

بازیابی قطعات مکانیکی در صنعت نظامی

قسمت دوم روشهای بازیابی قطعات

تهیه و تنظیم: محمد رضا زمانی - حسین راز - احمد رضا قربانی

چکیده

روش‌های متعددی برای جرم‌گذاری بر روی قطعات وجود دارد. جوشکاری، فلز پاشی، آبکاری و استفاده از مواد اپوکسی از متداولترین روش‌هایی هستند که در بازیابی قطعات کاربرد فراوان دارند. جوشکاری که به عنوان یک روش اتصال دائمی قطعات به یکدیگر ابداع گردید، امروزه سهم مهمی در بهسازی قطعات نو و ترمیم سطوح فرسوده دارد. فلزپاشی یک روش پوشش دهی قطعات است. تنوع زیاد مواد پاشش و نرخ بالای جرم‌گذاری موجب شده است تا بتوان خواص متنوع سطحی را در زمان اندک بر روی قطعات ایجاد کرد. تمام صنایع از جمله ریخته‌گری، قالبسازی، کشتی‌سازی و صنایع اتومبیل (بوئیه صنایع نظامی) از این فرآیند بهره‌های زیادی در بهسازی و بازیابی می‌برند. آبکاری نیز یک روش پوشش دهی می‌باشد که به دو صورت غوطه‌وری و موضعی امکانپذیر است. یکی از کاربردهای این روش ایجاد پوششهای مقاوم به سایش بر روی قطعات هم در مراحل نهایی تولید و هم در ترمیم سطوح سائیده شده است. با استفاده از مواد اپوکسی نیز می‌توان بعضی قطعات ترک خورده، شکسته شده، یا خراشهای سطحی را ترمیم نمود. اهمیت استفاده از روشهای بازیابی، هزینه تمام شده کمتر نسبت به ساخت مجدد، صرفه جویی انرژی و جلوگیری از اتلاف منابع معدنی است.

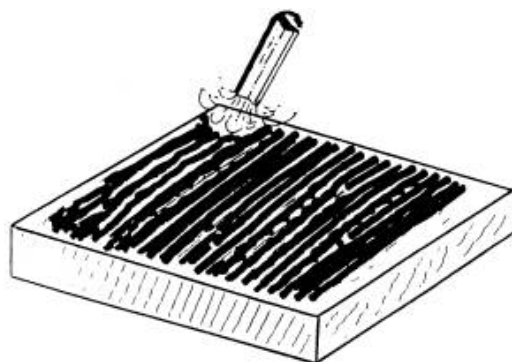
مقدمه

هر ساله دنیای، صنعت قطعات و ابزار فرسوده، شکسته و ترک خورده ماشین آلات را به ارزش میلیاردها ریال دورریز می‌کند. عمر کاری قسمت اعظمی از این قطعات را می‌توان با اعمال تغییرات (جزئی توسط روش‌های جرم‌گذاری) حتی تا چندین برابر افزایش داد. فنآوری بازیابی و ترمیم قطعات به دلیل کاهش هزینه‌های روزافزون موارد زیر به افزایش سوددهی در صنعت کمک می‌کند:

- خرید قطعات جایگزین.
 - نگهداری (انبار کردن) قطعات یدکی بزرگ.
 - توان صرف شده برای دمونتاژ و مونتاژ.
 - زمان توقف یا کاهش تولید هنگامی که قطعه مهمی از یک دستگاه از کار می‌افتد.
- به‌علاوه راه کار بازیابی سهم به‌سزایی در صرفه‌جویی منابع طبیعی و معدنی و جلوگیری از هدر رفتن آنها دارد. دورریزی نا به‌هنگام قطعات فرسوده نه تنها هزینه‌های مالی دارد بلکه ساخت قطعات جدید برای جایگزین آنها نیز یک برداشت نابجا از ذخایر انرژی، منابع طبیعی و مواد حیاتی زمین است و افزایش آلودگی محیط را نیز به همراه دارد. هر مرحله از ساخت (استخراج، ذوب، شکل‌دهی و تمام‌کاری) نیاز به صرف انرژی، مواد و کار دارد که سرمایه هر کدام را می‌توان برای مصارف سودمندتر به کار برد. جوشکاری، فلزپاشی، آبکاری و استفاده از مواد اپوکسی روشهای مهم جرم‌گذاری در بازیابی و ترمیم قطعات می‌باشند. در این مقاله فرآیندها و توانایی و قابلیت این روشها در بازیابی قطعات به اختصار معرفی می‌شوند.

۱- جوشکاری در بازیابی

جوشکاری یکی از فرایندهای اتصال دائمی قطعات (فلزی یا غیر فلزی)، به روش ذوبی یا غیرذوبی؛ با استفاده از فشار یا بدون بکارگیری فشار، با وجود ماده پر کننده یا بدون استفاده از آن می‌باشد. در جوشکاری ذوبی حرارت ایجاد شده توسط گاز، قوس الکتریکی یا قوس پلاسما منجر به ذوب ماده پوشش می‌شود. جوشکاری رویه‌کاری یک روش رسوب دادن (جرم‌گذاری) پوشش بر روی سطح زمینه فلزی توسط یک فلز یا آلیاژ جهت افزایش مقاومت سایشی، خوردگی، حرارت و ضربه است. در جوشکاری رویه‌کاری، با یک الکتروود هم‌جنس یا غیر هم‌جنس سطح قطعه جوشکاری شده و سعی می‌شود عمق نفوذ کمتر از جوشکاری اتصالی باشد. ضخامت لایه در این روش نسبت به سایر روشهای جرم‌گذاری بیشتر است و پیوند بسیار خوبی بین پوشش و زمینه برقرار می‌شود. جوشکاری رویه‌کاری را می‌توان با روشهای گازی، پودری، قوسی دستی، تنگستن - گاز (تیگ)، فلز - گاز (میگ)، قوسی زیر پودری و پلاسما انجام داد.



شکل ۱- شمای فرایند رویه‌کاری بوسیله جوشکاری در سطح

۱-۱- جوشکاری گازی

در این روش از احتراق گاز استیلن و اکسیژن جهت ایجاد حرارت و ذوب فلز جوش استفاده می‌شود. این روش اولین روشی است که جهت ترمیم قطعات از آن استفاده شده است. با این روش می‌توان نواحی کوچک را با پوششهای ضخیم ترمیم کرد و شیارها و شکافها را نیز با دقت پر نمود. بعلاوه امکان ایجاد پوششهای نازک و صیقلی که به حداقل عملیات ماشینکاری بعدی نیاز دارند، وجود دارد. می‌توان با به حداقل رساندن ذوب فلز پایه، میزان رقیق شدن آلیاژ جرم‌گذاری را کاهش داد. مواد مصرفی این فرآیند در سطح وسیعی موجود است و کیفیت پوشش بدست آمده به میزان زیادی تحت کنترل اپراتور قرار دارد. در شکل ۲ تصویر قطعه‌ای از جنس آلومینیم که با استفاده از روش گازی در حال جوشکاری است، مشاهده می‌شود. سیت سوپاپ موتورهای احتراقی و کمپرسورها، غلطک‌های نورد دقیق و قطعات و تجهیزات نیروگاهها مانند سوپاپ بخار و نازلها نمونه قطعاتی هستند که با روش گازی جوشکاری می‌شوند.



شکل ۲- قطعه آلومینیومی در حال جوشکاری گازی

۲-۱- جوشکاری پودری

تجهیزات این روش بسیار شبیه به روش جوشکاری گازی است. ابتدا با مشعل سطح زمینه تا حدود $10000^{\circ}C$ گرم می‌شود سپس توسط مکانیزمی پودر به داخل شعله هدایت می‌گردد. تجهیزات گران نیستند، اما پودرهای مصرفی خودگداز قیمت بالایی دارند. با این روش ایجاد پوششهای نازک برای ترمیم لبه‌های تیز و گوشه‌های آسیب‌دیده امکانپذیر است. پوشش ایجاد شده صیقلی و یکنواخت است و نیاز به حداقل ماشینکاری دارد. در این فرایند یک دست جوشکار آزاد بوده و موقعیت برای کار بهتر فراهم است.



شکل ۳- مشعل (تفنگ) جوشکاری پودری

۳-۱- جوشکاری قوسی دستی

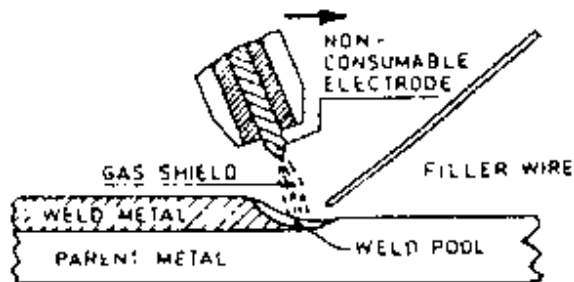
در این روش یک قوس الکتریکی بین الکترود مصرف شدنی روپوشدار (که با دست نگهداشته می‌شود) و محیط قطعه کار بوجود می‌آید و منجر به ذوب شدن الکترود و سطح قطعه کار گردیده و لایه‌ای ایجاد می‌نماید. تجهیزات این روش ارزان و نگهداری آنها ساده است. برای قطعات کوچک، بزرگ و پیچیده، جوشکاری موضعی قابل استفاده است. محدوده وسیعی از مواد مصرفی در دسترس است. برای اعمال پوششهایی با کیفیت بالا به جوشکار بسیار ماهر نیاز است و برطرف کردن سرباره ضروری است. ضخامت پوشش در هر پاس ۳ تا ۶ میلیمتر است. نمونه کاربردهای آن سوپاپهای پالایشگاهها، غلتکها، سنگ‌شکن‌ها و کفشک‌های کک‌سازی است.



شکل ۴- قطعه در حال جوشکاری با روش قوسی دستی

۴-۱- جوشکاری تنگستن - گاز

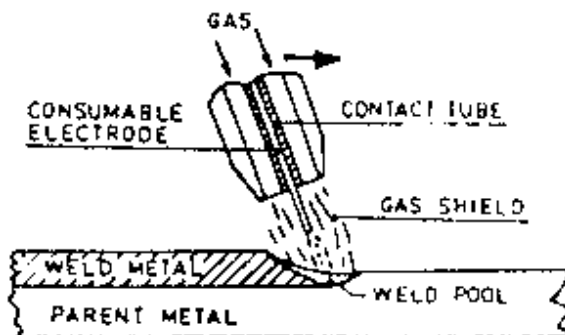
گاهی به این روش جوش آرگون گفته می‌شود که یک روش قوسی با الکترود مصرف‌نشدنی (تنگستن) است. برای حفاظت منطقه جوش از گاز محافظ (آرگون یا هلیوم) استفاده می‌شود. حرارت با ایجاد قوس (بین الکترود تنگستن و قطعه کار) بوجود می‌آید و مانند جوشکاری امکان مکانیزه کردن این روش برای جرم‌گذاری سریعتر وجود دارد. پوششهای موضعی، نازک و با کیفیت بالا را می‌توان با این روش اعمال نمود. با استفاده از گاز محافظ امکان جوشکاری فولاد زنگ‌نزن و فلزات غیر آهنی مانند آلومینیم امکانپذیر است. روش دستی آن از سرعت پایینی برخوردار بوده و برای جرم‌گذاری سطوح بزرگ مناسب نیست. تجهیزات آن نسبتاً گران‌قیمت است و به فضای کارگاهی جهت جلوگیری از اغتشاشات گاز محافظ نیاز است. نمونه کاربرد آن مشابه جوشکاری گازی است ولی در این روش حرارت ورودی به فلز پایه بطور قابل توجهی کمتر است.



شکل ۵- شمای فرایند تیگ

۱-۵- جوشکاری فلز - گاز

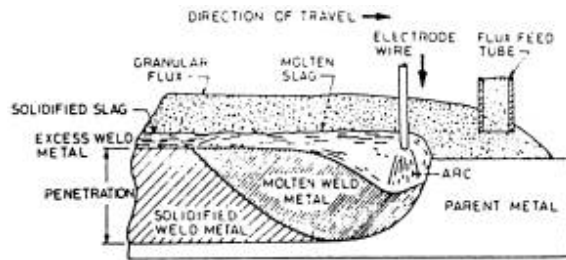
این روش با نام جوشکاری میگ نیز شناخته می‌شود. در این فرایند یک الکتروود مصرف شدنی به شکل سیم بدون پوشش بطور پیوسته به یک مشعل دستی تغذیه می‌گردد. یک قوس الکتریکی بین سیم مصرف‌شده و قطعه کار ایجاد می‌شود. مانند روش تیگ قوس و حوضچه بوسیله گاز محافظ در برابر اتمسفر محافظت می‌گردد. گاز محافظ غالباً از آرگون، دی‌اکسید کربن و مخلوط آنها تشکیل می‌شود. نرخ جرم‌گذاری در این روش به میزان زیادی از روش تیگ بیشتر است. برای جرم‌گذاری نیمه اتوماتیک مناسب است ولی می‌توان با حرکت عرضی قطعه کار یا تفنگ کار کاملاً مکانیزه نمود. در این روش نیازی به برطرف کردن سرباره نیست چون سرباره وجود ندارد. تجهیزات این روش نسبتاً گران است و از قابلیت حمل و نقل کمتری برخوردار است. به خاطر استفاده از گاز محافظ باید در محوطه کارگاه (و دور از وزش باد) استفاده شود. در بعضی موارد از سیم توپودری که می‌تواند حاوی عناصر آلیاژی یا فلاکس باشد، استفاده می‌شود. استفاده از سیم‌های با فلاکس مناسب بدون گاز محافظ امکانپذیر است. سیت سوپاپها، سطوح کاری میله‌های بزرگ پیستونها و پیستونهایی که به اصطکاک کم و مقاومت به کندگی نیاز دارند، نمونه‌هایی از موارد کاربرد این روش هستند.



شکل ۶- شمای فرایند میگ

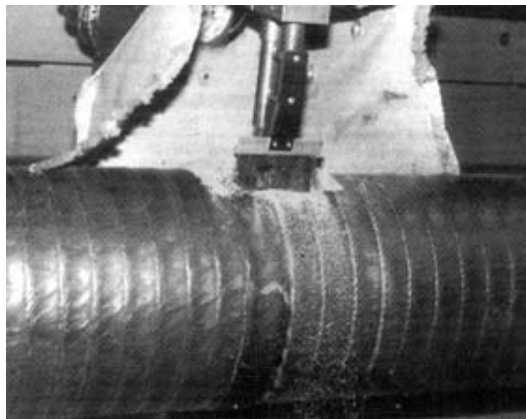
۱-۶- جوشکاری زیر پودری

در این روش حرارت مورد نیاز توسط قوس الکتریکی که بین قطعه کار و فلز تغذیه شونده (بصورت سیم یا تسمه) بوجود می‌آید، تأمین می‌گردد.



شکل ۷- شمای فرآیند جوشکاری زیر پودری

لایه‌ای از فلاکس با دانه‌های ریز بطور مداوم در اطراف فلز تغذیه شونده ریخته می‌شود. فلاکس ذوب شده و حوضچه جوش را از اتمسفر محافظت می‌نماید.



شکل ۸- قطعه در حال جوشکاری رویه کاری با روش زیر پودری

این فرآیند کاملاً اتوماتیک بوده و نرخ جرم‌گذاری آن در محدوده ۱۰-۳۰ Kg/h است و ایجاد پوشش بر روی سطوح بزرگ به سهولت امکان‌پذیر است. ضخامت پوشش بیش از ۳ mm بوده و برطرف کردن سرباره براحتی انجام می‌گیرد. تجهیزات آن معمولاً غیر قابل جابجایی و بسیار گران است و نیاز به نگهداری منظم دارد و برای سطوح داخلی با قطر کم مناسب نیست. نمونه‌هایی از کاربرد آن سوپاپها و غلطک‌های بزرگ، ایجاد لایه مقاوم به خوردگی در مخازن شیمیایی بزرگ و میل لنگ ماشینهای سنگین می‌باشد.

۷-۱- جوشکاری پلاسمایی

این روش مشابه فرآیند تیگ است. در هر دو فرآیند از قوس الکتریکی حفاظت شده با گاز بین یک الکترود تنگستن مصرف‌شده و قطعه کار (به عنوان منبع حرارت اولیه) استفاده می‌کنند. تفاوت آنها در این است که در روش جوشکاری پلاسمایی از پلازما به عنوان منبع حرارت ثانویه استفاده می‌شود. در این روش قوس دیگری بین الکترود تنگستن و حلقه مسی خنک شونده با آب که در اطراف آن قرار دارد، ایجاد می‌گردد. این عمل باعث یونیزه شدن گاز در حال جریان از نازل در اطراف الکترود و در نتیجه ایجاد جریانی از پلازما با دمای بالا خواهد شد. این فرآیند مکانیزه است و از نظر ایجاد پروفیل سطحی مورد نظر قابل کنترل بوده و حداقل عملیات نهایی را لازم دارد. ضخامت پوشش در محدوده ۲ تا ۵ میلیمتر می‌باشد و نرخ جرم‌گذاری حدود ۳/۵ کیلو گرم در ساعت است. تجهیزات پر هزینه بوده و براحتی قابل حمل و نقل نمی‌باشد. به علاوه هزینه فرآیند بالا است و نیاز به اپراتور ماهر وجود دارد. با توجه به اینکه دمای ایجاد شده، بالا است هر گونه مواد سرامیکی و آلیاژی با این روش قابل پوشش دادن

است. قالبهای اصلاح زائده‌ها، غلطک‌ها و قطعاتی که در شرایط سایشی کار می‌کنند و نیاز به آلیاژهای ترکیبی با درصد بالایی از کاربید تنگستن دارند، با این فرآیند قابل جوشکاری هستند.

۸-۱- کاربرد جوشکاری در بازیابی

جوشکاری که به عنوان یک روش اتصال دائمی قطعات به یکدیگر ابداع گردید امروزه سهم مهمی در بهسازی سطوح قطعات نو و ترمیم سطوح فرسوده دارد. تقریباً اغلب عیوب قطعات مکانیکی بوسیله یکی از چند روش مدرن جوشکاری قابل رفع هستند اما به دلیل عوارض ناشی از گرمای زیاد جوشکاری، امروزه برای ترمیم مواضع حساس قطعات، روشهای دیگر جایگزین برخی... کاربردها شده‌اند. عیوبی مانند ترک خوردگی و شکستگی بدنه‌ها، خرابی رزوه و پیچهای خاص، سائیدگی سطح تکیه گاهی شافت‌ها و رینگها، سرپوشها، توپی‌ها، یاتاقانها، خوردگی، فرسایش سطوح آب‌بندی، دندان چرخ‌دنده کوپلینگ‌ها، رفع لنگی قطعات بزرگ، کوپیدگی لیده‌ها، خراشیدگی سطوح سایش، دو پهنی سوراخها با استفاده از یکی از انواع روشهای جوشکاری امکان‌پذیر است. در جدول ۱ نمونه‌هایی از قطعات صنعت نظامی که بازیابی آنها با استفاده از جوشکاری امکان‌پذیر است، ارائه شده است.

جدول ۱ - مثال‌هایی از عیوب دسته‌بندی شده و نحوه بازیابی آنها در مورد قطعات خودروهای زرهی به روش جوشکاری

| نام قطعه | عیب | آماده سازی | روش جرم گذاری | تمام کاری |
|-------------------------------------|---|---|------------------|---|
| سرپوش سمت چپ گرداننده نهایی | شکستگی بادامک | ماشینکاری و تمیزکاری سطح | جوشکاری MIG | پرداخت نهایی |
| چرخ تنظیم شنی (دیسک) | ترک خوردگی که از توپی دیسک خارج نشده باشد و یا حداکثر پره استحکام را در بر گرفته باشد | بریدن قسمت ترک دار، یا محو کردن ترک توسط ماشینکاری | جوشکاری MIG | ماشینکاری تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت نهایی |
| مه‌ره | بریدگی بیش از دو دنده رزوه | برداشتن رزوه توسط ماشینکاری | جوشکاری MIG | تراشکاری (نوتراشی) با ابعاد مورد نظر، پرداخت کاری و رزوه کردن |
| شافت اصلی | بریدگی بیش از دو دنده رزوه | تراشیدن رزوه معیوب | جوشکاری MIG | تراشیدن تا اندازه نرمال، پرداخت کاری و رزوه کردن |
| میله پیچشی | فرسایش بیش از حد مجاز سطح شافت زیر رولیک | برداشتن قسمتهای فرسوده توسط ماشینکاری | جوشکاری زیرپودری | تراشکاری تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |
| کاسه ترمز همراه با چرخ دنده خورشیدی | فرسایش بیش از حد مجاز ضخامت دنده‌ها | ماشینکاری و سنگ‌زنی | جوشکاری MIG | ماشینکاری تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |
| واشر دندانه‌دار | خوردگی روی سطوح پیشانی واشر | سوهان زدن سطوح پیشانی‌واشر تا برطرف شدن مناطق خورده شده و محصولات خوردگی، سپس پرداخت کاری | جوشکاری MIG | ماشینکاری تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |

| نام قطعه | عیب | آماده سازی | روش جرم گذاری | تمام کاری |
|---|--|---|---------------------|--|
| لوله تخلیه (اگزوز) سمت راست | اکسیداسیون دمای بالا (سوختگی) لوله اگزوز به مساحت کل حداکثر ۲ ۱۰۰ Cm | زدودن محصولات اکسیداسیون و قسمتهای اکسید شده با استفاده از سوهان یا از طریق ماشینکاری | جوشکاری MIG | ماشینکاری تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |
| سرپوش | فرسایش سطح سوراخ سرپوش زیر محور | ماشینکاری قسمتهای فرسوده | جوشکاری MIG | ماشینکاری تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |
| توپی گرداننده همراه با سرپوش | فرسایش بیش از حد مجاز سطح کروی دنده‌های توپی گرداننده | سوهان کاری و تمیز کاری قسمت فرسوده | جوشکاری MIG | ماشینکاری تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |
| میله پیچشی | فرسایش منطقه سطح پیشانی شافت از سمت تکیه گاه به عمق بیش از ۲ mm | سوهان کاری با ماشینکاری قسمتهای فرسوده | جوشکاری زیرپودری | ماشینکاری تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |
| دیسک چرخ | تاب برداشتن دیسک چرخ که مقابل پره استحکام قرار گرفته است (بیش از ۱۰ mm) | بریدن پره استحکام و صاف کردن زه دیسک چرخ | جوشکاری TIG | ماشینکاری تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |
| سرپوش غبارگیر | کوبیدگی لبه سوراخهای زیر پیچ | ماشینکاری قسمتهای معیوب | جوشکاری TIG | ماشینکاری تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |
| بالانسیر (بازویی) چرخهای اول و پنجم | خمیدگی سطح بالانسیر بیش از حد مجاز ولی تا حداکثر ۳ mm | ماشینکاری اولیه | جوشکاری زیرپودری | ماشینکاری تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |
| واشر دندانه‌دار | خراشیدگی سطوح پیشانی واشر | سوهان کاری محل‌های خراشیده تا برطرف شدن خراش | جوشکاری MIG | ماشینکاری تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |
| پایه (قسمت اصلی) درب راست | ببضی شدن سطح سوراخ مخروطی زیر ضامن بیش از حد مجاز | داخل تراشی تا برطرف شدن عیب | جوشکاری TIG | ماشینکاری تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |

۲- فلز پاشی در بازیابی

به فرآیند ذوب ماده اولیه در یک منبع حرارتی و پاشش آن توسط گاز یا هوای فشرده بر روی سطح آماده سازی شده پاشش حرارتی یا فلز پاشی گویند. ماده اولیه می‌تواند بصورت سیم یا پودر باشد. در این فرآیند فقط ماده پوششی ذوب می‌شود و زیر لایه ذوب نمی‌شود. دمای قطعه کار، در حین فلز پاشی معمولاً از 150°C بالاتر نمی‌رود به همین دلیل خطر تغییر ساختار و اعوجاج در قطعه وجود ندارد. علاوه بر این قطعه را می‌توان در حین فلز پاشی توسط دمش هوای فشرده خنک کرد. فرآیندهای متنوعی برای فلز پاشی وجود که شرح همه آنها در این مختصر نمی‌گنجد. بنابراین به روشهای رایج آن اکتفا می‌شود. این روشها عبارتند از:

۱- روش فلز پاشی شعله‌ای سیمی

۲- پاشش قوس الکتریکی

۳- پاشش پلاسمائی

۱-۲- پاشش شعله‌ای سیمی

در این روش از شعله اکسی استیلن بعنوان منبع حرارتی برای ذوب ماده اولیه به شکل سیم استفاده می‌شود. ماده اولیه در منبع حرارتی ذوب شده و توسط هوای فشرده بر روی سطح زیر لایه پاشیده می‌شود. حداکثر دمای قابل دستیابی در این روش حدود 3200°C است. هر ماده‌ای را که بتوان به شکل سیم درآورد و سیم حاصله در شعله احتراق ذوب شود، می‌توان توسط این فرآیند پاشید. انواع فولادها، آلومینیم، بابت، روی، مولیبدن، مس و بعضی سرامیکها مانند اکسید کروم (بصورت میله) از جمله مواد پاششی هستند. فرآیند پاشش شعله‌ای بطور گسترده در صنعت برای ایجاد پوششهای مقاوم به خوردگی، ایجاد پوششهای مقاوم به سایش و بازبایی قطعات سائیده شده و خارج از ابعاد بکار می‌رود. پوششهای روی یا آلومینیم ایجاد شده بوسیله پاشش شعله‌ای سیمی روی سازه‌های فولادی بزرگ برای محافظت در برابر خوردگی جوی و دریایی بکار می‌روند. در شکل ۹ تصویر یک نمونه تفنگ شعله‌ای سیمی نشان داده شده است.

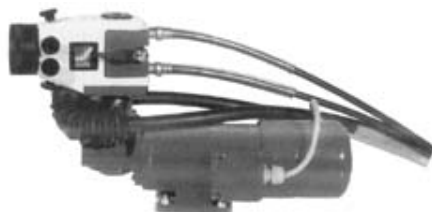


شکل ۹- تفنگ پاشش شعله‌ای سیمی

۲-۲- پاشش قوس الکتریکی

در این روش دو سیم رسانای مصرف شدنی (یکی مثبت و دیگری منفی) همزمان از دو کانال عایق به سمت تفنگ پاشش قوسی هدایت شده و سرسیمها با یک زاویه حاده بهم می‌رسند. در اثر وجود اختلاف پتانسیل الکتریکی (بین دو سیم) قوس الکتریکی تشکیل شده و سیمها ذوب می‌شوند و توسط هوای فشرده به شکل ذرات ریز درآمده و به سطح قطعه پاشیده می‌شوند. به دلیل بالا بودن دانسیته جریان در قوس الکتریکی، درجه حرارت‌های بسیار بالایی به وجود می‌آید. درجه حرارتی در حدود 6000°C در تماس بین الکترودهای آهنی تحت جریان 280 Amp قابل ایجاد است. سرعت متوسط ذرات در پاشش شعله‌ای و قوسی به ترتیب 100 ms و 180 ms است. نرخ پوشش دهی در روش قوس الکتریکی از روش‌های دیگر بیشتر است (تا حدود 55 kg/h برای برخی از آلیاژهای پایه نیکل). بخاطر دماهای بالا در منطقه قوس، پوششها دارای چسبندگی عالی و استحکام پیوستگی بالا می‌باشند. فوق گرمای ذرات منجر به واکنشهای متالورژیکی بعد از برخورد ذرات به زیر لایه فلزی می‌شود. این واکنشهای موضعی اغلب منجر به نقاط جوش کوچک می‌شود که این مسئله باعث افزایش قابل ملاحظه استحکام پیوند و استحکام کششی در مقایسه با پاشش شعله‌ای می‌شود. سیستم پاشش قوس الکتریکی مانند سیستم پاشش شعله‌ای سبک و قابل حمل بوده و بطور متداول برای پاشش پوششهای ضد خوردگی در محل استفاده می‌شود. بدلیل نرخ رسوبدهی بالاتر، هزینه نگهداری کمتر، بازدهی بیشتر رسوب و عدم نیاز به اکسیژن و گاز سوختی پاشش قوسی اقتصادی‌تر از سایر روشها می‌باشد و یک سطح مقاوم به سایش ارزانتر را می‌توان

با این فرآیند ایجاد کرد. با استفاده از سیمهای نامتشابه می توان پوششهای شبه آلیاژ ایجاد نمود. بعنوان مثال پوشش شبه آلیاژ مس - فولاد زنگ نزن، که بخاطر فولاد دارای مقاومت سایشی بالایی بوده و بخاطر وجود مس هدایت حرارتی بالایی دارد، برای بازیابی صفحه کلاچ بکار می رود. این روش بهترین انتخاب برای مواردی است که ضخامت پوشش مورد نظر و مساحت سطح پوشش شونده زیاد باشد. دارای قابلیت انعطاف خوبی بوده و می توان به کمک آن بعضی از خواص پوشش نظیر بافت سطحی و سختی را تغییر داد.



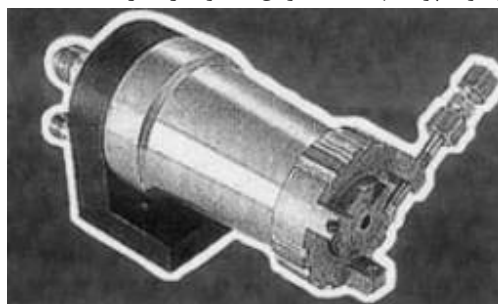
شکل ۱۰- تفنگ پاشش قوس الکتریکی

روش قوس الکتریکی محدود به مواد رسانا و شکل پذیر به شکل سیم است. بنابراین مواد ترد و نارسا مانند کاربیدها، نیتريد ها و سرامیکها با این روش قابل پاشش نیستند. فولاد، مس، آلومینیم و روی از جمله مواد پاششی هستند. در شکل ۱۰ یک نمونه تفنگ پاشش قوسی نمایش داده شده است.

۲-۳- پاشش پلاسمایی

در فرآیند پاشش پلاسمایی، انرژی گرمایی یک قوس الکتریکی و شعله پلاسمایی مربوط به آن برای ذوب کردن و پاشش ماده با سرعت بالا به سطح زیر لایه بکار گرفته می شود. در این فرآیند قوس الکتریکی (توسط استارت با فرکانس بالا) بین الکترود مرکزی تنگستن (کاتد) و نازل مسی آبگرد (آند) برقرار می شود. جریانی از گازهای بی اثر (آرگون، نیتروژن و گاهی همراه با گازهای دیگری مانند هیدروژن یا هلیوم) از میان این قوس عبور داده شده و گازها تجزیه و یونیزه می شوند. در نتیجه جریان پلاسمای با دمای بالا (بیش از 15000°C) تولید می شود.

ماده پوشش معمولاً به شکل پودر است و توسط یک گاز حامل به داخل شعله پلاسمای تغذیه می شود، که در آنجا ذوب شده و بدلیل آنتالپی بالای پلاسمای سرعت بالایی (بطور متوسط بیش از 600 ms) کسب کرده و به سطح زیر لایه سوق داده می شود. سرعت بالای ذرات پودر در پاشش پلاسمای منجر به چسبندگی خیلی بالای پوشش به زیر لایه و دانسیته زیاد پوشش می شود. چون از گاز بی اثر بعنوان گاز حامل استفاده می شود، پوششهای با خلوص بالا و عاری از اکسید بدست می آید.



شکل ۱۱- نمونه ای از تفنگ پاشش پلاسمایی

گستره وسیعی از مواد با نقطه ذوب بالا را می توان پاشش پلاسمایی کرد. فلزاتی مانند نیکل، کروم و مولیبدن، آلیاژهایی مانند آلیاژهای پایه نیکل، کبالت و کروم، سرامیکهایی مانند $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ ، $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ ، $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ ، $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ و سرامت های

مانند کاربرد تنگستن با پیوند کبالت از جمله مواد پاششی هستند. فرآیند پاشش پلاسمایی بطور متداول برای جاهایی که نیاز به مقاومت سایش و خوردگی وجود دارد از جمله: یاتاقانها،

| نوع فرآیند پاشش حرارتی | مزایا | محدودیتها |
|------------------------|--|--|
| پاشش شعله‌ای | قابل انتقال برای کار در محل، سرمایه گذاری اولیه کم، بازدهی رسوبگذاری بالا (تلاف کم مواد پاششی)، سهولت نسبی کار و هزینه اندک نگهداری. | استحکام پیوند کمتر، تخلخل بیشتر، دامنه دمایی باریکتر و انتقال گرمای بیشتر به زیر لایه نسبت به روش قوس الکتریکی. برای مواد با نقطه ذوب بالا نمی‌توان از آن استفاده نمود. به گازهای احتراقی گران قیمت نیاز دارد. |
| پاشش قوس الکتریکی | قابل انتقال، سرمایه‌گذاری اولیه کم، پوششهای ضخیم با سرعت رسوبگذاری بالا و گرم شدن کمتر زیر لایه | محدود به فلزات نسبتاً شکل پذیر و رسانای الکتریسیته به شکل سیم است. |
| پاشش پلاسمایی | گستره وسیعتری از مواد با نقطه ذوب بالا خصوصاً سرامیکها و سرامتها را می‌توان بعنوان پوشش مورد استفاده قرار داد. سرعت بالای ذرات منجر به افزایش استحکام پیوند و دانسیته پوشش می‌شود. | تجهیزات آن قابل انتقال برای کار در محل نیست. هزینه‌های آن بالا است. |

سوپاپهای دود و هوا، موتورهای هواپیما، قطعات میداین نفتی، ماشین‌های معدنکاری و تجهیزات کشاورزی بکار می‌رود در جدول ۲ مزایا و معایب سه روش شعله‌ای، قوسی و پاشش پلاسمایی ارائه شده است.

۴-۲- کاربرد پوشش‌های فلز پاشی

پاشش حرارتی بطور رایج برای ایجاد سطوح مقاوم به سایش، پوششهای مقاوم به خوردگی و بازیابی قطعات سائیده شده یا ترمیم قطعات بد ماشینکاری شده بکار می‌رود. از این فرآیند هم در تولید و بهسازی قطعات (مانند سوپاپهای دود و بنزین موتور خودرو، یاتاقانها، رینگ پیستون و رینگ سینکرون) و هم در بازیابی و ترمیم (مانند محل استقرار بلبرینگ و کاسه نمد بر روی سطوح داخلی یا خارجی، یاتاقانگرد میل لنگ، آسترسیلندر، صفحه کلاچ و فلاپویل کامیونها) استفاده می‌شود. نمونه‌هایی از کاربرد پوششهای فلز پاشی در زیر ارائه شده است.

۱- ایجاد سطح مقاوم به سایش: تخلخل ذاتی پوششهای فلز پاشی، موجب جذب و حبس روغن در آنها می‌شود، بطوریکه همواره یک لایه روغن بین سطح فلز پاشی شده و سطح مقابل وجود دارد و از تماس مستقیم آنها جلوگیری می‌کند. علاوه بر این سختی ذرات تشکیل دهنده پوششهای فلز پاشی عموماً بالاتر از سختی همان مواد در حالت ریختگی یا کار شده می‌باشد.

۲- ترمیم ابعادی قطعه: عموماً در جاهایی که بدلیل سایش در حین کار، ماشینکاری یا خوردگی، ابعاد قطعه کم می‌شود، این روش قابل استفاده است.

۳- ایجاد سطوح سخت با اصطکاک کم: مثلاً مولیبدن و اکسید کروم سخت بوده و اصطکاک کمی دارند.

۴- ایجاد پوششهای مقاوم به حرارت: با استفاده از پوششهای سرامیکی می‌توان در برابر حرارت سدی ایجاد کرد. مثلاً در مورد موتورهای دیزلی روی سر پیستون را برای مقاومت در برابر حرارت ناشی از محصولات احتراق پوشش زیر کونیا می‌دهند.

۵- ایجاد سطوح مقاوم به اکسیداسیون تحت دماهای بالا: آلیاژهای آلومینیم و کروم - نیکل قطعات فولادی را از پوسته شدن در دماهای بالا محافظت می‌کنند.

۶- ایجاد سطوح مقاوم به خوردگی جوی: پوششهای روی و آلومینیم، سازه‌های فولادی را در برابر خوردگی‌های جوی و دریایی محافظت می‌کنند

جدول ۳- نمونه قطعاتی که به روش فلز پاشی بازیابی می‌شوند

| نام قطعه | عیب | آماده سازی | روش جرم گذاری | تمام کاری |
|----------------------|--|--------------------------------|---------------|--|
| پایه نگهدارنده دینام | کوبیدگی و نشست سطح پایه نگهدارنده دینام | ماشینکاری تا حصول سطح یکنواخت | فلز پاشی | سنگ زنی تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |
| میله سوپاپ (ورودی) | ساییدگی (فرسایش) موضعی بر روی سطح بیش از اندازه مجاز | سنگ زنی تا حصول یک سطح یکنواخت | فلز پاشی | ماشینکاری و سنگ زنی تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |
| میله انتقال نیرو | ساییدگی (فرسایش) سطح بیش از حد مجاز | سنگ زدن سطح | فلز پاشی | سنگ زدن سطح فلز پاشی شده تا رسیدن به ابعاد مطلوب و پرداخت کاری |
| میل لنگ | عیوب مختلف در بندهای ثابت و متحرک شامل خراشیدگی، پلیسه، ناهمواری و خوردگی بیش از حد مجاز | تراشکاری مقدماتی | فلز پاشی | سنگ زنی تا رسیدن به ابعاد مورد نظر و پرداخت کاری |

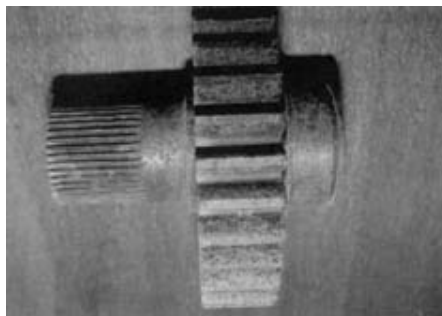
۷- ایجاد سطح مقاوم به خوردگی شیمیایی: اعمال سرب روی سطوح داخلی مخازن نگهداری اسیدسولفوریک باعث جلوگیری از خوردگی مخازن می‌شود.

۸- استفاده از فلز پاشی جهت کاهش وزن قطعه: موتورهای هوا، خنک هواپیما که سبکی آنها مسئله مهمی است از آلیاژهای آلومینیم ساخته می‌شوند. در داخل سیلندرها برای ایجاد مقاومت سایشی فلز پاشی می‌شود.

۹- ایجاد سطوح دارای خاصیت روانکاری سطحی: مثلاً پاشش بابت یا برنز روی یاتاقانها

۱۰- ترمیم عیوب سطحی مانند مکهای ریخته گری و ترکهای سطحی

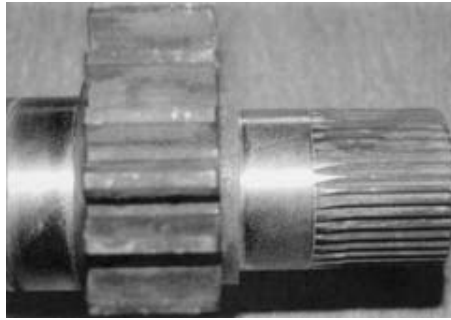
در جدول ۳ مثالهایی از قطعات خودروهای زرهی که به روش فلز پاشی قابل بازیابی هستند، ارائه گردیده است.



شکل ۱۱- چرخنده محرک گیتار قبل از بازیابی

۳- آبکاری در بازیابی

آبکاری کروم سخت به روش غوطه وری، آبکاری موضعی نیکل مخصوص و نیکل تنگستن با لایه‌های واسطه مس و آبکاری بدون برق نیکل سه روش مهم آبکاری هستند که در بازیابی قطعات کاربرد دارند.



شکل ۱۲- چرخنده محرک گیتار بعد از فلزپاشی و تمامکاری

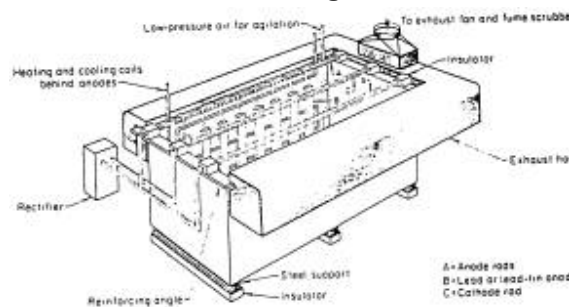
۱-۳- آبکاری کروم سخت

آبکاری کروم سخت معمولاً با نام آبکاری کروم صنعتی و یا مهندسی شناخته می‌شود. پوشش کروم سخت را می‌توان با ضخامت یک میکرون تا چند میلیمتر بر روی سطوح نشانده. این پوشش در برابر خوردگی، اثرات مکانیکی، سایش و بعضی عوامل شیمیایی مقاوم است. در عمل قطعات سائیده شده و قابل بازیابی را بعد از عملیات مقدماتی لازم آبکاری کرده و سپس به اندازه دلخواه سنگ می‌زنند. پوشش کروم سخت به سختی اشاره کرد:

الف - بازیابی قطعات مستهلک: قطعاتی که بر اثر سایش، ابعاد آنها از اندازه استاندارد خارج می‌شود، مانند شافت‌های بزرگ ماشین‌آلات.

ب - جلوگیری از فرسایش قطعات، بخصوص رینگها و پیستونها و قطعاتی که در معرض عوامل مکانیکی و شیمیایی قرار دارند. مثل غلطک‌ها در صنایع شیمیایی.

ج- جلوگیری از خوردگی و کاهش اصطکاک بین سطوح درگیر.



شکل ۱۳- وان آبکاری کروم سخت

۲-۳- آبکاری موضعی

آبکاری موضعی روشی است که در آن عمل آبکاری با استفاده از یک محلول غلیظ و بدون مخازن غوطه‌وری انجام می‌گیرد. محلول توسط یک ماده جاذب الرطوبه (مثلاً پنبه) که دور آند گرافیتی پیچیده شده است به سطح قطعه کار (کاتد) منتقل می‌شود. با اتصال سیم کاتدی (قطب منفی) رکتیفایر (یکسوکننده) به قطعه کار، مدار آبکاری تکمیل می‌شود. در اثر تماس قطعه کار با آند اشباع شده از محلول، آبکاری انجام می‌گیرد.

آبکاری موضعی از لحاظ شیمیایی ماهیت منحصر بفردی دارد و در مقایسه با آبکاری مخزنی (غوطه‌وری) دانسیته جریان بالاتری نیاز دارد و می‌تواند با سرعت نسبتاً زیاد، پوششهای فلزی با ضخامت بالا، چسبندگی عالی و خواص متالورژیکی خوبی ایجاد نماید.

۳-۳- آبکاری نیکل بدون برق (الکترولس)

آبکاری به روش الکترولس عبارت از احیاء خود کاتالیزوری یون‌های فلز از یک محلول بوسیله یک عامل احیاءکننده است. از مهمترین پوشش‌های الکترولس می‌توان به پوشش نیکل - فسفر و پوشش مس در قطعات مهندسی اشاره کرد. پوششهای نیکل الکترولس به سه روش انجام می‌گیرد:

- الف- پوشش‌دهی غوطه‌وری ب- احیاء شیمیایی اکسید نیکل در دمای بین $C 11000-870$.
- ج- احیای خود کاتالیزوری شیمیایی نیکل با آنیونهای هیپوفسفات در حمام آبکاری در محدوده دمایی $C 960-87$. از جمله مزایای این روش نسبت به روشهای آبکاری برقی نیکل عبارتند از:
 - الف- ضخامت یکنواخت پوشش تقریباً مستقل از شکل قطعه می‌باشد. از اینرو با این روش می‌توان شکافها، زوایای تند، سوراخها و غیره را بر خلاف آبکاری الکتریکی بطور یکنواخت پوشش داد.
 - ب- توانایی ایجاد پوشش با مقاومت خوردگی بالا.
 - ج- توانایی ایجاد پوشش با سختی و مقاومت سایشی بالاتر از آبکاری نیکل بروش الکتریکی و نزدیک به آبکاری الکتریکی کروم سخت.

۳-۴- کاربرد آبکاری

آبکاری کروم سخت که در صنعت در مقیاس وسیع برای ایجاد سطوح مقاوم به سایش بکار رفته است، برای ترمیم بسیاری از سطوح آسیب‌دیده که در آن استحکام و سختی اهمیت دارد و ضخامت کم پوشش نیاز است، کاربرد دارد. گر چه اعمال نادرست این روش (بدون خنثی‌سازی کامل مواد زائد) برای محیط‌زیست مضر است ولی پیش‌بینی می‌شود که حداقل برای یک دوره ده ساله دیگر در کشور ما کاربرد داشته باشد. روشهای متنوع فلزپاشی با افزایش هزینه نسبتاً ناچیز بخوبی جایگزین روش آبکاری کروم سخت در بازبایی می‌باشد. عیوب ایجاد شده در قطعات مکانیکی نظامی نظیر فرسایش داخل سوراخها و مقرها؛ فرسایش سطح تکیه‌گاهی قطعات؛ خراش، فرورفتگی و از بین رفتن پوششهای قبلی کروم بر روی قطعات؛ دوپهنی مقرها و خراشیدگی و خوردگی سطوح به روش آبکاری کروم سخت قابل بازبایی هستند. در جدول ۴ نمونه‌هایی از قطعات خودروهای نظامی که بازبایی آنها به روش آبکاری امکان‌پذیر است، ارائه شده است.

جدول ۴- نمونه‌هایی از قطعاتی که بروش آبکاری بازیابی می‌شوند

| نام قطعه | عیب | آماده سازی | روش جرم گذاری | تمام کاری |
|--|---|--|-------------------|--|
| چرخ‌دنده رینگ | سایش بیش از حد مجاز سطح سوراخ در تماس با بلبرینگ | سنگ‌زنی مقدماتی | آبکاری کروم سخت | سنگ‌زنی و پرداخت کاری |
| درپوش با تیغه‌های ثابت ضربه‌گیر هیدرولیکی | سایش بیش از حد مجاز سطح بیرونی تیغه‌ها در تماس با بدنه ضربه‌گیر | سنگ‌زنی | آبکاری کروم سخت | سنگ‌زنی و پرداخت کاری |
| سرپوش غبارگیر | خراش، فرورفتگی و از بین رفتن پوشش کروم سطح سوراخ زیر حلقه لاستیکی | سنگ‌زنی سطح سوراخ تا برطرف شدن کامل عیب | آبکاری کروم سخت | پرداخت کاری |
| نیمه پایینی بدنه گیربکس | سایش و دو پهنی (بیضی شدن) مقر تکیه‌گاه میانی بیش از حد مجاز | داخل تراشی | آبکاری کروم موضعی | سنگ‌زنی و پرداخت کاری |
| میل‌لنگ | ساییدگی، خراشیدگی و خوردگی در سطح | سنگ‌زنی | آبکاری کروم سخت | سنگ‌زنی تا رسیدن به ابعاد مورد نظر و پرداخت کاری |

۴- استفاده از مواد اپوکسی در بازیابی

اخیراً اتصال و ترمیم قطعات با چسب بقدری مطمئن و پیشرفته شده است که از آن در بسیاری از زمینه‌ها حتی در صنایع حساس نظیر اتومبیل‌سازی و هواپیماسازی استفاده می‌شود. چسبهای مورد مصرف عبارتند از: ترموپلاستیکها، پلاستیکهای ترموست، الاستومرهای مصنوعی و برخی از سرامیکها که بوسیله آنها می‌توان فلزات و غیر فلزات را بخوبی بهم چسباند یا ترمیم کرد.

متداولترین چسبهای مصرفی در صنعت شامل ترموپلاستیکها مثل پلی‌آمیدها، وینیل‌ها و لاستیکهای نئوپرن بدون گوگرد، پلاستیکهای ترموست مثل اپوکسی‌ها، ایزوسیانات و وینیل فنولیک می‌باشد. از آنجا که ترموپلاستیکها در اثر گرما، نرم شده و استحکام خود را از دست می‌دهند، نمی‌توان آنها را در مورد قطعاتی بکار برد که در دماهای بالا کار می‌کنند. در اینگونه موارد باید از چسبهای ترموست که بوسیله سخت‌کننده‌های شیمیایی با اعمال فشار و حرارت فعال می‌شوند، استفاده کرد. همچنین در مواردی که باید خزش به کمترین مقدار برسد از این مواد استفاده می‌شود.

در میان چسبهای ترموست، رزین‌های اپوکسی کاربرد وسیعی پیدا کرده‌اند. شکستگی قطعات ریخته‌گری، شیرآلات، پمپها، مخازن و ماشینهای ابزار، درزهای صدمه‌دیده و لوله‌های شکافته شده را می‌توان توسط چسبهای اپوکسی ترمیم نمود. این چسبها در برابر بسیاری از حلالها و مواد روانکار مقاوم بوده و دچار زنگ‌زدگی یا انقباض نمی‌شوند. رزینهای اپوکسی نسبت به رزینهای فنلیک یا لامیناتها گرانتر بوده و بخاطر ویژگیهای مطلوبشان چه از نظر عمل‌آوری و چه از نظر سهولت کاربرد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. عمل‌آوری اپوکسی‌ها به راحتی انجام می‌گیرد، به گونه‌ای که می‌توان برای دستیابی به خواص مطلوب آنها را فرموله نمود. همچنین می‌توان با استفاده از سخت‌کننده‌ها که از تنوع زیادی برخوردارند، دمای کاری آنها را به دمای اتاق تنزل داد.

بدلیل اینکه رزینهای اپوکسی بدون تشکیل مواد با وزن ملکولی پایین سخت می‌شوند، میزان انقباض آنها در حین سخت شدن نسبتاً کم است. همچنین خواص مکانیکی و الکتریکی این رزین‌ها نسبت به رزین‌های

جدول ۵- نمونه قطعاتی که با استفاده از مواد اپوکسی بازیابی می‌شوند

| نام قطعه | عیب | آماده‌سازی | روش جرم‌گذاری | تمام‌کاری |
|---------------------------------------|---|--|---------------|--|
| بدنه پمپ آب | ترک خوردگی بدنه | مهار کردن ترک خوردگی با ایجاد سوراخ | پوشش اپوکسی | پرداخت کاری |
| پوسته پمپ آب | خلل و فرج حاصل از خوردگی | زدودن محصولات خوردگی و تمیزکاری | پوشش اپوکسی | پرداخت کاری تا رسیدن به سطح اصلی بدنه |
| واشر فلزی | اثر ساییدگی، خراشیدگی و از بین رفتن روکش در سطح و نبودن تسمه آب‌بندی | تراشیدن سطح | پوشش اپوکسی | پرداخت کاری |
| بدنه دنده متراکم‌کننده مرحله‌ای | ناهمواری و خراشیدگی حلقوی در سطح محفظه چرخنده‌ها بیش از حد مجاز | سوهان کاری سطح | پوشش اپوکسی | همسطح با بدنه پرداخت شود |

دیگر بهتر بوده و دارای مقاومت شیمیایی و حرارتی بیشتری نیز هستند. رزین‌های اپوکسی که به منظور ایجاد پوشش‌های سطحی بکار گرفته می‌شوند اغلب جهت حفاظت سطحی یا تزئین قطعات مورد استفاده قرار می‌گیرند. در جدول ۵ چند نمونه از مواد اپوکسی تجاری همراه با کاربردهای آن نمایش داده شده است.

۴-۱- کاربرد مواد اپوکسی

بطور کلی انواع عیوبی از قطعات مکانیکی که توسط اعمال پوشش اپوکسی قابل ترمیم هستند را می‌توان بصورت زیر دسته‌بندی کرد:

ترک خوردگی‌های سطحی؛ خلل و فرج حاصل از خوردگی؛ خراشیدگی، سائیدگی و از بین رفتن پوشش‌های اپوکسی قبلی بر روی سطوح و خراشیدگی و ناهمواریهای سطوح. در جدول ۵ مثال‌هایی از قطعات نظامی که با استفاده از مواد اپوکسی قابل بازیابی هستند ارائه شده است.

۵- توجیه فنی و اقتصادی بازیابی

بحث راجع به ارزش قطعه برای بازیابی از طریق بررسی عمر باقیمانده خستگی قطعات در این مختصر نمی‌گنجد. بطور خلاصه باید گفت 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.

۵-۱- جوشکاری

برای جبران انواع استهلاک محتمل بر قطعات مکانیکی لزوماً باید روش مناسب بطور صحیح انتخاب شود و با استفاده از مواد مناسب بطور صحیح اجرا گردد. از نظر اجرای جرم‌گذاری تقریباً تمام عیوب مکانیکی با روش جوشکاری قابل ترمیم هستند. آماده

سازی سطح از نظر تأمین پیوند مناسب بین پوشش و قطعه لازم است اما از حساسیت زیادی برخوردار نیست. در مواردی که آماده سازی مستلزم جرم برداری است (مانند خرابی رزوه‌ها) امکان جبران استهلاک مستلزم امکان ماشینکاری اولیه، جرم گذاری و تمامکاری با تجهیزات خاص است. در جوشکاری بدلیل ذوب قطعه زیر لایه و فلز پرکننده نفوذ پوشش بسیار زیاد بوده و پیوند متالورژیکی 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 پر کننده و اجرای صحیح روش (پیشگرم تا دمای مناسب و...) می‌توان به استحکام کششی مناسب پوشش دست یافت. از نظر خواص سطحی کافی است توجه شود که روش جوشکاری بعنوان یک روش سخت کاری سطوح بکار می‌رود چنانچه در مراحل آماده سازی نیاز به جرم برداری قابل توجهی (در نقاطی که می‌تواند کاهش عمر خستگی را بدنبال داشته باشد) نباشد و تنشهای باقیمانده یا ترکهای ناشی از شوکهای حرارتی در نواحی نزدیک به منطقه جوش موجب کاهش عمر خستگی قطعه نگردد با توجه به اینکه پوشش از نظر چسبندگی، پیوستگی و خواص سطحی برای انواع شرایط بارگذاری قابل اعمال است، قطعه بازیابی شده دارای استحکام و کیفیت مناسب برای مونتاژ خواهد بود.

بخش اعظم هزینه بازیابی قطعات به روش جوشکاری مربوط به عملیات آماده سازی و تمامکاری آن است. از نظر فنی ایجاد پوششهای چند لایه با چسبندگی و پیوستگی مناسب و خواص سطحی ایده‌آل با هزینه منطقی امکانپذیر است. محاسبه هزینه بازیابی قطعات بروش جوشکاری و مقرون به صرفه بودن بازیابی بستگی به نوع قطعه، نوع عیب قطعه و خواص مورد انتظار از پوشش دارد. برای ترمیم سطوح تکیه گاهی شافت محرک گیربکس تانک (که مهمترین عیب این شافت در پایان عمر سرویس اصلی آن است) و با ترمیم آن، قطعه می‌تواند یک دوره عمر سرویس بازیابی را طی نماید، که فقط معادل ۱۵٪ قیمت قطعه‌نو آن هزینه می‌شود.

۵-۲- فلز پاشی

با آماده‌سازی مناسب سطح زیر لایه (شستشو و خشن کردن سطح)، پیشگرم کردن قطعه، رعایت فاصله مناسب تفنگ پاشش نسبت به سطح قطعه کار و در موارد بحرانی استفاده از مواد پوشش پیوندی می‌توان چسبندگی مناسبی بین پوشش و قطعه (زیر لایه) ایجاد کرد و از بوجود آمدن ترک در پوشش جلوگیری نمود. در فلز پاشی چون مواد مذاب در اثر فشار هوای فشرده به سطح زیر لایه برخورد کرده و پهن می‌شوند ساختار لایه‌ای همراه با تخلخل و اکسید تشکیل می‌شود. علاوه بر این سرعت سرد شدن ذرات بالا می‌باشد. به این دلیل ماده پاشیده شده سخت‌تر، شکننده‌تر و متخلخل‌تر از ماده اولیه است. طبیعت متخلخل پوششهای فلزپاشی، بخصوص برای سطوح یاتاقانی مفید است زیرا تخلخل موجب جذب و حبس روغن می‌شود. این مسئله به‌همراه سختی بالای ذرات موجب می‌شود که پوششهای پاشش حرارتی در برابر سایش مقاوم باشند. پوششهای فلز پاشی بدلیل ترد و شکننده بودن در برابر ضربه و تنش متمرکز مقاوم نیستند. جاهایی که لازم است پوشش دارای مقاومت ضربه بوده و بعلاوه دارای مقاومت سایشی بالا باشد (مانند غلطک‌های نورد) از روش پاشش و گداختن استفاده می‌شود. در این روش از مواد خودگداز مانند آلیاژهای نیکل - کروم - بُر بعنوان ماده اولیه پوشش استفاده می‌شود. ابتدا ماده پاشش به شکل پودر توسط فرآیند شعله‌ای پودری یا پاشش پلاسمایی به سطح قطعه پاشیده شده و سپس توسط مشعل یا گرم کردن القایی، سطح قطعه تا دمای حدود $1300-1000$ گرم می‌شود. در اثر گرم کردن پوشش به داخل زمینه نفوذ کرده و پیوند متالورژیکی و قوی ایجاد می‌شود. علاوه بر این تخلخلهای پوشش حذف شده و استحکام کششی پوشش افزایش می‌یابد.

بنابراین با توجه به خواص فوق‌جهایی که فلز پاشی بعنوان روش بازیابی مناسب تشخیص داده شود، فرآیند فلز پاشی از کارایی بالایی برخوردار است. تجربه نشان داده است که عمر یاتاقانگردهای فلزپاشی شده تا پنج برابر یاتاقانگردهایی است که فلزپاشی نشده‌اند. بجز روش پاشش و گداختن در سایر موارد دمای قطعه در حین فرآیند از 150°C بالاتر نمی‌رود بنابراین هیچگونه عوارض جانبی (مانند تغییر ساختار و کاهش خواص مکانیکی قطعه) وجود ندارد. برای توجیه اقتصادی فلز پاشی کافی است به موارد زیر توجه شود:

الف- یاتاقانهای موتور دیزل

یاتاقانهای میل لنگ و سطوح یاتاقانی میله‌های اتصال دهنده با بیت کاری می‌شوند. سطح بابت کاری شده نرم بوده و بدون سایش قطعه مجاور در برابر پوسته شدن مقاومت می‌کند. روش سنتی بابت کاری ریخته گری بوده است. بعد از سرد شدن بابت قطعات به اندازه نهایی ماشینکاری می‌شوند. یاتاقانهای بابت کاری شده توسط ریخته‌گری هزینه و زمان بیشتری نیاز دارند. از طرف دیگر برای بارگذاری بالا و سرعت زیاد نیاز به پوششهای نازک وجود دارد. بخاطر ایجاد مک و ترکهای موئی در حین انجماد، ریختن پوششهای نازک با کیفیت بالا مشکل است. بنابراین توسط ریخته گری پوششهای ضخیم ایجاد شده و سپس برای کاهش ضخامت پوشش، ماشینکاری می‌شوند. چنین پوششی، اسفنجی، ضعیف و دارای پیوند ضعیف با پوسته یاتاقان می‌باشد. برای ایجاد پوششهای با خواص بهتر، روش فلزپاشی ترجیح داده می‌شود. گزارش شده است که دوام یاتاقانهای بابت پاشی شده دو برابر یاتاقانهای بابت کاری شده توسط ریخته گری است. هزینه فلز پاشی یک نوع یاتاقان موتور دیزلی در ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۸۵ بصورت زیر بوده است:

روش مورد استفاده: فلزپاشی شعله‌ای

| | |
|-------------------------------|---------------------|
| قطر یاتاقان: ۱۰۲ mm | طول یاتاقان: ۱۵۲ mm |
| مزد کارگر: | ۱۰/۶۶ دلار |
| استهلاک دستگاه‌ها: | ۱/۵۴ دلار |
| قیمت ماده مصرفی: | ۱۷/۱۴ دلار |
| قیمت گازها (اکسیژن و استیلن): | ۰/۳ دلار |
| جمع کل هزینه برای هر قطعه: | ۲۹/۶۴ دلار |

قیمت تمام شده توسط روش ریخته گری برای هر قطعه ۵۰ تا ۷۰ دلار است. روش فلز پاشی برای ترمیم یاتاقان بیش از نیمی از هزینه‌ها را نسبت به ریخته‌گری کاهش داده است. این هزینه‌ها بسته به نوع تجهیزات، سرمایه گذاری اولیه، مزد کارگر، قیمت مواد خام و افزایش قیمت‌ها تغییر می‌کنند و فقط بعنوان مقایسه داده شده‌اند.

ب- بهسازی تیغه‌های ماشینهای کشاورزی

لبه تیغه‌های ماشینهای کشاورزی مواجه با سایش شدید ناشی از تماس با خاک، محصولات کشاورزی و... هستند. برای افزایش مقاومت سایشی و عمر قطعات تیغه‌ها را می‌توان فلز پاشی کرد. جنس تیغه‌ها از فولادهای سخت‌شونده مانند ۴۱۳۰، ۴۱۴۰ یا فولادهای زنگ نزن سری ۴۰۰ می‌باشد. نوع ماده پوشش مخلوط کاربید تنگستن با کبالت بهمراه آلیاژ خود گداز پایه کبالت بوده است. ابعاد قطعه ۱۱ mm * ۷۶ mm * ۳۵۶ mm و ضخامت پوشش ۰/۳۸ mm و روش فلز پاشی شعله‌ای پودری است. در سال ۱۹۸۵ قیمت تمام شده فلز پاشی برای هر قطعه ۲۳/۷۱ دلار بوده است. با توجه اینکه عمر تیغه‌ها پنج برابر بیش از تیغه‌های بدون پوشش است، مبلغ فوق ناچیز است.

ج- میل لنگ تانک (یکی از بندهای متحرک)

طول قسمت فلزپاشی شده: ۷۰ mm

قطر قسمت فلزپاشی شده: ۸۵ mm

سال: ۱۳۷۸ هجری شمسی

روش بازیابی: فلز پاشی شعله‌ای سیمی

نوع پوشش: نیکل - آلومینیم بعنوان پیوند و فولاد با کربن متوسط بعنوان پوشش نهایی

هزینه تمام شده بازیابی: ۷۰۰,۰۰۰ ریال
قیمت قطعه: تقریباً ۳۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال

۵-۳- آبکاری

چون آبکاری قطعات مستلزم جرم برداری قابل ملاحظه از قطعه نیست و بعلاوه هیچگونه حرارت مضرى به قطعه وارد نمی‌گردد، خطری برای کاهش عمر خستگی قطعات وجود ندارد. تنها عارضه این روش تردی هیدروژنی احتمالی است که آنرا نیز می‌توان به نحو مناسب به حداقل ممکن تقلیل داد. گرچه قابلیت اعمال پوشش تا ضخامتهای بالا (۱/۵ mm) وجود دارد، کاردهی مناسب پوشش در ضخامتهای کم بهتر است. چون آبکاری کروم سخت غالباً بروش غوطه‌وری انجام می‌گیرد، برای آبکاری قطعات دارای سطوح حساس به محیط اسیدی که قابل روپوشانی نباشند، محدودیت وجود دارد. تقریباً غیر قابل دسترس‌ترین سطوح (داخل لوله تفنگ) را با استفاده از آند مناسب می‌توان آبکاری نمود. در این گونه موارد ابداع روشهای آماده سازی و تمامکاری خاص

ضرورت دارد. با کنترل پارامترهای آبکاری می‌توان چسبندگی مناسبی بین پوشش و زیر لایه برقرار نمود. سختی لایه کروم سخت بیش از HRC ۶۰ بوده و صافی سطح آن بالا است بنابراین مقاومت سایشی آن عالی است. سطوح یاتاقانی (تکیه گاهی) پره ضربه گیر قبلاً با هزینه تقریبی ۱۰٪ قطعه اصلی توسط آبکاری کروم سخت، بازیابی شده است و بخوبی یک دوره عمر سرویس بازسازی مجموعه مادر را طی نموده است. البته بازیابی این قطعه پس از طی عمر سرویس اصلی مستلزم انجام فلز پاشی و جوشکاری در سطوح دیگر است که هزینه بازیابی آنرا تا حدود ۴۰٪ قیمت قطعه اصلی افزایش می‌دهد.

۵-۴- استفاده از مواد اپوکسی

برای اعمال مواد اپوکسی لازم است زمینه بگونه‌ای آماده‌سازی شود تا پیوند بین مولکولی مناسبی بین ماده اپوکسی و زمینه ایجاد گردد. میزان آماده‌سازی سطح به عوامل متعددی نظیر استحکام مورد نیاز، محیط کاری، مقدار آلودگیهای سطحی و ماهیت زمینه بستگی دارد. بدلیل قابلیت ترکندگی زیاد، نفوذپذیری و وجود عوامل قطبی در مولکولهای رزین اپوکسی، چسبندگی آنها به اغلب آلیاژهای فلزی و زمینه‌های دیگر عالی است. چون چسبهای اپوکسی در حین عمل‌آوری، مواد فرار مانند بخار آب بوجود نمی‌آورند، عمل‌آوری آنها به‌سهولت و بدون نیاز به اعمال فشارهای بالا انجام می‌گیرد. چسبهای اپوکسی برای مدت طولانی بعد از پخت بدون هیچگونه تغییر بعدی می‌توانند تنش اعمال شده را تحمل نمایند. البته خصوصیت‌های مکانیکی و متالورژیکی این پوششها نسبت به سایر روشها محدودیت‌های زیادی در کاربرد آنها ایجاد کرده است.

ترمیم ترک خوردگی و خراشهای سطوح کاری بدنه آلومینیمی پمپ آب موتور تانک با استفاده از یک نوع ماده اپوکسی خاص با هزینه تقریبی ۲۰٪ قیمت قطعه نو برای یک دوره عمر سرویس بازیابی صورت گرفته است

پی‌نوشت‌ها

- 1- Surfacing
- 2- Gas Welding
- 3- Powder Welding
- 4- Manual Arc Welding
- 5- Gas Tungsten Arc Welding (TIG)
- 6- Gas Metal Inert Arc Welding (MIG)
- 7- Submerged Arc Welding (SAW)

8- *Plasma Arc Welding*

- در شماره قبل نمای روشهای فلزپاشی شعله‌ای، قوس و پلاسمائی نمایش داده شده‌اند.

-۹

10- *Wire Flame Spraying*

11- *Electric Arc Spraying*

12- *Plasma Spraying*

13- *Adhesion*