

Hardfacing

فرایند سخت پوشکاری

HARDFACING PROCESS

تهیه شده: غلامرضا رحمانی

(مدیریت کارخانه آلیاژجوش آریا)

نیاز روزافزون صنایع درگیر با عوامل سایشی جهت کاهش هزینه های جاری و لزوم جایگزینی و استفاده از انواع متریالهای مقاوم به سایش ، موجب شکوفایی و پیشرفت علم مهندسی سطح و نهایتا ابداع و تولید انواع ورقهای ضد سایش با روش های مختلف گردیده است . از میان روشهای مختلف، استفاده از ورقهای ضد سایش سخت پوشکاری شده ، بدلیل مزیت ها و برتری های آن در مقایسه با سایر روش ها بیشتر مورد توجه مصرف کنندگان قرار گرفته است .

در بسیاری موارد، کارکرد ورقهای سخت پوشکاری شده نیز نسبت به یکدیگر بسیار متفاوت است . نظر به اینکه امکان مقایسه دقیق و بررسی عملکرد محصولات شرکت های مختلف معمولا بدلیل انجام سریع تعمیرات اساسی در کارخانجات سیمان میسر نمی گردد لذا اقدام به ارائه توضیحاتی در این خصوص و تقسیم بندی محصولات بر اساس خواص کیفی می گردد . بمنظور آشنایی بیشتر با خدمات پوشش دهی در صنایع مختلف، نکاتی درخصوص کیفیت و وجوه تمایز فرایند سخت پوشکاری این شرکت به شرح زیر ارائه می گردد.

سخت پوشکاری (Hardfacing)

فرآیند سخت پوشکاری به معنای جوشکاری یک ماده مصرفی مقاوم به سایش (سیم جوش ، الکتروود ، پودر و...) برروی فلز پایه به منظور کاهش نرخ سایش می باشد. مواد مصرفی جوشکاری در این فرایند در گروه زیر تقسیم بندی می شوند:

- آلیاژهای فلزی پایه آهنی: فولادهای مارتنزیتی، آستنیتی و چدن های پر کروم
- آلیاژهای فلزی غیر آهنی: آلیاژهای کبالت، نیکل و مس
- کامپوزیت های حاوی کاربیدها ی فلزی: کاربید تنگستن

در فرایند سخت پوشکاری از روش های زیر جهت ایجاد لایه سخت با مشخصات مکانیکی و آنالیز شیمیایی نزدیک به چدنهای پر کرم آلیاژی استفاده می شود.

- جوشکاری دستی با استفاده از الکتروود جوشکاری (SMAW)
- جوشکاری نیمه و تمام اتوماتیک با استفاده از سیم جوش توپودری (FCAW & OAW)

❖ آلیاژهای چدن پرکروم

در میان آلیاژهای مقاوم به سایش، چدن های پرکروم کاربرد زیادی در کنترل میزان سایش و کاهش جرم ناشی از برخورد ذرات جامد در صنایع دارند. ریز ساختار فلز جوش این گروه دارای کارباید های فلزی است که در مراحل اولیه انجماد تشکیل می شود. اطراف این ذرات سخت با زمینه آستنیتی یا مارتنزیتی احاطه شده است.

• عناصر آلیاژی

نقش عناصر آلیاژی در عملکرد بخش سخت پوشکاری شده بشرح زیر می باشد:

- کربن: در این نوع آلیاژها درصد وزنی کربن ۲ تا ۶ درصد می باشد. افزایش کربن موجب افزایش نیرو محرکه تشکیل کاربیدها شده و نرخ جوانه زنی آنها را افزایش می دهد، چنانچه مقدار کربن پایین تر از محدوده فوق الذکر باشد متعاقب تشکیل کاربیدها، درصد کربن آستنیت به میزان قابل توجهی کاهش یافته و بالتبع آن، خواص مکانیکی فلز جوش نیز افت می نماید.
- کروم: در این نوع آلیاژها درصد وزنی کروم ۶ تا ۳۵ درصد می باشد. این عنصر تا مقادیر ۱۵ درصد، پیدایش کاربیدهای نوع M_3C (ضعیف) را ترغیب می کند و در مقادیر بالای ۲۰ درصد موجب تشکیل کاربیدهای M_7C_3 (مطلوب) تشکیل می دهد.
- منگنز: جزء پایدار کننده فاز آستنیت است که هم در زمینه و هم در کاربید می تواند حل شود که باعث افت سختی و افزایش آستنیت باقی مانده می شود. اما جانشینی منگنز در ساختار کاربید، سختی آنرا افزایش می دهد.

• ریز ساختار

ریز ساختار آلیاژ چدن پر کروم، عمدتاً دارای فازهای سخت با ترکیب شیمیایی M_aX_b (M نماینده عنصر فلزی و X نماینده کربن) یا سلول های فلزی است که در مراحل اولیه انجماد تشکیل شده و توسط شبکه پیوسته یوتکتیک احاطه شده است. بسته به مقدار کربن، کروم و سایر عناصر آلیاژی، فاز های سخت اولیه ممکن است از نوع کاربیدهای M_7C_3 ، MC ، M_3C ، $M_{23}C_6$ باشند که تاثیرات متفاوتی بر رفتار سایشی آلیاژ دارند. در این میان مهم ترین فاز سخت تشکیل شده حین انجماد که تاثیر زیادی بر خواص سایشی رسوب ایجاد شده دارد، کارباید کروم نوع M_7C_3 است.

Hardfacing

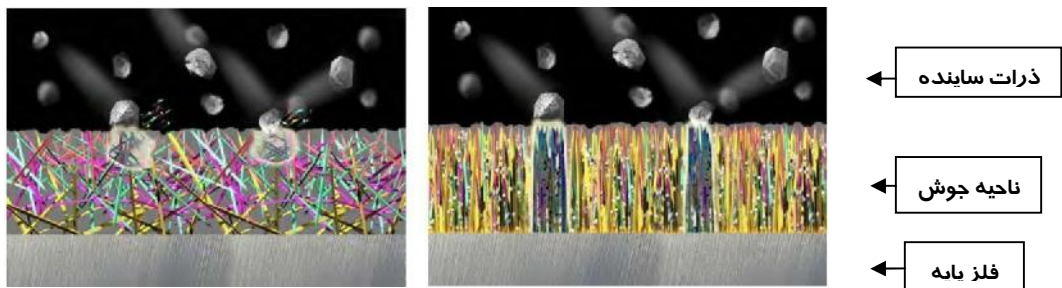
مشخصات فازهای سخت اولیه تشکیل شده در سیستم آلیاژی

سیستم آلیاژی	فازهای سخت اولیه	کسر حجمی کاربیدها	سختی (HV)
Fe – Cr – C	MC	6 – 17	1090 – 1450
Fe – Cr – C < 15%	M ₂₃ C ₆ و M ₃ C	17 – 38	1090 – 1740
Fe – Cr – C > 20%	M ₇ C ₃	27 – 55	1190 – 2300

• کاربیدها

کاربید های نوع M_7C_3 نسبت به کاربید های M_3C (هر دو ناشی از افزودن عنصر کرم و یا سایر عناصر کاربیدزا) از سختی بیشتر و چسبندگی مناسبتر به زمینه برخوردار هستند، ضمن آنکه ساختمان ظریف تری را ایجاد می نمایند که در صورت استفاده از یک روش مناسب جوشکاری منجر به ایجاد تراکمی مناسب و منظم از کاربید ها شده و نهایتاً مقاومت سایشی بهتر و ضربه پذیری مناسب تری را حاصل می نماید. مزیت این نوع ساختار کاربیدی این است به رغم سختی بالا و تردی، ترکهای موجود در آن درون ساختار زمینه (که به مراتب نرم تر است) رشد و گسترش نمی یابند. اما در ساختار حاوی کاربید های M_3C ، شبکه کاربید ها عموماً دارای یک پیکر بندی پیوسته و خشن هستند که از سختی پایین تری نسبت به M_7C_3 برخوردار بوده و لذا حتی استقامت آنها در برابر ضربه نیز کمتر است. استفاده از سیم جوشهای با درصد عناصر آلیاژی کمتر مستقیماً بر روی نوع کاربیدها و ساختار جوش تاثیر می گذارد.

نکته مهم دیگر در خصوص مقدار کاربید ایجاد شده در زمینه می باشد. جهت دستیابی به مقاومت سایشی مطلوب، حداقل حجم کاربید لازم در زمینه در محدوده ۳۰ تا ۳۵ درصد حجمی زمینه می باشد که نیل به این هدف در سایه انتخاب صحیح آنالیز سیم جوش مصرفی و پروسه جوشکاری میسر می گردد.



ساختار کاربیدی غیر متراکم و نامنظم

ساختار کاربیدی متراکم و منظم

مقایسه تاثیر ساختار کاربیدی و تراکم مناسب آن در برابر نفوذ ذرات ساینده

Hardfacing

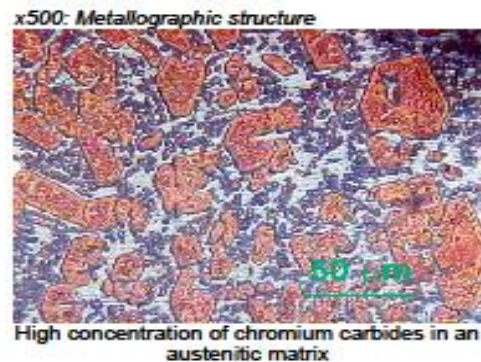
ورق های سخت پوشکاری شده

ورقهای سخت پوشکاری شده دو لایه از رایج ترین و مناسب ترین گزینه ها برای مقابله با سایش مواد معدنی (همراه با ضربه متوسط) می باشند. این ورق ها شامل یک لایه ورق فولادی و یک لایه مقاوم به سایش ایجاد شده توسط فناوری نوین سخت پوشکاری تمام اتوماتیک می باشند. از بازرترین مشخصات این ورق ها می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- ✓ همگنی آنالیز رسوب جوش و یکنواختی ضخامت لایه جوشکاری شده.
- ✓ تراکم و چسبندگی مناسب فلز جوش به ورق پایه.
- ✓ محدوده مناسب سختی بسته به نوع سیم جوش مصرفی و افزودن انواع عناصر آلیاژی (در بازه 58-64 HRC).
- ✓ وجود ترکهای ناپیوسته و کوچک عمود بر جهت جوشکاری در بخش سخت پوشکاری شده (شکل ظاهری ورق) با توجه به میزان بالای عناصر آلیاژی.

مزایا

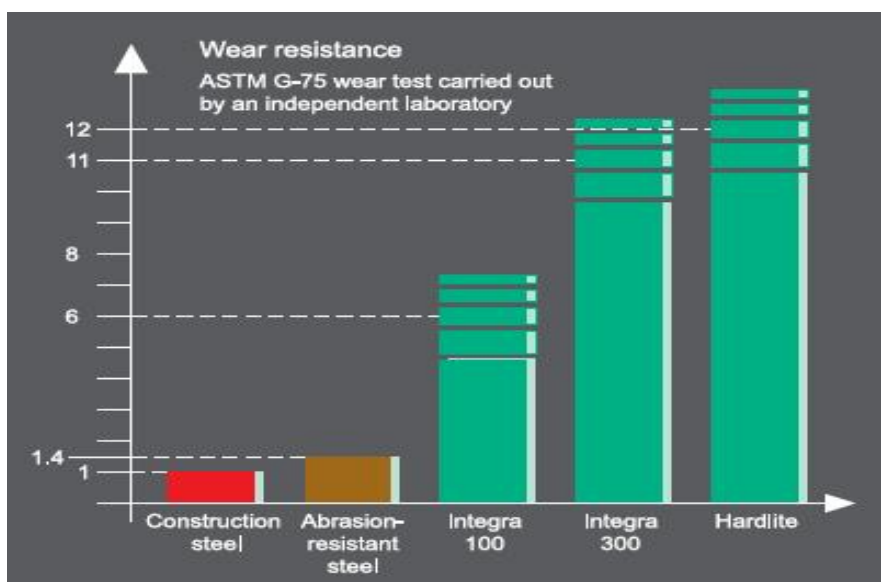
- ✓ سهولت استفاده (برش کاری، شکل دهی، نصب)
- ✓ عمر کارکرد بیشتر در مقایسه با سایر ورق های مورد استفاده در تجهیزات صنعتی (کاهش مدت زمان و دفعات توقف تجهیزات)
- ✓ امکان کاهش ضخامت ورق نصب شده در تجهیز نسبت به سایر ورق های مورد استفاده (کاهش وزن قطعات، سهولت نصب و جابجایی، صرف هزینه اولیه پایین تر جهت خرید قطعات).
- ✓ تنوع ضخامتهای قابل ارائه بسته به نیاز و درخواست خریدار.
- ✓ امکان استفاده از ورق در محدوده دمایی بالاتر نسبت به سایر ورق های موجود در بازار (امکان استفاده از ورق گرید ۶۰۰ تا دمای 800°C)



Hardfacing

* مقایسه عملکرد

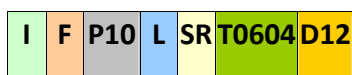
مقاومت به سایش این نوع ورق ها در مقایسه با سایر ورقهای ساختمانی و کوئنچ شده که برای موارد مشابه استفاده می شوند طبق استاندارد مقایسه ای G75 مطابق با نمودار ذیل می باشد . همانطور که ملاحظه می گردد مقاومت سایشی (عملکرد) گرید ۱۰۰ این نوع ورق ها حدود ۵ الی ۶ برابر سایر ورق های ضد سایش (کوئنچ شده-نوردی) متداول می باشد که در گریدهای بالاتر این عملکرد حتی تا ۱۲ برابر نیز افزایش می یابد.



Hardfacing

* استاندارد ساخت ورق و قطعات سخت پوشکاری :

عرضه ورق ها در شرکت آسیابان بر اساس استانداردهای داخلی گروه **Welding Alloys** صورت می گیرد . ذکر این نکته از آن جهت حائز اهمیت است که در پاره ای موارد، تولید کنندگان ورقهای سخت پوشکاری شده آشنایی با استانداردهای ساخت ورق ندارند . بعنوان نمونه در فرایند تولید این گروه ، استاندارد نام گذاری یک ورق **Wear Plate 100** با ضخامت **6+4 mm** به شرح زیر می باشد:



I – Integra division

F – Finished product

P10 – cladding type, Plate 100

L – Base material, low alloy steel

SR – cladding technique, stringer in round position

T0604 – thickness, 6+4

ورقهای سری **Wear Plate 100** که از رایج ترین ورقهای مورد استفاده می باشند دارای مشخصات ذیل است :

- ۱- سختی آن **59-62 HRC** می باشد .
- ۲- ساختار فاز زمینه آن آستنیتی همراه با کاربید کروم از نوع M_7C_3 می باشد .
- ۳- تراکم و چسبندگی مناسب فلز جوش به ورق پایه.
- ۴- بخش سخت پوشکاری شده (شکل ظاهری ورق) لزوما شامل ترکهای ناپیوسته و کوچکی می باشد.

دستیابی به مشخصه های فوق الذکر با رعایت موارد ذیل امکان پذیر است که در ادامه بحث توضیحات تکمیلی در این خصوص ارائه می گردد :

- (a) انتخاب مناسب آنالیز شیمیایی سیم جوش مصرفی
- (b) انتخاب مناسب پروسه تولید ورق
- (c) تشکیل ساختار مطلوب زمینه فلز جوش

Hardfacing

(A) آنالیز شیمیایی سیم جوش مصرفی

در پروسه ساخت ورقهای **Wear Plate 100** از سیم جوش سری سخت پوشکاری گروه **Welding Alloys** مخصوص تولید ورق با نام **INTEGRA 100** استفاده می نماید. آنالیز تقریبی سیم جوش فوق الذکر به شرح جدول زیر می باشد:

% C	%Cr	%Mn	%Si	%Fe
5	27	1.5	1.5	rest

ذکر این نکته ضروری است که در صورت استفاده از انواع سیم جوش نامرغوب با میزان کروم کمتر در پروسه تولید انواع قطعات ضد سایش، بدلیل تشکیل انواع ضعیف تر کاربید کروم در ساختار زمینه، سختی و خواص مکانیکی مورد انتظار از قطعات تولیدی در حد مطلوب نخواهد بود. وجه تمایز فرایند سخت پوشکاری این گروه در بکارگیری سیم جوش های با کیفیت محصول کشور انگلستان است که در مقایسه با سایر تولید کنندگان که از محصولات داخلی و یا چینی استفاده می نمایند دارای خواص سایشی بهتر و خواص مکانیکی بسیار مطلوب می باشد.

(B) پروسه تولید ورق و تجهیزات جوشکاری

مناسب ترین پروسه تولید ورقها بر اساس استفاده از سیم جوش توپودری و فرآیند **Open Arc** می باشد. دلایل بهره گیری از روش فوق عبارتند از:

- ✓ دستیابی به کمترین میزان **dilution** (انتقال عناصر آلیاژی از فلز جوش به فلز پایه و بالعکس)
- ✓ دستیابی به سطحی یکنواخت با الگوی ترکیبهای سطحی یکپارچه و قابلیت مقاومت به سایش یکنواخت
- ✓ تشکیل کاربید کروم به شکلی یکنواخت در تمامی لایه های فلز جوش

سخت پوشکاری بر روی قطعات طبق روش های پشتیبان تأیید شده (WPS & PQR) توسط دستگاه جوش **Open Arc** انجام می شود. برای چرخاندن قطعات مدور شکل و لوله ها در حین عملیات جوشکاری از گرداننده های (Positioner) پر قدرت که به وسیله **Microprocessor** به طوردقیق کنترل می شود، استفاده می گردد.

Hardfacing

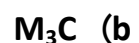
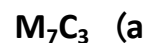
از دیگر روشهای مرسوم جهت تولید ورق سخت پوشکاری شده روش **Bulk Weld** می باشد که قیمت تمام شده در این روش بدلیل استفاده از گروه سیم جوش های **Mild Steel** به مراتب پایین تر از روش **Open Arc** می باشد اما کاربرد کروم تنها در سطح رویی فلز جوش تشکیل شده و ضمناً بسیار غیر یکنواخت می باشد که این پدیده منجر به افزایش سرعت سایش پس از سائیده شده لایه فوقانی می گردد و از این رو ، عمر مفید ورق به شدت کاهش می یابد .

(C) ساختار زمینه

علاوه بر آنالیز شیمیایی ، ساختار زمینه نیز نقش بسزایی در تعیین مقاومت سایشی دارد که بر همین اساس ، عوامل تاثیر گذار در عملکرد ورق به شرح زیر دسته بندی می گردند :

- نوع کاربرد
- شکل کاربردها
- اندازه و حجم کاربردها
- نوع فاز زمینه

* انواع کاربردهایی که در زمینه جوش تشکیل می گردد (بسته به آنالیز سیم جوش) عموماً شامل دو گونه زیر می باشد :



Hardfacing

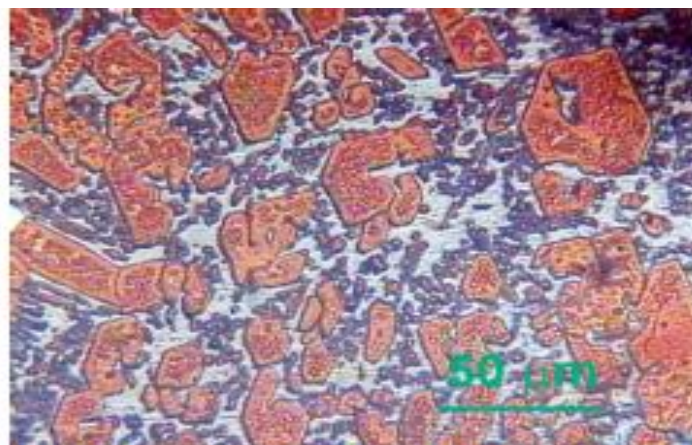
- آلیاژهای جوشکاری

در فرایند سخت پوشکاری توسط شرکت آلیاژ جوش از سیم جوش های توپودری گروه بین المللی Welding Alloys با ترکیبات کاربید کرم و کاربید کمپلکس با نامهای تجاری Integra 100 & 300 & 600 استفاده می شود .

➤ Integra 100

- High chromium cast iron for Hardfacing components subject to extremely severe abrasive wear and moderate impact.
- The deposit contains a high proportion of hard primary and eutectic chromium carbides of the M_7C_3 type in a tough austenitic matrix.
- Keep its outstanding properties up to approximately 100C.
- Hardness: 58 – 62 HRC

% C	% Cr	% Mn	% Si	% Fe
5	27	1.5	1.5	Rest



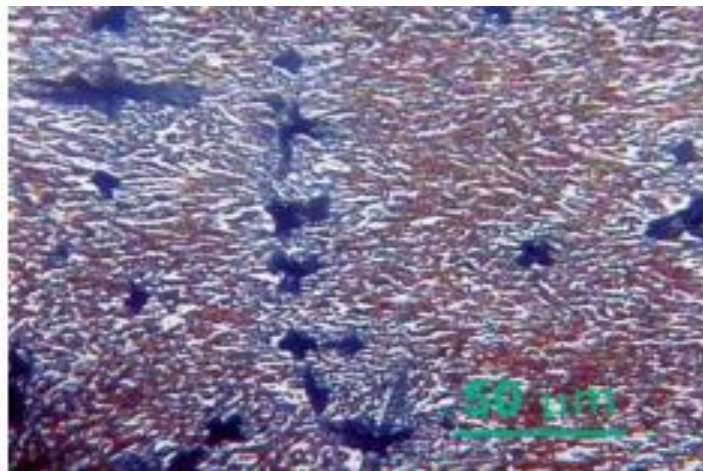
High concentration of chromium carbides in an austenitic matrix

Hardfacing

➤ Integra 300

- High chromium cast iron for Hardfacing components subject to extremely severe abrasive wear and heavy impact up To 300C.
- The deposit contains in a tough matrix and performs exceptionally well in both fine and coarse abrasion.
- Chromium and niobium carbides in an austenitic matrix. Niobium carbides increase abrasion and impact resistance.
- Hardness: 60 – 62 HRC

% C	% Cr	% Mn	% Si	%Nb	Fe
5	22	1	0.5	7	Rest



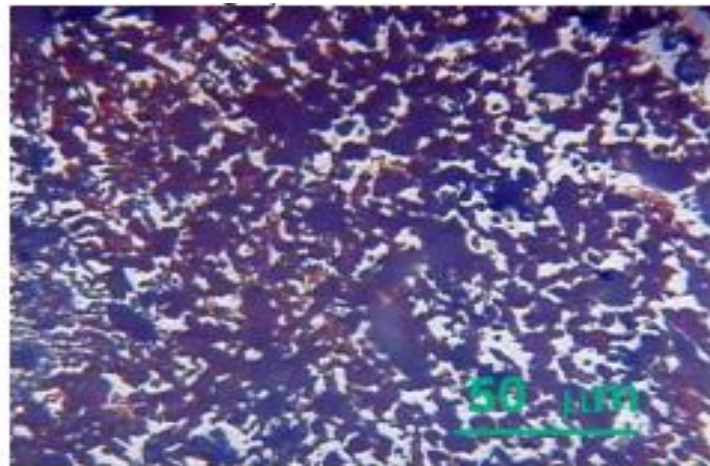
High concentration of chromium and niobium carbides
in an austenitic matrix

Hardfacing

➤ Integra 600

- High volume of chromium and complex carbides evenly distributed throughout the thickness of the deposit.
- Hard primary chromium and complex carbides) Niobium, Molybdenum, tungsten and vanadium) in a tough secondary carbide eutectic matrix.
- Keep its outstanding properties up to approximately 700C.
- Hardness: 62 – 64 HRC

% C	% Cr	% Mn	% Si	%Nb	%Mo	%W	%V	% Fe
5	22	0.5	1.5	6	5.5	2	1	Rest



Very high concentration of chromium, niobium and molybdenum carbides in an austenitic matrix

Hardfacing



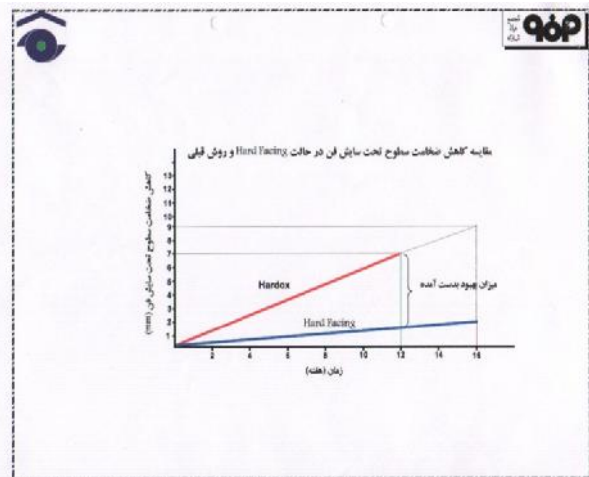
تولید انواع ورق های ضدسایش

Hardfacing



سخت پوشکاری قطعات کوره احیا مستقیم

Hardfacing



شماره ۳۳-۰۰۱۱۱۱۱۱۱۱
تاریخ ۸/۷/۸۵
پوست



باسمه تعالی
شرکت فولاد مبارکه اصفهان
(سهامی عام)

بسمه تعالی

مدیریت محترم MPC واحد گندله سازی



با سلام

احتراماً، همانطوریکه مستحضر هستید سایش شدید بر روی فن های دوقلوی آسیاب یکی از مهمترین معضلات تعمیراتی آن واحد بوده است. در سال ۸۴ پیرو درخواست حل معضل از طرف آن واحد محترم واحد اسکلت فلزی طی یک طرح مهندسی سطح اقدام به انجام عملیات Hard Facing بر روی یک دستگاه فن ۲۶ آن واحد نمود که در اواخر سال ۸۴ در خط تولید نصب گردید و تاکنون بدون اشکال در حال تولید بوده است. با توجه به اینکه پروژه TQ مشترکی در این خصوص تعریف گردیده است. خواهشمندم جهت تأییدیه پروژه اطلاعات درخواستی زیر را تکمیل فرموده و به این واحد ارجاع فرمائید.

با تشکر

رئیس کارگاه اسکلت فلزی و عملیات حرارتی

عباس اورک شیرانمهر

ردیف	موضوعات مورد بررسی	اطلاعات مورد نیاز
۱	عمر متوسط فن قبل از اجرای پروژه	۳۱/۵ ما ۵ (رسود ۵)
۲	تاریخ نصب فن	۸۴/۱۱/۵
۳	تاریخ آخرین بازرسی	۸۵/۸/۲۳
۴	وضعیت فن در آخرین بازرسی	بهای اذکار کار مناسب است
۵	عمر مفید فن پس از اجرای پروژه	۳۰۰ روز در ۵۰۰ ساعت
۶	میزان ساعت تعمیراتی صرفه جویی شده	۳۰۰ ساعت در ۵۰۰ ساعت
۷	مزیت اقتصادی حاصله	تعمیرات متراکمتر و هزینه کمتر
۸	نظر کلی ناحیه از لحاظ فنی - اقتصادی	کار با صرفه و نظر نظر و امنیت در سردی

مدیریت گندله سازی
نام و نام خانوادگی سیرکلی گنجه‌ای
امضاء
تاریخ ۸۵/۹/۱۳

کارشناس بررسی گندله
نام و نام خانوادگی سیرکلی گنجه‌ای
امضاء
تاریخ ۸۵/۹/۱۳

- ۱- اعمال لایه سخت بر روی بدنه اصلی، باعث افزایش طول عمر قطعات در برابر سایش و خراشیدگی می شود، که نیجه آن کاهش هزینه تعمیر و نگهداری می باشد.
- ۲- کاهش توقفات ناشی از عملیات سخت پوشکاری باعث افزایش تولید و بهره وری می شود.
- ۳- نقش ریز ساختار در رفتار سایشی آلیاژهای رویه سخت مهم تر از میزان سختی است.
- ۴- ریز ساختار، دارای کاربادهای فلزی از نوع M_aX_b و یا سلول های فلزی است که در مراحل اولیه انجماد تشکیل شده و توسط شبکه پیوسته یوتکتیک احاطه شده است. مهم ترین فاز سخت تشکیل شده حین انجماد، کارباید کروم نوع M_7C_3 می باشد.
- ۵- افزایش کربن و عناصر آلیاژی باعث افزایش کسر حجمی ذرات سخت اولیه می شود.
- ۶- در سایش ساینده هر چه کسر حجمی کاربایدها بیشتر باشد مقاومت یه سایش بیشتر خواهد بود.
- ۷- برای یک آلیاژ جوش رویه سخت رسوب فلز جوش به شدت تحت تاثیر فرایند و پارامترهای جوشکاری است. میزان رقت (Dilution) و در هم آمیختن لایه و زیر لایه، تغییر در ترکیب به دلیل افت عناصر شیمیایی در قوس الکتریکی و نرخ سرمایش رسوب از جمله عوامل مرتبط با این موضوع می باشد. بهترین روش ایجاد لایه های سخت، روش جوشکاری Open Arc Welding بعلت میزان رقت کم نسبت به روش های دیگر می باشد.
- ۸- در صورت استفاده از انواع سیم جوش نامرغوب با میزان گرم کمتر، سختی و خواص مکانیکی مورد انتظار از قطعات تولیدی در حد مطلوب نخواهد بود.
- ۹- انتخاب سیم جوش مناسب با توجه به سرویس کاری (نوع سایش، زاویه برخورد و سرعت مواد ساینده، دما) و همچنین انتخاب سائز سیم جوش و پارامترهای جوشکاری (PQR & WPS) برای جلوگیری از اعوجاج و پیچیدگی قطعات در تخصص کارشناسان شرکت آلیاژجوش می باشد.
- ۱۰- در راستای تایید کیفی فرایند سخت پوشکاری توسط کارفرمایان محترم، لازم است دستگاه نظارت نسبت به انجام آنالیز شیمیایی متریاال سخت پوشکاری تولید کنندگان مختلف، بصورت رندم اقدام بفرمایند.