



نشریه علمی پژوهشی مواد پیشرفته و پوششهای نوین – ۲۵ (۱۳۹۷) ۱۸۲۰ –۱۸۲۵

تلفیق عملیات روکش کاری جوشی و کربوراسیون به منظور بازسازی قطعات صنعتی از فولاد DIN-25CrMo4

رضا سعیدی'، مسعود مصلایی پور آ

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، پردیس فنی مهندسی، گروه مهندسی مواد، دانشکده معدن و متالوژی، دانشگاه یزد، یزد، ایران ۲ دانشیار، پردیس فنی مهندسی، گروه مهندسی مواد، دانشکده معدن و متالوژی، دانشگاه یزد، یزد، ایران



در این پژوهش از تلفیق عملیات روکشکاری و کربوراسیون جهت بازسازی چرخ دندههای ساخته شده از فولاد DIN-25CrMo4 استفاده شد. در این راستا ابتدا از عمليات روكش كارى توسط الكترود قليايي E 7018-1 به منظور جبران ضخامت از دست رفته و در ادامه از عملیات کربوراسیون جهت افزایش سختی و مقاومت سایشی روکش مذکور استفاده شد. مطالعات ریزساختاری و فازی حاکی از تغییر زمینه فریتی فلز پایه به یک زمینه مارتنزیتی همراه با آستنیت باقیمانده و ترکیبات غنی از آهن و کربن از قبیل کاربید Fe₃C در نمونه کربن دهی شده بود که موجب افزایش ۳۰۰%~ سختی سطحی شد. بررسی رفتار سایشی نمونه ها بهبود چشم گیر رفتار سایشی (کاهش ۸۰% ضریب اصطکاک و کاهش ۹۰% مقدار وزن از دست رفته) نمونه کربن دهی شده را نشان داد. مطالعه SEM از سطوح ساییده شده دلالت بر تغییر مکانیزم سایش از سایش خراشان دو جسمی به مکانیزم ترک ریز ناشی از افزایش مقدار فاز مارتنزیت در نمونه کربن دهی شده داشت.

تاريخ دريافت: 94/1./48

تاريخ يذيرش: 94/14/1.

واژگان کلیدی

روكش، كربوراسيون، SMAW، ريزساختار، سايش

۱) مقدمه

سطح قطعات منشاء بسیاری از شکستها و ناپیوستگیهای ناشی از خستگی، سایش و خوردگی میباشد که در نهایت منجر به از کار افتادگی قطعات صنعتی میشود. لذا حفاظت و مقاومسازی سطح از مسائل بسیار مهم در عمرکاری قطعات، کارآیی یک واحد تولیدی و هزینههای مربوطه میباشد [۹۵]. از مهمترین دلایل استهلاک قطعات صنعتی حین سرویسدهی میتوان به پدیده سایش اشاره نمود که هزینههای زیادی را بهمراه دارد. در آمریکا سالانه حدود ۱۷ میلیارد دلار صرف تعمیرات و بازسازهای مزتبط با سایش میشود [۳].

فولاد کم آلیاژ DIN-25CrMO4 با قابلیت شکل پذیری و جوش فولاد کم آلیاژ DIN-25CrMO4 با قابلیت شکل پذیری و جوش صنعتی مانند محورها و چرخدندهها در صنایع هواپیمایی و خودروسازی میباشد [۴]. از نقاط ضعف قطعات صنعتی ساخته شده با این آلیاژ میتوان به پایین بودن مقاومت سایشی آنها به خصوص تحت بارهای میتوان به پایین بودن مقاومت سایشی آنها به خصوص تحت بارهای شیمیایی این فولاد (%۲۹ ۲۹/۰ –۲۰/۲) امکان افزایش سختی با عملیات حرارتی وجود ندارد [عو6]. از راهکارهای اقتصادی و صنعتی عملیات روکش کاری جوشی همراه با عملیات کربندهی اشاره کرد عملیات روکش کاری جوشی همراه با عملیات کربندهی اشاره کرد

عملیات کربوراسیون سطحی، با اضافه کردن کربن بر لایه سطحی فولاد کم کربن در محدوده حرارتی ۲° ۸۰۰–۹۵۰ انجام میشود. در ادامه با سرد کردن سریع موجب تشکیل فاز مارتنزیت پرکربن با سختی و مقاومت به سایش بالا بر سطح زیرلایه چقرمه از فولاد کم کربن میشود [۱۱]. سختی سطح فولاد کربن داده شده عمدتا تابع میزان درصد کربن نفوذ کرده در سطح است [۱۴–۱۲]. نظر به سختی بالای روکش ایجاد شده توسط الکترودهای سختکاری و اهمیت قابلیت این پژوهش برای بازسازی چرخدنده ساییده شده از فولاد -INI این پژوهش برای بازسازی چرخدنده ساییده شده از فولاد -INI از دست رفته به علت سایش انجام شد. در ادامه برای افزایش سختی و مقاومت سایشی، سطح روکش کاری شده تحت عملیات کربنهی و اقع شدند.

۲) مواد و روش تحقیق

در این پژوهش از فولاد DIN-25CrM04 با ترکیب شیمیایی to DIN-25CrM04 با ترکیب شیمیایی (wt)Fe-0.23C-0.2Mo-1.15Cr-0.73Mn-0.02V) به عنوان زیرلایه استفاده شد. جهت عملیات روکش کاری نمونههایی در ابعاد ۵ ماتها ۲۵ ×۳۵ ×۳۵۰ از زیرلایه دریافتی برش و بعد از آماده سازی سطحی (سنگ زدن تا سمباده ۶۰۰) و چربیزدایی در حمام استون مورد عملیات روکش کاری واقع شدند.

از الكترود قليايي E 7018-1 با قطر mm و تركيب شيميايي

wt) Fe-0.05C-0.21Mo-0.3Cr-1.02Mn) به عنوان آلیاژ روكشكارى استفاده شد. عمليات روكشكارى توسط فرآيند قوس دستی (SMAW) مطابق پارامترهای جوشکاری ارائه شده در جدول (۱) در وضعیت مسطح مطابق با استاندارد AWS A5.5 انجام شد. از عملیات کربندهی به روش جامد با استفاده از کک با خلوص بالا ۹۹/۹۸% (به عنوان ماده کربنزا) و کربنات سدیم (به عنوان ماده انرژیزا) جهت افزایش سختی سطحی و مقاومت سایشی فلز جوش راسب شده استفاده گردید. لازم به ذکر است در ابتدا پودر کک دریافتی توسط دستگاه آسيا مدل PBM-210 با نسبت گلوله ي آلومينا به پودر ۳ به ۱ در مدت زمان ۱۸۰ min و با سرعت چرخشی ۲۵۰ rpm آسیا گردید. در ادامه پودر کک آسیاشده با محلول %۱۱ wt کربنات سدیم با آب گرم (۲۰ °C) (میزان بهینه بر اساس بررسیهای انجام شده) مخلوط و پس از خشک شدن به طور کامل جهت کربندهی مورد استفاده قرار گرفت. یک بوته استوانهای از جنس فولاد SPK به عنوان جعبه سمانتاسيون استفاده شد. جهت اشباع شدن بوته سمانتاسيون از کربن، ابتدا بوته مورد نظر را از پودر آماده شده پر شده و به مدت زمان ماعت در داخل کوره الکتریکی در دمای $^{\circ}$ ۹۵۰ قرار گرفت. h سپس نمونههای مورد نظر در مخلوط پودر کربوراسیون واقع و عملیات کربندهی در دمای C°۹۰۰ به مدت زمان h ۱۰ انجام و در خاتمه نمونهها در روغن سريع سرد شدند.

نموندهای متالوگرافی در ابعاد ۳۱۰ ۳۱۰×۲۰×۲۰ در راستای عمود بر مقطع روکش برش و پس از آمادهسازی سطحی مطابق با روشهای استاندارد متالوگرافی توسط محلول Klemm1 (K2S2O5+1g عور Reserved (K2S2O8+89g Water) به مدت ۲۰ ±۵ در دمای محیط مورد اچ شیمیایی رنگی قرار گرفتند. مطالعات ریزساختاری با استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی IROST انجام شد. همچنین بررسی ترکیب شیمیایی توسط آنالیز Spot- EDS

بررسی کیفی فازهای تشکیل شده در ساختار روکشها توسط آزمون تفرق اشعه X با سرعت پیشروی sec ° vec در بازه زاویهای °۱۰۰ ۱۰۵ توسط اشعه KαCu با طول موج ۱/۵۴۱۸ آنگستروم انجام شد. توزیع سختی در امتداد مقطع روکش کاری شده با استفاده از دستگاه میکروسختی Koopa تحت بار اعمالی kg /۱۰ و مدت زمان نشست بار ۲۰ انداره گیری و رسم شد.

جهت بررسی مقاومت سایش نمونهها، دیسکهای استوانهایی شکل به قطر ۳۳ ۴ و ارتفاع ۳۳ ۸ از مقطع روکش برش و بعد از مسطح نمودن سطح جوش تا سمباده ۸۰۰ سنگ زده شد. آزمون سایش به روش پین روی دیسک و از فولاد بلبرینگ با سختی ۶۴ RC و طول ۱۰۰۰ mm ۵ و قطر عرقچین ۳m ۵ به عنوان پین ساینده استفاده شد. همچنین آزمون تحت نیروی عمودی ۴۰ N با سرعت دورانی ۱۰۳ ۷۷ در دمای ۲[°] ۳۰ و رطوبت ۱۰% در مسافت سایشی ۲۰۰۰ m انجام پذیرفت. کاهش وزن نمونهها نیز با استفاده از ترازوی دیجیتالی

با دقت ۰/۱ mg بعد از هر ۱۰۰ متر سایش اندازه گیری شد. همچنین ضریب اصطکاک بین پین و سطح نمونه تعیین شد. به منظور تعیین مکانیزم سایش، سطوح ساییده شده مورد مطالعات SEM واقع شد.

۳) نتایج وبحث ۲(۲) مطالعات ریزساختاری

در شکل۱ ریزساختار نوری زیرلایه دریافتی نشان داد شده است. نظر به وجود عناصری آلیاژی پایدار کننده فاز فریت مانند کروم و مولیبدن در ترکیب شیمیایی زیرلایه، ریزساختار آن از یک زمینه فریتی با مورفولوژی مختلف چندوجهی (PGF) و سوزنی (AF) با رنگهای آبی روشن و کرم همراه با جزایر پراکنده از مارتنزیت (M) که به صورت مناطق تیره تشکیل شود.

در شکل۲ تصاویر نوری از ریزساختار روکش ایجاد شده با استفاده از الکترود E 7018-1 در حالت قبل و بعد از عملیات کربندهی روکش

جدول ۱: پارامترهای جوشکاری مورد استفاده در این پژوهش سرعت جوشکاری مرا سرعت جوشکاری مورد ستفاده در این پژوهش دمای پیش گرم ۲۰۰۲– ۱۰۰ دمای پس گرم ۲۰۰۳–۲۰۰ ۲۰۰۲–۲۰۰ ۲۰۰ شدت جریان و پلاریته جوشکاری (A)۵±۱۱۳ ولتاژ جوشکاری (V)۲±۰۲

راسب ارائه شده است. همانگونه که از در شکل۲-الف نشان داده شده است عملیات روکش کاری موجب ایجاد ساختار ستونی شکل از فاز فریت با مورفولوژیهای مختلف ویدمن شتاتن، مرزدانهای و چند وجهی شده است. عملیات کربندهی و کویینچ در روغن موجب ایجاد زمینه مارتنزیتی بشقابی همراه با آستنیت باقیمانده در بین تیغههای مارتنزیتی شد (شکل ۲-ب). در نمونه کربندهی شده با حرکت از سطح فوقانی روکش به سمت نواحی پایین تر مقدار آستیت باقیمانده افزایش می یابد (افزایش نواحی سفیدرنگ قسمت پایینی شکل ۲-ب) به سطح نمونه اشاره کرد.

نتایج بدست آمده از آنالیز خطی بعد از عملیات کربن دهی بر روی نمونه روکش کاری شده (شکل ۳) حاکی از افزایش حدود ۲۰% میزان کربن در سطح روکش بعد از عملیات کربن دهی دارد. همچنین میزان عمق نفوذ را مطابق آنالیز خطی در حدود mm ۱/۲ تخمین زده شد.



شکل 1: تصویر میکروسکوپ نوری از ریزساختار فلز پایه



شکل ۲: تصویر نوری از سطح نمونه روکش کاری شده E 7018-1 الف) قبل از عملیات کربن دهی ب) بعد از عملیات کربن دهی.



شکل ۳: تصویر آنالیز خطی از سطح روکش کربن دهی شده الف) مسیر آنالیز خطی از سطح روکش، ب) آنالیز خطی

۲(۳) بررسی نتایج XRD

با توجه به نتایج آزمون تفرق اشعه ایکس از روکش نمونه ها در شکل(۴) و بررسیهای انجام شده بر اساس میزان شدت و زاویه ییک های شناسایی شده مشخص گردید. با پایین بودن مقدار کربن (۰/۱ % wt) و عنصر آلیاژی کروم در فلز جوش نمونه روکش شده هیچ گونه ترکیبات کاربیدی در ریز ساختار این نمونه شکل نگرفته است و فاز ایجاد شده در ساختار روکش شامل یک زمینه فریتی همراه با ترکیبات بین فلزی از آهن و کروم به صورت CrFe می باشد. عملیات کربن دهی موجب نفوذ کربن و همچنین با توجه به شرایط عملیات شامل (دمای عملیات و سرعت سرد شدن بالا) منجر به شکل گیری فازهای مارتنزیتی و آستنیت باقیمانده همراه با ترکیبات کاربیدی سختی از آهن و کربن در ریزساختار نمونه کربن دهی شده گردید. کارت ارائه شده توسط پایگاه داده JCPS به شماره ۰۲۹۸-۰۰-۲۳۳، ۰۰-۱۲۹۲-۱۲۹۲، در انطباق با نتایج XRD می باشد.

۳(۳) بررسی های ریزسختی

نتایج آزمون ریزسختی از زیرلایه و سطح روکش نمونهها در شکل۵ و توزیع سختی از سطح روکش به سمت زیرلایه در شکل۶ ارائه شده است. همانگونه که از شکل ها برداشت می شود، انجام عملیات روکشجوشی و کربندهی موجب افزایش ۳۰۰%~ سختی سطح روکش نسبت به سختی فلزیایه شده است. به طوریکه بیشترین میران سختی برابر با ۲HV ±۸۰۵ برای نمونه کربن دهی شده ثبت گردید که



شكل ع: الكو پراش XRD از سطح روكش با الكترود 1-E 7018 الف) قبل عمليات کربن دهی ب) بعد از عملیات کربن دهی.

به میزان چشمگیری از سختی زیرلایه (HV ۵±۵ HV) بیشتر می باشد. افزایش سختی ایجاد شده در اثر عملیات کربن دهی نسبت به نمونه روکش دهی شده را می توان به تشکیل فازهای بین فلزی و مارتنزیت پر کربن نسبت داد. افزایش سختی با حرکت به نواحی فوقانی روکش، ناشی از کاهش میزان مشارکت فلز پایه (رقّت) در این نواحی از نمونه روکش شده و افزایش میزان نفوذ کربن در قسمت سطحی روکش نمونه کربندهی شده میباشد.

٤(٣) بررسی سایش

روند تغییرات وزن نمونهها حین ازمون سایش در شکل۷ ارائه شده است. با توجه به نتايج حاصله مي توان متوجه تاثير مطلوب عمليات کربندهی در بهبود رفتار سایشی روکش جوشی ایجاد شده (کاهش چشمگیر وزن از دست داده شده) شد. بطوری که روکش ایجاد شده با الكترود E 7018-1، تنها بعد از طي مسافت ٣٠٠ متر با كاهش وزن بسیار زیادی (حدود ۱۰/۳ mg) مواجه گردید. حال آنکه کاهش وزن نمونه کربن دهی شده بعد از طی مسافت ۱۰۰۰ متر کمتر از mg² بود. از نکات قابل توجه در این نمودار می توان به کاهش شیب کاهش وزن نمونهی کربن دهی شده، با انجام سایش اشاره نمود. علت این را می توان ناشی از استحاله آستنیت به مارتنزیت و تغییر شکل پلاستیک ایجاد شده در سطوح سایش دانست. بعبارت دیگر تغییر فرم ایجاد شده حین مراحل ابتدایی سایش موجب کارسختی و در نتیجه افزایش سختی سطحی می گردد. انجام استحاله آستنیت به مارتنزیت و وقوع



شکل ٦: نمودار سختی بر حسب فاصله از سطح روکش به سمت فلز پایه.

نشریه علمی پژوهشی مواد پیشرفته و پوششهای نوین ۲۹() ۲۹۷)

کارسختی در طی آزمون سایش توسط محققین دیگرنیز ارائه شده است [۱۴و1۵].

۵(۳) بررسی مکانیزم سایش

از عوامل موثر در ضریب اصطکاک میتوان به سطح تماس واقعی بین پین و سطح روکش اشاره نمود. افزایش سختی در سطح روکش نمونه کربندهی شده موجب ایجاد کمترین میزان ضریب اصطکاک (میانگین ۲۰/۴~) در این نمونه شده است (شکل۸–الف). در مقابل سختی کمتر در نمونه روکش کاری شده با 1-2018 منجر به نفوذ بیشتر پین در سطح روکش و تماس بیشتر پین با روکش مذکور و در نتیجه ایجاد ضریب اصطکاک بیشتر (میانگین ۲/۸~) میشود (شکل۸–ب).

جهت بررسی بهتر و تشخیص ساز و کار غالب سایش در هر نمونه، مسیر سایش و ذرات سائیده شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. (شکل۹-الف). تصویر SEM از سطح خیش خورده روکش نمونه کربندهی شده با پهنای کم را نشان



وجود شیارهای پهنتر و عمیقتر در سطح نمونه روکش کاری شده با الکترود I-8015 ع در مقایسه با نمونه کربن دهی شده (شکل۹-ج) مبین یک حالت شخم زدگی در سطح حین سایش میباشد که از دلایل اصلی آن میتوان به پایین بودن میزان سختی روکش اشاره کرد. جدا شدن ورقهای ذرات ساییده شده و همچنین لایههای ورقهای شکل باقیمانده در سطح سایش دلالت بر مکانیزم ورقهای سایش در این نمونه دارد.



شکل ۷: نمودار کاهش وزن نمونه ها بعداز طی مسافت سایشی m



شكل 4: تصوير ميكروسكوب الكترونى روبشى از سطوح سائيده شده و ذرات حاصل از سايش نمونه كربن دهى شده (الف و ب) و نمونه 1-E7018 (چ و د).



شکل ۸: تغییرات ضریب اصطکاک بین پین و سطح روکش نمونههای الف) نمونه کربندهی شده ب) نمونه روکشی با 1-E 7018

٤) نتيجه گيري

با بررسیهای انجام گرفته در رابطه با عملیات کربوراسیون بر روکش جوشی جهت بازسازی قطعات صنعتی ساخته شده از فولاد DIN-25CrM04 مشخص شده که:

 ۱- از مزایای مهم بازسازی قطعات صنعتی به روش لایه گذاری با الکترود E 7018-1 می توان به سختی کم و در نتیجه ماشین پذیری مطلوب برای ایجاد هندسه مورد نظر در نمونه اشاره نمود.

۲- حداکثر سختی در سطح روکش ایجاد و کاهش سختی با افزایش فاصله از سطح لایه روکش به سمت زیرلایه را میتوان به علت مشارکت سطح زیر لایه در لایه روکش نسبت داد.

۳- مطالعات فازی XRD حکایت از تشکیل فاز مارتنزیت و ترکیبات کاربیدی از آهن و کربن در نمونه کربن دهی شده دارد.

۴- عملیات کربوراسیون منجر به افزایش ۸۵درصدی سختی سطح فلز جوش (HV ۵±۵۲۷ به HV ۵±۵۰۸) نسبت به سختی این سطح قبل از عملیات کربندهی شد

mg/mj) نرخ سایش (از mg/m) ۵۵% نرخ سایش (از mg/m) سرم ۵۶% نرخ سایش (از mg/m) شده با ۰/۰۰۳۲ به ۲۰۱۸ mg/m ۱۰/۰۰۱۸ نسبت به نمونه لایه گذاری شده با الکترود 1-7018 E شده که دلیل آن را می توان ناشی از شکل گیری فاز سخت مارتنزیت در زمینه دانست که مانع از نفوذ پین در سطح روکش می شود.

تشکر و قدر دانی

نویسندگان مراتب قدردانی و تشکر خود را از مدیریت محترم شرکت الکترود یزد جناب مهندس عسگری، اعضای محترم پژوهشی شرکت الکترود یزد آقایان دکتر فاخری، مهندس عمانی و مهندس راستی به پاس همکاری در انجام پژوهش حاض اعلام میدارند.

٥) مراجع

[1]. Sapate, S. G., and A. V. RamaRao. "Erosive wear behaviour of weld hardfacing high chromium cast irons: effect of erodent particles." Tribology International 39, no. 3 (2006): 206-212.

[2]. de Melo, Anderson CA, Júlio César G. Milan, Márcio B. da Silva, and Álisson R. Machado. "Some observations on wear and damages in cemented carbide tools." Mechanical Sciences and Engineering 28, no. 3 (2006): 269-277.

[3]. Spittel, M., and T. Spittel. "Steel symbol/number: 25CrMo4/1.7218." Metal Forming Data of Ferrous Alloys-deformation behavior "Springer, Berlin, Heidelberg 32, (2009): 1038-1043.

[۴] رحیمی، ا. "تعمیر ابزارها و قالب های تحت سایش"، انتشارات جهان جام جم، چاپ اول، ص ص ۱۱۲–۱۱۳، سال ۱۳۹۳.

[۵]. کامنیچینی، ای. ر، شکری، "کاربرد و عملیات حرارتی فولادها" مرکز نشر دانشگاهی، ص ص ۱۵۳–۱۵۵، سال ۱۳۶۶.

[۶] تامسون، ا. رحیمی، ا. "تعمیر ابزارها و قالب های تحت سایش به روش جوشکاری با ۲۹۳.
۳۹۳. سال ۱۳۹۳. (MIG,MAG,TIG) "انتشارات جام جم، ص ص ۲۴۱–۲۴۳، سال ۱۳۹۳.
[7]. Kirchgaßner, M., Badisch, E., & Franek, F. (2008). Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact. Wear, 265(5-6), 772-779..

[8]. Handbook, AWS Welding. "Welding Processes–Arc and Gas Welding and Cutting, Brazing, and Soldering." Miami: American Welding Society, vol. 7, pp. 235-241, 2008

[۹]، علمی حسینی، ر. خسروی، ح."بررسی تاثیر مقدار کربنات سدیم به عنوان ماده انرژی زا بر عمق لایه کربوره فولاد کم کربن ۱٬۵۹۲۰ "، فصل نامه علمی پژوهشی مهندسی مواد مجلسی، سال ۳، شماره ۲، ص ص ۳۷–۴۵، پاییز ۱۳۸۸

[۱۰]. علمی حسینی، ر. خسروی، ج. قادری، ا. "بررسی تاثیر هوای اضافی و فعال ساز بر عمق سختی در فرآیند کربن دهی جامد فولاد DIN 18CrNi8"، فصل نامه علمی پژوهشی مهندسی مواد مجلسی، سال ۳، شماره ۴، ص ص ۶۶–۶۲(مستان، ۱۳۸۸

[11]. Selvi, S., S. P. Sankaran, and R. Srivatsavan. "Comparative

study of hardfacing of valve seat ring using MMAW process." Journal of materials Processing technology 207, no. 1-3 (2008): 356-362

[١٢]. عظیمی، ق.شمعانیان، م. "روکش کاری فولاد ساده کربنی با الکترودهای پرکروم، وارزیابی ریزساختارو رفتار سایشی روکش ". فصل نامه علوم مهندسی سطح، سال ۴، شماره ۶۰ ص ص-۸۲ ۷۵. زمستان ۱۳۸۷.

[13]. Coronado, John J., Holman F. Caicedo, and Adolfo L. Gómez. "The effects of welding processes on abrasive wear resistance for hardfacing deposits." Tribology International 42, no. 5 (2009): 745-749.

[14]. Mendez, Patricio F., Nairn Barnes, Kurtis Bell, Steven D. Borle, Satya S. Gajapathi, Stuart D. Guest, Hossein Izadi, Ata Kamyabi Gol, and Gentry Wood. "Welding processes for wear resistant overlays." Manufacturing Processes 16, no. 1 (2014): 4-25

[15]. Wang, X. H., F. Han, X. M. Liu, S. Y. Qu, and Z. D. Zou. "Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of Fe-based hardfacing coatings." Materials Science and Engineering: A 489, no. 1-2 (2008): 193-200.

www.SID.H