

اثر شات پینینگ بر روی خواص لایه سطحی و رفتار خوردگی خستگی آلیاژ آلومینیم 7075-T6 در محیط آب دریا

ابوالفضل خضری، محمود حاجی صفری

گروه مهندسی مواد و متالورژی صنعتی، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

(دریافت مقاله ۹۵/۰۶/۲۰- پذیرش مقاله : ۹۶/۰۱/۳۰)

چکیده

عملیات شات پینینگ نوعی عملیات سطحی بوده که طی آن با پرتاب ساچمه‌هایی بر روی سطح فلز تغییر شکل پلاستیک ایجاد شده و تنش‌های پسماند فشاری در لایه‌های زیر سطح اعمال می‌شود. از طرفی آلیاژهای آلومینیم به دلیل داشتن نسبت استحکام به وزن بالا و مقاومت به خوردگی مناسب نسبت به فلزات دیگر کاربردهای فراوانی را در صنایع دریایی دارند. هدف از این مقاله بررسی اثر شات پینینگ بر روی خصوصیات لایه‌های سطحی از قبیل زبری، سختی لایه‌های سطحی و همچنین اثر تنش‌های پسماند فشاری ایجاد شده بر روی رفتار خوردگی خستگی آلیاژ آلومینیم 7075-T6 در محیط آب دریا است. برای این منظور، سطح نمونه‌های آلومینیمی آماده شده تحت پرتاب ساچمه‌ها قرار گرفته و تغییر شکل پلاستیک در سطح ایجاد شد. در لایه‌های زیر سطحی تنش‌های پسماند تشکیل گردید. سختی لایه‌های سطحی و زبری سطحی توسط دستگاه‌های میکروسختی و زبری سنج اندازه‌گیری شد. همچنین نمونه‌های پولیش شده و شات پینینگ شده تحت آزمون خوردگی خستگی چرخشی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده از این تحقیق افزایش سختی لایه‌های سطحی، افزایش زبری سطحی، افزایش عمر و استحکام خوردگی خستگی آلیاژ را در اثر برخورد ساچمه‌ها و اعمال تنش‌های پسماند فشاری ناشی از عملیات شات پینینگ در مقایسه با نمونه‌های پولیش شده، نشان داد. واژه‌های کلیدی: شات پینینگ، آلیاژ آلومینیم 7075-T6، خوردگی خستگی، سختی لایه‌های سطحی، زبری سطحی.

The Effect of Shot Peening on Surface Layer Properties and Corrosion Fatigue Behavior of 7075-T6 Aluminum Alloy in Sea Water

Abolfazl Khezri, Mahmoud Hajisafari

Department of Metallurgy and Materials Engineering, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

(Received 10 September 2016, accepted 19 April 2017)

Abstract

Shot peening as a surface treatment is a process that by bombardment of shots on the metal surface, creates plastic deformation and compressive residual stresses beneath the surface. On the other hand, aluminum alloys for having high strength against weight ratio and good corrosion resistance, as compared to other metals, is utilized in sea industries. The present paper investigates the effect of shot peening on the surface layers properties such as surface roughness, surface layers hardness, and the effect of formed compressive residual stresses on behavior of corrosion fatigue of 7075-T6 aluminum alloy in sea environment. For this purpose, surface of the aluminum specimens were prepared under the tossed balls and plastic deformation on the surface was created. The residual stresses in the subsurface layers were formed. Roughness and hardness of the surface layer was measured by micro hardness and roughness tester machine. The polished and shot peening specimens under the rotating fatigue corrosion are tested. The obtained results by the research show the increase of surface layers hardness, surface roughness, corrosion fatigue life time, and strength of the alloy by shot clashes and compressive residual stresses resulting from shot peening process compared to polishing specimens.

Keywords: shot peening, 7075-T6 aluminum alloy, corrosion fatigue, compressive residual stresses, surface layers hardness, surface roughness.

E-mail of Corresponding author: hajisafari1001@iauyazd.ac.ir.

مقدمه

محیط‌های خوردنده مستعد به تشکیل حفره^۳ های سطحی بوده و در اثر بارگذاری سیکلی ترک خستگی می‌تواند از این حفرات شروع و اشاعه یابد. این امر سبب کاهش مقاومت به خوردگی خستگی^۴ این آلیاژ می‌گردد. پارامترهای مختلفی بر روی رفتار خوردگی این آلیاژ اثر گذاشته که می‌توان به غلظت محیط خوردنده، دما، pH اشاره نمود [۹، ۶، ۷].

K.K. Sankaran و همکارانش در سال ۲۰۰۱ اثر خوردگی حفره‌ای را بر رفتار خستگی آلیاژ 7075-T6 مورد بررسی قرار دادند. خوردگی حفره‌ای عمر خستگی را در این آلیاژ ۶ تا ۸ برابر کاهش داد. خوردگی حفره‌ای بشدت می‌تواند روی جوانه‌زنی و رشد ترک خستگی اثر گذاشته و باعث افزایش سرعت شروع و رشد ترک در یک محیط خوردنده و نیز کاهش عمر خستگی شود [۹].

Libor Trsko و همکارانش در سال ۲۰۱۴ عمر خستگی آلیاژ آلومینیم 7075 را پس از عملیات شات پینینگ با شدت‌های مختلف مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که با انجام عملیات شات پینینگ با شدت آلمن 9.6N، استحکام خستگی این آلیاژ در تعداد 5×10^7 سیکل از ۱۷۶ مگاپاسگال به ۱۹۰ مگاپاسگال افزایش می‌یابد [۱۰].

در تحقیق حاضر یک سری آزمایشات برای مطالعه و بررسی اثرات شات پینینگ بر روی نمونه‌های تهیه شده از آلیاژ آلومینیم 7075-T6 انجام پذیرفت. رفتار خوردگی خستگی این آلیاژ قبل و بعد از عملیات شات پینینگ در محیط آب دریا مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. یکی از جنبه‌های نوآوری در این پژوهش، انجام همزمان آزمون خستگی و خوردگی است. طی مطالعه و بررسی‌های انجام شده بر روی پژوهش‌های قبلی صورت گرفته در خصوص رفتار خوردگی خستگی آلیاژهای آلومینیم مشخص شد که در تمامی تحقیقات انجام شده پس از

شات پینینگ^۱ یک عملیات کار سرد است که در آن بوسیله برخورد ساچمه‌های ریز کروی بر روی سطح قطعات، تنش‌های پسماند فشاری ایجاد می‌شود [۲، ۱]. در طول فرآیند ساچمه‌زنی، هر دانه از ساچمه در برخورد با قطعه بعنوان یک چکش کوچک عمل می‌کند. علت ایجاد تنش فشاری این است که ناحیه ضربه دیده دچار تغییر فرم پلاستیکی می‌شود ولی ماده اطراف آن ناحیه که در حالات الاستیکی است سعی در مهار و برگرداندن آن به حالت اولیه را دارد در نتیجه یک تنش باقیمانده فشاری^۲ ایجاد می‌شود [۲، ۱]. بسته به نوع ذرات، قطر ذرات، فشار و سرعت جریان ذرات و مدت زمان عملیات پاشش ذرات، حداکثر تنش فشاری می‌تواند به نصف استحکام تسلیم ماده برسد [۲، ۱]. در بین آلیاژهای آلومینیم، سری ۷۰۰۰ بالاترین استحکام کششی و خستگی را در بین سایر گروه‌ها داشته و با توجه به قابلیت عملیات حرارتی بر روی آن‌ها، استحکام این گروه افزایش یافته و تقریباً با فولادهای ساختمانی برابری می‌کند [۳]. یکی از معایب این گروه از آلیاژهای آلومینیم، پایین بودن مقاومت به خوردگی آن‌ها در مقایسه با گروه‌های ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ بوده و کاربرد این گروه را در محیط‌های خوردنده محدود می‌سازد [۵، ۴]. آلیاژ آلومینیم 7075-T6 یکی از پرکاربردترین گرید آلیاژهای آلومینیم بوده که در طبقه‌بندی آلیاژهای آلومینیم - روی - منیزیم - مس قرار گرفته و در بردارنده مقدار زیادی ذرات بین فلزی در ریزساختار خود است [۳]. وجود ذرات تشکیل شده از قبیل Al_7Cu_2Fe ، $Al_2_3CuFe_4$ ، Al_2CuMg در ریز ساختار این آلیاژ و داشتن اختلاف پتانسیل الکتروشیمیایی بین این ذرات و فاز زمینه بر روی مقاومت به خوردگی این آلیاژ اثر گذاشته و موجب کاهش مقاومت به خوردگی این آلیاژ می‌شود [۱۳]. بنحوی که این آلیاژ در

³ Pit

⁴ Corrosion fatigue

¹ Shot peening

² Compressive residual stress

بین رنج ۵۵-۵۰ راکول C بود. جهت انجام پاشش مناسب ساچمه‌ها با سطح نمونه، زاویه نازل با قطعه کار 45° در نظر گرفته شد. فاصله نازل با قطعه کار ۳۰-۴۰ سانتیمتر تنظیم و میزان پوشش‌دهی برای نمونه‌ها ۱۰۰ درصد تعریف گردید. شدت عملیات شات پینینگ بر روی سطح نمونه‌ها بر مبنای عدد 10A آلمن^۵ انجام شد. نحوه محاسبه این شدت بوسیله نوار تست آلمن و اندازه‌گیری میزان انحنا ایجاد شده بر روی این نوار در اثر برخورد ساچمه‌ها توسط دستگاه گنج سنج نوار تست آلمن تعیین گردید.

اندازه‌گیری سختی لایه‌های سطحی

بعد از عملیات شات پینینگ بر روی سطح، از سطح مقطع نمونه‌ای تهیه و مانت گردید. سپس نمونه مانت شده جهت انجام تست میکرو سختی پولیش شد. اندازه‌گیری سختی لایه‌های سطحی براساس استاندارد ASTM E384 و توسط دستگاه میکروسختی سنج FUTHER-TECH CROP(Japan) مدل FM700 Series با استفاده از یک فرورنده الماسی هرمی شکل تحت نیروی ۵۰ گرم طی ۵ ثانیه نگهداری، انجام شد. بدین ترتیب اندازه‌گیری سختی لایه‌های زیر سطحی از سطح نمونه شروع و در هر مرحله با فاصله‌ای مشخص به مرکز نمونه ادامه یافت.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیم 7075-T6.

عنصر	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Al
درصد	۰/۳۵	۰/۲۳	۱/۲	۰/۲۲	۲/۲	۰/۲۱	۵/۳	۰/۰۰۳	bal

آماده‌سازی نمونه از آلیاژ مورد نظر، نمونه‌ها در محیط خورنده برای مدت زمان‌های مشخصی قرار گرفته و تحت پیش خوردگی قرار می‌گیرند و سپس نمونه از محیط خورنده بیرون آورده شده و در هوا تحت آزمون خستگی قرار می‌گیرد و نتایج بعنوان اثر محیط خورنده بر خستگی آن آلیاژ ذکر می‌شود.

روش انجام آزمایش

انتخاب مواد

شافتی اکستروود شده با قطر ۲۰ میلیمتر از آلیاژ آلومینیم 7075-T6 تهیه گردید. ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی آن به ترتیب مطابق با جدول‌های شماره (۱) و (۲) است. تعداد ۵۰ عدد نمونه مطابق با ابعاد شکل (۱) جهت انجام تست‌های خوردگی خستگی در امتداد جهت طولی شافت بریده و ماشینکاری گردید. تمامی نمونه‌ها پس از عملیات ماشینکاری بوسیله کاغذ سنباده از شماره ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ میکرون مورد عملیات پولیش‌کاری قرار گرفته و سپس به وسیله پنبه آغشته به خمیر الماسه سطوح نمونه‌ها صیقل داده شد تا اثرات ماشینکاری از بین رفته و سطح عاری از هرگونه شیار و زبری باشد. همچنین جهت مشاهده ریز ساختار این آلیاژ نمونه‌ای از این شافت تهیه و تحت عملیات متالوگرافی قرار گرفت. محلول شناساگر جهت دیدن ریز ساختار این آلیاژ مطابق با استاندارد ASTM E407 و با ترکیب شیمیایی

(2 mL HF, 3 mL HCl, 5 mL HNO₃, 190 mL H₂O)

آماده‌سازی و نمونه اچ گردید.

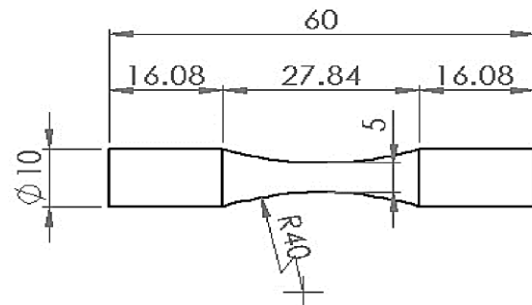
عملیات شات پینینگ

سطح ۲۵ عدد نمونه بوسیله دستگاهی که توسط کمپرسور فشار هوا ساچمه‌ها را به سطح پرتاب می‌کرد، تحت عملیات شات پینینگ قرار گرفت. جهت عملیات شات پینینگ از ساچمه‌های کروم از جنس فولادی و با قطر S230 استفاده گردید. سختی این ساچمه‌ها بطور متوسط

⁵ Almen

جدول ۲. نتایج خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیم 7075-T6.

R _{p02} (Mpa)	R _m (Mpa)	EL A5D%	Z%	Hardness
۵۰۱	۵۵۴	۱۰	۲۳	۱۵۰HB



شکل ۱. ابعاد نمونه جهت آزمون خوردگی خستگی.

در این تحقیق از نسبت تنش $R = -\bar{\sigma}_{min}/\bar{\sigma}_{max}$ $R = -1$ استفاده و نمودار تنش - تعداد سیکل تا شکست (S-N) بر حسب تنش متوسط $\bar{\sigma}_m = (\bar{\sigma}_{min} + \bar{\sigma}_{max})/2$ رسم گردید. اولین سطح تنش اعمالی تقریباً از $\bar{\sigma} = 2/3\bar{\sigma}_{UTS}$ شروع و در هر مرحله حدود 25-30 MPa از سطح تنش قبلی کاسته شد. جهت اطمینان از نتایج بدست آمده در هر سطح تنش، سه نمونه یکسان مورد آزمون قرار گرفته و متوسط عمر خستگی برای این سه نمونه بعنوان عمر خستگی در آن سطح تنش ثبت شد. آزمون‌ها تا مرحله شکست قطعه در هر سطح تنش ادامه یافت و برای تعیین استحکام خستگی آلیاژ تعداد 3×10^6 سیکل بدون شکست تعریف گردید. پس از شکست، نمونه‌ها جهت بررسی شکست‌نگاری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM به آزمایشگاه متالورژی رازی ارسال گردید.

نتایج و بحث

شکل (۲) سطح نمونه را در حالت پولیش شده (الف) و بعد از عملیات شات پینینگ (ب) نشان می‌دهد. همان‌طور که از تصاویر مشخص است در سطح نمونه بعد از انجام عملیات شات پینینگ تغییر شکل پلاستیک ایجاد شده و وجود این تغییر شکل پلاستیک سبب اعمال تنش‌های پسماند فشاری در لایه‌های زیر سطحی می‌شود. تغییر شکل پلاستیک سبب افزایش دانسیته نابجایی‌ها شده و افزایش سختی لایه‌های سطحی را بدنبال دارد.



شکل ۲. سطوح نمونه (الف) سطح نمونه پولیش شده، (ب) سطح نمونه بعد از عملیات شات پینینگ.

اندازه‌گیری زبری سطحی

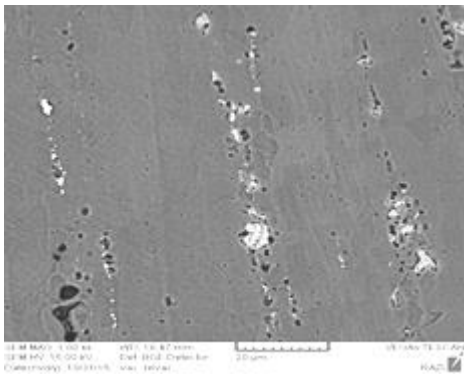
زبری سطح نمونه پولیش شده و سطح نمونه شات پینینگ شده بوسیله دستگاه زبری سنج^۶ MGG با سریال PCV 6720810 و ساخت کشور آلمان اندازه‌گیری شد. نحوه اندازه‌گیری زبری سطح بگونه‌ای است که سطح نمونه به وسیله دستگاه اسکن شده و ارتفاع پستی و بلندی سطح بر حسب میکرون گزارش می‌گردد. اعداد زبری توسط دستگاه به تفکیک طبق استاندارد ISO 13565 , ISO 4287 بیان گردید.

آزمایش خوردگی خستگی

آزمون خوردگی خستگی مطابق با استاندارد ASTM E466 بر روی نمونه‌های پولیش شده و شات پینینگ شده توسط دستگاه MSA 2013 و در حالت بارگذاری دینامیکی چرخشی انجام شد. محیط خورنده برای انجام این آزمون آب دریای خلیج فارس با $pH = 6$ انتخاب شد. فرکانس بارگذاری دینامیکی دستگاه 30 HZ در نظر گرفته شده و دمای محیط آزمایش $27 \pm 1^\circ C$ تنظیم گردید.

⁶ Mahr GmbH Gottingen

گردد. بنابراین عملیات شات پینینگ علاوه بر افزایش عمر و استحکام خستگی نمونه، بعنوان روشی جهت افزایش سختی سطح نمونه بکار می‌رود. لازم بذکر است همانطور که پیش تر اشاره گردید، نمونه‌ها از آلیاژ آلومینیم 7075-T6 تهیه و در حالت پیرسختی شده تحت عملیات شات پینینگ قرار گرفت. نتایج سختی و استحکام کششی نشان داده شده در جدول (۲) بیان کننده آن است که این آلیاژ تحت پیرسختی مصنوعی قرار گرفته است. همچنین در شکل (۳) وجود رسوبات سیاه رنگ در زمینه حاکی از عملیات پیرسختی مصنوعی آلیاژ است، بنابراین تنها دلیل افزایش سختی لایه‌های سطحی مربوط به انجام عملیات شات پینینگ است [۱۲، ۱۵].



شکل ۳. وجود رسوبات در جهت اکستروژن شافت.

جدول ۳. اعداد زبری سطح.

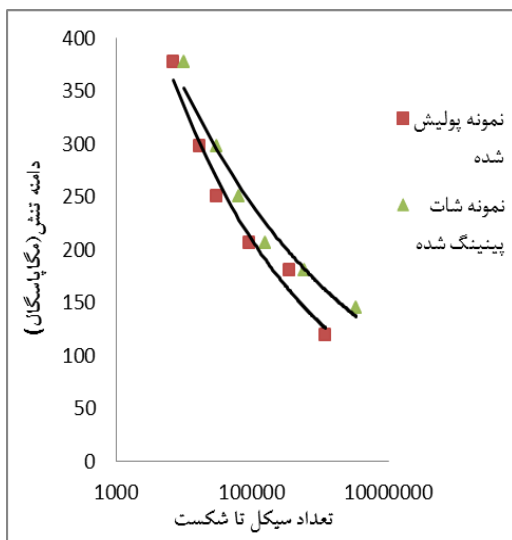
اعداد زبری	$R_a(\mu m)$	$R_z(\mu m)$	$R_q(\mu m)$
نمونه پولیش شده	۰/۱۰۴	۰/۸۹۷	۰/۱۳۷
نمونه شات پینینگ شده	۵/۳۲۲	۳۰/۰۱۲	۶/۹۰۰

با توجه به این که آلیاژهای سری ۷۰۰۰ از نوع آلیاژهای آلومینیم عملیات حرارتی پذیر بوده، لذا با انجام عملیات رسوب سختی استحکام آلیاژ افزایش می‌یابد. در اثر عملیات رسوب سختی مصنوعی با حرارت دادن آلیاژ در دمای $120\text{ }^\circ\text{C}$ و نگهداری در آن دما، رسوبات MgZn_2 تشکیل می‌شود که به جای عنصر روی می‌تواند عناصر آلومینیم و مس جایگزین شود. در شکل (۳) تصویری از وجود رسوبات در ریز ساختار این آلیاژ با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داده شده است. همان‌طور که در تصویر مشخص است ریز ساختار این آلیاژ حاوی یک فاز زمینه و رسوبات در زمینه ساختار و در جهت اکستروژن هستند [۹، ۱۰، ۱۴، ۱۷].

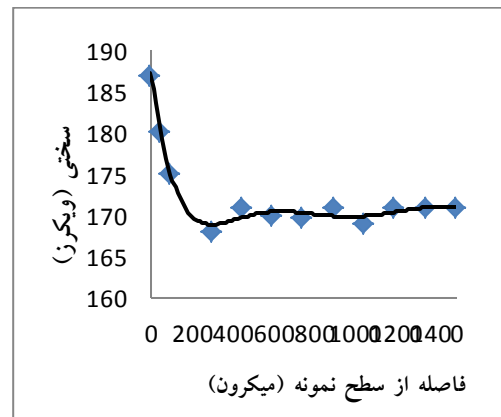
اعداد زبری در جدول (۳) برای سطح نمونه پولیش شده و شات پینینگ شده گزارش گردیده است. همان‌طور که از اعداد گزارش شده مشخص است، بدلیل آن که در حین عملیات شات پینینگ ساچمه‌ها با انرژی جنبشی بالا به سطح برخورد کرده و سبب ایجاد تغییر شکل پلاستیک در سطح می‌شوند، لذا زبری سطح نمونه افزایش می‌یابد [۱۱ و ۱۲].

در شکل (۴) نمودار میکرو سختی لایه‌های سطحی ناشی از عملیات شات پینینگ بر حسب فاصله از سطح نشان داده شده است. بیشترین سختی مربوط به سطح نمونه بوده و برابر 186HV است. با افزایش فاصله از سطح نمونه، چون میزان تغییر شکل پلاستیک و دانسیته نابجایی‌ها کاهش یافته بنابراین از سختی لایه‌های سطحی کاسته می‌شود. با توجه به این که متوسط عدد سختی در عمق نمونه تقریباً 170HV است، لذا در اثر انجام عملیات شات پینینگ سختی سطح نمونه تقریباً ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. بدیهی است هرچه شدت عملیات شات پینینگ افزایش یابد سختی لایه‌های سطحی نیز افزایش می‌یابد. همچنین می‌توان بعد از عملیات شات پینینگ سطح نمونه‌ها را پولیش نمود تا اثرات تغییر شکل پلاستیک از بین رود در حالیکه سختی سطح نمونه حفظ

آلیاژ ناشی از تأثیر قابل توجه تنش‌های پسماند فشاری ایجاد شده طی عملیات شات پینینگ بر روی سطح نمونه و در نتیجه به تأخیر انداختن شروع ترک خستگی و اشاعه آن است. تنش‌های پسماند فشاری سبب کاهش سطح تنش کششی در بارگذاری تناوبی می‌شوند. همچنین ممکن است شروع ترک خستگی از سطح به لایه‌های زیرین سطح منتقل شود. انجام عملیات شات پینینگ نیز سبب افزایش استحکام خوردگی خستگی نمونه می‌شود. لازم بذکر است آلیاژهای آلومینیم حد خستگی مشخصی نداشته و استحکام خستگی برای تعداد مشخصی سیکل در خصوص آن‌ها تعریف می‌شود. استحکام خوردگی خستگی این آلیاژ در حالت پولیش شده برای تعداد 3×10^6 سیکل برابر ۱۲۰ مگاپاسگال است در حالی که با انجام عملیات شات پینینگ استحکام خوردگی خستگی در تعداد 3×10^6 سیکل برابر ۱۳۸ مگاپاسگال است. به بیان دیگر با انجام عملیات شات پینینگ استحکام خوردگی خستگی این آلیاژ ۱۵٪ افزایش می‌یابد.



شکل ۵. نمودار تنش-تعداد سیکل تا شکست (S-N) آزمون خوردگی خستگی (R=1) مربوط به آلیاژ آلومینیم 7075-T6 برای نمونه در حالت پولیش شده و شات پینینگ شده.

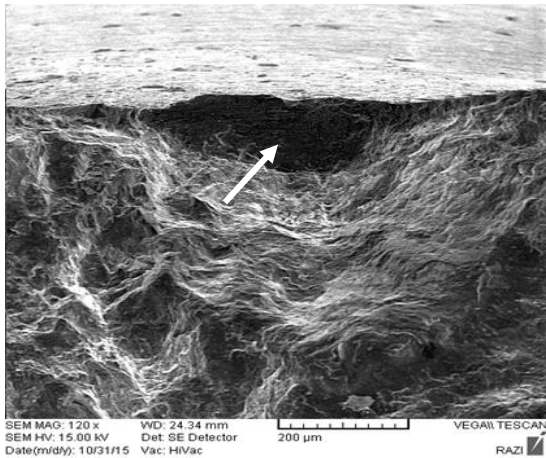


شکل ۴. نمودار میکروسختی بر مبنای فاصله از سطح شات پینینگ شده.

در اثر بارگذاری دینامیکی، شکست خستگی در تنش‌های به مراتب کمتر از تنش نهایی رخ می‌دهد. نتایج آزمون خوردگی خستگی آلیاژ 7075-T6 در محیط خورنده آب دریا و در شرایط قبل و بعد از عملیات شات پینینگ توسط نمودار تنش-تعداد سیکل تا شکست (S-N) در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۵) مشخص است، انجام عملیات شات پینینگ سبب افزایش عمر و استحکام خستگی این آلیاژ می‌شود. بطور مثال تعداد سیکل تا شکست نمونه در تنش 377 Mpa برای این آلیاژ در حالت قبل از انجام شات پینینگ برابر 7×10^3 و برای بعد از انجام شات پینینگ برابر 11×10^3 سیکل است یا عمر خوردگی خستگی آلیاژ 7075-T6 در تنش 251 Mpa و در حالت قبل از شات پینینگ تعداد 2×10^4 بوده در حالی که عمر خوردگی خستگی برای همین آلیاژ در تنش 251 Mpa بعد از عملیات شات پینینگ به تعداد 7×10^4 سیکل افزایش می‌یابد. به بیان دیگر در اثر انجام عملیات شات پینینگ عمر خوردگی خستگی این آلیاژ ۲۵۰٪ افزایش می‌یابد. عمدتاً ترک خستگی از سطح نمونه شروع و در اثر بارگذاری دینامیکی اشاعه یافته تا اینکه منجر به شکست نمونه می‌شود. این افزایش در عمر خوردگی خستگی

با مقایسه مطالعات مشابهی که توسط محققان دیگر در زمینه اثر شات پینینگ بر افزایش عمر و استحکام خستگی آلیاژ آلومینیم 7075 صورت گرفته با نتایج بدست آمده از این پژوهش در خصوص اثر شات پینینگ بر افزایش عمر و استحکام خوردگی خستگی آلیاژ آلومینیم 7075-T6، می‌توان به صحت نتایج بدست آمده اشاره نمود [۱۲، ۱۳ و ۱۶].

لازم بذکر است با توجه به قرار گرفتن این آلیاژ در محیط خورنده آب دریا و وجود رسوبات بین فلزی در فاز زمینه ریز ساختار، اختلاف پتانسیل الکتروشیمیایی بین فاز زمینه و رسوبات سبب ایجاد پیل گالوانیک شده و حفره‌هایی در سطح نمونه ایجاد می‌شود که این حفرات مکان‌هایی مستعد برای شروع ترک خستگی از سطح هستند [۹ و ۱۳]. کاهش استحکام خوردگی خستگی این آلیاژ در چنین محیطی مربوط به وجود خوردگی حفره‌ای در سطح بوده که ترک خستگی از چنین مکان‌هایی شروع و اشاعه می‌یابد. در شکل (۶) تشکیل این حفره‌ها بر روی سطح در اثر قرارگیری در محیط خورنده نشان داده شده است. همچنین در آزمون خوردگی خستگی در هنگام بارگذاری دینامیکی در سطح تنش‌های بالا، بدلیل آن‌که مدت زمان کمتری نمونه در تماس با محیط خورنده است، لذا اثر مخرب محیط خورنده کم رنگ‌تر از حالتی است که نمونه در سطوح تنش‌های پایین مورد آزمایش قرار می‌گیرد [۹ و ۱۱].



شکل ۶. ایجاد خوردگی حفره‌ای در اثر قرار گرفتن در محیط خورنده.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق می‌توان مطالب زیر را جمع‌بندی نمود:

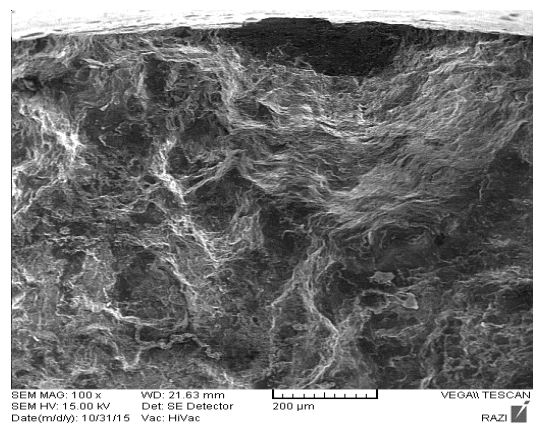
۱- عملیات شات پینینگ با ایجاد تغییر شکل پلاستیک در سطح سبب افزایش زبری سطحی می‌گردد.

۲- با انجام عملیات شات پینینگ بر روی سطح، دانسیته نابجایی‌ها در لایه‌های زیر سطحی افزایش یافته و منجر به افزایش سختی لایه‌ها می‌گردد.

۳- با انجام عملیات شات پینینگ تنش‌های پسماند فشاری در لایه‌های سطحی اعمال شده که این تنش‌های پسماند فشاری سطح تنش مخرب کششی را در بارگذاری دینامیکی کاهش داده و باعث کاهش سرعت شروع و اشاعه ترک‌های خستگی شده، لذا عمر و استحکام خستگی افزایش می‌یابد.

۴- هر چند محیط خورنده عمر و استحکام خستگی آلیاژ 7075-T6 را کاهش داده ولی انجام عملیات شات پینینگ سبب افزایش عمر و استحکام خوردگی خستگی این آلیاژ در محیط خورنده می‌شود.

۵- بدلیل غیریکنواختی در زمینه ریزساختار این آلیاژ هنگامی که این آلیاژ در محیط خورنده قرار می‌گیرد خوردگی حفره‌ای در سطح ایجاد می‌شود.



- experimental studies*, Materials Science and Engineering A297, (2001) 223–229.
10. Libor Trsko, Mario Guaglianoc, Otakar Bokvkaa, Frantisek Novy, *Fatigue life of AW 7075 aluminium alloy after severe shot peening*
11. Harold Luong, Michael R. Hill, *The effects of laser peening and shot peening on high cycle fatigue in 7050-T7451 aluminum alloy*, Materials Science and Engineering, 527(2010)699–707.
12. Uros Zupanc, Janez Grum, *Surface Integrity of Shot Peened Aluminium Alloy 7075-T651*, Mechanical Engineering, 57(2011) 379-384.
13. U. Zupanc, J. Grum, *Effect of pitting corrosion on fatigue performance of shot-peened aluminium alloy 7075-T651*, Journal of Materials Processing Technology, 210(2010) 1197–1202.
14. Adeyemi Dayo Isadar, Bolaji Aremo, Mosobalaje Oyebamiji Adeoye, Oluyemi John Olawale, Moshood Dehinde Shittu, *Effect of Heat Treatment on Some Mechanical Properties of 7075 Aluminium Alloy*, Materials Research. 16(1)(2013)190-194.
15. Aymen A. Ahmed, MansourMhaede, Manfred Wollmann, Lothar Wagner, *Effect of surface and bulk plastic deformations on the corrosion resistance and corrosion fatigue performance of AISI 316L*, Surface & Coatings Technology, 259(2014)448-455.
16. Mansour Mhaede, *Influence of surface treatments on surface layer properties, fatigue and corrosion fatigue performance of AA7075 T73*, Materials and Design, 1(2012)61-66.
17. John E. Hatch, *Aluminum Properties and Physical Metallurgy*, (1984)58-104.

۶- عملیات شات پینینگ سبب افزایش ۱۵٪ استحکام خوردگی خستگی این آلیاژ در 3×10^6 سیکل در محیط آب دریا نسبت به حالت قبل از عملیات شات پینینگ می‌شود.

تقدیر و تشکر

بر خود لازم دانسته از تمامی مسئولان و کارکنان آزمایشگاه متالورژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد بویژه آقایان مهندس جعفری نسب، علیزاده، فتوحی که نهایت همکاری را جهت انجام این پژوهش با ما داشته‌اند، کمال تشکر نمایم.

مراجع

1. “Shot peening applications”, ninth edition, Metal Improvement Company,(2005).
2. Metals Handbook, "Shot Peening",15138 – 149.
3. J. Gilbert Kaufman, *Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*, ASM International Materials Park, (2000)OH 44073-0002.
4. J.R. Davis, *Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys*, ASM International, (1999).
5. Edward Ghali, *Corrosion Resistance of Aluminum and Magnesium Alloys Understanding, Performance, and Testing*, John Wiley & Sons, Inc, (2010).
6. K. Genel, *The effect of pitting on the bending fatigue performance of high strength aluminum alloy*, Scripta Mater, 57(2007)297–300.
7. P.S. Pao, S.J. Gill, C.R. Feng, *On fatigue crack initiation from corrosion pits in 7075-T7351 aluminum alloy*. Scripta Mater, 43(2000)391–396.
8. Lv. Shengli, Cu. You, Wei. Zhang, Xiaoyan Tong, T.S. Srivatsan, and Gao. Xiaosheng, *Influence of Shot Peening on Failure of an Aluminum Alloy Exposed to Aggressive Aqueous Environments*, JMEPEG, 22(2013)1735–1743.
9. K.K. Sankaran, R. Perez, K.V. Jata, *Effects of pitting corrosion on the fatigue behavior of aluminum alloy 7075-T6: modeling and*