

ارزیابی متالورژیکی نقاط فاقدپوشش در ورقهای فولادی گالوانیزه گرم و تأثیر آن بر خواص ورق

آرش عظیمی دستگردی^{*}، فخرالدین اشرفی زاده^{**}، محمد رضا طرقي نژاد^{***}، فرهاد شهریاری^{****} و حمید زهرایی^{*****}

پژوهشکده فولاد، دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

شرکت فولاد مبارکه اصفهان

(دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۱۰/۴ - دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۰/۱/۲۷)

چکیده -

واژگان کلیدی :

* - کارشناسی ارشد ** - استاد *** - دانشیار **** - دکتری ***** - کارشناس

Evaluation of bare spot defects in hot dip galvanizing and their influence on the properties of steel sheet

A. Azimi Dastgerdi*, F. Ashrafzadeh, M. R. Toroghinejad, F. Shahriari and H. Zahraei

Corresponding Author Address: Steel Institute of Isfahan University of Technology
Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology
Mobarakeh Steel Company

Abstract: In this paper, bare spot defects in hot-dip galvanized sheets were studied in terms of the microstructure and their influence on the corrosion and mechanical properties. Surface characteristics and microstructural features were examined by scanning electron microscopy equipped with energy dispersive spectroscopy microanalysis system. The results showed that the major cause of the bare spots was the lack of wettability of the sheet surface due to contamination, improper heat treatment or chemical composition. Corrosion resistance was evaluated by standard salt spray test. Mechanical properties were examined by tensile testing. The time to red rust was much shorter on the bare spots as compared to other regions, but it appeared that bare spot defects had no significant effect on the mechanical properties of the galvanized steel sheets.

Keywords: hot dip galvanizing, bare spot, surface defects, salt spray test, corrosion resistance.

فهرست علائم

Is	میانگین ساعات رسیدن نمونه‌های سالم به شوره قرمز در یک کلاف
Id	میانگین ساعات رسیدن نمونه‌های دارای عیب به شوره قرمز در یک کلاف

۱- مقدمه

فولادی در آن نواحی در معرض محیط قرار می‌گیرد. در اکثر مواقع این نقاط آنچنان ریزند که با چشم به سختی قابل تشخیص‌اند. منشاء این عیب می‌تواند بسیار متنوع باشد؛ در برخی موارد این عیب ناشی از آسیب مکانیکی پوشش پس از فرایند گالوانیزه است که در واقع به چسبندگی ضعیف بر می‌گردد [۲]. شایعترین دلیل ایجاد نقاط فاقد پوشش، تر نشدن کامل ورق زیر لایه توسط روی مذاب است که هنگامی به وقوع می‌پیوندد که سطح ورق زیر لایه پیش از ورود به حمام به‌طور کامل تمیز و خشک نشده و یا در حین فرایند دچار آلودگی شده باشد [۲ و ۳]. تر شوندگی کامل فولاد توسط روی مستلزم آن است که تمام پوسته‌های اکسیدی، ذرات آهن‌ریز، چربیها و محلولهای شستشوی باقی مانده روی ورق به‌طور کامل از سطح آن زدوده شوند. اگر روغنهای نوردی و چربیها در حین عملیات حرارتی در خط حذف نشوند، به‌صورت مواد کربن‌دار روی سطح باقی می‌مانند و مانع ترشدگی می‌شوند [۳]. شیمی فولاد و ترکیب شیمیایی حمام مذاب نیز می‌تواند در ایجاد این عیب نقش داشته باشند [۴].

پوشش روی به روش غوطه‌وری از مهمترین تمهیداتی است که برای حفاظت اجزای فولادی در معرض اتمسفر و محیط خورنده به کار می‌رود. ورق فولاد گالوانیزه همانند سایر محصولات صنعتی دارای عیوب و نقصهایی است که در حین تولید ایجاد می‌شوند. نقش و اهمیت این عیوب هنگامی واضحتر می‌شود که از اجزای فولادی گالوانیزه در کاربردهایی که کیفیت سطحی بالا و کارایی ویژه‌ای در مقاومت خوردگی و شکل‌پذیری آن مورد انتظار است استفاده شود [۱]. گسترده‌گی و اثربخشی این عیوب گاهی چنان است که باعث از بین رفتن محصول و عدم پذیرش آن می‌شود. از این رو صاحبان صنایع گالوانیزه و متخصصین این روش پوشش‌دهی تلاش می‌کنند تا در کنار افزایش کیفیت ورق تولیدی، عیوب و در نتیجه هزینه‌ها را کاهش دهند.

نقاط فاقد پوشش^۱ در سطح ورق گالوانیزه که از عیوب رایج به شمار می‌آید، نقاطی‌اند که بدون پوشش روی بوده و ورق

جدول ۱- ترکیب شیمیایی ورق زیرلایه نمونه‌های مورد آزمایش توسط کوانتومتر (درصد وزنی)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	N (ppm)	Nb	V	Ti	Fe
۰/۰۳۳	۰/۰۰۹	۰/۲۰۷	۰/۰۱۲	۰/۰۰۸	۰/۰۳۹	۰/۰۵۱	۰/۰۵۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	بقیه

ASTM B117). بازرسی چشمی نمونه‌ها هر ۸ ساعت یک‌بار انجام شد و زمان رسیدن به ۰.۵٪ سطح پوشیده از شوره قرمز^۶ به عنوان معیار خروج از آزمون در نظر گرفته شد.

به منظور ارزیابی رفتار مکانیکی نمونه‌های دارای عیب، از آزمایش کشش تک محوری استفاده شد و نمونه‌ها در جهت نورد مورد آزمون کشش قرار گرفتند. نمونه‌های انتخابی از ورق گالوانیزه طبق استاندارد EN-DIN 10002-1 و با دستگاه Zwick-Roell Z400 کشیده شد. از یافته‌های آزمون کشش، درصد ازدیاد طول^۷ و استحکام کششی^۸ مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور مقایسه نتایج، در مقابل هر نمونه معیوب یک نمونه سالم نیز از همان ورق برای آزمونهای کشش و پاشش نمک تهیه شد و برای اطمینان از صحت نتایج، آزمایشها روی هر نمونه حداقل سه بار تکرار شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ساختار و تحلیل عیب

عیب فاقد پوشش دارای تنوع و گستردگی ظاهری متفاوتی است. گاه به صورت بسیار ریز و سوزنی است به گونه‌ای که اگر تجمع و فراوانی عیب در یک ناحیه وجود نداشته باشد تشخیص آن مشکل خواهد بود. در بعضی از موارد نیز این عیب به صورت لکه‌هایی به اندازه چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر روی ورق مشاهده می‌شود که در موارد شدید حتی منجر به کندگی پوشش شده است. نمونه‌هایی از دو مورد فوق در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این عیب به صورت نقاط فرورفته یا حفراتی در عمق پوشش است به گونه‌ای که به سطح زیرلایه رسیده و سیاه رنگ به نظر می‌رسد. به بیان دیگر پوشش در این نقاط تشکیل نشده است. در شکل (۱-ب) تفاوت بین مورفولوژی پوشش اطراف عیب با خود ناحیه عیب

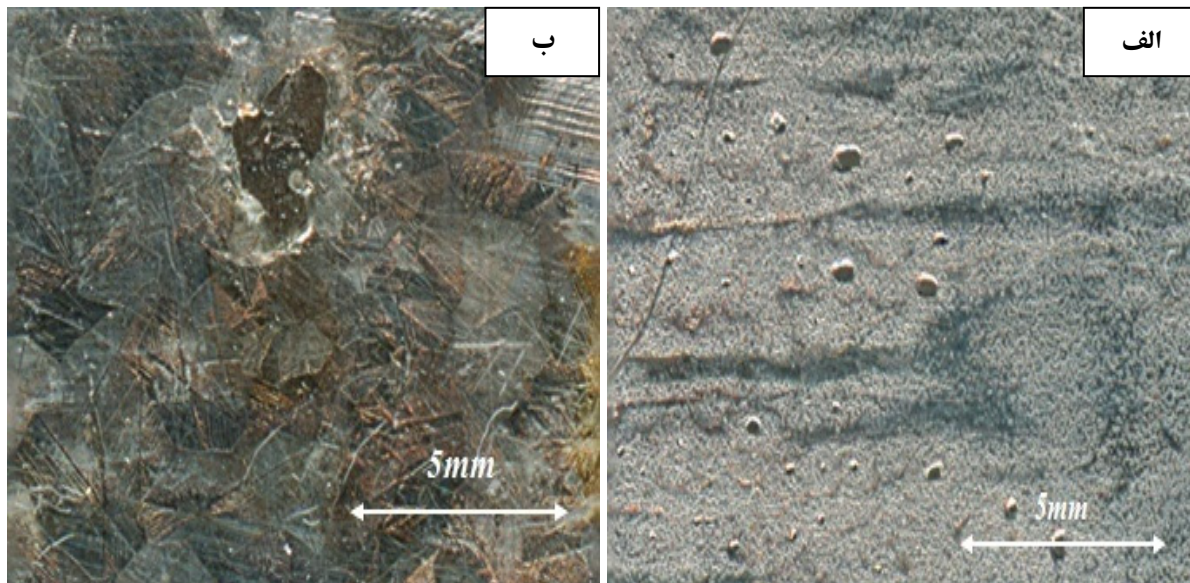
عیب فاقد پوشش در ورقهای گالوانیزه گرم پیوسته دارای فراوانی بالایی است و باعث کاهش کیفیت محصول تولیدی می‌شود، اما با وجود اهمیت آن تحقیقات چندانی در این خصوص انجام نشده است. بنابراین در این پژوهش تأثیر نقاط فاقد پوشش ایجاد شده روی ورق گالوانیزه پیوسته بر خواص متالورژیکی شامل مقاومت خوردگی، خواص کششی و تغییرات ساختاری مورد ارزیابی قرار گرفته است. رفتار خوردگی با استفاده از آزمون پاشش نمک^۲ و خواص کششی با استفاده از آزمون کشش^۳ تعیین شده است. کیفیت سطح پوشش و مشخصات ساختاری آن با SEM/EDS بررسی شده و در این مقاله تحلیل شده است.

۲- مواد و روش تحقیق

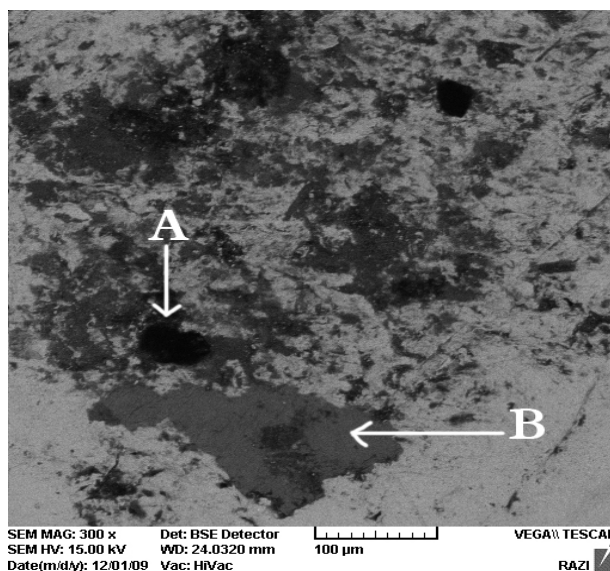
این پژوهش با استفاده از ورق فولاد کم کربن (SGCC JIS G3302) پوشش داده شده توسط روی (به روش گالوانیزه گرم) انجام گرفت. ترکیب ورق فولادی نمونه‌های مورد استفاده که توسط کوانتومتر تعیین شده، در جدول (۱) نشان داده شده است.

نمونه‌گیرهای متعدد از ورقهای معیوب به مدت ۸ ماه انجام گرفت. کیفیت سطح پوشش و مشخصات ریزساختاری آن توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی^۴ مجهز به سامانه طیف‌سنج پراکندگی انرژی^۵ (SEM/EDS) مدل VEGA-TESCAN مورد بررسی قرار گرفت.

برای ارزیابی رفتار خوردگی، از آزمون پاشش نمک استفاده شد. برای انجام این آزمون لبه‌های برش یافته نمونه با چسب ضد نفوذ و پایدار در محیط پاشش نمک پوشانده شد و مساحت مشخصی از پوشش به ابعاد ۱۵ × ۲۵ cm در معرض پاشش نمک قرار گرفت (شرایط انجام آزمون مطابق با استاندارد



شکل ۱- الف) نمونه‌ای از فاقد پوشش ریز روی سطح ورق نورد پوسته‌ای شده، ب) نمونه‌ای از فاقد پوشش درشت روی سطح ورق عادی.



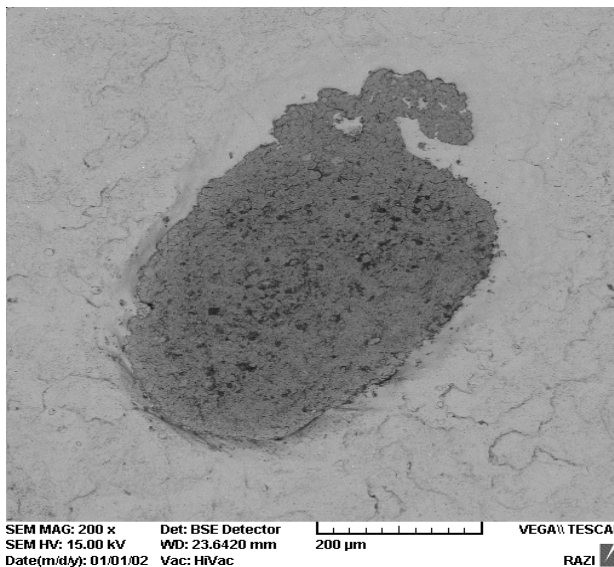
شکل ۲- نواحی مختلف موجود در عیب.

کرومات^{۱۰} شده ولی نمونه دوم پس از پوشش‌دهی تحت عملیات نورد پوسته‌ای^{۱۱} قرار گرفته بود در نمونه اول، شکل (۲) یک نمونه فاقد پوشش کوچک در بزرگنمایی بالا مشاهده می‌شود. همان‌گونه که در شکل علامت گذاری شده، دو ناحیه قابل تفکیک است. تحلیل EDS از مناطقی که در شکل (۲) مشخص شده در جدول (۲) آورده شده است و همان‌طور که از نتایج بر می‌آید، مقدار کربن در ناحیه سیاه

به خوبی نشان داده شده است. در محل عیب هیچ ساختاری مشاهده نمی‌شود و تنها سیاه رنگ است ولی در اطراف آن، ساختار اسپینگلی^۹ پوشش به خوبی نمایان است که این خود تأییدی بر عدم تشکیل پوشش در ناحیه عیب است. دو نمونه با خصوصیات متفاوتی از نظر شکل و اندازه برای آزمایش و بررسی دقیق انتخاب شدند. نمونه اول از دسته ورقهایی بود که بر حسب معمول پس از پوشش‌دهی سطح آن

جدول ۲- تحلیل EDS از مناطق مختلف عیب و قسمت سالم پوشش (درصد وزنی)

Ca	Na	Si	S	Cr	Pb	Al	O	P	C	Fe	Zn	مناطق مورد آزمایش
۱/۱۸	۲/۶	۰/۰۵	۰/۴۵	۰/۲۴	۰/۷	۰/۰۳	-	-	۹۰/۵۸	۰/۵۵	۳/۶۱	نقطه A
-	-	-	-	۱/۲۲	۱/۶۶	۰/۹۴	۴/۶۸	-	-	۸۳/۱۷	۸/۳۳	نقطه B
-	-	-	-	۰/۴۳	۰/۱	-	-	۰/۴۲	-	۰/۵۴	۹۸/۵۱	زمینه سالم



شکل ۳- نمونه نورد پوسته‌ای شده دارای عیب فاقد پوشش.

جدول ۳- تحلیل EDS از مناطق مختلف نمونه (درصد وزنی)

Ca	Si	Ni	Cu	C	Fe	Zn	مناطق مورد آزمایش
۱/۵۵	۰/۱۶	۰/۹۶	۶/۵۵	۴/۵۷	۶۸/۹۱	۱۷/۲۹	منطقه عیب
-	-	-	-	-	۰/۴۴	۹۹/۵۶	پوشش سالم

نمونه را نشان می‌دهد. برای اطمینان از تمیزی سطح، نمونه در حمام آلتراسونیک^{۱۲} استن شستشو شد. با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل EDS عیب در جدول (۳)، میزان کربن در ناحیه عیب قابل ملاحظه است. این مقدار کربن بر خلاف نمونه قبلی مربوط به کثیفیهای جذب شده توسط پوشش نیست چون در عملیات نورد پوسته‌ای ورق تحت عملیات کروماتده قرار نمی‌گیرد و در نتیجه شستشوی سطح، آلودگیها را برطرف می‌کند.

رنگ (A) قابل ملاحظه است. این مقدار کربن را با توجه به درصد اندک آهن نمی‌توان به کربن موجود در زیرلایه نسبت داد و تنها می‌توان به وجود آلودگی گیرافتاده در این منطقه از عیب اشاره کرد. در ناحیه خاکستری رنگ (B) میزان آهن بالاست و کربن نیز در آن وجود ندارد. این مقدار آهن حکایت از رسیدن پوشش به زیرلایه فولادی دارد. نمونه دوم انتخاب شده برای آزمایش، تحت عملیات نورد پوسته‌ای قرار گرفته است و شکل (۳) تصویر SEM از این

با توجه به ظاهر عیب فاقد پوشش که به صورت لکه‌ها و نقاط پایتتر از سطح پوشش ایجاد می‌شود، احتمال جذب آلودگی‌ها و مواد خارجی در آن افزایش می‌یابد. به همین دلیل اگر قبل از عملیات کروماته، آلودگی‌ها به هر دلیلی در این نقاط باقی بمانند، پس از اعمال کروماته بر ورق این آلودگی‌ها در نقاط باقی می‌مانند و توسط آلتراسونیک نمی‌توان آن را حذف کرد. نمونه اول مورد آزمایش، از ورق‌های کروماته شده انتخاب شده است. در نمونه اول، نقطه A مقدار قابل توجهی کربن را نشان می‌دهد در صورتی که در قسمت B میزان آهن بالا بوده و مقدار اندک روی که احتمالاً از نواحی اطراف است، نشان از نقطه فاقد پوشش دارد حال آنکه در این قسمت هیچ‌گونه کربنی مشاهده نمی‌شود بنابراین نمی‌توان آلودگی را به ورق زیر لایه نسبت داد. در نقطه B وجود اکسیژن می‌تواند دلیل وجود اکسید آهن نیز در زیر لایه باشد که یکی از عوامل چسبندگی نامناسب پوشش به زیر لایه است [۳]. نمونه دوم تحت عملیات نورد پوسته‌ای (اسکین پاس) قرار گرفته است. ورق‌های نورد پوسته‌ای شده تحت عملیات کروماته قرار نمی‌گیرند [۵]، بنابراین با انجام عملیات تمیزکاری به روش آلتراسونیک روی آن می‌توان از پاک شدن آلودگی‌ها اطمینان حاصل کرد. از این رو کربن به دست آمده را می‌توان به کثیفی زیر لایه قبل از پوشش دهی نسبت داد. نکته دیگری که از نتایج به دست می‌آید، وجود عناصری مانند Mn، Si، P و Al است. توجه به این امر ضروری است که کروماته یک محلول تجاری بوده و تنها فهرستی از افزودنی‌های آن ذکر می‌شود. افزودنی‌هایی مانند Si، Mn، P، Ca و Na به منظور بهبود خواص محلول کروماته به آن اضافه می‌شود [۶]. با توجه به فرورفتگی در ناحیه عیب میزان کروماته جذب شده در منطقه عیب بالاتر از زمینه سالم پوشش است و تمرکز عناصر افزودنی در این مناطق نیز به همین دلیل است. عناصر آلیاژی مانند S، P و Si گاهی باعث ایجاد مشکلاتی در خصوص ترشوندگی ورق و ایجاد نقاط فاقد پوشش می‌شوند زیرا می‌توانند در سطح ورق فولادی به صورت اکسید رسوب کرده و در آن مناطق فعال شوند. ولی در این مورد همان‌طور که ذکر شد، این عناصر ناشی از کروماته‌اند و

ربطی به اکسیدهای ذکر شده ندارند. آلومینیوم به دست آمده در نتایج نمونه اول، احتمالاً ناشی از آلومینیوم موجود در لایه مانع یا ناشی از ذره بین فلزی^{۱۳} گیر افتاده در منطقه عیب است. با این حال در مورد منشأ آن نمی‌توان اظهار نظر قطعی کرد.

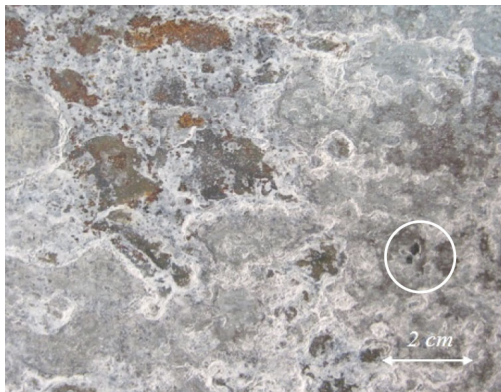
۳-۲- منشأ یابی

هر عاملی که بر ترشوندگی سطح ورق فولادی با مذاب روی لطمه وارد کند به عنوان عامل بروز نقاط فاقد پوشش مطرح است. رایجترین علت اختلال در ترشوندگی، تمیزکاری نامناسب یا اکسیداسیون برخی نقاط ورق، پیش از ورود آن به حمام است [۲، ۷ و ۸]. نتایج این پژوهش علت فاقد پوشش در نمونه‌های مورد بررسی را رسوب آلودگی‌های کربنی و همچنین وجود اکسید آهن بر سطح نشان داد. این آلودگی‌ها می‌تواند ناشی از سوختن مواد روغنی و چربی شسته نشده از سطح ورق در کوره آنیل باشد. اگرچه نمی‌توان توقع داشت که در خط پیوسته تولید ورق گالوانیزه، عملیات تمیزکاری به طور ایدئال و یکنواخت در کیفیت سطح نهایی انجام گیرد، لیکن با کنترل منظم سلامت برسهای شوینده می‌توان فراوانی عیب فاقد پوشش را کاهش داد. برسهای شوینده پس از مدتی در اثر تماس بی‌وقفه با ورق‌ها ساییده شده و کارایی خود را از دست می‌دهند و حتی ممکن است خود عامل کثیفی ورق شوند. وجود فرورفتگی‌ها یا حفرات در ورق ورودی مکان مناسبی برای جمع شدن روغن‌های نوردی و یا چربی و آلودگی است. احتمال آنکه این مکانها در مرحله تمیزکاری به خوبی تمیز نشده و چربیها باقی بمانند بیشتر است. بنابراین کنترل کیفیت ورق ورودی عامل مؤثری در جلوگیری از بروز این عیب محسوب می‌شود.

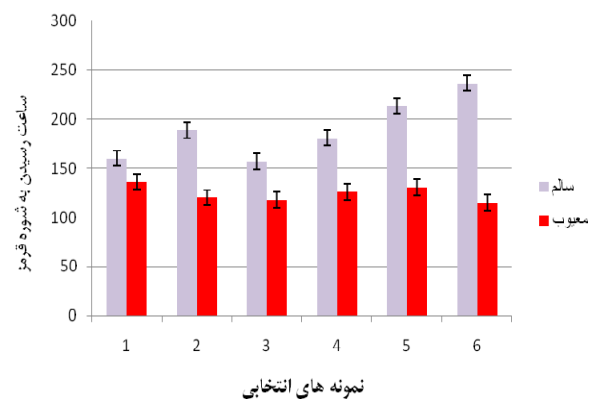
ترکیب شیمیایی و مقدار ماده قلیایی مصرفی که برای تمیزکاری ورق استفاده می‌شود نیز عاملی تعیین کننده در تمیزکنندگی ورق بشمار می‌آید. عامل دیگری که ممکن است باعث آلودگی ورق شود اتمسفر نامناسب کوره است بدین صورت که اگر دما پایتتر از حالت نرمال باشد و اتمسفری حاوی منواکسید کربن ایجاد شود می‌تواند آلودگی کربنی ایجاد کند.

جدول ۴- مشخصات نمونه‌های انتخابی با عیب فاقد پوشش برای آزمون پاشش

کد نمونه کلاف	ضخامت ورق (میلی متر)	جرم پوشش (گرم بر متر مربع)
۱	۰/۷	۲۰۰
۲	۰/۹	۲۰۴
۳	۰/۷	۲۰۰
۴	۰/۸	۱۸۰
۵	۰/۶	۲۰۰
۶	۰/۵	۱۸۰



شکل ۵- عدم تشکیل شوره قرمز در عیب فاقد پوشش در آزمون پاشش نمک.

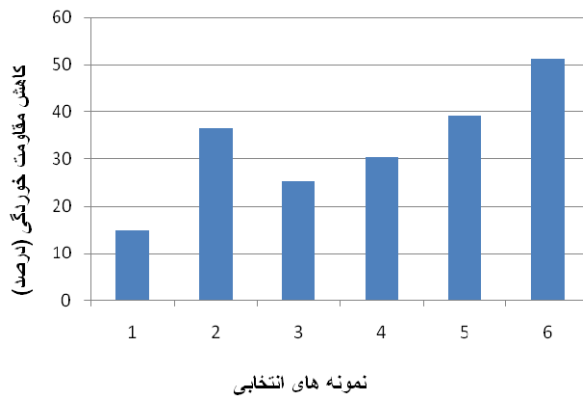


شکل ۴- اثر عیب فاقد پوشش بر زمان رسیدن به شوره قرمز در چند کلاف متفاوت.

۳-۳- رفتار خوردگی

ورق بیشتر مشهود است. به این دلیل اگر نمونه‌برداری از قسمت‌های مختلف ورق انجام شود، به علت مقدار کرومات‌ها متفاوت، مقدار ساعت رسیدن به شوره قرمز متفاوت خواهد بود. عامل دیگر چگونگی گسترده‌گی و پراکنده‌گی عیب در نقاط متفاوت نمونه مورد آزمایش است. هر چه مقدار و تمرکز عیب در ناحیه‌ای بیشتر باشد، میزان تأثیرگذاری آن بر خواص خوردگی ورق بیشتر است. هرچه تعداد عیب فاقد پوشش در ناحیه مورد آزمایش بیشتر باشد، اثر بیشتری بر نمونه خواهد داشت. از سوی دیگر هرچه این تعداد عیب به یکدیگر نزدیکتر باشند، می‌توانند سرعت خوردگی را افزایش دهند. عامل سوم، اندازه عیب است که می‌تواند بر میزان مقاومت خوردگی ورق گالوانیزه تأثیرگذار باشد. شکل (۵) یک نمونه دارای عیب فاقد پوشش بزرگ را نشان می‌دهد که تحت آزمون پاشش نمک قرار گرفته است در این نمونه نواحی سالم ورق به شوره قرمز رسیده

چون عیب فاقد پوشش با ضخامت زیرلایه ارتباط ندارد و رفتار خوردگی پوشش نیز تابع تغییر ضخامت نیست، یکسان بودن ضخامت در انتخاب نمونه‌ها از اهمیت خاصی برخوردار نبود. مشخصات نمونه‌های انتخابی در جدول (۴) مشاهده می‌شود. شکل (۴) نمودار مقایسه‌ای بین نمونه‌های سالم و معیوب را نشان می‌دهد. این نمودار حاکی از میزان تأثیر بالای عیب فاقد پوشش در مقاومت خوردگی ورق گالوانیزه است. در این آزمون می‌توان سه عامل را به عنوان عوامل تأثیرگذار در زمان بروز شوره قرمز در نظر گرفت. اولین عامل مقدار و نحوه اعمال کرومات‌ها روی سطح ورق است. مشخص شده که میزان تمرکز کرومات‌ها در کناره‌های ورق بیشتر از نقاط دیگر ورق است. این امر به‌خصوص در ورق‌های سنگین که با سرعت کمتری در خط حرکت می‌کنند با توجه به تغییر رنگ در کنار



شکل ۶- مقایسه درصد کاهش مقاومت خوردگی بین نمونه‌های مختلف.

جدول ۵- مشخصات نمونه‌های انتخابی با عیب فاقد پوشش برای آزمون کشش

کد نمونه کلاف	ضخامت ورق (میلی متر)	جرم پوشش (گرم بر مترمربع)
۱	۰/۷	۲۰۰
۲	۰/۹	۲۰۴
۳	۰/۶	۲۰۴

کمترین مقدار درصد تغییرات را دارد درست بر عکس این اتفاق افتاده است بدین صورت که چون مقدار این عیب در نمونه معیوب کم است، تفاوت بین نمونه معیوب و سالم اندک است. با توجه به فقدان پوشش در عیب فاقد پوشش، تنها مکانیزمی که در هنگام خوردگی می‌تواند وارد عمل شود، حفاظت گالوانیک^{۱۴} است بدین معنی که روی موجود در اطراف ناحیه عیب به جای فلز زیرلایه مصرف می‌شود. بنابراین هر چه تعداد عیب بیشتر و تمرکز آن در یک ناحیه بیشتر باشد، میزان مصرف روی بسیار سریعتر است و زودتر به شوره قرمز می‌رسد.

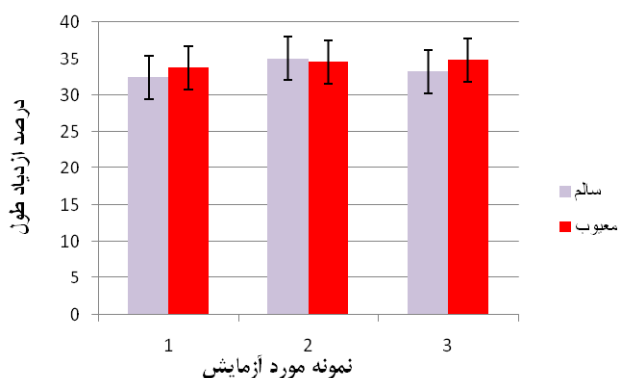
۳-۴- خواص کششی

مشخصات نمونه‌های انتخابی در جدول (۵) آورده شده است. برای بررسی خواص کششی، دو مشخصه استحکام کششی و درصد ازدیاد طول به عنوان معیارهای اصلی بررسی خواص کششی ورق ارائه شده است. نمودارهای شکل‌های (۷) و (۸) مقایسه‌ای بین استحکام کششی و درصد ازدیاد طول نمونه‌های سالم و معیوب را نشان می‌دهند. استحکام کششی

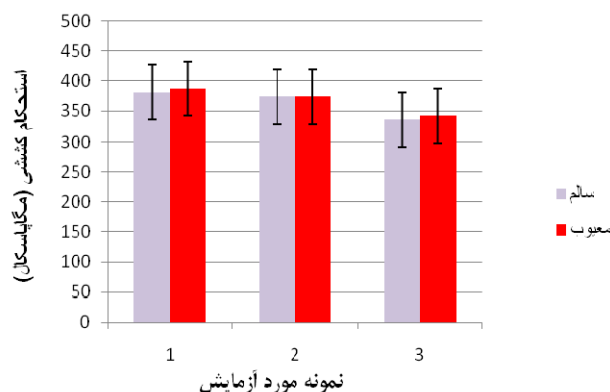
در صورتی که قسمت فاقد پوشش، سالم باقی مانده است. به نظر می‌رسد که چون ناحیه عیب به صورت فرورفته است مانند یک حوضچه عمل کرده و میزان کرومات‌ه بیشتر را در خود نگه می‌دارد. بنابراین در هنگام آزمون پاشش نمک مقاومت بیشتری را نسبت به نواحی اطراف خود در مقابل خوردگی نشان می‌دهد. با توجه به توضیح فوق، علت کاهش مقاومت به خوردگی نمونه‌های حاوی فاقد پوشش، تنها می‌تواند ناشی از تعداد عیب و تمرکز آن در ناحیه شوره زده باشد. شکل (۶) درصد کاهش مقاومت خوردگی نمونه معیوب را نسبت به سالم در نمونه‌های مورد آزمایش نشان می‌دهد. درصد تغییرات از طریق فرمول زیر محاسبه شده است.

$$((I_D - I_S) / I_S) \times 100 \quad (1)$$

در کلاف ۶ که درصد تغییرات آن بالاترین مقدار است عیب در حدود ۳۰٪ سطح یا بیشتر را اشغال کرده و مقدار تمرکز عیب در حد بالایی است. از این رو، نمونه دارای عیب با تفاوت قابل ملاحظه‌ای نسبت به نمونه سالم به شوره قرمز رسیده است و در نتیجه درصد تغییرات آن بسیار بالاست. در مورد نمونه (۱) که



شکل ۸- مقایسه درصد ازدیاد طول نمونه‌های سالم و معیوب برای عیب فاقد پوشش.



شکل ۷- مقایسه استحکام کششی نمونه‌های سالم و معیوب برای عیب فاقد پوشش.

۴- نتیجه‌گیری

- علت ایجاد عیب فاقد پوشش، آلودگی‌های کربنی موجود بر سطح زیرلایه است که باعث عدم چسبندگی پوشش به زیرلایه در این نقاط می‌شود. این آلودگی‌ها به علت تمیزکاری ناکافی در مرحله شستشو و یا به علت اتمسفر نامناسب کوره ایجاد می‌شوند.
- با توجه به نتایج آزمون پاشش نمک نمونه‌های حاوی نقاط فاقد پوشش بسیار سریعتر از نمونه‌های سالم به شوره قرمز رسیده‌اند، به این ترتیب می‌توان گفت وجود نقاط فاقد پوشش به‌طور کلی مقاومت به خوردگی ورق گالوانیزه را کاهش می‌دهد.
- عیب فاقد پوشش در استحکام کششی و درصد ازدیاد طول ورق گالوانیزه تأثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد.

در ۳ نمونه مورد آزمایش تغییرات اندکی را نشان می‌دهد به گونه‌ای که حتی در نمونه‌های دارای عیب اول و سوم استحکام کششی اندکی (حدود ۷ تا ۱۰ مگاپاسکال) افزایش یافته است که می‌توان خطای نمونه‌سازی را در این امر دخیل دانست. در خصوص ازدیاد طول، سه نمونه تغییراتی بین ۰/۸ تا ۱/۵ درصد را نشان می‌دهد بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده در ضخامت‌های مختلف می‌توان گفت که این عیب تأثیر چندانی بر خواص کششی ورق تولیدی ندارد. البته با توجه به آنکه نقاط فاقد پوشش دارای نقطه اثری بر زیرلایه نیست قابل پیش‌بینی بود که خواص کششی تحت تأثیر قرار نگیرد.

واژه نامه

- | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1. bare spot | 6. red rust | 11. skin pass rolling |
| 2. salt spray test | 7. elongation | 12. ultrasonic bath |
| 3. tensile test | 8. ultimate tensile strength | 13. intermetallic particle |
| 4. scanning electron microscopy | 9. spangled structure | 14. galvanic protection |
| 5. energy dispersive spectroscopy | 10. cromating | |

مراجع

- Marder, A.R., "The Metallurgy of Zinc-Coated Steel," *Progress in Materials Science*, Vol. 45, pp. 191-271, 2000.
- Dunbar, F.C., "Defects of the '80's – A Closer Look at the Critical Requirements of Today's Hot-Dipped Galvanized," *Proc. of the Galvanizers Association*

- Meeting, Canton, Ohio, USA, September 1988.
3. Srikanth, S., Sharma, C.B., Bhattacharyya, A., and Ray, A., "Metallurgical Investigations into the Genesis of Bare Spots, Exfoliation, and Matte Coating Appearance in Hot-Dip Galvanized Steel Sheets," *Journal of Failure Analysis and Prevention* Vol. 3, pp. 73-81, 2005.
 4. Zervoudis, j., and Anderson, G., "A Review of Bath Alloy Additives and their Impact on the Quality of the Galvanized Coating," *6th Asia Pacific General Galvanizing Conference, Cairns, Australia, May 29-June 2, 2005.*
 5. Puomi, P., Fagerholm, H.M., Rosenholm, J.B. and Sipila, R., "Effect of Skin Pass Rolling on The Primer Adhesion and Corrosion Resistance of Hot-Dip Galvanized (HDG) Steel," *Journal of Adhesion Science and Technology*, Vol. 14, No. 4, pp. 583-600, 2000.
 6. Duarte, R.G. Bastos, A.C. Castela, A.S. and Ferreira; M.G.S. "A Comparative Study between Cr (VI)-Containing and Cr-Free Films for Coil Coating Systems," *Progress in Organic Coatings* 52, 2005, pp. 320-327.
 7. هاشمی، م.ع.، "آماده سازی سطح قطعات جهت انجام گالوانیزه گرم،" *پوششهای سطحی*، شماره ۲۹، ص ۴۸-۵۰، ۱۳۸۸.
 8. Tang, N.Y., and Goodwin, F.E., "A Study of Defects in Galvanized Coatings," *Proc. Of Fifth Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet, Galvatech 2001, Dusseldorf, Germany*, pp. 49-55, 2001.