توجیه اقتصادی بازیابی قطعات نظامی

تهیه و تدوین: مهندس حسین راژ ـ مهندس احمدرضا قربانی

چکیده

نیاز روزافزون صنایع نظامی به قطعات یدکی از یک طرف و دور ریز قطعات فرسوده از طرف دیگر، لزوم بازیابی را موجب می‌شود. شرط اصلی قابلیت یک روش در بازیابی یک قطعه این است که حداقل از نظر فنی به خواص مکانیکی قطعه آسیب نرسد یا افت خواص قابل چشم‌پوشی باشد. روش بازیابی باید بتواند قطعه را از نظر کارآیی به حالت اول برگرداند یا بهبود بخشد. مسئله دیگر اقتصادی بودن فرآیند است، هزینه بازیابی قطعه باید به میزان قابل قبولی کم باشد. اگر در مورد یک قطعه هزینه بازیابی زیاد باشد، بازیابی آن در صورتی قابل توجیه است که مسئله فوریت، مهم باشد و یا کارآیی و عمر قطعه افزایش یابد. روشهای فلزپاشی، جوشکاری، آبکاری موضعی و استفاده از مواد اپوکسی به دلیل پیچیده نبودن و ارزان‌تر بودن نسبت به سایر روشهای جرم گذاری، رایج‌ترند. دراین نوشتار فرآیندهای بازیابی از نظر فنی و اقتصادی مورد بحث قرار می‌گیرند و مثالهای کاربردی همراه با تحلیل اقتصادی ارائه خواهد شد.با توجه به تجربیات، مطالعات و بررسیهای انجام شده بازیابی قطعات نظامی از نظر فنی و اقتصادی قابل توجیه است.

۱ـ مقدمه

صنایع نظامی نیاز شدید و روز افزون به قطعات یدکی دارند. این قطعات بحرانی بوده و در صورت عدم تامین، سیستم نظامی مختل شده و زیانهای جبران ناپذیری به امنیت کشور وارد می‌شود. از طرف دیگر، بیگانگان حساسیت بسیاری نسبت به مسایل نظامی ایران و تحریم اقتصادی به خصوص در مورد قطعات و تجهیزات نظامی دارند. این مشکلات در زمان جنگ شدیدتر است. علاوه بر این حجم زیادی از قطعات نظامی فرسوده در کشور وجود دارد و روز به روز نیز بر تعداد آنها افزوده می‌شود. به دلیل قیمت بالای قطعات نظامی، تأمین آنها از طریق خرید مستلزم پرداخت هزینه‌های بسیار است. به دلیل تنوع تجهیزات و قطعات نظامی و نبود دانش فنی، ساخت این قطعات اقتصادی و قابل رقابت نبوده وبا مشکلات بسیار همراه است.

در چنین شرایطی فناوری بازیابی در مقایسه با زمان از دست رفته برای تأمین (خرید یا ساخت) و خسارات ناشی از آن قابل توجیه است. بازیابی قطعات با روشهای جرم گذاری (فلز پاشی، جوشکاری، آبکاری موضعی و استفاده از مواد اپوکسی) با صرف هزینه اندک قابل انجام است. در کاربردهای جاری با استفاده از پوششهای خاص می‌توان از قطعات ارزانتر استفاده کرد. به عبارت دیگر، در این روش با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی، خواصی به محصول اضافه می‌شود که به وسیله سایر روشهای ساخت و تولید به دست نمی‌آید. صرفه‌جوییها در بعضی از کاربردهای تعمیری به قدری زیاد است که هزینه تجهیزات بازیابی یا میزان مواد مصرفی خیلی مهم نیست. لذا، می‌توان گفت که بازیابی قطعات از چند جهت توجیه‌پذیر است و باعث کاهش هزینه‌های زیر می‌گردد:

۱ـ کمک به حل مشکل کمبود و نبود قطعات یدکی در زمان بحران و تحریم اقتصادی،

۲ـ کاهش زمان تامین قطعه که منجر به کاهش زمان توقف دستگاهها و ادوات نظامی می‌شود،

۳ـ کاهش واردات قطعه، جلوگیری از خروج ارز و کاهش هزینه‌ها،

۴ـ کاهش هزینه‌های انبارداری و نگهداری قطعات یدکی،

۵ـ صرفه‌جویی در توان صرف شده برای دمونتاژ و مونتاژ (بعضی از فرآیندهای بازیابی را می‌توان در محل و بدون نیاز به دمونتاژ دستگاه اعمال نمود)،

۶ـ کاهش قطعات یدکی از رده خارج شده به دلیل جایگزینی سیستمهای جدید.

۲ـ تعریف بازیابی

منظور از بازیابی، ترمیم سطوح قطعات فرسوده با استفاده از فرآیندهای جرم‌گذاری است که قطعات از نظر ابعادی و کیفیت به حالت اولیه یا بهتر از آن بر می‌گردند. روشهای مهم جرم‌گذاری در بازیابی و ترمیم قطعات عبارتند از: فلزپاشی ، جوشکاری رویه کاری ، آبکاری موضعی و استفاده از مواد اپوکسی؛

فلزپاشی یک روش پوشش‌دهی قطعات است. در این فرآیند ماده اولیه به شکل سیم یا پودر در یک منبع حرارتی ذوب شده و با گاز فشرده به صورت ذرات ریز بر سطح قطعه پاشیده می‌شود. تنوع بسیار مواد پاششی و نرخ بالای جرم گذاری موجب ایجاد خواص متنوع سطحی در زمان اندک بدون تاب برداشتن و کاهش خواص مکانیکی قطعه (به دلیل بالا نرفتن دمای قطعه) می‌شود.

فرآیندهای فلزپاشی عبارتند از: پاشش شعله‌ای ، پاشش قوس الکتریکی و پاشش پلاسمای . جوشکاری که به عنوان یک روش اتصال دائمی قطعات ابداع گردیده، امروز سهم مهمی در بهسازی سطوح قطعات نو، بازیابی سطوح فرسوده و ترک خوردگیها دارد. در جوشکاری، بیشتر از روشهای میگ ، تیگ ، قوسی دستی و زیر پودری استفاده می‌گردد.

آبکاری موضعی نیز به عنوان یک روش پوشش دادن قطعات است. یکی از کاربردهای این روش پوششهای مقاوم به سایش است که در بازیابی سطوح فرسوده در محل کار بدون نیاز به دمونتاژ در زمان نسبتاً کم به کار می‌رود. با استفاده از مواد اپوکسی می‌توان بعضی از خرابیهای سطحی را ترمیم نمود.

۳ـ توجیه فنی و اقتصادی در بازیابی

استهلاک قطعات تجهیزات و ماشین‌آلات عمدتاً در اثر سایش، شکست و خوردگی صورت می‌گیرد. سایش قطعات ماشین اغلب در نتیجه انطباق نامناسب بین قطعات درگیر اتفاق می‌افتد. شکست قطعات ممکن است در اثر خستگی و تنشهای مکانیکی یا حرارتی رخ دهد. خوردگی معمولاً در اثر عوامل شیمیایی و حرارتی ایجاد می‌گردد و ممکن است سطحی یا عمقی باشد. قطعات دچار سایش و خوردگی سطحی را می‌توان با هر سه روش فلزپاشی، آبکاری موضعی و جوشکاری بازیابی کرد. اما برای جبران شکستگی قطعات و خوردگی عمقی و جاهایی که به مقاومت ضربه‌ای نیاز دارد لزوماً باید از روش جوشکاری استفاده نمود. در بازیابی قطعات استفاده از روشی خوب است که تحت شرایط تولید و نوع سایش و جنس قطعه بیشترین مزیت را داشته باشد. یک قطعه بازیابی شده باید عمر سرویس طولانی داشته و در عمل قابل اعتماد باشد.

چنانچه سابقه شکست خستگی در عمر سرویس اصلی قطعات ناچیز باشد این احتمال وجود دارد که این گروه قطعه بتواند برای یک دوره عمر سرویس بازیابی نیز بکار گرفته شود. تشخیص این موضوع قطعاً به بررسی آماری شکست خستگی در نمونه‌های بازیابی شده بستگی دارد. برای بازیابی قطعات باید موارد زیر را رعایت کرد تا عمر سرویس افزایش یابد:

ـ قطعات بازیابی شده باید دارای پرداخت سطحی نهایی خوب باشند،

ـ از مواد مقاوم به سایش و خوردگی برای جرم گذاری استفاده گردد،

ـ از روشی باید استفاده کرد که سختی و استحکام مناسب را ایجاد کند.

ـ روغنکاری سطوح درگیر باید کافی باشد،

از ورود گرد و غبار فلزی یا مواد زائد به سطوح درگیر جلوگیری شود.

در توجیه اقتصادی بازیابی نیز باید به نکات زیر توجه نمود:

۱ـ ناکارآیی قطعه به علت آسیب‌دیدگی محدود و جزئی سطح آن باشد و ترمیم آن در مقایسه با خرید و ساخت، هزینه کمتری در بر داشته باشد،

۲ـ عمر سرویس بازیابی بیشتر از عمر سرویس بازسازی مجموعه مادر باشد، زیرا دمونتاژ بی موقع مجموعه به هیچ عنوان اقتصادی نخواهد بود، بجز در مواردی که قطعه با استفاده از اندازه تعمیری یا قطعه تعمیری اضافی تعمیر می‌شود، برای مابقی قطعات فقط دو راه برای ایجاد انطباقهای مناسب وجود دارد:

ـ تعویض قطعات معیوب با قطعات نو،

ـ بازیابی قطعات معیوب.

حداکثر هزینه مجاز بازسازی ماشین، توجیه اقتصادی را منطقی‌تر جلوه می‌دهد. در موارد غیر نظامی حداکثر هزینه قابل قبول برای بازیابی، ۱۵ تا ۴۰ درصد قیمت قطعه نو است. در موارد نظامی علاوه بر هزینه بازیابی، عوامل دیگری مانند نیاز راهبردی به قطعه و....می‌تواند تاثیرگذار باشند.

۴ـ فلز پاشی

از نظر فنی با آماده‌سازی مناسب سطح قطعه (شستشو و خنک کردن سطح)، پیش گرم کردن قطعه، رعایت فاصله مناسب تفنگ پاشش نسبت به سطح قطعه کار و استفاده از مواد پوشش پیوندی می‌توان چسبندگی کافی بین پوشش و قطعه (زیر لایه) ایجاد کرد و از ایجاد ترک در پوشش جلوگیری نمود. در فلز پاشی چون مواد مذاب در اثر هوای فشرده به سطح زیر لایه بر خورد می‌کنند و پهن می‌شوند، ساختار لایه‌ای همراه با تخلخل و اکسید تشکیل می‌شود. علاوه بر این، سرعت سرد شدن ذرات زیاد است، به همین دلیل ماده پاشیده شده سخت‌تر از ماده اولیه است. وجود تخلخل در پوششهای فلزپاشی، بخصوص برای سطوح یاتاقانی مفید است. زیرا تخلخل موجب جذب روغن و افزایش خاصیت روانکاری می‌شود. این مسئله به همراه سختی بالای ذرات موجب می‌شود که پوششهای فلز پاشی در برابر سایش مقاوم باشند. محدودیت پوششهای فلز پاشی این است که در برابر ضربه و تنش متمرکز مقاوم نیستند. جایی که ضربه و تنشهای ناگهانی وجود داشته باشد می‌توان از روش جوشکاری استفاده نمود.

با توجه به خواص فوق جاهایی که فلزپاشی به عنوان روش بازیابی مناسب تشخیص داده شود، فرآیند فلزپاشی کارآیی بالایی خواهد داشت. تجربه نشان داده است که عمر یاتاقانهای گرد فلزپاشی شده ۳ تا ۵ برابر عمر یاتاقان گردهایی است که فلزپاشی نشده‌اند. بجز روش پاشش و گداختن، در سایر موارد دمای قطعه در حین فرآیند معمولاً از ۱۵۰ درجه بالاتر نمی‌رود. بنابراین، عوارض جانبی (مانند تغییر ساختار و خواص مکانیکی قطعه) وجود ندارد.

بحث در مورد اقتصادی بودن فلزپاشی بدون توجه به مثالهای عملی و هزینه‌های مربوط مشکل است. در مطالعه این مثالها باید جانب احتیاط را رعایت نمود. هر کاربرد پیشنهادی باید بر اساس شرایط خاصی که مد نظر قرار می‌گیرد محاسبه گردد. بسته به نوع نصب، سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه نیروی انسانی در منطقه، قیمت مواد اولیه و سود مورد نظر، قیمت تمام شده تغییر می‌کند. عمده هزینه‌های فلزپاشی شامل موارد زیر می‌شود:

۱ـ نیروی انسانی،

۲ـ استهلاک تجهیزات: دستگاه فلزپاشی شعله‌ای یا قوسی، تجهیزات هوای فشرده، دستگاه تراش، دستگاه سنگ‌زنی، دستگاه شن‌پاشی.

۳ـ هزینه مواد مصرفی: سیم مصرفی، هوا، اکسیژن، استیلن، برق، مواد روپوشانی ۱۲، مواد ساینده کاربید سیلیسیم محلول شستشو، ابزار برش و چرخهای سنگ‌زنی، فیلترها و مواد آب‌بندی.

۴ـ سایر موارد: هزینه‌های اداری، حمل‌ونقل، ایمنی و بهداشت و کنترل کیفیت.

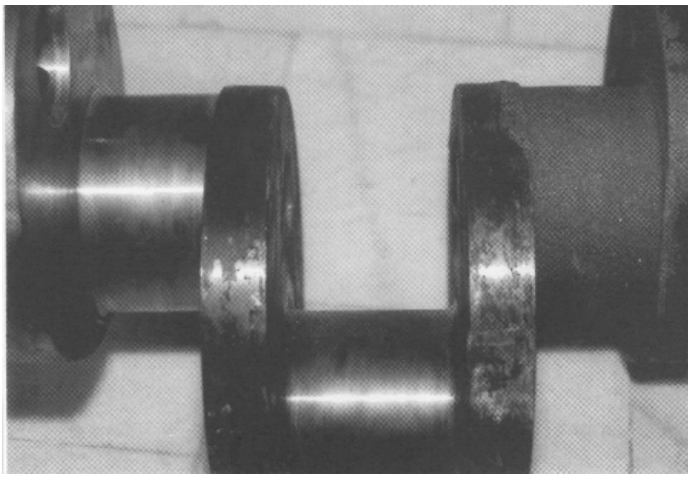
باید توجه داشت که بخش قابل توجهی از هزینه‌ها، به نیروی انسانی، فرآیند فلزپاشی و مواد مصرفی مربوط می‌شود. فرآیندهای فلزپاشی به طور ذاتی پر سرو صدا بوده و تولید گردوغبار زیادی می‌کنند. اگر تجهیزات برای حفاظت فضای اپراتوری از گردوغبار به طور مناسب طراحی نشود، جذب پرسنل با کارآیی بالا مشکل است زیرا وجود آلودگی و سر و صدا علاوه بر زیانهای جسمی، آثار روحی روانی منفی بر کارکنان می‌گذارد. در مورد کاربردهای با حجم بالای پاشش، کنترل گرد و غبار می‌تواند پر هزینه باشد. فیلترها و جمع‌کننده‌ها باید نصب شوند و در موارد شدیدتر باید هزینه‌هایی صرف نگهداری، جابه‌جایی و دفع گرد و غبار یا مواد زائد گردد. برای نگهداری مواد مصرفی قبل از استفاده باید تجهیزاتی موجود باشد. بعضی مواد پودری نیاز به یک محیط خشک و کنترل شده دارند تا رطوبت را جذب نکنند. جذب رطوبت پاشش، کنترل گرد و غبار می‌تواند پر هزینه باشد. فیلترها و جمع‌کننده‌ها باید نصب شوند و در موارد شدیدتر باید هزینه‌هایی صرف نگهداری، جابه‌جایی و دفع گرد و غبار یا مواد زائد گردد. برای نگهداری مواد مصرفی قبل از استفاده باید تجهیزاتی موجود باشد. بعضی مواد پودری نیاز به یک محیط خشک و کنترل شده دارند تا رطوبت را جذب نکنند. جذب رطوبت می‌تواند باعث ایجاد اشکال در تغذیه و افزایش هزینه فرآیند و از دست دادن زمان گردد. تجهیزات حمل و نگهداری گاز باید به لوازم ایمنی مجهز باشد. باید به هزینه نظارت کافی و کنترل کیفیت برای

اطمینان بخش بودن روشها و استانداردها توجه کرد وگرنـه برگـشتیها و نـا کارآمـدی فرآینـد باعـث افـزایش هزینـه مـی‌گـردد. نمونه‌هایی از قطعاتی که به روش فلزپاشی بازیابی می‌شوند در زیر ارائه شده است.

۴ـ۱ـ میل‌لنگ

این قطعه مهم‌ترین جزء از قطعات موتور است و حرکت رفت و برگشتی پیستونها را به حرکت دورانی تبدیل و به فلایویل، کلاچ و از آنجا به گیتار منتقل می‌کند. سطوح یاتاقانی آن تحت سایش مداوم قرار می‌گیرند. در اثر سایش قطر یاتاقان گردهـا از مقـدار مجاز کمتر شده و نیاز به بازیابی پیدا می‌کند. این قطعه یک قطعه کلیدی است و نقش مهمی در کـار موتـور دارد، عـلاوه بـراین قیمت بالایی دارد. با صرف هزینه اندکی نسبت به قطعه اصلی می‌توان آن را با فلزپاشی بازیابی نمود. هزینه متوسط بازیـابی یـک عدد میل‌لنگ سنگین موتورهای زمینی به روش فلزپاشی به شرح ذیل است:

فرآیند	هزینه (ریال)
شستشو و سندبلاست	۵۰۰/۰۰۰
سنگ زنی مقدماتی	۱۰۰/۰۰۰
سیم مصرفی	۲۳۰/۰۰۰
اکسیژن، استیلن و هوای مصرفی	۱۰۰/۰۰۰
استهلاک تجهیزات پاشش	۱۲۵/۰۰۰
برق مصرفی	۲۵/۰۰۰
نیروی انسانی	۵۵۰/۰۰۰
سنگ‌زنی نهایی	۷۰۰/۰۰۰
مواد مصرفی دیگر	۱۵/۰۰۰
حمل‌ونقل	۱۰۰/۰۰۰
سایر هزینه‌ها	۱۰۰/۰۰۰
جمع کل هزینه‌های بازیابی	۲/۵۴۵/۰۰۰



شکل ۱: تصویر میل‌لنگ بازیابی شده به روش فلزپاشی

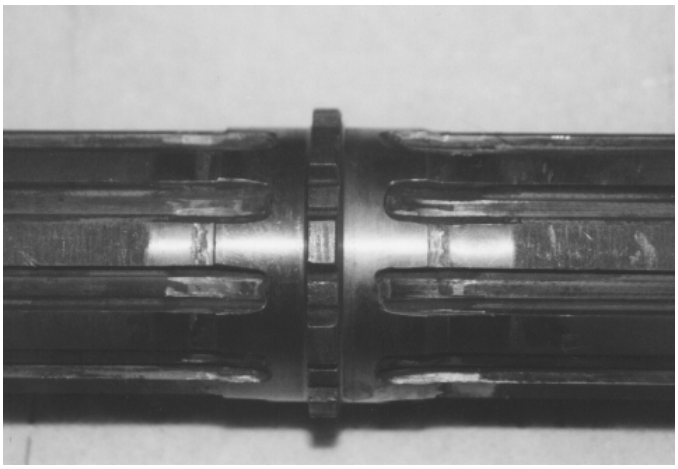
۴ـ۲ـ مجموعه ضربه‌گیر خودروهای زرهی

مجموعه ضربه گیر از سه قطعه اصلی بدنه، تیغه ثابت و پروانه متحرک تـشکیل شـده اسـت. وظیفـه ایـن مجموعـه مهـارکردن شوکهای پیچشی وارد بر بازویی چرخ است. عملکرد این مجموعه مشابه کمک فنر در خـودرو اسـت. نیروهـای منتقـل شـده بـه اجزای مجموعه ضربه گیر شدید و ناگهانی است، با وجود این سطوح در گیر آن تحت سایش قرار می‌گیرند و تنشهای متمرکـز و بارهای ضربه‌ای بر سطوح وارد نمی‌شوند. با استفاده از فلزپاشی می‌توان سطوح ساییده شده را به ابعاد اولیه برگرداند. در مجموعه

ضربه‌گیر با توجه به اینکه سه قطعه با یکدیگر در تماس قرار دارند، رعایت انطباقها پیچیدگی خاصی دارد. تلرانس ابعادی قطعات ضربه گیر در حد ۰/۰۱ میلی‌متر است. بنابراین باید زمان بسیاری در هنگام ماشین کاری برای به دست آمدن قطعات نهایی، صرف گردد. گفتنی است که هزینه بازیابی هر مجموعه ضربه گیر بسته به صدمات وارد و سطوح فرسوده آن متفاوت است و هزینه‌های محاسبه شده بر اساس متوسط چند نمونه ضربه گیر است. متوسط هزینه بازیابی یک مجموعه ضربه گیر به شرح زیر است:

فرآیند	هزینه (ریال)
آماده سازی	۱۰۰/۰۰۰
جرم گذاری	۸۰۰/۰۰۰
ماشین کاری و سنگ زنی	۲۵۷/۵۰۰
استهلاک تجهیزات	۱۰۰/۰۰۰
نیروی انسانی	۵۰۰/۰۰۰
سند بلاست و رنگ آمیزی	۲۰/۰۰۰
نصب و مونتاژ	۱۰۰/۰۰۰
کنترل و آزمون	۱۰۰/۰۰۰
سایر هزینه‌ها (حمل‌ونقل و اداری)	۱۰۰/۰۰۰
جمع کل هزینه‌های بازیابی	۲/۰۷۷/۵۰۰

شکل ۲: پره ضربه‌گیر بازیابی شده به روش فلزپاشی



شکل ۳: شافت خروجی گیربکس فلزپاشی شده

۴ـ۳ـ بازیابی سنبه (ماندرل *mandrel*)

یک مثال جهت مقایسه ارائه می‌گردد. سنبه‌های شکل‌دهی در تولید لوله پلاستیکی به کار می‌روند. اندازه سنبه بستگی به اندازه لوله تولیدی دارد. قطر ۵۰-۲۰ سانتیمتر و طول آن ۷ متر است. بیشتر سنبه‌ها یک یاتاقان گرد به قطر خارجی ۷۵ میلیمتر و طول ۴۰۶ میلیمتر در دو طرف دارد. جنس سنبه فولاد کم کربن است. برای صرفه‌جویی در هزینه جایگزینی قطعه از روش قوس الکتریکی برای بازیابی سنبه‌های فرسوده استفاده می‌شود. نوع پوشش استفاده شده فولاد زنگ نزن ۴۲۰ است.

مقدار سیم مصرفی برای بازیابی هر سنبه: ۱۲۲ کیلوگرم

زمان فلزپاشی: ۹۵ ساعت (هزینه دستمزد ۴۷۵۰ دلار با فرض این که دستمزد یک ساعت ۵۰ دلار باشد)

هزینه‌ها به شرح زیر است:

قیمت سیم مصرفی	۸۱۰ دلار
برق	۱۰ دلار
هوای فشرده فلز پاشی	۴ دلار
هوای فشرده سندبلاست	۴ دلار
ماده ساینده سندبلاست	۱۵ دلار
جمع:	۵۵۹۳ دلار

تعویض قطعه با یک قطعه نو تقریباً ۱۳۰۰۰ دلار هزینه در بر دارد. علاوه بر سود، بازیابی سنبه در مقایسه با تعویض حدود ۵۰۰۰ دلار صرفه‌جویی دارد. اعداد فوق صرفاً برای مقایسه داده شده‌اند. هزینه‌ها بسته به نوع تجهیزات نصب شده، سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه نیروی انسانی در منطقه، تغییر قیمتها و سود، تغییر می‌کنند.

۵ـ جوشکاری

برای جبران انواع استهلاک متحمل بر قطعات مکانیکی لزوماً باید روش مناسب به طور صحیح انتخاب شود و با استفاده از مواد مناسب به طور صحیح اجرا گردد. از نظر اجرای جرم گذاری تقریباً تمام عیوب مکانیکی با روش جوشکاری قابل بازیابی هستند. آماده‌سازی سطح از نظر تامین پیوند مناسب بین پوشش و قطعه لازم است، اما حساسیت آن مانند روشهای دیگر نیست. در جوشکاری به دلیل ذوب خوب قطعه زیر لایه و فلز پرکننده نفوذ پوشش بسیار زیاد بوده و پیوند فلزی قوی بین پوشش و زیر لایه ایجاد می‌شود.

استحکام کششی پوشش ایجاد شده بستگی به فلز پرکننده و زیر لایه دارد و با انتخاب مناسب ماده پرکننده و اجرای صحیح روش (پیشگرم تا دمای مناسب و....) می‌توان به استحکام کششی مناسب پوشش دست یافت. از نظر **۵ـ۲ـ بدنه موتور و کارتر**

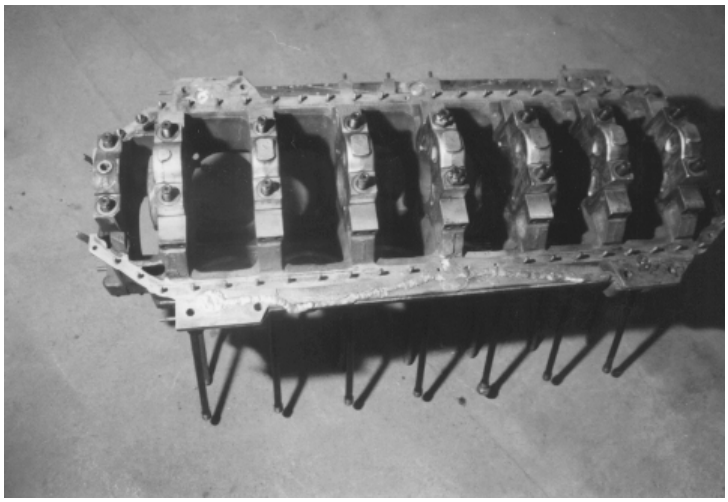
بدنه موتور و کارتر در اثر تنشهای حرارتی و مکانیکی (یخ زدن آب در داخل موتور) و خوردگی دچار ترک خوردگی و سوراخ شدگی می‌شود. بعضی از ترک خوردگیها و سوراخ شدگیها را می‌توان توسط جوشکاری بازیابی و ترمیم نمود. جنس بدنه موتور و کارتر در این نمونه خاص از آلیاژهای آلومینیم ساخته شده است. جوشکاری آلومینیم مشکلات خاصی دارد و نسبت به جوشکاری فولاد هزینه بیشتری دارد. هزینه بازیابی بدنه موتور و کارتر به شرح زیر است:

الف) بدنه موتور

فرآیند	هزینه (ریال)
آماده سازی	۱۰۰/۰۰۰
جوشکاری	۱/۰۰۰/۰۰۰
کنترل و بازرسی	۳۰۰/۰۰۰
ماشین کاری	۱۰۰/۰۰۰
سایر هزینه‌ها	۵۰۰/۰۰۰
جمع	۲/۰۰۰/۰۰۰

ب) کارتر

فرآیند	هزینه (ریال)
	۸۰/۰۰۰
	۸۰۰/۰۰۰
	۲۵۰/۰۰۰
	۷۰/۰۰۰
	۳۰۰/۰۰۰
جمع	۱/۵۰۰/۰۰۰



شکل ۵: بدنه موتور جوشکاری شده

۶ـ آبکاری موضعی

آبکاری موضعی که با عنوان آبکاری با برس نیز شناخته شده است با آبکاری درون حمام یا مخزن الکترولیت متفاوت است. در این روش قطعه کار در محلول آبکاری غوطه‌ور نمی‌شود، در عوض الکترولیت بر قطعه کار منتقل می‌شود. به این ترتیب که از آند به صورت میله‌ای که سر آن یک لفافه جاذب رطوبت قرار دارد برای اعمال محلول بر قطعه کار (کاتد) استفاده می‌شود.

چون آبکاری قطعات مستلزم جرم برداری قابل ملاحظه از قطعه نیست و به علاوه هیچگونه حرارت مضری به قطعه وارد نمی‌گردد، خطری برای کاهش خواص مکانیکی و عمر خستگی قطعات وجود ندارد. تنها عارضه این روش احتمال تردی هیدروژنی است که آن را نیز می‌توان به نحو مناسب به حداقل ممکن تقلیل داد. اگر چه قابلیت اعمال پوشش تا ضخامتهای بالا (۱٫۵ mm) وجود دارد، کاردهی مناسب پوشش در ضخامتهای کم بهتر است.

تقریباً غیر قابل دسترس‌ترین سطوح (داخل لوله) را می‌توان با استفاده از آند مناسب آبکاری نمود. با کنترل پارامترهای آبکاری می‌توان چسبندگی مناسبی بین پوشش و زیر لایه ایجاد نمود. با استفاده از فرآیند آبکاری موضعی می‌توان پمپها، موتورها، فلانجها، شیرها و قطعات دیگر را در محل بدون حرارت و تاب برداشتن و بیشتر اوقات بدون ماشینکاری بعدی بازیابی نمود. این فرآیند پرتابل بوده و بدون استفاده از مخزن تا حدود ۱۰۰ فلز و آلیاژ را می‌توان توسط آن اعمال کرد. بازسازی محورها و شافتهای فرسوده یا سوراخ شده در موارد زیادی بدون دمونتاژ کامل‌پذیر است.

فرآیند تا ۶۰ برابر سریعتر از آبکاری وانی است. بنابراین، پوششهای سریع را می‌توان ایجاد نمود. چون آبکاری موضعی یک فرآیند آبکاری الکترولیتی است، پیوند فلزی با طبیعت اتمی تشکیل شده و چسبندگی پوشش زیر لایه بالا است. چون در اغلب موارد نیاز به ماشینکاری قبلی و بعد از آبکاری وجود ندارد و در بسیاری جاها می‌توان بدون دمونتاژ قطعه آن را بازیابی نمود و سرعت فرآیند بالاست، هزینه‌های بازیابی با روش آبکاری موضعی پایین می‌آید. بر اساس مستندات موجود، سطوح یاتاقانی پره

ضربه‌گیر قبلاً با هزینه تقریبی ۱۰٪ قطعه اصلی با آبکاری کروم سخت، بازیابی شده است و به خوبی یک دوره سرویس بازسازی مجموعه مادر را طی نموده است.

هزینه‌های مربوط به بازیابی یک قطعه به روش آبکاری موضعی عبارتند از:

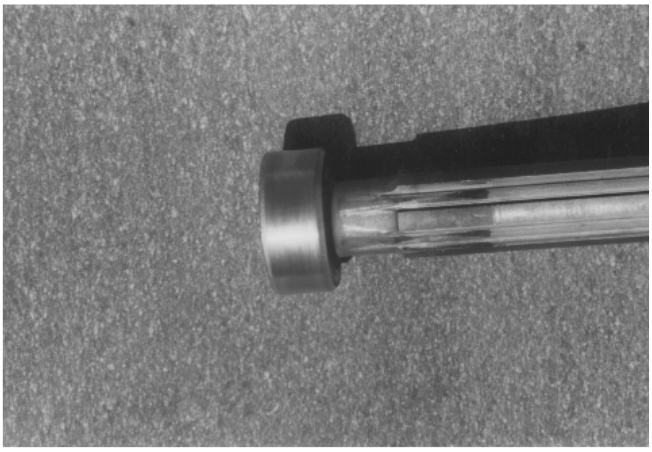
- محلولهای تمیزکاری؛
- محلولهای اکتیواسیون؛
- محلولهای آبکاری؛
- آندهای گرافیتی؛
- پارچه و پنبه؛
- استهلاک تجهیزات و نگهداری؛
- برق.

نمونه‌ای از قطعات قابل بازیابی توسط آبکاری موضعی در زیر ارائه شده است.

۶ـ۱ـ بازیابی یک نمونه شافت محرک

این شافت به صورت یک شافت هرزگرد کار می‌کند. بر روی آن یک هزار خاری ممتد وجود دارد که محل نصب انتقال قدرت است. در انتهای آن رزوه مهره تثبیت چرخ‌دنده‌ها و شافت قرار دارد. در یک انتهای آن نیز محلی برای استقرار یاتاقان غلطشی وجود دارد. سایش بیش از حد مجاز سطح یاتاقانی با استفاده از آبکاری موضعی قابل بازیابی است. جنس این قطعه فولاد کروم-نیکل- تنگستن، و سختی آن در قسمت یاتاقان HB ۳۴۱-۴۴۵ است. هزینه بازیابی این قطعه به صورت زیر است:

فرآیند	هزینه (ریال)
تمیز کاری و اکتیواسیون	۵۰/۰۰۰
آبکاری	۱۵۰/۰۰۰
استهلاک تجهیزات	۵۰/۰۰۰
برق و سایر مواد مصرفی	۵۰/۰۰۰
جمع	۳۰۰/۰۰۰



شکل ۶: شافت محرک پروانه آبکاری شده

قیمت خرید این نمونه قطعه ۱,۰۰۰,۰۰۰ ریال است بنابراین بازیابی این قطعه به روش آبکاری علاوه بر کاهش زمان از کار افتادگی دستگاه ۷۰ درصد صرفه‌جویی اقتصادی دارد. در اینجا برای توجیه اقتصادی آبکاری موضعی مواردی از انجام فرآیند بر قطعات صنعتی، تجهیزات دریایی و هوایی برای نمونه ارائه می‌گردد. مثالهای زیر نیز نمایانگر اهمیت و توجیه اقتصادی بازیابی برخی از قطعات است که از منابع مختلف گردآوری شده است.

۱ـ هوزینگهای یاتاقان روی پمپها، موتورها و پروانه‌ها دچار خوردگی سایش نوسانی در حین کار می‌شوند. فرآیند آبکاری موضعی برای آبکاری این سوراخها به ابعاد اولیه توسط مس، قلع یا نیکل به کار می‌رود. ماشینکاری سوراخها قبل از آبکاری تنها برای متحدالمرکز کردن آنها لازم است. آبکاری یک هوزینگ یاتاقان ساییده شده می‌تواند در کمتر از سی دقیقه انجام شود و یک جایگزین اقتصادی برای ماشینکاری و افزایش قطر سوراخ ۱۳ و جازدن بوش و ماشینکاری به ابعاد اولیه است.

۲ـ برای کاربردهای دریایی، تجهیزات فرآیند آبکاری موضعی را می‌توان برای تعمیرات و بازیابی در محل قطعات بزرگ مانند شافتهای پروانه، نشیمن‌گاههای یاتاقان و جداره‌های توربین به داخل کشتی برد.

الف) پوشش نیکل به ضخامت ۰٫۵ mm به یک یاتاقان گرد چرخان داده شد که موجب شد یک شافت دنده پینیون صد هزار دلاری کشتی سالم بماند.

ب) یک پوشش مس با یک لایه فوقانی نیکل در محل به یک سطح یاتاقان جعبه دنده کاهشی ۱۴ داده شد که موجب شد در زمان و رفع نیاز برای باز کردن بخشی از کشتی برای جدا کردن و تعمیر قطعه صرفه‌جویی شود.

ج) آبکاری بابیت روی سطح داخلی یک یاتاقان ماشینکاری شده به قطر ۶۵mm نیاز به رو برداشت و ریخته‌گری مجدد را بر طرف نمود. ریخته‌گری مستلزم مصرف حجم زیادی بابیت و ماشینکاری بعد از آن است که وقت گیر بوده و هزینه‌های زیادی در بر دارد.

۳ـ قسمتی از سیلندر چرخ فرود اصلی هواپیما دچار فرسایش شده بود. آبکاری دهانه با سرعت کنترل شده موجب تعمیر قطر داخلی لوله با ضخامتهای ۲۵۰ تا ۷۵۰ میکرون با دامنه تلرانس ۵۰ میکرون شده است. پوششهای ۷۵۰ میکرون را می‌توان تقریباً در دو ساعت اعمال کرد. آبکاری مخزنی برای تعمیر مشابه، نیاز به غوطه‌وری قطعه در دوره‌های طولانی مدت (۷۲-۲۴ ساعت) برای دستیابی به ضخامت پوشش لازم دارد. این غوطه‌وری خیلی وقت گیر بوده و نیاز به روپوشانی دقیق دارد. آبکاری موضعی سرعت فرآیند را زیاد می‌کند و به روپوشانی کمتری نیاز دارد. علاوه بر این، پوشش محدود در لبه‌ها، عملیات ماشینکاری را کاهش می‌دهد یا حذف می‌کند، در نتیجه هزینه‌ها کاهش می‌یابد. در جدول «۱» نمونه‌هایی از قطعات بازیابی شده توسط آبکاری موضعی به همراه بازیابی و صرفه‌جویی به عمل آمده ارائه شده است.

جدول ۱: نمونه‌هایی از قطعات بازیابی شده به روش آبکاری موضعی و هزینه‌ها

قطعه	هزینه بازیابی(دلار(	هزینه تعویض با قطعه نو) دلار(	صرفه جویی (دلار(
بوش	300	700	400
هوزینگ یاتاقان آسیاب صنعتی	100	1000	900
شافت	300	653	353
میله های پیستون (دسته شاتون(	600	5822	5222
گیربکس سرعت بالا	150	1500	1350

۷- استفاده از مواد اپوکسی

اخیراً اتصال و ترمیم قطعات با چسب به قدری مطمئن و پیشرفته شده است که از آن در بسیاری از زمینه‌ها حتی در صنایع حساس نظیر اتومبیل‌سازی و هواپیماسازی استفاده می‌شود. متداول‌ترین چسبهای مصرفی در صنعت شامل ترموپلاستیکها مثل پلی آمیدها، وینیلها و لاستیکهای نئوپرن بدون گوگرد، پلاستیکهای ترموست مثل اپوکسیها، ایزوسیانات و وینیل فنولیک است.در میان چسبهای ترموست، رزینهای اپوکسی کاربرد وسیعی پیدا کرده‌اند. شکستگی قطعات ریختگی، شیرآلات، پمپها، مخازن و ماشینهای ابزار، درزهای صدمه دیده و لوله‌های شکافته شده و بعضی خراشیدگیهای سطحی را می‌توان با چسبهای اپوکسی ترمیم نمود.

برای اعمال مواد اپوکسی لازم است بین ماده اپوکسی و زمینه پیوند ایجاد شود. به دلیل قابلیت ترکندگی زیاد، نفوذپذیری و وجود عوامل قطبی در ملکولهای رزین اپوکسی، چسبندگی آنها به اغلب فلزات، آلیاژها و زمینه‌های دیگر عالی است. چون چسبهای اپوکسی در حین عمل‌آوری مواد فرار مانند بخار آب به وجود نمی‌آورند و عمل آوری آنها به سهولت و بدون نیاز به اعمال فشارهای بالا انجام می‌گیرد. البته خصوصیات مکانیکی این پوششها نسبت به سایر روشهای محدودیتهای زیادی در کاربرد آنها ایجاد کرده است.

ترمیم ترک خوردگی و خراشهای سطوح کاری بدنه آلومینیمی یک نوع پمپ آب موتور با استفاده از یک نوع ماده اپوکسی خاص برای یک دوره عمر سرویس بازیابی تقریباً ۲۰٪ قیمت قطعه نو هزینه دارد.

۸ـ نتیجه‌گیری

۱ـ بازیابی قطعات مکانیکی ماشین‌آلات و تجهیزات نظامی و غیر نظامی از نظر فنی ممکن است.

۲ـ فلزپاشی، جوشکاری، آبکاری موضعی و استفاده از مواد اپوکسی مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین روشهای بازیابی هستند.

۳ـ بازیابی قطعات با کاهش هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم خرید خارج، کاهش هزینه‌های انبارداری و کاهش ضایعات به میزان زیادی موجب صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود.

۴ـ با استفاده از روشهای بازیابی، زمان تعلیق و از کار افتادن ماشین‌آلات به حداقل می‌رسد. بنابراین، جاهایی که سرعت کار مهم است و زمان از دست رفته ممکن است صدمات جبران ناپذیری وارد کند، استفاده از این روشها مهم است.

۵ـ به دلیل قابل حمل بودن تجهیزات بازیابی می‌توان آن را در محل به کاربرد و در بعضی موارد به دمونتاژ قطعات نیاز ندارد.

۶ـ در مورد بعضی از روشهای بازیابی (فلزپاشی) می‌توان مواد پاششی را طوری انتخاب نمود که عمر قطعه چندین برابر قطعه اصلی باشد.

۷ـ در شرایط بحرانی مانند زمان تحریم اقتصادی و جنگ که نیاز به قطعات بیشتر است روشهای بازیابی مشکل کمبود قطعات را حل می‌کند و کارایی این روشها در شرایط حساس و استراتژیک بهتر نمایان می‌شود.

۸ـ در مورد بعضی قطعات ساده و ارزان قیمت ممکن است هزینه بازیابی بیشتر باشد اما چون عمر قطعه چند برابر می‌شود بنابراین نیاز به دمونتاژ و تعمیر کاهش یافته و هزینه بازیابی جبران می‌شود.

۹ـ پی‌نوشتها

1- *Build-Up*
2- Metal Spraying
3- hardfacing
4-Brush Plating
5- Flame Spraying
6- Electric Arc Spraying
7- Plasma Spraying
8- Gas Metal Arc Welding
9- Gas Tungsten Arc Welding
10- Manual Arc Welding
11- Submerged Arc Welding
12- Masking
13- Oversize
14- Reduction Gear Box

۱۰ـ منابع و مآخذ

1- *Borovskikh. YU, Klennikov. V, et al*. "***Automobile Maintenance and Repair***", *Mir publishers, Moscow*, 1988.
2- Gelberg. B, and Pekelis. G, ***"Repair of Industrial Equipment"*** *, Mir publishers, Moscow, 1978.*

3- Lech pawlowski, ***"The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings,*** *John Wiley and Sons Chicheter, England, 1955.*
4- ***"Thermal Spraying, Practice, Theory, and Application"*** *, Aws Committee on Thermal Spraging, 1985.*
5- H.S. Ingham and A.P.shepard, ***"Metco Flame Spray Handbook"*** *, Vol.1, Wire Process, Metco Inc,1969.*
6- MIL-STD-1687, ***"A Thermal Spray Processes for Naval Ship Machinery Applications",*** *1980.*
7- N. Sharpe, D. L. Lynn et al.: in ***"Welding Handbook"*** *, American Welding Society, 1998.*
8- S.Corica, G.E. Cook, et al.:in ***"Welding Handbook"*** *, American welding Society, 1998.*
9- MIL-STD-2191, ***"Repair Welding, Weld Cladding, Straightening and Cold Rolling of Main Propulsion Shafting",*** *1992.*
10- Bharat Bhushan and B.K. Gupta ***, "Handbook of Tribology"*** *, 1991.*
11- ASM Handbook, Surface Engineering, Vol.5, 1996.
12- Lawrence J.Durney, ***"Electroplating Engineering Handbook"*** *, Fourth Edition ,1984.*
13- MIL-STD-865C, ***"Brush Plating"*** *.*
14- Brayan Ellis, ***" Chemistry and Technology of Epoxy Resins"*** *, 1993.*