

**فهرست مطالب**

**عنوان صفحه**

**بررسی اثر ساچمه زنی بر استحکام خستگی فولاد CK35**

چکیده 1

مقدمه 2 جزئیات آزمایش 6

تحلیل و بررسی نتایج 8

نتیجه گیری 10

**بررسی اثر ساچمه زنی بر استحکام خستگی فولاد CK35**

**چکیده**

اثر ساچمه زنی بر استحکام خستگی فولاد CK35 که قابلیت حرارتی داشته و کاربردهای متعددی در ساخت اجزا ماشین آلات و قطعات مختلف دوار را دارد بررسی شده است برای این منظور سه دسته نمونه آزمایش خستگی از جنس فولاد مورد نظر طراحی و ساخته می شود. دو گروه از این نمونه ها (گروه های H و S) سخت کاری می شوند تا سختی آن ها به HRC 40 برسد. سپس با استفاده از دستگاه سیستم توربینی و ساچمه های استاندارد S170 فرایند ساچمه زنی بر دسته‌ای از نمونه ها (گروه S) انجام می گیرد. پس از آن آزمایش خستگی خمش دورانی (Rotating Bending) بر روی هر سه دسته نمونه آزمایش انجام شده و نمودارهای تنش - عمر (S-N) مربوط به هر یک به دست می آید. بررسی نتایج به دست آمده نشان می دهد که ساچمه زنی بعد از عملیات حرارتی سخت کاری و برگشت، استحکام خستگی فولاد CK35 باعث افزایش 150 درصدی حد استحکام خستگی می شود.

**مقدمه**

ساچمه زنی نوعی از فرایند کار سرد است که در آن سطح قطعات توسط ذرات ریز کروی از مواد مختلف (معمولا فولاد یا شیشه) بمباران شده و تنش پسماند فشاری در نمونه ها ایجاد می گردد [1]. این فرایند برای مدت طولانی به عنوان یکی از بهترین فرایند های ایجاد تنش های پسماند فشاری شناخته می شده است [2]. بر اساس مطالعات اسمیت (Smith) [3]، وجود تنش پسماند فشاری در قطعاتی که تحت تاثیر تنش های کششی متناوب قرار دارند، باعث بالا رفتن عمر خستگی آن ها تا حد قابل توجهی می شود. برای ایجاد تنش های پسماند فشاری از روش های مختلف مکانیکی و ترموشیمیایی می توان استفاده نمود. ساچمه زنی و نورد موضعی سطح از جمله روش های مکانیکی قابل استفاده برای ایجاد تنش های پسمانده می باشند در حالی که از انواع عملیات حرارتی سطح مانند نیتروژن دهی سطحی و ... می توان به عنوان نمونه هایی از روش های ترموشیمیایی یاد کرد.

ساچمه زنی به منظور بالا بردن خواص مکانیکی و افزایش عمر خستگی و مقاومت در برابر خوردگی تنشی بر روی قطعات مختلف انجام می گیرد. بهبود در رفتار خستگی قطعات بعد از انجام ساچمه زنی ناشی از دو عامل اصلی است:

الف- تغییر شکل پلاستیک و کار سختی لایه های سطحی در اثر پذیری از انرژی جنبشی جریان ساچمه ها، که باعث بالا رفتن تنش تسلیم می شود.

ب- ایجاد تنش پسماند فشاری در لایه های سطحی که در اثر ساچمه زنی ایجاد می‌گردد [4].

اندازه گیری تنش های پسماند و توزیع آن ها در عمق قطعه از اهمیت خاصی برخوردار است. به دلیل اینکه کیفیت و میزان تاثیر ساچمه زنی به عوامل بسیاری از قبیل نوع و اندازه ساچمه ها، شدت ساچمه زنی، پوشش سطح و خواص ماده بستگی دارد، بنا بر این اثر پارامتر های فرایند ساچمه زنی بر اندازه و توزیع تنش های پسماند و همچنین تعیین شرایط لازم جهت حصول توزیع بهینه تنش ها بسیار قابل توجه است [4].

همان گونه که اشاره گردید در ساچمه زنی بر اثر برخورد ساچمه های کروی از جنس فلزات آهنی (چدن و فولاد)، سرامیکی یا شیشه ای [5] به سطح فلزات، تنش فشاری در سطح ایجاد می گردد. هنگام برخورد ساچمه های با انرژی جنبشی بالا، به سطح مورد نظر، محل برخورد ساچمه در سطح فلز وارد ناحیه پلاستیک می شود در حالی که لایه های زیرین این قسمت از سطح هنوز در حالت الاستیک قرار دارند. با بلند شدن ساچمه از سطح و برگشت الاستیک لایه های زیر سطح در محل برخورد ساچمه، سطح تحت تنش فشاری ناشی از این برگشت الاستیک قرار می گیرد (شکل 1).

از آنجایی که همیشه باید بین نیروها و تنش های موجود در یک قطعه تعادل وجود داشته باشد تا آن قطعه پایدار بماند، بنا بر این در قطعات ساچمه زنی شده تنش های پسماند به صورتی توزیع می گردند که مقدار جبری تنش های پسماند تولید شده در تمام مقطع قطعه صفر گردد. به این معنی که بین تنش های پسماند تولید شده در راستای مقطع قطعه تعادل برقرار می شود. بنا بر این از زیر سطح، جایی که مقدار تنش پسماند فشاری بیشینه است، این تنش به تدریج تغییر علامت داده تا اینکه مقدار کل تنش پسماند موجود در سطح مقطع به صفر برسد. نمودار توزیع تنش پسماند در قطعه پس از ساچمه زنی در شکل 2 نشان داده شده است.

معیار اثر بخشی فرایند ساچمه زنی متغیری است که شدت ساچمه زنی نامیده می‌شود. شدت ساچمه زنی به عواملی مانند انرژی جنبشی و زمان پاشش جریان ساچمه ها بستگی دارد. شدت کوبش ساچمه ها یا شدت ساچمه زنی توسط پارامتر شدت آلمن در آزمایش آلمن (Almen Test) تعیین می گردد (شکل 3).

وقتی که یک نوار (نمونه) آلمن با ابعاد و سختی استاندارد به گیره خود محکم شده و یک طرف آن ساچمه زنی شود، این نوار الزاما به یک کمان تبدیل می گردد. مقدار خمیدگی نوار (ارتفاع کمان) به عنوان یک واحد و وسیله اندازه گیری برای شدت کوبش ساچمه ها به کار گرفته شده است. نوار آلمن که توسط استاندارد نظامی آمریکا و انجمن مهندسان خودرو (SAE) مشخص گردیده است، نواری است فولادی از جنس فولاد فنر که بر حسب ضخامت در سه نوع A و N و C موجود بوده و مشخصات آن در استاندارد های مربوطه یافت می شود [6]. مقدار خمیدگی نوار آلمن را توسط سنجه آلمن اندازه می گیرند و شدت آلمن در حالت اشباع اندازه گیری می‌شود که عبارتست از حالتی که در صورت دو برابر شدن زمان ساچمه زنی مقدار خمیدگی بیش از 10% افزایش پیدا نکند [6].

تحقیقات مختلفی در مورد اثرات ساچمه زنی بر روی رفتار خستگی و رشد ترک خستگی انجام شده است. به طور کلی می توان اظهار داشت که نسبت زمان ایجاد ترک به زمان انتشار ترک های خستگی در نمونه های ساچمه زنی شده نسبت به نمونه های ساده بیشتر است. ساچمه زنی به طور موثری بر روی رشد ترک در محدوده ترک های کوتاه تاثیر می گذارد. زیرا رشد ترک در این منطقه شدیدا به ویژگی های ریز ساختاری وابسته است. نرخ رشد ترک های کوتاه در نمونه های ساچمه زنی شده بسیار کمتر است زیرا علاوه بر اثر تنش پسماند اولیه، مقاومت در مقابل تغییر شکل پلاستیک نوک ترک به دلیل کار سختی بسیار بالاست. هر چه شدت ساچمه زنی افزایش یابد، تاثیر بیشتری در رفتار خستگی مشاهده می شود. نسبت زمان ایجاد ترک به زمان انتشار ترک نیز با افزایش شدت ساچمه زنی، افزایش می‌یابد. به طور کلی می توان اظهار داشت که ساچمه زنی، هم بر روی زمان ایجاد ترک تاثیر گذاشته و زمان ایجاد ترک را افزایش می دهد و هم عمر کلی خستگی را افزایش می دهد.

**جزئیات آزمایش**

در این تحقیق نمونه های آزمایش از فولاد CK35 (DIN 1.1181) که برای ساخت قطعات متحرک ماشین آلات و قطعات موتور و خودرو و برخی از اجزاء قالب ها کاربرد دارد، ساخته شدند. فولاد مورد نظر در شرایط سنگ زنی شده و با سختی HRC 20 مطابق ترکیب شیمیایی ارائه شده در جدول 1 تهیه گردیده است.

برای اینکه بتوان بین شرایط مختلف و خواص مختلف فولاد مقایسه ای انجام داد، از فولاد خام مورد نظر سه دسته نمونه آزمایش خستگی (U و H و S) مطابق نقشه ارائه شده (شکل 4) ساخته شده و عملیات مختلف مطابق جدول 2 بر روی آن ها انجام می گیرد.

ابتدا هر گروه U و H و S به صورت خشن ماشینکاری می شوند. پس از این مرحله، ماشینکاری نهایی بر روی گروه U انجام می گیرد. دو گروه باقی مانده از نمونه ها (H و S) به شرح زیر عملیات حرارتی شده و دسته دیگر در همان شرایط اولیه پرداخت شده و با دستور العملی که به آن اشاره خواهد شد آماده سازی می گردد.

برای انجام عملیات حرارتی، نمونه ها ابتدا در دمای 350 درجه سلسیوس پیش گرم شده و سپس در محیط نمک خنثی با دمای 850 درجه سلسیوس حرارت داده می شوند تا اینکه ریز ساختار نمونه ها کاملا به آستنیت تبدیل شود. پس از نگهداری در این دما به مدت 30 دقیقه، نمونه ها در روغن داغ سریع سرد می گردند. در اثر سریع سرد کردن، فاز آستنیت تولید شده به دلیل تحول فازی به فاز مارتنزیت تبدیل می‌شود و در نتیجه سختی نمونه ها افزایش خواهد یافت. پس از عملیات سخت کردن، سختی نمونه ها برابر است با HRC 55 و از آنجاییکه این مقدار سختی برای کارهای ذکر شده مناسب نبوده و ریز ساختار فولاد در این حالت بسیار ناپایدار است، به منظور پایدارسازی ریز ساختار تشکیل شده، از بین بردن تنش های پسماند حاصل از عملیات سخت گردانی و کاهش سختی نمونه ها، پس از این عملیات نمونه ها در دمای 400 درجه سلسیوس و به مدت 30 دقیقه و در محیط خنثی از نظر کربن گیری و کربن دهی، برگشت داده می شوند تا اینکه سختی آن ها به HRC 40 برسد. پس از اتمام عملیات حرارتی و ماشینکاری نهایی دو گروه H و S، هر سه گروه از نمونه ها با استفاده از کاغذ سنباده های 180 تا 1500 به ترتیب از زبر به نرم، سنباده زده و پولیش می شوند تا اینکه اثر شیار های به جا مانده از ماشینکاری از بین رفته و زبری سطح نمونه ها به Ra 04/0 برسد.

پس از اتمام آماده سازی نمونه ها، نمونه های گروه S با استفاده از یک دستگاه ساچمه زنی توربینی و ساچمه های استاندارد S170 ساچمه زنی می شوند به صورتی که ناحیه آزمایش (قسمت وسط نمونه ها) کاملا در معرض برخورد ساچمه ها قرار بگیرد و پوشش سطح فرایند ساچمه زنی 100% باشد.

آزمایش خستگی مورد نیاز جهت بررسی تغییرات رفتار خستگی نمونه ها، با استفاده از دستگاه خستگی خمش دورانی (Rotating Bending) انجام می پذیرد. که برای این مطالعه طراحی و ساخته شده است. در دستگاه مذکور فرکانس بارگذاری

rpm 1400 بوده و مقدار خروج از محور (run out) شفت های انتقال و بارگذاری نسبت به یکدیگر حداکثر mm 02/0 می باشد. نمونه ها از دو نقطه در وسط بارگذاری می شوند که در نتیجه آن تنش تولید شده در نمونه مورد آزمایش در طول ناحیه آزمایش نمونه (قسمت وسط نمونه که دارای کمترین قطر است) مقدار ثابتی دارد. این تنش مطابق رابطه 1 در اثر ایجاد ممان خمشی حاصل از بارگذاری تولید می شود.

(1)

در رابطه فوق ، تنش خمشی تولید شده، M ممان خمشی و d قطر نمونه در ناحیه آزمایش (کمترین قطر) می باشد.

پس از انجام آزمایشات خستگی، نمودار S-N مربوط به هر گروه از نمونه ها کشیده شده و رفتار هر گروه در برابر بارگذاری خستگی با یکدیگر مقایسه خواهد شد.

**تحلیل و بررسی نتایج**

با توجه به نتایج به دست آمده نمودارهای تنش - عمر (S-N) مربوط به هر دسته از نمونه های آزمایش در شکل های 5 و 6 و 7 آورده شده است. از مقایسه نمودارهای به دست آمده مربوط به گروه های U و H در شکل 8 مشاهده می شود که انجام عملیات حرارتی باعث بالا رفتن استحکام خستگی به میزان 150 درصد می شود. این افزایش به علت بالا رفتن سختی، استحکام کششی نهایی و تنش تسلیم در اثر عملیات حرارتی می باشد. همان گونه که از شکل 9 نیز به دست می آید، در اثر ساچمه زنی استحکام خستگی نمونه های آزمایش 25 درصد نسبت به نمونه های عملیات حرارتی افزایش یافته است.

نمودار S-N مربوط به هر سه دسته در شکل 10 با یکدیگر مقایسه شده است.

افزایش استحکام خستگی نمونه ها در اثر ساچمه زنی را می توان در نتیجه عوامل زیر دانست.

1- تنش پسماند فشاری موجود در سطح نمونه های ساچمه زنی شده باعث کاهش دامنه تنش متناوب ناشی از بارگذاری می شود. در نتیجه در مقایسه با نمونه های عملیات حرارتی شده دامنه تنش در بارگذاری نمونه های ساچمه زنی شده کمتر است و بنا بر این عمر خستگی آن ها نیز در یک تنش ثابت نسبت به نمونه های عملیات حرارتی شده بیشتر است.

2- از طرف دیگر بیان شد که در ساچمه زنی، کار سرد بر نمونه ها اعمال می شود. در اثر کار سرد انجام شده و ایجاد تغییر شکل پلاستیک و انباشتگی نابجایی ها در سطح، سختی سطح به صورت موضعی افزایش می یابد و نیز تغییر شکل پلاستیک ایجاد شده باعث بسته شدن شیارهای سطحی می شود که مواضع مستعدی برای جوانه زنی ترک های خستگی هستند. در نتیجه مرحله اول شکست ناشی از خستگی که جوانه زنی ترک است در نمونه های ساچمه زنی شده به تعویق می افتد و در نتیجه در این مرحله عمر افزایش می یابد.

به علت ایجاد تنش پسماند فشاری و نیز انباشتگی نابجایی ها در سطح نمونه های ساچمه زنی شده در اثر تغییر شکل پلاستیک رشد ترک های جوانه زده با سرعت کمتری نسبت نمونه هایی که ساچمه زنی نشده اند اتفاق می افتد. در نتیجه با توجه به مطالب عنوان شده عمر نمونه های ساچمه زنی شده در هر دو مرحله ایجاد و رشد ترک های خستگی افزایش خواهد یافت که این افزایش در نمودار تنش - عمر مربوط به آن کاملا مشهود است.

**نتیجه گیری**

در این مطالعه اثر فرایند ساچمه زنی بر عمر خستگی فولاد CK35 بررسی گردیده است. عمر خستگی فولاد مورد نظر بعد از ساچمه زنی نسبت به نمونه های عملیات حرارتی شده 25 درصد و نسبت به نمونه های خام 150 درصد افزایش یافته است. دلیل این افزایش را نیز می توان به ایجاد تنش فشاری پسماند و انجام کار سرد در سطح نمونه های ساچمه زنی شده مربوط دانست. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که ساچمه زنی استحکام خستگی را افزایش می دهد و افزایش استحکام در اثر ساچمه زنی در رفتار (HFC) نمی تواند تنها به تنش های پسماند فشاری مربوط شود؛ بلکه می تواند در اثر چرخش کریستال های سطحی در اثر ساچمه زنی باشد [2].

























