

ارزیابی انتشار کروم شش ظرفیتی در عملیات جوشکاری استیل

فریده گلبابایی^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، فیوم ها تولید میشوند. مخاطره آمیزترین این عوامل از نظر بهداشت حرفه ای فیوم ها و به ویژه کروم شش ظرفیتی موجود در آن میباشد. امروزه کروم شش ظرفیتی به عنوان یک عامل سرطان زای 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 در نتیجه 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 فیوم های جوشکاری قوسی با الکتروود روکش دار و جوشکاری قوسی با الکتروود 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 الکتروود مصرفی، دبی گاز محافظ، نوع فلز پایه و نوع الکتروود مصرفی هر کدام در دو سطح استفاده گردید. برای حذف اثرات ناخواسته جریان هوا بر روی عملکرد نمونه بردارها محفظه ای ساخته و مورد استفاده قرار گرفت. جهت سنجش کنترل شده فیوم، جوشکاری در محفظه ساخته شده انجام پذیرفت. نمونه برداری ها با استفاده از هولدر روپسته و مطابق با روش ۷۶۰۰ سازمان NIOSH صورت گرفت.

یافته ها: نمونه های بدست آمده جهت تعیین مقدار کروم شش ظرفیتی به روش کلیایی استخراج و تجزیه شدند. نتایج بدست آمده با آزمون های آماری t و آنالیز واریانس چند طرفه در نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. میانگین تراکم کروم شش ظرفیتی در جوشکاری قوسی با الکتروود روکش دار برابر با $113119/84(3712/63)$ و برای جوشکاری قوس تنگستن برابر با $10/13(8/94)$ میکروگرم بر متر مکعب بود.

نتیجه گیری: نتایج بدست آمده نشان داد که درصد کروم الکتروود مصرفی به طور معنی داری بر میزان انتشار کروم شش ظرفیتی در هر دو نوع جوشکاری موثر است ($p < 0/05$). فاکتورهای قطر الکتروود 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 الکتروود مصرفی اصلی ترین عامل تاثیرگذار بر روی میزان انتشار کروم شش ظرفیتی میباشد که در صورت استفاده از الکتروود 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 ($p > 0/05$).

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

مقدمه

عوارض متعددی بر روی انسان میباشد. فولادهای آلیاژی مختلف بر حسب نوع کاربرد دارای مقادیر متفاوتی از کروم (بین ۳۰ تا ۶ درصد) میباشد. فیوم های ناشی از جوشکاری فولادهای زنگ نزن نیز بسته به نوع

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

۱- نویسنده مسئول، گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران (email: gol128@yahoo.com)

۲- گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

۳- گروه پزشکی اجتماعی، دانشگاه علوم پزشکی بابل

۴- گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

۵- گروه آمار و اپیدمیولوژی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

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

روش بررسی

الف) جوشکاری های مورد مطالعه

جوشکاری SMAW: امروزه جوشکاری قوسی بالکترود روکش دار (Shielded Metal Arc Welding) بیشترین مصرف را در میان سایر فرایندهای جوشکاری قوسی دارا می باشد. 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 می آید. 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 می شود. 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.

حین جوشکاری گاز خنثی هوا را از ناحیه جوشکاری بیرون رانده و از اکسید شدن الکترود جلوگیری می کند. در جوشکاری تیگ، الکترود فقط برای ایجاد قوس بکار برده می شود و خود الکترود در جوش مصرف نمی شود.

فرایند جوشکاری، پارامترهای عملیاتی اعمال شده، و قطعات تحت جوشکاری دارای مقادیر متفاوتی از کرم در ترکیب خود هستند. کرم، به ویژه در فرم شش ظرفیتی خود یکی از اجزاء اصلی تشکیل دهنده فیوم های فرایندهای جوشکاری استیل 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 کرم 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 میباشد (۲). علاوه بر عوارض و اثرات فوق، مطالعات دیگری نیز به دیگر اثرات زیان آور فیوم های جوشکاری حاوی کرم شش ظرفیتی مانند اثر بر روی سقط خود به خودی در زوج هایی که از روش باروری IVF استفاده می نمودند، اشاره نموده اند (۳).

در کشورهای صنعتی ۲ تا ۲۰ درصد کل نیروی کار به نحوی درگیر جوشکاری میباشد، که قسمت عمده ای از این جمعیت در صنایع کشتی سازی، ساختمان سازی، ساخت وسایل حمل و نقل، صنایع پتروشیمی، معدن کاری و صنایع فلزی مشغول به کار هستند (۴).

با توجه به این اثرات مضر و شواهد موجود در زمینه افزایش احتمال بروز سرطان ریه در افراد مواجهه یافته با کرم 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 فیوم های کرم، الکترود جوشکاری میباشد. مطالعات نشان داده که بخار شدن فلز پایه تنها مسئول تولید ۱۰٪ از کل فیوم های جوشکاری است (۶). در فرایند جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود پوشش دار بیشترین درصد فیوم تولیدی به علت الکترود بوده است. در مطالعه ای که توسط Karlsen و همکارانش صورت گرفت مشخص شد که در صد عمده ای از کرم موجود در فیوم های متصاعد شده از فرایند قوس فلز پوشش دار (۹۰-۶۰) از نوع شش ظرفیتی قابل انحلال می باشند (۷). آنالیز فیوم های جوشکاری مشخص کرده است که غلظت کرم شش ظرفیتی تابعی از دبی گاز محافظ میباشد (۸). در این مطالعه هدف بر آن است تا

ب) روش انجام کار

مطالعه حاضر در کارگاه مرکزی یکی از شرکتهای پالایش نفت انجام پذیرفت. تمام جوشکاری های این مطالعه با ماشین جوشکاری ساخت شرکت Miller انجام پذیرفت. الکتروده های مصرفی تماما از محصولات شرکت ESAB در دو قطر ۲/۵ میلیمتر و ۳/۲۵ میلی متر و در دو نوع SS₃₁₆ (به طور متوسط ۱۸/۵ درصد کروم) و SS₄₁₀ (۱۳ درصد کروم) بودند. گاز محافظ مصرفی در فرایند جوشکاری قوس تنگستن، آرگون با خلوص ۹۹/۹۹۹۹ درصد و از محصولات شرکت رهام بود. جهت حذف اثر مزاحم جریان های ناخواسته هوا جوشکاری و نمونه برداری در زیر محفظه ای که به این منظور ساخته شده بود (شکل ۱) انجام شدند.

محققین دیگری نیز در مطالعات مشابه از محفظه هایی جهت انجام جوشکاری و نمونه برداری استفاده نموده اند. (۷) نمونه ها در ارتفاع عمودی ۴۰ سانتیمتری از منطقه قوس جوشکاری گرفته شد تعیین ارتفاع با توجه به مطالعات پیشین (۱۰) و رعایت این نکته که فیلتر در فاصله ای قرار گیرد که صدمه ای به آن وارد نشود انجام پذیرفت. نمونه برداری ها با استفاده از روش نمونه برداری ۷۶۰۰ سازمان NIOSH صورت پذیرفت. روش تعیین نمونه بر اساس طرح عاملی کامل انجام پذیرفت. از آنجاکه در جوشکاری GTAW ۲ متغیر و در جوشکاری SMAW ۴ متغیر دو حالتی برای بررسی انتخاب گردیدند، در کل ۲۴ حالت نمونه برداری ایجاد شدند. بر اساس انحراف استاندارد گزارش شده در مطالعات پیشین برای جوشکاری GTAW ۲ تکرار و جوشکاری SMAW ۵ تکرار در هر حالت صورت پذیرفت. بر این اساس در کل تعداد ۱۰۴ نمونه از دو فرایند مورد مطالعه گرفته شد.

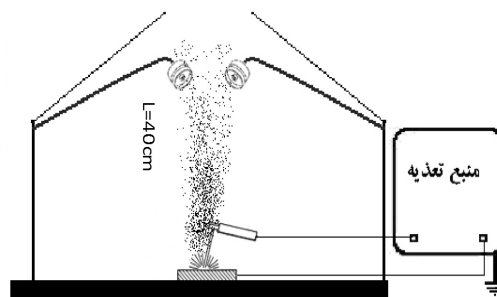
نمونه برداری با استفاده از فیلتر هولدرهای ۳۷ میلیمتری رو بسته پلی استایرن که در درون آنها فیلتر PVC با قطر ۳۷ میلی متر و قطر منافذ ۵ میکرومتر قرار داشت و با استفاده از پمپ نمونه برداری فردی مدل 224-PSXR₃ ساخت شرکت SKC انجام پذیرفت. هنگامی که عوامل احیاء کننده از قبیل آهن (+۲) در محیط باشد استفاده از روش قلیایی برای استخراج کروم شش ظرفیتی از نمونه ها پیشنهاد شده است. به این دلیل برای استخراج کروم شش ظرفیتی از نمونه ها از محلول قلیایی ۲٪ NaOH-۳٪ Na₂C O₃ استفاده گردید. و نمونه های حاصل با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل DU640 ساخت شرکت Beckman، مطابق روش ۷۶۰۰ سازمان NIOSH قرائت گردید (۱۱، ۱۰، ۹، ۴).

نتایج بدست آمده از نمونه برداری ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۳ و آزمون آماری t و آنالیز واریانس چند طرفه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مطالعه اثر متغیرها بر روی دو نوع جوشکاری GTAW و SMAW صورت پذیرفت. استفاده از این دو فرایند برای جوشکاری فولادهای زنگ نزن غالب تر است. در این مطالعه اثر متغیرهای نوع فلز پایه، نوع الکتروده مصرفی و قطر الکتروده مصرفی در دو سطح بر روی میزان انتشار کروم شش ظرفیتی در هر دو نوع جوشکاری مورد مطالعه قرار گرفتند. در جوشکاری SMAW از گاز محافظ استفاده نمیشود، بنابراین اثر دبی گاز محافظ در دو سطح فقط در جوشکاری GTAW مورد مطالعه قرار گرفت. جدول ۱ متغیرهای مورد مطالعه و سطوح مورد مطالعه در هر کدام از فرایندهای جوشکاری مورد مطالعه را نشان داده شده است.

یافته ها

میزان انتشار کروم شش ظرفیتی در فرایند جوش SMAW در محدوده ۵۹۶۸/۴۴ تا ۲۰۸۴۷/۶۳ میکروگرم بر متر مکعب با میانگین (۳۷۱۲/۶۳) ۱۱۳۱۹/۸۴ میکروگرم بر متر مکعب قرار داشت. میزان انتشار کروم شش ظرفیتی برای فرایند GTAW نیز در محدوده ۱/۹۰ تا ۳۲/۹۳ میکروگرم بر متر مکعب با میانگین (۸/۴۹) ۱۰/۱۳ 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 جریان هوا

نوع جوشکاری	متغیر مورد مطالعه	سطوح متغیر مورد مطالعه
SMAW	نوع فلز پایه	SS۳۱۰ (٪۱۳ Cr) SS۳۱۶ (٪۱۷ Cr)
	نوع الکتروود مصرفی	E۴۱۰ (٪۱۳ Cr) E۳۱۶ (٪۱۷ Cr)
	قطر الکتروود مصرفی	۲/۵۰ mm ۳/۲۵ mm
GTAW	نوع فلز پایه	SS۳۱۰ (٪۱۳ Cr) SS۳۱۶ (٪۱۷ Cr)
	نوع الکتروود مصرفی	E۴۱۰ (٪۱۳ Cr) E۳۱۶ (٪۱۷ Cr)
	قطر الکتروود مصرفی	۲/۵۰ mm ۳/۲۵ mm
	دبی گاز محافظ (آرگون)	۱۵ LPM ۲۵ LPM

جدول ۱- متغیرهای مورد بررسی در فرایندهای جوشکاری مورد مطالعه

در جدول ۳ 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 بر خلاف جوشکاری نوع GTAW به علت عدم استفاده از گاز محافظ فیوم بسیار بالایی را تولید مینماید. هر چند در این نوع جوشکاری استفاده از الکتروودهای روکش دار قادر است با تبخیر شدن سر باره 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 آوردند.

ظرفیتی برای فاکتورهای قطر الکتروود مصرفی و همچنین نوع فلز پایه در جوشکاری نوع SMAW و GTAW 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 t، از میانگین انتشار کروم شش ظرفیتی در دو سطح فاکتور درصد کروم الکتروود در جوشکاری نوع SMAW و 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 الکتروود 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 بر میانگین انتشار کروم شش ظرفیتی در بر نداشت ($P > 0.05$). اثر متقابل فاکتورهای مختلف مورد مطالعه با استفاده از آنالیز واریانس چند طرفه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آنالیزهای 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	۲۰۸۴۷/۶۳	۵۹۶۸/۴۴	۱۴۸۷۹/۱۹	۱۱۳۱۹/۸۴	۳۷۱۲/۶۳
GTAW	۸۰	۳۴/۸۳	۱/۹۰	۳۲/۹۳	۱۰/۱۳	۸/۴۹
هر دو نوع	۱۰۴	۲۰۸۴۷/۶۳	۱/۹۰	۲۰۸۴۵/۷۳	۲۶۲۰/۰۷	۵۰۹۹/۴۳

جدول ۲- میزان انتشار کروم شش ظرفیتی در نمونه های حاصل از فرایندهای SMAW و GTAW



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 برداری‌ها از ناحیه تنفسی کارگران صورت گرفته و در واقع تماس‌های فردی با هم مقایسه شده‌اند در این وضعیت به علت اختلاط فیوم‌های حاصله با هوای محیط تا رسیدن به ناحیه تنفسی تراکم کروم بسیار رقیق‌تر خواهد شد، حال آنکه در مطالعه حاضر نمونه برداری‌ها همواره از نزدیک‌ترین نقطه به ناحیه تولید آلودگی (منبع) انجام پذیرفته و شرایط وجود جریان‌های مزاحم که میتواند باعث رقیق کردن فیوم‌های تولیدی قبل از رسیدن به نمونه بردار شود حذف گردیده است. مطالعات موجود مبنی بر بررسی انتشار فیوم نشان داده است که الکتروود مصرفی از عمده‌ترین عوامل موثر بر میزان انتشار فیوم‌ها 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 الکتروود 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 کرده‌اند. الکتروودهای با قطر بیشتر دارای مواد سرباره بیشتری از الکتروودهای نازک‌تر میباشند، در نتیجه هنگام به کارگیری در جوشکاری ایجاد اتمسفر محافظ متراکم‌تری خواهند 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

نویسندگان بدینوسیله نهایت تشکر و قدر دانی خود را از مدیریت محترم و پرسنل واحد ایمنی شرکت پالایش نفت تهران به ویژه آقایان محسن منفرد و صمد خلیلی ابراز میدارند.

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.