علوم ومهندسی سطح ۱۴(۱۳۹۱) ۴۵- ۵۴

شبیه سازی اجزاء محدود پوشش WC-Co پاشش حرارتی بر غلتک پینچ‌رول نورد گرم

مهدی رضائی، محمود فرزین و فرشید احمدی

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان

مهدی صالحی

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله : ۸۹/۱۲/۲۳ - پذیرش مقاله : ۹۰/۰۵/۲۲)

چکیده

در تحقیق حاضر ضخامت بهینه پوشش WC-Co پاشش شده به روش HVOF بر روی سطح غلتک پینچ‌رول نورد گرم به روش اجزای محدود بررسی شده است. وظیفه پینچ‌رول ورق‌گیری و هدایت ورق به طرف کویلرها است. محیط کاری این قطعات اسیدی است و در دما و رطوبت محیط کار می‌کنند. در اثر برخورد و حرکت ورق بر روی سطح این غلتک‌ها، سایش حاصل می‌شود. ابتدا شرایط بحرانی عملکرد پینچ‌رول تعیین گردید. نتایج نشان داد وضعیت کاری پینچ‌رول در لحظه ضربه و برخورد اولیه ورق به آن سخت‌تر از غلتش بعدی ورق بر روی سطح این غلتک است. همچنین ورق‌های سخت و نازک برای پینچ‌رول وضعیت بحرانی‌تری را ایجاد می‌کنند. پس از اعمال پوشش بر پینچ‌رول، تحلیل‌ها نشان داد تحت ضربه، پوشش دچار تغییرشکل و شکست می‌شود. در این حالت بهترین ضخامت برای پوشش حدود ۶۰۰ میکرون حاصل شد که توزیع تنش برشی کمتری هم در سطح پوشش و هم در مرز پوشش با زیرلایه بوجود می‌آید.

واژه های کلیدی: *غلتک پینچ‌رول، مدل اجزاء محدود، پوشش WC-Co، پاشش حرارتی HVOF، ضخامت پوشش.*

Finite element simulation of WC-Co coating sprayed on the surface of hot rolling pinch-roll

M. Rezaei, M. Farzin and F. Ahmadi

Mechanical Engineering Department, Isfahan University of Technology

M. Salehi

Material Engineering Department, Isfahan University of Technology

(Received 13 March 2011, accepted 13 Agusut 2011)

Abstract

In this study optimal thickness of WC-Co spray coating by HVOF (High Velocity Oxy Fuel) method on the surface of hot rolling pinch-roll roller by utilizing finite element method were investigated. The task of pinch-roll was to get and guide sheets toward the coilers. The working environment of these components was acidic and they worked in temperature and humid ambient. The surface of these rollers was worn due to impact and movement of sheet on it. At first, the critical condition of pinch-roll was determined. Results showed that working condition of the pinch-roll at the initial impact was worse than other working times. Also hard and thin sheets made the more critical condition. After the surface of pinch-roll was coated analysis showed that deformation and failure were created in coating. In this condition the best thickness of coating was about 600 microns that caused minimum shear stress distribution both in the surface coating and in the interface of coating/substrate.

Keywords*: Pinch roll, Finite element Method, WC-Co Coating, HVOF Thermal Spray, Coating Thickness.*

E-mail of corresponding author*: m.rezaei.me@gmail.com*

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

یکی از مهمترین قطعات بکار رفته در صنایع نورد، غلتک‌ها هستند که در بخش‌های مختلف دارای ابعاد، جنس و شرایط کاربرد متفاوت هستند. غلتک‌های کاری، پشتیبان، بریدل، مندریل، شارژ و دشارژ کننده کوره، رَپِررول و پینچ‌رول از آن جمله‌اند. بهینه‌سازی غلتک‌ها در صنعت و به‌خصوص غلتک‌های موجود در صنایع نورد که در تنش‌های بالایی کار می‌کنند همواره در دست انجام بوده است [۱]. پینچ‌رول‌ها دسته خاصی از غلتک‌ها هستند که بدون وارد آوردن تغییر یا صدمه در کیفیت هندسی یا سطحی محصول، در جابجایی یا هدایت ورق مورد استفاده قرار می‌گیرند. این غلتک‌ها را در صنایع مختلفی همچون صنعت فولاد، آلومینیوم، نساجی، کاغذسازی و نورد می‌توان یافت. پینچ‌رول مدنظر در این تحقیق در انتهای خط نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه در قسمت کویل‌پیچی قرار دارد و وظیفه آن ورق‌گیری و هدایت ورق به طرف کویلرها و یا همان کویل‌پیچ‌ها است. غلتک‌های پینچ رول از جنس DIN 20NiCrMo2-2 (SAE 8620) می‌باشند. جدول ۱ برخی خواص مکانیکی آن براساس استاندارد UNI و آزمایش‌های متالورژیکی صورت گرفته توسط واحد فنی نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه را نشان می‌دهد.

غلتک‌های پینچ رول پس از تولید با استفاده از روش کلادینگ[1] تحت پوشش AISI 420 به ضخامت ۱۰ میلیمتر قرار می‌گیرند. میزان حرکت غلتک‌های پینچ‌رول و سرعت دورانی آنها متناسب با نوع و هندسه ورق نورد شده و سرعت خط تولید است. غلتک‌های پینچ‌رول در یک محیط کاری اسیدی و در دما و رطوبت محیط کار می‌کنند. در اثر برخورد و حرکت ورق‌ها بر روی سطح این غلتک‌ها، سایش در این قطعات بوجود می‌آید (مکانیزم اصلی سایش، سایش خراشان می‌باشد). ورق مورد نورد معمولاً سختی بسیار کمتری نسبت به پینچ‌رول دارد و نمی‌تواند موجب خرابی سطح غلتک پینچ‌رول شود. اما ذرات زاید خارجی (نظیر زایدات ناشی از نورد و ذرات سختی که همراه با خنک‌کار به سطح پینچ‌رول پاشیده می‌شوند) می‌توانند سبب سایش سطح پینچ‌رول شوند. سطح پینچ رول بایستی نسبت به ترکیب و چسبیدن مواد خارجی هم مقاوم باشد (که در اثر بالا رفتن موضعی فشار و دما و گداخته شدن ورق رخ می‌دهد). این مساله باعث نفوذ مواد نامناسب در سطح و تضعیف و آسیب آن می‌گردد (در اصطلاح مقاومت به کنده شدن[2] نامیده می‌شود). غلتک‌های پینچ‌رول به عنوان یکی از قطعات بحرانی در واحد نورد گرم می‌باشند که در کمتر از دو ماه تحت بازسازی قرار می‌گیرند. روش بازسازی آنها جوشکاری و اصلاح پوشش سایش یافته است[۲].

تاکنون بر روی پینچ‌رول تحقیقات چندانی صورت نگرفته و به نوعی می‌توان آنرا فراموش شده دانست. طبق نظر ژوزف [۳] با استفاده از برنامه‌ریزی صحیح تولید، توجه به درخواست و نیاز مشتریان، تقسیم‌بندی صحیح زمان کاری بین غلتک‌های مختلف، ساخت صحیح و مناسب غلتک‌ها و سیستم‌های نگهداری بهینه می‌توان عمر کاری را افزایش داد.

یکی از جنس‌های متداول پینچ رول با نام تجاری Bemcalloy C-1 می‌باشد که نوعی چدن خاکستری هیپویوتکتیک است. این ماده شامل عناصر سیلیکون، نیکل، کروم و مولیبدن است. این عناصر باعث ترکیبی از کاربید و گرافیت در چدن خاکستری خواهد شد که سبب دارا بودن خواص فوق تا حد زیادی برای پینچ‌رول خواهد شد [۴].

غلتک‌های پینچ‌رول پس از یک دوره عمر کاری مشخص، مورد بازسازی قرار می‌گیرند. سیکل اصلی بازسازی آنها شامل سنگ‌زنی و استفاده از فرآیند جوشکاری زیرپودری و کلادینگ می‌باشد. جهت افزایش عمر کاری و سختی غلتک‌های پینچ‌رول، برای اولین بار در کشور در مجتمع فولاد مبارکه ایده پوشش‌دهی سطح این غلتک‌ها از جنس کاربید تنگستن-کبالت[3] مطرح گردید. هدف از تحقیق حاضر این بود که با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS، پوشش ایجاد شده بر روی سطح غلتک پینچ‌رول شبیه‌سازی گردد و توزیع تنش و بارگذاری و ضخامت بهینه پوشش مورد ارزیابی واقع شود. در پوشش‌های ضخیم،

[1]. Clading

[2]. Pick-up

[3]. WC-Co

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. خواص مکانیکی فولاد غلتک پینچ‌رول

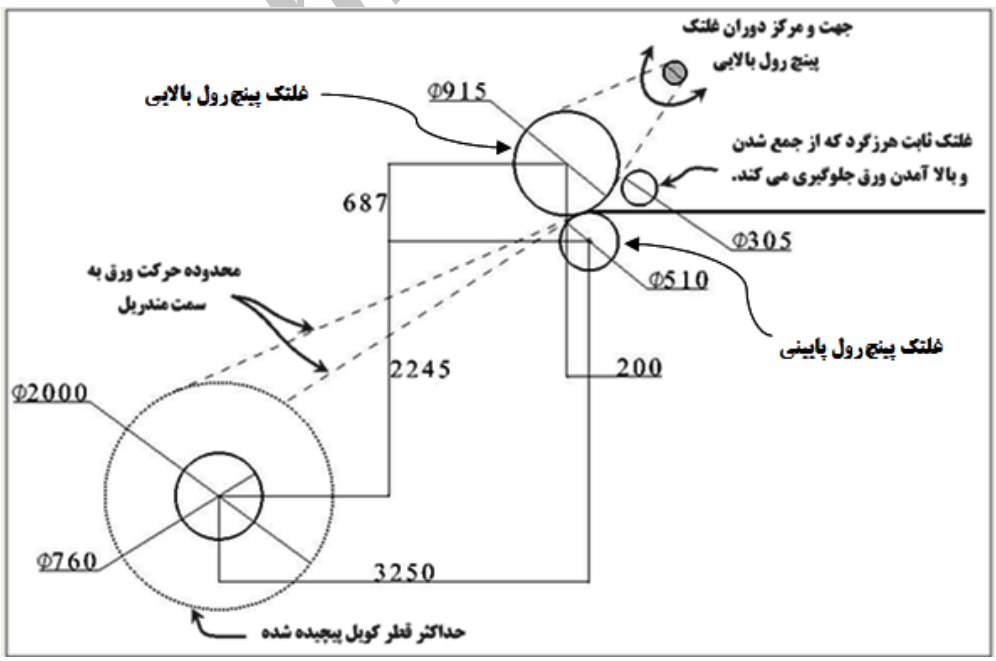
چگالی (Kg/m^3)	ضریب پواسون	مدول الاستیک (GPa)	کرنش نهایی(%)	تنش نهایی (MPa)	تنش تسلیم (MPa)
۷۸۶۰	۰/۲۹	۲۰۵	۰/۲۲	۷۸۶	۴۹۵

خواص اولیه و پایه زیرلایه و ماده پوشش به نوعی از هم مستقل بوده و پوشش به تنهایی مورد بررسی قرار می‌گیرد و تامین کننده خواص مورد انتظار از آن است. اما در پوشش‌های نازک خواص زیرلایه اهمیت بالایی دارند و شرایطی از قبیل بارگذاری و شرایط مرزی (محیط اطراف) را برای پوشش القا می‌کند.

روش پاشش حرارتی پاشش با سرعت بالا با استفاده از مخلوط سوخت و اکسیژن[1] یا HVOF به طور گسترده در صنایع مختلف کاربرد یافته است زیرا مقاومت به خوردگی، سایش و استحکام سایشی بالایی ایجاد می‌کند. پوشش ایجاد شده به روش HVOF در مقایسه با سایر روش‌های پوشش‌دهی دارای دانسیته بالا، سختی و استحکام باند پیوندی قابل توجهی است [۵]. در این روش علاوه بر اینکه باند پوشش ایجاد شده استحکام بالایی دارد، این امکان وجود دارد که پوشش‌های ضخیم را بطور استثنایی تولید کند به گونه‌ای که تنش‌های فشاری جایگزین تنش‌های کششی در پوشش نهایی شوند [۶]. این تنش فشاری به طور چشمگیری استحکام چسبندگی پوشش به زیر لایه را افزایش می‌دهد. همچنین خواص خستگی پوشش را هم بهبود می‌بخشد [۷]. صنعتگران بسیاری از کاربردهای جدید را برای این روش یافته‌اند که یکی از جالب توجه ترین آنها کاربرد پوشش‌های WC-Co است [۸].

مواد و روش تحقیق

در تحقیق حاضر از نرم‌افزار تحلیل‌گر Abaqus 6.9 استفاده شد. این نرم‌افزار به دلیل قابلیت‌های بالا در تحلیل و شبیه‌سازی‌های شبه‌استاتیکی و دینامیکی، مورد توجه و کاربرد بسیاری از کاربران و مهندسان می‌باشد. شکل ۱ نمایی از ابعاد،



شکل ۱. ابعاد و موقعیت هندسی قسمت‌های مرتبط با پینچ‌رول

[1] High Velocity Oxy Fuel = HVOF

www.SID.ir

موقعیت هندسی و فواصل غلتک‌ها و قطعات در ارتباط با قسمت پینچ‌رول را به صورت ساده شده نشان می‌دهد. هر دو غلتک پینچ‌رول حول محورشان دوران دارند درحالیکه غلتک پینچ‌رول پایینی در محلش ثابت است و غلتک پینچ‌رول بالایی مطابق شکل ۱ حول مرکز دورانش دوران کرده و فاصله بین دو غلتک برای هر ورق بدست می‌آید.

با توجه به تغییرشکل ناچیز در راستای عمود بر صفحه، جهت شبیه‌سازی از مدل دوبعدی و با ابعاد واقعی استفاده شد. در این مدل از غلتک بالایی و نگهدارنده افقی ورق به صورت صلب تجزیه‌ای[1]، غلتک پایینی و ورق به صورت تغییرشکل‌پذیر[2] و یک حلقه کامل جهت دوران در مرکز غلتک پایینی به صورت صلب جداشونده[3] استفاده شده است (غلتک پایینی با یک حفره کوچک توخالی مدل شد). ورق مماس با سطح غلتک پایینی و تا نزدیک غلتک بالایی آورده شده است. غلتک پایینی به علت شرایط لازم برای مش‌ریزی، به تعداد زیادی دوایر هم مرکز و به صورت شعاعی به چهار قطاع ۹۰ درجه‌ای پارتیشن‌بندی گردید.

در بین ورق‌های تولیدی نورد گرم، سخت ترین ورق (گرید ۵ استاندارد داخلی فولاد مبارکه) مطابق جدول ۲ برای استفاده در مدل شبیه‌سازی به کار گرفته شد. علت این انتخاب، سختی و استحکام بالاتر ورق و اعمال نیروی بیشتری است که از سوی پینچ‌رول برای انحراف مسیرآن لازم است. جنس مغز فولادی غلتک هم مطابق جدول ۱ تنظیم گردید. WC-Co اولین ترکیب رایج از کاربیدهای زینتر شده است که از ترکیب کاربید تنگستن با شبکه پیوندی کبالت تشکیل شده است. این سرمت مقاومت به سایش فوق العاده بالایی دارد. در این تحلیل از پوشش با ترکیب WC-17Co با خواص مکانیکی داده شده در جدول ۳ استفاده شد [۹].

فرآیند کاری پینچ‌رول را در حالت کلی می‌توان ۲ بخش دانست:

۱- ضربه اولیه ورق به غلتک‌های پینچ‌رول

۲- قرارگیری ورق بین غلتک‌ها و غلتیدن بر روی آنها

زمان حل باید به اندازه‌ای تعیین شود که هر دو مرحله (تا زمان پایدار شدن شرایط توزیع تنش بر سطح غلتک‌ها) تامین شود و بتوان در مدل نتایج مربوطه را مشاهده کرد.

یکی از فاکتورهای موثر در کاهش زمان حل مساله در حل‌های صریح[4] استفاده از ضریب جرمی[5] است. براساس نوع حل و ابعاد مش انتخابی برای حل و سایر متغیرهای مربوطه، برای تعیین ضریب جرمی مناسب، با توجه به نزدیک بودن نوع شرایط مساله با تحقیق صورت گرفته توسط کاینز و همکارانش [۱۰]، امکان استفاده از پارامترها و مقادیر آن وجود داشت. پس از بررسی‌های متعدد در نهایت مقدار ضریب جرمی برابر با ۱۰۰ تعیین و به کل قسمت مدل مربوط به غلتک پینچ‌رول اعمال گردید (این یکی از مهمترین مراحل این تحقیق بود زیرا حل اولیه‌ای که به علت تعداد زیاد المان‌های میکرونی با اَبَررایانه دانشگاه صنعتی اصفهان حدود چهار روز به طول انجامید، با اعمال ضریب جرمی مناسب به حدود پنج ساعت با یک رایانه دوهسته‌ای معمولی تبدیل شد).

جدول ۲. خواص مکانیکی ورق‌های سخت مورد بررسی در تحلیل‌ها

کرنش نهایی (%)	تنش نهایی (MPa)	تنش تسلیم (MPa)	ضریب پواسون	مدول الاستیک (GPa)	چگالی (Kg/m^3)
۰/۲۳	۵۶۷	۴۹۲	۰/۲۶	۲۰۰	۷۸۵۰

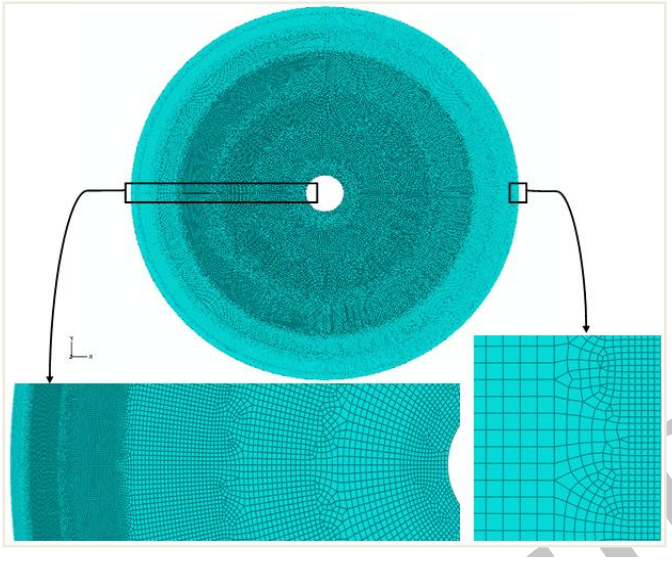
جدول۳. خواص مکانیکی پوشش کاربید تنگستن-کبالت اعمال شده در تحلیل [۹]

تنش تسلیم (MPa)	ضریب پواسون	مدول الاستیک (GPa)	چگالی (Kg/m^3)
۱۵۰۰	۰/۲	۳۲۰	۱۴۱۰۰

1. Analytical Rigid
2. Deformable
3. Discrete Rigid
4. Explicit
5. Mass scale

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. نمونه ای از غلتک کامل با المان‌های ایجاد شده بر آن

در این تحلیل ورق با دو غلتک بالا و پایینی پینچ‌رول و تکیه‌گاهی که برای زیر آن تعریف گردید (و در حکم میز غلتکی بود) تماس داشت. تماس ورق با تکیه‌گاه زیرین آن بدون اصطکاک و سخت[1] و با غلتک‌ها به صورت سخت و با ضریب اصطکاک مماسی معادل ۰/۳ تعریف گردید [۱۱]. به منظور دوران غلتک پایینی از یک حلقه صلب استفاده شد که به حفره داخلی غلتک پینچ‌رول پایینی به صورت یکپارچه گره[2] زده شد. براساس نتایج ارایه شده توسط کاینز لازم است قطر این حلقه صلب در مقایسه با قطر خارجی غلتک کوچکتر باشد [۱۰].

آسیب‌های سطحی غلتک و پوششی که قرار است بر آن اعمال شود، در ابعاد میکرونی هستند، لذا باید در روی سطح غلتک المان‌های میکرونی داشت و با نزدیک شدن هرچه بیشتر به سمت مرکز غلتک، که دقت و حساسیت کمتری وجود دارد، المان‌ها درشت‌تر شوند. علاوه بر این برای توزیع تنش صحیح در محل تماس ورق و غلتک، بایستی حداقل ۲۰ المان همزمان درگیر باشند [۱۰]. نوع المان اختصاص یافته به صورت ۴ گرهی کرنش صفحه‌ای با انتگرال کاهش یافته[3] برای غلتک و ورق در نظر گفته شد. شکل ۲ مدل مش‌ریزی شده غلتک پینچ‌رول است.

نتایج و بحث

ابتدا لازم است صحت مدل ارایه شده و درستی نتایج حاصل از آن تایید شود. رفتار حرکتی ورق پس از عبور از پینچ‌رول و انحراف به سمت قسمت کویلر حاصل از مدل اجزای محدود در شکل ۳ نشان داده شده است. میزان و زاویه انحراف ورق در مدل اجزای محدود با مقدار واقعی خط (۳۵-۳۰درجه) مطابقت بالایی داشت. همچنین شکل ۴ توزیع تنش برشی در سطح غلتک بدون پوشش و تغییرشکل ایجاد شده در آن را نشان می‌دهد که با تغییرشکل‌های میکرونی سطح غلتک پینچ‌رول واقعی یکسان است. در لحظه برخورد ورق به پینچ‌رول، ضربه شدید و نیروی زیادی به آن وارد می‌کند.

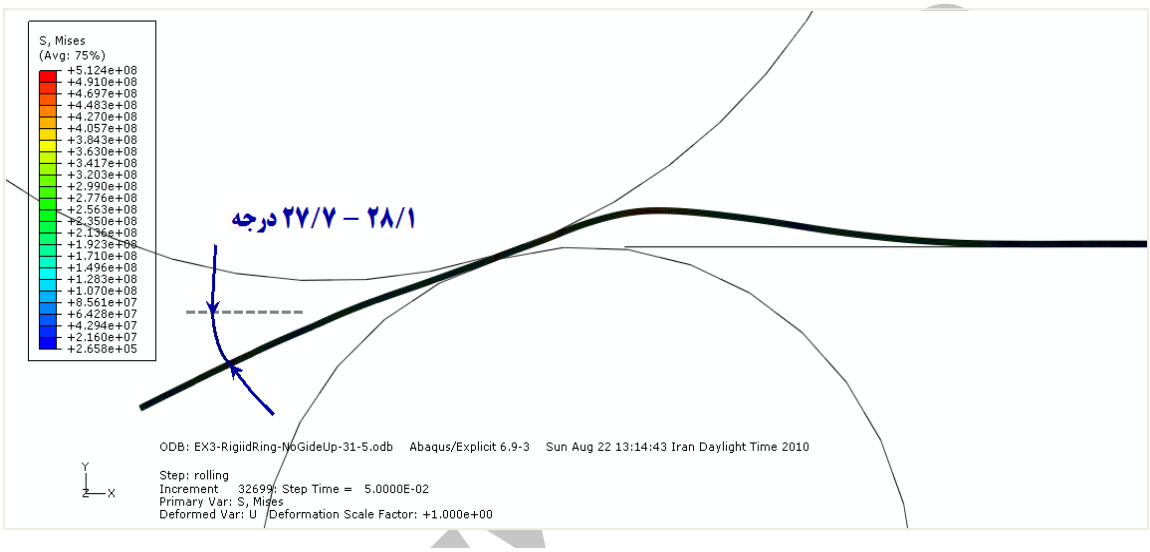
نتایج تحلیل‌ها نشان داد ضربه اولیه ورق به پینچ‌رول به مراتب تنش بیشتری را نسبت به مرحله گرفتن و قرارگیری ورق بین غلتک‌های پینچ‌رول ایجاد می‌کند و حتی با وجود سخت‌تر و با استحکام‌تر بودن غلتک نسبت به ورق، در سطح آن آسیب ایجاد می‌کند (شکل ۴). البته ورق نسبت به غلتک از جنس نرمتری برخوردار است اما استفاده از مش درشت‌تر برای ورق در محل تماس با غلتک (به جهت کاهش زمان حل مساله) می‌تواند باعث سخت‌ترشدن کاذب آن گردد. این حالت باعث شدیدترشدن اثر ضربه و عدم تغییرشکل ورق در محل ضربه به غلتک می‌شود. مطابق شکل ۵ مدل دیگری برای مقایسه آماده گردید که در آن المان‌های ورق و سطح غلتک در محل تماس و

[1]. Hard
[2]. Tie
[3]. CPE4R: A 4-node bilinear plane strain quadrilateral, reduced integration, hourglass control.

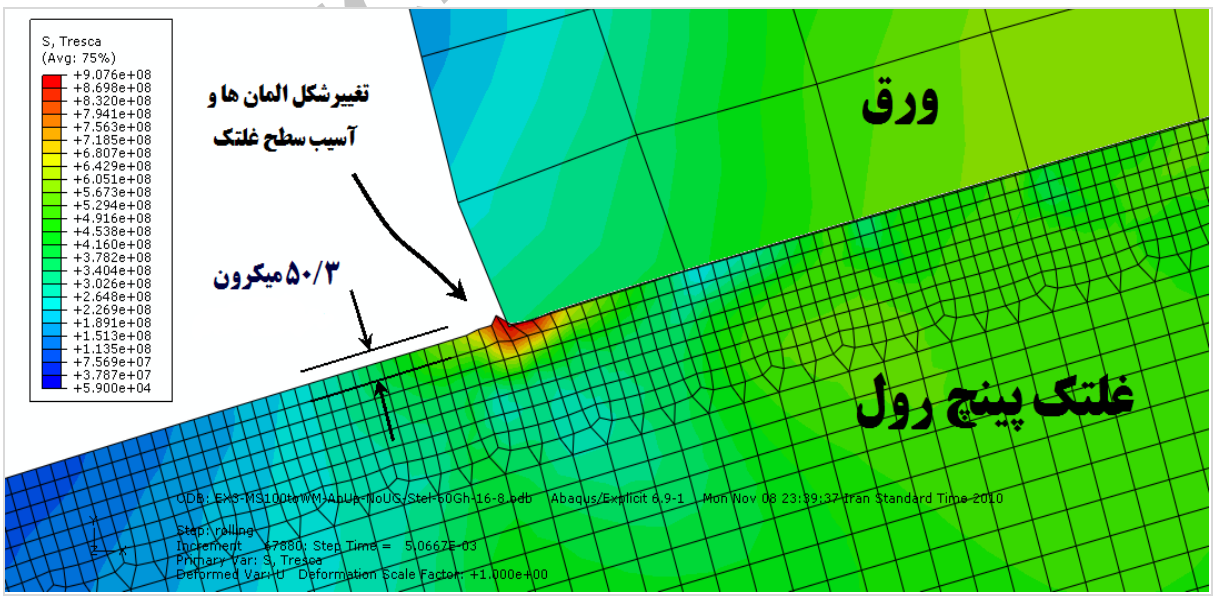
Archive of SID

www.SID.ir

ضربه از ابعاد یکسانی برخوردار بودند. در این حالت با توجه به دقیق‌تر شدن رفتار ورق، در حالت کلی اثر آن بر روی غلتک ملایم‌تر و کمتر گردید. نتایج نشان داد تاحدود کمی مقادیر تنش کاهش یافت و تغییرشکل کمتری را در سطح غلتک پینچ‌رول ایجاد شد، اما در روند کلی نتایج و پاسخ‌ها تغییر چندانی وارد نکرد یعنی مقادیر تنش‌ها زیاد و بیشتر از حد تسلیم پوشش و همچنین استحکام چسبندگی پوشش به زیرلایه بود. علت را می‌توان در این مطلب دانست که اثر اصلی ورق در این فرآیند به سرعت آن برمی‌گردد و سرعت و ضربه زیاد آن به غلتک، عامل اصلی تخریب است. نمودار نیروی وارد بر غلتک در حالت واقعی که از گراف‌های مجتمع فولاد مبارکه استخراج گردیده است (شکل ۶)، به خوبی این ضربه شدید را در ابتدا و انتهای عبور ورق از پینچ رول نشان می‌دهد. در تمام نمودارهای تنش بدست آمده از مدل اجزای محدود هم این نقطه اوج اولیه

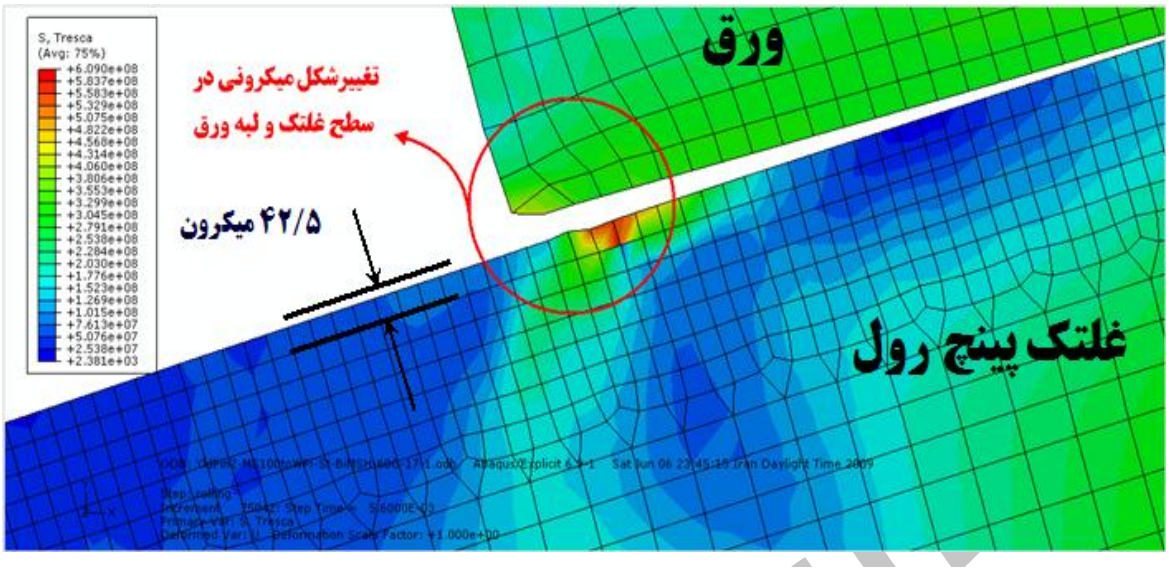


شکل ۳. رفتار حرکتی ورق در قبل و بعد از پینچ‌رول و میزان تقریبی انحراف مسیر آن به سمت کویلر



شکل ۴. توزیع تنش برشی در غلتک پینچ‌رول و تغییرشکل میکرونی ایجاد شده در سطح آن در اثر برخورد

www.SID.ir

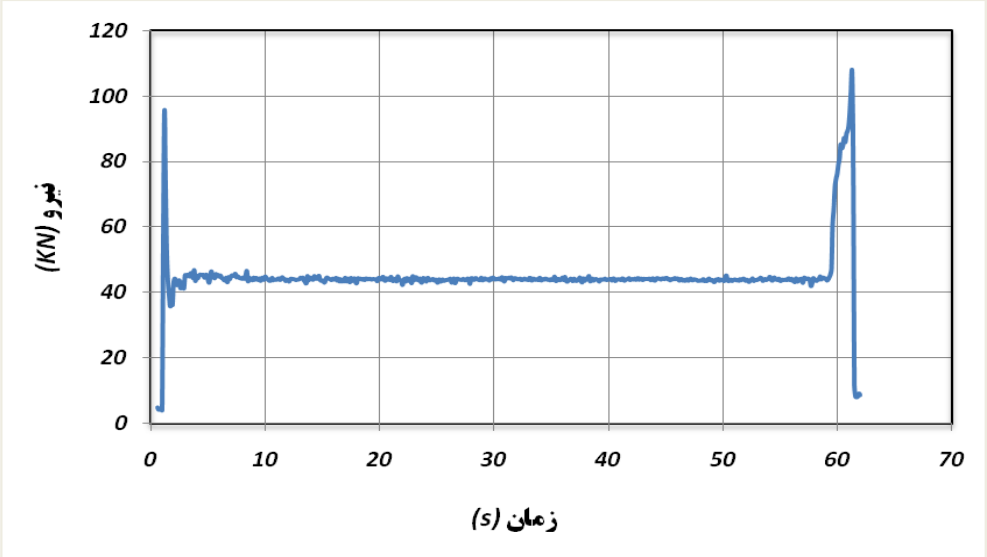


شکل۵. توزیع تنش برشی و تغییرشکل ایجاد شده در غلتک و ورق در حالت استفاده از مش میکرونی برای ورق در محل تماس با غلتک

در اثر ضربه شدید ورق به پینچ‌رول وجود دارد. هر چقدر ورق از گرید سخت‌تری برخوردار باشد، نیروی بیشتری جهت گرفتن و انحراف مسیر آن لازم است. در نتیجه فشار بیشتری بر پینچ‌رول وارد می‌شود و تنش بالاتری بر آن اعمال خواهد شد. علاوه بر گرید ورق، عرض و ضخامت آن هم در تعیین شرایط بحرانی عملکرد پینچ‌رول اهمیت دارند. نتایج تحلیل‌ها نشان داد ورق نازک‌تر که سرعت بالاتری داشت توزیع تنش بیشتری را در پینچ‌رول ایجاد کرد. در حقیقت سریع‌تر بودن ورق نازک‌تر اثر ضربه و تمرکز تنش آن بر پینچ‌رول را تقویت نمود. به علت دوبعدی بودن مدل عرض ورق به طور مستقیم در تحلیل اثر ندارد. فقط با افزایش عرض، جرم ورق افزایش و سرعت آن کاهش می‌یابد که کاهنده اثر ضربه است.

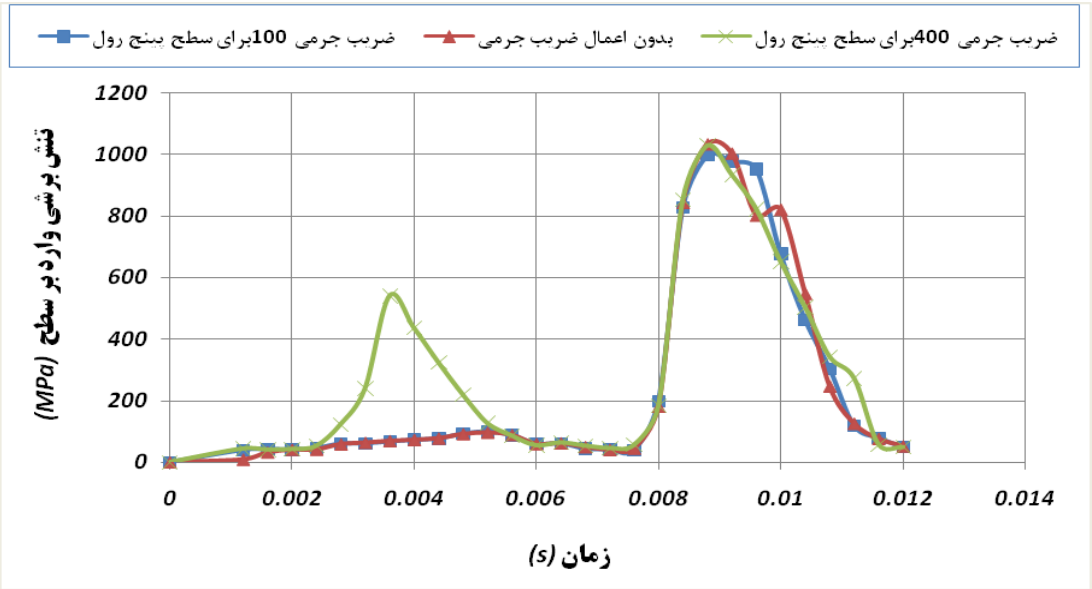
نمودارهای شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب صحت مقدار و حوزه اعمالی مناسب برای ضریب جرمی در غلتک پینچ‌رول را نشان می‌دهند (در اینجا ضریب جرمی به ورق اعمال نشد زیرا اگر ورق هم مشمول ضریب جرمی شود، جرم آن افزایش یافته و اثر ضربه و نیروی آن بر غلتک بیشتر خواهد شد).

توزیع تنش برشی در راستای عمق نکته مهمی است که در

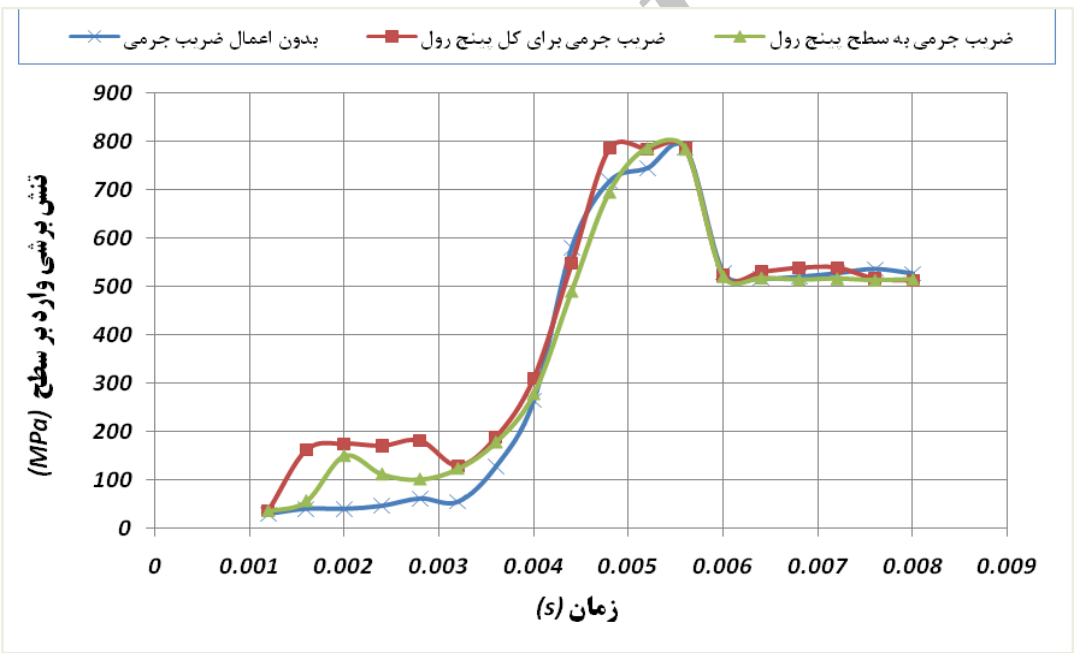


شکل ۶. نمودار نیروی وارد بر غلتک پینچ‌رول در حالت واقعی (نقطه اوج نمودار مربوط به ضربه ورق به غلتک در زمان ورود و خروج آن است)

www.SID.ir



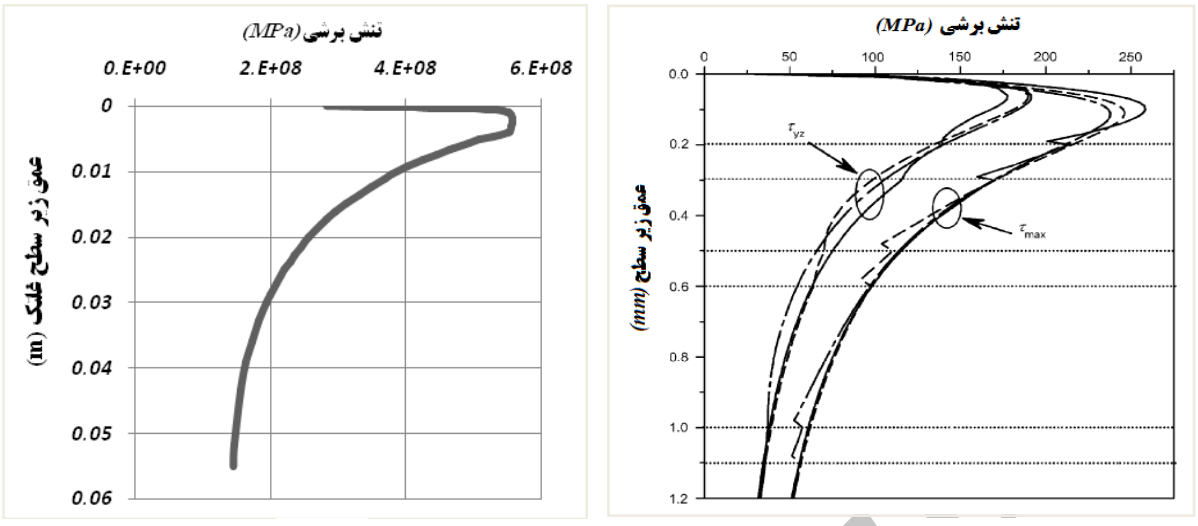
شکل۷. نمودار توزیع تنش برشی نسبت به زمان در حالات مقادیر مختلف ضریب جرمی



شکل۸. نمودار توزیع تنش برشی نسبت به زمان در حالات مختلف محدوده اعمال ضریب جرمی

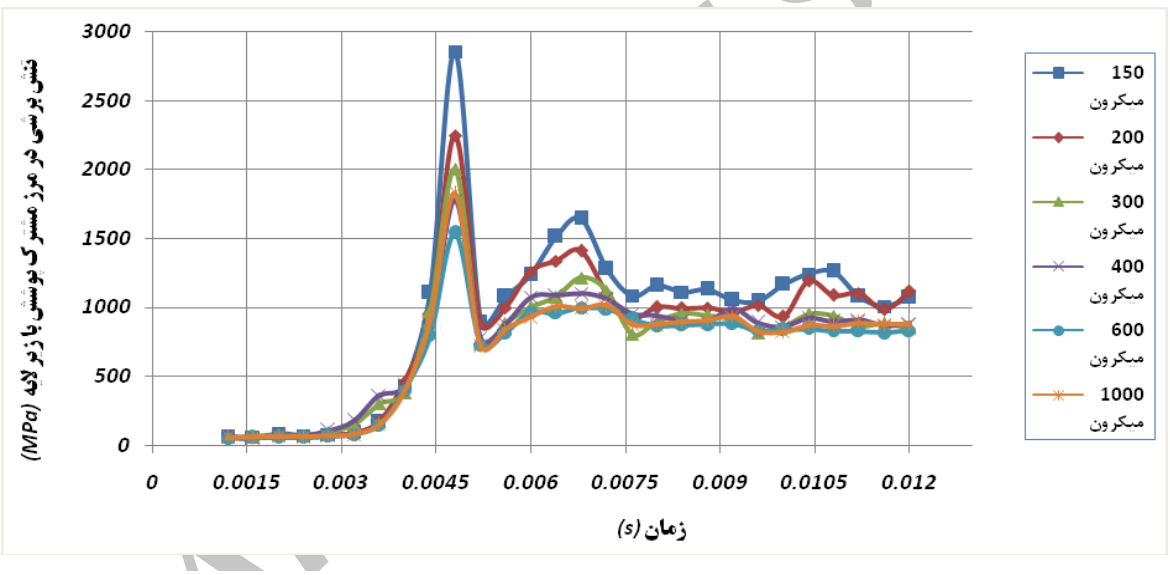
محدوده نزدیک به سطح اهمیت دارد. بنابر تحقیق فیوجی و همکارانش [۱۲] توزیع تنش برشی در راستای عمق به صورت شکل a-۹ است. در پروژه حاضر هم توزیع تنش برشی در راستای عمق بدست آمد که در شکل b-۹ نشان داده شده است و می‌تواند مورد مقایسه قرار گیرد. تنش برشی اهمیت بالایی در تشکیل و رشد ترک در پوشش و جدا شدن لایه پوشش از زیرلایه دارد. قرارگیری ماکزیمم تنش برشی در مرز مشترک بین پوشش با زیرلایه و بیشتر بودن مقدار آن نسبت به استحکام چسبندگی پوشش به زیرلایه باعث کنده‌شدن و لایه‌لایه شدن پوشش می‌شود. شکل ۱۰ به صورت مقایسه‌ای نمودار ماکزیمم تنش برشی در مرز مشترک را برای پوشش‌ها با ضخامت‌های مختلف نشان می‌دهد.

www.SID.ir



(الف) (ب)

شکل۹. توزیع تنش برشی از سطح به عمق، (الف): براساس تحقیق فیوجی و همکارانش [۱۲] ، (الف): تحلیل صورت گرفته در تحقیق حاضر



شکل ۱۰. نمودار توزیع تنش برشی در مرز مشترک پوشش- زیرلایه در پوشش با ضخامت مختلف

نتیجه‌گیری

در این پروژه غلتک پایینی پینچ‌رول خط نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه اصفهان شبیه‌سازی و تحلیل شد. به منظور افزایش عمر کاری غلتک از ایده پوشش‌دهی پینچ‌رول استفاده شد. در نهایت نتایج زیر حاصل گردید:

۱- ورق‌های سخت (گرید ۵ تولیدی مجتمع فولاد) به علت استحکام و سختی بالاتر نیرو و تنش بیشتری را برای تغییر مسیر و انحراف توسط پینچ‌رول به آن وارد می‌کنند.

۲- ورق‌های نازک به علت سرعت بالاتر نسبت به ورق‌های ضخیم، اثر ضربه بیشتری بر پینچ‌رول وارد می‌کنند. به علاوه که نازک‌تر بودن ورق‌های نازک اثر تمرکز تنش بیشتری را در لحظه برخورد به پینچ‌رول به همراه دارند.

۳- نتایج نشان داد اثر ضربه اولیه ورق بر روی پینچ‌رول بحرانی‌تر از غلتش بعدی آن است. اثر ضربه ورق بر پینچ‌رول و تغییر شکلی که بر سطح آن ایجاد می‌کند به خوبی با شبیه‌سازی صورت گرفته مشخص شد. ورق با وجود نرم‌تر بودن نسبت به غلتک، اما در سطح آن آسیب‌های میکرونی ایجاد می‌نماید.

۴- در حالت کلی استفاده از پوشش می‌تواند خواص سطحی قطعات را ارتقا دهد. در اینجا پوشش کاربید تنگستن- کبالت

www.SID.ir

پاشش شده به روش HVOF بر روی سطح پینچ‌رول بررسی شد. استفاده از این پوشش اگرچه تا حدی مقاومت سطح قطعه را افزایش داد، اما چون از اساس ماده تردی بود و تحمل و مقاومت در برابر ضربه را نداشت، تحت ضربه اولیه دچار شکست و تخریب شد. در این حالت تنش برشی بسیار مهم و حیاتی است و قرارگیری ماکزیمم تنش برشی در مرز مشترک پوشش- زیرلایه موجب کنده‌شدن و جدایش پوشش از زیرلایه است. بایستی ضخامت پوشش به حدی باشد که این مقدار ماکزیمم تنش برشی در مرز و در زیرلایه قرار نگیرد.

۵- با وجود اینکه پوشش‌های اعمال شده بر روی سطح نتوانستند تامین کننده هدف افزایش عمر کاری پینچ‌رول باشند، اما در مقایسه نسبی انجام شده، افزایش ضخامت پوشش تا حدود ۶۰۰ میکرون وضعیت تحمل و استحکام غلتک را بیشتر کرد. با افزایش ضخامت بیش از این مقدار تا حدود ۱۰۰۰ میکرون، شرایط عوض شد و وضعیت تنش در سطح پینچ‌رول بدتر شد. افزایش ضخامت پوشش در روش HVOF بیش از ۱۰۰۰ میکرون رایج نیست. پوشش با ضخامت ۶۰۰ میکرون را می‌توان پوشش با ضخامت بهینه معرفی کرد.

منابع

۱. مرکز پژوهش و مهندسی سطح ایران، هسته تحقیقاتی سایش، شهرک علمی تحقیقاتی اصفهان، ۱۳۸۸.

۲. واحد طراحی و مهندسی معکوس، شناسنامه فنی پینچ رول پایینی، شرکت مهندسی ایکا، فولاد مبارکه، ۱۳۸۷.

3. S. Joseph, *Engineered Solutions for the Improvement of Hot and Cold Mill Rolls and applications*, Quality Systems Manager, Metal Refinishing and Improvements, North East, (2004).
4. R. Deach and M. Steve, *Recent Developments in Coiler Pinch Roll Technology*, Cincinnati, Ohio, (2002)45241-2283.
5. A. A. Boudi, M. S. J. Hashmia and B. S. Yilbas, *ESEM evaluation of Inconel-625 thermal spray coating (HVOF) onto stainless steel and carbon steel post brine exposure after tensile tests*, Journal of Materials Processing Technology, 173(2006)44–52,.
6. www.fst_nl-upload-images-processhvof_jpg _files\page00042.htm
7. M. Loch, , G. Barbezat, and P. Meyer, , *Progress in the area of low pressure plasma spraying*, ITSC 2002 Essen, Germany, (2002)347-350.
8. R. Ahmed, *Contact fatigue failure modes of HVOF coatings*, Elsevier Science, Wear, 253(2002)473–487.
9. E. Bemporad, M. Sebastiani, F. Casadei and F. Carassiti, *Modelling, production and characterisation of duplex coatings (HVOF and PVD) on Ti–6Al–4V substrate for specific mechanical applications*, Surface & Coatings Technology, 201(2007)7652–7662.
10. A. Kainz, K. Krimpelstatter and K. Zeman, *FE - Simulation of Thin Strip and Temper Rolling Processes*, ABAQUS Austria Users' Conference, (2003)24-25.

۱۱. ولی‌نژاد، ع، جداول و استانداردهای مکانیکی، نشر طراح، چاپ هشتم، تهران، ۱۳۸۴.

12. M. Fujii, J. Ma, A. Yoshida, S. Shigemura and K. Tani, *Influence of coating thickness on rolling contact fatigue of alumina ceramics thermally sprayed on steel roller*, Tribology International, 39(2006)1447–1453.

Archive of SID

www.SID.ir