

معرفی فرایند تولید ورق‌های گالوانیزه پیش‌رنگ شده و مقایسه رفتار شکل‌پذیری ورق‌های بدون پوشش با ورق‌های گالوانیزه و گالوانیزه پیش‌رنگ شده (ورق‌های رنگی)

مجید رضاپور^۱، محمد صفائی‌راد^۲، دکتر علی شفیع^۳

۱ و ۲- کارشناسان ارشد خطوط تولید ورق رنگی و گالوانیزه - شرکت فولاد مبارکه اصفهان

۳- استادیار دانشکده مهندسی مواد - دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

ورق رنگی بدلیل ظاهر زیبا، مقاومت به خوردگی بالا و مصرف صنعتی گسترده در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. براساس آمار (ACCA(American Coil Coating Association)) تنها در سال ۲۰۰۲ میلادی بالغ بر ۷ میلیون تن از این نوع ورق در دنیا تولید شده است و در آینده نیز پیش‌بینی می‌گردد تولید آن بیش از مقدار فوق گردد. مهمترین ویژگی‌های ورق رنگی عبارتند از: صرفه اقتصادی، بکارگیری آسان برای مصرف‌کننده، زیبایی و جنبه تزئینی، مقاوم در شرایط محیطی و عوامل خوردنده و بهبود مسائل زیست محیطی (ناشی از رفع آلودگی پساب‌های شیمیایی و حلال‌های زیان‌آور در کارخانه‌های مصرف‌کننده به دلیل عدم نیاز به واحد رنگ‌آمیزی). این ویژگی‌ها باعث گردیده ورق‌های رنگی در صنایع مختلفی همانند تولید لوازم خانگی، خودروسازی، حمل و نقل، ساختمان‌سازی، تزئینی، قوطی‌سازی و کابینت‌سازی مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق سعی شده است فرایند تولید ورق رنگی به اختصار شرح داده شود و ضمن معرفی جدیدترین روش‌های این فرایند، روش غلتکی به صورت کامل مورد بحث و بررسی قرار گیرد. همچنین در ادامه این تحقیق به بررسی و مقایسه شکل‌پذیری ورق‌های گالوانیزه و گالوانیزه پیش‌رنگ شده خواهیم پرداخت. شکل‌پذیری ورق‌های فوق به کمک آزمون کشش تک‌محوری و رسم منحنی‌های حد شکل‌پذیری مورد ارزیابی قرار گرفت. برای هر گروه از نمونه‌ها علاوه بر محاسبه مقادیر درصد ازدیاد طول کل، توان کارسختی، ناهمسانگردی، استحکام تسلیم و استحکام کششی با استفاده از آزمون کشش تک‌محوری، نمودارهای حد شکل‌پذیری نیز بدست آمد. نتایج بدست آمده در این پژوهش حاکی از آن است که اعمال پوشش گالوانیزه و رنگی باعث بهبود خاصیت شکل‌پذیری ورق در شرایط درون قالب خواهد شد و همچون یک روانکار عمل می‌کند. علاوه بر این پوشش تاثیر چندانی بر استحکام تسلیم و درصد ازدیاد طول ورق نخواهد داشت.

در زمانهای گذشته جهت ممانعت از زنگ زدگی سطح فلزات و محافظت ورق فلزی حین تغییر فرم، سطح ورق به روغن آغشته می گردید ولی امروزه به دلیل مشکلات ناشی از استفاده از روغن نظیر مشکلات اقتصادی، مسائل زیست محیطی و همچنین عدم ماندگاری خواص مورد نظر برای مدت زمان طولانی این روش اهمیت خود را از دست داده است و تکنولوژی های جدیدتری همچون تولید ورق های پیش رنگ شده جایگزین روش فوق گردیده است. ورق رنگی یا ورق پیش رنگ شده محصول عملیات رنگ آمیزی ورق در یک فرایند مداوم می باشد. تولید ورق رنگی فرایندی مداوم و تمام اتوماتیک جهت پوشش دادن سطح کلاف های فولادی و آلومینیومی است که در آن سطح ورق پس از بررسی های دیداری تحت عملیات آماده سازی سطح واقع شده و سپس تحت عملیات رنگ کاری قرار می گیرد. از نظر فنی کلاف پوشانی دارای برتری هایی نسبت به روش های سنتی است که برخی از آنها عبارتند از:

- بهینه کردن رنگ آمیزی و کاهش ضایعات رنگ در حین اعمال رنگ.
- حذف مشکلات زیست محیطی به دلیل بهینه بودن عملیات آماده سازی سطح و یا اتاق رنگ.
- مقرون به صرفه تر بودن استفاده از ورق های رنگی. گرچه قیمت ورق های رنگی گران تر از انواع خام می باشد ولی با حذف واحد رنگ آمیزی از کارخانه های مصرف کننده ورق و بدنبال آن حذف واحدهای عملیات تکمیلی نظیر واحد آماده سازی سطح، کوره پخت و کاهش مشکلات زیست محیطی، استفاده از این محصول می تواند مقرون به صرفه باشد.

[۱]

بدلیل آماده سازی سطح بصورت بهینه و همچنین انجام عملیات پخت رنگ در فرایند کلاف پوشانی، ورق های پیش رنگ شده مقاومت به خوردگی بالایی دارند و در مقابل عوامل فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مقاومت خوبی از خود نشان می دهند. در چند دهه اخیر روش های صنعتی متنوعی جهت رنگ آمیزی کلاف های فلزی ابداع شده است که در ادامه بذکر برخی از آنها می پردازیم:

- ۱- روش برس یا غلتک دستی
- ۲- روش اسپری
- ۳- روش اکستروژن
- ۴- روش غلتکی
- ۵- روش پودری
- ۶- روش لامینیتینگ

از بین روش های فوق، سه روش آخر از جمله روش های مطرح در فرایند کلاف پوشانی می باشند.

[۲]

مزایای ورق رنگی

مزایای ورق رنگی ، به طور عمده عبارتند از :

- محافظت از ورق هنگام مصرف و قبل از آن
- کاربری آسان برای مصرف کننده
- صرفه اقتصادی و مسائل زیست محیطی
- زیبایی و جنبه تزئینی ورق
- رفع آلودگی های ناشی از پساب های شیمیایی و حلال های زیان آور در کارخانه های مصرف کننده ورق به دلیل عدم نیاز به واحد رنگ آمیزی (اتاق رنگ)

انواع ورق های قابل استفاده در فرایند کلاف پوشانی

۱- ورق های گالوانیزه و گالوانیزه آلیاژی

۲- ورق های نورد سرد آنیل شده

۳- ورق های آلومینیومی

از میان موارد ذکر شده، مورد اول بیشترین مصرف را در صنعت کلاف پوشانی داراست که بنا بر اهمیت آن به ذکر شرایط لازم جهت رنگ آمیزی این نوع ورق ها پرداخته می شود.

شرایط مورد نیاز برای ورق گالوانیزه جهت رنگ آمیزی

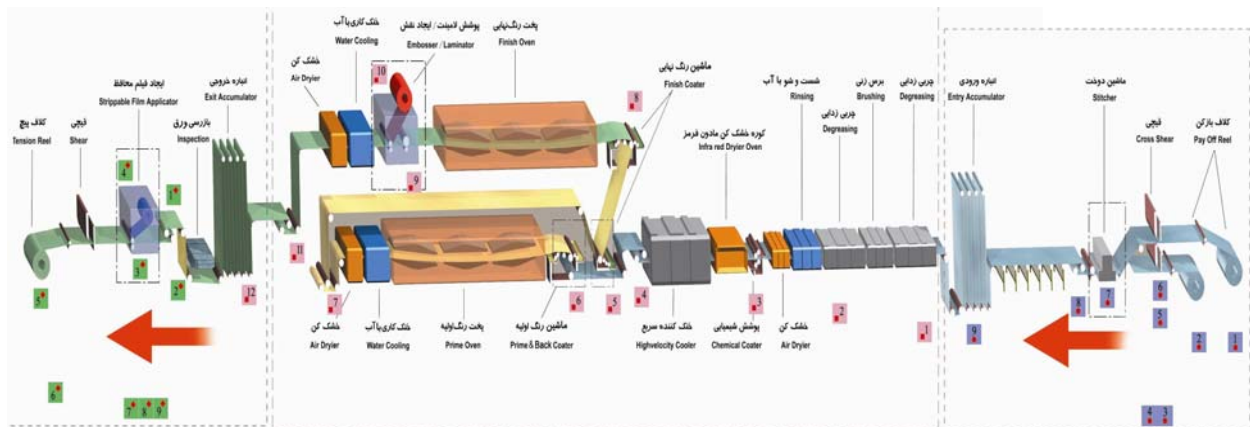
- ۱- انجام عملیات نورد پوسته ای برای ایجاد ساختار بدون اسپینگل یا اسپینگل های ریز.
- ۲- عدم کروماته نمودن و روغن اندود نمودن سطح به جهت ایجاد خواص چسبندگی بهینه.
- ۳- ایجاد زبری و تختی مناسب.

تفاوت ورق گالوانیزه با ورق نورد سرد آنیل شده در رنگ پذیری

- آماده سازی سطح ورق گالوانیزه آسان تر از آماده سازی سطح ورق فولاد ساده کربنی می باشد.
- طول عمر ورق گالوانیزه رنگ شده به مراتب بیشتر از ورق های فولاد ساده کربنی رنگ شده می باشد.
- عیب خزش رنگ که مشکل عمده شکست فیلم رنگ بر روی فولاد می باشد برای پوشش های گالوانیزه کمتر اتفاق می افتد زیرا بر خلاف محصولات خوردگی فولاد ساده کربنی $(Fe(OH)_2)$ که بسیار حجیم هستند ، محصولات خوردگی ورق گالوانیزه تفاوت زیادی از نظر حجمی با روی خالص ندارند ، لذا تغییر حجم چندانی صورت نمی پذیرد.
- در صورت ایجاد خلل و فرج و گسستگی در پوشش آلی ، سطح ورق گالوانیزه بواسطه خواص فداشوندگی از خوردگی فلز پایه (آهن) ممانعت بعمل می آورد ولی ورق فولاد ساده کربنی اینگونه عمل نکرده و به شدت خورده می شود.

معرفی فرایند تولید ورق رنگی به روش غلتکی
روش غلتکی به ترتیب شامل مراحل زیر می‌باشد:

- ۱- آماده‌سازی سطح
 - واحد چربی‌زدایی
 - واحد برس‌زنی
 - واحد آب‌شویی
 - واحد خشک‌کن
 - واحد پوشش شیمیایی
 - واحد خشک‌کن نهایی
 - ۲- اعمال رنگ اولیه یا زیر رنگ
 - ۳- پخت رنگ اولیه
 - ۴- اعمال رنگ نهایی یا رویه
 - ۵- پخت رنگ نهایی
 - ۶- اعمال فیلم محافظ بر سطح ورق رنگ شده
- شکل ۱ نمایی کلی از خط کلاف‌پوشانی را نشان می‌دهد. [۳]

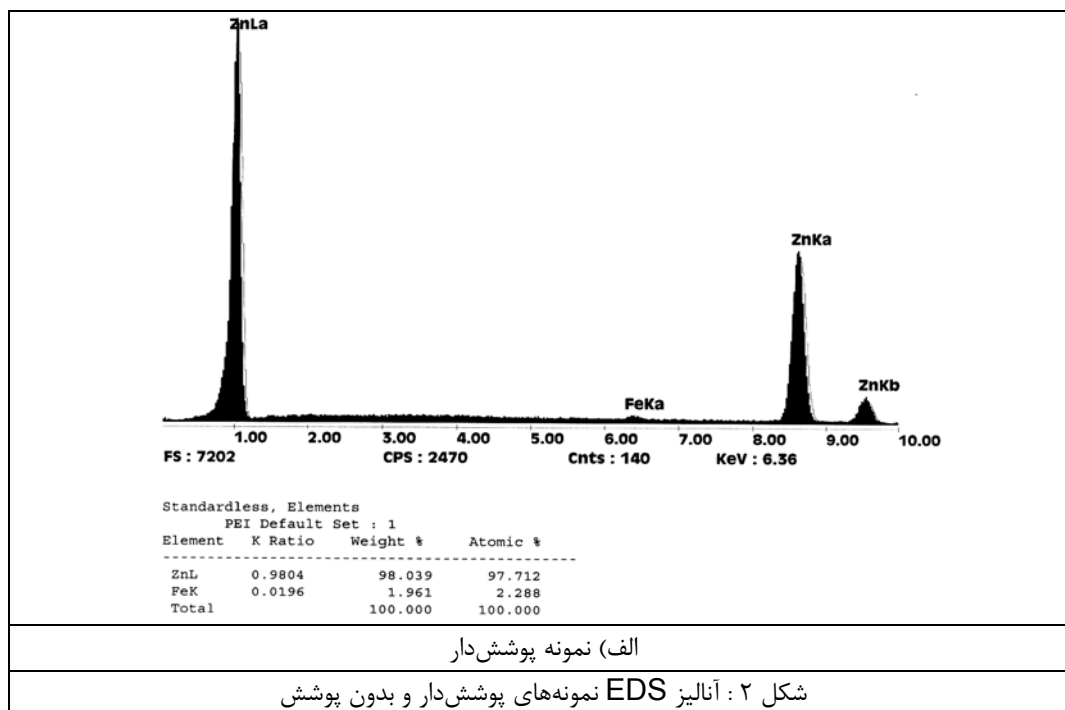


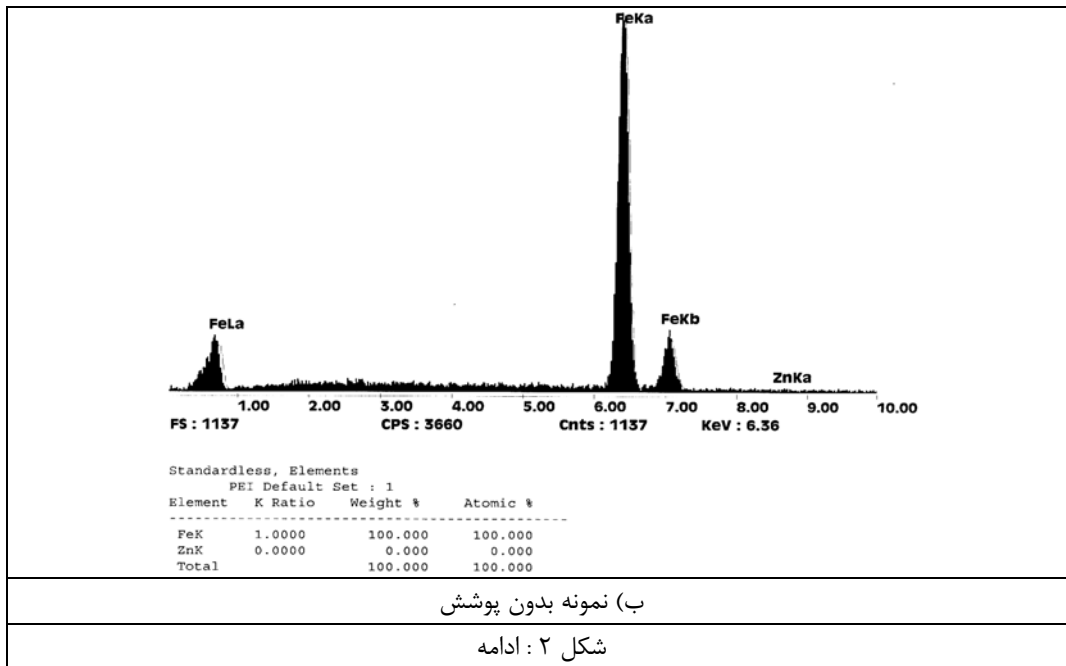
سند ۱ - نمایی کلی از خط تولید ورق رنگی

مواد و روش انجام آزمایشات:

به منظور ارزیابی شکل‌پذیری ورق‌های گالوانیزه و گالوانیزه رنگی، نمونه‌هایی با مشخصات ارایه شده در جدول ۱ انتخاب گردید. لازم به ذکر است که ضخامت ورق گالوانیزه با در نظر گرفتن ضخامت زیرلایه و با توجه به سفارش مشتری انتخاب می‌گردد و در این بررسی نمونه‌های فولاد گالوانیزه با زیرلایه ۰/۵ میلیمتری انتخاب گردید. همچنین پارامترهای خط رنگی نیز برای محصولات گالوانیزه مورد استفاده در این بخش ثابت می‌باشد.

یکی از روش‌های ارزیابی شکل‌پذیری محصولات پوشش‌دار، ارزیابی تاثیر پوشش بر شکل‌پذیری بصورت جداگانه می‌باشد. در این مدل، شکل‌پذیری زیرلایه که با خواص مکانیکی آن تعیین می‌گردد، بعنوان شکل‌پذیری اصلی محصول پوشش‌دار در نظر گرفته می‌شود. خواص مکانیکی زیر لایه فولادی همانند فولادهای بدون پوشش بیانگر قابلیت ورق در برابر تحمل کرنش در حالت‌های مختلف شکل‌دهی می‌باشد [4] به همین منظور و برای مقایسه تاثیر فرایند گالوانیزه بر شکل‌پذیری محصول خط گالوانیزه، پوشش اعمال شده بر تعدادی از نمونه‌ها (با مشخصات ارایه شده در جدول ۱) به وسیله اسیدشویی حذف گردید. در شکل ۲ (الف و ب) به ترتیب آنالیز EDS بدست آمده از سطح برای نمونه با پوشش و بدون پوشش ارایه شده است. همانگونه که از شکل ۲-الف مشاهده می‌گردد، ترکیب موجود در سطح ورق گالوانیزه، روی تقریباً خالص است که بعد از مرحله اسیدشویی کاملاً از سطح حذف گردیده است (شکل ۲-ب).





قبل از ورود به بحث، ذکر این نکته ضروری است که در فولادهای کم کربن معمولاً از آلومینیوم به منظور اکسیژن زدایی و تولید فولاد آرام استفاده می شود. ورود نیتروژن به مذاب نیز از راههای مختلف صورت می گیرد و با آلومینیوم موجود، تشکیل رسوبات AlN می دهد. رسوب AlN روی مرزهای کارسرد شده ایجاد و تشکیل یک مانع مکانیکی برای مهاجرت مرزدانه ها و همچنین رسوب روی مرزهای در حال تبلور مجدد و رشد و به تاخیر انداختن بازیابی و تبلور مجدد، می تواند بر روی بافت ورق تاثیرگذار باشد. با افزایش درصد نیتروژن و کاهش نسبت Al/N، استحکام تسلیم و استحکام کششی کاهش می یابد. همچنین با افزایش نیتروژن، مقدار ناهمسانگردی قائم (r_m) کاهش یافته و شکل پذیری افت پیدا می کند [5]. به همین منظور سعی شد که نسبت Al/N در نمونه گیری ها ثابت در نظر گرفته شود.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی و ضخامت ورق گالوانیزه، ورق رنگی و فولاد بدون پوشش

ترکیب شیمیایی زیر لایه (درصد وزنی)													
C	Cr	Ti	S	Mo	P	V	Si	Mn	Nb	Ca	Al	N ppm	Al/N
۰/۰۴۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۴۷	۳۹	۱۲
ترکیب شیمیایی حمام مذاب (درصد وزنی)				ضخامت ورق زیر لایه (mm)			جرم پوشش (gr/m ²)		ضخامت رنگ (μ)				
Pb		Al		Fe									
۰/۰۵۱		۰/۱۹۷		۰/۰۲		۰/۵		۲۴۱		۱۵			

آزمون‌های شبیه سازی^۱

غالباً ارزیابی شکل‌پذیری سرد ورق‌ها بر اساس نتایج آزمایش کشش و آزمایش‌های شبیه‌سازی انجام می‌گیرد. از آزمایش کشش می‌توان دو ویژگی مهم ورق را برای فرایندهای شکل‌دهی به دست آورد. این دو ویژگی ضریب کارسختی (n) و ناهمسانگردی (r) می‌باشند. n و r به ترتیب معیاری برای مقاومت ورق در برابر گلوبی شدن و نازک شدن^۲ در طول تغییر شکل پلاستیک می‌باشند. از آنجا که این مشخصات برای سنجیدن اتساع‌پذیری و کشش‌پذیری در فرایندهای پیچیده شکل‌دهی استفاده می‌شوند، بنابراین ورق‌ها باید مقادیر n و r بالایی داشته باشند تا شکل‌دهی با موفقیت انجام گیرد. در صنعت فولاد، ورق‌های فولادی از کیفیت تجاری^۳ (CQ)، تا کیفیت کشش عمیق فوق‌العاده^۴ (EDDQ) بر اساس ویژگی شکل‌پذیری دسته‌بندی می‌شوند. برای فولادهای EDDQ، مقادیر n و r به ترتیب در محدوده ۰/۲۲-۰/۲۴ و ۱/۶-۲ قرار دارد. به منظور پرکردن فاصله بین ویژگی بدست آمده از آزمون کشش و رفتار واقعی شکل‌دهی، آزمایش‌های مختلف شبیه‌سازی ایجاد شده است.

نمودارهای حد شکل‌دهی (FLD)

اولین ارزیابی‌ها در رابطه با شکل‌پذیری ورق‌های فلزی توسط نتایج آزمایش‌های کشش و آزمایش‌های فنجان‌ی امکان‌پذیر شد. اولین بار استفاده از ایده FLD برای پیش‌بینی شکست در فرایندهای شکل‌دهی ورق توسط کیلر^۴ و گودوین^۵ برای ورق‌های فولادی کم کربن ارایه شد. هدف آنها ارایه کرنش‌های حدی سطحی بحرانی مربوط به شکست بود. کرنش‌های حدی، مرز بین نواحی سالم و معیوب است و به همین علت ناحیه بالای منحنی کرنش حد شکل‌دهی، ناحیه شکست می‌باشد.

منحنی حد شکل‌دهی، نموداری است که معرف کرنش‌های حداکثر و حداقل سطحی است که یک ورق بدون آنکه دچار گلوبی موضعی شود، می‌تواند تحمل کند. این نمودار به گونه‌ای رسم می‌شود که محور عمودی آن کرنش مهندسی حداکثر و محور افقی آن کرنش مهندسی حداقل می‌باشد.

نتایج آزمایش کشش تک‌محوری

در جدول ۲ خواص مکانیکی نمونه‌های بدون پوشش (WZC)، با پوشش گالوانیزه (ZC) و با پوشش رنگ (PZC) ارایه شده است. همچنین در نمودارهای شکل ۳ (الف الی ه) استحکام تسلیم، درصد ازدیاد طول، توان کارسختی (n)، ناهمسانگردی قائم (r_m) و ناهمسانگردی صفحه‌ای (Δr) برای ورق با پوشش و بدون پوشش مقایسه شده است.

1- Simulative Tests

2- Thinning

3- Commercial Quality

4- Keeler

5- Goodwin

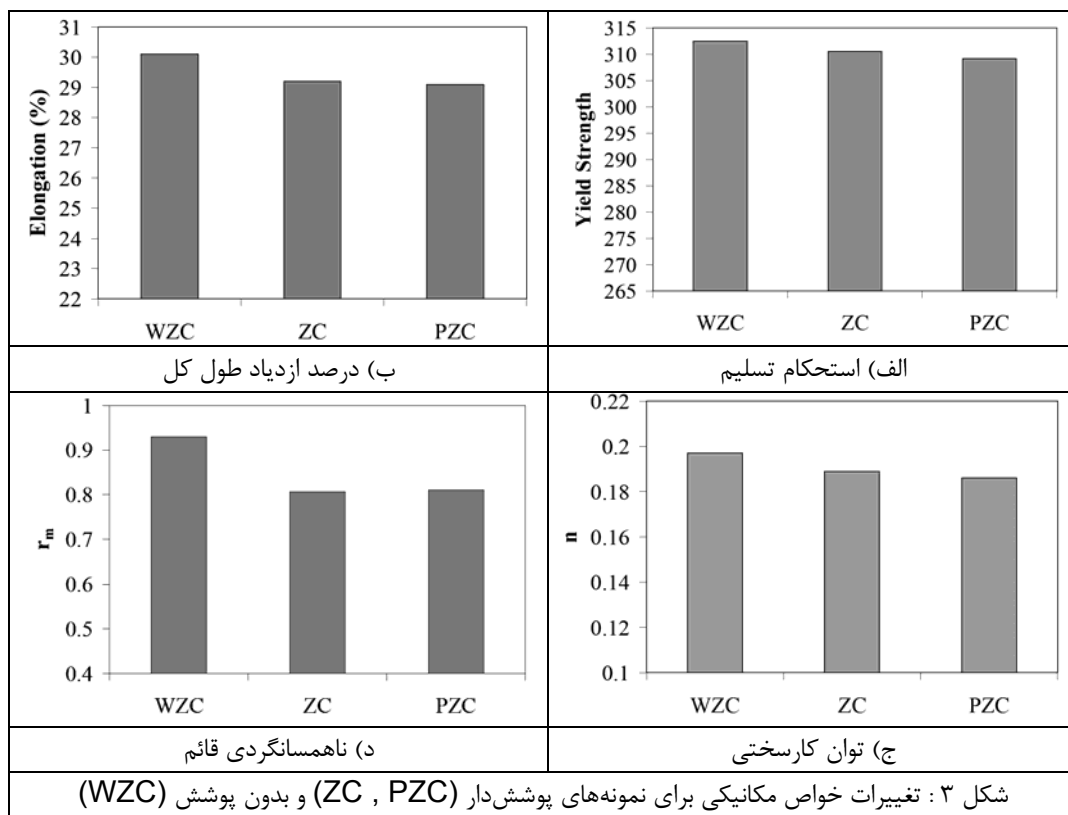
4- Extra Deep Drawing Quality

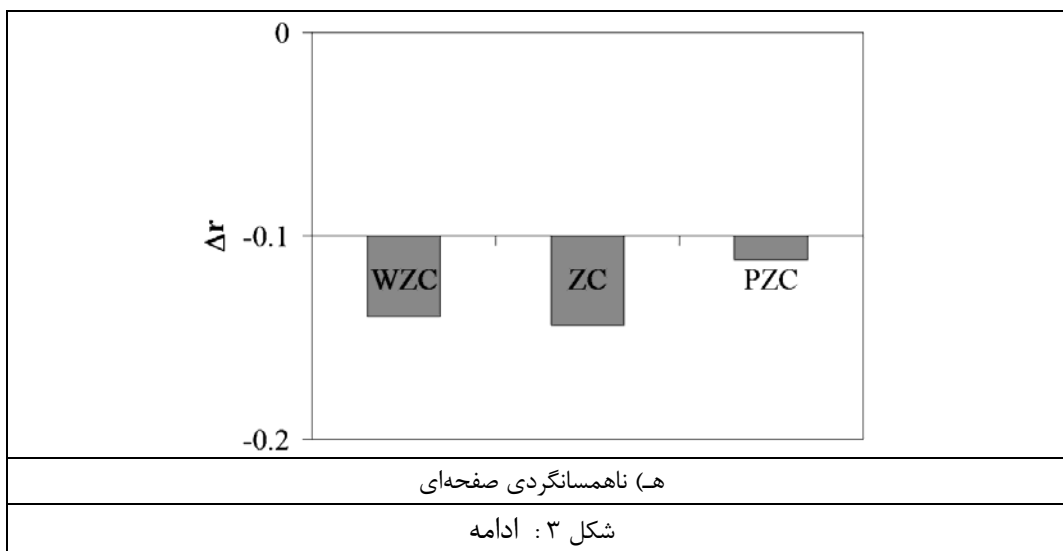
5- Wrinkling

6- Spring Back

جدول ۲: خواص مکانیکی نمونه‌های فولادی در شرایط پوشش‌دار و بدون پوشش

شرایط نمونه	استحکام تسلیم N/mm ²	استحکام کشش N/mm ²	درصد ازدیاد طول کل	n	r _m	Δr
ورق گالوانیزه (ZC)	۳۶۸/۷	۳۱۰/۵	۲۹/۲	۰/۱۸۹	۰/۸۰۶	-۰/۱۱۴
ورق گالوانیزه رنگی (PZC)	۳۶۹/۱	۳۰۹/۲	۲۹/۱	۰/۱۸۶	۰/۸۱۰	-۰/۱۱۲
ورق بدون پوشش (WZC)	۳۷۲/۱	۳۱۲/۵	۳۰/۱	۰/۱۹۷	۰/۹۳	-۰/۱۴





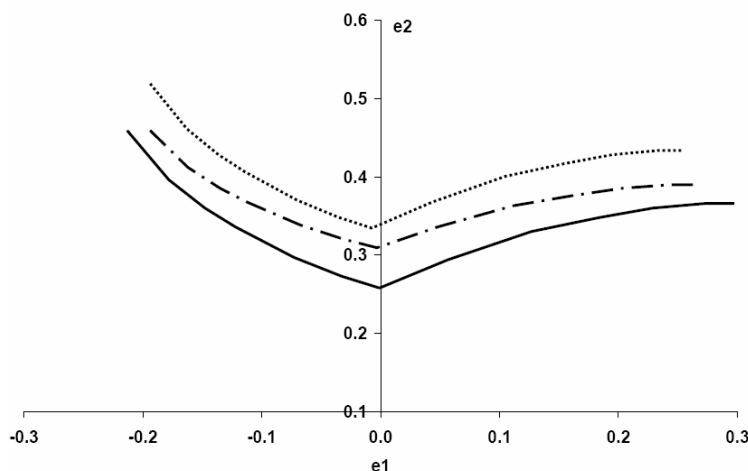
بطور کلی از شکل ۳ مشاهده می‌گردد که اعمال پوشش گالوانیزه و رنگی تاثیر چندانی بر استحکام نداشته است و میزان افت استحکام تسلیم ناچیز است. مقادیر استحکام تسلیم (شکل ۳-۳ الف)، درصد ازدیاد طول (شکل ۳-ب) و n (شکل ۳-ج) برای نمونه‌های پوشش‌دار تقریباً برابر حالت بدون پوشش است. مقادیر r_m (شکل ۳-د) و Δr (شکل ۳-ه) نیز تغییرات اندکی را نشان می‌دهند و با اعمال پوشش تا حدودی کاهش یافته‌اند. بر اساس یافته‌های محققین، پوشش گالوانیزه مجموعه ناهمگنی از ترکیبات بین‌فلزی و آلیاژی است که خواص کاملاً متفاوتی دارند. همچنین در طول فرایند تولید، میکروتورکها بصورت عرضی و یا محدود در پوشش تولید می‌شوند. علاوه بر آن وجود فاز بین‌فلزی ترد در پوشش باعث افت خواص مکانیکی پوشش می‌گردد [6] بنابراین می‌توان گفت که افت نسبی خواص مکانیکی با اعمال پوشش بر روی زیرلایه فولادی دور از انتظار نیست. اما میزان این تغییرات به اندازه‌ای نمی‌باشد که باعث کاهش شکل‌پذیری مطلق ورق (در شرایط خارج از قالب) گردد.

نمودار حد شکل‌پذیری ورق گالوانیزه، ورق رنگی و ورق بدون پوشش در شکل ۴ نمودارهای حد شکل‌پذیری به دست آمده از نمونه‌های ورق گالوانیزه، ورق گالوانیزه رنگی و ورق بدون پوشش ارائه شده است. همچنین در جدول ۳ نیز مقدار FLD_0 و عمق فنجان اریکسن (ED) برای سه نمونه آورده شده است.

جدول ۳: مقادیر FLD_0 و ED برای ورق گالوانیزه و ورق بدون پوشش

شرایط نمونه	مقدار FLD_0	ED (mm)
ورق گالوانیزه	۰/۳۲	۲۲/۳۹
ورق رنگی	۰/۳۴	۲۴/۲۷
ورق بدون پوشش	۰/۲۶	۲۰/۱۵

پوشش رنگی پوشش گالوانیزه — . — . بدون پوشش گالوانیزه —————



شکل ۴: مقایسه نمودار حد شکل‌پذیری برای ورق فولادی با پوشش گالوانیزه و بدون پوشش

با توجه به شکل ۴ و جدول ۳ می‌توان گفت که بطور کلی فرایند گالوانیزه کردن و اعمال رنگ بر روی ورق فولادی در شرایط متداول باعث افزایش سطح نمودار حد شکل‌پذیری و در نتیجه بهبود رفتار شکل‌پذیری ورق بعد از گالوانیزه کردن و رنگ‌آمیزی شده است. بعبارت دیگر رفتار شکل‌پذیری ورق پوشش‌دار درون قالب بهتر از ورق بدون پوشش می‌باشد.

استفاده از ورق‌های فولادی پوشش‌دار در صنعت خودروسازی سریعاً رو به افزایش است. علاوه بر استفاده از ورق‌های گالوانیزه در بدنه خودرو، استفاده از انواع مختلف محصولات پوشش‌دار مانند ورق‌های نورد سرد شده رنگی و همچنین ورق‌های پوشش‌دار چندلایه نیز گسترش یافته است. در مقایسه با ورق‌های فولادی بدون پوشش، در بیشتر فولادهای پوشش‌دار، ویژگی‌های مختلفی وجود دارد که بر قابلیت شکل‌پذیری موثر می‌باشند (مانند جرم پوشش، ضخامت ورق، اندازه اسپینگل، بافت و ...). تلاش‌های زیادی برای ارزیابی شکل‌پذیری محصولات پوشش‌دار بوسیله خواص مکانیکی متداول آنها صورت گرفته است. علاوه بر پوشش، تغییر در خواص زیرلایه نیز بر کارایی پرس تاثیرگذار است. به همین علت متغیرهای زیادی در قابلیت پرسکاری فولادهای گالوانیزه و گالوانیزه رنگی وجود دارد.

نتایج بدست آمده از مقایسه رفتار شکل‌پذیری ورق در شرایط پوشش‌دار و بدون پوشش نشان می‌دهد که در حقیقت پوشش بر مقدار سیلان فلز در سطوح قالب تاثیرگذار است، بدین معنی که تاثیر پوشش موازی با تاثیر روانکار است. می‌توان پوشش موجود در سطح فولاد، روانکار موجود در سطح فصل مشترک ابزار/قطعه و همچنین سطح ابزار را به عنوان یک سیستم در نظر گرفت که تاثیر متقابل آنها، کنترل کننده سیلان فلز در سطوح مختلف ابزار است. بنابراین خاصیت روانکاری پوشش گالوانیزه و پوشش رنگ در مقایسه با فولاد بدون پوشش باعث افزایش سطح نمودار حد شکل‌دهی شده است [7]. در واقع تغییر در خواص مکانیکی ورق پوشش‌دار خصوصاً مقدار n و r نسبت به ورق بدون پوشش در آزمایش کشش تک‌محوری می‌تواند به علت فازهای میانی ترد ایجاد

شده و همچنین ضخامت بالای لایه پوشش بستگی داشته باشد [8]. اما وجود لایه پوشش گالوانیزه رنگی با ضخامت مناسب در شرایط درون قالب می‌تواند به دلیل خاصیت روانکاری پوشش، باعث بهبود شکل‌پذیری گردد. همچنین مشاهده می‌گردد رفتار شکل‌پذیری ورق رنگی نسبت به ورق گالوانیزه نیز بهبود یافته است که این نتیجه موید رفتار روانکاری پوشش‌ها در شکل‌پذیری ورق می‌باشد

ضخامت لایه آلیاژی به سیکل دما- زمان در فرایند گالوانیزه بستگی دارد، اما درصد فلزات موجود در حمام، بویژه آلومینیوم نیز بر آن تاثیر گذار می‌باشند. معمولاً کاهش در قابلیت شکل‌پذیری نسبت مستقیمی با ضخامت لایه آلیاژی آهن- روی دارد. در فرایندهای پیشرفته گالوانیزه از سیکل‌های حرارتی ویژه و همچنین مواد پوشش با مقدار سرب و آلومینیوم کمتر برای حداقل کردن تشکیل لایه آلیاژی آهن- روی استفاده می‌گردد [9]. همچنین در فرایند کشش عمیق، وجود یک لایه روی خالص در سطح خارجی قطعه می‌تواند اثرات سودمندی داشته باشد و بر خلاف لایه آلیاژی، باعث اعمال کاهش در سطح مقطع بزرگتر و عمق بیشتر فرورفتگی در مقایسه با فولاد بدون پوشش شود. لایه نرم روی فلزی از کنده شدن پوشش در طول فرایند شکل‌دهی بصورت ممانعت از تماس مستقیم بین زیرلایه فولادی و پانچ، جلوگیری می‌کند.

نتیجه‌گیری

- ۱- استفاده از ورق‌های رنگی باعث حذف واحد رنگ‌آمیزی در کارخانه‌های مصرف‌کننده ورق و رفع آلودگی‌های ناشی از پساب‌های شیمیایی و حلال‌های زیان‌آور گردیده و از طرفی بهینه کردن عملیات رنگ‌آمیزی و مصرف رنگ را بدنبال دارد.
- ۲- نتایج بدست آمده حاکی از آن است که اعمال پوشش گالوانیزه و رنگی تاثیر چندانی بر استحکام تسلیم و درصد ازدیاد طول محصولات تولیدی ندارد.
- ۳- بین سطح نمودار حد شکل‌دهی و ناهمسانگردی قائم ارتباط مشخصی وجود ندارد، اما می‌توان از مقدار $n \times 2$ برای بررسی تاثیر 2 استفاده کرد؛ با افزایش مقدار $n \times 2$ شکل‌پذیری بهبود می‌یابد.
- ۴- با کنترل پارامترهای مختلف و بهینه کردن آنها می‌توان از تاثیر مثبت وجود پوشش گالوانیزه و رنگ برای بهبود خاصیت شکل‌پذیری ورق در شرایط درون قالب استفاده کرد بعبارت دیگر پوشش می‌تواند همانند یک روانکار در قالب عمل نماید.

مراجع

- 1- Effect of Mechanical Deformation on the Protection Properties of Coil Coating Products, F. Deflorian, June 1999.
- 2- www.coilcoatings.com
- 3- Surface Characterisation of Components Used in Coil Coating Primers , John F.Watts, December 1998.

4- Parisot R., Forest S., "Modeling the Mechanical Behavior of a Multicrystalline Zinc Coating on a Hot-Dip Galvanized Steel Sheet", *Computational Materials Science*, Vol: 19, PP: 189-204, 2000

[۵] نصر اصفهانی م.، اشرفی زاده ف.، عقیده م.م.، اکبری ع.، "تاثیر آلومینیم و نیتروژن بر خواص

مکانیکی و ریزساختاری ورق‌های فولادهای کم کربن"، سمپوزیوم فولاد، ۱۳۷۸

6- Rangarajan V., Natalie C.A., "Deformation Behavior of Hot Dip Galvanized Coatings in Complex Sheet Metal Forming", *J. Mater. Shaping Techno.*, Vol: 8, PP: 101-105, 1990

7- Gronostajski J.Z., "Behavior of Coated Steel Sheets in Forming processes", *J. Mater. Proces. Techno.*, Vol: 53, PP: 167-176, 1995

[۸] مرادپور م.، رحیمی ج.، نصرتی نیا م.، "شکل پذیری ورق‌های فولادی بدون پوشش و با پوشش روی در بدنه خودرو"، سومین سمینار ملی مهندسی سطح، ۱۳۷۸، ص. ۱۸۵

9- Guevich M.A., "Influence of Texture on Mechanical Properties", *ASM Handbook*, Vol: 14, 1999