

# بررسی تاثیر فرایند شات پینینگ بر عمر خستگی برخی از قطعات خودرو

جواد قربانیان<sup>۱</sup> - عماد نیشابوری<sup>۲</sup>

واحد مشاوره فنی و آموزش شرکت فرآورده های فولادی info@ab-shot.ir

واحدفروش شرکت فرآورده های فولادی

این مقاله در ماهنامه صنعت ریخته گری - شماره ۱۲۱ - مهر ۹۴ چاپ شده است

چکیده:

بسیاری از قطعات متحرک مصرفی در صنایع پیشرفته خودروسازی و هوا فضا همچون فنرها، میل لنگ ها، چرخ دنده ها، سوپاپها، دیسک ها، پره توربین ها، کمپرسورها، شاتون ها و ... تحت سیکلهای متناوب اعمال نیرو می باشند. اعمال تنشهای فشاری و کششی متناوب و تکراری در این نوع قطعات یکی از مهمترین عوامل خستگی و شکست ناگهانی آنها محسوب می شود. یکی از مقرون به صرفه ترین و کاربردپذیرترین روشهای افزایش عمر این نوع قطعات، تولید تنشهای پسماند فشاری در سطح آنها با استفاده از عملیات شات پینینگ (ساجمه زنی) می باشد.

استفاده از فرآیند شات پینینگ در صنایع پیشرفته کشورهای صنعتی مانند صنایع خودروسازی و هوا- فضا استفاده فراوانی دارد. در حالیکه این عملیات برای اکثر دانشگاهیان و صنعتگران ما ناشناخته است و حتی گاه با فرایند شات بلاست اشتباه گرفته می شود. در حالیکه این فرایند کم هزینه باعث می شود عمر خستگی این نوع قطعات در برخی موارد بین دو تا ده برابر افزایش یابد. لذا در این مقاله سعی شده تا اصول کلی این روش و نقش آن در افزایش عمر برخی از قطعات مصرفی در صنایع خودروسازی به عنوان یکی از صنایع مهم کشور، با نگاه ویژه و تخصصی مورد بررسی قرار گیرد. واژه های کلیدی: شات پینینگ، عمر خستگی، تنش پسماند فشاری، ترک

درک اهمیت این فرایند دچار اشتباه گردند و در برخی موارد هر دو فرایند را یکی قلمداد نمایند.

مهمترین تفاوت شات پینینگ و شات بلاست در هدف آنها می باشد. هدف اصلی در شات بلاست تمیزکاری سطح قطعات

۱ - مقدمه:

عامل کاهش عمر و شکست بسیاری از قطعات صنعتی متحرک مانند فنر، میل لنگ، چرخ دنده، سوپاپ، پره توربین، پره کمپرسور و ... اعمال سیکلهای متناوب نیرو و در نتیجه شکست قطعه در اثر خستگی می باشد.

فرایند شات پینینگ (ساجمه زنی) یکی از کاربردپذیرترین روشهای افزایش عمر خستگی این نوع قطعات محسوب می گردد. این عملیات با تولید تنشهای پسماند فشاری و ایجاد یک لایه کارسخت شده در سطح باعث حذف یا کاهش تنش کششی اعمال شده به سطح، کاهش احتمال رشد ترک و در نتیجه افزایش عمر خستگی قطعات می شود. علاوه بر تاثیرات مثبت شات پینینگ در بهبود عمر خستگی قطعات، اثرات مفید انجام این عملیات در بهبود مقاومت در برابر شکست های ناشی از عیوب تماسی، خوردگی و کاویتاسیون و حذف تنشهای باقیمانده مضر پس از فرآیندهای جوشکاری، تراشکاری و فرزکاری و بسیاری فواید دیگر این فرایند نیز در سطح بین المللی کاملاً اثبات گردیده است.

شبهات این فرایند با عملیات شات بلاست به عنوان یکی از فرایندهای تمیزکاری، باعث شده تا بسیاری از صنعتگران در



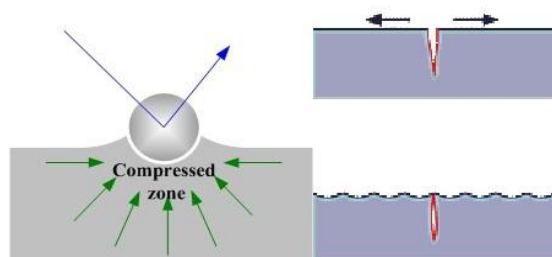
شکل ۱: فرآیند شات پینینگ چرخدنده (روش Air blast)

از انواع آلودگیها مثل ماسه های ریخته گری، برآمدگی های سطحی، پلیسه ها، پوسته ها، زنگ و نیز افزایش کیفیت سطحی قطعات می باشد. حال آنکه هدف اصلی در شات پینینگ افزایش عمر خستگی قطعات می باشد. در حقیقت فرایند شات بلاست یکی از مراحل تمیزکاری و آماده سازی سطوح است. حال آنکه شات پینینگ یکی از مراحل نهایی تولید یک قطعه است. هر دو فرایند با پرتاب مواد ساینده به سطح قطعه انجام می شوند. ماده مورد استفاده در شات

بلاست ساچمه های فلزی و یا گریت است که در اندازه و سختیهای های مختلف تولید می شوند. اما فرآیند شات پینینگ از طریق بمباران سطح قطعه با مواد ساینده صرفاً کروری و یکنواخت انجام می گردد. (مشابه شکل ۱) در این فرایند سطح قطعات با جریانی پیوسته و با سرعت بالا از ساچمه های فولادی بمباران می شود. این ساچمه ها با برخورد سریع و یکنواخت با سطح قطعه، همچون میلیونها چکش کوچک عمل میکنند و سطح قطعه را با یک تنش فشاری مواجه می سازند.

شکست خستگی در یک قطعه زمانی اتفاق می افتد که در سطح قطعه ترکی وجود داشته باشد. معمولاً اتمهای سطح قطعات تولید شده صنعتی به دلیل انجام فرایندهای جوشکاری، عملیات حرارتی و یا برشکاری و ... تحت تنش کششی قرار دارند. ترک در مکانهایی که تحت تنش کششی قرار دارد به راحتی رشد کرده و گسترش می یابد. زیرا که تنش و کشش در واقع باعث کشیده شدن اتمها و پاره شدن سطح می شوند. لذا وجود تنش کششی یا پیچشی، طی سیکلهای متناوب کاری، منجر به ایجاد ترک و در نهایت شکست قطعه می شود. در هر دو حالت فوق، بیشترین اثر تنش در سطح قطعه اعمال می شود و لذا سطح مستعد تولید و یا رشد ترک می باشد. ولی چنانچه در سطح تنش فشاری ایجاد شود، از اشاعه ترک جلوگیری شده و عمر خستگی قطعه افزایش می یابد. [۱۴-۱]

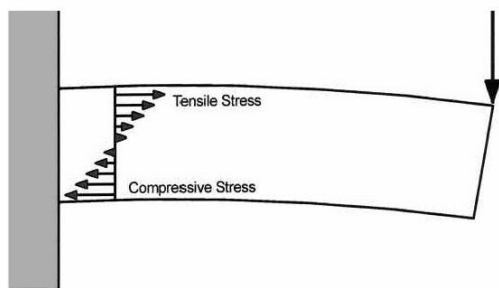
از طریق شات پینینگ، با برخورد ساچمه ها و ایجاد گودیهای فراوان بر روی سطح و روی هم افتادن تعداد زیادی از این گودیها یک لایه فشرده شده در سطح ایجاد شده و توزیع تنش پسماند فشاری در سطح رخ می دهد. دهانه میکروتورک های سطحی و خلل و فرجها بسته شده و تنش پسماند فشاری ایجاد شده در آن منطقه مانع از باز شدن دهانه ترک و یا رشد ترک میگردد و بدین ترتیب باعث افزایش عمر خستگی قطعه می شود (شکل ۲).



شکل ۲: تاثیر فرآیند شات پینینگ بر سطح قطعه و نحوه تولید تنشهای پسماند فشاری در سطح

تاثیر شات پینینگ بر افزایش عمر برخی از قطعات خودرو: خستگی خمشی و پیچشی دو نوع از متداولترین انواع شکست خستگی محسوب هستند که نقش بسیار مهمی در کاهش عمر و شکست بسیاری از قطعات مهم خودرو را بر عهده دارند. قطعاتی مثل انواع چرخنده، میل لنگ و دسته پیستون (شاتون) تحت تنش خمشی و قطعاتی مثل فنرهای سیستم تعلیق، شفت انتقال نیرو و واهرم تعلیق از جمله قطعاتی از یک خودرو هستند که تحت تنش پیچشی قرار می گیرند. هر دو نوع خستگی مذکور با انجام فرایند شات پینینگ به طور قابل توجهی قابلیت بهبود می یابند. زیرا که بیشترین تنش کششی ایجاد شده در این نوع خستگیها، در سطح قطعه ایجاد می شود.

نحوه اعمال نیروی خمشی و تاثیر آن بر تنشهای سطحی بصورت شماتیک در شکل ۳ نشان داده شده است. چنانکه مشاهده می شود نیروی خمشی اعمال شده به قطعه میله ای شکل، باعث تولید تنش کششی در قسمت بالایی سطح قطعه می شود. چنانچه بار اعمالی به صورت متناوب و بصورت کشش و فشار بر قطعه وارد گردد، متداولترین نوع خستگی که خستگی خمشی است ایجاد می شود. [۱۵]

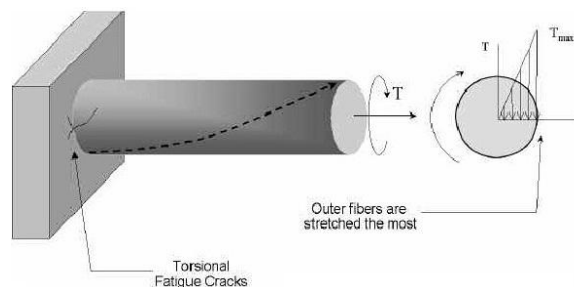


شکل ۳: نحوه اعمال نیروی خمشی بر یک میله و تاثیر آن بر تنشهای سطحی

خستگی پیچشی یکی دیگر از انواع متداول خستگی فلزات محسوب می شود. توزیع تنش ها در این نوع خستگی نیز به گونه ای است که ماکزیمم تنش کششی که در اثر نیروی بار پیچشی بر روی یک قطعه اعمال می شود، در سطح قطعه ایجاد می گردد (مشابه شکل ۴) و لذا با انجام این فرایند و از بین بردن این تنش کششی و تبدیل آن به تنش فشاری عمر قطعه افزایش می یابد.

تنش پیچشی دارای هر دو مؤلفه عمودی و افقی است به گونه ای که بیشترین تنش کششی تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور افقی نمونه رخ می دهد. در شکل ۴ یک میله

تحت بار پیچشی همراه با ترک ایجاد شده در آن نشان داده شده است.



شکل ۴: یک میله تحت بار پیچشی همراه با ترک ایجاد شده در آن

معمولاً مواد با استحکام کم در مقابل تنش برشی ضعیف تر هستند تا تنش کششی و به همین دلیل تمایل به شکست بیشتری در مقابل خستگی پیچشی اعمالی بر روی صفحه برش عمود بر محور افقی را دارند. بر خلاف این حالت، مواد با استحکام بالاتر در مقابل تنش کششی ضعیف تر هستند تا تنش برشی و بنابراین تمایل به شکست بیشتری در زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور افقی دارند. [۱۵]

انواع مختلفی از قطعات صنعتی وجود دارند که با توجه به نوع عملکرد و کاربرد تحت این نوع خستگی قرار دارند. لذا یکی از متداولترین کاربردهای شات پینینگ، انجام این عملیات بر روی قطعاتی است که تحت این نوع تنشها قرار می گیرند، می باشد. در ادامه تاثیر این فرایند بر برخی از این نوع قطعات بررسی می گردد.

## ۲- چرخ دنده:

چرخ دنده ها به دلیل تنوع در نوع، طراحی، جنس، خواص و کاربرد یکی از پر کاربردترین قطعات در مهندسی مکانیک محسوب می گردند. چرخ دندهها معمولاً باید دارای دو ویژگی مشخص باشند. قسمت سطحی آنها باید سخت باشد و قسمت مرکزی آن دارای انعطاف پذیری کافی باشد تا بتواند در مقابل نیروهای دینامیکی مقاومت کند. از این رو سطح چرخ دنده را به روشهای مختلفی سخت میکنند و عملیات شات پینینگ را پس از عملیات سختکاری بر روی چرخ دنده انجام می دهند. (شکل ۱)

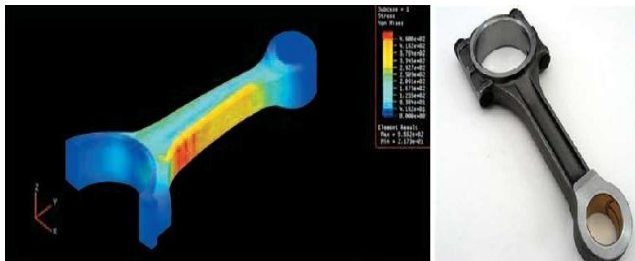
چرخ دنده ها از جمله قطعاتی هستند که به دلیل درگیری دندانه ها تحت نیروهای خمشی بالایی قرار می گیرند. لذا تنشهای کششی بزرگی بر روی سطح بوجود می آید. همچنین انتقال نیرو توسط چرخ دندهها باعث اعمال سیکل های نیرویی تناوبی در این اجزاء میشود که نتیجه آن ایجاد خستگی خمشی در چرخ دندهها میباشد. شات پینینگ چرخ دندهها معمولاً در قسمت پای دندانه، انجام می شود. درگیری دندانههای چرخ دنده شبیه تیر یک سر آزاد (شکل ۳) میباشد. نیروی ایجاد شده در اثر تماس دندانهها باعث تنش خمشی در ریشه دندانه، در زیر نقطه تماس دو دندانه می گردد. شکل ۵ نمای پلاریزه از تنشهای اعمال شده بر روی دندانههای درگیر را در یک چرخ دنده نشان میدهد.



شکل ۵: نمای پلاریزه از تنشهای اعمال شده بر روی دندانههای درگیر در یک چرخ دنده

عملیات سختکاری سطحی (کربوره کردن) و شات پینینگ دو عملیات مجزا اما مکمل یکدیگر در بهبود عمر خستگی چرخ دندهها محسوب می گردند. معمولاً چرخ دندهها پس از عملیات سختکاری تحت عملیات شات پینینگ قرار می گیرند. افزایش سختی سطحی باعث افزایش نسبی تنشهای فشاری میگردد. با انجام فرایندهای کربوره کردن و سپس شات پینینگ چرخ دنده به تنش پسماند فشاری در حدود  $1600-1170$  Mpa نیز میتوان دست یافت که این مقدار بسته به شرایط عملیات کربن دهی و پارامترهای شات پینینگ متغیر می باشد. [۱۵، ۱۶، ۱۷] شکل شماره ۶ پروفیل تنش پسماند القاشده توسط شات پینینگ در یک چرخ دنده کربن دهی شده را نشان میدهد. با توجه به این نمودار بیشترین تنش فشاری القاشده در چرخ دنده کربوره شده حدود  $1300$  Mpa میباشد.

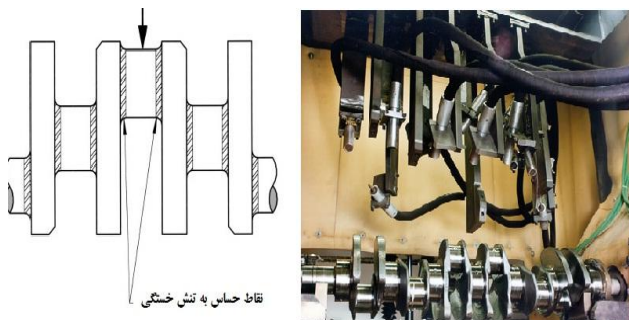
شاتون ها به روشهای مختلفی همچون فورج، ریخته گری یا متالورژی پودر، قابلیت تولید دارند. پس از تولید قطعه با انجام فرایند شات پینینگ می توان عمر خستگی قطعه مذکور را افزایش داد.



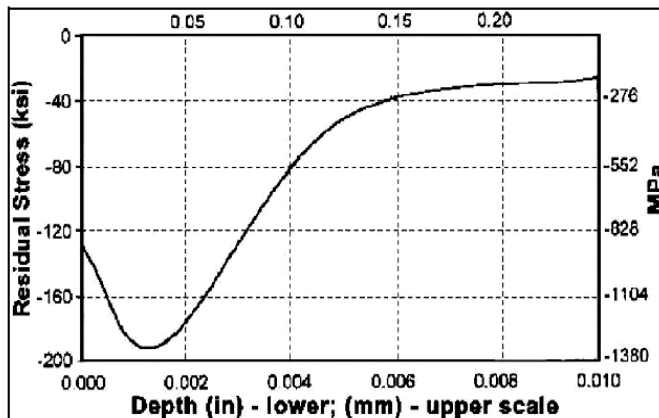
شکل ۸: تنشهای وارده به دسته پیستون خودرو

#### ۴- میل لنگ :

میل لنگ از جمله قطعاتی است که تحت تنش خستگی خمشی بالایی قرار دارد و به همین دلیل در اکثر مواقع کلیه سطوح گرد میل لنگ را که شامل مناطق نشان داده شده در شکل ۹ می باشد، تحت عملیات شات پینینگ قرار می دهند. چنانکه در این شکل نشان داده شده است، حساسترین نقطه این قطعه، قسمت پایین گوشه های گرد شده پینها است. حساسترین زمان اعمال تنش لحظه ای است که پین در اثر حرکت موتور در موقعیت بالای حرکتی قرار می گیرد و موتور روشن شده و بر آن نیرو وارد می کند. در این حالت امکان تولید ترک در این نقطه و در نتیجه رشد ترک به داخل قطعه و در نهایت شکست قطعه وجود دارد. میل لنگ ها از جنسهای مختلفی مثل فولاد فورج شده، فولاد ریختگی، چدن نشکن و یا چدن نشکن آستمپر شده (ADI) ساخته می شوند. تحقیقات نشان داده که شات پینینگ کنترل شده بر روی کلیه این قطعات نتایج بسیار مفیدی در افزایش عمر خستگی قطعه داشته است و استحکام خستگی را تا ۳۰٪ افزایش داده است.

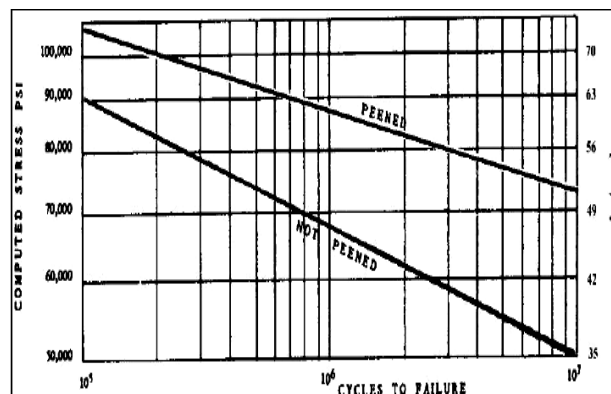


شکل ۹: حساسترین نقاط جهت شات پینینگ میل لنگ



شکل ۶: پروفیل تنش پسماند القاشده توسط شاتپینینگ در یک چرخنده کربن دهی شده

شکل ۷ چرخه خستگی قابل تحمل توسط چرخندههای کربوره شده و شات پینینگ شده را نشان میدهد. بر اساس تحقیقات مختلف انجام شده شات پینینگ می تواند باعث افزایش عمر چرخنده تا ۵۰۰ درصد گردد. همچنین حفرات ریز ایجادشده توسط شات پینینگ بر روی سطح مانند مخزن های کوچک روغن عمل میکنند که باعث ارتقاء و بهبود روانکاری، کاهش سایش و سروصدا، کاهش لایه لایه شدن و کاهش دمای کاری میشود. [ ۱۷، ۱۶، ۱۵ ]



شکل ۷: چرخه خستگی قابل تحمل توسط چرخندههای کربوره شده و شات پینینگ شده

#### ۳- دسته پیستون (شاتون)

دسته پیستون از جمله قطعات موتور انواع خودروها است که تحت تنش خمشی قرار می گیرد. حساسترین نقطه نسبت به تنش خستگی در این قطعه، قسمت انحنای دایره ای روی سوراخ بزرگ قطعه (مشابه شکل ۸) می باشد. در این شکل تنشهای وارده با شدت رنگ مختلف نشان داده شده است.

در این شکل قطر سیمفندر بکار رفته ۶/۳۵ میلی‌متر واز جنسی با استحکام کششی MPa ۱۷۹۳ بوده است. تنش کششی باقیمانده در قطرداخلی این فنر پس از سیمپیچی MPa ۴۸۳ میباشد که می تواند باعث شکست این فنر در ۸۰۰۰۰ سیکل گردد. انجام شات پینینگ باعث تولید تنش فشاری در سطح به میزان MPa ۱۰۳۵ می شود. این مقدار تنش فشاری ۶۰٪ از ماکزیمم استحکام کششی سیم مربوطه است و باعث میشود که تعداد سیکلهای خستگی فنر به ۵۰۰۰۰۰ سیکل بدون شکست افزایش یابد. [۱۸،۱۷،۱۶،۱۵]

فنرهای تخت نوع دیگری از فنرها هستند که در دو نوع تک ورق و چند ورقی عرضه می شوند. این فنرها مانند فنرهای مارپیچ برای جذب ضربه جمع نمی شوند، بلکه خم می شوند. انجام عملیات شات پینینگ بر روی این نوع فنرها، فرایندی متداول در تولید آنها محسوب می گردد. (شکل ۱۱)



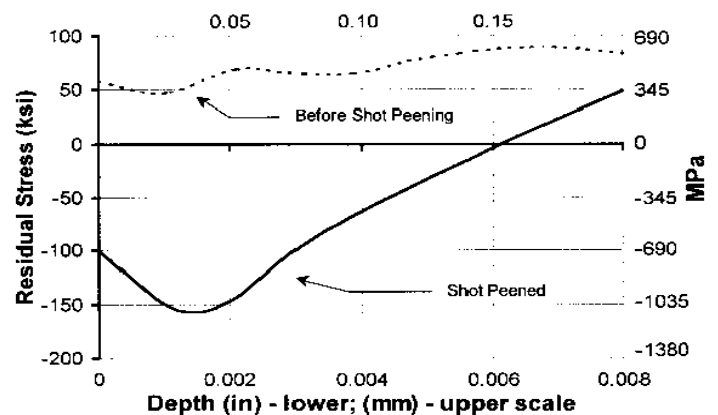
شکل ۱۱: کاربرد فنرهای تخت در سیستم تعلیق خودرو  
اهرم تعلیق خودرو (تورشن بار)

این قطعه نیز یک نوع فنر محسوب می شود. هنگامی که خودرو حرکت می نماید تنشهای زیادی از سمت جاده به تایرها وارد می شود. با توجه به ناهمواریهای جاده، ماهیت تنشهای وارده به تایرها متفاوت بوده و موجب جابجایی چرخها در جهات مختلف می شود. یکی از اجزای سیستم تعلیق، اهرم تعلیق یا تورشن بار بوده که با پیچش خود حول محور مرکزی از حرکت عمودی چرخها جلوگیری نموده و نیروی عمودی وارد بر چرخ را میرا می کند. این قطعه، میله فولادی است که نه جمع شده و نه خم می شود، بلکه در خود می پیچد. میله پیچشی که یک میله صاف یا L شکل است به صورت عرضی در یک سمت به شاسی وصل شده و در سمت دیگر به قسمت متحرکی از سیستم تعلیق متصل می شود. (مشابه شکل ۱۲) در هنگام مواجه با ضربه، میله پیچشی در خود پیچ خورده (می تابد) و رفتار یک فنر را از خود بروز می دهد. بعلت وارد شدن گشتاورهای پیچشی دینامیکی به تورشن بار، قطعه مزبور بارهای سیکلی از نوع پیچشی را تحمل می نماید. بنابراین باید

در یک تحقیق که بر روی میل لنگ موتور دیزلی از جنس فولاد استنلس استیل Armco 17-10 ph و با تعداد چرخه صد میلیون انجام شد، استحکام خستگی قطعه شات پینینگ شده از MPa ۲۹۳ در حالت شات پینینگ نشده به MPa ۳۸۶ در حالت شات پینینگ شده رسید که در حدود ۳۰٪ افزایش استحکام خستگی مشاهده می شود. [۱۸،۱۵]

## ۵- فنرهای فلزی:

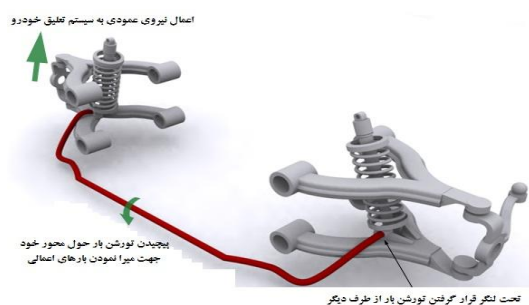
فنرهای فلزی از جمله قطعاتی هستند که کاربرد وسیعی در صنعت دارند. در یک خودرو از انواع فنر در قسمتهای مختلف استفاده می گردد که از جمله آنها، فنرهای بکاررفته در سیستم تعلیق خودرو می باشند. این فنرها شامل فنرهای مارپیچ، فنرهای تخت و فنرهای پیچشی (تورشن بار) می شوند. فنرهای مارپیچ نوع معمول و شناخته شده فنر می باشند که از یک میله پیچیده شده (حلقه شده) فولادی تشکیل شده اند. فنرهای مارپیچ فشاری به دلیل آنکه تحت چرخه های خستگی بالا قرار دارند حتماً باید شات پینینگ شوند. جهت تولید این نوع فنرها، سیمفندر تحت فرآیند پیچش به شکل مارپیچ فشرده شده درمی آید. فرایند پیچاندن سیم خود باعث تولید تنشهای کششی فراوانی در سطح قطرداخلی فنر می شود. علاوه بر آن در حین کار یک فنر تحت بارهای متناوب و چرخه خستگی فراوان قرار می گیرد. شکل ۱۰ تنشهای باقیمانده در یک فنر فشاری را بعد از پیچاندن و بعد از شات پینینگ نشان میدهد.



شکل ۱۰: تنشهای باقیمانده در یک فنر فشاری بعد از پیچاندن و بعد از شات پینینگ

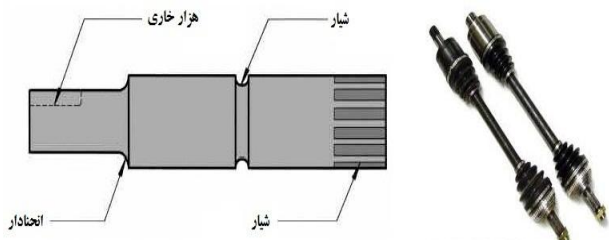


عمرخستگی و استحکام بالایی داشته باشد. انجام عملیات شات پینینگ بر روی اهرم تعلیق با بالا بردن عمر قطعه باعث شده است تا بتوان با تغییر در طراحی این قطعه و تبدیل آن به حالت توخالی از مزیت کاهش وزن قطعه نیز استفاده نمود. این قطعه علاوه بر شات پینینگ تحت عملیات پینینگ کرنشی نیز قرار می گیرد تا از عمر بالاتری برخوردار گردد.



شکل ۱۲: اهرم تعلیق خودرو یا تورشن بار

داده شده است، حساسترین نقاط به شکست برای شفتهای انتقال نیرو قسمت هزارخاری، قسمت برش خورده، قسمت شیار خورده و قسمت انحنادار قطعه میباشند. [۱۵]



شکل ۱۳: حساسترین نقاط به شکست برای شفتهای انتقال نیرو

## ۷- جمع بندی و نتیجه گیری:

فرایند شات پینینگ دارای مزایا و کاربرهای بسیاری همچون: افزایش استحکام خستگی و عمر خستگی قطعات تا چندین برابر، افزایش مقاومت به ترک ناشی از خوردگی تنش، حذف ترک ناشی از تنش، سایش، تردی هیدروژنی و خوردگی، افزایش عمر خستگی فنر از ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ درصد، افزایش عمر خستگی چرخ دنده تا ۵۰۰٪، افزایش عمر خستگی چرخ دنده متحرک هواپیما تا ۴۰۰٪، افزایش عمر خستگی میل لنگ از ۱۰۰٪ تا ۱۰۰۰٪ و... می باشد. اگرچه شات پینینگ بیشتر در صنایع خودرو سازی و هواپیما سازی مورد توجه بوده است، اما امروز این تکنولوژی با توجه به مزایای ذکر شده فوق کاربردهای وسیعتری یافته و در راستای افزایش عمر خستگی قطعات، حذف حفرات سطحی و تغییر شکل و فرم دهی قطعات نیز استفاده می شود. امروزه وجود واحد شات پینینگ به عنوان یکی از مراحل نهایی تمامکاری قطعات در چرخه تولید بسیاری از کارخانجات قطعه سازی مطرح دنیا الزامی است. این امر در راستای تولید قطعاتی با عمر مفید طولانی و حفظ رضایتمندی مشتریان در طولانی مدت انجام شده است.

شات پینینگ باعث افزایش عمر قطعات بسیار حساس و گران قیمت با صرف هزینه هایی اندک می شود. به همین دلیل این تکنولوژی در سالهای اخیر به سرعت رشد یافته و روشهای نوین و سرمایه گذاریهای علمی فراوانی بر روی آن انجام شده است. چنانکه سالیانه کنفرانسها و سمینارهای متعددی در سطح دنیا در خصوص شات پینینگ برگزار می

فرآیند شات پینینگ بر روی سایر فنرهای صنعتی نیز تأثیر مثبت داشته و باعث افزایش عمرخستگی آنها میشود. شکست خستگی همیشه در نقطه‌های رخ می دهد که مجموع کل تنشهای کششی اعمالشده و باقیمانده به حداکثر مقدار خود می رسد. در فنرهای پیچشی ( فنرهایی که تحت پیچش هستند ) معمولاً این نوع شکست در قسمت بیرونی قطر فنر و مماس بر لبه فنر رخ می دهد و در فنرهای کششی ( فنرهایی که تحت کشش هستند ) معمولاً در شعاع داخلی چنگک فنر رخ می دهد. با استفاده از فرایند شات پینینگ عمر خستگی این نوع فنرها و نیز سایر انواع فنرها مثل فنرهای تسمه‌ای، خوشه‌ای، فنرهای سگدست، فنرهای تخت و ... را نیز میتوان افزایش داد. این افزایش عمر با توجه به جنس، نوع و کاربرد فنر به میزان متفاوتی می باشد و در مقالات متعدد از ۴۰۰ درصد تا ۱۲۰۰ درصد افزایش عمر خستگی گزارش شده است. [۱۵ و ۱۹]

## ۶- شفت انتقال نیرو

این نوع شفت، شفتی است که در ماشینهای متحرک (مثل خودرو) جهت انتقال نیرو از یک مکان به مکان دیگر استفاده می شود. این شفت در حین انتقال نیرو تحت چرخش نیز میباشد. این نوع کار باعث تولید تنش پیچشی بر روی اجزای متحرک می شود. از آنجاییکه شفتهای انتقال نیرو، اجزای اولیه یاتاقانی و تحملکننده بار می باشند، حتماً باید تحت شات پینینگ دقیق قرار گیرند. چنانکه در شکل ۱۳ نشان

۱۴. جواد قربانیان، عماد نیشابوری "مروری بر فرایند شات پینینگ و کاربردهای آن در صنعت" مجله صنعت ریخته گری، شماره ۷۲، آذر ۱۳۸۹
15. "Shot Peening application", Ninth Edition, Metal Improvement Company, 2005
۱۶. مجید شمسی پور، محمد صالحی "بررسی فرایند شات پینینگ و تاثیر آن بر عمر خستگی چرخنده ها" دومین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید، ۱۳۸۸
17. Dennis P. Townsend, Erwin V. Zaretsky "Effect of Shot peening on Surface Fatigue Life of Carburized and Hardened AISI 9310 Spur Gears", NASA Technical Paper 2047, 1982
18. A. Vahratian, R. Garibay, "Application of Statistically Capable Shot Peening to Automotive Component Design", Proceeding of ICSP-5 Confrens, 1993, pp73-84.
۱۹. اصغر کاظمی، علی پیشگاه زاده، مهدی بحیرایی "تورشن بار: روش تولید، نحوه کارکرد و راه های افزایش عمر خستگی" ماهنامه مهندسی خودرو و صنایع وابسته، ویژه فروردین ۳۸۸، سال اول، شماره ۵، ص ۴۹-۵۳

گردد که حضور در این مجامع علمی و به مرحله اجرا رساندن این فناوری در کشور عزیزمان، ایران، امری ضروری است و بسیاری از صنایع کشور (خصوصاً قطعه سازان) با بهره گیری از این روش می توانند به تولید محصولاتی با کیفیت و عمر بالاتر اقدام نمایند. آنچه ذکر شد تنها گامی کوچک در راه آشناسازی بیشتر محققان و صنعتگران کشور با این فناوری بود. امید است که صنعتگران عزیز همچنان رهپویان این مسیر باشند. (انشاء...)

## ۸- مراجع

۱. جواد قربانیان، عماد نیشابوری "مقدمه ای بر شات بلاست و شات پینینگ" انتشارات دستان- بهار ۱۳۹۲
2. A.S., Yazdani, S. Avishan, "Effect of shot peening process on fatigue behavior of an alloyed austempered ductile iron" China Foundry, Volume 8, Issue 3, August 2011, Pages 325-330
3. Metals Handbook, "Shot Peening", Vol. 15, pp. 138 - 149
4. Champigane, J, "Shot Peening Overview", Shot Peening Conference, January 18, 2001.
5. I. Almen, "Shot Blasting To Increase Fatigue Resistance", SAE Journal (Transactions), Vol. 51
6. John Cammett, "Quality Assurance Of Shot Peening By Automated Surface And subsurface Residual Stress Measurement", The Shot Peener, vol. 15, Issue 3, September 2001, pp. 7-8
7. Y.K. Gao, M. Yao and J.K. Li, "An Analysis of Residual Stress Fields Caused by Shot Peening", Metallurgical and materials Transactions, Vol. 33a, 2002, pp. 1775-1782.
8. S. Chang, S. Lee and T. Tang, "Effect of Shot Peening Treatment on Forging Die Life", Materials Transactions, Vol. 49, No. 3 (2008) pp. 619 to 623
9. G. Rosenberg: "Effect Of Shot Peening On Fatigue Properties Of Steel In Different Structural States", Materials Engineering, pp68-72
10. Atsumi Hatano And Kunio Namiki, "Application Of Hard Shot Peening To Automotive Transmission Gears", International Congress & Exposition Detroit, Michigan February 1992, pp24-28
۱۱. میر نریمان یوزباشی، ساسان یزدانی، علیرضا ابراهیمی، "تأثیر عملیات ساچمه زنی بر رفتار خستگی فولاد 1045" مجموعه مقالات اولین همایش مشترک انجمن مهندسين متالورژی و انجمن ریخته گری ایران، ۱۳۸۶
۱۲. عرفان خسرویان، مهرداد پور سینا "تأثیر عملیات لیزر پینینگ بر روی بهبود خواص مکانیکی آلیاژهای فلزی" کنفرانس ملی مهندسی ساخت و تولید، ۱۳۸۶
۱۳. سعید اخوان، منوچهر محمدحسینی میرزائی، حمید ذولفقاری، محمدرضا طرقي نژاد "تأثیر پارامترهای عملیات ساچمه زنی بر روی عمر خستگی آلیاژ 2024 آلومینیوم مورد استفاده در قطعات هوایی" دهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران ۱۲-۱۰ اسفند ماه - 1389 تهران، دانشگاه تربیت مدرس