

مشکلات و چالش‌های موجود در آلیاژسازی مکانیکی

آلیاژسازی مکانیکی به عنوان یک روش موثر در تولید مواد نانویی، دارای معایب و مشکلاتی نیز می‌باشد. این مشکلات در سه گروه کلی آلودگی پودر، محدودیت‌های علمی و محدودیت‌های کاربردی خلاصه می‌شوند. در این بین آلودگی پودرها از اهمیت بیشتری برخوردار است. در این مقاله به بررسی انواع آلودگی‌هایی که در این سیستم‌ها پدید می‌آیند، پرداخته خواهد شد.

۱- مقدمه

آلیاژسازی مکانیکی روشی مناسب به منظور تهیه پودرهای مختلف و به ویژه نانوپودرها محسوب می‌شود. مهم‌ترین مزیت این روش قابلیت تولید پودر در مقیاس صنعتی است. اما علی‌رغم مزایا و کاربردهای آن، این روش با مشکلاتی نیز همراه است. این مشکلات در سه مورد کلی آلودگی پودر، محدودیت‌های علمی و محدودیت‌های کاربردی خلاصه می‌شوند. در این بین آلودگی پودر به عنوان جدی‌ترین مشکل مطرح است. زیرا به علت تاثیرگذاری آلودگی بر خواص محصول پودری، فرآیندهای بعدی و حتی مشخصات محصول نهایی تحت تاثیر قرار می‌گیرند. در حقیقت مساله آلودگی پودر حین آلیاژسازی مکانیکی باعث شده تا تولید برخی از پودرها با این روش ممکن نباشد. از آنجا که ممکن است به سبب این آلودگی‌ها خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی محصول پودری تهیه شده تحت تاثیر قرار گیرد، ارائه راهکارهایی جهت کاهش این پدیده از اهمیت خاصی برخوردار است.

یکی از مسایل مهم در فرآیند تهیه پودر به روش آلیاژسازی مکانیکی، نوع و مقدار ناخالصی‌هایی است که وارد پودر شده و آن را آلوده می‌کنند. از یک طرف اندازه ریز ذرات پودر و بنابراین سطح زیاد آنها و از طرف دیگر تشکیل مداوم سطوح تازه حین آسیاکاری در کنار ناخالصی وارد شده منجر به آلودگی پودر می‌شوند. در مجموع منابع ورود آلودگی شامل ناخالصی موجود در ترکیب پودر اولیه، اجزای در معرض سایش آسیاب (جداره داخلی محفظه و گلوله‌ها)، اتمسفر آسیاکاری و عوامل کنترل‌کننده فرآیند هستند.

معمولاً آلودگی ناشی از مواد اولیه به صورت عنصر جانشینی و یا بین‌نشینی است، این در حالی است که آلودگی وارد شده از آسیاب اساساً عنصر بین‌نشینی و آلودگی حاصل از اتمسفر آسیاب کاری عمدتاً به صورت عنصر جانشینی است. این در حالی است که کربنی که از سایش اجزای فولادی وارد شده به صورت ناخالصی بین‌نشینی است. در نهایت ناخالصی‌های وارد شده از عوامل کنترل‌کننده فرآیند نیز منجر به آلودگی از نوع بین‌نشینی می‌شود. حضور ناخالصی‌هایی از نوع بین‌نشینی مانند کربن، اکسیژن و نیتروژن برای فلزات فعالی مانند تیتانیم و زیرکونیم مضر است. مثلاً مقادیر قابل توجهی نیتروژن و اکسیژن (مقدار نیتروژن بیشتر از اکسیژن است) که حین آسیاب آلیاژهای تیتانیم و زیرکونیم وارد سیستم می‌شود، منجر به تغییر ترکیب آلیاژ می‌گردد. به طور کلی حداکثر مقدار ناخالصی مجاز بر اساس میکروساختار و خواص مکانیکی قابل قبول تعیین می‌شود. البته بایستی خاطر نشان شود که شستشوی نامناسب محفظه‌ای که قبلاً برای آسیاب کاری پودر به کار برده شده است، باعث می‌شود تا حین آسیاب کاری پودر جدید، آلودگی ناشی از پودر اولیه حاصل گردد.

۲- آلودگی ناشی از اجزای ساینده آسیاب

عناصر آهن و کروم از جمله آلودگی‌های رایج در پودر تهیه شده به روش آلیاژسازی مکانیکی هستند که از محفظه و گلوله‌ها به سیستم وارد می‌شوند. این موضوع بدین دلیل است که این عناصر در ترکیب شیمیایی اغلب این اجزا حضور دارند. در آلیاژسازی مکانیکی برخورد گلوله‌ها به ذرات پودر، دیواره محفظه و با یکدیگر، از یک طرف باعث جوش خوردن ذرات پودر به همدیگر شده و از طرف دیگر جوش خوردن ذرات با گلوله‌ها و جداره را نیز در پی دارد. طی مراحل بعدی در اثر برخوردهای با انرژی بالا و فرسایش، ذرات جوش خورده از روی سطح گلوله و دیواره شکسته و جدا می‌شوند. تکرار این عمل با انتقال اتم‌های جزء آلوده‌کننده از اجزای آسیاب به ذرات پودر همراه است. به عنوان مثال بررسی پارامتر شبکه پودر آلیاژی Ni-Al طی آلیاژسازی مکانیکی نشان می‌دهد که پس از تشکیل ترکیب Ni_3Al تغییرات مداوم پارامتر شبکه هم‌زمان با طولانی شدن فرآیند، ناشی از آلودگی وارد شده از اجزای آسیاب بوده و پس از ۱۲۰۰ دقیقه آسیاکاری این مساله حادث می‌شود. آنالیز EDX ذرات پودر نشان می‌دهد که آلودگی‌ها عمدتاً عناصر Fe و Cr بوده که از اجزای آسیاب وارد سیستم شده‌اند. معمولاً در اغلب پودرهای آسیاب شده با محیط ساینده فولادی ۱ تا ۴ درصد وزنی Fe دیده شده است. حتی در جای دیگر گزارش شده که بیش از ۲۰ درصد اتمی Fe در مخلوط W-C آسیاب شده به مدت ۳۱۰ ساعت و ۳۳ درصد اتمی Fe در W خالص آسیاب شده به مدت ۵۰ ساعت در آسیای SPEX8000 وارد شده است. به نظر می‌رسد که آلودگی ناشی از این منبع به خصوص در برخوردهای با شدت زیاد و زمان‌های طولانی آسیاکاری اجتناب‌ناپذیر است. روش‌هایی که معمولاً برای کاهش این مساله به کار می‌روند عبارتند از:

۱- از گلوله و محفظه با سختی بالاتر استفاده شود. مثلاً علت وجود مقادیر زیاد آهن در پودر حاوی تنگستن، نرم‌تر بودن محفظه و گلوله‌های فولادی نسبت به تنگستن می‌باشد. به عنوان راه‌حل، استفاده از گلوله و محفظه با جنس کاربید تنگستن و یا کوراندوم پیشنهاد شده است. البته از آنجا که اجزای سرامیکی عموماً رفتار ضعیفی در برابر ضربه از خود نشان می‌دهند، کاربرد آنها بایستی با شدت آسیاکاری کم‌تر همراه باشد.

۲- گلوله و محفظه از ترکیب شیمیایی مشابه با مخلوط پودری مورد بررسی انتخاب شوند. مثلاً پیشنهاد شده که برای آسیاکاری مس و آلیاژهای آن از محفظه و گلوله‌های مسی استفاده گردد. علی‌رغم اینکه در این حالت آلودگی وجود ندارد، اما به هر حال احتمال سایش وجود دارد. بنابراین ترکیب شیمیایی پودر نهایی با پودر اولیه متفاوت خواهد بود. اما از یک طرف عدم دسترسی به محفظه و گلوله‌هایی با جنس خاص و از طرف دیگر گستردگی روز افزون مواد مانند فلزات، آلیاژها، سرامیک‌ها، پلیمرها و کامپوزیت‌ها این مساله را جدی‌تر نموده است. زیرا تهیه گلوله و محفظه از جنس‌های مختلف امری غیر ممکن است.

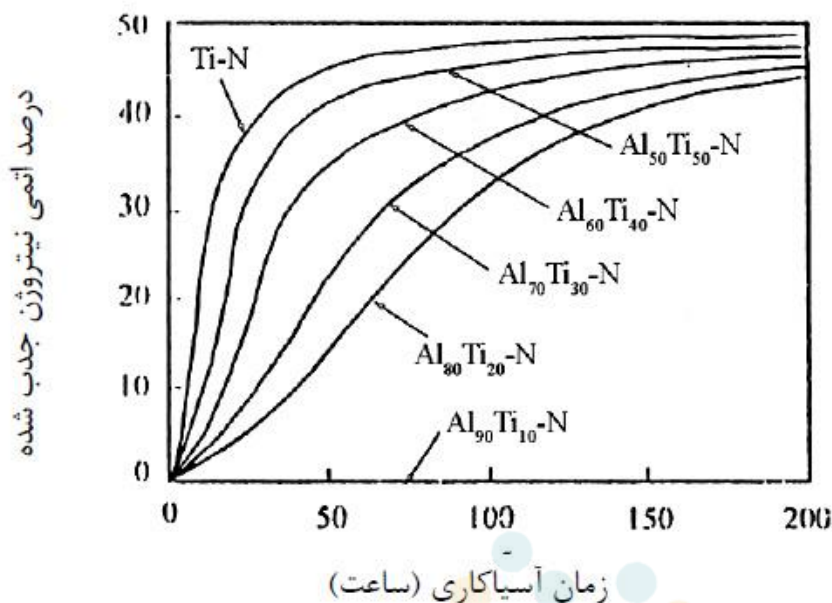
۳- فراهم نمودن شرایطی که امکان جوش خوردن پودر با گلوله‌ها و جداره بیشتر شود، زیرا در این صورت اجزا با مخلوط پودری پوشش داده می‌شوند. بدین منظور در صورت عدم دسترسی به محفظه از جنس مشابه پودری که آسیا می‌شود، ایجاد پوششی نازک روی سطح داخلی محفظه و روی گلوله‌ها نیز به کاهش مساله آلودگی کمک می‌کند. به عنوان نمونه دیده شده است که آهن ورودی به آلیاژ Ta-Al با افزایش هر مرحله از آسیاکاری کاهش می‌یابد. روش پیشنهادی در عمل به این صورت است که در مرحله اول پودر مورد نظر را آسیا نموده تا دیواره داخلی محفظه و گلوله‌ها پوشش داده شوند. سپس پودر بدست آمده را دور ریخته و آسیاکاری از ابتدا شروع شود. با تکرار این عمل آلودگی ناشی از محفظه و گلوله‌ها به حداقل می‌رسد.

به طور کلی افزایش نسبت وزنی گلوله به پودر و سرعت آسیاکاری که معادل با افزایش انرژی آسیا است، باعث افزایش مقدار ناخالصی‌های ناشی از اجزای ساینده می‌شود. افزایش نسبت وزنی گلوله به پودر بایستی تا حدی در نظر گرفته شود که آلودگی به حداقل مقدار برسد .

۳- آلودگی ناشی از اتمسفر آسیاکاری

آلودگی ناشی از اتمسفر آسیاکاری نیز امری جدی بوده و در برخی موارد عامل اصلی آلودگی است. هرچند به طور معمول از اتمسفر گازهای خنثی مانند آرگون، نیتروژن و هلیوم برای جلوگیری از اکسیداسیون استفاده می‌شود، اما امکان واکنش خود آنها با مخلوط پودری وجود دارد. به عنوان مثال مقادیر زیادی از اکسیژن (حدود ۴۴,۸ درصد اتمی) پس از آسیاکاری پودر Al-6Ti به مدت ۱۳۰۰ ساعت در آسیای کم انرژی گزارش شده است .

به طور کلی بایستی از کاربرد اتمسفر نیتروژن در آسیاب کاری پودرهای با میل زیاد به تشکیل نیتريد، اجتناب نمود. به عنوان مثال آسیاکاری مخلوط Ti و Al تحت اتمسفر نیتروژن باعث جذب نیتروژن توسط مخلوط پودری شده است. در این مورد دیده شده که پس از رسیدن مقدار نیتروژن به حدود ۵۰ درصد اتمی یک حالت اشباع پدید می‌آید. اما از طرف دیگر با افزایش Al در ترکیب به بیش از ۵۰ درصد اتمی، جذب نیتروژن به شدت کاهش می‌یابد. این مطلب در شکل ۱ نشان داده شده است .



شکل ۱- میزان جذب نیتروژن در مخلوط Ti-Al بر حسب زمان آسیاب کاری.

علاوه بر این اگر محفظه به طور کامل آب بندی نشده باشد، اتمسفر اطراف محفظه که معمولاً هوا است (عمدتاً حاوی نیتروژن و اکسیژن)، درون محفظه نفوذ کرده و آلودگی پودر را سبب می‌شود. از موارد معمول در این بخش تشکیل فازهایی با ساختار مکعبی در آلیاژهای تیتانیوم پس از زمان‌های طولانی آسیاکاری ناشی از تشکیل نیتريد تیتانیوم است. در این گونه موارد حتی شستشوی با گاز آرگون نیز قادر به حذف اکسیژن و نیتروژن سطوح درونی نیست. عدم آب بندی مناسب و در نتیجه تشکیل و افزایش ناخالصی‌ها، منجر به کاهش فشار درون محفظه می‌شود و به دنبال آن نفوذ مداوم اتمسفر بیرون به داخل محفظه صورت می‌گیرد. بنابراین اگر در عمل به سبب خلاء درونی ایجاد شده باز نمودن درب محفظه مشکل باشد، نتیجه منطقی آن است که آلودگی پودر به حداقل رسیده است. آب بندی با واشر از جنس تفلون روشی مفید برای ممانعت از نفوذ هوا به داخل محفظه است. از جمله راه کارهای دیگر برای کاهش آلودگی اکسیژن، مجهز نمودن آسیاب سایشی به سیستم خلاء مداوم با استفاده از یک پمپ خلاء و ورود مداوم گاز آرگون به سیستم است.

یکی از روش‌های کاهش آلودگی ناشی از اتمسفر محیط اطراف، پر کردن، خالی کردن و نمونه برداری از آسیاب در محفظه‌هایی با اتمسفر کنترل شده است. در شکل ۲ تصویری از یک نوع محفظه مجهز به دستکش (Glove Box) دیده می‌شود. قبل از نمونه برداری از پودر محفظه چندین مرتبه خلاء و سپس با گاز آرگون پر شده تا از عدم ورود هوا اطمینان حاصل شود.



شکل ۲- تصویری از یک نمونه محفظه مجهز به دستکش به منظور کاهش آلودگی ناشی از هوای اطراف.

۴- آلودگی ناشی از عوامل کنترل کننده فرآیند

ممکن است آلودگی ناشی از عوامل کنترل کننده فرآیند شایع تر از همه موارد باشد. از آنجا که اغلب این عوامل ترکیبات آلی با نقطه ذوب و جوش پایین هستند، به سبب گرمای ایجاد شده حین آسیاب کاری تجزیه می شوند. از طرف دیگر شکست و جوش سرد پی در پی نیز باعث تشکیل ذرات پودر بسیار ریز می شود. به سبب سطح به حجم بالا در این وضعیت، انرژی سطحی ذرات پودر با سپری شدن زمان آسیاب کاری افزایش می یابد. سطوح جدید ایجاد شده به دنبال فرآیند شکست نفوذ را ترغیب می کنند. البته در مقایسه با کربن و اکسیژن نرخ نفوذ هیدروژن بسیار بالاتر است. در جدول ۱ مقدار هیدروژن، اکسیژن و کربن پس از تجزیه عوامل مختلف کنترل کننده فرآیند آمده است. محصولات ناشی از تجزیه شامل کربن، اکسیژن و هیدروژن بوده که با اتم های فلزی تشکیل کاربیدها، اکسیدها، نیتريد ها و سایر ترکیبات را می دهند. برای مثال تشکیل ترکیب های هیدریدی در آلیاژسازی مکانیکی Al-Zn بیانگر تجزیه این عوامل است. از طرفی آلودگی هایی مانند Fe_3O_4 و Fe_3C حین آسیاب کاری پودر Cu-Fe به همراه اتانول به عنوان عامل کنترل کننده فرآیند، دلیلی بر تجزیه این عوامل حین آسیاب کاری است. بر اساس تحقیقات صورت گرفته در ارتباط با تاثیر چندین عامل کنترل کننده فرآیند بر مقدار آهن و سایر آلودگی های بین نشینی در پودر Ti-48Al-2W، ملاحظه شده است که انتخاب عامل مناسب حتی سبب کاهش آلودگی نیز می شود. مثلا انتخاب اتانول در این مورد باعث کاهش آلودگی شده است. زیرا از جوش خوردن ذرات با جداره و گلوله ها می کاهد.

جدول ۱- مقادیر هیدروژن، اکسیژن و کربن حاصل از تجزیه عوامل مختلف کنترل کننده فرآیند (به ازای هر گرم).

نام ترکیب	فرمول شیمیایی	H ₂ (%)	O ₂ (%)	C (%)
اسید استناریک	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ CO ₂ H	۱۳	۱۱	۷۶
هپتان	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH ₃	۱۶	۰	۸۴
استات اتیل	CH ₃ CO ₂ C ₂ H ₅	۹	۳۶	۵۵
بیدی استنارامید اتیلن	C ₂ H ₂₋₂ (C ₁₈ H ₃₆ ON)	۱۳	۵	۷۷
دودکان	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ CH ₃	۱۵	۰	۸۵
هگزان	C ₆ H ₁₄	۱۶	۰	۸۴
الکل متیلیک (متانول)	CH ₃ OH	۱۳	۵۰	۳۷
الکل اتیلیک (اتانول)	C ₂ H ₅ OH	۱۳	۳۵	۵۲

علاوه بر این کربن حاصل از تجزیه عوامل کنترل کننده فرآیند نیز در پودر باقی مانده و امکان تشکیل برخی از کاربیدها وجود دارد. در پایان لازم به ذکر است که در صورت امکان عدم استفاده از عوامل کنترل کننده مناسب تر است. از جنبه تاثیر نوع آسیا بر میزان آلودگی تاکنون مطالعه اصولی صورت نگرفته است. اما از آنجا که عامل اصلی در ورود آلودگی ناشی از اجزای آسیاب همان برخوردهای صورت گرفته است، بنابراین نوع آسیاب بر مقدار آلودگی تاثیر دارد. بر اساس بررسی انجام گرفته به منظور تولید پودر غیربلوری Al₃₀Ta₇₀ با استفاده از دو نوع آسیاب میله‌ای و گلوله‌ای، در نهایت مشخص شده است که آلودگی آهن ورودی به سیستم در آسیاب میله‌ای کم تر از آسیاب گلوله‌ای بوده است. علت نیز به برخورد میله‌ها تنها به صورت طولی در آسیاب میله‌ای بر می‌گردد. همچنین تاثیر تکرار فرآیند نیز نشان داده شده است. به طوری که در ابتدای مرحله جداره داخلی محفظه توسط آسیاب کاری پوشش داده شده است. اما پس از مرحله اول از محفظه‌ای استفاده می‌شود که در حقیقت پوشش داده شده است. بنابراین کاهش شدیدی در مقدار آلودگی آهن از مرحله اول به سوم دیده می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی آلودگی‌هایی فرآیند آسیاب کاری پرداخته شد. ملاحظه می‌شود که شرایط فرآیند مانند نوع آسیاب، شدت آسیاب کاری، ترکیب پودر، جنس اجزای ساینده و محفظه، اتمسفر آسیاب کاری، عوامل کنترل کننده فرآیند، نسبت وزنی گلوله به پودر و کنترل آب‌بندی میزان آلودگی را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

منابع و مراجع

۱. ابوالقاسم عطائی، سعید شیبانی، غلامرضا خیاطی، سعید اسدی کوهنجان، آلیاژسازی و فعال سازی مکانیکی، فناوری تهیه نانومواد، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تهران.

