

متالورژی چیست ؟

علم شناخت، استخراج و هنر کار روی فلزات را متالورژی می‌گویند. این علم جداسازی مواد معدنی از سنگ معدن، ذوب، تصفیه و تولید شمش، بهبود خواص و تهیه آلیاژها و فن کار بر روی فلزات و شکل دادن آنها را دربر می‌گیرد.

مقدمه از زمانی که انسان فلز را شناخت، متالورژی را به عنوان یک هنر فرا گرفت. صنعت متالورژی از دیر باز در جهان به عنوان یک صنعت مادر شناخته شده و با پیشرفت های روز افزون تکنولوژی نقش آن آشکار می‌گردد. تحقیقات باستان شناسی نشان می‌دهند که اولین اقوامی که موفق به کشف و استفاده از آن شدند، ساکنان فلات ایران بودند. با در نظر گرفتن این سابقه کهن، همچنین نقش روز افزون فلزات در زندگی بشر و وجود معادن غنی متعدد در ایران، شایسته است که دست اندرکاران صنعت متالورژی در شناسایی این رشته و افزایش آگاهی عمومی در این زمینه کوشا باشند.

تاریخچه دوره فلزات بعد از عصر حجر و از حدود هفت هزار سال قبل از هجرت آغاز شده است. شاید مس اولین فلزی است که بطور خالص و طبیعی و جدا از مواد معدنی مورد استفاده بشر قرار گرفته است. انواع سنگهای مس از ظاهری فلزی با رنگهای مختلف مانند نیلی، لاجوردی، سبز، طلایی و سرخ برخوردار می‌باشند. این امر می‌تواند یکی از عوامل توجه بشر اولیه به ترکیبات حاوی مس باشد.

برخی معتقدند که گویا اولین بار ذرات طلا که در کنار ماسه‌های کنار رودخانه‌ها پراکنده بودند، توسط بشر شناسایی شدند. مصریان و شاید هندیان بیشتر از سایر ملل در استخراج طلا از سنگهای آن توفیق داشتند، اما در ایران از دوره هخامنشی، آثار متعددی از طلا و نقره خصوصا در کنار رود جیحون و در شهر همدان کشف شده است. با گذشت زمان فلزات دیگری مانند نقره، سرب، آنتیموان و قلع نیز کشف شدند و بشر توانست با استفاده از آتش، ذوب فلزات را تجربه نموده و آلیاژهای مختلف را بدست آورد. به عنوان مثال از مخلوط کردن قلع و مس، مفرغ بدست آمد و به این ترتیب عصر مفرغ شروع شد.

روشهای تولید مصنوعات فلزی ریخته‌گری ریخته‌گری عبارت از شکل دادن فلزات و آلیاژها از طریق ذوب، ریختن مذاب در محفظه‌ای بنام قالب و آنگاه سرد کردن و انجماد آن مطابق شکل محفظه قالب می‌باشد. این روش قدیمی‌ترین فرآیند شناخته شده برای بدست آوردن شکل مطلوب فلزات است. اولین کوره‌های ریخته‌گری از خاک رس ساخته شده که لایه‌هایی از مس و چوب به تناوب در آن چیده شده است و برای هوا دادن از فوتک بزرگی استفاده می‌کردند.

متالورژی پودر چیست ؟

متالورژی پودر روشی برای ساخت و تولید قطعات فلزی و سرامیک است که اساس آن بر فشردن پودر مواد به شکل مورد نظر و تف‌جوشی آن است. تف جوشی در درجه حرارتی زیر نقطه ذوب صورت می‌پذیرد.

متالورژی پودر شیوه‌ای نوین برای شکل دهی فلزات است و از جمله قابلیت‌های آن تبدیل مستقیم پودر به قطعات دارای شکل و ابعاد نهایی است. نگرش متالورژی پودر به قطعه‌سازی با روش های سنتی تولید قطعات متفاوت بوده و در این تکنولوژی توزیع فازها و ریزساختارها قابل کنترل می‌باشد. دامنه استفاده از متالورژی پودر بسیار گسترده بوده و در این رابطه کافی است به زمینه‌هایی چون تولید رشته‌های لامپ، پوشهای خود روانساز، متعلقات گیربکس اتومبیل، اتصالات الکتریکی، المانهای سوخت نیروگاههای هسته‌ای، اجزاء ترمیمی ارتوپدی، صافی‌های دما بالا، مواد ضدسایش، اشاره شود. فعالیتهای متالورژی پودر را می‌توان به بخشهای زیر تقسیم کرد.

بخش اول: به نام تکنولوژی پودر از آن یاد می‌شود، پودر موردنیاز (دانه‌های ریز یک جامد که بزرگترین بعد آنها کمتر از میلیمتر ۱ است) فراوری می‌شود که شامل تولید، طبقه‌بندی، تعیین خواص متالوژیکی و بسته‌بندی.

بخش دوم: فعالیتهای شکل‌دهی، مانند فشردن، تفت جوش، آهنگری و نورد و ستیزه کردن روی پودر صورت می‌گیرد که باعث می‌شود پودرهای فلزی در لایه‌های سطحی خود به یکدیگر جوش خورده و شکل قالب را به خود بگیرند.

ریخته‌گری دقیق به تکنیک‌های ریخته‌گری اطلاق می‌شود که در آنها سعی می‌شود قطعات دقیق توسط ریخته‌گری تکمیل شوند و پس از ریخته‌گری قطعه کامل با دقت و تلرانسهای لازم تولید شود و نیاز به عملیاتیهای تکمیلی مانند سنگ‌زنی و تراشکاری نمی‌باشد مهمترین نیاز ریخته‌گری دقیق تولید قالب، با دقت بالا و انبساط حرارتی کم و سطح پرداخت و انتقال حرارت مناسب می‌باشد. از جمله کاربردهای ریخته‌گری دقیق نمونه‌سازی سریع می‌باشد که تکنیک‌های سریع و پیشرفته‌ای را برای تولید قالب موردنیاز از طرح بکار می‌برند.

متالورژی پودر روشی برای ساخت و تولید قطعات فلزی و سرامیک است که اساس آن بر فشردن پودر مواد به شکل مورد نظر و تف‌جوشی آن است. تف‌جوشی در درجه حرارتی زیر نقطه ذوب صورت می‌پذیرد.

متالورژی پودر بخشی کوچک ولی بسیار مهم از صنایع فلز‌گری می‌باشد. اولین کاربرد متالورژی پودر برای تولید پلاتین با دانسیته کامل بود که در قرن ۱۹ میلادی صورت گرفت چون در آن زمان امکان ذوب پلاتین به دلیل نقطه ذوب بالا وجود نداشت. در اوایل قرن بیستم فلزهای دیر گدازی مانند تنگستن، مولیبدن توسط روش متالورژی پودر شکل داده شدند. کاربردهای سمانیت و یاتاقانهای برنزی متخلخل نسل بعدی قطعات متالورژی پودر بودند. به این صورت قطعات متالورژی پودر در انواع صنایع مانند لوازم خانگی، اسباب بازی سازی و الکترونیک کاربرد پیدا نمود. آخرین کاربردهای قطعات متالورژی پودر در صنایع خودرو سازی می‌بود که موازی با رشد صنایع اتومبیل سازی رشد نمود به صورتی که امروزه بقای صنعت متالورژی پودر در کشورهای صنعتی بسیار وابسته به صنعت خودرو سازی می‌باشد.

فن آوری متالورژی پودر در تولید مواد مرکب، امکان ساخت محصولاتی از مواد ویژه و سنتی را در طیف وسیع از خواص با بالاترین کیفیت فراهم ساخته است. با وجود تمامی مزیت‌های متالورژی پودر محدودیت این روش در اندازه و شکل قطعات تولیدی و هم چنین گران بودن ابزار و تجهیزات تولید که ظرفیت‌های تولید کم را غیر اقتصادی می‌نماید.

نقاط ضعف این فن آوری :

در رقابت با دیگر فرآیندهای تولید است. توجیه استفاده از روش متالورژی پودر بر اساس تیراژ تولید می‌باشد. این امر در استفاده از متالورژی پودر در صنایع اتومبیل سازی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با وجود اینکه از نظر تاریخی متالورژی پودر از قدیمی‌ترین روش‌های شکل دادن فلزات است، اما تولید در مقیاس تجارتي با این روش، از جدیدترین راه‌های تولید قطعات فلزی است. در دوران باستان از روش‌های متالورژی پودر برای شکل دادن فلزاتی با نقطه ذوب بالاتر از آنچه در آن زمان داشتند، استفاده می‌شد. اولین بار در اوایل قرن نوزدهم بود که پودر فلزات با روشی مشابه آنچه امروزه بکار می‌رود، با متراکم نمودن به صورت یکپارچه در آورده شد.

متالورژی پودر فرایند قالب گیری قطعات فلزی از پودر فلز توسط اعمال فشارهای بالا می‌باشد. پس از عمل فشردن و تراکم پودرهای فلزی، عمل تف جوشی در دمای بالا در یک اتمسفر کنترل شده، انجام پذیرفته که در آن فلز متراکم، جوش خورده و به صورت ساختمان همگن محکمی پیوند می‌خورد. با توجه به گفته‌های بالا تکنیک برتر در متالورژی پودر از mim میتوان نام برد. در روش MIM قطعاتی که تحت اعمال فشار شکل پذیر نیستند، به صورت تزریق پودر و پلیمر شکل می‌گیرند. متالورژی پودر، فرایند قالبگیری قطعات فلزی توسط فشارهای بالا برای تولید دقیقتر و سریع اشکال می‌باشد.

پس از تراکم پودرهای فلزی عمل زینترکردن در دمای بالا در یک کوره با اتمسفر (فشار) کنترل شده انجام می‌شود که در آن فلز متراکم جوش خورده و در حالت جامد به صورت ساختمان همگن محکمی به هم پیوند می‌خورد. خواص فیزیکی ماده متراکم زینتر شده شبیه به خواص فلز سازنده اصلی است. عمل زینتر کردن معمولاً در حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد نقطه ذوب پودر فلزات تشکیل دهنده قطعه انجام می‌گیرد تا امکان چسبیدن ذره‌ها در امتداد فصل مشترکشان وجود داشته باشد. تراکم پودر به وسیله پرس کردن همزمان سنبه‌های بالایی و پایینی، تحت فشارهایی در حدود 24218 kg/cm انجام می‌شود.

صنعت متالورژی پودر :

متالورژی پودر P/M یک روش بسیار پیشرفته برای تولید قطعات آهنی و غیرآهنی با قابلیت اعتماد بالاست. با مخلوط کردن پودرهای عناصر و یا آلیاژهای مختلف و سپس فشردن آنها در یک قالب بوسیله پرس، شکل نهایی قطعه بدست می‌آید. در مرحله بعد، این قطعه خام در یک کوره مخصوص با اتمسفر کنترل شونده گرما داده می‌شود (یا به اصطلاح سینتر می‌شود) و به این ترتیب ذرات پودر به هم می‌چسبند. از

آنجا که در این فرآیند هیچ براده ای تولید نمی شود، در قطعه نهایی بیش از ۹۷٪ مواد خام اولیه مورد استفاده قرار می گیرد. به همین خاطر در متالورژی پودر صرفه جویی زیادی در مصرف انرژی و مواد اولیه صورت می گیرد. فرآیند متالورژی پودر یک فرآیند کم هزینه در تولید قطعات ساده و یا پیچیده در تعداد چندصدتایی تا چندهزارتایی در ساعت، با ابعادی با دقت بالاست.

در نتیجه در بدترین حالت، یک فرآیند ماشینکاری جزئی بر روی قطعه مورد احتیاج است. همچنین قطعات تولید شده ممکن است تحت عملیات سایزینگ (Sizing) برای دقیق تر کردن ابعاد و کوینینگ (Coining) برای دقیق تر کردن ابعاد، افزایش چگالی و استحکام قطعه قرار بگیرد. بیشتر قطعات تولید شده بوسیله متالورژی پودر کمتر از ۲,۳ کیلوگرم (۵ پوند) وزن دارند، اگرچه می توان قطعاتی با وزن ۱۶ کیلوگرم (۳۵ پوند) را هم بوسیله ماشین آلات متعارف متالورژی پودر تولید کرد. بسیاری از قطعات اولیه ای که بوسیله متالورژی پودر تولید می شدند، مانند بوش ها و یاتاقان ها، شکل های ساده ای داشتند، اما امروزه به دلایل اقتصادی بیشتر قطعات چند سطحی و با کانتورهای پیچیده به کمک فرآیند متالورژی پودر تولید می شوند.

تاریخچه متالورژی پودر :

تولید قطعات با پودر به بیش از پنج هزار سال پیش می رسد، هم اکنون ستون آهنی با وزنی حدود شش تن در شهر دهلی هندوستان وجود دارد که در هزار و ششصد سال پیش به همین طریقه (متالورژی پودر) تهیه شده است.

در اواخر قرن هیجدهم ولاستون کشف کرد که می توان پودر فلز پلاتین را (که در طبیعت به صورت آزاد شناخته شده بود) پس از تراکم و حرارت دادن، در حالت گرم با چکش کاری به بلوک تبدیل کرد. ولاستون جزییات متد خود را در سال ۱۸۲۹، منتشر کرد و اهمیت فاکتورهای نظیر اندازه دانه ها، متراکم کردن پودر با وزن مخصوص بالا و اکتیویته سطحی و غیره ... را توضیح داد. همزمان با ولاستون و به طور جداگانه متالورژیست برجسته روسی پیوتر زابولفسکی در سال ۱۸۲۶، از این روش برای ساختن سکه ها و نشان ها از جنس پلاتین، استفاده کرد.

در نیمه قرن نوزدهم، متخصصین متالورژی به روش های ذوب فلزات با نقطه ذوب بالا دست یافتند و همین مساله باعث شد که مجددا استفاده از متالورژی پودر محدود شود هر چند تقاضا برای تولید قطعاتی مانند تنگستن از طریق متالورژی پودر ادامه یافت.

یکی از دلایل توسعه متالورژی پودر این است که در روش متالورژی پودر فلز تلف شده به مراتب کمتر از سایر روش ها است و حتی می توان گفت وجود ندارد. در این مورد هر یک کیلوگرم محصول ساخته شده با متالورژی پودر، معادل است با سایر روشهای شکل دادن نظیر برش و تراشکاری، چون در روش هایی نظیر تراشکاری مقادیر متنابهی از فلز به صورت براده در می آید که تقریباً غیر قابل استفاده است. به علاوه یک

کیلو گرم از بعضی از مواد ساخته شده با روش های متالورژی پودر می تواند کار ده ها کیلو گرم فولاد آلیاژی ابزار را انجام دهد .

متالورژی پودر چیست ؟

در حال حاضر، متالورژی پودر بیشتر در مواردی مورد استفاده قرار می گیرد که در ساختن محصولات با کیفیت عالی از مواد مناسب ، تقریبا کلیه روشهای دیگر غیر ممکن باشند. البته در مواردی مثل ساختن رشته های مقاومت خیلی کوچک لامپ که باید از تنگستن خیلی سخت (نقطه ذوب ۳۴۰۰ درجه سانتیگراد) درست شوند روشهایی نظیر تراشکاری ، کشیدن سیم و یا نورد غیر قابل استفاده اند و منحصرا باید از روش متالورژی پودر استفاده کرد . به علاوه ، برای تهیه آلیاژ هایی از دو فلز که نقطه ذوبشان با یکدیگر تفاوت زیاد دارند (مثل مس و تنگستن) ، بهترین راه عملی روش متالورژی پودر است. همین طور از این روش زیاد برای موادی که از یک فلز و یک غیر فلز نظیر الماس تهیه می شوند استفاده می شود . به طور کلی با توجه به موارد فوق بر حسب هزینه و سختی کار ، تکنیک متالورژی پودر به طور موفقیت آمیزی با روش های دیگر تولید ، می تواند رقابت کند . مثلا ، برای ساختن یک چرخ دنده فولادی از طریق تراشکاری ، یک کارگر ماهر باید در حدود ۳۰ ساعت کار کند در صورتی که یک کارگر نیمه ماهر می تواند این چرخ دنده را با روش متالورژی پودر ، در کمتر از ۱۰ ساعت تهیه کند . همچنین دقت ابعاد و سطح قطعات ساخته شده با این روش آن قدر عالی و بدون نقص است که هیچ گونه کار اضافی دیگر روی قطعه ضرورت پیدا نمی کند و بالاخره، سرمایه گذاری برای صنعت متالورژی پودر به مراتب کمتر از سرمایه گذاری برای روشهای کلاسیک ساخت قطعات است زیرا برای درهم جوشی درجه حرارت لازم بسیار کمتر از درجه حرارت ذوب فلزات است و در نتیجه کوره های مورد احتیاج به مراتب ارزانتر اند .

متالورژی پودر رابطه نزدیکی با مهندسی برق نیز دارد ، مثلا ، رشته های نازک مقاومت و الکترودهایی که در لامپ دیده می شوند و نیز لوله های تولید اشعه X که تماما از جنس فلزاتی نظیر تنگستن ، مولیبدن و یا تانتال اند با این تکنیک تولید می شوند. در سالهای اخیر، ابزارهای ساخته شده از سرمت (فلز- سرامیک) هم توسعه زیادی پیدا کرده اند و در کارهای ماشینی تغییرات اساسی داده اند به طوری که سرعت برش ده برابر قبل افزایش یافته است و همچنین مته ها و ابزارهای حفاری که از جنس فلزات سخت اند و به طریق متالورژی پودر تهیه می شوند میزان حفاری چاهها را در معادن فوق العاده افزایش داده اند . البته باید توجه داشت که بدون این تکنیک تقریبا جدید ، امکان ندارد که ابزار هایی را که از جنس سرمت و یا فلزات سخت (از کاربیدهایی با نقطه ذوب بالا) ساخت ، چون کاربید تیتانیوم که جزء تشکیل دهنده معمول در اغلب ابزار های برشی است ، نقطه ذوبی حدود ۳۱۵۰ درجه سانتی گراد دارد و اجزای تشکیل دهنده دیگر هم ، نظیر کاربید زیر کونیم و نیوبیوم در ۳۵۰۰ درجه سانتیگراد و بالاخره کاربید تانتا در ۳۳۸۰ درجه سانتیگراد ذوب می شوند .

علاوه بر ابزارهای برش، تکنیک متالورژی پودر قادر است ابزارهای سوراخ کننده، حدیده های کشش سیم و وسایل مشابه دیگر را نیز تولید کند. و در کلیه این موارد هم، این گونه ابزارها کار خود را به خوبی انجام می دهند. به عنوان مثال یک قالب از جنس سرمت که برای ساختن تیغ به کار می رود در حدود دو هزار میلیون دفعه مورد استفاده قرار می گیرد، در حالی که برای همین منظور یک قالب فولادی معمولی بعد از پانزده میلیون دفعه پرس باید تعویض شود. به همین ترتیب عمر غلطک های نوردی که از فلزات سخت ساخته می شوند، در حدود صد مرتبه بیش از غلطک ایی است که از فولادهای نرم ساخته می شوند. بالاخره، با یک حدیده کشش سیم از جنس فولاد، تا فرسودگی کامل، به طور متوسط می توان هشتاد کیلو گرم سیم آهن تولید کرد، در حالی که همین حدیده اگر از جنس کاربید های زینتر شده، باشد قدرت تولیدی را معادل با ۵۰ تن سیم می یابد که در حدود شش صد مرتبه بیش از اول است.

باز برای مثال یک موتور جت را (که حال حاضر رکن اصل هواپیماهای مدرن است) در نظر بگیریم، اولین چیزی که جلب توجه می کند این است که باظهور آن، سرعت هوانوردی به دو برابر افزایش یافته است. نحوه کار این موتورها بر اساس مکش هوا از جلو و احتراق آن با سوخت در محفظه احتراق و خروج سریع محصولات احتراق از عقب است. درجه حرارت سوخت کامل گازها در حدود ۱۵۰۰ الی ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد است که فلزات و آلیاژهای معمولی نمی توانند درجه حرارت مزبور را تحمل کنند. در حال حاضر، آلیاژهای ریختگی بااضافاتی نظیر کرم، نیکل و یا کبالت ساخته می شوند که درجه حرارت های بیش از ۸۵۰-۹۰۰ درجه سانتیگراد را نمی توانند تحمل کنند، به طور کلی بالاتر از این درجه حرارت را قلمروی فلزات بانقطه ذوب بالا کاربیدها و نیتريد ها یشان می دانند که با استفاده از تکنیک های متالورژی پودر تولید می شوند. در این مرحله، یکی از مطلوب ترین مواد کاربید تیتان است که به خوبی قادر است در مقابل ضربه های حرارتی (در حین سریع سرد شدن و سریع گرم شدن) مقاومت کند. با افزودن ۲۰ درصد کبالت به این ماده، قدرتش در ۹۰۰ درجه سانتیگراد دو برابر بیش از بهترین فولاد مقاوم گرما میشود یکی از راه های مطلوب دیگر دستیابی به روش ها و وسایلی است که به نحوی درجه حرارت شیپوره جلو برنده موتورهای جت را پایین بیاورند. یکی از این روشها تعرق و یاپس دادن بخار به سطح دیواره دهانه خروجی است بهمین ترتیب که مواد بخصوصی را در میان منافذ دیواره دهانه خروجی جت که از جنس مواد خلل و فرج دار است تزریق می کنند. این مواد به صورت بخار به سطح دیواره، پس داده می شوند و به شکل دانه های عرق در می آیند و همین مساله درجه حرارت را در دهانه خروجی پایین می آورد. در این جا، باید متذکر شد که این گونه مواد خلل و فرجدار نیز از طریق تکنیک های متالورژی پودر ساخته می شوند.

روش های مشابه دیگری هم برای ساختن یاتاقانهای بدون روغن (یاتاقانهایی که خوشان عمل روغنکاری رانیز انجام می دهند) به کار می روند. در این روش ها نیز پودر فلزات و گرافیت را با فشار زیاد فشرده کرده و مجموعه فشرده شده را زینتر می کنند و معمولا چنین مجموعه ای میتواند تا حدود ۳۵٪ از حجم خود،

ماده روغنی جذب کند و داشته باشد. وقتی در حین کار، این گونه یاتاقان ها گرم می شوند، روغن موجود در آن انبساط می یابد و به سطح یاتاقان پس داده می شود که به صورت فیلمی روغن در سطح یاتاقان شکل می گیرد، ولی مجددا درحین سرد شدن، مواد مزبور مانند اسفنجی، روغن را جذب می کند. علی رغم مثالهای مذکور در فوق، کلا با دیدی وسیع تر می توان دریافت که تکنیک متالورژی پودرروشی کاملا جدید نیست، بلکه به طرق دیگر، از زمان های خیلی قدیم وجود داشته است و به طوری که در مقبره های شاهان قدیم مصر نظیر توتاناخامن که در ۱۴ قرن قبل از میلاد می زیسته شواهدی دیده شده است. در حفاریهایی که در سال ۱۹۲۲ در کارنک انجام شد، باستان شناسان ذخایر قابل ملاحظه ای در انجا به دست آوردند که حاکی از تمایل شدید این پادشاه به انواع فنون و هنر ها بوده است زیرا مقبره وی مملو از شاهکار های فنی بود و درمیان این شاهکار ها خنجر هایی مزین با پودرطلا مشاهده می شد که در واقع می توان گفت این نشانه ای از ابتدایی ترین طریقه استفاده از تکنیک متالورژی پودر است. همچنین از روش مزبور قبایل قدیمی اینکاها در پرو استفاده می کرده اند چون آنها می دانستند که چگونه جواهرات را از زینتر کردن پودر فلزات گرانبها به دست آورند. ولی بعد از اضمحلال این قبایل این روش هم به بوته فراموشی سپرده شد و علم متالورژی پودر برای توسعه خود راههای دیگری در پیش گرفت.

مزایای متالورژی پودر :

روش متالورژی پودر امکانات ویژه ای دارد که برجسته ترین آن ها به شرح زیر است :

۱) به کارگیری عناصر آلیاژ نشدنی

برخی فلزات که آلیاژ آنها از ویژگی های منحصر به فردی برخوردار است ولی تولید آن ها در فاز مذاب (ریخته گری) غیر ممکن است با به کارگیری متالورژی پودر قابل تولیدند. این فلزات عناصر مخلوط نشدنی نامیده می شوند. از جمله این مواد میتوان به آلیاژ نقره و نیکل اشاره کرد که برای ساخت کنتاکت های کلیدهای برق و رله ها به کار گرفته می شود.

۲) به کارگیری مخلوط های فلزی و غیر فلزی

زیاد را داشته همچنین در برابر سایش مقاوم باشد. این ویژگی دو گانه با در آمیزی مخلوطی از پودر مس و قلع به عنوان همگیر (ملاط) با مخلوطی از پودر های سرب آهن اکسید سیلیسیم و گرافیت که نقش ضد سایش را دارند قابل دسترسی است.

۳) ساخت قطعات خودروغنکار

این روش تولید برای ساخت بوش های خود روغنکار مورد استفاده قرار می گیرد قطعات پس از تفجوشی با روغن اشباع شده و در حین کار عمل روغنکاری سطوح تماس با روغن تزریق شده در قطعه عملی می گردد.

۴) بهره برداری از فلزات دیر گداز

فلزاتی که ریخته گری آنها به دلیل نقطه ذوب بالا با اشکال روبروست با روش متالورژی پودر شکل داده می شود. بهترین مثال در این ساخت مورد رشته های لامپ روشنایی است. این رشته ها باید دارای نقطه ذوب و ویژگی های الکتریکی مناسب باشد. مناسب ترین ماده برای ساخت آن ها تنگستن با نقطه ذوبی در حدود ۳۴۰۰ درجه سانتی گراد است.

پودر تنگستن نخست با روش متالورژی پودری به شکل شمش در آمده، سپس به روش های آنگری و کشش سیم به رشته مورد نظر تبدیل می شود. فرایند متالورژی پودر شامل مراحل تولید پودر، مخلوط کردن پودر، فشردن پودر و عملیات تفجوشی است.

آشنایی با فرایند متالورژی پودر :

متالورژی پودر روشی برای ساخت و تولید به روش شکل دهی قطعات فلزی و سرامیک است که اساس آن بر فشردن پودر مواد به شکل مورد نظر و تفجوشی آن است. تفجوشی در درجه حرارتی زیر نقطه ذوب صورت می پذیرد و اکثر محصولات این روش شکل دهی نیازی به ماشین کاری بعدی و یا حتی عملیات حرارتی تکمیلی ندارند و عموماً دانسیته بالا (گاهی دست نیافتی به روش های دیگر هستند).

متالورژی پودر بخشی کوچک ولی بسیار مهم از صنایع متالورژی می باشد. اولین کاربرد متالورژی پودر برای تولید پلاتین با دانسیته کامل بود که در قرن ۱۹ میلادی صورت گرفت چون در آن زمان امکان ذوب پلاتین به دلیل نقطه ذوب بالا وجود نداشت در آن زمان با اختراع برق توسط ادیسون صنعت الکترونیک از این ماده جهت تولید لامپ های روشنایی و یا مقاومت های الکتریکی برای تبدیل انرژی الکتریکی به گرما بهره می گرفتند. در اوایل قرن بیستم این روش به صورت عمده برای ساخت ابزارهای برشی به صورت اینسرت از جنس تنگستن کاربرد توسط روش متالورژی پودر شکل داده شدند که این به خاطر خواص ویژه تنگستن برای این عملیات نظیر سختی و استحکام بالا، گرما سختی بالا و نیز ضریب انبساط حرارتی بسیار پایین نسبت به مواد دیگر بوده است. در سال های ۱۹۵۰-۱۹۶۰ روشهای نوین مانند فرج پودر و ایزو استالیک گرم در صنعت متالورژی پودر بکار گرفته شد.

گرچه روش متالورژی پودر امکانات ویژه ای را جهت تولید بعضی قطعات خاص فراهم ساخته است که تولید آنها از طریق روشهای دیگر غیر ممکن یا بسیار مشکل می باشد ولی زمینه های که باعث فراگیر شدن استفاده از این روش گردیده است، عبارتند از :

زمینه های اقتصادی

بهره وری انرژی

انطباق زیست محیطی

ضایعات بسیار پائین (گاهی بدون ضایعه)

محصولات خاصی که توسط متالورژی پودر تولید می گردند عبارتند از : چرخ دنده ها ، بادامک ها ، فیلتر ها و یاتاقانهای آغشته به روغن.

مزایای متالورژی پودر :

- ۱) قابلیت دسترسی به رنج وسیعی از ترکیبات
 - ۲) تکنیک ایجاد شکل مشبک ویا نزدیک به مشبک
 - ۳) استفاده از موادی که در سایر فرایندها مشکل هستند
 - ۴) حذف یا به حداقل رساندن ضایعات ماشینکاری
 - ۵) حفظ تolerانس ابعادی مناسب
 - ۶) ایجاد پرداخت سطح مرغوب
 - ۷) تولید قطعاتی که به وسیله مقاومت سایشی وکششی واستحکام یافته نمی توان به روشهای دیگر تولید کرد
 - ۸) ایجاد تخلخل کنترل شده برای خود روانکاری و تصفیه
 - ۹) سهولت تولید قطعات پیچیده و خاصی که تولید آنها از روشهای دیگر ممکن نباشد
 - ۱۰) سازگاری با نیازهای تولید، میان اندازه تا تولید انبوه
 - ۱۱) محدودیت های متالورژی پودر
 - ۱۲) محدودیت اندازه و شکل
 - ۱۳) قیمت بالای پودر فلزات در مقایسه با سایر روشها
 - ۱۴) قیمت بالای ابزار و تجهیزات برای تولید کم
- قطعات ساخته شده با این روش بسیار خلل و فرج دارند(بدلیل اکسیداسیون سطحی ذرات و درکل حجم قطعه قیمت بالای قالب ها و محفظه های پودر (چون فشار وارده بر قالب برای متراکم کردن پودر زیاد است لذا باید جنس قالب سخت و مقاوم باشد) امکان ساخت قطعات بزرگ محدود است.

تعاریف مهم :

پودر: دانه های ریز یک جامد که بزرگترین بعد آن کوچکتر از ۱ میلیمتر باشد.

دانسیتته ظاهری پودر (دانسیتته حجمی) : عبارتست از جرم واحد حجم پودر بدون تکان دادن آن.

چگالی لرزشی (نشست) : عبارتست از چگالی قابل حصول برای پودر در اثر تکان دادن آن.

چگالی نظری (theoretical) : عبارتست از چگالی ماده ای که پودر از آن ساخته شده (چگالی دانه پودر بدون تخلخل).

مواد افزودنی : این مواد ممکن است برای از بین بردن جدایش حاصل از انتقال پودر، روانسازی ، برای فشردن، به عنوان ماده ملات (همگیر) در جهت افزایش مقاومت خسته ، آلیاژسازی پودر و بلاخره به صورت مواد کمک کننده تف جوشی مورد استفاده قرار گیرند.

مراحل تولید قطعه در P/M :

- (۱) تولید پودر و روشهای آن
- (۲) مخلوط کردن
- (۳) فشردن
- (۴) زینتر کردن
- (۵) عملیات نهایی

روشهای تولید پودر :

پودر فلزی را میتوان ذرات فلزی یا آلیاژی با اندازه یک تا هزار میکرون تعریف کرد. این ذرات ممن است به صورت کروی، ورقه ای و یا شکل های بی قاعده باشند .

پودرهای فلزی تهیه شده به روش های مختلف ، پس از تولید همواره تحت عملیات تکمیلی مانند غربالکردن ، تمیزکاری، آنیلینگ، مخلوط کردن و ... قرار می گیرند و سپس استفاده می شوند. روش های تولید پودر های فلزی را می توان به سه گروه مجزا طبقه بندی کرد که هر گروه شامل چند روش است .

- (۱) روش های فیزیکی
- (۲) روش های شیمیایی
- (۳) روش های مکانیکی

روش های فیزیکی تولید پودر های فلزی (اتمیزه کردن) :

بیشترین و مهمترین روش مورد استفاده برای تولید پودر فلزی، اتمیزه کرن است. تقریباً "پودر تمام فلزاتی که امکان ذوب کردن آن ها وجود ندارد از این طریق تولید می شود. اتمیزه کردن را می توان به طور ساده به متلاشی کردن مذاب به قطرات ریز تعریف کرد. این قطرات در محیط خنک (مایع ، گاز در بعضی موارد سطح جامد عامل منجمد کننده است). منجمد و پودر فلزی به این طریق تولید می گردد .

الف - اتمیزه کردن با سیال (گاز یا مایع) :

در این روش مذاب از انتهای تاندیش (orifice) با حجم، شکل و قطر معینی به میان نازل حلقوی (annular ring) نازل های مجزای سیال اتمیزه شده جریان می یابد و توسط جت یا جت های سیال متلاشی می شود. این متلاشی شدن با انرژی جنبشی سیال (نیترژن، آرگون ، هلیوم ، هوا یا آب) انجام می گیرد. ذرات مذاب تولید شده در اتمسفر گازی و یا در آب ، ریخته شده و منجمد می گردد. در صورت استفاده از آب پس از جمع آوری ، پودر ها باید خشک شوند این پروسه برای تولید پودر های فلزی و آلیاژی در مقادیر و حجم

های زیاد به کار می رود. اهمیت این دو روش (سیال یا مایع) عمدتاً در خواص مطلوب پودرهای تولیدی است. فرایند اتمیزه کردن با سیال مایع (نوعاً آب) پیچیدگی های کمتری نسبت به گازی دارد و هزینه های سرمایه گذاری آن نیز کمتر است. جت آب که باعث متلاشی شدن می گردد، دارای چسبندگی، دانسیته و سرعت سرد کردن بیشتری نسبت به جت گازی است، اما قدرت زیادی در اکسید کردن فلزات فعال دارد و در عین حال، شکل ذرات پودر فلزی نیز بی قاعده است. در فرایند اتمیزه کردن با گاز شکل ذرات کروی یا شبه کروی است و چنانچه از گاز خنثی در آن استفاده شود از اکسیداسیون جلوگیری می گردد.

ب) اتمیزه کردن با نیروی گریز از مرکز :

در فرایند های این روش از نیروی گریز از مرکز برای شتاب دادن به جریان مذاب و غلبه بر سطح کششی آن استفاده می کنند میزان تولید پودر در این روش ها نسبت به روش های اتمیزه کردن با سیال بسیار کمتر و محدودتر است هزینه های سرمایه گذاری و قیمت پودر های تولیدی در این فرایند بسیار گران است در ذیل مهمترین روش های تولید پودر به روش اتمیزه کردن با نیروی گریز از مرکز مختصراً شرح داده می شود.

فرایند الکتروود چرخنده :

در این فرایند انتهای یک میله در حال چرخش حول محور طولی خود ذوب گشته، قطرات مذاب به صورت گریز از مرکز به اطراف پرتاب و به صورت کروی شکل، جامد می گردند. عمل ذوب ممکن است به وسیله قوس الکتریکی از طریق یک الکتروود مصرف نشدنی از جنس تنگستن صورت گیرد. در موارد پیشرفته تر از قوس پلاسما لیزر و یا بمباران الکترونی برای عمل ذوب استفاده می شود. فلزی که باید به پودر تبدیل گردد بهبه صورت الکتروود هایی با طول و قطر معین تهیه می گردد. سرعت چرخش الکتروود بسته به شرایط مختلف و قطر، ممکن است تا بیست و پنج هزار دور در دقیقه هم برسد. معمولاً عمل ذوب تحت پوشش گاز خنثی صورت می گیرد. ذرات پودر تولیدی تقریباً کروی و در اتمسفر خنثی از درجه خلوص بیشتری برخوردار است. مزایای این روش کیفیت سطح خوب ذرات شکل کروی ذرات توزیع اندازه ذرات محدوده مشخص و امکان تولید پودر فلزات فعال است. از معایب این روش نیز هزینه های گران تهیه الکتروود، درشت بودن ذرات پودر، سرعت انجماد کم و نیز وجود آلودگی های ناشی از الکتروود تنگستن در پودر را می توان نام برد.

ج) اتمیزه کردن در اثر تصادف مذاب با سطح جامد :

در این روش از برخورد مذاب با یک سطح جامد استفاده شده است. انرژی ضربه باعث متلاشی شدن جریان قطرات مذاب به دانه های ریزتر می گردد.

۱) فرایند متلاشی شدن ضربه ای در این روش برخورد بازوهای صفحه دوار با جریان مذاب که در حال

سقوط هستند تولید قطرات ریزتر مذاب و نهایتاً پودر های فلزی جامد می گردد.

۲) روش دیگری نیز وجود دارد که در آن مذاب به وسیله پلاسما یا هر نوع منبع حرارتی دیگری شبیه

به آن تولید و با سرعت معین به سوی صفحه دوار و یا غلتک دوار پرتاب می شود. اندازه پودرهای

تولیدی به این روش زیر ۱۰ میکرومتر، با سطوح صاف و منحنی و سرعت انجماد زیاد است. برای مذاب های با چسبندگی بیشتر، سرعت قطرات مذاب باید بیشتر اختیار شود.

د) متمیزه کردن مکانیکی :

در این فرایند عمل متلاشی شدن مذاب با یکی از روش های مکانیکی صورت می گیرد.

۱) متمیزه کردن نوردی :

در این فرایند جریان از مذاب پس از اینکه توسط گرم کننده ها بشدت حرارت داده شد، بلافاصله به داخل سیستم نورد رفته، با غلتک های در حال گردش، نورد، و تبدیل به پودر می شود و در محفظه ای سرد، و جمع اوری می گردد.

۲) متمیزه شدن اولتراسونیک :

این فرایند طراحی جدیدی از متمیزه شدن گازی است که از نازل مخصوص تشکیل شده است. ایده این فرایند بر اساس وجود لوله شوک موج هارتمن در یک نازل گازی به عنوان تولید کننده امواج شوکی با فرکانس اولتراسونیک و سرعت های مافوق صوت پایه گذاری شده است. در این روش جریان فلز مذاب در اثر برخورد با گازه های با سرعت های مافوق صوت و فرکانس هایی بین ۱۲۰-۶۰ کیلو هرتز متلاشی و به ذرات پودر بسیار بسیار ریز تبدیل می گردد.

در این فرایند تاثیر عواملی مانند فشار گاز، دبی گاز، دانسیته مذاب، فوق ذوب و خصوصیات فلز در ذرات پودر تولیدی وجود دارد. از مزایای این روش می توان تولید پودر های کروی بسیار ریز با دامنه توزیع کوچک و بدون تخلخل گازی را نام برد.

روش های شیمیایی تولید پودر های فلزی :

در روش های شیمیایی، خواص پودر های فلزی قابلیت تغییر خوبی دارند، تنوع زیاد متغیرها و عوامل تولید در این روش های، موجب کنترل دقیق اندازه و شکل ذرات پودر می گردد.

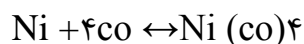
۱- روش احیای اکسید های فلزی :

این فرایند بیشتر در مورد تولید پودر آهن، مس، تنگستن و مولیبدن به کار می رود. ذرات پودر تولیدی این روش اساساً دارای خلل و فرج زیاد و به این دلیل، قابلیت تراکم پذیری این پودر های خوب است. عمل احیا معمولاً توسط هیدروژن، منواکسید کربن و یا کربن صورت می گیرد. مواد اولیه در خواص پودر نقش مهمی دارند. در کشورهایی که دارای سنگ معدن آهن با عیار بالایی هستند پودر آهن را در مقیاس بالا با این روش تولید می کنند.

۲- روش تجزیه حرارتی کربنیل های فلزی :

در این فرایند ابتدا منوکسید کربن را از روی فلز اسفنجی یا براده آهن عبور می دهند. این کار در حرارت

۲۰۰-۲۷۰ درجه سانتیگراد و فشار معین تا ۲۰۰ اتمسفر انجام می‌گیرد تا کربنیل فلزی ایجاد گردد. این فرایند در مورد تهیه پودر نیکل و آهن بیشتر به کار می‌رود.



هر دو کربنیل به وجود آمده در درجه حرارت اتاق مایع است. کربنیل آهن در ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد و کربنیل نیکل در ۴۳ درجه به وجود می‌آیند. در شرایط اتمسفر محیط، کربنیل را حرارت می‌دهند تا به جوش آیند و گازهای تولیدی از محیط خارج شده، در اثر تجزیه پودر آهن یا نیکل باقی می‌ماند. این پودر ممکن است مرحله آسیاب کردن را نیز داشته باشد. پودرهای تولیدی با این روش از درجه خلوص بالایی برخوردار هستند. در مورد آهن اندازه ذرات بسیار ریز و شکل آن نیز کروی است. در مورد نیکل، شکل ذرات بی‌قاعده و متخلخل و اندازه ذرات نیز ریز است. تولید آن به صورت تجاری با این روش انجام می‌گیرد.

۳- روش رسوب الکترولیتی از نمک‌ها یا محلول‌های فلزی :

تعدادی از پودرهای فلزی به وسیله رسوب از نمک‌های محلول خود و یا هیدروکسیدها، کربنات‌ها و یا گزالات‌های خود تهیه می‌گردند. در این ترکیبات به فلزات یا اکسیدهای فلزی به همراه گازهایی تبدیل می‌گردند. دی‌اکسید اورانیم، پلاتین، سلنیم، نقره و نیکل به این روش به پودر تبدیل می‌شوند.

۴- روش تجزیه هیدریدهای فلزی :

در این روش، فلزات مورد نظر را به صورت ورقه‌های نازک تهیه کرده، آن‌ها را در حضور هیدروژن حرارت می‌دهند و هیدرید فلزی تولید می‌نمایند. سپس این هیدریدهای فلزی که ترد نیستند آسیاب و به پودر تبدیل می‌کنند. پودر هیدریدهای فلزی را سپس حرارت‌های زیاد و تحت خلاء دی‌هیدروره می‌کنند و محصول را دوباره آسیاب کرده، به این ترتیب پودر فلزی به دست می‌آید. این فرایند برای تولید تیتانیوم و زیرکونیوم استفاده می‌گردد.

۵- روش تجزیه ترمیت :

در این فرایند اکسید فلزی را با پودر یک فلز دیگر در اثر حرارت تجزیه کرده فلز مورد نظر را به صورت پودر به دست می‌آورند. در حالت دیگر به جای پودر فلز برای احیا از هیدرید فلز استفاده می‌شود. مثالی از این فرایند، احیای تی‌اکسید کروم به وسیله منیزیم است. احیای دی‌اکسید اورانیم با کلسیم نیز مثالی دیگر از کاربرد این روش است.

مخلوط کردن پودر :

پس از آماده شدن پودر، لازم است مواد افزودنی به آن اضافه گردد. مواد افزودنی می‌تواند پودرهای آلیاژی برای آلیاژسازی، روغنکاری برای تسهیل عملیات پرس کردن، اضافه شونده‌های تبخیری برای رسیدن به

تخلخل مورد نظر و مواد چسبنده برای افزایش استحکام قطعه در حالت خام باشد. میزان مواد اضافه شده بیشتر تجربی است.

اضافه شونده های تبخیری یا به عبارت دیگر تولید کنندگان حفره ،موادی مثل اکسالات آمونیوم است که در اثر حرارت به چند گاز تجزیه می شوند. زمانی که قطعه پخته شد ،حفره هایی متناسب با ابعاد ذره ایجاد می شود. پودر های فعال معمولا حفره کمتری ایجاد می نمایند و پودر های غیر فعال برای پر دانسیته شده محتاج درجه حرارت زیادتر یا زمان بیشتری برای تفجوشی است .

پس از افزودن مواد به پودر باید مخلوط توسط همزن ،همگن شود. زمان اختلاط بسته به پودر مورد استفاده متفاوت است و معمولا زمان و سایر شرایط مخلوط کننده با آزمایش بهینه می شود .در بسیاری از موارد برای پیشگیری از کاهش اندازه دانه ،بروز کار سختی و جداسازی پودر ها باید از زمان های طولانی اختلاط خودداری نمود.

عوامل موثر روی اندازه ذرات حین اتمیزه کردن :

دمای مذاب : با افزایش دمای مذاب به علت کاهش ویسکوزیته دانه ها ریزتر می گردند .

قطر نازل : هر چه قطر کمتر باشد دانه ها ریزتر می گردند .

فشار انژکتور : هر چه این فشار زیاد باشد دانه ها ریزتر می گردند . در اتمیزاسیون گازی اگر زاویه برخورد گاز و مذاب خیلی کم یابد دانه ها درشت میگردند و اگر خیلی زیاد باشد ممکن است نازل را بند آورد. در اتمیزاسیون گازی حالت دانه ها کروی تر است .

آزمایش و ارزیابی پودر :

پودر مورد استفاده باید ابتدا از سیلان خوبی برخوردار باشد تا به صورت یکنواخت در قالب تغذیه شود ،علاوه بر این باید چکالی ظاهری بالایی داشته باشد چرا که چگالی کم به معنای پر نشدن فضای خالی بین دانه های ریز حتی تحت فشار است یعنی باید تراکم پذیری به خوبی مشخص گردد و یا اینکه باید درصد خلوص پودر تهیه شده نیز امتحان شود، علاوه بر این رطوبت و میزان ناخالصی موجود نیز به درستی تعیین گردند . مخلوط کردن.

امتزاج :

مخلوط ایده ال ، مخلوطی است که همه ذرات هر ماده آن بطور یکنواخت پخش (توزیع) شده باشد . پودر های فلزات مختلف دیگر ماده ممکن است به منظور دستیابی به خواص فیزیکی و مکانیکی خاصی مخلوط گردند روانسازها ممکن است برای بهبود ویژگی جریان یافتن (روان شدن) پودر با پودر مخلوط گردند مخلوط کردن زیاد ممکن است باعث کار سختی و سایش ذرات گردد نسبت بالای مساحت رویه (ناحیه سطحی) به حجم پودر باعث حساس شدن به اکسیداسیون می گردد و ممکن است احتراق ایجاد نماید.

عملیات پیش از فشردن :

۱- همگن کردن و اختلاط :

عوامل موثر در همگن و مخلوط کردن مواد پودری مشتمل اند بر جنس و اندازه دانه ها ، نوع و اندازه مخلوط کن ، حجم نسبی پودر در مقایسه با حجم مخلوط کن و همچنین سرعت و زمان مخلوط سازی . بعلاوه فاکتورهای محیطی از قبیل رطوبت نیز بر سهولت مخلوط سازی تاثیر مگذارند .

۲- روانسازی پودر :

روانسازی پودر های فلزی عمدتاً بوسیله استیاراتهای با مبنای آلومینیوم ، روی ، لیتیم ، منیزیم و کلسیم انجام می گیرد طول زنجیره مولکولی این مواد حدود ۱۲ تا ۲۲ اتم کربن بوده ، فعالیت سطحی آنها زیاد است و در دماهای نسبتاً کم ذوب می شوند.

۳- خشک کردن پاششی :

پودر ریز و سخت موادی از قبیل تنگستن ، مولیبدن ، کربور تنگستن و اکسید آلومینیوم از جمله پودرهای کند جریان و دارای چگالی ظاهری کم می باشد با کلوخه سازی این پودرهای ریز می توان سیالیت آنها را افزایش داد بدین منظور پودر را با یک ماده آلی و عاملی فرار مخلوط شده و دوغابی می سازد که بدرون محفظه گرم شده‌ای پاشیده شده و در اثر نیروی کشش سطحی بصورت دانه‌های کلوخه شده کروی در می آید.

فشردن پودر :

هدف اصلی فشردن پودر عبارت است از تولید خسته باویژگیهای مورد نظر با ایجاد حداقل اصطکاک بین پودر و جداره قالب . برای این منظور باید نسبت نیروهای محوری به شعاعی در حد امکان کاهش یابد تا سایش قالب به میزان کمینه آن رسده و راندمان فشردن بهبود یابد . نسبت ارتفاع به قطر خسته نیز به منظور همگن کردن ویژگیهای قطعه کوچک انتخاب می شود .

فشردن پودر و افزایش چگالی انباشتی آن نیاز به اعمال نیروی خارجی دارد . فشردن پودر چند مرحله دارد که در مرحله نخست فشردن در اثر تغییر آرایش دانه ها و سر خوردن آنها بر روی یکدیگر تعداد نقاط تماس زیاد می شود فشردن بیشتر چگالی پودر را از طریق بزرگ شدن سطوح تماس در اثر تغییر شکل موم سان افزایش داده و باعث ایجاد کار سختی و در همان حال بوجود آمدن سطوح تماس تازه بین دانه ای می شود . در این مرحله سطوح تماس حالت تخت بخود می گیرد .

در خلال فشردن ، جوش سرد ایجاد شده در سطوح تماس دانه ها باعث ایجاد استحکام خسته پودر می شود . استحکام پس از فشردن شدن ، و پیش از تف جوشی خسته ، استحکام خام نامیده می شود . با افزایش بیشتر فشار میزان تغییر شکل موم سان دانه های پودر نیز بیشتر شده و از سطوح تماس بین آنها به درون دانه ها و بطن خسته گسترش می یابد . در این حالت با کاهش میزان تخلخل دانه کاملاً کار سخت می شود . روشن است که هر گونه افزایش چگالی خسته پودر مستلزم وارد شدن فشار بیشتر از طرف عامل خارجی ، بر آن

است. فشردن پودراغلب موارد ، به کمک دوسمبه که یکی در بالا و دیگری در پایین قالب قرار گرفته انجام می شود سمبه بالایی پیش از مرحله پر کردن قالب از دهانه محفظه آن فاصله می گیرد .

موقعیت سمبه پایینی در هنگام تغذیه پودر به قالب اصطلاحاً وضعیت پر شدن نامیده می شود و ورود میزان معین و از پیش تعیین شده پودر به درون محفظه قالب را امکان پذیر می سازد . ریزش پودر بدرون قالب بوسیله یک کفشک خوراک دهنده لرزان صورت گرفته و سمبه پایینی در وضعیت فشردن پودر در موقعیتی قرار می گیرد که پودر بخش مرکزی محفظه قالب را پر نماید ، بدین وسیله پس از پر شدن قالب ، سمبه پایینی قدری پایین تر رفته و سمبه بالایی نیز بدرون قالب وارد می شود .

فشردن پودر با اعمال فشار از طرف هر دو سمبه انجام می شود و پس از پایان کار سمبه بالایی از محفظه قالب خارج شده و سمبه پایینی خسته را بیرون می اندازد.

پیوند هایی که در اثر فشردن پودر بین دانه های آن بوجود می آید تامین کننده استحکام قطعه خام حاصل از شکل دهی می باشد . بالا بودن چگالی انباشتی پودر به ایجاد پیوند های بین دانه ای کمک کرده و تمیز بودن سطح دانه ها استحکام پیوند ها را افزایش می دهد . بعلاوه اگر نیروی فشردن پودر زیاد باشد ، بیروهای برشی باعث خرد شدن لایه های نازک سطحی روی دانه ها خواهد شد .

هر چه دانه های پودر ریزتر باشند فشردن آنها مشکک تر خواهد بود زیرا منفذهای درشت ، در مقایسه بامنافذ ریز ، ساده تر فرو می ریزند ، از این رو است که آهنگ چگالش ، در اثر فشردن ، برای پودرهای درشت دانه تند تر است . پودرهای دارای تخلخل درونی مشکل فشرده شده و چگالش آنها در مرحله نخست شکل دهی تنها در اثر فروپاشی منافذ بزرگتر بین دانه ها صورت می گیرد ، بهمین لحاظ تراکم پذیری این گونه پودرها در مراحل آغازین فشردن بالا است ولی در برابر چگالش زیاد مقاوم می باشد .

با زیاد شدن فشار شکل دهی ، چگالی خسته افزایش یافته ، که طبعا بهبود ویژگیهای قطعه تف جوش را نیز به دنبال خواهد داشت . البته هر چه فشار زیادتر شود قطعه در قالب جفت تر شده و لذا نیروی بیرون اندازی نیز زیادتر خواهد شد . روانسازی دیواره قالب و یا پودر اصطکاک جداره قالب رادر خلال بیرون اندازی کاهش می دهد. دراین حال نیز در اثر بیرون اندازی خسته ، تنش آن آزاد و نتیجتاً ابعادش از ابعاد محفظه قالب بزرگتر خواهد شد. این رجعت کش سان معمولاً کمتر از ۰,۳ درصد ابعاد قالب بوده، ولی وجود تنش و کرنش دیفرانسیلی در درون قطعه خام ممکن است باعث شکست آن گردد .

فشردن ، پودر را به توده ای شکل گرفته و دارای اسحکام کافی برای جابجایی و انجام فرایندها بعدی تبدیل می کند. متداولترین روش فشردن پودر ، شکل دهی آن در قالب سخت و در اثر اعمال فشار در یک راستا (هم محور) است . نخستین مساله مورد نظر در فرایند شکل دهی دستیابی به قطعه خام دارای چگالی و استحکام مطلوب است. نیروی فشارنده پودر بطور یکنواخت به بطن آن منتقل نشده و لذا خسته پودری چگالی همگنی نخواهد داشت . ویژگیهای پودر واکنش آن در مقابل تنش های فشردن را تحت تاثیر قرار

داده و بسته به نوع پودر، اندازه و شکل آن و همچنین شکل قطعه می توان از شقوق مختلف فشردن استفاده کرد.

فشار را می توان بطور پیوسته و ناپیوسته اعمال کرد. سرعت انتقال نیرو به پودر نیز باعث تفاوت بین روشهایی از قبیل فشردن انفجاری و فشردن متعارف شده است، بعلاوه دما متغیر دیگری است که بسته به روش انتخابی از دمای اتاق تا ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد تغییر می کند.

در روش ایزواستاتیک، به عکس روش متعارف، قالب قابلیت انعطاف داشته و فشار اعمال شده نیز به عکس فشار یک امتدادی در قالب سخت، از همه طرف وارد می شود. پس از کنترل مناسب مخلوط ریخته شده در قالب آن را می فشارند تا چگالی آن بالا رود که محصول حاصل از این فشار قطعه خام نامیده می شود. عمل فشردن پودر در قالب توسط یکی از انواع قالب های پرس (با ساختار کلی سمبه ماتریسی به همراه یک قطعه بیرون انداز) پرس مکانیکی و ابزار صلب فشاری (به صورت دستی و برای تولید قطعات کوچک) صورت می گیرد اما امروزه برای تولید انبوه و قطعات بزرگتر از پرس های هیدرولیکی و یا هیدرولیک مکانیک و حتی پنوماتیک استفاده می گردد. در دهه ی اخیر از روش های دیگری نظیر نورد آهنگری و یا حتی فشار ناشی از موج انفجار نیز در PM بهره گرفته اند.

این فرایند همانند کار ایزو استاتیک سرد است چرا که در این فرایند عمل تبلور مجدد صورت نمی گیرد بلکه تنها در اثر فشار چگالی قطعه افزایش می یابد و مواد پودر به هم فشرده شده و بین مواد پیوند های ثانویه ای ایجاد می گیرد.

جدول مربوط به میزان فشار متعارف برای کاربرد های مختلف :

کاربرد	فشار فشردن (مگا پاسکال)
فلزات متخلخل و فیلتر ها	۴۰-۷۰
فلزات دیر گداز و کاربرد ها	۱۰-۲۰۰
قطعات ماشین	۱۵۰-۳۵۰
یاتاقان ها و قطعات آهنی	۷۰۰-۱۶۵۰

گاهی اوقات قالب گیری قطعات کوچک به صورت تزریقی صورت می پذیرد یعنی پودر مورد نظر به حالت خمیری در می آید (دمای مواد پایین تر از مذاب است) و با سیالیت مناسب در داخل قالب پرس قرار می گیرد در این حالت فشار مورد نیاز بسیار پایین و این عمل با پرس های ساده تری صورت می گیرد. که از مزایای دیگر تزریق می توان به یکنواختی کامل تر دانه بندی محصول اشاره کرد.

فرایند فشردن دو طرفه (compaction with double acting pressure) :

در این حالت بر خلاف فرایند یکطرفه، اعمال فشار حداقل به وسیله دو سمبه از بالا و پایین همزمان انجام می شود. قطعه به دست آمده، توزیع چگالی بهتری دارد و حال آن که مقدار آن در وسط قطعه کمتر است.

فرایند فشردن ایزواستاتیک (isostatic press) :

این فرایند بیشتر برای تولید قطعات با شکل های پیچیده و دستیابی به قطعات با دانسیته بسیار زیاد (نزدیک به تئوری) استفاده می شود. در واقع، در روش های فشردن معمولی، اعمال فشار در دو جهت است که این امر سبب عدم دسترسی به توزیع یکسان چگالی می گردد. با استفاده از پرس های ایزواستاتیک می توان قطعه را از تمام جهات به طور یکسان تحت فشار قرار داد و قطعه ای با خواص مکانیکی بهتر تولید کرد.

الف) پرس های ایزواستاتیک سرد (cold isostatic press) :

پرس های ایزواستاتیک سرد که در آن، تنها از فشار استفاده می گردد. بدین ترتیب که پودر مورد نظر درون قالب های انعطاف پذیر ریخته شده، بعد از تخلیه هوای قالب و درزگیری، توسط یک محیط سیال، قالب تحت فشار قرار می گیرد. پس از شکل گیری پودر قطعه از قالب خارج می گردد.

ب) پرس ایزواستاتیک گرم (warm isostatic press) :

انجام کار مکانیکی در دمای بالا تر از دمای تبلور مجدد را کار مکانیکی گرم می گویند گاهی در PM دو عمل فشردن و زینتر کردن را با هم انجام می دهند (در دمای بالای تبلور مجدد) که به آن عمل فشردن گرم می گویند که این کار در اثر نیروی فشاری ایزواستاتیک (فشار پایستار و در همه جهات کاملاً مساوی را ایزواستاتیک می نامند) انجام می گیرد.

مسلماً سرعت عمل در این روش زیاد و هزینه تمام شده کمتر است اما علاوه بر این حصول برخی خواص از قبیل کاهش پدیده نفوذ علل مخصوص در ساخت اینسرت های برشی جایی که چسبیده بودن براده به ابزار مطرح می گردد بهتر از مراحل قبلی ذکر شده است و همین امر زمینه را برای گسترش کاربردهای این فرایند فراهم ساخته است.

پرس های ایزواستاتیک گرم که برای افزایش تفجوشی در مراحل بعدی و کنترل دقیق خروج مواد افزودنی پودر می توان هنگام اعمال فشار از دمای نسبتاً پایینی نیز استفاده کرد (دمای حدود ۲۰۰ درجه سانتی گراد). دو فرایند فوق شبیه به یکدیگر و فقط وجود دمای پایین در روش اول مورد اختلاف است.

ج) پرس های ایزواستاتیک داغ (hot isostatic press) :

پرس های ایزواستاتیک داغ که علاوه بر فشردن پودر در قالب، عمل تفجوشی نیز اتفاق می افتد. این روش بیشتر برای شکل گیری پودر هایی است که خاصیت تراکم پذیری تراکم پذیری آن ها کم است. پودر فلزاتی نظیر برلیوم، اورانیوم، زیرکونیم و تیتانیوم از این گروه هستند.

فرایند آهنگری پودر (powder forging) :

این روش تقریباً همانند روش آهنگری معمول است با این تفاوت که بلوک اولیه آن از طریق فرایند های متالورژی پودر تهیه می شود. بلوک اولیه را بر حسب شکل قطعه نهایی طراحی نموده، توسط پرس های معمولی شکل می دهند و تفجوشی می نمایند. سپس آن را در قالب نهایی قرار داده، آهنگری می کنند. این

عمل علاوه بر از بین رفتن تخلخل بلوک اولیه سبب دستیابی به شکل هندسی دقیق قطعه و بهبود خواص مکانیکی خواهد شد. از روش آهنگری پودر برای تولید قطعاتی استفاده می شود که بایستی تخلخل آن های حداقل باشد و بتواند در محیط های با تنش زیاد کار کند. بیشتر قطعات آهنگری پودر از خانواده های آلیاژ آهنی است که از پودر اتمیزه شده و گرافیت استفاده می شود .

پودر گرافیت به دو منظور استفاده می شود اول احیای اکسیدها در همگام تفجوشی و دوم تامین کربن لازم برای آلیاژ سازی البته نقش روانکاوی گرافیت را نیز نباید از یاد برد. بلوک اولیه برای جلوگیری از اکسیداسیون هنگام آهنگری و روانکاوی با مواد مخصوص در قالب پوشش داده می شود .

فرایند نورد (powder rolling) :

نورد پودر فرایندی است که در آن پودر مورد نظر به طور مداوم از بین غلتک های معینی که می توانند در وضعیت عمودی، افقی یا مایل قرار گرفته باشند، عبور کرده به شکل صفحه یا تسمه تفجوشی نشده از آن خارج گردد. سپس صفحه مزبور از درون کوره ای با اتمسفر و دمای کنترل شده عبور داده شده، در صورت نیاز با زهم تحت عملیات نورد قرار می گیرد .

مرحله مهم در فرایند نورد پودر، چگونگی تغذیه پودر به درون غلتک هاست ، به گونه ای که چگالی صفحه نورد شده در طول پهنا ثابت قرار گیرد .

در انتها بعد از تولید صفحه یا تسمه از فرایند نورد پودر ، آن را به طور مداوم از درون کوره تفجوشی عبور داده و آن را نورد گرم می کنند. گاهی اوقات صفحه تفجوشی شده را نورد نموده سپس تحت عملیات تفجوشی قرار داده و مجددا نورد می کنند .

فرایند تزریق پودر :

فرایند قالب گیری تزریقی روش کم نظیری برای شکل دادن هر گونه پودر فلزی و غیر فلزی است . دانه های پودر در این روش بسیار ریزتر از سایر روش هاست و مقدار مواد ترموپلاستیک نیز برای سیلان بیشتر پودر به کار می رود. البته در این فرایند فشار از روش های دیگر کمتر است، اما به دلیل اینکه پودر به وسیله مواد پلاستیکی و حرارت ، حالت خمیری به خود می گیرد، بنابراین فشار اعمال شده به شکل ایزواستاتیک بوده و چگالی حاصل نیز از توزیع بسیار خوب و یکنواختی برخوردار است. قطعات پیچیده و ظریف را براحتی می توان از این روش تولید کرد. به دلیل ریز بودن ذرات پودر ، دمای تفجوشی در مقایسه با سایر فرایندها کمتر است. همچنین اتمسفر تفجوشی بیشتر مخلوطی از گاز احیایی مانند هیدروژن انتخاب می شود. خواص مکانیکی قطعات تولید شده از این روش همانند سایر روش های تولید ، با افزایش چگالی افزایش یافته و چنانچه چگالی آن ها در محدوده ۹۳٪ تا ۹۷٪ تئوری باشد خواص حاصل تقریباً در حد قطعات نوردی است .

فرایند فشردن داغ (hot press) :

برای تولید قطعات با دانسیته زیاد و میکرو ساختار کنترل شده می توان از روش فشردن داغ ، که در آن اعمال فشار و حرارت با هم انجام می شود استفاده می شود. در واقع این روش همانند تولید قطعه از طریق پرس ها ی معمولی است با این تفاوت که قطعه علاوه بر فشار تحت اتمسفر کنترل شده حرارت نیز می بیند. با وجودی که کیفیت قطعات تولیدی با این روش بسیار خوب است، به دلیل مشکلات زیاد در طراحی ، ساخت و تولید (امکان جوش خوردن قطعه به قالب ، سرعت تولیدی کم ، سایش و جزش ابزار آلات پرس) و مشکلات برای ایجاد اتمسفر کنترل شده، این روش زیاد مورد توجه نیست.

فرایند اکستروژن داغ (Hot Extrusion) :

این فرایند تلفیقی از فشردن و کار مکانیکی در حالت گرم است که موجب تولید قطعه ای با دانسیته بالا می گردد. نوع تغییر فرم انجام شده در این روش با پرس ایزواستاتیک گرم و یا نورد گرم قابل رقابت است. اصولاً از سه روش عمده برای اکستروژن استفاده می گردد. در حالت اول پودر آماده شده در مخزن گرم شده به دستگاه ریخته و مستقیماً "اکستروژن" می شود. این روش مناسب آلیاژ های منیزیم است که گرمای مخزن بعد از ۱۵ تا ۳۰ ثانیه پودر را گرم ، و آن را آماده عمل می کند .

حالت دوم برای اکستروژن گرم آلیاژ های آلومینیوم مناسب است. در این روش ابتدا پودر در حالت سرد پرس و سپس تفجوشی شده یا تحت عملیات پرس گرم قرار گرفته و بعد همانند روش اکستروژن آلیاژ های ریختگی عمل می شود. در روش سوم ابتدا پودر دروم کپسول های فلزی (متناسب با سطح اکستروژن) ریخته شده ، سپس تفجوشی می شود.

تف جوشی (زینترینگ) :

عبارتست از حرارت دادن پودر در دمای زیر دمای ذوب فلز طوریکه در این دما پودر های فلزی بتوانند پیوند ایجاد کنند. (۷۰ تا ۸۰٪ نقطه ذوب) یکی از مشخصه های مهم تف جوشی حساسیت شدید پیشرفت آن نسبت به دما است .

نیروی محرکه و مکانیزم تف جوشی دو مقوله متفاوتند . عامل نخستین که معمولاً انرژی سطحی است ، نیروی لازم برای انتقال جرم را فراهم می سازد ، انرژی سطحی در واحد حجم با قطر دانه پودر متناسب معکوس دارد و از این رو ریز شدن دانه ها باعث افزایش نیروی محرکه فرایند خواهد شد و البته باید توجه داشت که تمام انرژی سطحی بصورت نیروی محرکه ظهور نکرده بلکه مقداری از آن صرف ایجاد مرزدانه ها می گردد که این مرزها نیز دارای انرژی مرزدانه ای می باشند . بنابراین نیروی محرکه موثر ممکن است بسیار کم و نتیجتاً آهنگ تف جوشی هم کند باشد .

در عملیات تف جوش قطعه ی خام مرحله ی قبل در یک محیط با جو کنترل شده تا دمایی در حدود ۷۰ تا ۸۰٪ دمای ذوب ماده حرارت داده می شود و به مدت کافی در این دما باقی می ماند و بعد به حالت

کنترل شده سرد می گردد، در حالی که در مورد موادی که اختلاف نقطه ی ذوب بالا دارند دمای زینتر کردن می تواند بالای نقطه ذوب یک یا چند ماده تشکیل دهنده باشد .

خود عمل زینتر کردن از ۳ مرحله ی زیر تشکیل می شود :

۱- سوزاندن و پاک کردن مواد روانساز و چسب

۲- افزایش و نگه داشتن دمای بالا برای جوش خوردن بافت

۳- سرد کردن کنترل شده محصول نهایی برای حصول خواص نهایی

مراحل تف جوشی (زینترینگ) :

۱- مرحله نخست تف جوشی :

تماس نقطه ای بین دانه های پودر منجر به رشد گلوگاههایی می شود که آهنگ گسترش آنها بستگی به مکانیزم انتقال جرم داشته ، و هر چه سرعت رسیدن ماده از مجاری و مسیرها ی مختلف به منطقه تماس تندتر باشد تف جوشی نیز آهنگ بالاتری خواهد داشت .

در مرحله اول در یک محیط احیا کننده (محیطی که تا حدودی بازی است و مانعی برای اکسیداسیون مواد قطعه ی خام) قطعه ی خام حرارت می بیند تا چسب ویا مواد روان ساز از آن تبخیر گردند، در این مرحله ماده ی حاصل متخلخل می شود که خود همین مسئله در ساخت صافی ها و فیلتر ها چاره ساز است (به دلیل خلل و فرج ناشی از تبخیر چسب) . با تغییر اندازه دانه ها می توان مکانیزم غالب فرایند را نیز تغییر داد ، معمولا تف جوشی دانه های ریز تر بامکانیزم نفوذ سطحی انجام می شود و آهنگ میانگین تف جوشی نیز تندتر می باشد.

بطور کلی ، رشد گلوگاه دانه های پودر ریزتر از آهنگ تند تری برخوردار بوده و با انتخاب زمان تف جوشی کوتاهتر و یا دماها ی کمتر می توان به نتایج مطلوب دست یافت . در مقابل دانه های درشت تر کند تر تف جوش شده و برای دستیابی به نتایج مشابه با مورد پیشین نیاز به زمان تف جوشی طولانی تر یا دمای بالاتری می باشد .

۲- مرحله دوم تف جوشی :

این مرحله از تف جوشی از نظر شکل گیری ویژگیهای قطعه از بیشترین اهمیت برخوردار بوده و مشخصه اصلی آن چگالش همراه با رشد دانه ها است . ساختار منافذ در مرحله میانی صاف شده ولی تا مرحله نهایی بصورت بهم پیوسته باقی می مانند . تغییرات ابعادی ناشی از تف جوشی در بسیاری از موارد مطلوب نبوده ، و در اینگونه موارد بمنظور کاهش میزان چگالش شکل دهی در فشار بالا انجام شده و زمان و دمای تف جوشی کاهش داده می شود . بعکس د رمورد فلزات دیرگداز تاکید بیشتر ، بر چگالش قطعه است. لذاست که مرحله دوم تف جوشی را باید از زوایای متفاوت مورد توجه قرار داد .

در مرحله ی دوم باز هم دما افزایش می یابد (گاهی تا ۹۰٪ نقطه ذوب مخلوط) تا مواد به خوبی به هم جوش بخورند و بعد تا مدتی دما ثابت می ماند تا موقعیت ساختاری مجموعه ثابت گردد .

در آغاز مرحله دوم جدایش منفذها از مرزدانه ها ناچیز می باشد . ولی با پیشرفت فرایند چگالش ، کمتر بودن تحرک منافذ باضافه کاهش نیروی پیوند دهنده آنها باعث جدایششان می گردد . جدایش منافذ از مرز دانه ها عامل محدود کننده چگالی نهایی ناشی از تف جوشی می باشد . برای دستیابی به چگالی های تف جوشی بالا ، لازم است دشد دانه در خلال تف جوشی محدود شود ، آهنگ این رشد بهتحرک مرزدانه ، نیروی وارد بر آنو نیروهای بازدارنده بستگی دارد .

طولانی بودن زمان تف جوشی برای دستیابی به ویژگیهای مطلوب و چگالش قطعه ضروری است . از طرف دیگر دما بر فرایند تف جوشی تاثیری پیچیده دارد و آهنگ نفوذ ، رشد دانه و جابجایی منافذ ، جملگی فرایندهای فعال شونده با گرما می باشند . در بسیاری از مواد این اتفاقات بستگی به مورفولوژی قطعه دارد ، بعلاوه چون ریز ساختار قطعه دائما در حال تغییر می باشد . بیشترین تاثیر دما بر آهنگ نفوذ و رشد دانه می باشد و آهنگ چگالش با افزایش ضریب نفوذ و کاهش اندازه دانه ها شدت می یابد .

۳- مرحله سوم تف جوشی :

مرحله پایانی تف جوشی فرایندی کند است که در آن منافذ کروی مجزا از هم بامکانیزم نفوذ حجمی منقبض می گردد. منفذی که بر روی مرز دانه قرار گرفته است بوسیله نیروی قابل ملاحظه ای که از زاویه دو وجهی کوچک ناشی می شود ، به مرز دانه وصل شده است. پس از گسسته شدن پیوند بین منفذ و مرز دانه، لازمست منفذ آزاد شده تهیجاها رابه سمت مرزدانه های اطراف هدایت نماید تا انقباض که فرایندی کند نیز هست ، ادامه یابد .

همچنین در اثر طولانی شدن دوره گرمایش ، فرایند درشت شدن منافذ باعث خواهد شد که اندازه میانگین آنها افزایش یافته ولی از تعداد آنها کاسته شود. تفاوت بین انحنا منافذ ملجر به رشد منافذ بزرگتر در قبال از بین رفتن کوچکترها، که ناپایدارند ، خواهد شد .

فشردن پودر باعث کاهش میزان تخلخل آن و در عین حال افزایش تعداد نابجایی در پودر می شود با توجه به کاهش تخلخل انقباض حاصل از تف جوشی نیز کم شده و زیادتیر شدن نابجایی تند شدن آهنگ اولیه فرایند تف جوشی رابه دنبال خواهد داشت . بنابراین فشردن پودر در افزایش استحکام مکانیکی ، چگالی ، ثابت ماندن هندسه قطعه و کنترل ابعادی آن تاثیر مثبت بر جای می گذارد . دلیل عمده استفاده از فرایند تف جوشی ، تاثیر آن بر ویژگیهای خسته پودراست و هر چه دامنه پیشروی آن بیشتر باشد ، معمولا قطعه از کیفیت های بالاتری برخوردار می باشد .

از نقطه نظر تف جوشی کوچک بودن دانه های پودر یک مزیت بحساب می آید و هر چه دانه ها ریز تر باشند آهنگ فرایند تندتر خواهد شد ، البته این ریزی پرس کردن (فشردن) دانه ها رامشکل تر می کند. طولانی

کردن زمان هر چند میزان تف جوشی قطعه را افزایش می دهد ولی هزینه را بالا برده و بعلاوه رشد دانه ها را به همراه دارد .

دمای تف جوشی یکی از متغیرهای بسیار موثر بر تف جوشی است ، و هرچه افزایش یابد آهنگ فرایند نیز تند تر می شود ، لیکن هزینه های طراحی کوره و انرژی مصرفی در اثر بیشتر شدن دما فزونی می یابد .

تف جوشی مخلوط های پودری بامشکلات زیادی مواجه است و برای همگن شدن قطعه و حذف گرادیان ترکیب شیمیایی باید دما و زمان کنترل شود. تف جوشی مخلوط پودرهای ریز دانه ، بخاطر کوتاه بودن مسیر های نفوذ با سهولت بیشتری انجام می شود و اگر ضریب نفوذ دو مولفه پودر با هم اختلاف زیادی داشته باشد ممکن است . در قطعه منفذ ایجاد شود . این مساله ، بخصوص درحالیکه نقطه ذوب عنصر آلیاژی پایین تر باشد ، باعث متورم شدن قطعه می گردد. مثالی از این مورد افزایش آلومینیوم به آهن است ، که ذوب آلومینیوم درخلال تف جوشی باعث تورم قطعه می گردد. عدم کنترل چرخه تف جوشی نیز می تواند به تشکیل فازهای مخرب از قبیل ترکیبات بین فلزی شکننده بیانجامد .

تمام فلزات ، باستثناء چند مورد ، درخلال تف جوشی نیاز به نوعی حفاظت از اکسایش دارند ، زیرا اکسید سطح پودر اتصال دانه ها از طریق نفوذ را با اشکال مواجه ساخته و از گسترش ویژگی های مکانیکی جلوگیری می کند. اتمسفر تف جوشی همچنین می تواند به زدایش ماده روانساز وملات استفاده شده در فرایند فشردن پودر نیز کمک نماید .

با توجه به اینکه سطح دانه ها همیشه از قشر نازکی از اکسید پوشیده می باشد ، وجود اتمسفر احیاکننده نه تنها از اکسایش بیشتر آنها جلوگیری می کند بلکه هر گونه اکسید قبلی را نیز احیاء می نماید .

تف جوشی اغلب ویژگیهای مهندسی مواد را بهبود می بخشد حرکات اتمی باعث ایجاد پیوند بین ذرات شده و در نتیجه استحکام مکانیکی و دیگر ویژگیهای قطعه ارتقاء می یابد . به منظور تشدید فرایند تف جوشی می توان از فشار خارجی و یا افزودنیهای شیمیایی بهره گیری کرد ، اینگونه عملیات می تواند چگالی قطعه را به مقدار نظری آن برساند و همین رو مورد توجه خاص محققین قرار گرفته است .

متالورژی پودر در انبوه سازی قطعات از کارایی چشمگیری برخوردار بوده و می توان از بهره وری ذاتی آن بنحو احسن استفاده کرد . از جمله مزایای انکار ناپذیر این تکنولوژی که تولید اقتصادی بسیاری از فرآورده ها را میسر کرده است ، می توان به کنترل ابعادی وامکان ساخت قطعات دارای اشکال پیچیده اشاره کرد.

ویژگیهای پودر فلزی :

ویژگیهای یک پودر مهم می باشد زیرا معمولا انتخاب یک روش فرایند ویژه به وسیله این مورد انجام می شود . مشخصات پودر تقریبا یک روش پیچیده است نه فقط ویژگی های منحصر به فرد ذرات (اندازه ، شکل و غیره) بایستی تعیین شوند ؛ بلکه هم چنین مشخصات توده پودر (توزیع اندازه ذرات ، ویسکوزیته ظاهری و

غیره) و خلل و فرج در توده پودر (اندازه متوسط خلل و خروج ها ، حجم خلل و خروج ها) . به طور کلی مشخصات زیر بایستی تعیین شوند :

ترکیب شیمیایی : ترکیب شیمیایی همانند حجم ناخالصی می تواند با شیوه های شیمیایی تجزیه و تحلیل معمولی تعیین شود؛ فراتر از اطلاعات شیمیایی جرم، اغلب نیازی برای دانستن شرایط سطح پودر وجود دارد (اکسیداسیون رشته های آلی قابل مشاهده ، پوشش سطح و غیره) اندازه گیری اتلاف وزن هیدروژن (ASTM E159) می تواند ایده ای در رابطه با اکسیداسیون سطح بیان کند ، هنگامی که میزان غلظت می تواند به وسیله انحلال اسید اندازه گیری شود . در برخی موارد خاص ، وسیله الکترونی طیف سنجی مورد نیاز است.

ساختار درونی ذرات : جدایش ریز ، خلل و فرج داخلی و رسوب کردن می تواند به وسیله ی تکنیک های میکروسکوپی مرسوم مانند میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی مطالعه شود .

اندازه ی متوسط ذرات و توزیع اندازه ذرات : انواع رنج وسیعی از روش ها برای اندازه گیری توزیع اندازه ذرات در دسترس هستند ، یک شیوه از توانایی چشم برای سریع دیدن ذرات با اندازه نا پیوسته در یک میکروسکوپ استفاده می کند (ASTM E20) روش مشهور دیگر الک کردن (غربال زنی) می باشد : پودر از طریق دسته ای از غربال ها با افزایش اندازه منفذ (Mesh) و مقدار پودر در هر غربال بهره برداری می شود ، وزن می شود . تکنیک های دیگر براساس اندازه گیری رسوبی، رسانایی الکتریکی ، پراکندگی نور یا حتی تکنیک های اشعه x برای بسیاری از پودرهای ظریف می باشند .

شکل ذرات : شکل ذرات بسیار مهم است و بایستی با توزیع اندازه در نظر گرفته شود ؛ که می تواند توسط میکروسکوپ الکترونی تعیین شود .

مساحت رویه : مساحت سطح ویژه به صورت سطح بر واحد جرم بیان می شود (m^2/g) و به شکل پودر ، بسیار وابسته است مساحت رویه می تواند توسط تکنیک جذب تعیین شود.

چگالی ظاهری :

چگالی ظاهری پودر به معنای وزن بر واحد حجم پودر تعریف می شود بعد از ریختن از طریق یک جریان سنجش Hall (ASTM B212, ASTM B213) و یا یک حجم سنج ASTM SCOTT B329 .

چگالی انباشتگی (لرزشی) :

چگالی انباشتگی، وزن تقسیم بر حجم بعد از ارتعاش پودر است (ASTM B527).

دبی : دبی پودر فلز بر ویژگی های نهایی محصول متالورژی پودر تاثیر نمی گذارد اما برای پرکردن مناسب قالب در طول فشرده سازی ، مهم می باشد . دبی توسط جریان سنجش Hall قابل اندازه گیری است

ملاحظات ایمنی :

برخی از پودرهای فلزات و ترکیبات فلزی تاثیرات مضر روی مصرف کنندگان در معرض این پودرها دارد .
بررسی پودر نیازمند ملاحظات ایمنی مناسب و پاکیزگی می باشد . افرادی که در معرض غبار فلزی قرار دارند ، دچار بیماری های تنفسی یا دیگر معلولیت ها می شوند .

اندازه ی ذرات و وزن مخصوص مواد تا حد زیادی محل رسوب گذاری را برای ذرات زنده تعیین می کند .
ذرات درشت کاملاً در پوسته ها به دام می افتند و به شش ها نمی رسند : ذرات ظریف ، در هر صورتی می توانند به شش برسند و ممکن است درون بدن حل شوند . در حال حاضر، نشانه های کلی برای تشخیص تاثیرات مفید تماس یا لمس معمولی انواع عمومی آلومینیوم و یا آلیاژ های آن وجود ندارد . در هر حال ، هنگام استفاده از پودرهای عنصری همانند عنصر آلیاژ ی ، مراقبت ویژه ای مورد نیاز است (مانند Cd,As,Ni,Cr).

عیب دیگر پودرهای آلومینیومی ، ناپایداری حرارتی آن ها در حضور اکسیژن است . پودرهای آلومینیوم در حالتی که به طور بسیار ظریفی پودر شده باشند ، آتشگیر بوده (در هوا می سوزد) و بالقوه قابل انفجار اند .
پودرهای آلومینیوم به تماس بسیار کمی با اکسیژن در اتمسفر نیاز دارند (کمتر از ۰.۳٪) درجه حرارت احتراق پایینی داشته (کمتر از ۶۰۰۰ C) و محدوده قابل احتراق بسیار کمی دارند (۲۰-۳۵۰ g/m) جلوگیری از آتش و انفجار به وسیله موارد زیر انجام می شود :

منابع آماده احتراق (مانند تخلیه الکترواستاتیک) :

- ۱- غبارزاینده
- ۲- ترکیبات گازی اتمسفر