

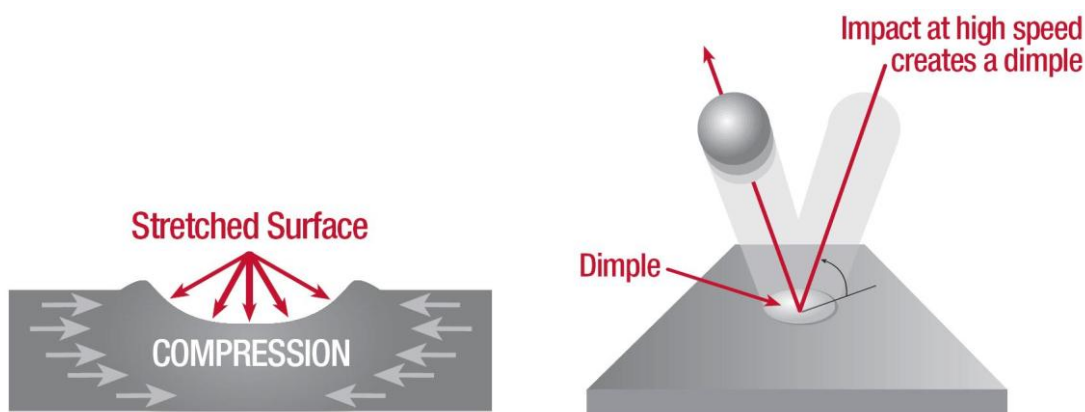
آشنایی با فرآیند ساچمه زنی (Shot Peening)

امیر حسینی کلورزی
www.weldeng.net



مقدمه

ساچمه زنی یک فرآیند کار سرد است که در آن سطح قطعه توسط ذرات ریز نسبتاً کروی (ساچمه) تحت ضربات شدید قرار می‌گیرد. هر گلوله ساچمه مانند یک چکش ضربه زنی کوچک عمل کرده و در سطح قطعه یک گودی یا فرورفتگی ایجاد می‌کند. برای تشکیل این گودی باید لایه سطحی فلز به نقطه تسلیم کششی خود برسد تا تغییر فرم پلاستیک ایجاد شود (شکل ۱). در لایه زیرین سطح، ذرات فشرده شده سعی می‌کنند تا سطح را به حالت اولیه خود برگردانند که در نتیجه یک ناحیه نیم کروی از فلز کارسرد شده که تحت تنش فشاری شدیدی قرار دارد، ایجاد می‌گردد (شکل ۲). با ادامه ساچمه زنی و همپوشانی فرورفتگیهای ناشی از برخورد ساچمه ها به سطح، یک لایه یکنواخت با تنش فشاری باقیمانده تشکیل میشود.



شکل ۲- تنش فشاری پسماند زیر سطح

شکل ۱- تغییر فرم سطح در اثر برخورد ساچمه

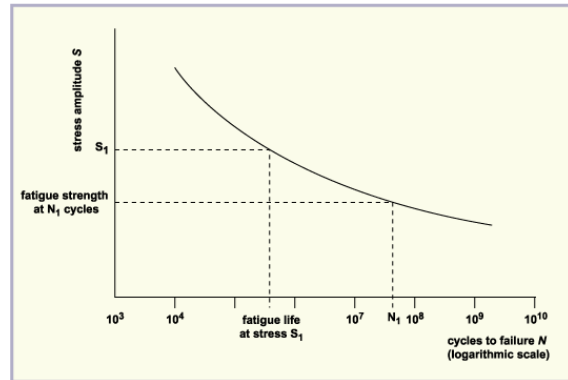
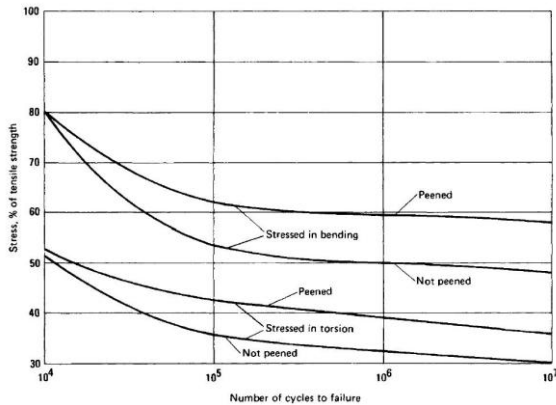
تاثیر فرآیند ساچمه زنی

این موضوع روشن است که معمولاً ایجاد و رشد ترکها در ناحیه تحت فشار ممکن نیست. از طرف دیگر تقریباً تمام ترکهای ناشی از خستگی یا خوردگی تنش از سطح یا نزدیک سطح آغاز میشوند. در نتیجه قطعاتی که ساچمه زنی شده اند، دارای عمر کاری بیشتری در اینگونه شرایط میباشند. مقدار تنش فشاری باقیمانده در قطعه در اثر ساچمه زنی حداقل برابر نصف مقدار استحکام کششی ماده می باشد.

در اغلب فرآیندهای شکست زمانبر، عامل اصلی شکست، تنشهای کششی میباشند. این تنشها میتواند ناشی از اعمال بار خارجی و یا تنشهای باقیمانده در اثر فرآیند ساخت (مانند جوشکاری، سنگ زنی و ...) باشد. تنش کششی تمایل دارد تا ذرات تشکیل دهنده قطعه را از هم دور کند و لذا میتواند باعث ایجاد ترک شود. تنش فشاری باعث فشرده شدن مرزخانه های سطحی شده و شروع ترک را بمدت قابل ملاحظه ای به تاخیر میاندازد. از طرف دیگر از آنجایی که رشد ترک در ناحیه تحت

فشار بسیار آهسته تر میباشد، هرچه عمق سطح فشرده شده بیشتر باشد میزان مقاومت به ترک بیشتر خواهد بود. ساچمه زنی از نظر اقتصادی و عملی بهترین روش برای اطمینان از ایجاد لایه ای با تنش فشاری پسماند و مقابله با خستگی فلزات است.

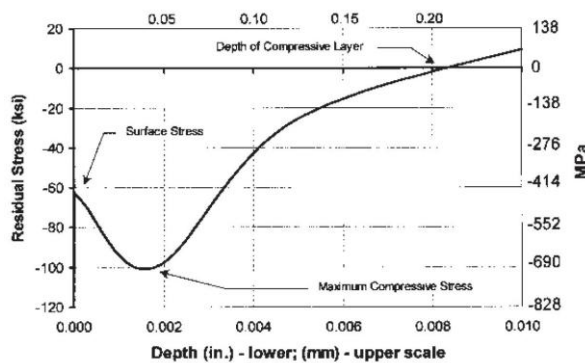
با توضیحاتی که داده شد، ساچمه زنی باعث کاهش تنش کششی اعمالی بر سطح قطعه میگردد. از طرفی نمودار S-N خستگی فلزات بگونه ایست که کاهش خطی در مقدار تنش اعمالی باعث افزایش لوگاریتمی طول عمر یا تعداد سیکل میگردد (شکل ۳). شکل ۴ نمودار S-N یک نمونه فولادی را در حالت ساچمه زنی شده و نشده برای خستگی خمشی و پیچشی با هم مقایسه میکند.



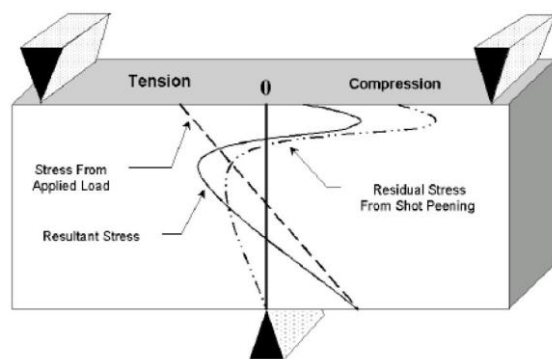
شکل ۳- نسبت تغییر تنش به تغییر عمر خستگی شکل ۴- مقایسه عمر خستگی ساچمه زنی شده و نشده

تنش باقیمانده در اثر ساچمه زنی

تنش باقیمانده در اثر ساچمه زنی از نوع فشاری میباشد. این تنش فشاری باعث کاهش مقدار تنش کششی اعمالی بر قطعه گشته و در نتیجه عمر قطعه افزایش میابد. شکل ۵ ترکیب تنش اعمالی بر قطعه و تنش پسماند ناشی از ساچمه زنی را در یک تست خمش نشان میدهد. نمودار خط چین در شکل تنش اعمالی، نمودار نقطه-خط چین تنش پسماند و نمودار خط ممتد تنش واقعی حاصل از ترکیب دو تنش اعمالی و پسماند را نشان میدهد.



شکل ۶- پروفیل تنش پسماند در قطعه



شکل ۵- ترکیب تنشهای اعمالی و پسماند

تنش پسماند حاصل از ساچمه زنی همچنین میتواند با کاهش تنش در نقاط تنش افزا، تاثیر آنها را کاهش دهد. شکل ۶ پروفیل تنش باقیمانده را در یک قطعه نمایش میدهد.

بیشترین تنش فشاری درست زیر سطح ایجاد میشود. هرچه مقدار حداکثر تنش فشاری بیشتر باشد، مقاومت به خستگی فلز نیز بیشتر خواهد بود. تنش باقیمانده در سطح معمولاً کمتر از حداکثر تنش فشاری میباشد. مقدار تنش فشاری مستقیماً به

استحکام کششی ماده بستگی دارد. هرچه استحکام ماده بیشتر باشد تنش فشاری بالاتری را میتوان با ساچمه زنی ایجاد کرد. مواد با استحکام بالا دارای ساختار کریستالی صلب تری بوده و شبکه کریستالی آنها مقاومت بیشتری در مقابل کرنش از خود نشان میدهند. در نتیجه میتوانند تنشهای پسماند بالاتری را در خود ذخیره کنند. عمق نفوذ تنش پسماند نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. با افزایش عمق ناحیه تحت فشار مقاومت ماده به رشد ترک افزایش میابد. میزان عمق را میتوان با افزایش انرژی ضربه ای ساچمه ها بیشتر کرد.

مواد مورد استفاده بعنوان ساچمه

مواد مورد استفاده بعنوان یاچمه در این فرآیند شامل گلوله های فولاد ریختگی، مفتولهای برش خورده از فولاد کربنی یا زنگ نزن و ذرات سرامیک یا شیشه میشوند. رایجترین نوع ساچمه ها از جنس فولاد ریختگی یا کار شده میباشد. از ذرات فولاد زنگ نزن در مواردی استفاده میشود که آلوده نشدن سطح به آهن مد نظر باشد (مانند سطوح زنگ نزن یا آلومینیوم). مفتولهای فولادی برش خورده (شکل ۷) بدلیل یکنواختی و دوام بیشتر کاربرد وسیعتری یافته اند. این مواد با سختی های مختلف و سایزهای دقیقتری نسبت به گلوله های ریختگی قابل دستیابی هستند. ذرات شیشه نیز در مواردی که باید از آلودگی سطح به آهن اجتناب شود، استفاده میشوند. این ذرات معمولا کوچکتر و سبکتر از سایر ذرات بوده و میتوان از آنها برای ساچمه زنی زوایای تیز رزوه ها و قطعات ظریف استفاده نمود.



شکل ۷- مفتول برش خورده فولادی بعنوان ساچمه

کنترل متغیرهای فرآیند

پارامترهای اصلی در فرآیند ساچمه زنی را اندازه و سختی ذرات، سرعت ذرات، سطح تحت ساچمه زنی، زاویه برخورد، عمق و میزان تنش پسماند حاصله و تخریب و شکست ساچمه ها تشکیل میدهند. کیفیت و میزان تاثیر عملیات ساچمه زنی به کنترل دقیق هریک از این پارامترها بستگی دارد.

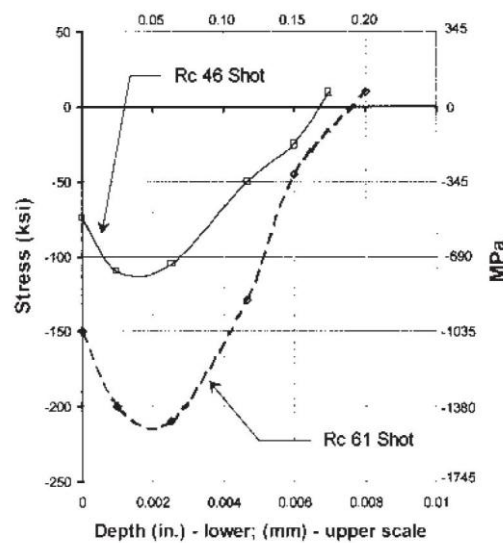
اندازه ذرات:

هنگامی که پارامترهای دیگر از جمله سرعت ذرات و مدت زمان ساچمه زنی ثابت باشد، افزایش اندازه ذرات باعث افزایش عمق و مقدار تنش پسماند و کاهش مقدار سطح تحت پوشش میگردد. انتخاب حداقل سایزی از ذرات که بتوان توسط آنها به عمق و مقدار تنش پسماند مورد نظر دست یافت، باعث افزایش سرعت عملیات در دستیابی به سطح تحت پوشش مورد نیاز، میگردد. ممکن است انتخاب اندازه ذرات ساچمه بر اساس شکل قطعه ای که تحت ساچمه زنی قرار میگیرد محدود گردد.

سختی ذرات:

در صورتیکه سختی ذرات از سختی قطعه بیشتر باشد، تغییر در سختی آنها تاثیری بر خواص حاصله از ساچمه زنی ندارد. معمولا سختی ذرات مورد استفاده نباید کمتر از سختی قطعه باشد. اگر از ذراتی با سختی کمتر از سختی قطعه استفاده شود،

50 عمق و مقدار تنش پسماند کاهش میابد. شکل ۸ عمق و میزان تنش پسماند حاصل از ساچمه زنی یک فولاد با سختی RC را با استفاده از ساچمه هایی با سختی 46 و 61 RC باهم مقایسه میکنند.



شکل ۸۷- مقایسه خواص حاصل از ساچمه زنی یک قطعه فولادی با سختی 50 RC توسط ساچمه هایی با سختی 46 و 61 RC

سرعت برخورد:

عمق و مقدار تنش پسماند با افزایش سرعت ذرات، بیشتر میشود. البته در صورت افزایش سرعت باید ذرات را در پربودهای کوتاهتری جهت یافتن و جداسازی ذرات شکسته شده بازرسی نمود.

زاویه برخورد:

زاویه برخورد عبارتست از زاویه بین سطح قطعه و راستای برخورد ذرات که نمیتواند بیشتر از 90° باشد. هرچه این زاویه از 90° کمتر شود، شدت ضربه زنی کاهش میابد. شدت ضربه زنی با سینوس زاویه برخورد، نسبت مستقیم دارد. هنگامی که استفاده از زاویه برخورد کوچک اجتناب ناپذیر باشد، میتوان آنرا با افزایش سرعت و اندازه ذرات جبران نمود.

شکست ذرات:

برای دستیابی به خواص مورد نظر از عملیات ساچمه زنی، مراحل ساچمه زنی باید بگونه ای طراحی شود که بطور پیوسته ذرات شکسته یا زیر سایز توسط یک جداساز از سیستم خارج شوند. نرخ جداسازی باید تقریباً برابر نرخ سایش و شکست باشد. نسبت ذرات با اندازه و شکل مناسب نباید هیچگاه کمتر از ۸۵٪ شود. درصد بالاتر نتایج بهتری خواهد داشت. ذرات شکسته و با لبه های تیز میتواند باعث خراشیده شدن سطح قطعه و ایجاد تنش افزا در سطح قطعه شوند. بنابراین کروی بودن نسبی ذرات الزامیست.

منابع

- 1- "Shot Peening Applications", Metal Improvement Co., 9th Ed., 2004, USA.
- 2- Ted Kostilnik, "Shot Peening", ASM Metals Handbook, Vol. 5, 9th Ed., ASM International, 2000, USA.
- 3- J. R. Davis, "Surface Engineering for Corrosion & Wear Resistance", ASM International, 2001, USA.

۴ - امیر حسینی کلورزی، "فرآیند ساچمه زنی"، وبلاگ مهندسی جوش www.weldeng.net، شهریور ۱۳۸۶.