



بررسی اثرگذاری متغیرهای شارژ زاماک در وان مذاب خطوط گالوانیزه گرم پیوسته در راستای کاهش مقادیر آلومینیوم سرباره

محمدرضا گندم کار

مدیر بهره برداری و جانشین مدیر پروژه مجتمع فولاد پیشرو زرین اصفهان

محمدرضا گلشنی

مدیر بهره برداری شرکت فولاد زرین

چکیده

یکی از اصلی ترین علل خوردگی در وان مذاب خطوط گالوانیزه گرم پیوسته، وجود گردیدان غلظتی عنصر آلومینیوم در سطح مذاب و یا بالا بودن مقدار آلومینیوم سرباره آن می باشد. بررسی ها درخصوص عناصر وان مذاب نشان می دهد کاهش مقادیر آلومینیوم سرباره از طریق اعمال تغییرات متالورژیکی امری آسان و پایا نبوده و بایستی این هدف را با اعمال تغییرات اصلاحی همچون افزایش محل شارژ، بالا بردن ارتفاع شارژ و افزایش دوره شارژ زاماک در وان مذاب دنبال نمود. یافته های این مطالعه نشان می دهد اثرگذاری این متغیرها می تواند بیش از 50 درصد در راستای کاهش مقدار آلومینیوم سرباره و قریب به 16 درصد سبب افزایش آلومینیوم وان مذاب گردد. نتایجی که می تواند صرف نظر از افزایش طول عمر مفید وان مذاب، کاهش مصارف زاماک را نیز دربر داشته باشد.

واژگان کلیدی: گالوانیزه گرم پیوسته، خوردگی وان مذاب، سرباره، زاماک



مقدمه

قریب به سه قرن از ابداع یک شیمیدان فرانسوی به نام ملوین، در راستای پوشش دهی قطعات فولادی با غوطه‌وری آن در مذاب روی در آکادمی رویال فرانسه می‌گذرد. این روش به سرعت گسترش یافت، به گونه‌ای که امروزه گالوانیزه گرم به روش‌های مختلف و با حجم وسیعی در سراسر دنیا استفاده می‌شود (J. Lamesch, 2005). فرآیند گالوانیزه کردن ورق‌های فولادی به روش غوطه‌وری گرم در وان مذاب فلز روی و مقادیر متغیر آلومینیوم، کارآمدترین و مقرون به صرفه ترین روش تجاری در دنیا برای ایجاد حفاظت در برابر خوردگی^۱ بوده و در نتیجه این فرآیند افزایش عمر مفید برای اکثر محصولات فولادی را به همراه دارد (Marder A.R, 2000, Carlsoon, P, 2005).

یکی از اجزای مهم و کاربردی خطوط گالوانیزه گرم، وان مذاب آن می‌باشد. با توجه به اینکه عملکرد صحیح وان مذاب و اجزای آن به شدت بر میزان بهره‌وری خطوط گالوانیزه و کیفیت سطح محصول تاثیرگذار می باشد، بنابراین یکی از شایع‌ترین و پرتکرارترین عامل در توقفات مکرر خطوط گالوانیزه، مشکلات مربوط به عملکرد و عمر محدود وان مذاب و اجزای آن بوده است (A. Krishnaswamy, 2005, W.J. Wang et al, 2007). به گونه‌ای که مدت زمان توقف خطوط گالوانیزه برای تعویض وان مذاب و اجزای آن به طور متوسط دو هفته می‌باشد. در سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۰۱، سازمان بین‌المللی تحقیقات روی و سرب^۲، دو نظرسنجی را در بین خطوط گالوانیزه پیوسته گرم در سراسر جهان انجام داد (E. Barbero et al, 2004). نتایج بررسی‌ها نشان داد که برای اکثر شرکت‌ها شایع‌ترین علت توقف خط، مشکلات مربوط به وان مذاب و اجزای آن می‌باشد، که به یک یا چند مورد از دلایل زیر مربوط می‌شوند (X. LIO et al, 2005):

- عملکرد غلتک‌ها و یاتاقان‌های نگهدارنده
- خوردگی وان مذاب و اجزای آن
- جوانه زنی^۳، رشد سرباره^۴ و تشکیل ذرات بین فلزی^۵ بر روی سطح وان مذاب

تمام عوامل فوق می‌توانند منجر به تخریب سطح مواد وان مذاب و اجزای آن شوند که بر اساس نرخ سایش^۶، تغییر سختی^۷ و تغییر مدول الاستیک^۸ مشخص می‌شوند (A. Krishnaswamy, 2005). از میان این دلایل خوردگی وان مذاب و اجزای آن یکی از مهمترین دلایلی است که باعث از کار افتادن خطوط تولید گالوانیزه می‌شود، بنابراین حجم قابل توجهی از تحقیقات انجام شده به بررسی علل ایجاد خوردگی و برطرف کردن این مشکل پرداخته‌است (X. Lio et al, 2005). از عوامل تاثیرگذار در خوردگی وان مذاب و اجزای آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- گرادیان غلظتی آلومینیوم در وان مذاب
- دمای بالای وان مذاب
- تلاطم مذاب روی در وان مذاب (ناشی از سرعت چرخش غلتک‌ها)
- ترشوندگی سطح ورق با مذاب روی

¹ Corrosion² International Lead Zinc Research Organization (ILZRO)³ Nucleation⁴ Dross⁵ Intermetallic particles⁶ Wear rate⁷ Hardness change⁸ Change in elastic modulus



J.H.Shim et al, 2002, B.G.Seong et al, 2001, M.X. Yao and R. Lio, 2005, Abd El Aal, 2004, Abd El Aal, 2006, Bernard M.C. et al, 1995, Xu Jing, 2007, H. Dafydd et al, 2005, S. Peulon and D. Lincot, (1998, J.J. Garcia et al, 2005, Wujian Miao et al, 2007

مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که گرادیان غلظتی آلومینیوم و دمای مذاب بر خوردگی بستر وان مذاب و اجزای آن و در نتیجه تشکیل ترکیبات بین فلزی، تسهیل چسبندگی آنها و تشکیل سرباره بسیار تاثیرگذارند (M.C. Bernard et al, 1995, X.G. Zhang, 01995). خوردگی وان مذاب و اجزای آن و ایجاد سرباره ناشی از جریان مذاب روی، بیانگر این واقعیت است که خوردگی در یک محیط پویا رخ می‌دهد به این دلیل که غلتک‌ها همیشه در حال حرکت هستند. بررسی‌های صورت گرفته درخصوص چند دوره‌کاری و عمر مفید و میزان خوردگی وان مذاب در شرکت فولاد امیرکبیرکاشان، نشان داد که میزان خوردگی وان مذاب افزایش چشم‌گیری نسبت به دوره‌های قبل داشته و این در حالی است که هیچ‌گونه تغییری در نوع و جنس وان مذاب و تامین کننده آن رخ نداده است. نتایج حاصل از آزمون‌های اندازه‌گیری ضخامت وان مذاب، بررسی مقدار آلومینیوم سرباره و تخمین سرعت خط تولید نشان داد که این عوامل از دلایل موثر برخوردگی وان‌های مذاب می‌باشند. از این رو افزایش مقدار آلومینیوم سرباره و همچنین افزایش سرعت تولید و تلاطم بیشتر در وان مذاب سبب افزایش خوردگی تا 40 درصد شده است (گندم کار، 1402). با توجه به اهمیت بالای وان مذاب، هزینه‌های تعویض و هم چنین میزان مصارف عناصر وان مذاب، جلوگیری از افزایش نرخ خوردگی یکی از دغدغه‌های موجود بوده است. از این رو در این پژوهش ضمن بررسی تغییرات مقادیر آلومینیوم سرباره به دنبال تاثیرات عملی برای، راه کارهایی موثر در راستای کاهش مقدار آلومینیوم سرباره و در پی آن کاهش نرخ خوردگی وان مذاب خواهیم بود. با توجه به تفاوت وزن مخصوص⁹ آلومینیوم و فلز روی پیش بینی می‌شود پس از اضافه نمودن شمش زاماک (آلیاژ روی حاوی 5 درصد آلومینیوم) به وان مذاب، آلومینیوم به سمت سطح وان حرکت کند. پس یکی از راه‌های اولیه در راستای جلوگیری از حرکت رو به بالای آلومینیوم در وان مذاب، شارژ شمش زاماک در ارتفاع پایین می باشد. در این پژوهش شرایط مختلف کاری و همچنین نتایج بدست آمده از آنالیز شیمیایی آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفته است. مضاف بر آن در این پژوهش مطالعات انجام شده برای تغییرات اعمالی در محدوده فعالیت های فیزیکی بوده و ساختار شیمیایی و یا متالورژیکی وان مذاب دچار تغییر نشده است.

روش تحقیق

مواد و محلول‌های مورد استفاده

اسید کلریدریک 37٪، پراکسید هیدروژن، نمک سدیم کلراید، محلول استاندارد آلومینیوم، آب مقطر آزمایشگاهی، کپسول‌های استیلن و گاز بی‌هوشی

آزمون آنالیز عنصر آلومینیوم به روش جذب اتمی

در این مطالعه، اندازه‌گیری مقادیر آلومینیوم موجود در نمونه مذاب و سرباره با دستگاه جذب اتمی^{۱۰} مدل novAA 800 ساخت شرکت آنالیتیکینای آلمان، صورت گرفت. دستگاه اسپکترومتری جذب اتمی براساس اندازه‌گیری انرژی جذب شده به وسیله اتم‌های آزاد در حالت گاز، عمل می‌کند. از آنجاکه بیشتر اتم‌ها در تراز پایه قرار دارند، قادرند پرتوی تابشی به وسیله یک منبع نوری خاص را جذب کنند، که این مقدار جذب اندازه‌گیری می‌شود (Matthew R, 2001, Prasad AS, 1995)

⁹ Density

¹⁰ Atomic Absorption Spectroscopy



برای آماده سازی نمونه محلول، مقدار 10 گرم از نمونه مذاب و یا سرباره مذاب را درون بشر 400 میلی لیتری ریخته و زیر هود مقدار 50 میلی لیتر اسید کلریدریک را به آرامی اضافه می‌نماییم. محلول را برای تکمیل فرآیند انحلال بر روی هیتر قرار داده و به آرامی حرارت می‌دهیم. مقدار 0/5 میلی لیتر پراکسید هیدروژن به آن افزوده و برای مدت زمان 5 دقیقه با حرارت ملایم می‌جوشانیم. پس از سرد شدن محلول آن را توسط آب مقطر در یک بالن 100 میلی لیتری رقیق نموده و مخلوط می‌کنیم. جهت تهیه و ساخت محلول‌های استاندارد عناصر از استاندارد 1000 پی‌پی‌ام به‌عنوان ماده مرجع برای عنصر آلومینیوم در غلظت‌های مختلف و مورد نیاز در گستره کاری مدنظر استفاده می‌شود. در نهایت برای انجام آزمون طبق دستورالعمل کار بادرگاه جذب اتمی استانداردهای مدنظر عنصر آلومینیوم را به ترتیب به دستگاه داده و پس از آن محلول مرجع را به دستگاه می‌دهیم و عدد آن را می‌خوانیم. بعد از رسم منحنی کالیبراسیون، محلول‌های آلومینیوم مورد آزمون را به دستگاه داده و موارد مدنظر را جهت به دست آوردن عدد نهایی از دستگاه ثبت می‌نماییم.

یافته ها

دوره کاری برای اعمال هر متغیر، 10 روز می باشد. نمونه گیری سه بار در هر 24 ساعت صورت پذیرفت. نتایج حاصله از سه نوبت نمونه برداری در هرروز بصورت میانگین در جدول 1 ثبت شده است. در این مطالعه سه متغیر بصورت مجزا و همچنین اثر هم افزایی متغیرها با حالت روتین اولیه، مورد بررسی قرار گرفت. محل شارژ، ارتفاع و همچنین دوره شارژ زاماک متغیرهای مورد بررسی بوده اند.

همگنی در وان مذاب، به تلاطم ایجاد شده توسط چرخش غلتک‌ها در وان وابسته است. با این حال نتایج آنالیز آلومینیوم وان مذاب نشان می‌دهد در گستره عرض وان مذاب نتایج آلومینیوم دارای اختلاف معنی داری می‌باشد. ازین رو با اعمال شرایط جدید و افزایش محل شارژ از یک به دو مکان طبق شکل 1 به مقادیر آلومینیوم به نسبت همگن‌تری دست یافته‌ایم. افزایش محل شارژ، سبب افزایش مقدار آلومینیوم وان مذاب به میزان 1/48 درصد شده است. این اثر گذاری برای مقادیر سرباره مذاب 3/20 درصد می باشد. در خصوص متغیر بعدی نیز تغییرات اعمالی در راستای افزایش ارتفاع شارژ و یا به عبارت دیگر شارژ در عمق پایین وان مذاب سبب کاهش مقادیر سرباره شده است. این مقدار 17/96 درصد می‌باشد که می‌تواند مقدار قابل توجهی قلمداد شود اما این تغییرات افزایش چشم گیر مقادیر آلومینیوم وان مذاب را به همراه نداشته و اثرگذاری آن برای آلومینیوم وان مذاب 3/33 درصد می‌باشد. در همین راستا وزن زاماک شارژ شده در هر سری شارژ از 60 به 30 کیلوگرم تقلیل و دفعات شارژ از 8 سری به 24 سری در هر نوبت کاری افزایش یافت. با آن که اعمال تغییرات در دوره شارژ سبب حصول نتایج به مراتب بهتری نسبت به دو متغیر قبلی شد لیکن تجمیع متغیرها و بررسی اثر هم افزایی آن‌ها، نتایج بسیار قابل قبول و امیدوار کننده ای را ارائه نموده است.

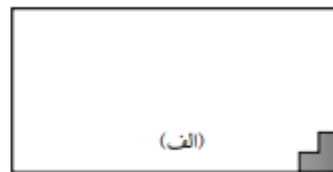
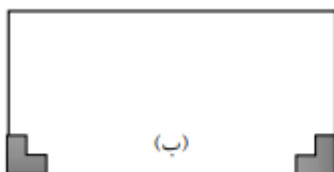
با تجمیع تغییرات اعمالی یعنی شارژ از دو مکان، شارژ در ارتفاع پایین و همچنین کاهش دوره زمانی شارژ، مقدار آلومینیوم مذاب 16/30 درصد افزایش داشته و شاهد 51/06 درصد کاهش مقادیر آلومینیوم سرباره بوده‌ایم. با توجه به نمودار 1 و 2 این نتایج اثر هم افزایی متغیرهای مدنظر را اثبات و نشان می‌دهد با اصلاح شیوه شارژ زاماک در وان مذاب خطوط گالوانیزه گرم پیوسته، ضمن کنترل غلظت عناصر آلیاژی مهم و اثر گذار، همچون آلومینیوم و کاهش خوردگی وان مذاب، می توان کاهش مصارف مواد کمکی وان مذاب را نیز به همراه داشت.

جداول، شکل ها و نمودارها



جدول 1. پایش نتایج آزمون آنالیز آلومینیوم

نتایج آزمون آنالیز آلومینیوم تحت تاثیر متغیرهای اعمالی (%)									
دوره کاری	روتین اولیه		افزایش مکان شارژ		شارژ در نقطه عمیق		زمان دوره شارژ		هم افزایی سه متغیر
	مذاب	سرباره	مذاب	سرباره	مذاب	سرباره	مذاب	سرباره	مذاب
1	0/136	4/26	0/138	4/14	0/140	3/14	0/142	3/15	0/154
2	0/138	4/61	0/137	3/91	0/139	3/86	0/145	3/34	0/155
3	0/135	3/87	0/137	3/97	0/140	3/46	0/143	3/12	0/155
4	0/130	4/59	0/140	3/94	0/141	3/71	0/143	3/31	0/157
5	0/132	4/19	0/141	4/22	0/138	3/72	0/144	3/28	0/159
6	0/136	4/33	0/136	3/93	0/139	3/63	0/145	3/21	0/160
7	0/141	4/06	0/135	4/34	0/140	3/34	0/144	3/24	0/158
8	0/135	3/76	0/136	3/77	0/139	3/41	0/144	3/32	0/154
9	0/132	4/45	0/135	4/28	0/139	3/19	0/143	2/99	0/158
10	0/135	4/13	0/137	4/43	0/141	3/20	0/145	3/21	0/157
میانگین	0/135	4/23	0/137	4/09	0/139	3/47	0/144	3/22	0/157
اثرگذاری	-	-	1/48	3/30	3/33	17/96	6/65	23/87	16/30
									51/06



شکل 1 محل شارژ زاماک در وان مذاب: (الف) حالت اولیه (ب) دومکان شارژ

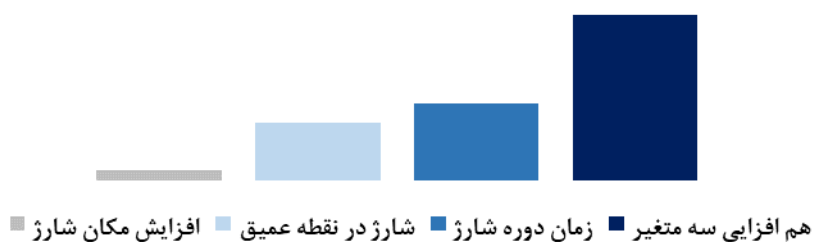


اثر گذاری متغیرها برافزایش آلومینیوم مذاب



نمودار 1 بررسی نتایج آنالیز آلومینیوم مذاب بر اساس متغیرهای اعمالی

اثرگذاری متغیرها بر کاهش آلومینیوم سرباره



نمودار 2 بررسی نتایج آنالیز آلومینیوم سرباره بر اساس متغیرهای اعمالی



بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و پایش نتایج حاصل شده از اعمال متغیرهای موثر بر شارژ وان مذاب، می‌توان بیان نمود با اصلاح نحوه شارژ بصورت افزایش دفعات شارژ همراه با تقلیل مقدار وزنی شارژ انجام شده و شارژ در ارتفاع پایین وان مذاب، می‌توان شاهد افزایش 16/30 درصدی مقدار آلومینیوم وان مذاب، کاهش 51/06 درصدی مقدار آلومینیوم سرباره و به طبع آن کاهش خوردگی در وان مذاب و افزایش راندمان کاری وان مذاب باشیم.



منابع

محمد رضا گندم کار، سحر روزبهی. بررسی عوامل موثر بر خوردگی در وان های مذاب خط تولید گالوانیزه گرم پیوسته شرکت فولاد امیرکبیر کاشان بیست و یکمین کنگره ملی خوردگی ایران ۱۴۰۲

- J. Lamesch, The world history of galvanizing, Metallurgical research & Technology, Volume 102, 2005.
- Marder A.R., The metallurgy of zinc-coated steel, *Prog. in Mate. Sci*, Vol: 45, pp: 191-271, 2000.
- Carlsoon, P., Surface Engineering in Sheet Metal Forming, Acta Univers. Uppsala, 2005.
- E. Barbero, C. Irwin, X. Liu, V. Sikka, F. Goodwin., DEVELOPMENT OF THE NEXT GENERATION OF BATH HARDWARE MATERIALS, Iron and Steel Technology, Volume 10; 31-37, 2004.
- A. Krishnaswamy., Evaluation of Surface Mechanical Properties of Pot Hardware materials in Continuous Galvanizing Lines, West Virginia University, 2005.
- W.J. Wang, J.P. Lin, Y.L. Wang, Y. Zhang, G.L. Chen., Isothermal corrosion TiAl-Nb alloy in liquid zinc, Materials Science and Engineering A 452-453 (2007) 194-201
- X. LIU, E. BARBERO, J. XU, M. BURRIS, K. CHANG, and V. SIKKA., Liquid Metal Corrosion of 316L, Fe3Al, and FeCrSi in Molten Zn-Al Baths, Metallurgical and Materials Transaction A, Volume 36A, 2005.
- J.-H. Shim, S. H. Chung & Y. W. Cho, Prediction of aluminium concentration in molten zinc pot of continuous hot dip galvanising line, Ironmaking & Steelmaking, 29:6, 454-458, 2002.
- B.G. Seong, S.Y. Hwang, M.C. Kim, K.Y. Kim., Reaction of WC-Co coating with molten zinc in a zinc pot of a continuous galvanizing line Author links open overlay panel, Surface and Coating Technology, Volume 128, Issue 1 (101-110), 2001.
- M. X. Yao, R. Liu., Microstructural characteristics and corrosion resistance in molten Zn-Al bath of Co-Mo-Cr-Si alloys, Materials Science and Engineering; A, Volume 407, Issue 1-2, 299-305, 2005.
- Abd El Aal, E.E. Corrosion Science, v 46, n 1, Jan. 2004, p 37-49.
- Abd El Aal, E.E. Corrosion Science, v 48, n 2, February, 2006, p 343-360
- Bernard M.C. , Hugot-Le Goff A., Phillips, N. Journal of the Electrochemical Society, v 142, n 7, July 1995.
- Xu, Jing, "Kinetics of corrosion and dross build-up in molten Zn-Al systems." (2007). Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports. 10058.
- H. Dafydd, D.A. Worsley, H.N. McMurray, Corrosion Science, vol. 47, 2005, pp. 3006-3018.
- S. Peulon and D. Lincot, J. Electrochem. Soc., v 145, n 3, March 1998, p 864-74
- J.J. Garcia-Jareno, D. Gimenez-Romero, M. Keddad, and F. Vicente, J. Phys. Chem. B, vol.109, 2005, pp. 4593-4598.
- Wujian Miao, Ivan S. Cole, Aaron K. Neufeld, Scott Furman, Uni. Of Southern Mississippi, J. of the electrochemical socety, 154 (1) C7-C15 (2007)
- M.C. Bernard, A. Hugot-Le-Goff, N. Phillips, J. Electrochem. Soc. 142 (1995), pp. 2162.
- X. G. Zhang, Corrosion and Electrochemistry of Zinc, Plenum Press, New York 1996 .
- Matthew R. Pincus, Jahn bernard, Henry. Clinical chemistry. In: John Bernard, Henry. Clinical diagnosis and management by laboratory methods. 20th ed. Philadelphia: Saunders Company; 2001. p. 159-366.
- Prasad AS. Zinc: an Overview. Nutrition 1995; 11: 93-99.

Study the effect of Zamak charging variables in the molten pool of continuous hot-dip galvanized lines in order to reduce the amount of aluminum top dross

Gandomkar Mohamadreza

Golshani Mohamadreza

Abstract

One of the main causes of corrosion in the molten bath of continuous hot-dip galvanized lines is the existence of concentration gradients of aluminum element on the surface of the melt or the high amount of aluminum top dross. Investigations about the elements of the molten bath show that reducing the amount of aluminum top dross through the application of metallurgical changes is not an easy and stable thing, and this goal should be pursued by applying corrective changes such as increasing the charging location, increasing the charging height and increasing the charging period of Zamak in the molten bath. did the findings of this study show that the effect of these variables can be more than 50% to reduce the amount of aluminum top dross and almost 16% to increase the amount of molten aluminum. The results that can include the reduction of Zamak consumption, regardless of increasing the useful life of the molten bath.

Keywords: Continuous hot-dip galvanizing, molten bath corrosion, top dross, Zamak