

ارزیابی انتشار کروم شش ظرفیتی در عملیات جوشکاری استیل

فریده گلبایی^۱، محمد جواد زارع سخویدی^۲، آرام تیرگر^۳، سید جمال الدین شاه طاهری^۴، عباس رحیمی فروشانی^۵

چکیده

زمینه و اهداف: در طی فرایند جوشکاری عوامل زیان آور متعددی از قبیل گازها، فیوم‌ها تولید می‌شوند. مخاطره آمیزترین این عوامل از نظر بهداشت حرفه‌ای فیوم‌ها و به ویژه کروم شش ظرفیتی موجود در آن می‌باشد. امروزه کروم شش ظرفیتی به عنوان یک عامل سرطان‌زا انسانی شناخته شده است. جوشکاری بر روی فولادهای زنگ نزن که در ساختار خود حاوی درصدهای متفاوتی از کروم می‌باشد، باعث تولید مقادیر مختلفی از فیوم و درنتیجه انتشار مقادیر متفاوتی از کروم شش ظرفیتی بسته به نوع پارامترهای اعمالی می‌شود. در این مطالعه تاثیر برخی پارامترهای مختلف عملیاتی بر میزان انتشار کروم شش ظرفیتی در فیوم‌های جوشکاری قوسی با الکترود روکش دار و جوشکاری قوسی با الکترود تنگستن مورد بررسی قرار گرفته است.

روش بررسی: برای بررسی تاثیر فاکتورهای عملیاتی بر روی انتشار کروم شش ظرفیتی از دو نوع جوشکاری SMAW و GTAW و فاکتورهای عملیاتی قطر الکترود مصرفی، دبی گاز محافظ، نوع فلز پایه و نوع الکترود مصرفی هر کدام در دو سطح استفاده گردید. برای حذف اثرات ناخواسته جریان هوا بر روی عملکرد نمونه بردارها محافظه ای ساخته و مورد استفاده قرار گرفت. جهت سنجش کنترل شده فیوم، جوشکاری در محفظه ساخته شده انجام پذیرفت. نمونه برداری‌ها با استفاده از هولدر روبسته و مطابق با روش NIOSH ۷۶۰۰ سازمان صورت گرفت.

یافته‌ها: نمونه‌های بدست آمده جهت تعیین مقدار کروم شش ظرفیتی به روش قلیایی استخراج و تجزیه شدند. نتایج بدست آمده با آزمون‌های آماری آنالیز واریانس چند طوفه در نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. میانگین تراکم کروم شش ظرفیتی در جوشکاری قوسی با الکترود روکش دار برابر با $113119/84(3712/62)$ و برای جوشکاری قوس تنگستن برابر با $10/12(8/94)$ میکروگرم بر متر مکعب بود.

نتیجه‌گیری: نتایج بدست آمده نشان داد که درصد کروم الکترود مصرفی به طور معنی داری بر میزان انتشار کروم شش ظرفیتی در هر دو نوع جوشکاری موثر است ($p < 0.05$). فاکتورهای قطر الکترود مصرفی، نوع فلز پایه و دبی گاز محافظ تاثیری بر میزان انتشار کروم شش ظرفیتی نداشتند ($p > 0.05$). با توجه به نتایج، تحت شرایط ثابت الکترود مصرفی اصلی‌ترین عامل تاثیرگذار بر روی میزان انتشار کروم شش ظرفیتی می‌باشد که در صورت استفاده از الکترود با کروم بالاتر موجب افزایش معنی دار انتشار کروم شش ظرفیتی خواهد شد. استفاده از گاز محافظ با دبی بالاتر در جوشکاری نوع GTAW تاثیری در کاهش انتشار کروم شش ظرفیتی نداشت ($p > 0.05$).

کلیدواژه‌ها: جوشکاری استیل، کروم شش ظرفیتی، فولاد زنگ نزن، میزان انتشار

عوارض متعددی بر روی انسان می‌باشند. فولادهای آلیاژی مختلف بر حسب نوع کاربرد دارای مقادیر متفاوتی از کروم (بین ۶۰ تا ۲۰ درصد) می‌باشند. فیوم‌های ناشی از جوشکاری فولادهای زنگ نزن نیز بسته به نوع

مقدمه

فیوم‌ها یکی از محصولات ناخواسته در فرایندهای مختلف جوشکاری بوده که بر حسب ترکیب خود دارای

۱- (نویسنده مسئول)، گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران (email:gol128@yahoo.com)
 ۲- گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران
 ۳- گروه پژوهشکی اجتماعی، دانشگاه علوم پزشکی بابل
 ۴- گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران
 ۵- گروه آمار و ایده‌مولوژی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

میزان انتشار کروم شش ظرفیتی به عنوان یکی از مخاطره آمیزترین عوامل شیمیایی ناشی از جوشکاری در فرایندهای مختلف جوشکاری استیل تحت اثر پارامترهای مختلف عملیاتی اندازه‌گیری شده و اثر هر یک از عوامل مورد مطالعه بر میزان انتشار کروم شش ظرفیتی مورد سنجش واقع گردد.

روش بروسی

الف) جوشکاری‌های مورد مطالعه

جوشکاری SMAW: امروزه جوشکاری قوسی بالکترود روکش دار (Shielded Metal Arc Welding) بیشترین مصرف را در میان سایر فرایندهای جوشکاری قوسی دارد. در این فرایند از گرمای قوسی برای ذوب کردن فلز پایه و نوک الکترود مصرف شدنی روکش دار استفاده می‌شود. از منبع تغذیه جوشکاری یک کابل به قطعه کار و دیگری به انبر الکترود وصل می‌شود. با برقراری قوس الکتریکی بین نوک الکترود و قطعه کار، جوشکاری آغاز می‌گردد. حرارت شدید قوس، نوک الکترود و آن قسمت از قطعه کار را که در مجاورت قوس قرار دارد ذوب می‌کند. سریعاً پس از تشکیل قوس الکتریکی قطعات کروی شکل کوچکی از فلز گداخته شده روی نوک الکترود پدید می‌آید. و سپس از طریق مسیر قوس به حوضچه گداخته جوشکاری منتقل می‌شود همزمان با ذوب شدن الکترود، سیم جوش نیز در محل جوش رسوب می‌کند.

جوشکاری GTAW: در جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود تنگستن (Gas Tungsten Arc Welding) برای ایجاد قوس، از الکترود مصرف نشدنی تنگستن استفاده می‌شود. تورچ جوشکاری در واقع جریان برق را به الکترود تنگستن و گاز محافظ را به محدوده قوس و حوضچه مذاب هدایت می‌کند. در فرایند GTAW برای حفاظت از حوضچه جوش به جای استفاده از فلز پرکننده روکش دار از گاز محافظ استفاده می‌شود.

حين جوشکاري گاز ختني هوا را از تابعه جوشکاري بيرون رانده و از اكسيد شدن الکترود جلوگيري مي کند. در جوشکاري تيگ، الکترود فقط برای ايجاد قوس بكار برده مي شود و خود الکترود در جوش مصرف نمي شود.

فرایند جوشکاری، پارامترهای عملیاتی اعمال شده، و قطعات تحت جوشکاری دارای مقادیر متفاوتی از کروم در ترکیب خود هستند. کروم، به ویژه در فرم شش ظرفیتی خود یکی از اجزاء اصلی تشکیل دهنده فیوم‌های فرایندهای جوشکاری است. این عنصر به ویژه در شکل شش ظرفیتی خود دارای مخاطرات متعددی برای انسان بوده و امروزه آن را مسئول ایجاد سرطان، به ویژه سرطان ریه در انسان میدانند (۱). ترکیبات مختلف کروم در محیط کار مسئول عوارض دیگری از قبیل اثر بر روی DNA، ایجاد حساسیت و سایر عوارض پوستی، عوارض قلبی و عروقی، تحریک دستگاه ریوی و غیره نیز می‌باشند (۲). علاوه بر عوارض و اثرات فوق، مطالعات دیگری نیز به دیگر اثرات زیان آور فیوم‌های جوشکاری حاوی کروم شش ظرفیتی مانند اثر بر روی سقط خود به خودی در زوج هایی که از روش باروری IVF استفاده می‌نمودند، اشاره نموده‌اند (۳).

در کشورهای صنعتی /۰-۲۰ درصد کل نیروی کار به نحوی درگیر جوشکاری می‌باشند، که قسمت عمده‌ای از این جمعیت در صنایع کشتی سازی، ساختمان سازی، ساخت وسایل حمل و نقل، صنایع پتروشیمی، معدن کاری و صنایع فلزی مشغول به کارهستند (۴).

با توجه به این اثرات مضر و شواهد موجود در زمینه افزایش احتمال بروز سرطان ریه در افراد مواجهه یافته با کروم شش ظرفیتی، سازمان بهداشت و ایمنی شغلی ایالات متحده حد مجاز تماس وزنی این ماده را از ۱ میلی گرم به ۵ میکروگرم کاهش داده است (۵).

در فرایندهای جوشکاری استیل، مهمترین فاکتور در ایجاد تماس فرد با فیوم‌های کروم، الکترود جوشکاری می‌باشد. مطالعات نشان داده که بخار شدن فلز پایه تها مسئول تولید ۱۰٪ از کل فیوم‌های جوشکاری است (۶). در فرایند جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود پوشش دار بیشترین درصد فیوم تولیدی به علت الکترود بوده است. در مطالعه‌ای که توسط Karlsen و همکارانش صورت گرفت مشخص شد که در صد عمدۀ ای از کروم موجود در فیوم‌های متصاعد شده از فرایند قوس فلز پوشش دار (۶۰-۹۰٪) از نوع شش ظرفیتی قابل انحلال می‌باشد (۷). آنالیز فیوم‌های جوشکاری مشخص کرده است که غلظت کروم شش ظرفیتی تابعی از دبی گاز محافظ می‌باشد (۸). در این مطالعه هدف برآن است تا

ب) روش انجام کار

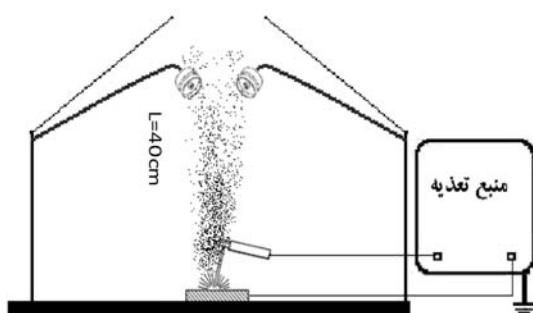
مطالعه حاضر در کارگاه مرکزی یکی از شرکتهای پالایش نفت انجام پذیرفت. تمام جوشکاری‌های این مطالعه با ماشین جوشکاری ساخت شرکت Miller انجام پذیرفت. الکترود‌های مصرفي تماماً از محصولات شرکت ESAB در دو قطر $2/5$ میلیمتر و $2/25$ میلی متر و در دو نوع SS₃₁₆ (به طور متوسط $18/5$ درصد کروم) و SS₄₁₀ (12 درصد کروم) بودند. گاز محافظ مصرفي در فرایند جوشکاری قوس تنگستن، آرگون با خلوص $99/999$ درصد و از محصولات شرکت رهام بود. جهت حذف اثر مزاحم جریان‌های ناخواسته هوا جوشکاری و نمونه برداری در زیر محفظه‌اي که به این منظور ساخته شده بود (شکل ۱) انجام شدند.

محققین دیگری نیز در مطالعات مشابه از محفظه‌هایی جهت انجام جوشکاری و نمونه برداری استفاده نموده‌اند. (۷) نمونه‌ها در ارتفاع عمودی 40 سانتیمتری از منطقه قوس جوشکاری گرفته شد تعیین ارتفاع با توجه به مطالعات پیشین (۱۰) و رعایت این نکته که فیلتر در فاصله‌ای قرار گیرد که صدمه‌ای به آن وارد نشود انجام پذیرفت. نمونه برداری‌ها با استفاده از روش نمونه برداری 7600 سازمان NIOSH صورت پذیرفت. روش تعیین نمونه براساس طرح عاملی کامل انجام پذیرفت. از آنجاکه در جوشکاری 2 GTAW متغیر و در جوشکاری SMAW 4 متغیر دو حالت برای بررسی انتخاب گردیدند، در کل 24 حالت نمونه برداری ایجاد شدند. بر اساس انحراف استاندارد گزارش شده در مطالعات پیشین برای جوشکاری 2 GTAW و جوشکاری 5 SMAW تکرار در هر حالت صورت پذیرفت. بر این اساس در کل تعداد 104 نمونه از دو فرایند مورد مطالعه گرفته شد.

یافته‌ها

میزان انتشار کروم شش ظرفیتی در فرایند جوش SMAW در محدوده $20/847$ تا $5/62$ تا $44/5968$ میکروگرم بر متر مکعب با میانگین $(3712/63)$ میکروگرم گرم بر متر مکعب قرار داشت. میزان انتشار کروم شش ظرفیتی برای فرایند GTAW نیز در محدوده $1/90$ تا $22/93$ میکروگرم بر متر مکعب با میانگین $10/13$ (۸/۴۹) قرار داشت (جدول ۲).

نتایج آزمون آماری t ، مقایسه میزان انتشار کروم شش



شکل ۱- شکل و ابعاد محفظه ساخته شده جهت حذف اثر مزاحم جریان‌ها

نوع جوشکاری	متغیر مورد مطالعه	متغیر مورد مطالعه	سطح متغیر مورد مطالعه
SMAW	نوع فلز پایه	نوع فلز پایه	SS۴۰(%۱۳ Cr) SS۳۶(%۱۷ Cr)
	نوع الکترود مصرفی	نوع الکترود مصرفی	E۴۱(%۱۳ Cr) E۳۶(%۱۷ Cr)
	قطر الکترود مصرفی	قطر الکترود مصرفی	۲/۵۰ mm ۳/۲۵ mm
GTAW	نوع فلز پایه	نوع فلز پایه	SS۴۰(%۱۳ Cr) SS۳۶(%۱۷ Cr)
	نوع الکترود مصرفی	نوع الکترود مصرفی	E۴۱(%۱۳ Cr) E۳۶(%۱۷ Cr)
	قطر الکترود مصرفی	قطر الکترود مصرفی	۲/۵۰ mm ۳/۲۵ mm
	دبی گاز محافظ(آرگون)	دبی گاز محافظ(آرگون)	۱۵ LPM ۲۵ LPM

جدول ۱- متغیرهای مورد بررسی در فرایند های جوشکاری مورد مطالعه

در جدول ۲ آورده شده است.

بحث

همان گونه که نتایج نشان داد میانگین مقادیر انتشار کروم شش ظرفیتی ناشی از فرایند SMAW در مطالعه حاضر به طور قابل ملاحظه ای بالاتر از مقادیر انتشار یافته در فرایند GTAW است ($P<0.05$).

جوشکاری SMAW برخلاف جوشکاری نوع GTAW به علت عدم استفاده از گاز محافظ فیوم بسیار بالای را تولید مینماید. هر چند در این نوع جوشکاری استفاده از الکترودهای روکش دار قادر است با تبخیر شدن سرباره در هنگام قوس باعث ایجاد اتمسفر خنثی گردد اما اثر این فاکتور قابل قیاس با اثر گازهای محافظ نبوده و به همین دلیل فرایند مذکور فیوم بیشتری تولید مینماید. Yoon و همکارانش (۱۰) میزان انتشار کروم شش ظرفیتی در فیوم های جوشکاری SMAW را در محدوده ۱۱/۲۱-۰/۴۶ میلی گرم بر دقیقه بدست آورده‌اند.

ظرفیتی برای فاکتورهای قطر الکترود مصرفی و همچنین نوع فلز پایه در جوشکاری نوع GTAW و SMAW نشان میدهد که بین میانگین تراکم کروم شش ظرفیتی در این دو، در سطح اطمینان ۹۵ درصد از لحاظ آماری تفاوت معنی داری وجود ندارد ($P>0.05$). نتایج آزمون آماری، از میانگین انتشار کروم شش ظرفیتی در دو سطح فاکتور درصد کروم الکترود در جوشکاری نوع GTAW و SMAW در GTAW نشان داد که بین میانگین انتشار کروم شش ظرفیتی در این دو سطح آزمون از لحاظ آماری تفاوت معنی داری وجود دارد ($p<0.05$). این بدان معنی است که با استفاده از الکترود با درصد کروم بیشتر شاهد افزایش معنی داری در میزان کروم شش ظرفیتی موجود در فیوم های تولید شده خواهیم بود.

اثر فاکتور دبی گاز محافظ در فرایند GTAW تاثیر معنی داری را بر میانگین انتشار کروم شش ظرفیتی دربر نداشت ($P>0.05$). اثر متقابل فاکتورهای مختلف مورد مطالعه با استفاده از آنالیز واریانس چند طرفه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آنالیز های واریانس چند طرفه

نوع جوشکاری	تعداد نمونه	حداکثر تراکم ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	حداقل تراکم ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	دامنه تغییرات ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	میانگین ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	معیار انحراف ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
SMAW	۲۴	۲۰.۸۴۷/۶۳	۵.۹۶۸/۴۴	۱۴.۸۷۹/۱۹	۱۱.۳۱۹/۸۴	۳۷۱۲/۶۳
GTAW	۸۰	۳۴/۸۳	۱/۹۰	۳۲/۹۳	۱۰/۱۳	۸/۴۹
هر دو نوع	۱۰۴	۲۰.۸۴۷/۶۳	۱/۹۰	۲۰.۸۴۵/۷۳	۲۶.۲۰/۰.۷	۵۰.۹۹/۴۳

جدول ۲- میزان انتشار کروم شش ظرفیتی در نمونه های حاصل از فرایند های GTAW و SNAW

منابع

1. IARC; International Agency for Research on Cancer: IARC Summary & Evaluation. 49 p. 49, 1990.
2. Costa, M, B. C. Klein, Toxicity and Carcinogenicity of Chromium Compounds in Humans. Crit. Rev. Toxicol., 36(2): 155-163, 2006.
3. Hjollund, N. H, J. P. Bonde, E. Ernst, S. Lindenberg, A.N. Andersen, and J. Olsen: Spontaneous Abortion in IVF Couples-a Role of Male Welding Exposure. Hum. Reprod. 20(7): 1793-7, 2005.
4. National Occupational Health and Safety Commission: Welding: Fumes And Gases. Australian Government Publishing Service Canberra, 1990.
5. OSHA; Occupational Safety and Health Administration, Department of Labor: Occupational Exposure to Hexavalent Chromium, Final rule. Fed Regist. 71(39): 10099-385, 2006.
6. Dennis, J. H, M. J. French, P. J. Hewitt, S. B. Mortazavi, and C. A. Redding:Control of Exposure to Hexavalent Chromium and Ozone in Gas Metal Arc Welding of Stainless Steels by Use of a Secondary Shield Gas. Ann. Occup. Hyg. J.46(1): 43-8, 2002.
7. Karlsen, J. T, G. Farrants,T. Torgrimsen, A. Reith: Chemical Composition and Morphology of Welding Fume Particles and Grinding Dusts. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 53(5): 290-7, 1992.
8. Sreekanthan, P.T, W. Eagar, , N. T. Jenkins, G. G. Krishna, J. M. Antonini, and J. D. Brain:Study of Chromium in Gas Metal Arc Welding Fume, in Proceedings of Trends in Welding Conference, ASM, Materials Park, OH, 1998.
9. Cornelis, R, h. Crews, J. Caruso and K. G. Heumann: Handbook of Elemental Speciation :Species in the Environment, Food, Medicine & Occupational health. John Wiley & Sons .Ltd, 2005.
- 10.Yoon, C. S, N. W. Paik, and J. H. Kim: Fume Generation and Content of Total Chromium and Hexavalent Chromium in Flux-cored Arc Welding. Ann. Occup. Hyg. 47(8): 671-80, 2003.
- 11.Ashley, K, A. M. Howe, M. Demange, and O. Nygren: Sampling and Analysis Considerations for the Determination of Hexavalent Chromium in Workplace Air. J. Environ. Monit. 5(5): 707-16, 2003.
12. Hewitt, P. J, and A. A. Hirst:Development and Validation of a Model to Predict the Metallic Composition of Flux-cored Arc Welding Fumes. Ann of Occup Hyg.35(2): 223-232, 1991.

نتیجه گیری

میانگین کروم شش ظرفیتی در فرایندهای جوشکاری مورد بررسی در مطالعه حاضر بالاتر از سایر مطالعات ذکر شده میباشد. علت این امر را میتوان اینچنین بیان داشت که در سایر مطالعات ذکر شده نمونه برداری ها از ناحیه تنفسی کارگران صورت گرفته و در اقع تماس های فردی با هم مقایسه شده اند در این وضعیت به علت اختلاط فیوم های حاصله با هوای محیط تا رسیدن به ناحیه تنفسی تراکم کروم بسیار رقیق تر خواهد شد، حال آنکه در مطالعه حاضر نمونه برداری ها همواره از نزدیکترین نقطه به ناحیه تولید آلدگی (منبع) انجام پذیرفته و شرایط وجود جریان های مزاحم که میتوانست باعث رقیق کردن فیوم های تولیدی قبل از رسیدن به نمونه بردار شود حذف گردیده است. مطالعات موجود مبنی بر بررسی انتشار فیوم نشان داده است که الکترود مصرفی از عملدهترین عوامل موثر بر میزان انتشار فیوم ها طی فرایند جوشکاری میباشد، و فلز پایه نقش کمی در تولید فیوم دارد. در هر یک از دو فرایند مورد مطالعه فاکتور نوع فلز پایه و یا قطر الکترود مصرفی اثر معنی داری بر میزان انتشار کروم شش ظرفیتی نداشتند. سایر مطالعات نیز به نقش کم فلز پایه در تولید فیوم و کروم شش ظرفیتی اشاره کرده اند. الکترودهای با قطر بیشتر دارای مواد سرباره بیشتری از الکترود های نازکتر میباشند، در نتیجه هنگام به کارگیری در جوشکاری ایجاد اتمسفر محافظ مترالکم تری خواهد نمود که این موضوع به نوبه خود باعث کاهش میزان انتشار کروم شش ظرفیتی شده و نتیجتاً باعث کاهش تماس کارگر با این عامل زیان آور خواهد شد.

تقدیر و تشکر

نویسندها بدينوسيله نهايت تشکر و قدر داني خود را از مدیریت محترم و پرسنل واحد ايمني شركت پالايش نفت تهران به ويزه آقایان محسن منفرد و صمد خلیلی ابراز میدارند.