
 &\quad - 43.9(V_r/V_u \times h_i) + 0.45(V_r/V_u \times r) - 0.12(V_r/V_u \times R) \\
 &\quad - 1.25(r \times h_i) + 0.00032(r \times R) - 0.000042(h_i \times R) \\
 &\quad - 4114.5(V_r/V_u)^2 + 0.09(r)^2 + 0.000022(h_i)^2 \\
 &\quad + 0.00004(R)^2
 \end{aligned}
 \tag{37}$$

The finishing passes are performed under non-recrystallization temperature for obtaining the target thickness of plate and the final fine grain of ferrite structure.

Table 2 Thermomechanical rolling schedule of X70 slab.

Pass No.	Thickness (mm)	Reduction (%)	Width (mm)	Temperature (K)	Rolling Speed (mm/s)	Pass type
1	232	5.67	4558.99	1354.4	2.59	Broadsiding
2	219.75	6.01	4560.09	1352.68	2.64	
3	206.54	6.4	4561.27	1350.81	2.69	
4	193.33	6.83	4562.53	1348.86	2.76	
5	180.12	7.33	4563.89	1346.81	2.83	
6	166.91	7.92	4565.36	1344.75	2.92	
7	153.7	8.6	4566.96	1342.52	3.01	
8	140.48	9.4	4568.72	1339.84	3.08	
9	127.27	12.21	3387.23	1329.52	3.34	Finishing
10	111.74	13.9	3390.04	1325.85	3.44	
11	96.2	16.15	3393.35	1322.23	3.55	
12	80.66	16.31	3396.51	1142.67	3.69	
13	67.51	13.46	3398.77	1142.63	3.86	
14	58.42	13.48	3400.92	1140.86	4.01	
15	50.55	13.51	3402.95	1138.29	4.07	
16	43.72	13.54	3404.88	1134.48	4.14	
17	37.8	13.58	3406.71	1129.13	4.21	
18	32.66	13.63	3408.44	1122.05	4.26	
19	28.21	13.68	3410.08	1114.06	4.32	
20	24.35	7.85	3410.75	1103.96	4.38	
21	22.44	7.6	3411.36	1092.14	4.42	

Initial dimension of slab(mm): 232\*1853\*4557

As shown in Fig. 7a, the comparison of calculated outcomes of Salimi's, Gudur's and the present model with experimental results of thermomechanical rolling signifies a good acquisition of the rolling force with a mean error of 7.6 percent. As indicated in this figure the calculated rolling force of the Salimi's model is lower than that of the Gudur's model. Because, in the Salimi's model the value of yield stress is constant during the rolling process. While the Gudur's model has included the strain hardening effect in rolled material.

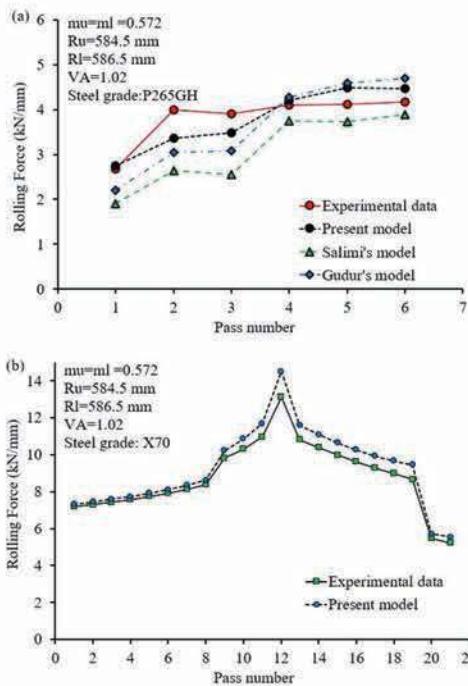


Fig. 7 Comparison between analytical and experimental results; (a) P265GH, (b) X70.

This figure implies that the calculated amounts of the rolling force of the present model are bigger than the measured ones and by an increase of thickness reduction the error extent is being reduced. Referring to Salimi's and Gudur's researches [21,10], these models have just investigated in the rolling condition of low initial thickness and thickness reduction range without imposing the condition of rate dependent, work hardening and softening .

Because of the lack of the mentioned imposing condition in Salimi's and Gudur's model, by increasing the thickness reduction of middle rolling passes, the calculated error of these models is being intensified.

As shown in Fig. 7b, the comparison of calculated outcomes of the present model with experimental results of thermomechanical rolling of X70 micro alloy steel signifies a good acquisition of the rolling force with a mean error of 5.06 percent.

#### Design of experiments

In the processes parameters study of a set of controllable variable parameters, The Design of Experiments (DOE) methodology is applied to design an optimum trial layout. As a useful DOE tool, Response surface methodology (RSM) has utilized for optimization procedure of process parameters [26].

In this study, Box-Behnken matrix is used to dictate a trial layout for analytical model in 29 runs for assessment of four parameters such as speed rate, Reduction, Initial thickness and roll radii. The mentioned flow model material of X70 micro alloy steel is used in analytical runs.

These sets of analytical runs are executed for evaluation of effective numerical factors of rolling force and asymmetrical index. The considered asymmetrical rolling index (ARI) in this work is introduced as the following relation:

$$ARI = \frac{\text{length of CSR } (x_{nu} - x_{nl})}{\text{Contact length of roll gap}(L)} \times 100 \quad (36)$$

The levels and limits of the independent variables of the Box-Behenken matrix are given in Table 3.

Table 3 - Independent variable levels of the Box-Behenken matrix.

Numerical	-1 (Low)	+1 (High)
Factors	Level)	Level)
$V_l/V_u$ : Speed rate	1.01	1.05
$r$ : Reduction (%)	10	20
$h_i$ : Initial thickness (mm)	100	200
$R$ : Roll radii (mm)	550	600



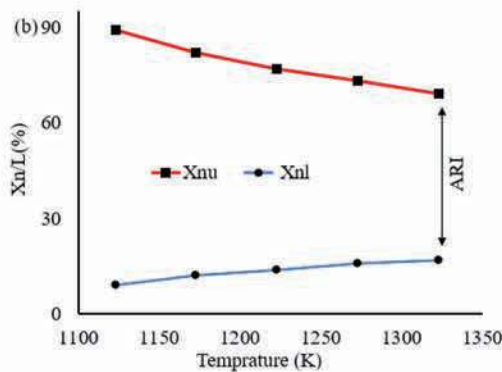
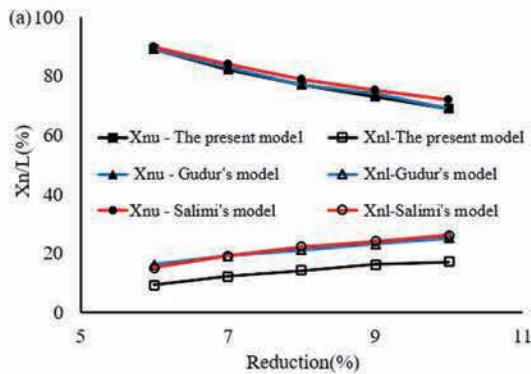


Fig. 5 Asymmetrical index variations; (a)ARI versus thickness reduction, (b) ARI versus rolling temperature ( $h_i=4.0$  mm;  $\mu_u=\mu_l=0.35$ ;  $R_u=R_l=350$  mm;  $V_A=1.05$ ;  $K=98.1$ ;  $m=0.0542$ ;  $n=0.225$ ).

The variation of neutral point's position versus rolling temperature is shown in Fig. 5b. By increasing the rolling temperature, the location of neutral points moves to the center of the roll gap and the length of CSR is being reduced as a result.

### Experimental verification

In the first section, regarding to material flow formulation of carbon steel considering by Yanagida and Yanagimoto [25], the thermomechanical rolling of pressure vessel steel grade of P265GH has carried out using the wide 4Hi-single stand reversing mill of Khouzestan Oxin Steel Co. (KOSC). This wide rolling mill stand is shown in Fig. 6. Gap control of the rolling passes is performed by signal processing of X – Ray thickness gauge. The dimensions of the rolled slab are measured by  $\gamma$  – Ray profile meter device of 1 micron accuracy and processing time of 10 milliseconds. The capacity of rolling force is  $10^5$  kN.



Fig. 6 4Hi-single stand reversing mill.

The rolling force data have measured by a couple of Kelk disk type load cells with  $56 \times 10^3$  kN capacity and response time less than 0.1 millisecond. The broadsiding rolling schedule of a P265GH slab is given in Table 1.

Table 1 Thermomechanical rolling schedule of P265GH slab.

Pass No.	Thickness (mm)	Reduction (%)	Width (mm)	Temperature (K)	Rolling Speed (mm/s)	Pass type
1	203	6.47	3488	1348	2499	Broadsiding
2	189.473	6.21	3470	1338	2535	
3	177.705	8.63	3476	1336	2517	
4	162.363	5.49	3470	1332	2633	
5	153.449	9.91	3478	1329	2650	
6	138.245	8.67	3477	1326	2705	

Initial dimension of slab(mm): 203\*1611\*3478

In the second section of experimental work, based on Invers Analysis (IA) method introduced by Yanagida et al. [22], the flow behavior of X70 has considered. Then the verification of the analytical model has verified using rolling schedule set up.

The hot compression tests of X70 were performed under different high temperatures of 850-1150 °C and strain rates of  $0.001-1 \text{ s}^{-1}$  to acquisition the constitutive flow model of X70. The evaluation of the experimental results of hot compression tests leads to extract a general form of X70 flow model as follows:

$$\begin{cases} \bar{\sigma} = 135.3 \varepsilon^{0.174} \dot{\varepsilon}^{(0.0001167 - 0.01337)} \exp \left[ 5225 \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{1273} \right) \right] & (\bar{\varepsilon} \leq \varepsilon_c) \\ \bar{\sigma} = (66 \exp[-9.6(\bar{\varepsilon} - \bar{\varepsilon}_{max})^2] + 51.6) \dot{\varepsilon}^{(0.0001167 - 0.01337)} \times \exp \left[ 5225 \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{1273} \right) \right] & (\bar{\varepsilon} > \varepsilon_c) \end{cases} \quad (35)$$

The complete rolling schedule of a X70 slab is given in table 2.

There are two group of pass in the schedule named broadsiding and finishing. The broadsiding passes are roughing passes performed to increase the width of the slab and austenite grain refining.

sis of the differential equations of overall points for triple zones of the roll gap, the rolling force in per slab width unit can be calculated as follows [21]:

$$F_u = \int_0^l (p_u + \frac{x}{R_u} \tau_u) dx \quad (31)$$

$$F_l = \int_0^L (p_l + \frac{x}{R_l} \tau_l) dx \quad (32)$$

$$T_u = \int_0^L \tau_u R_u dx \quad (33)$$

$$T_l = \int_0^L \tau_l R_l dx \quad (34)$$

In the rolling process, the elastic deformation of the rolls' surfaces of the contact interface with the deformed region leads roll flattening feature. In order to identify the real conditions of the rolling in the present calculations, the flattened roll radius is calculated using Hitchcock relation.

## Result and discussion

### Analytical analysis

The results of the predicted rolling force from the present model has compared with Salimi's model [21] (constant flow stress situation) and Gudur's model [10] (imposing only strain hardening in flow stress), consequently. As shown in Fig. 4a, pressure distribution on the rolls' surfaces in analytical models are different. In the present model, same as Salimi's model and Gudur's model, the maximum pressure distribution on the rolls' surface isn't located into neutral points and there is more than one maximum pick of pressure distribution. In the present model, the property of stress distribution is different because of imposing the rate dependent flow stress.

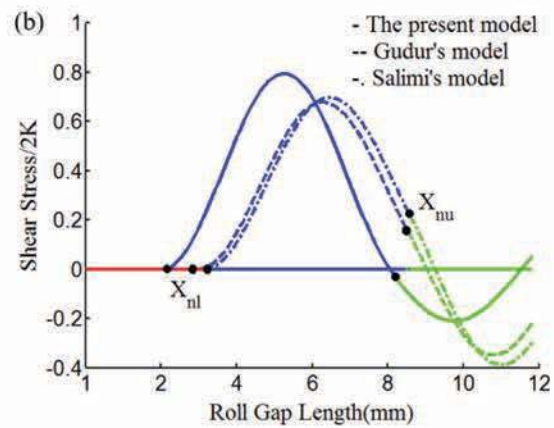
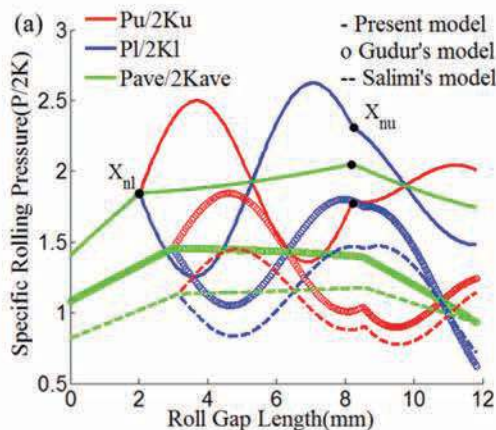


Fig. 4 Distribution scenario; (a) Pressure distribution, (b) Mean shear stress distribution ( $h_i=4.0$  mm;  $r=10\%$ ;  $\mu_u=\mu_l=0.35$ ;  $R_u=R_l=350$  mm;  $V_A=1.05$ ;  $K=98.1$ ;  $m=0.0542$ ;  $n=0.225$ ).

Position shifting of imposing shear stress at the slab surface leads to abrupt variations of the pressure distribution gradient. But, stress distributions on the rolls' surfaces in the rolling exit are the same. Because of presence of bending torque and shear stress, this stress distribution is unequal in CSR and the entrance region of the roll gap. According to Fig. 4b, due to variation of mean flow stress in the roll gap length, the positions of neutral points are moved in the direction of the rolling exit.

Increase of the roll radii leads to increase the friction stress and move the neutral point to the center of the roll gap consequently. But in the high value of initial thickness the position of upper and lower neutral points moves to the enter and exit of the roll gap. The difference effect of initial thickness on position of neutral points is caused by the increase in imposing bending moment onto deformation region.

However, the slab thickness and the roll radii have negligible effect on the position shifting of neutral points.

The comparative positions of neutral points of models under different condition of thickness reduction are shown in Fig. 5a.

As seen in this figure by increasing the thickness reduction per rolling pass, the location of the neutral points moves to the center of the roll gap and the length of CSR is being reduced.

On the other hand, increasing the thickness reduction leads to occurrence the condition of symmetrical rolling. So it can be concluded that imposing the rate dependent and strain hardening condition in the present model leads to increase the length of CSR.

Whereas  $\bar{\varepsilon}$  and  $\bar{\varepsilon}'$  are functions of  $h_{(u,l)}$  (Eq. (16) and  $h_{(u,l)}$  is a function of  $x$  (Eqs. (2 and 3)), differentiating the constitutive equation of flow stress (Eqs. (15)) with respect to  $x$  leads to extract a coefficient named  $Q_{(u,l)}$  of correspond  $dh_{(u,l)}/dx$ . By differentiating of Eqs. (13) and (14) with respect to  $x$ :

$$\frac{d\sigma_u}{dx} = \frac{dp_u}{dx} - 2\sqrt{1-m_u^2} \frac{Q_u}{\sqrt{3}} \frac{dh_u}{dx} \quad (23)$$

$$\frac{d\sigma_l}{dx} = \frac{dp_l}{dx} - 2\sqrt{1-m_l^2} \frac{Q_l}{\sqrt{3}} \frac{dh_l}{dx} \quad (24)$$

So, by substituting Eqs. (23) and (24) into relations (8) and (9) the following terms are defined:

$$A = \left( \frac{d\sigma_u}{dx} + \frac{d\sigma_l}{dx} \right) = \frac{dp_u}{dx} + \frac{dp_l}{dx} - \frac{2}{\sqrt{3}} (\sqrt{1-m_u^2} Q_u \frac{dh_u}{dx} + \sqrt{1-m_l^2} Q_l \frac{dh_l}{dx}) \quad (25)$$

$$B = \left( \frac{d\sigma_l}{dx} - \frac{d\sigma_u}{dx} \right) = \frac{dp_l}{dx} - \frac{dp_u}{dx} + \frac{2}{\sqrt{3}} (\sqrt{1-m_u^2} Q_u \frac{dh_u}{dx} - \sqrt{1-m_l^2} Q_l \frac{dh_l}{dx}) \quad (26)$$

Therefore, the below equations can be obtained:

$$\frac{dp_u}{dx} = \frac{A-B}{2} + \frac{2}{\sqrt{3}} (\sqrt{1-m_u^2} Q_u \frac{x}{\sqrt{R_u^2-x^2}}) \quad (27)$$

$$\frac{dp_l}{dx} = \frac{A+B}{2} + \frac{2}{\sqrt{3}} (\sqrt{1-m_l^2} Q_l \frac{x}{\sqrt{R_l^2-x^2}}) \quad (28)$$

$$\frac{d\tau}{dx} = -\frac{2x}{hR_{eq}} \tau - \frac{(p_l - p_u)}{h} - \left( \frac{\tau_l}{R_l} - \frac{\tau_u}{R_u} \right) \frac{x}{h} \quad (29)$$

In this step of the calculations, aimed to function ODE45 as an MATLAB's standard solver for ordinary differential equations (ODEs) the above ordinary differential equations are solved. The mentioned function executes a Runge-Kutta method with a variable time step for effective estimation. Hence, the unknown terms of  $p_u$  and  $p_l$  can be obtained for triple zones of the roll gap.

For determination of unknown terms of equilibrium equations of triple zones, it needs to define the neutral point position in the roll gap length and boundary conditions for each zone separately.

due to the material volume constancy principal of the roll gap, the neutral point location is determined based

on the following equation[6,10,21]:

$$x_{nu} = \sqrt{V_A x_{nl}^2 + (V_A - 1) \frac{h_0}{R_A}} \quad (30)$$

Where  $V_u, V_l$  and  $V_A = V_l/V_u$  are circumferential speed of rolls and speed rate and equivalent rolls radius, respectively.  $R_{eq} = 1/R_{eq} - h_0/2R_{eq}^2$  is the equivalent roll radius. In addition,  $x_{nu}$  and  $x_{nl}$  are the horizontal location of the upper and lower neutral points respectively.

Because there is no force imposing on the end face of the outlet portion of the slab, the boundary condition of third zone is known, consequently. since the deformed region continuity can be used for the determination of the position of neutral points, the boundary conditions of the overall deformed region can be defined, as a result. In the inlet portion of the slab, there is none free stress condition same as the outlet portion. Therefore, for assuming the horizontal entrance of the slab into the roll gap, the loading force on inlet portion is one of the unknown terms which should be known for solving the related equations of inlet portion. This loading force is calculated based on the continuity principal of the cross section region and an entrance portion of the roll gap.

In the present model, assuming no forward tension or compression imposing on inlet portion, the imposed axial force will be zero [3]. This technique is applied because is near to the real condition of the process in reverse mill rolling. So, with a condition of zero values of the axial normal mean stress  $(\sigma_u + \sigma_l)/2 = 0$  in the inlet portion and implementing the bisection method the position of neutral points is determined easily.

Considering the mentioned boundary conditions, determination of the position of triple zone is performed by guessing the position of the  $x_{nl}$  varying between a position near the entry section and other near the exit section along the length of the roll gap.

Using the assumed  $x_{nl}$ , the suppositin of  $x_{nu}$  can be calculated by Eq. 30.

So, the roll gap can be divided into three assumed zone. Now, the governing differential equations (Eqs. (27-29)) can be solved for three assumed zone. The next step is the calculation of the normal mean stress for each iterated case.

This iteration manner is continued until the guessed  $x_{nl}$  and  $x_{nu}$  lead to a zero value of the normal mean stress. Thus, the true locations of the neutral points can be get in the case of the correspond zero mean axial stress.

After the precise positioning of neutral points and analysis

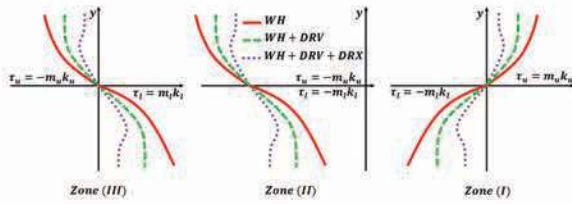


Fig. 3 Unequal distribution of shear stress in triple regions in the roll gap.

## Yield criterion

Plastic flow rule of Levy-Mises in plain strain condition is used based on the following relationships:

$$\tau_{xz} = \tau_{yz} = 0 \quad , \quad \sigma_z = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \quad (11)$$

Therefore, aimed to Von-Mises yield criterion, flow rule for each element of upper and lower surface can be given by [21]:

$$\left| \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right| = \sqrt{k^2 - \tau_{xy}^2} \quad , \quad k = \bar{\sigma} / \sqrt{3} \quad (12)$$

So, assuming the small bit angle the normal stress in upper and lower can be derived as follows:

$$\sigma_u = p_u - 2k_u \sqrt{1 - m_u^2} \quad (13)$$

$$\sigma_l = p_l - 2k_l \sqrt{1 - m_l^2} \quad (14)$$

## Visco-plastic flow stress

In order to include rate dependent, work hardening and softening feature in the material flow stress, the visco-plastic model of Yanagida et al. [22] is used for flow stress acquisition as following equations:

$$\begin{cases} \sigma_{u,l} = F_1 \bar{\varepsilon}_u^n \dot{\varepsilon}_{u,l}^m \exp\left[C\left(\frac{1}{T_{u,l}} - \frac{1}{T_0}\right)\right] & (\bar{\varepsilon} \leq \varepsilon_c) \\ \sigma_{u,l} = (F_2 \exp[a(\bar{\varepsilon}_{u,l} - \bar{\varepsilon}_{max})^2] + F_3) \dot{\varepsilon}_{u,l}^m \exp\left[C\left(\frac{1}{T_{u,l}} - \frac{1}{T_0}\right)\right] & (\bar{\varepsilon} > \varepsilon_c) \end{cases} \quad (15)$$

Where  $n$  is strain hardening parameter,  $m$  strain rate dependent term and  $C$  is the temperature dependent term. The term  $\varepsilon_c$  is the critical strain to define the onset of DRX and  $\varepsilon_{max}$  is the relative strain at maximum stress of the flow curve. The terms  $F_1$ ,  $n$ ,  $F_3$  and  $\varepsilon_c$  are defined as independent parameters calculated in inverse analysis of hot compression test, and the terms of  $a$  and  $F_2$  are the functions of the mentioned independents' parameters.

The parameters  $T$  and  $T_0$  are the temperature of the roll gap and reference temperature, respectively [22].

Where  $\bar{\varepsilon}$  and  $\dot{\varepsilon}$  are the effective strain and strain rate, respectively. In plane strain conditions, these components are given by the following formulation [23,24]:

$$\bar{\varepsilon}_{u,l} = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{h_{iu,l}}{h_{u,l}} \quad , \quad \dot{\varepsilon}_{u,l} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_{u,l}}{L} \ln \frac{h_{iu,l}}{h_{u,l}} \quad (16)$$

$$h_{iu} = \frac{h_0}{2} + R_u - \sqrt{R_u^2 - L^2} \quad , \quad h_{il} = \frac{h_0}{2} + R_l - \sqrt{R_l^2 - L^2} \quad (17)$$

In which  $V$  is the circumferential speed of the roll,  $h_u$ ,  $h_l$ ,  $h_u$  and  $h_l$  are the upper and lower slab thickness in entrance and exit of the roll gap, respectively. Because of the variation of horizontal character of  $x$  leads to diversity in thickness and rate dependent conditions, the rate dependent flow stress of the rolled material can be presented as a function of  $x$ . So by differentiating of constitution equation of flow stress (Eqs. (15)) with respect to  $x$ :

$$\frac{d\sigma}{dx} = Q \frac{dh}{dx} \Rightarrow \frac{dk}{dx} = \frac{Q}{\sqrt{3}} \frac{dh}{dx} \quad (18)$$

Where  $Q$  is named differential stress factor. Differentiating of  $\bar{\varepsilon}$  and  $\dot{\varepsilon}$  are with respect to  $x$ , the following equations are derived:

$$\frac{d(\bar{\varepsilon}^n)}{dx} = -\frac{2n}{h_{u,l}\sqrt{3}} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{h_{iu,l}}{h_{u,l}}\right)^{n-1} \frac{dh_{u,l}}{dx} \quad (19)$$

$$\frac{d(\dot{\varepsilon}^m)}{dx} = -\frac{2mV}{Lh_{u,l}\sqrt{3}} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{h_{iu,l}}{h_{u,l}}\right)^{m-1} \frac{dh_{u,l}}{dx} \quad (20)$$

According to Eqs. (15) and (18) the  $Q$  parameter is presented to identify for condition before critical strain (strain hardening) and after the critical strain (recovery and softening) as the following formulizations:

$$Q_{u,l}(\bar{\varepsilon} \leq \varepsilon_c) = F_1 \left[ -\frac{2n}{h_{u,l}\sqrt{3}} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{h_{iu,l}}{h_{u,l}}\right)^{n-1} \right] \dot{\varepsilon}^m \quad (21)$$

$$+ \left[ -\frac{2mV_{u,l}}{Lh_{u,l}\sqrt{3}} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{h_{iu,l}}{h_{u,l}}\right)^{m-1} \right] \exp\left[C\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right]$$

$$Q_{u,l}(\bar{\varepsilon} > \varepsilon_c) = \left[ F_2 (2a(\bar{\varepsilon} - \varepsilon_{max})) \exp[a(\bar{\varepsilon} - \varepsilon_{max})^2] \frac{-2}{h_{u,l}\sqrt{3}} \ln \frac{h_{iu,l}}{h_{u,l}} \right] \dot{\varepsilon}^m \quad (22)$$

$$+ \left[ -\frac{2mV_{u,l}}{Lh_{u,l}\sqrt{3}} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{h_{iu,l}}{h_{u,l}}\right)^{m-1} \right] (F_2 \exp[a(\bar{\varepsilon} - \varepsilon_{max})^2] + F_3)$$

$$\exp\left[C\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right]$$

Regarding to the stress field of the cross section has positioned at  $x$  distance from the exit of the roll gap, the following equations can be extracted [3]:

$$h_u = \frac{h_0}{2} + R_u - \sqrt{R_u^2 - x^2} \quad (2)$$

$$h_l = \frac{h_0}{2} + R_l - \sqrt{R_l^2 - x^2} \quad (3)$$

$$h = h_u + h_l = h_0 + R_u + R_l - \left( \sqrt{R_u^2 - x^2} + \sqrt{R_l^2 - x^2} \right) \quad (4)$$

Referring to Fig. 2, in the first portion of the deformed region, the roll speed is more than the slab speed. So, the directions of friction force in upper and lower interfaces are in forward direction. In the third portion of the deformed region, the condition is revers as the slab speed is more than the rolls speed. Hence, in this portion the direction of imposing friction forces on interfaces is in the opposite direction of the rolling process. Assuming that the circumferential speed of lower roll is more than of upper roll, the location of lower neutral point is nearer to the rolling exit. Therefore, in the second portion of the deformed region, the flow speed of the lower surface of the slab is more than of the slab upper surface. This speed mismatch of the slab and the rolls leads to unlike direction of friction force in upper and lower interface.

According to the interaction resultant of imposing normal and shear stress and moment on the point O of the first portion, indicating in Fig. 2, equilibrium equations are given by the following relation [10]:

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow \left( \frac{p_u}{R_u} + \frac{p_l}{R_l} \right) x - \frac{x}{R_{eq}} (\sigma_u + \sigma_l) - (\tau_u + \tau_l) - \frac{h}{2} \left( \frac{d\sigma_u}{dx} + \frac{d\sigma_l}{dx} \right) = 0 \quad (5)$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow \frac{2x}{R_{eq}} \tau + (p_l - p_u) + \left( \frac{\tau_l}{R_l} - \frac{\tau_u}{R_u} \right) x + h \frac{d\tau}{dx} = 0 \quad (6)$$

$$\sum M_O = 0 \Rightarrow \tau h + \frac{xh}{2} \left( \frac{p_l}{R_l} - \frac{p_u}{R_u} \right) + \frac{xh(\sigma_u + \sigma_l)}{2R_u} + \frac{h}{2} (\tau_u - \tau_l) - \frac{xh(\sigma_u + 5\sigma_l)}{6R_{eq}} + \frac{h^2}{12} \left( \frac{d\sigma_u}{dx} - \frac{d\sigma_l}{dx} \right) = 0 \quad (7)$$

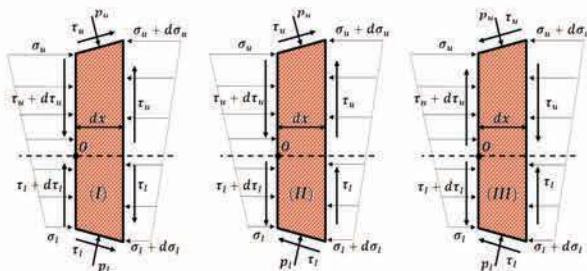


Fig. 2 Equilibrium diagram and stress field of elements in deformed triple regions.

As illustrated in Fig. 2, unlike zone I, the directions of upper and lower friction stress in zone III are both forward. Because, unlike zone I, the velocities of the upper and lower rolls are both higher than that of the slab. The asymmetry of rolling leads to move the position of upper and lower neutral points in opposite direction and creates a new middle zone II. In this zone the velocity of upper roll is lower than that of the slab and the velocity of lower roll is higher than that of the slab. So, the directions of upper and lower friction stress in

zone II are not the same. By sorting the differential terms of normal stresses toward  $x$  direction in Eqs. (5), (7), the set of following equations can be obtained:

$$A = \left( \frac{d\sigma_u}{dx} + \frac{d\sigma_l}{dx} \right) = \frac{2x}{h} \left( \frac{p_u}{R_u} + \frac{p_l}{R_l} \right) - \frac{2x}{hR_{eq}} (\sigma_u + \sigma_l) - \frac{2}{h} (\tau_u + \tau_l) \quad (8)$$

$$B = \left( \frac{d\sigma_l}{dx} - \frac{d\sigma_u}{dx} \right) = \frac{12}{h} \tau + \frac{6x}{h} \left( \frac{p_l}{R_l} - \frac{p_u}{R_u} \right) + \frac{6x}{hR_u} (\sigma_u + \sigma_l) \quad (9)$$

$$+ \frac{6}{h} (\tau_u - \tau_l) - \frac{2x}{hR_{eq}} (\sigma_u + 5\sigma_l)$$

## Friction condition

Assuming the sticking friction conditions in the interfaces between the slab and the rolls, the imposed shear friction stresses on the upper and lower surfaces of the roll gap are presented as following equations:

$$\tau_u = m_u k_u \quad , \quad \tau_l = m_l k_l \quad (10)$$

Because of the unequal distribution of speed mismatching of the rolls and in resulting of strain rate variety in the upper and lower interfaces, the yield shear stresses of  $k_u$  and  $k_l$  are identified to represent asymmetrical material flow in the roll gap. This distinguishing of material flow in upper and lower surfaces of the roll gap is performed for the first time in the analytical model.

Referring to Fig. 3 this asymmetrical material flow leads to unequal yield shear stress and friction stress distribution in the deformed region in the roll gap. Because of work hardening and softening features, the curves of shear stress imposing on the vertical side of thickness elements (vertical axis  $y$ : vertical distance from the centerline of the slab) are different. So, the asymmetrical condition of upper and lower surface of the deformed region leads to misinform of material flow in upper and lower surfaces.

relationship between cross-shear ratio and exit thickness reduction. They developed a new formulation to predict the minimum permissible foil thickness in the asymmetrical rolling. Aboutorabi et al. [1] have proposed a model based on the salimi's model by inserting horizontal deviation axis of upper rolling roll from lower one. They have presented a fourth region near the entrance of the roll gap and have calculated the curvature of the slab in enter and exit of the roll gap.

In spite of expended procedure of usage of the finite element method in 2D and 3D modeling of the asymmetrical rolling, simplification and reduction of time consuming of calculations in analytical methods are the evident competition advantages. In the asymmetrical rolling process, especially TMR, yield shear stress has been influenced by conditions of unequal distribution of strain, strain rate, temperature and microstructure. However, in the accomplished analytical model of the slab method approach, in spite of variety of strain and strain rate, the yield shear stress has been assumed as a constant value.

In TMR process, the presence of features, including work hardening (WH), dynamic recovery (DRV), dynamic recrystallization (DRX) and variety of grain size (GS) during deformation lead to an unstable condition for flow curve of material [17]. In addition, the difference of strain, strain rate and temperature in upper and lower contact surface and unequal diameter of the rolls intense the unsteady of the material flow. Comprising the symmetrical and the asymmetrical hot rolling of steel, Liu and Kawalla [18] have indicated that the high diameter ratio of rollers leads to the high value of grain refinement. By evaluating the aluminum texture, Wronski et al. [19] have found that the asymmetrical rolling improves the microstructure and the homogeneity of material texture. Performing a comprehensive study of the advanced rolling techniques by Yu et al. [20] revealed that the asymmetrical rolling can improve the final mechanical property of rolled material.

In this study, it is purposed to develop the analysis of the asymmetrical thermomechanical rolling (ATMR) by imposing the rate dependent yield shear stress due to the dynamic condition of unsteady strain, strain rate, work hardening and softening. Hence, in the present model, it is assumed of diversity between yield shear stress in upper and lower interface of the roll gap confining between the slab and the rolls. This rate dependent conditions are performed for the first time in the analytical model.

Furthermore, because of inequality of the rolls' radii, the initial slab thickness in the upper and lower portion of the slab is assumed to be unequal. Hence, in this study

a novel analytical model is introduced based on a new description of the deformation region in the roll gap. Concentrating on the CSR morphology, an asymmetrical rolling index (ARI) is introduced to evaluate the effects of the rolling parameters on asymmetrical conditions. After verification of the model outputs by experimental date for pipeline API-5L X70 micro alloy steel and pressure vessel steel of P265GH, using response surface method (RSM) as an applicable tool of DOE, the interaction effects and contribution of parameters on the ARI and rolling force are investigated.

### Asymmetrical rolling mathematical model analysis

Regarding to Fig. 1, ATMR is developed based on the slab method using the following assumption:

- 1 - Plain strain plastic deformation.
- 2 - Horizontal direction of the slab in entrance and exit of the roll gap neglecting of bit angle effect.
- 3 - Linear differential of normal stress distribution in element's sides.
- 4 - Constancy of temperature distribution in upper and lower surfaces of the roll gap.
- 5 - Regarding to unequal rolls' radii, the thickness of the slab is supposed to be intersect from the x axis.
- 6 - Sticking friction conditions of the slab and the rolls' interfaces ( $m_u, m_l$ ).
- 7 - Friction shear stress is varied correspond to yield shear stress, strain and strain rate distribution ( $\tau_{(u,l)} = m_{(u,l)} k_{(u,l)}$ ).
- 8 - In comparison with the roll circumference, the rolls' contact length is assumed to be very small using the following relationship [21]:

$$L = \frac{\{(h_l - h_0)(2R_u + h_0 - h_l)(2R_l + h_0 - h_l)[2(R_u + R_l) + (h_0 - h_l)]\}^{1/2}}{2(R_u + R_l + h_0 - h_l)} \quad (1)$$

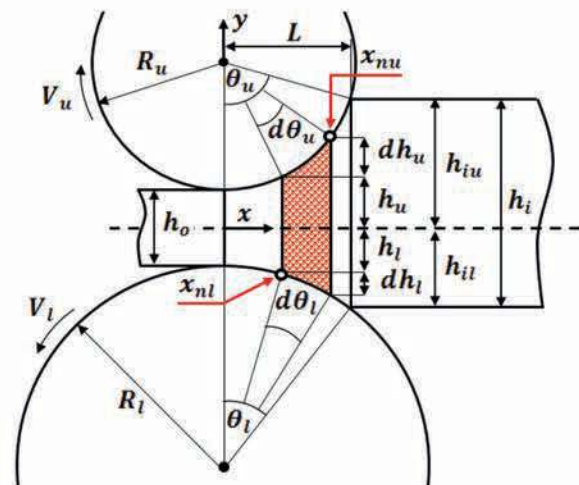


Fig. 1 Asymmetrical roll gap geometry.

## Introduction

Based on various models, there are different studies performed in the analytical field of rolling forces. Because of the significance rule of the rolling force on rate of power consuming, rolling stand vibration and equipment's lifetime, the quantity of established works is very widespread. Researchers have presented several analytical models with varying from hypotheses in rolling stresses investigation approach. Recently, analysis of asymmetrical rolling has been used for evaluation of the slab outgoing curvature from stand roll gap and rolling force [1]. Because of the friction condition in the rolling process, especially in the thermomechanical rolling (TMR), variation in the interface condition of the slab and the rolls, different roll diameter, rolls speed mismatch, different temperature in upper and lower surface of the slab in rolling region, horizontal and vertical deviation of the roll axis from pass-line and the slab caused to varying distribution strain and strain rate and different distribution stress imposing in the deformed region, consequently. This unequal distribution of deformation parameters leads to asymmetrical deformation during the TMR process. In the asymmetrical rolling, in addition of inlet and outlet zones in the roll gap, there is a third zone named cross shear region (CSR) inclosing between neutral points. In this region, the upper and the lower friction shear stress are imposed in opposite directions. For performing an accurate calculation of rolling force, analysis of asymmetrical rolling is very efficient, as some researchers have revealed that the amount of predicted rolling force in the asymmetrical analysis is less than the symmetrical analysis [2,3]. In rolling industry, effective rolling parameters are changed into a route to create asymmetrical rolling conditions, naturally. Though sometimes the asymmetrical conditions are imposed to the rolling stand by operators. For example, in order to control of sheet curvature index in roll gap exit, by setting the speed mismatch of rolls a feature named ski is created to keep of hitting between the head of sheet and run out table.

In the literature, the rigidity behavior, plane strain plastic deformation and Von Mises yield criteria have mostly assumed. The distinguishing of these models is in a type of assumed friction condition, analysis method of equilibrium equations of deformed region and applied yield criteria.

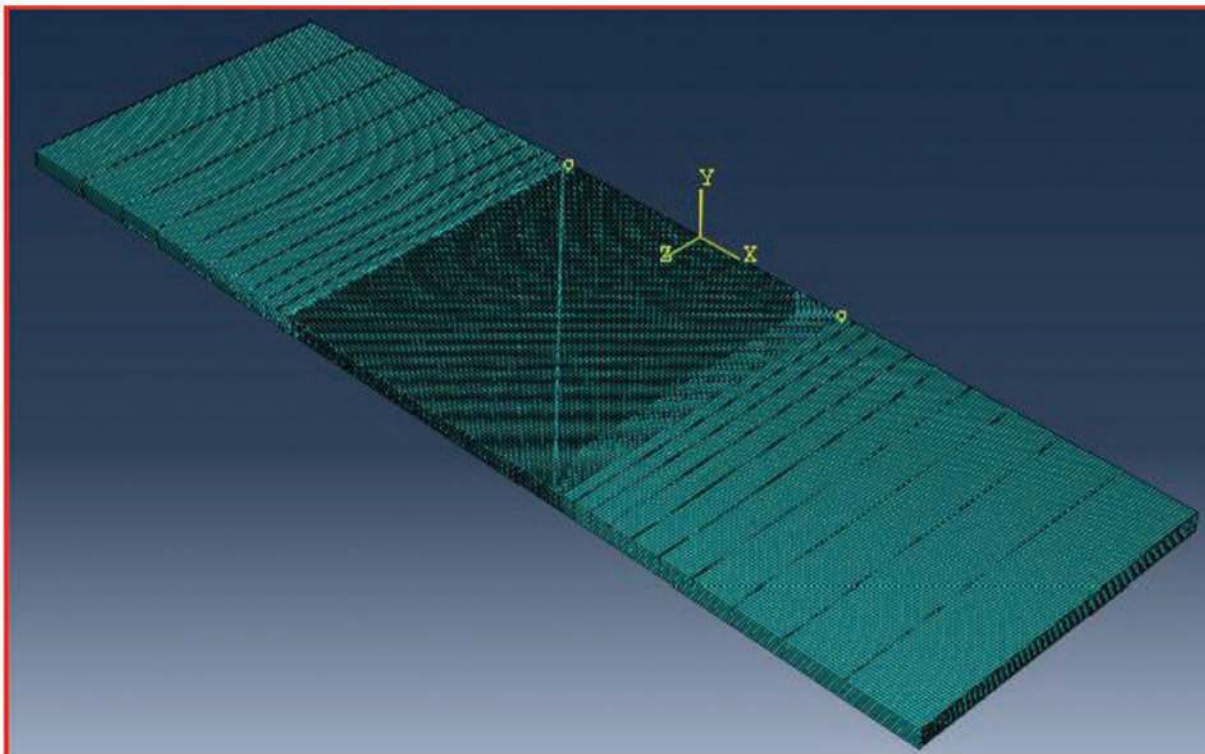
Hwang et al. [4-6] have presented the first advanced studies in the analysis of asymmetrical rolling based on the slab method. Due to various procedures, they have studied alternatively the rolling force by applying

Von Mises and Tresca criteria, shearing compression slip line theory, imposing shear stress and internal moment and constant and variant sticking friction condition.

Tzou [7] establishing a relation between friction coefficient and friction factor has evaluated the influences of roll speed rate, thickness reduction percentage and tension (forward and backward) in asymmetrical rolling. Salimi and Sasani [8] have carried out an analysis like Hwang's one with different friction condition. They have neglected of bit angle effect. Kadkhodaei et al. [2] have attempted to investigate the effect of vertical deviation of the lower roll from the slab in the input section of the roll gap by an analytical model in a sticking friction condition. For considering the asymmetrical rolling based on Salimi's model in slipping- sticking friction conditions, Mousavi et al. [9] have executed the effects of speed mismatch of the rolls on the distribution of the normal and shear stresses and compared with FEM results. Based on Salimi's model, Gudur et al. [10] have made a new attempt including the work hardening in flow stress function of the rolled material and friction model of Wenheim and Bay. Their model presented a good agreement result comprising experimental works. Tian et al. [11] assuming the constancy of friction along the length of contact surfaces and neglecting the shear stress in vertical surfaces of internal sides of the CSR, have demonstrated that with increasing the speed rate of the rolls the length of the CSR would be extended.

Assuming a second-order function of shear stress and a linear function imposed normal stress on the vertical side of the slab, Qwamizadeh et al. [3] have attempted to detect the neutral point position and curvature index of the sheet. Same as Tian's model and by imposing the shear stresses on the vertical sides of triplet regions of the deformed cross section, Zhang et al. [12] have analyzed the asymmetrical rolling in sticking friction conditions. In comparison, Zhang worked with salimi's model, Hwang's model and experimental results, salimi's model has presented more accurate results than other models. Assuming the slipping friction conditions in enter and exit of the roll gap and sticking friction conditions in the CSR of the roll gap, Chen et al. [13] have studied the stress distribution along the length of contact interface and the effects of friction conditions, flow stress and roll distortion. Imposing the non- uniform normal and shear stress in the asymmetrical rolling of two- layer sheet, Qwamizadeh et al. [14] and Afrouz and Parvizi [15] have evaluated the rolling force, outgoing curvature and neural point position in the roll gap.

Concentrating on the CSR, Tang et al. [16] have presented a



## Analytical approach of asymmetrical thermomechanical rolling by slab method

N. A. Razani<sup>1</sup>, B. Mollaei Dariani<sup>1\*</sup>, M. Soltanpour<sup>2</sup>

1- Mechanical Engineering Department, Amirkabir University of Technology, 424 Hafez Ave, 15875-4413, Tehran, Iran.

2- Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Persian Gulf Ave, 3414916818, District 3, Qazvin, Iran.

\* Corresponding author: Bijan Mollaei Dariani; Tel: +98-21-66405844; Fax: +98-21-66419736; E-mail: [dariani@aut.ac.ir](mailto:dariani@aut.ac.ir)

### Abstract

In this paper, based on the slab method and focusing on the rate dependent flow condition, asymmetrical thermomechanical rolling (ATMR) is investigated to establish a new model for calculation of the rolling force. Unlike the former models that the rate dependent condition of the yield shear stress has not been considered, in this study a visco-plastic flow stress formulation of material is used for applying the rate and temperature sensitivity parameters and kinetic of work hardening and softening of the material. comparison of the present analytical model with experimental data and others models reveals the precision of calculation. An asymmetrical rolling index (ARI) is introduced to evaluate the effects of rolling parameters on asymmetrical conditions of the rolling process. Using the response surface methodology (RSM) the interaction effects and contribution of rolling parameters are studied. Investigations indicate that the speed rate roles as an intensifier of parameters effect on the ARI. Furthermore, the occurrence of high value of speed rate with a low percent of thickness reduction leads to the restrict arise of the ARI levels. The verification of the statistical models indicates an acceptable competency of results.

**Keywords:** Asymmetrical thermomechanical rolling (ATMR), Slab method, Asymmetrical rolling index (ARI), Response surface methodology (RSM).



## دستورالعمل تهیه مقاله برای فصلنامه تخصصی نورد فولاد

است. لطفاً مقالات خود را بصورت کامل و طبق دستورالعمل زیر تهیه و فایل Word آن را به ایمیل نشریه ارسال فرمایید.

- ۱- عنوان مقاله: مختصر و بیانگر محتوای مقاله باشد.
- ۲- ذکر نام نویسندگان (مترجمین) به ترتیبی که مایلند در نشریه چاپ گردد به انضمام وابستگی نویسندگان (محل کار/محل تحصیل) و آدرس پست الکترونیک.
- ۳- چکیده و کلمات کلیدی
- ۴- مقدمه، مواد و روش آزمایشها، نتایج و بحث، نتیجه گیری و مراجع

۵- جداول و نمودارها با سطر بندی و ستون بندی مناسب ترسیم شده و در مورد جداول شماره و شرح آن در بالا و در مورد اشکال در زیر آن درج گردد. واحدهای سیستم بین المللی (SI) برای واحدها در نظر گرفته شود.

۶- تصاویر و عکسها: تصاویر و عکسها باید از وضوح خوبی برخوردار باشند.

۷- واژه ها و پی نوشتها: بالای واژه های متن مقاله شماره گذاری شده و اصل لاتین واژه با همان شماره در پایین صفحه و بصورت پاورقی درج شود.

۸- منابع و مراجع: در متن مقاله شماره مراجع در داخل کروشه [] آورده شود و با همان ترتیب شماره گذاری شده مرتب گردیده و در انتهای مقاله آورده شوند. مراجع فارسی از سمت راست و مراجع لاتین از سمت چپ نوشته شوند. در فهرست مراجع درج نام مولفان یا مترجمان، عنوان مقاله، نام نشریه، شماره جلد، صفحه و سال انتشار ضروری است.

### سایر نکات مهم

- ۱- مسیولیت درستی و صحت مطالب، ارقام، نمودارها و عکسها بر عهده نویسندگان/مترجمان مقاله است.
- ۲- مقالات پس از داوری توسط هیات تحریریه منتشر خواهند شد.
- ۳- مقالات ارسالی به دفتر فصلنامه پس از طی مراحل داوری مسترد نمی شود.
- ۴- تعداد صفحات مقالات نباید از ۱۰ صفحه تجاوز نماید.
- ۵- فونت قلم متن فارسی مقالات باید W\_Nazanin bold و اندازه آن ۱۰/۵ باشد. فونت قلم متن انگلیسی باید Times New Roman و اندازه آن ۹/۵ باشد.

فصلنامه تخصصی نورد فولاد با هدف انتشار یافته های نوین علمی - پژوهشی در جهت ارتقاء سطح دانش در حوزه صنعت نورد فولاد و صنایع وابسته، منتشر می گردد.

لذا از کلیه محققان و پژوهشگران فعال در عرصه مطالعات و پژوهش های مرتبط با فرآیند نورد فولاد دعوت می شود، مقالات خود را حول محورهای ذیل در قالب نسخه الکترونیکی و از طریق پست الکترونیکی [rollingjournal@oxinsteel.ir](mailto:rollingjournal@oxinsteel.ir) ارسال نمایند. رعایت موازین ادبی و سلاست متن پیش نیاز بررسی علمی مقاله است.

### محورهای پذیرش مقالات

- ۱- متالورژی نورد گرم و سرد فولادها (اعم از نورد محصولات تخت و نورد مقاطع)
- ۲- عملیات ترمومکانیکی فولادها
- ۳- شبیه سازی و مدل سازی فرآیند نورد
- ۴- کوره های پیش گرم نورد (اکسیداسیون محصولات پوسته زدایی)
- ۵- تکنولوژی ساخت، فرآیندهای ترمیم و عیوب غلتک های نورد
- ۶- عملیات حرارتی محصولات نورد
- ۷- تکنولوژی های نوین در صنعت نورد
- ۸- تعمیر، نگهداری و بومی سازی تجهیزات نورد
- ۹- کنترل، اندازه گیری و اتوماسیون فرآیند نورد
- ۱۰- تولید مواد اولیه نورد (بلوم، بیلت و تختال)
- ۱۱- مدیریت دانش در صنعت نورد
- ۱۲- HSE در صنعت نورد
- ۱۳- بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت نورد
- ۱۴- برنامه ریزی، سیاستگذاری و مدیریت در حوزه صنعت نورد

۱۵- اهمیت و نقش آب و تاسیسات جانبی در صنعت نورد

۱۶- فرآیند لوله سازی لوله های نفت و گاز

### راهنمای تهیه مقاله

مقالات می توانند در یکی از بخش های زیر تهیه شوند:

- ۱- تحقیقی - پژوهشی
  - ۲- مروری
  - ۳- ترجمه
  - ۴- فنی (مطالعات موردی)
- در مورد مقالات ترجمه شده ارسال اصل مقاله ضروری

Kh **O**uzestan

شرکت فولاد اکسین خوزستان

**O**xin Steel Co.

ایران  
ماهی توانیم  
بازگامای  
حمایت

شرکت فولاد اکسین خوزستان  
نماد اقتصاد مقاومتی و تولید ملی

اهواز - کیلومتر ۱ جاده بندر امام خمینی (ره) شرکت فولاد اکسین خوزستان

[www.oxinsteel.ir](http://www.oxinsteel.ir)