

معاونت تکنولوژی نحقیق و نوسعه

گزارش فاز اول :

توسعه نرم افزار پیش بینی ضخامت و ساختار پوسته تشکیلی بر سطح نوار فولادی حین و پس از عملیات نورد داغ به منظور بهبودعملکرد فرآیند اسید شوئی از طریق پیش بینی سرعت فرآیند و میزان ازدیاد طول ورق در عملیات Stretch Leveler











زمستان ۱۳۸۹ ۸۹۰۰۳۰۲۰۳





معاونت امور تکنولوژی تحقیق و توسعه

عنوان پروژه تحقيقاتي

توسعه نرمافزار پیش بینی ضخامت و ساختار پوسته تشکیلی بر سطح نوار فولادی حین و پس از عملیات نورد داغ به منظور بهبود عملکرد فرایند اسیدشویی از طریق پیش بینی سرعت فرایند و میزان ازدیاد طول ورق در عملیات Stretch Leveler

مجری پروژه:

شرکت دیسا افزار پارس

اسامی همکاران شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان -محمود حسینآبادی

-داریوش درویشی

–حسن حیدری

واحدهای همکار در شرکت فولاد مبارکه --واحد نورد سرد ۱ --واحد نورد گرم --واحد تحقیق و توسعه به نام آنکه جان را فکرت آموخت

چکیدہ

در نورد داغ تختال، پوسته اکسیدی از مراحل آغازین فرایند تولید تشکیل میشود. از آنجا که زدودن کامل پوسته از سطح تختال در خطوط نورد داغ امکانپذیر نمی باشد، به منظور زدودن پوسته اکسیدی از سطح ورق تولیدی، عملیات اسیدشویی انجام می پذیرد. در هر صورت، پوسته اکسیدی باعث ایجاد عیوبی بر سطح ورق می گردد و موجب لطمه دیدن محصول نهایی می گردد. به منظور بهینه سازی فرایند اسیدشویی ورق های فولادی نورد داغ شده، ابتدا لازم است، ضخامت و ساختار پوسته اکسیدی تشکیلی بر سطح ورق به طور کامل شناخته و تعیین گردد. تعیین شرایط پوسته اکسیدی بر سطح ورق، مستلزم آگاهی از تاریخچه حرارتی ورق حین و پس از عملیات نورد داغ می باشد. با مشخص شدن ساختار و ضخامت پوسته اکسیدی بر سطح ورق ورق می طور کامل شناخته و تعیین گردد. تعیین شرایط پوسته اکسیدی بر سطح ورق، پوسته اکسیدی بر سطح ورق ورودی به فرایند اسیدشویی، اصلاح پارامترهای موثر بر فرایند اسیدشویی با توجه یه شرایط پوسته اکسیدی سطح ورق، به بهینه سازی فرایند منجر می شود. به منظور تعیین شرایط بهینه اسیدشویی، آگاهی از رابطه پوسته اکسیدی سطح ورق، به بهینه سازی فرایند مید می شود. به منظور تعیین شرایط بهینه اسیدشویی، آگاهی از رابطه پوسته اکسیدی سطح ورق، به بهینه سازی فرایند مید می شود. به منظور تعیین شرایط بهینه اسیدشویی، آگاهی از رابطه پوسته اکسیدی سطح ورق، به بهینه سازی فرایند مید می شود. به منظور تعیین شرایط بهینه اسیدشویی، تا گاهی از رابطه پوسته اکسیدی سطح ورق، به بهینه موسته و پرامترهای اسیدشویی ضروری است. در مرحله نخست پژوهش حاض به عنوان مرحله مطالعاتی، به مطالعه و بررسی مکانیزم و معادلات آهنگ حاکم بر اکسیداسیون فولاد، تغییر حالت فازی پوسته اکسیدی انتقال حرارت در فرایند نورد داغ، مدلسازی رفتار پوسته اکسیدی حین عملیات نورد داغ، مدلسازی رفتار پوسته اکسیدی می عملیات Stretch Leveler هرد ای در ای رو بارم ای می و پارامترهای موثر بر آن پرداخته شده است.

فهرست مطالب

۱	مقدمه	
۴	مکانیزم و معادلات آهنگ حاکم بر اکسیداسیون فولاد	۱
۴	۱.۱ کېسداسون آهن خالص در هوا یا اکسېژن	
۵	۱.۱.۱ دامنه دمایی ۲۵۰°۲۲–۷۰۰	
٨	۲.۱.۱ دامنه دمایی ۲۰۰°–۷۰۰	
٩	۳.۱.۱ دماهای کمتر از ۵۷۰°C	
۱۰	۲.۱ مکانیزم اکسیداسیون فولاد کربنی در هوا یا اکسیژن	
۱۱	۱.۲.۱ سينتيک اکسيداسيون فولاد	
۱۳	۲.۲.۱ مکانیزم اکسیداسیون فولاد	
۱۵	۳.۱ مکانیزم اکسیداسیون همدمای فولاد کم کربن در گازهای چند جزیبی	
۱۵	۱.۳.۱ مکانیزم اکسیداسیون فولاد و معادلات آهنگ در شرایط همدما	
۱۷	۴.۱ مکانیزم اکسیداسیون فولاد کمکربن در کوره پیش گرم (شرایط غیرهمدما)	
۱۷	۱.۴.۱ پیشبینی آهنگ اکسیداسیون حین عملیات پیش گرم	
۲.	تغيب حالت فازي بوسته اكسيدي	۲
۲.	سیر به رو پر ۲ ۱ ساختار بوسته اکسیدی تشکیل در دماهای بالای ۲۰۰۵	
۲ ۲	γ is the second seco	
27	٣.٢ دفتار كرين حين اكسيداسون فولاد	
۲۳	۴.۲ اثر در دسترس بودن اکسژن در اکسداسون آهن و فولاد ۲۰۰۰ ۲۰۰۰ ۲۰۰۰ ۲۰۰۰ ۲۰۰۰ ۴.۲	
۲۵	۵.۲ رشد و پیشرفت ساختار پوسته اکسیدی حین خنگ کاری پیوسته فولاد	
۲۵	۱.۵.۲ رشد يوسته اکسيدي حين خنگ کاري پيوسته	
29	۲.۵.۲ رسوب مگنتت برویو تکتوئید در وستیت	
۲۷	۳.۵.۲ ترتيب تجزيه وستيت در دماهاي کمتر از C°۵۷۰۵	
29	۴.۵.۲ تشكيل شكَّافٌ مكَّنتيتُ در فصل مشتركٌ فولاد/يوسته	
۳١	۵.۵.۲ ساختارهای پوسته پیشرفت کرده بر ورقهای نورد داغ شده	
٣٢	۶.۵.۲ خلاصه ساختارهای پوسته در ورق نورد داغ شده	
٣۴	انتقال جرارت در فرایند نورد داغ	٣
79	۲۰ فرب انتقال حرارت در مناطق مختلف فرايند نورد داغ ۲۰۰۰ ۲۰۰۰ ۲۰۰۰ ۲۰۰۰ ۲۰۰۰ ۲۰۰۰ ۲۰۰۰ ۲۰	
۳۶	١.١.٣ حابجاني با هوا	
۳۶	۲.۱.۳ حابجانہ یا آب	
۳۶		
۳۷	۴.۱.۳ ضبب انتشار	
۳۷	۲.۳ روش های عددی	
4		

۳۹	۱.۳.۳ روش تیاگونف
ft ff	۲ مدلسازی رفتار پوسته اکسیدی حین عملیات نورد داغ ۱.۴ اندازه گیری رفتار پوسته اکسیدی تحت شرایط نورد داغ ۱.۱.۴ روشهای نورد آزمایشگاهی
F 9	۲.۱.۴ آزمونهای کشش
۵۲ ۵۳ ۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۲۰۴ مدلساری المان محدود رفتار پوسته اکسیدی
۵۴	۲.۱۰۵ ممابع نیس در پوستهای انسیدی ۲.۱۰۵ مابع نیس در پوسته اک ۲.۵ معیوب شدن پوسته ۲.۰۰۰ معیوب شدن پوسته ۲۰۰۰ ۲۰۰۰ ۱.۲.۵ معیوب شدن پوسته تحت تنش کششی ۲۰۰۰ مابع
ΔY ΔV ΔΛ ΔΛ ΔΑ 	 ۶ فرایند اسیدشویی و پارامترهای موثر بر آن ۱.۶ معرفی فرایند اسیدشویی
94"	۳.۶ تعیین غلظت اسید و آهن در حمام اسیدشویی ۴.۶ پارامترهای موثر بر فرایند اسیدشویی با HCl ۱.۴.۶ رابطه بین پارامترهای اسیدشویی
Y٨	نت <i>يجه گي</i> رى
¥9	كتابنامه

مقدمه

حین فرایند نورد داغ ورق فولادی، یک لایه اکسیدی (پوسته) بر سطح فولاد تشکیل میشود. هدف فرایند نورد داغ، کاهش ضخامت تختال فولادی از ۲۰۰ mm ۲۰۰ به ورق به ضخامت ۱۶ mm ۲۰– ۱/ میباشد. معمولا، دمای ورق فولادی در پایان فرایند نورد داغ (دمای نورد نهایی') بین ۲۰°۹۱–۸۲۰ متغیر است. پوسته اکسیدی تشکیلی در این دامنه دمایی شامل سه لایه میباشد: یک لایه ضخیم وستیت' (با ترکیب شیمیایی تقریبی FeO) در همسایگی فولاد، یک لایه میانی مگنتیت" (۴۹۰۵- (FerO) و یک لایه نازک سطحی هماتیت^۴ (۳۰).

در ادامه نورد نهایی، ورق در میز خنککاری^۵ توسط پاشش آب به سرعت خنک می شود، در دمایی بین C°۷۶۰–۵۰۰ کلاف پیچی می شود⁹. در نهایت، کلاف تولیدی با انتقال حرارت جابجایی طبیعی، تا دمای اتاق خنک می شود. در حالی که کلاف خنک می شود، در صورتی که اکسیژن کافی فراهم شود، پوسته اکسیدی به رشد خود ادامه می دهد. ساختار سه لایهای پوسته تا دمای حدود C°۵۷۰ حفظ می شود. هنگامی که دمای کلاف به کمتر از C°۵۷۰ کاهش یافت، وستیت ناپایدار شده و در اثر واکنش یوتکتوئید به مخلوطی از مگنتیت و آهن تجزیه می شود.

بسته به دما و آهنگ خنککاری، ممکن است پوسته اکسیدی با ساختارهای متفاوتی تشکیل گردد. در آهنگهای خنککاری کم، وستیت زمان کافی برای تجزیه کامل را دارد (شرایط تعادلی) و در نتیجه، ساختار نهایی پوسته شامل ذرات ریز آهن به صورت پراکنده در فاز مگنتیت خواهد بود. در آهنگهای خنککاری بالاتر، تغییر حالت فازی یوتکتوئیدی به صورت کامل انجام نمیشود. آهنگهای خنککاری متوسط منجر به تولید مخلوطی از وستیت تجزیه نشده و ماتریس مگنتیت و آهن میشود. به طور کلی، آهنگ خنککاری بسته به موقعیت هر بخش کلاف متفاوت میباشد.

به طور خلاصه، ساختار پوسته با پارامترهای مختلف فرایند مانند: دماهای نورد نهایی و کلافپیچی، آهنگ خنک کاری و شرایط انبار کردن کلافها، تحت تاثیر قرار میگیرد. بنابراین، ساختار پوسته در کل طول کلاف یکنواخت نخواهد بود و انحرافات هم در راستای پهنا و هم در راستای طول ورق مشاهده میشود.

- Magnetite^{*}
- Hematite[¢]

run-out table[∆]

⁹دمای مورد اشاره، دمای کلافپیچی (Coiling Temperature) نامیده میشود

Finishing Temperature

Wustite

پوسته پیش از فرایند نورد سرد از سطح ورق زدوده میشود، زیرا، ممکن است پوسته باقیمانده بر سطح، مشکلات عملیاتی و عیوب کیفیتی پدید آورد. زدایش موثر پوسته در موفقیت نه تنها فرایند نورد سرد، بلکه در موفقیت فرایندهایی مانند آنیل و پوشش بسیار مهم است. به این منظور، ورق فولادی در فرایندی به نام اسیدشویی^۷ مورد عملیات قرار میگیرد. فرایند اسیدشویی پیوسته شامل غوطهوری ورق فولادی در یک مجموعه مخازن^۸ حاوی محلول آبی و گرم HCl و یا HrSO_۴ میباشد. HCl پرکاربردترین اسید در زمینه اسیدشویی پیوسته ورقهای فولادی میباشد. لازم به ذکر است که HCl در مقایسه با ۲۵_۴, آهنگ اسیدشویی را تسریع کرده و زمان کل فرایند را کاهش میدهد.

آهنگ اسیدشویی به دو گونه پارامتر بستگی دارد: محصول و ویژگیهای حمام اسیدشویی. پارامتر محصول مرتبط با ویژگیهای فولاد و ساختار و ضخامت پوسته اکسیدی^۹ میباشد. ویژگیهای حمام اسیدشویی، ترکیب شیمیایی و دمای حمام را در بر میگیرد.

آگاهی از رابطه بین آهنگ اسیدشویی، ساختار پوسته و متغیرهای فرایند از اهمیت صنعتی برخوردار است، زیرا امکان بهینهسازی فرایند و بهبود فراورش^{۱۰} را فراهم میکند. مرحله نخست پژوهش حاضر، تلاش برای درک عمیقتر ساختار و ضخامت پوسته تشکیلی بر سطح ورق فولادی حین فرایند نورد داغ و ارتباط آن با متغیرهای فرایند اسیدشویی را در بر میگیرد. به این منظور، در فصول مجزا به بررسی و مطالعه دقیق بخشهای مختلف پژوهش حاضر پرداخته میشود:

- فصل اول: مکانیزم و معادلات آهنگ حاکم بر اکسیداسیون فولاد کوششی برای شناسایی مکانیزم اکسیداسیون فولاد و استخراج معادلات آهنگ اکسیداسیون با توجه به شرایط اتمسفری و حرارتی حاکم بر فرایند نورد داغ تختال میباشد. با آگاهی یافتن از مکانیزم اکسیداسیون فولاد و معادلات حاکم بر آن، امکان پیشبینی ضخامت پوسته اکسیدی تشکیلی بر سطح فولاد حین فرایند نورد داغ فراهم میشود.
- فصل دوم: تغییر حالت فازی پوسته اکسیدی مطالعه مدل های تغییر حالت فازی پوسته اکسیدی و استخراج معادلات مربوط را در بر می گیرد. به این ترتیب، با شناخت دقیق تغییر حالت فازی پوسته اکسیدی، میتوان ساختار و فازهای تشکیل دهنده پوسته اکسیدی را تعیین نمود.
- فصل سوم: انتقال حرارت در فرایند نورد داغ به شناسایی معادلات حاکم بر انتقال حرارت حین و پس از فرایند نورد داغ تختال (شامل نورد داغ، خنک کاری و کلاف پیچی) در حضور پوسته اکسیدی بر سطح ورق می پردازد. به منظور اینکه بتوان شرایط اکسیداسیون و تغییر حالت فازی پوسته را حین و پس از عملیات نورد داغ تعیین نمود، تعیین دمای فولاد در هر مرحله از فرایند نورد داغ ضروری است.
- فصل چهارم: مدلسازی رفتار پوسته اکسیدی حین عملیات نورد داغ کوشش می کند تا به مطالعه رفتار مکانیکی پوسته اکسیدی حین فرایند نورد داغ بپردازد. عیوبی که ممکن است حین فرایند داغ در پوسته تشکیل شود، بر

Pickling^v ۲anks^۸ ۲۵ بسته به شرایط نورد داغ تغییر میکنند ۱۰ Productivity

شرایط بعدی نورد داغ و فرایند اسیدشویی اثرگذار است.

- **فصل پنجم: مدلسازی رفتار پوسته اکسیدی حین عملیات Stretch Leveler** با توجه به اهمیت طبیعت فیزیکی پوسته اکسیدی در فرایند اسیدشویی، به *مطالعه رفتار مکانیکی پوسته اکسیدی حین عملیات Stretch Leveler* میپردازد.
- **فصل ششم: فرایند اسیدشویی و پارامترهای موثر بر آن** ضمن گردآوری و مطالعه مقالات و اطلاعات علمی و فنی مرتبط با فرایند اسیدشویی، به *مطالعه سینتیک و پارامترهای موثر بر فرایند اسیدشویی مانند غلظت، دما و سرعت* توجه میکند.

این مرحله از پژوهش حاضر، به عنوان نخستین گام برای توسعه نرمافزار پیش بینی ضخامت و ساختار پوسته تشکیلی بر سطح نوار فولادی حین و پس از عملیات نورد داغ به منظور بهبود عملکرد فرایند اسیدشویی از طریق پیش بینی سرعت فرایند و میزان ازدیاد طول ورق در عملیات Stretch Leveler می باشد. اطلاعاتی که در گزارش حاضر ارایه می گردد، به عنوان مبنای اصلی مدلهای مورد استفاده در مراحل بعدی می باشد. بنابراین، درک عمیق روابط موجود در مدلهای مختلف و ارتباط بین مدلها، به طراحی مناسبتر نرمافزار نهایی کمک قابل توجهی خواهد کرد.

كتابنامه

- Chen R.Y. and Yuen W.Y.D., Review of the high-temperature oxidation of iron and carbon steels in air or oxygen, Oxidation of Metals, Vol 59, No 5/6, 433-468 (2003).
- [2] Abuluwefa H.T., Guthrie I.L. and Ajersch F., Oxidation of low carbon steel in multicomponent gases: Part I: Reaction mechanisms during isothermal oxidation, Metallurgical and Materials Transactions, Vol 28A, 1633-1641 (1997).
- [3] Abuluwefa H.T., Guthrie I.L. and Ajersch F., Oxidation of low carbon steel in multicomponent gases: Part II: Reaction mechanisms during reheating, Metallurgical and Materials Transactions, Vol 28A, 1643-1651 (1997).
- [4] Chen R.Y. and Yuen W.Y.D., A Study of the Scale Structure of Hot-Rolled Steel Strip by Simulated Coiling and Cooling, Oxidation of Metals, Vol 53, No 5/6, 539-560 (2000).
- [5] Chen R.Y. and Yuen W.Y.D., Oxide-Scale Structures Formed on Commercial Hot-Rolled Steel Strip and Their Formation Mechanisms, Oxidation of Metals, Vol 56, No 1/2, 89-118 (2001).
- [6] Li X., Wang M. and Dua F., A coupling thermal mechanical and microstructural FE model for hot strip continuous rolling process and verification, Materials Science and Engineering A, Vol 408 33–41 (2005).
- [7] Prabhakar M., Behera P.B.B. and Lahiri A.K., Thermo-mechanical modeling of two phase rolling and microstructure evolution in the hot strip mill Part I. Prediction of rolling loads and finish rolling temperature, Journal of Materials Processing Technology Vol 170 323–335 (2005).

- [8] Laasraoui A., and Jonas J.J., Prediction of temperature distribution, flow stress and microstructure during the multipass hot rolling of steel plate and strip, ISIJ International, Vol 31, No 1, 95-105 (1991).
- [9] Wusatowski Z., Fundamental of rolling, Pergamon press, (1969).
- [10] Richardson G.J., Hawkins D.N. and Sellars C.M., *Worked examples in metalworking*, The Institute of Metals, (1985).
- [11] Krzyzanowski M. and Beynon J.H., *Modelling the Behaviour of Oxide Scale in Hot Rolling*, ISIJ International, Vol 46, No 11, 1533–1547 (2006).
- [12] Li Y.H. and Sellars C.M. 37th MWSP Conf. Proc., ISS (1996).
- [13] Liu X, Su L., Li Zh., Fu Zh., Zhang Q. and He Ch., Elongation distribution between tension leveler and temper mill for pickling line 2030 in Baosteel, Front. Mech. Eng., Vol 2, No 3, 297-300 (2007).
- [14] Li Sh., Yin Y., Xu J., Hou J., and Jaehong Y., Numerical Simulation of Continuous Tension Leveling Process of Thin Strip Steel and Its Application, JOURNAL OF IRON AND STEEL RE-SEARCH, INTERNATIONAL., Vol 14 No 6, 8-13 (2007).
- [15] Nagl M.M. and Evans W.T., The mechanical failure of oxide scales under tensile or compressive load, JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE, Vol 28, 6247-6260 (1993).
- [16] Hudson, R.M., *Pickling of iron and steel* in Metals Handbook, 9th edition, ASM, Vol 5, 68-82 (1994).
- [17] Gines M.J.L., Benitez G.J., Perez T., Merli E., Firpo M.A. and EgliI W., Study of the picklability of 1.8 Mm hot-rolled steel strip in hydrochloric acid, Latin American Applied Research, Vol 32, No 4 (2002).