

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



PROPOSAL

پروپوزال

مركز آموزش پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی



مركز آموزش روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی

کارگاه آنلاین روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی



ISI Scopus

مركز آموزش آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترکیه های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترکیه های جستجو



هفتمین سمینار ملی مهندسی سطح و عملیات حرارتی  
۲۶ و ۲۷ اردیبهشت ماه ۸۵  
دانشکده مهندسی مواد- دانشگاه صنعتی اصفهان

## بررسی نقش آلیاژسازی سطحی فولاد AISI 1045 با کرم توسط فرآیند TIG بر خواص سایشی

**محسن جمالی، حیدر مقیمی و عباس هنر بخش رنوف**

دانشگاه سمنان

**محمود حیدرزاده سهی**

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه تهران

یکی از روش‌های سخت کاری سطحی فولادها آلیاژسازی سطحی توسط فرآیند TIG است. این روش یکی از روش‌های بهبود خواص سطحی، بدون تغییر خصوصیات زیرلایه است. آلیاژسازی از طریق افزودن عنصر آلیاژی مدنظر قبل و یا در حین ذوب سطحی انجام می‌شود. در این پژوهش آلیاژسازی سطحی فولاد AISI 1045 به وسیله قوس تنگستنی و گاز محافظ آرگون (TIG) و به وسیله پودر فروکرم پرکربن انجام شد و تاثیر آن روی خواص مکانیکی سطح نیز مورد بررسی قرار گرفت. سطوح آلیاژسازی شده توسط میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی (SEM) و (EDS) و پراش سنجی پرتو X مورد بررسی قرار گرفت و آنالیز عنصری از قسمت‌های مختلف آن گرفته شد. سپس نواحی آلیاژسازی شده تحت ریزسختی سنجی قرار گرفت. ذوب سطحی و آلیاژسازی باعث ایجاد یک لایه سطحی حاوی کاربیدهای سخت کرم (M7C3) و آستنیت پرکرم ( $\gamma$ ) شد که موجب تاثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش سختی سطح شد. این لایه مقاومت به سایش بسیار بالاتری نسبت به فولاد اولیه داشت. همچنین با افزایش میزان عناصر آلیاژی در حوضچه مذاب، سختی سطحی افزایش بیشتری نشان داد.

واژه‌های کلیدی: TIG، آلیاژسازی سطحی، کرم، سخت کاری سطحی، مقاومت به سایش

### مقدمه

فولادهای ساده کربنی کاربرد فراوانی در ساخت قطعات دارند، زیرا خواص مکانیکی و قابلیت ماشینکاری مناسبی دارند. از مهمترین عیوب این دسته از آلیاژها مقاومت کم آنها در برابر سایش و خوردگی است. برای این منظور، فولادهای ساده کربنی اغلب تحت عملیات سطحی قرار می‌گیرند. یکی از روشهای بهبود خواص سطحی فولادها، ذوب و آلیاژسازی سطحی آنها توسط پرتوهای پرنرژی لیزر و الکترونی است. مواد مختلفی برای آلیاژسازی سطحی به حوضچه مذاب اضافه می‌شود. عناصر آلیاژی همچون کرم، کبالت، کربن و مولیبدن از جمله این عناصر هستند [۴-۱]. همچنین کاربیدهایی نظیر SiC، Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>، WC، TiC و B<sub>4</sub>C نیز به هنگام ذوب سطحی جهت بهبود مقاومت به سایش به حوضچه مذاب اضافه شده اند [۷-۵]. انتخاب این مواد آلیاژی به کاربرد آنها بستگی دارد. کرم از جمله مهمترین عناصر آلیاژی است که برای آلیاژسازی و افزایش خواص مکانیکی می‌توان به سطح فولادها اضافه نمود. فروکرم پرکربن علاوه بر کرم دارای کربن است که باعث افزایش کربن و در نتیجه ایجاد کاربید کرم در سطح می‌گردد و افزایش سختی و مقاومت به سایش را به همراه دارد.

یکی از روشهایی که در سالهای اخیر برای ایجاد لایه های سطحی مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از قوس TIG است [۸]. البته لایه های ایجاد شده در این روش با لایه های ایجاد شده توسط پرتوهای پرنرژی (پرتولیزر و پرتوالکترونی) کمی با هم تفاوت دارند. بعنوان مثال لایه ایجاد شده در روش TIG دارای ضخامتی در حدود دوبرابر ضخامت لایه ایجاد شده در روشهای پرتوالکترونی و لیزر است. در این پژوهش از پودر فروکرم پرکربن جهت آلیاژسازی سطحی فولاد AISI 1045 استفاده گردید. انرژی لازم برای ذوب و آلیاژسازی نیز توسط قوس TIG تامین شد. سپس سطوح آلیاژسازی شده تحت آزمایش ریزسختی سنجی و سایش قرار گرفتند. در پایان نیز سطوح توسط SEM و EDS و پراش سنجی پرتو X تحت مطالعه ریزساختاری و عنصری قرار گرفتند.

### مواد و روش تحقیق

فولاد مصرفی در این آزمایش فولاد ساده کربنی AISI 1045 است. نمونه های مورد نظر در ابعاد 60×40×10mm برش داده شد و سطح آن توسط سنگ مغناطیس مسطح گردید. سپس سطح نمونه ها توسط الکل و استون تمیز شد تا اکسیدها و چربیها از سطح نمونه ها پاک شوند. از پودر فروکرم پرکربن با اندازه دانه تقریباً 10 میکرون جهت آلیاژسازی استفاده گردید. ترکیب شیمیایی فروکرم پرکربن مورد نظر در جدول ۱ آمده است. جهت تثبیت پودر فروکرم پرکربن بر روی نمونه ها، پودر با حداکثر 20 درصد وزنی چسب سیلیکات سدیم مخلوط گردید و روی سطح نمونه ها قرار گرفت. سپس نمونه ها در دمای 2000C به مدت یکساعت قرار گرفتند تا خشک شوند و گاز آنها خارج شود. در این آزمایش از نمونه هایی با دو نوع ضخامت لایه سطحی پودر 0.7 و 1.2 میلیمتر استفاده گردید.

جوشکاری با استفاده از جریان مستقیم (DCEN) انجام گردید. الکتروود مورد استفاده از نوع الکتروود غیر مصرفی تنگستنی با دو درصد توریم و با قطر 2.4mm بود. گاز محافظ مصرفی از نوع آرگون با خلوص 99.999 درصد بود که با دبی 9 لیتر بر دقیقه از حوضچه ذوب محافظت می کرد. از یک میز X-Y برای آلیاژسازی استفاده شد که نمونه بر روی آن قرار گرفته و سرعت آن در جهت x و y قابل تنظیم بود. همچنین یک قطعه مسی با ابعاد 120×60×20mm جهت یکنواختی در انتقال حرارت در حین آلیاژسازی بعنوان پشت بند استفاده گردید. در این آزمایش فاصله نوک الکتروود و نمونه 2mm بود که تقریباً یکسان نگه داشته شد.

در حین آلیاژسازی سطحی با تغییر سرعت میز X-Y و شدت جریان، حالت بهینه عمق و عرض خط جوش بدست آمد. نمونه ها تحت آزمایش ریزسختی سنجی و یکرز با نیروی 0.2 Kg قرار گرفتند. جهت بررسی خواص سایشی نمونه ها از دستگاه سایش پین روی دیسک در دمای اتاق و در حالت خشک استفاده شد. در این آزمایش از فولاد AISI 52100 به صورت کوئچ و تمپر و با سختی 60HRC بعنوان دیسک استفاده گردید. مسافت سایش 1000m و فشارهای اعمالی 20N و 40N و 60N بود. پس از هر مرحله از سایش، میزان کاهش وزن نمونه ها توسط ترازویی با دقت 0.0001gr اندازه گیری گردید. نمونه ها توسط محلول نایتال 2% اچ شدند و توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی شدند و توسط EDS درصد عناصر آلیاژی در نواحی مختلف آنها بررسی شد. در مرحله پایانی نیز نمونه ها توسط پراش سنجی پرتو X فاز شناسی شدند.

### یافته ها و بحث

قوس بین الکتروود تنگستن و سطح پوشش داده شده، تشکیل می شود و حرارت ایجاد شده باعث ذوب فلز پایه و لایه پودر شده و در نتیجه اختلاط آنها، لایه آلیاژی در سطح نمونه تشکیل می شود. روش کار آلیاژسازی به طور شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است. مناطق آلیاژسازی شده فاقد مکهای گازی و ناخالصی و ترک بودند. پس از آلیاژسازی نمونه ها تحت پراش پرتو X قرار گرفتند تا فازهای موجود در این ناحیه تعیین شوند (شکل ۲). همانطور که مشاهده می شود فازهای موجود در ساختار، کاربیدهای M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> و آستنیت پرکرم هستند. ترکیب آلیاژ مورد مطالعه در سیستم Fe-Cr-C در محدوده آلیاژهای هیپویوتکتیک است [۹].

چگونگی پیشرفت انجماد در این آلیاژها با توجه به شمای دوبعدی خطوط لیکیدوس از دیاگرام سه تایی آهن-کرم-کربن قابل پیش بینی است (شکل ۳). در این دیاگرام علامت گذاشته شده نشان دهنده ترکیب تقریبی آلیاژهای مورد بررسی است. همانطور که مشاهده می شود، در این دیاگرام بر روی خط مذاب AB واکنش یوتکتیک دو تایی  $l \rightarrow \gamma + M_7C_3$  انجام می گردد. با توجه به میزان کرم و کربن در لایه

آلیاژسازی شده، ابتدا آستنیت اولیه به صورت دندریتی تشکیل می گردد و سپس مذاب باقیمانده توسط واکنش یوتکتیک که در بالا اشاره گردید به مخلوطی از آستنیت و کاربیدهای M7C3 تبدیل می شود. M در این کاربیدها فلز کرم به همراه مقدار کمی آهن است. در آلیاژسازی سطحی، فروکرم پرکربن با حوضچه مذاب بطور کامل مخلوط گردیده و یک توزیع تقریباً یکنواخت از عنصر کرم در این ناحیه ایجاد می شود. این موضوع در جدول ۲ ارایه شده است. عمق و عرض مناطق آلیاژسازی شده براساس گرمای ورودی از طریق TIG نیز تعیین گردید. اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه گرمای ورودی در جدول ۳ ارایه شده است. رابطه ۱ معادله استناد شده برای محاسبه گرمای ورودی را نشان می دهد [۱]:

$$(1) \quad \text{KJ mm-1} = \frac{0.48 \times \text{ولتاژ} \times \text{شدت جریان}}{\text{سرعت جوشکاری}} = \text{گرمای ورودی}$$

جدول ۳ تاثیر گرمای ورودی بر عمق و عرض نواحی آلیاژسازی شده را نشان می دهد. مشاهده می شود که با افزایش گرمای ورودی عمق و عرض ناحیه آلیاژسازی شده افزایش می یابد. شکل ۴ تغییرات سختی در منطقه ذوب سطحی شده را برای گرماهای ورودی مختلف نشان می دهد. در این نمونه ها ضخامت پودر قبل از ذوب سطحی 1.2 mm بود. با توجه به شکل ۴ مشاهده می شود که با افزایش گرمای ورودی ابتدا سختی افزایش یافته و سپس کاهش می یابد. در نمونه ۲ سختی بدست آمده پایین است. دلیل آن، پایین بودن گرمای ورودی و در نتیجه پایین بودن میزان انحلال کرم در حوضچه مذاب است. با افزایش گرمای ورودی انحلال کرم در حوضچه مذاب بیشتر می شود و سختی بالا می رود (نمونه های ۳ و ۴). افزایش بیشتر گرمای ورودی باعث کاهش سرعت انجماد می گردد و سختی دوباره کاهش می یابد (نمونه ۵). پس از تعیین شرایط بهینه، این آزمایش با همان شرایط بر روی نمونه ای با ضخامت پودر اولیه 0.7mm هم انجام شد. شکل ۵ پروفیل سختی بدست آمده برای دو ضخامت متفاوت پودر را به صورت مقایسه ای نشان می دهد. همانطور که از شکل ۵ استنتاج می شود، افزایش پودر کرم باعث افزایش میزان کرم در حوضچه مذاب شده (جدول ۲) و با توجه به شکل ۳ افزایش میزان کرم باعث کاهش میزان فاز آستنیت پرویوتکتیک می شود و در نتیجه درصد ساختار یوتکتیک را افزایش می دهد و چون ساختار یوتکتیک دارای سختی بالاتری نسبت به آستنیت اولیه است، در نتیجه سختی کل نیز بالاتر می رود. با افزایش میزان کرم دندریتها باریکتر و فاصله بین دندریتی افزایش می یابد که در نتیجه باعث افزایش میزان سختی می گردد. البته این مطلب از مقایسه میان شکل های ۶ و ۷ نیز بدست می آید.

نتایج حاصل از آزمون سایش در شکل ۸ نشان داده شده است. آزمایش سایش بر روی نمونه ۴ انجام گردید، زیرا این نمونه دارای مناسب ترین پروفیل سختی بود. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می گردد، با

ایجاد لایه های پر کرم در سطح نمونه ها سختی بطور چشمگیری افزایش می یابد. با افزایش نیرو در این آزمایش میزان کاهش وزن در نمونه های آلیاژی سازی شده بطور خطی افزایش می یابد که احتمالاً نشان دهنده این نکته است که با افزایش فشار تغییری در مکانیزم سایش ایجاد نشده است. شکل ۹ سطح سایش بدست آمده از یکی از این نمونه ها را نشان می دهد. مکانیزم اصلی سایش اکسیداسیون است. در اثر تشکیل فیلم اکسیدی، سطوح لغزش از یکدیگر جدا شده و باعث کاهش نرخ سایش و ضریب اصطکاک در این منطقه می شود. البته نقشه اکسیژن گرفته شده از سطح نیز این موضوع را تایید میکند (شکل ۹). حرارت ایجاد شده در اثر اصطکاک، منبع تعیین کننده دمای سطوح سایش است. با توجه به اینکه آزمایش سایش در دمای محیط انجام شده است می توان نتیجه گرفت که حرارت ناشی از اصطکاک، دمای سطح سایش را تعیین می کند. همچنین طبق رابطه ۲ با افزایش نیروی اعمالی و سرعت لغزش، حرارت ایجاد شده در سطح افزایش می یابد [۱۰].

$$Q = \mu W V \quad (2)$$

در این رابطه  $Q$  نرخ حرارت ایجاد شده،  $\mu$  ضریب اصطکاک،  $W$  نیروی اعمالی و  $V$  سرعت لغزش است. این افزایش دما در حالت کلی می تواند دو اثر متناقض بر روی سیستم سایشی اعمال می کند. اثر اول کاهش استحکام و افزایش نرمی است که باعث افزایش سایش می شود. همچنین اثر دیگر افزایش دما، افزایش نرخ اکسیداسیون در سطح سایش است که می تواند باعث تشکیل فیلم اکسیدی پایدار در سطح شود. تشکیل فیلم اکسیدی در سطح سایش باعث کاهش تماس فلز با فلز شده و در نتیجه نرخ سایش و ضریب اصطکاک را کاهش می دهد [۱۰].

### نتیجه گیری

- ۱- افزودن فرو کرم پر کربن به حوضچه مذاب در حین آلیاژی سازی سطحی فولاد AISI 1045 باعث افزایش سختی در لایه سطحی به میزان بیش از چهار برابر می گردد.
- ۲- گرمای ورودی مهمترین فاکتور در آلیاژی سازی است. گرمای ورودی را باید طوری تنظیم نمود که انحلال کرم بطور کامل صورت گیرد و انجماد در حداقل زمان انجام شود تا سختی بدست آمده بیشترین مقدار باشد.
- ۳- افزایش ضخامت لایه پودری موجب افزایش میزان درصد کرم را در ناحیه آلیاژی می گردد. با افزایش میزان کرم میزان فاز یوتکتیک در ساختار بالاتر رفته و موجب افزایش سختی می گردد.
- ۴- آلیاژی سازی سطحی باعث افزایش مقاومت به سایش در لایه های سطحی تا بیش از ۲۵ برابر می گردد.

مراجع

- [1] S.o.Yilmaz, "Wear behavior of gas tungsten arc deposited FeCrC, FeCrSi, and WCo coatings on AISI1018 steel", *Surface & Coatings Technology*, 194, 2005, 175–183.
- [2] D.Peidao, Liu Jianglong, Shi Gongqi, Zhou Shouze, " Laser surface alloying of steel with cobalt", *Journal of Materials Processing Technology*, 1996, 58, 131-135.
- [3] A.I.Katsamas, G.N.Haidemenopoulos, "Laser –beam carburizing of low alloy steels", *Surface and Coating Technology*, 2001 , 139, 183-191.
- [4] J.Dutta Majumdar, I. Manna, " Laser surface alloying of AISI 304 stainless steel with molybdenum for improvement in pitting and erosion–corrosion resistance", *Materials Science and Engineering A267* , 1999, 50–59.
- [5] G.Thawari, G. Sundararajan, S.V.Joshi , " Laser surface alloying of medium carbon steel with SiC ", *Thin solid films* , 2003, 423, 41-53.
- [6] M.Bamberger, "Laser surface hardening of structural ferrous alloys", *International of Materials Reviews*, 1998, 43, 5, 189-203.
- [7] C.Tassin, F.Laroudie, M.pons, L.Lelait, " Carbide-reinforced coating on AISI 316L stainless steel by laser surface alloying", *Surface and Coating Technology*, 76-77, 1995, 450-455.
- [8] S.A.Rizvi, T.I.Khana, " Investigating the change in wear behaviour of a tool steel after surface melting and gaseous alloying", *Tribology International*, 32, 1999, 567–574.
- [9] D.R.F.West, "Ternary equilibrium diagrams", 1992, London, Chapman & Hall.
- [10] I.M. Hutchings, "Tribology: Friction and wear of engineering materials", Department of materials science and metallurgy, University of Cambridge, 1992.

Archive of SID

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



PROPOSAL  
پروپوزال

پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

دکتره تبریزی

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی



روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی

دکتره تبریزی

کارگاه آنلاین  
روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی



ISI  
Scopus

آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

دکتره تبریزی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو