

مقایسه کیفی ساچمه های فولادی پرکربن و کم کربن مصرفی در صنعت شات بلاست با استفاده از تست اروین

جواد قربانیان - عماد نیشابوری

(واحد مهندسی فروش شرکت فرآورده های فولادی)

(این مقاله در ماهنامه صنعت ریخته گری شماره 90 - مهر 91 - به چاپ رسیده است)

مقدمه:

فرایند شات بلاست به عنوان یکی از مراحل نهایی تمامکاری در تولید انواع قطعات صنعتی از جایگاه ویژه ای در صنعت برخوردار می باشد. بلاستینگ یکی از مهمترین و البته گسترده ترین روشهای تمیزکاری می باشد. انجام این عملیات از طریق پاشش یک ماده ساینده بر روی سطح قطعه تولیدی می باشد. این مواد ساینده که با سرعت بالا به سطح قطعه برخورد می کنند باعث حذف و زدودن انواع آلودگی های سطحی می شوند.

این روش بسیار سریع و مؤثر عمل کرده و بیشترین کاربرد را در صنایع مختلف همچون صنایع ذوب و ریخته گری، فورجینگ، کشتی سازی، صنایع ریلی، نظامی، خودرو سازی، هوافضا، صنایع ساختمانی، لوله سازی، صنایع شیمیایی، فلزی، و دارا می باشد و جهت حذف ماسه های ریخته گری سطح قطعات، حذف و از بین بردن برآمدگی های سطحی، پلیسه ها، پوسته ها، زنگ و هر نوع ناپیوستگی سطح قطعات که در ظاهر و نمای قطعه تأثیر دارد و نیز جهت آماده سازی سطوح قطعات برای رنگ آمیزی یا پوشش دهی مواد مقاوم به خوردگی و بکار می رود.

در این روش با توجه به شرایط، از انواع مواد ساینده فلزی و غیر فلزی استفاده می گردد. با توجه به ماهیت فرآیندهای تمیزکاری پاششی، کیفیت مواد ساینده نقش بسیار مهمی را در راندمان تمیزکاری بر عهده دارد. در میان مواد ساینده فلزی، ساچمه فولادی پرکربن از مقبولیت بالایی برخوردار می باشد. یکی از فاکتورهای بررسی کیفیت مواد ساینده، میزان عمر این مواد است که توسط تست اروین محاسبه می شود. این تست تنها بررسی کیفیت مواد از یک دیدگاه خاص می باشد. اما اخیراً برخی از تولید کنندگان و وارد کنندگان ساچمه فولادی کم کربن عمر بالای این نوع ساچمه را در تست اروین دلیلی برای بالا بودن کیفیت این نوع ساچمه در مقایسه با ساچمه فولادی پر کربن عنوان نموده اند. اگرچه این نوع ساچمه دارای مزایا و معایب خاص خود می باشد، اما نمی توان آنرا ساچمه مناسب تر برای شات بلاست نامید و در انتخاب ساچمه مناسب هر کاربرد باید به نکات خاصی توجه نمود که در این مقاله بدان پرداخته می شود.

انواع ساچمه های فلزی مصرفی در صنایع بلاستینگ:

در صنعت از انواع مختلف ساچمه های فلزی استفاده می گردد که مهمترین آنها عبارتند از:

➤ ساچمه فولادی با درصد کربن بالا (HC)

➤ ساچمه فولادی با درصد کربن پایین (LC)

➤ ساچمه استنلس استیل

➤ ساچمه چدنی

ساجمه چدنی به دلیل داشتن کربن بالا و سرد شدن سریع دارای ساختار از نوع چدن سفید میباشد. بنابراین دارای سختی بالا و سرعت تمیز کاری بسیار بالایی است، ولی سریع شکسته و خرد می شود و عمر کمی نسبت به سایر ساجمه ها دارد. ساجمه استنلس استیل (ضد زنگ) نیز دارای مقاومت به خوردگی بالایی میباشد و بیشتر در تمیز کاری قطعات فولادی ضد زنگ، فلزات غیر آهنی و حساس و مواردی که نیاز به تمیز کاری سطح با کمترین میزان آلودگی سطحی باشد، مورد استفاده قرار میگیرد. اما عمومی ترین نوع ساجمه های کاربردی در صنعت با توجه به قیمت و کیفیت، ساجمه فولادی می باشد که در ادامه خواص انواع آن (فولادی کم کربن و پرکربن) مورد بررسی قرار می گیرد.

الف: ساجمه فولادی با درصد کربن بالا (HC).

یکی از پر مصرف ترین و کاربردی ترین انواع ساجمه ها، ساجمه های فولادی با کربن بالا میباشد. آنالیز این نوع ساجمه ها در جدول ۱ نشان داده شده است. کربن این نوع فولاد در حدود یک درصد میباشد. این کربن بالا همراه با منگنز موجود در فولاد شرایط لازم جهت تولید سختی بالا را در ساجمه مذکور فراهم مینماید. بگونه ایکه با انجام عملیات حرارتی، ریز ساختار مارتنزیتی با سختی بالا در آن ایجاد می گردد. این نوع ساجمه به دلیل ساختار میکروسکوپی خود به ساجمه مارتنزیتی نیز مشهور است. به دلیل سختی بالا و ساختار ویژه این نوع ساجمه، سرعت تمیز کاری با استفاده از این ساجمه ها بالا بوده و تنها عیب این ساجمه احتمال وجود ترکهای میکرونی در ساختار به دلیل داشتن کربن بالا و سرد شدن سریع از دمای بالا میباشد. این ترک ها احتمال وقوع شکست و خرد شدن ساجمه را حین عملیات بلاستینگ افزایش می دهند.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی ساجمه های پرکربن

عنصر	C	si	Mn	P	S	Fe
درصد	۰/۸۵- ۱/۲	۰/۳۵- ۱/۲	۰/۱۵- ۱/۲	≤ ۰/۵	≤ ۰/۵	Re

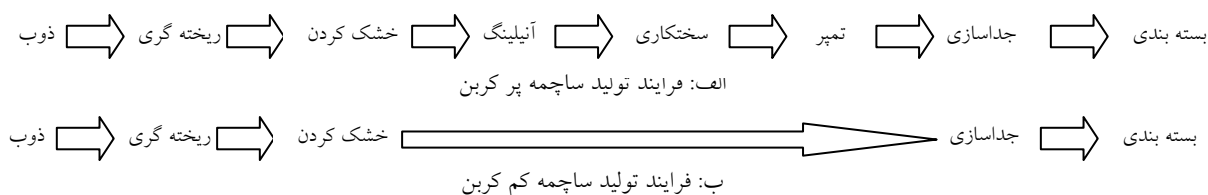
ب) ساجمه فولادی با درصد کربن پایین (LC).

این ساجمه ها با ترکیب شیمیایی مشابه جدول ۲ دارای درصد کربن پایین (۰/۱-۰/۲٪) بوده و از لحاظ ریز ساختار متالورژیکی دارای میکرو ساختار بینابینی میباشدند. این نوع ساختار دارای سختی کمتر و چقرمگی بیشتر نسبت به ساختار مارتنزیتی میباشد. این نوع ساجمه اولین ساجمه ای است که در صنعت بلاستینگ تولید و مصرف شده است.

جدول ۲: ترکیب شیمیایی ساجمه های کم کربن

عنصر	C	Si	Mn	P	S	Fe
درصد	۰/۰۹-۰/۱۴	۰/۰۱-۰/۱۸	۰/۵-۱/۵	≤ ۰/۵	≤ ۰/۵	Re

در شکل ۱ فرایند تولید این دو نوع ساجمه با هم مقایسه شده است. چنانکه مشاهده می شود روند تولید فرایند تولید ساجمه پرکربن با عملیات حرارتی سختکاری و تمپر همراه است که در مورد ساجمه کم کربن این مرحله تولید وجود ندارد. این عملیات خود یکی از دلایلی است که باعث می شود هزینه تمام شده ساجمه پرکربن بالاتر از کم کربن باشد. البته در تولید ساجمه کم کربن نیز باید از قراضه با کیفیت و کم کربن استفاده گردد که خود هزینه بر است.



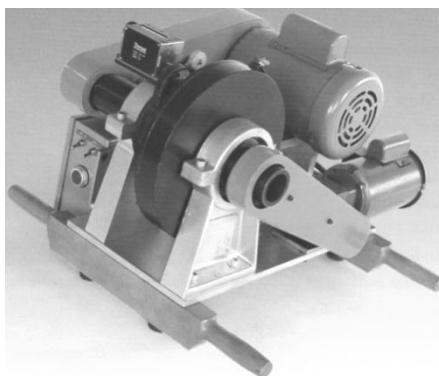
شکل ۱: مقایسه فرایندهای تولید ساچمه پر کربن و کم کربن

امروزه تولید کنندگان مختلف ساچمه های بنیاتی عمر بیشتر ساچمه های خود را در مقایسه با ساچمه های مارتنزیتی از مزایای اصلی ساچمه خود میدانند. قضاوت در مورد کیفیت یک ماده ساینده فلزی به پارامترهای متعددی ارتباط دارد، اما اصطلاح عمر ساچمه که بیشتر در مورد ساچمه های بنیاتی بدان اشاره می شود، از طریق آزمایشی بنام تست Ervin محاسبه می شود.

این تست یکی از روش های بررسی کیفیت مواد ساینده فلزی (خصوصاً ساچمه) از لحاظ طول عمر و شرایط کارکرد بوده و راهنمای خوبی در انتخاب مواد و بررسی کیفیت آن ها می باشد. لذا قبل از بیان برتری یک ساچمه بر دیگری، این تست باید معرفی گردد. شرایط و روش انجام این تست به شرح زیر میباشد:

تست اروین

تست اروین در دستگاهی به همین نام که اولین بار توسط دانشمندی به نام اروین ساخته شد انجام می گردد. از طریق این تست بررسی پارامتر عمر مواد ساینده قابل ارزیابی است که فاکتوری بسیار مهم در کیفیت مواد ساینده محسوب می گردد. این دستگاہ مشابه شکل ۲ کوچک و قابل حمل بوده و کار با آن نیز بسیار ساده می باشد.



شکل ۲: ماشین تست اروین

در طول انجام آزمایش توسط این ماشین، مواد ساینده فلزی توسط چرخ گردنده ویژه ای با دور موتور ۷۰۰۰ دور بر دقیقه (Rpm) پرتاب می شوند. این دور موتور و شرایط دستگاہ باعث می شود تا سرعت مواد ساینده به حدود ۷۰ متر بر ثانیه (معادل سرعت مواد در دستگاہ های شات بلاست) برسد و با این سرعت به سطح یک سندان چرخنده برخورد نمایند. پس از برخورد، مواد ساینده در قسمت زیرین دستگاہ جمع آوری شده و جهت استفاده مجدد به توربین بازگردانده می شوند. گردش مواد ساینده در حدود ۲۵ بار در هر دقیقه می باشد.

برای تعیین طول عمر ماده ساینده، مقدار ۱۰۰ گرم از آنرا داخل دستگاه استاندارد قرار داده و دستگاه بر روی ۵۰۰ دور گردش مواد تنظیم می گردد. پس از پایان ۵۰۰ دور، وزن موادی که اندازه آنها از حد استاندارد ریزتر شده اند اندازه گیری شده و به صورت درصد محاسبه می گردد. اندازه های استاندارد مشخص کننده ریز شدگی مواد ساینده در جدول شماره ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: اندازه های استاندارد مشخص کننده ریز شدگی مواد ساینده

سایز	اندازه ساچمه	سختی (راکول سی)	تعداد سیکل ها	قطر ساچمه ای که ریزتر از آن باید از سیستم حذف شود (اینچ)
				۰/۰۱۶۵
سایز	S390-S780	تا ۵۰ راکول سی	۵۰۰	۰/۰۱۱۷
	S170-S330	تا ۵۰ راکول سی	۵۰۰	۰/۰۱۱۷
	S170-S780	۵۰-۶۰ راکول سی	۲۵۰	۰/۰۱۱۷
	S170-S780	بالای ۶۰ راکول سی	۱۰۰	۰/۰۱۱۷
سایز	G12-G18	تا ۵۰ راکول سی	۵۰۰	۰/۰۱۶۵
	G25-G40	تا ۵۰ راکول سی	۵۰۰	۰/۰۱۱۷
	G12-G40	۵۰-۶۰ راکول سی	۲۵۰	۰/۰۱۱۷
	G12-G40	بالای ۶۰ راکول سی	۱۰۰	۰/۰۱۱۷

سپس معادل وزن مواد حذف شده، ماده ساینده جدید به دستگاه شارژ می شود و دوباره سیکل عملیات ۵۰۰ بار تکرار می گردد. این کار تا زمانی ادامه می یابد که میزان مواد حذف شده به $100 \pm 0/1$ گرم برسد. سپس بر اساس فرمول زیر عمر مواد ساینده تعیین می گردد.

$$\text{عمر ماده ساینده} = \left(100 - \text{جمع درصد مواد حذف شده} \right) \times \left(\frac{\text{تعداد سیکل در هر مرحله تست}}{\text{آخرین درصد ماده حذف شده \%}} \right) - \text{تعداد کل سیکل}$$

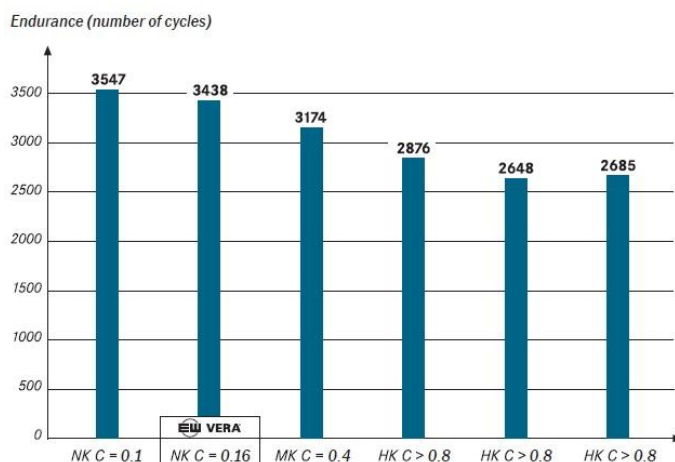
به عنوان مثال چنانچه اعداد به دست آمده برای ساچمه S460 با سختی ۵۰ - ۴۰ راکول سی در طی انجام تست مطابق با جدول ۴ باشد، عمر ساچمه مذکور به روش زیر به دست می آید:

جدول ۴: یک نمونه از نتایج آزمایش اروین بر روی ساچمه ۴۶۰

تعداد سیکل ها	درصد حذف مواد %	جمع درصد حذف مواد %
۵۰۰	۷	۷
۱۰۰۰	۱۶/۹	۲۳/۹
۱۵۰۰	۲۱/۵	۴۵/۴
۲۰۰۰	۲۱/۹	۶۷/۳
۲۵۰۰	۱۹/۶	۸۶/۹
۳۰۰۰	۱۷/۶	۱۰۴/۵

$$\Rightarrow \text{عمر} = 3000 - \left(\frac{500}{17.6} \right) (104.5 - 100) \Rightarrow \text{عمر ساچمه} = 2872$$

هرچه عدد مذکور بالاتر باشد نشاندهنده عمر کاری بالاتر ساچمه می باشد. این تست در واقع بیان کننده عمر خستگی مواد ساییده می باشد. آزمایشات مختلفی که بر روی ساچمه های فولادی انجام شده، نشان داده است که عمر ساچمه های فولادی کم کربن در تست اروین ۲۵ درصد بیشتر از ساچمه های فولادی پر کربن بوده است. شکل ۳ نتیجه حاصل از تست اروین انجام شده بر روی ساچمه های فولادی کم کربن، کربن متوسط و پر کربن تولیدی شرکتهای مختلف را نشان می دهد.



شکل ۳: نتایج آزمایش اروین بر روی ساچمه های فولادی کم کربن - کربن متوسط و پر کربن تولیدی شرکتهای مختلف

بررسی کیفی مواد ساییده و تاثیر آن بر سرعت تمیزکاری

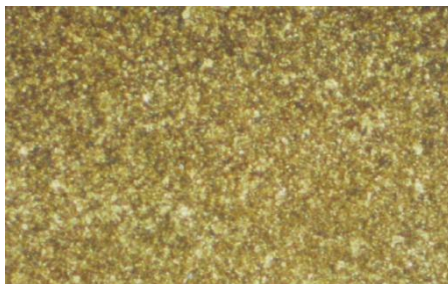
با توجه به ماهیت فرآیندهای تمیزکاری پاششی، کیفیت مواد ساییده نقش بسیار مهمی را در راندمان تمیزکاری بر عهده دارد. در انتخاب مواد ساییده به پارامترهای متعددی همچون: سختی، ریزساختار، عیوب فیزیکی (ترک، حفره گازی یا انقباضی)، ترکیب شیمیایی، اندازه و عمر خستگی مواد ساییده باید توجه نمود. از آنجا که بررسی این عوامل در مورد کلیه مواد ساییده در این مقاله امکان پذیر نمی باشد، لذا تنها به مقایسه دو نوع ساچمه کم کربن و پر کربن پرداخته می شود. براساس یک اصل کلی در صنعت بلاستینگ، ماده ساییده همیشه باید نسبت به قطعه ای که تمیزکاری می شود، دارای سختی بالاتر یا حداقل برابر باشد تا عملیات تمیزکاری درست انجام شود. یک ساچمه پس از پرتاب و برخورد ممکن است تبادلات انرژی بین خود و قطعه، یا بین خود و ساچمه های دیگر و یا بین خود و اجزای مختلف ماشین داشته باشد و لذا عدم تغییر شکل و یا شکست ساچمه از عواملی است که در انتخاب ساچمه با توجه به سختی قطعاتی که تمیزکاری می شوند، باید مد نظر قرار گیرد.

چنانچه ماده ساییده نرم باشد، بیشتر انرژی جنبشی آن صرف تغییر شکل خود ماده ساییده می شود (شکل ۴) و در نتیجه این انرژی هدر رفته و برای تمیزکاری استفاده نمی شود و باعث افزایش زمان فرآیند تمیزکاری و کاهش راندمان آن می شود. اما مواد خیلی سخت نیز با سرعت بیشتری شکسته و خرد می شوند. زیرا که هر چه سختی افزایش یابد، شکنندگی نیز افزایش یافته و درصد ریز شدن و خرد شدن بالا می رود. سختی باید به اندازه ای باشد که باعث تمیزکاری مؤثر بدون تغییر شکل خود ماده ساییده گردد.



شکل ۴: تغییر شکل ماده ساییده نرم در اثر برخورد با قطعه

سختی ساچمه های پر کربن پس از فرایند ریخته گری و سختکاری، به ۶۵-۶۷ راکول سی می رسد که با عملیات حرارتی بعدی که تمپر می باشد، می توان سختی آن را با توجه به نوع کاربرد و استاندارد موجود کاهش داده و در مقادیر مختلف تولید و کنترل نمود. ریزساختار نهایی این ساچمه پس از فرایند تولید مشابه شکل ۵ مارتنزیت تمپر شده می باشد.



شکل ۵: ریزساختار مارتنزیت تمپر شده در ساچمه های پر کربن

با توجه به نوع عملیات حرارتی (سرد شدن سریع از دمای بالا) و نیز وجود کربن بالا در ترکیب شیمیایی، احتمال وجود ترکیبهای میکرونی در ریزساختار این نوع ساچمه وجود دارد. این موضوع همراه با سختی بالای این نوع ساچمه، احتمال وقوع شکست و خرد شدن ساچمه را حین عملیات بلاستینگ افزایش می دهد. این موضوع دلیل اصلی کم بودن عمر ساچمه های مارتنزیتی در تست اروین می باشد.

اما بالاترین سختی قابل حصول در ساچمه های کم کربن پس از ریخته گری ۴۳-۴۵ راکول سی می باشد که در نتیجه تولید ریز ساختار بینایتی در ساچمه مذکور حاصل می شود. سختی این نوع ساچمه را نمی توان با عملیات حرارتی تغییر داد. به همین دلیل عملیات حرارتی خاصی بر روی آن انجام نمی گردد. ریز ساختار بینایتی این نوع ساچمه در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: ریزساختار بینایتی در ساچمه های کم کربن

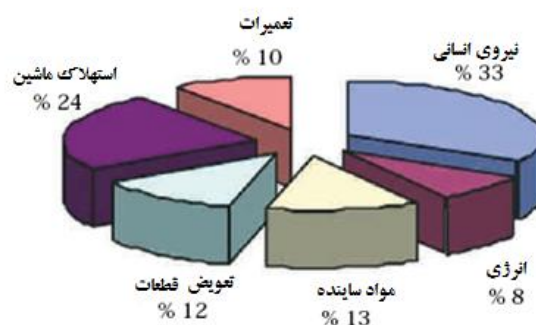
با توجه به موضوع فوق مشخص است که ساچمه کم کربن به دلیل کربن کم و نوع ریز ساختار خود، در مقایسه با ساچمه پر کربن دارای چقرمگی بیشتری است. در نتیجه پس از برخورد با قطعه یا سایر اجزای دستگاه، کمتر می شکنند و لذا در تست اروین دارای طول عمر بیشتری میباشد. علاوه بر آن وجود کربن کم در ترکیب شیمیایی ساچمه باعث کاهش احتمال تولید ترک های ریز در ساختار و سختی پایتتر می شود که این نوع ساچمه را مناسب جهت تمیز کاری قطعات فلزی غیر آهنی و قطعات با سختی پایین نیز می نماید.

اما همین ساختار بینایتی باعث می شود که در مقایسه با ساچمه پر کربن، ساچمه مذکور دارای سختی پایتتر و قابلیت تغییر شکل بیشتری باشد. این امر باعث می شود تا در حین برخورد ساچمه با قطعات، قسمتی از انرژی ساچمه، صرف تغییر شکل

خود ساچمه شود و در نتیجه انرژی کمتری از طریق آن به قطعات منتقل شود. لذا سرعت عملیات تمیزکاری کاهش یافته و زمان بیشتری برای تمیزکاری تعداد معینی قطعه مورد نیاز می باشد. اما چنانکه عنوان شد ساختار مارتنزیتی موجود در ساچمه های پرکربن باعث تولید سختی بالا و عدم تغییر شکل ساچمه در حین برخورد می گردد. این امر باعث می شود تا انرژی جنبشی بیشتری به قطعه منتقل گردد و در نتیجه سرعت تمیزکاری افزایش یابد. افزایش سرعت تمیزکاری منجر به کاهش زمان لازم برای تمیزکاری مقدار مشخصی قطعه میشود که در نتیجه منجر به صرفه اقتصادی بیشتر می شود. اگرچه احتمال شکست و خرد شدن در این نوع ساچمه بیشتر از ساچمه کم کربن می باشد و باعث کاهش عمر آن در تست اروین می شود، اما سرعت تمیزکاری بالای آن باعث شده که سریعاً جایگزین ساچمه های کم کربن گردد. به گونه ای که امروزه ۸۹ درصد بازار مصرف ساچمه در اختیار این نوع ساچمه است و تنها ۱۱ درصد بازار از ساچمه های کم کربن استفاده می نماید.

در حقیقت آنچه در مورد ساچمه و عملیات بلاستینگ مهم میباشد، مقدار مواد ساینده مصرفی و سرعت تمیز کاری در مقایسه با مقدار مواد تمیز شده میباشد که اصطلاحاً کیلوگرم ساچمه بر تن قطعه (یا سطح m^2 قطعه) میباشد و پارامتر بسیار مهمی در بررسی اقتصادی فرآیند بلاستینگ می باشد. هر چه این مقدار کمتر باشد فرایند مقرون به صرفه تر محسوب می گردد. اما آنچه در تست اروین محاسبه می گردد تنها میزان مصرف و خرد شدن و خارج شدن ساچمه ها از اندازه استاندارد در طول فرایند آزمایش می باشد. در این تست سرعت تمیز کنندگی ساچمه و زمان لازم جهت شات بلاست یک قطعه مشخص در نظر گرفته نمی شود.

اهمیت این امر زمانی آشکارتر می گردد که بدانید تنها ۱۳ درصد از کل هزینه های شات بلاست مربوط به قیمت ساچمه می باشد و بقیه این هزینه مربوط به استهلاک دستگاه، انرژی مصرفی، تعمیر و نگهداری، نیروی انسانی و تعویض قطعات مصرفی دستگاه می باشد. از آنجا که همه پارامترهای مذکور به زمان فرایند شات بلاست مرتبط می باشند، لذا با کاهش این زمان می توان صرف جویی قابل توجهی را در هزینه های شات بلاست ایجاد نمود. در شکل ۷ منحنی توزیع هزینه های فرایند شات بلاست توربینی نشان داده شده است.



شکل ۷: توزیع هزینه های شات بلاست

چنانکه عنوان شد انواع صنایع و خصوصاً صنایع ریخته گری وابستگی شدیدی به فرایند شات بلاست دارند و بدون این فرایند امکان تمیزکاری قطعات ریخته گری شده در ماسه عملاً غیر ممکن می گردد. در این میان حجم وسیعی از انواع فلزات آهنی و غیر آهنی از طریق ریخته گری در ماسه تولید می شوند. با توجه به دلایل ذکر شده فوق ساچمه های مارتنزیتی پرکربن در تمیزکاری انواع فلزات ریخته گری شده خصوصاً قطعات فولادی و چدنی نقش ویژه ای داشته و در مقایسه با

ساجمه های کم کربن بینایتی از قابلیت و سرعت بالاتری در امر تمیزکاری برخوردارند و به همین دلیل در صنعت از این ساجمه بیشتر استفاده می گردد.

نتیجه گیری:

با توجه به موارد ذکر شده می توان گفت که اگرچه تست اروین معیار مناسبی در بررسی عمر ساجمه محسوب می گردد. اما روش فوق بررسی کیفیت مواد از یک دیدگاه خاص می باشد و تنها بیان کننده طول عمر از لحاظ میزان ریز شدن می باشد و به تنهایی نمی تواند معیار مناسب یا نامناسب بودن یک ماده برای یک فرآیند خاص باشد. چنانچه فقط هدف بررسی عمر ماده ساینده تولیدی یک شرکت تولید کننده ساجمه باشد، استفاده از تست اروین به عنوان آزمون تعیین کیفیت ماده ساینده می تواند در امر کنترل کیفی محصول بسیار کمک کننده باشد. همچنین چنانکه هدف، انتخاب مواد با کیفیت بهتر از بین چندین تولید کننده یک محصول یکسان باشد، انجام این تست کیفی در انتخاب، یاریگر مناسبی می باشد. اما در مقایسه دو محصول مختلف (ساجمه های پرکربن و کم کربن) نمی توان این تست را مبنای برتری یک محصول بر دیگری دانست. در واقع برای یک مصرف کننده که نیاز به انتخاب یک ماده ساینده مناسب برای فرایند تولیدی خود دارد، قضاوت در مورد برتری یک نوع ساجمه بر نوع دیگر باید با توجه به کلیه پارامترهای ذکر شده که شامل نوع کاربرد، عمر ساجمه، سرعت تمیزکاری، میزان مصرف مواد ساینده بازاء وزن مشخصی از قطعات و نیز جنس قطعات صورت گیرد و بدون بررسی و در نظر گرفتن موارد مذکور بیان برتری بصورت کلی صحیح نمی باشد و چنان که عنوان شد ساجمه های پرکربن هم از لحاظ سرعت تمیزکاری و هم از لحاظ هزینه های اقتصادی فرایندها شات بلاست در بسیاری از موارد کاربرد بر ساجمه های کم کربن ترجیح داده می شوند.

منابع:

1. Timo Winkler, Bad Friedrichshall, "Blasting With Steel", Giesserei Journal, March 2006
 2. "Shot Blasting Machines Maintenance Manual", Technical Bulletin Of Umit Dokum Company
 3. I. Almen, "Shot Blasting To Increase Fatigue Resistance", SAE Journal (Transactions), Vol. 51
 4. "Shot Peening Application", Ninth Edition, Metal Improvement Company, 2005
 5. "The Ervin Test Machine" Technical Bulletin Of Ervin Company
۶. جواد قربانیان، عماد نیشابوری "مروری بر فرایندها شات پینینگ و کاربردهای آن در صنعت" مجله صنعت ریخته گری،

شماره ۷۲، آذر ۱۳۸۹