بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی مواد و متالورژی

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد

گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

شبیه سازی فرآیند آلیاژسازی مکانیکی نانو کامپوزیتها توسط شبکه های عصبی مصنوعی

استاد راهنما :

دکتر محمدرضا ایزدپناه

استاد مشاور :

دکتر مهدی افتخاری

مؤلف :

غلامرضا آقایی

تیر ماه ۱۳۹۰

تقدیم به **پدرم**، بزرگترین معلم زندگیم؛

تقدیم به **مادرم**، مهربان‌ترین همراه و یاورم؛

تقدیم به **برادرانم**، که وجودشان پیوسته مایه دلگرمی‌ام بوده است؛

تقدیم به همه کسانی که فروغ نگاه و گرمی کلامشان همواره راهنما و مشوقم بوده است.

«خورشید وجودتان جاودان باد»

و تقدیم به **مهندس علیرضا افضلی پور**، بنیان گذار دانشگاه شهید باهنر کرمان، او که لحظه به لحظه ارادتم نسبت به وی افزون‌تر می گردد.

«روح بلندت قرین رحمت الهی باد»

چکیده: آلیاژهای پایه آهنی یکی از اجزا اصلی کامپوزیت‌های مغناطیسی نرم می‌باشند. این کامپوزیت‌ها برای تولید موادی با خواص مغناطیسی خوب (نفوذپذیری و مغناطیس اشباع خوب) و مقاومت الکتریکی بالا توسعه یافته‌اند. امروزه ازتکنیک آلیاژسازی مکانیکی به صورت گسترده برای تولید آلیاژهای مغناطیسی نرم نانوساختار که یک گروه جدید از مواد مهندسی با ویژگی‌های ارتقاء یافته هستند استفاده می شود. از شبکه عصبی مصنوعی برای یافتن شرایط بهینه برای تولید پودرهای مغناطیسی نرم نانوساختار استفاده شد. در این تحقیق از شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار برای مدل‌سازی تأثیرات پارامترهای مختلف آلیاژسازی مکانیکی(زمان آسیاب کاری و ترکیب شیمیایی) برروی مشخصات ساختاری وخواص مغناطیسی آلیاژ نانوساختار $Fe_{70-x}Cu_xCo_{30}$ ($x=0, 3, 6, 10$) استفاده شده است. مجموعه داده‌ها از نتایج تحقیقات انجام شده قبلی در مقاله‌ها جمع آوری شده است. اندازه دانه، کرنش شبکه کریستالی، نیروی مغناطیس زدا و مغناطیس اشباع به عنوان خروجی برای چهار مدل شبکه پس انتشار در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده به طور واضح کارایی شبکه های طراحی شده به منظور پیش بینی ویژگی های آلیاژ $Fe_{70-x}Cu_xCo_{30}$ را نشان می دهد. بر اساس قابلیت های پیش بینی مدلهای طراحی شده آنها می توانند به طور مؤثر در شرایط مشابه نیز استفاده گردند.

کلید واژه :آلیاژسازی مکانیکی، شبکه عصبی مصنوعی، نیروی مغناطیس زدا، مغناطیس اشباع

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه..... ۱

فصل دوم : آلیاژسازی مکانیکی..... ۵

۲- ۱ تئوری آلیاژسازی مکانیکی..... ۶

۲-۲ فرآیند آلیاژسازی مکانیکی..... ۷

۲-۳ متغیرهای فرآیند آلیاژسازی مکانیکی..... ۸

۲-۳-۱ماده اولیه..... ۸

۲-۳-۲ آسیاب های مورد استفاده در فرآیند آلیاژسازی مکانیکی..... ۹

۲-۳-۲-۱آسیاب سایشی..... ۹

۲-۳-۲-۲ آسیاب ارتعاشی..... ۱۱

۲-۳-۲-۳ آسیاب سیاره ای..... ۱۱

۲-۳-۲-۴ آسیاب گلوله ای افقی..... ۱۲

۲-۳-۲-۵ آسیاب های تجاری..... ۱۳

۲-۳-۳ محفظه آسیاب..... ۱۵

۲-۳-۴ میزان فضای اشغال شده محفظه آسیاب ۱۵

۲-۳-۵ گلوله‌های آسیاب..... ۱۵

۲-۳-۶ نسبت وزنی گلوله به پودر..... ۱۶

۲-۳-۷ اتمسفر آسیاب..... ۱۷

۲-۳-۸ سرعت آسیاب‌کاری..... ۱۷

۲-۳-۹ زمان آسیاب‌کاری..... ۱۷
۲-۳-۱۰ عامل کنترل فرآیند..... ۱۷
۲-۳-۱۱ دمای آسیاب‌کاری..... ۱۸
۲-۴ مغناطیس و مواد مغناطیسی..... ۱۹
۲-۴-۱ مواد دیا مغناطیس..... ۱۹
۲-۴-۲ مواد پارا مغناطیس..... ۲۰
۲-۴-۳ مواد فرومغناطیس..... ۲۰
۲-۴-۴ مواد مغناطیسی سخت..... ۲۰
۲-۴-۵ مواد مغناطیس نرم..... ۲۱
۲-۵ فاکتورهای مغناطیسی مهم در بررسی خواص مغناطیسی مواد..... ۲۲
۲-۵-۱ نیروی مغناطیس‌زدا..... ۲۳
۲-۵-۲ نفوذپذیری مغناطیسی..... ۲۳
۲-۵-۳ تلفات مغناطیسی..... ۲۴
فصل سوم : شبکه‌های عصبی مصنوعی..... ۲۵
۳-۱ هوش مصنوعی..... ۲۶
۳-۲ شبکه های عصبی مصنوعی..... ۲۶
۳-۳ تاریخچه پیدایش شبکه های عصبی مصنوعی..... ۲۷
۳-۴ ساختار شبکه عصبی..... ۲۸
۳-۵ نحوه عملکرد شبکه های عصبی مصنوعی..... ۳۲

۳-۶ شبکه پرسپترون.....۳۶
۳-۶-۱ شبکه پرسپترون چند لایه.....۳۷
۳-۷ مزایا و معایب شبکه های عصبی مصنوعی.....۳۸
فصل چهارم : مروری بر تحقیقات گذشته.....٤٠
۴-۱ مطالعات مرتبط با شبیه سازی آلیاژسازی مکانیکی.....۴۱
فصل پنجم : روش تحقیق.....٤٤
۵-۱ جمع آوری داده های آزمایشگاهی و انجام مدل سازی.....۴۵
۵-۲ ارزیابی نتایج حاصل از شبکه های عصبی.....۴۵
فصل ششم : ارائه نتایج و تحلیل یافته‌ها.....٤٦
۶-۱ تعیین پارامترهای ورودی شبکه عصبی.....۴۷
۶-۲ مدل سازی مشخصات ساختاری و خواص مغناطیسی.....۴۷
۶-۲-۱ تعیین تعداد بهینه نرون ها در لایه مخفی.....۵۰
۶-۲-۲ تعیین تعداد بهینه لایه های مخفی.....۵۱
۶-۲-۳ تعیین بهترین تابع انتقال.....۵۱
۶-۲-۴ تعیین بهترین تابع آموزش.....۵۱
۶-۳ جزئیات شبکه های طراحی شده.....۵۲
۶-۳-۱ مدل ANN1.....۵۲
۶-۳-۲ مدل ANN2.....۵۵
۶-۳-۳ مدل ANN3.....۵۷

۶-۳-۴ مدل ANN4.....۵۹

فصل هفتم : نتیجه گیری.....۶۲

۷-۱ نتیجه گیری.....۶۳

۷-۲ پیشنهادها.....۶۵

منابع.....۶۶

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱ : نمایی از برخورد گلوله - پودر- گلوله.....۶

شکل۲-۲ : فرآیند تولید محصول از پودر به روش آلیاژسازی مکانیکی.....۷

شکل ۲-۳ : توزیع اندازه ذرات در حال تعادل.....۸

شکل۲-۴ : نمایی از آسیاب سایشی.....۱۰

شکل ۲-۵ : پروفیل سرعت گلوله‌ها در آسیاب سایشی.....۱۰

شکل۲-۶ : تصویر شماتیک آسیاب گلوله ای ارتعاشی.....۱۱

شکل۲-۷ : نمونه‌ای از آسیاب سیاره‌ای ۱۲

شکل ۲-۸ : تصویر آسیاب گلوله‌ای افقی.....۱۳

شکل ۲-۹ : تصویر حرکت گلوله‌ها در آسیاب گلوله‌ای افقی.....۱۳

شکل ۲-۱۰ : تصویری از چند آسیاب تجارتی.....۱۴

شکل ۲-۱۱ : تصویری از یکی از کاربردهای آلیاژهای آهن-کبالت ۲۲

شکل ۳-۱ : نمونه ای از یک نرون زیستی.....۲۹

شکل ۳-۲ : مدل نرون ساده مصنوعی.....۲۹

شکل ۳-۳ : نمایی از تابع انتقال لگاریتم سیگموئید.....۳۰

شکل ۳-۴ : نمایی از تابع انتقال تانژانت سیگموئید.....۳۱

شکل ۳-۵ : نمایی از تابع انتقال خطی.....۳۱

شکل ۳-۶ : نمونه ای از یک شبکه عصبی مصنوعی چند لایه.....۳۳

شکل ۳-۷ : نحوه عملکرد الگوریتم آموزشی پس انتشار.....۳۴

شکل ۳-۸ : الف) نمایی از ایجاد بیش برازش و ب) نمایی از توقف زودرس در شبکه عصبی ...۳۵
شکل ۳-۹ : نمایی از عملکرد شبکه پرسپترون.....۳۶
شکل۶-۱ : تعداد بهینه نرون لایه مخفی برای مدل ANN1.....۵۳
شکل ۶-۲ : تحلیل رگرسیون نتایج حاصل از مدل ANN1 و داده های تجربی برای مجموعه داده های (الف) آموزش و (ب) آزمایش.....۵۵
شکل۶-۳ : تعداد بهینه نرون لایه مخفی برای مدل ANN2.....۵۶
شکل ۶-۴ : تحلیل رگرسیون نتایج حاصل از مدل ANN2 و داده های تجربی برای مجموعه داده های (الف) آموزش و (ب) آزمایش.....۵۷
شکل۶-۵ : تعداد بهینه نرون لایه مخفی برای مدل ANN3.....۵۸
شکل ۶-۶ : تحلیل رگرسیون نتایج حاصل از مدل ANN3 و داده های تجربی برای مجموعه داده های (الف) آموزش و (ب) آزمایش.....۵۹
شکل۶-۷ : تعداد بهینه نرون لایه مخفی برای مدل ANN4.....۶۰
شکل ۶-۸ : تحلیل رگرسیون نتایج حاصل از مدل ANN4 و داده های تجربی برای مجموعه داده های (الف) آموزش و (ب) آزمایش.....۶۱

فهرست جدول‌ها

جدول ۶-۱ : محدوده مقادیر پارامترهای ورودی و خروجی شبکه عصبی، میانگین و انحراف معیارمدل ANN1.....۵۲

جدول ۶-۲ : محدوده مقادیر پارامترهای ورودی و خروجی شبکه عصبی، میانگین و انحراف معیارمدل ANN2.....۵۵

جدول ۶-۳ : محدوده مقادیر پارامترهای ورودی و خروجی شبکه عصبی، میانگین و انحراف معیارمدل ANN3.....۵۸

جدول ۶-۴ : محدوده مقادیر پارامترهای ورودی و خروجی شبکه عصبی، میانگین و انحراف معیارمدل ANN4.....۶۰

فصل اول

مقدمه

امروزه نانو مواد و کاربردهای روز افزون آنها در زمینه های مختلف، به بحث داغ روز تبدیل شده است. دلیل این امر را بی شک بایستی در کشف روش های شناسایی، آنالیز و تولید چنین موادی جستجو کرد. خواص متفاوت مشاهده شده در مواد نانو ساختار در مقایسه با مواد درشت دانه معمول، منجر به ایجاد علاقه شدید به این زمینه از علم و فناوری در سالهای اخیر در بین دانشمندان شده است.

تحقیقات و بررسی‌های انجام شده در زمینه علم مواد به طور پیوسته به سمت بهبود خواص و کارایی مواد بوده است. در همین راستا تغییرات قابل توجهی در خواص مکانیکی، شیمیایی و فیزیکی یا اصلاح ترکیب شیمیایی به کمک فرآیندهای معمول حرارتی، مکانیکی و ترمومکانیکی حاصل شده است. با این وجود تقاضای رو به رشد برای مواد سبک‌تر، مستحکم‌تر، سخت‌تر و دارای خواص ویژه در دمای بالا منجر به ارائه و طراحی مواد پیشرفته شده است. بر اساس ملاحظات صورت گرفته، ساختار مواد پیشرفته یا فرآوری آنها تحت شرایط غیرتعادلی(یا دور از حالت تعادل) از قابلیت کنترل بهتری برخوردار است. در بین چنین فرآیندهایی مواردی چون انجماد سریع از حالت مذاب، آلیاژسازی مکانیکی، فرآوری به روش پلاسما و تشکیل رسوب از فاز بخار توجه زیادی را در بین محققین به خود جلب نموده است[۱] .

آلیاژسازی مکانیکی به عنوان یک روش مناسب برای تولید مواد نانوساختار استفاده می‌شود. تجهیزات ساده، عدم نیاز به دماهای بالا، سادگی فرآیند و تولید مقدار زیادی از مواد نانوساختار در زمان کوتاه از مزیت‌های عمده این روش می‌باشد.آلیاژسازی مکانیکی با تسریع سینتیک بسیاری از واکنش‌های شیمیایی و استحاله‌های متالورژیکی، وقوع آن‌ها را در دماهای پایین امکان‌پذیرمی-سازد؛ بنابراین بسیاری از مواد و ترکیبات که با استفاده از روش‌های دیگر قابل تولید نیستند، با این روش به سادگی تهیه می‌شوند[۴-۲] . امروزه ازآلیاژسازی مکانیکی به منظور تولید مواد منحصر به فرد از نظر علمی و تجاری استفاده می شود. در یک تقسیم بندی کلی می توان گفت تاکنون از فرآیند آلیاژسازی مکانیکی به منظور تهیه بسیاری از مواد پیشرفته مانند آلیاژهای مقاوم شده با ذرات پراکنده اکسیدی[۱](ODS)، مواد تعادلی، مواد غیرتعادلی(مانند مواد نانو بلوری، شبه بلوری و غیر بلوری) و مواد کامپوزیتی استفاده شده است[۵] .از جمله سایر کاربردهای مهم این روش تهیه آلیاژهای جدیدی است که براساس دیاگرام تعادلی در یکدیگر انحلال ناپذیر بوده و با سایر

۱- Oxide Dispersion Strengthened

روش‌های دیگر قابل تولید نیستند. همچنین با توجه به انجام کامل فرآیند در حالت جامد محدودیت های دیاگرام فازی در این روش وجود ندارد[۶].

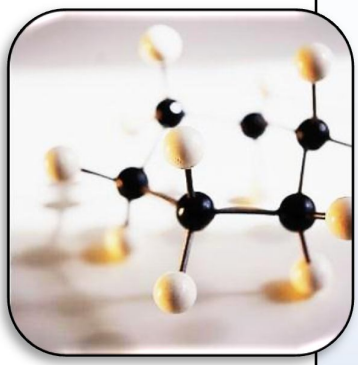
تکنیک آلیاژسازی مکانیکی به صورت گسترده برای تولید آلیاژهای مغناطیسی نرم نانوساختار که یک گروه جدید از مواد مهندسی با ویژگی های ارتقاء یافته هستند استفاده می شود. خواص برتر آلیاژهای مغناطیسی در حالت نانو ساختار ناشی از کاهش ناهمسانگردی مغناطیسی در این مواد است. در واقع این کاهش به علت غالب شدن اثر همسو شدن یا جفت شدن گشتاورهای مغناطیسی در این مواد است. امکان همسو شدن گشتاورهای مغناطیسی در مواد نانو ساختار از این واقعیت سرچشمه می گیرد که در ساختارهای معمولی به علت حوزه های بزرگ مغناطیسی و همچنین رشد این حوزه ها در طی فرآیند مغناطیس شدن، اثر جفت شوندگی گشتاورهای مغناطیسی محدود به سطح حوزه ها بوده و قابل صرف نظر کردن است[۷]. تنها در حالت نانو ساختار است که ابعاد حوزه ها لاجرم کاهش یافته و امکان اثرگذاری گشتاورهای مغناطیسی حوزه های مجاور بر روی یکدیگر فراهم می آید که در نهایت بهبود رفتار مغناطیسی را در پی خواهد داشت[۸].

در قرن بیستم و با توجه به توسعه صنعت متالورژی و نیاز روز افزون صنعت برق به تولید مواد مغناطیسی با مغناطیس اشباع بالا، نفوذ پذیری بالا و نیروی مغناطیس زدای کم برای کاربردهای مختلفی چون دستگاههای ذخیره سازی اطلاعات، مبدل ها ، هسته های مغناطیسی و . . .، رویکرد مهندسی بر این است تا بتواند شرایط بهینه برای تولید پودرهای مغناطیسی نرم نانوساختار را فراهم کند. بنابراین ضروری می نماید تا پارامترهای آسیاب کاری برای رسیدن به ویژگی های مغناطیسی ارتقاء یافته، کنترل شوند. بهینه سازی شرایط آسیاب کاری و ترکیب شیمیایی برای دست یابی به آلیاژ مغناطیسی با خواص مورد نظر پرهزینه و وقت گیر است.

یکی از راهکارها با اهداف جلوگیری از تکرار آزمایشات، برقراری یک رابطه غیرخطی میان خواص مورد نظر و عوامل تأثیر گذار بر آنها، افزایش دقت و کاهش هزینه ها در سالیان اخیر ارائه شده است استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی می باشد. در بررسی خواص مورد نظر ماده که عوامل تأثیر گذار بر روی آنها بسیار می باشند برقراری یک رابطه غیرخطی میان این خواص و پارامترهای تأثیر گذار بر آنها این امکان را به کاربران و محققان آینده خواهد داد که بدون نیاز به آزمایشات مکرر و با دقت و سرعت بیشتری به اطلاعات مطلوب خود دست یابند.

هدف از این تحقیق بررسی پارامترهای مختلف بر روی مشخصات ساختاری و خواص مغناطیسی پودرهای به دست آمده از آلیاژسازی مکانیکی و شبیه سازی این فرآیند با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می باشد.

این پایان نامه مشتمل بر ۷ فصل است. پس از مقدمه(فصل ۱)، در فصل های ۲ و۳ مباحث نظری مربوط به آلیاژسازی مکانیکی و شبکه های عصبی مصنوعی ارائه شده است. در فصل ۴ مهمترین روش های مطالعاتی و نیز تحقیقات انجام شده در زمینه اندازه گیری و پیش بینی مشخصات ساختاری و خواص مغناطیسی پودرهای به دست آمده از آلیاژسازی مکانیکی به طور اجمالی مورد بررسی قرار گرفته اند. در سه فصل پایانی این پایان نامه به ترتیب روش تحقیق، نتایج مطالعات و تحلیل یافته ها و در نهایت نتیجه گیری های نهایی به همراه پیشنهادهایی برای ادامه و ارتقاء موضوع این پایان نامه ارائه شده است.

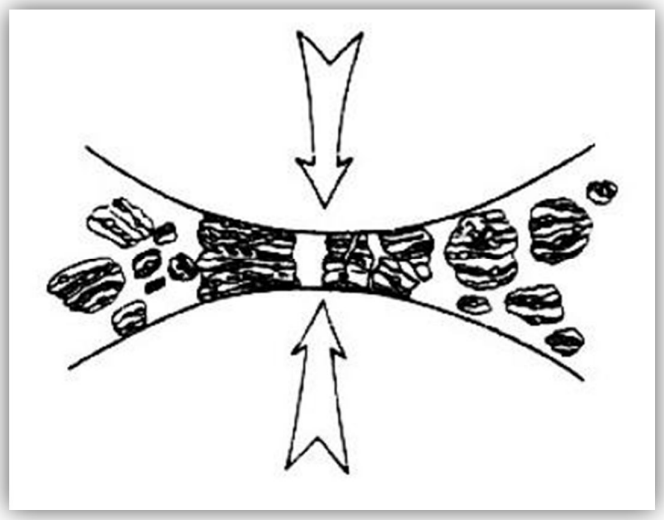


فصل دوم

آلیاژسازی مکانیکی

۲-۱ تئوری آلیاژسازی مکانیکی

آلیاژسازی مکانیکی یک روش آسیاب کاری گلوله ای با انرژی بالا برای تولید مواد همگن از مخلوط پودر عناصر است. بعد از ریختن پودرها به درون آسیاب، بیشترین برخورد موثر از نوع برخورد گلوله- پودر- گلوله می‌باشد. بر مبنای این نوع برخورد و مدل ارائه شده در شکل ۲-۱ ذرات پودر بین دو گلوله محصور شده و تحت تغییر فرم پلاستیک و کار سختی قرار می‌گیرند. این نوع ضربه اساس کیفی و کمی شرح فرآیند آلیاژسازی مکانیکی است[۹] .



شکل ۲-۱ : نمایی از برخورد گلوله - پودر- گلوله[۱۰]

اگر بر روی ذرات پودر لایه نازکی از ذرات اکسیدی وجود داشته باشد در حین این فرآیند به صورت اتمی تمیز می‌شوند، زیرا این لایه‌ها در حین فرآیند می‌شکنند. اتصال سرد بین پودرها موقعی صورت می‌گیرد که لایه مذکور حذف شده باشد. از طرف دیگر افزایش مقدار تغییر شکل پلاستیک و جمع شدن کرنش در ذرات باعث شکسته شدن ذرات می‌شود. این رقابت بین شکست و جوش سرد پودرها تا تمام شدن فرآیند ادامه دارد و در حقیقت یک تعادل مناسب بین این دو پدیده برای انجام موفقیت‌آمیز آلیاژسازی مکانیکی صورت می‌گیرد[۹] .

برخوردهای صورت‌گرفته بین گلوله‌ها معمولاً به صورت الاستیک در نظر گرفته می‌شود. در این حالت هیچ تلفاتی نسبت به انرژی سینتیکی گلوله‌ها نداریم. در بسیاری از برخوردهای واقعی، از برخورد کاملاً الاستیک دور نیستیم و می‌توان از تئوری هرتزر[۱][۹] استفاده نمود. این تئوری بر

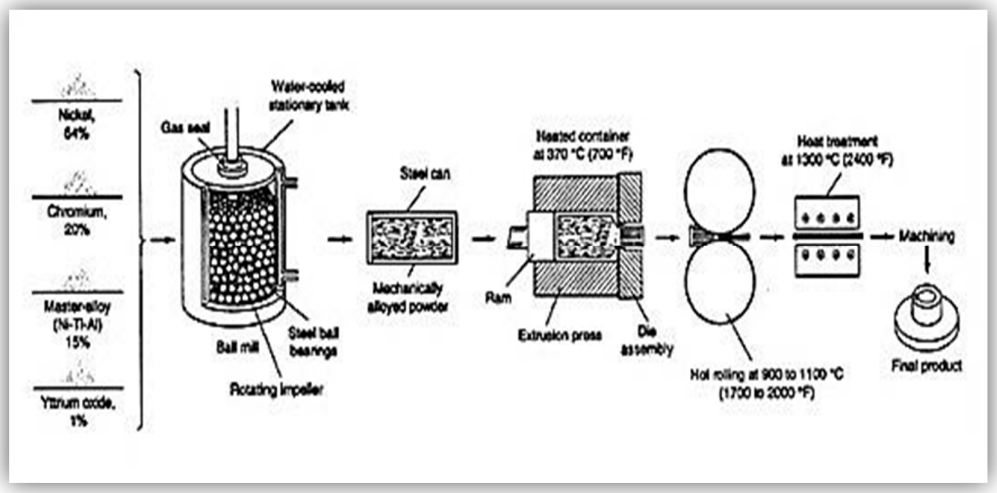
۱-Hertzer

این مبنا می‌باشد که هیچ مقداری از انرژی از بین نمی‌رود. به عبارت دیگر تمام انرژی که صرف تغییر شکل الاستیک گلوله‌ها می‌شود، در آنها ذخیره شده و دوباره به صورت انرژی سینتیک به گلوله دیگر منتقل می‌شود و می‌توان گفت گلوله‌ها دچار تغییر شکل پلاستیک نمی‌شوند. به طور کلی این تئوری در تعیین فشار، زمان فشرده شدن و نواحی فشرده شده در حین آلیاژسازی مکانیکی بسیار موثر است.

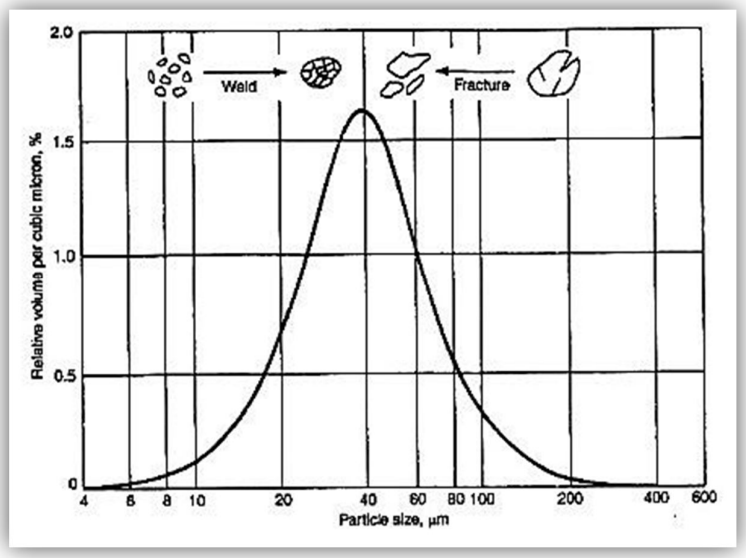
۲-۲ فرآیند آلیاژسازی مکانیکی

شکل ۲-۲ به طور شماتیک مسیر فرآیند آلیاژسازی مکانیکی را از مواد خام نشان می‌دهد. مواد مصرفی، نوع آسیاب، فرآیند ترکیب کردن و جزئیات عملیات حرارتی بر حسب نتیجه مورد نیاز از محصول نهایی متفاوت می‌باشند، اما اصول فرآیند یکسان هستند[۱۱] .

این فرآیند به این صورت آغاز می‌شود که مخلوطی از پودرها به نسبت‌های مشخص داخل محفظه‌ای با گلوله‌های فولادی آسیاب می‌گردند. سپس برای زمان‌های معینی تا رسیدن به یک حالت تعادل آسیاب می‌شوند. این حالت را می‌توان بر اساس ماکزیمم سختی پودرها و همچنین توزیع اندازه ذرات تخمین زد. در این مرحله نرخ ریز شدن ذرات درشت به دلیل شکست با نرخ جوش سرد ذرات ریز یکسان شده و توزیع اندازه ذرات در محدوده باریکی قرار می‌گیرد (شکل ۲-۳) . در مرحله بعد پودرها با انواع روش‌های متالورژی پودر فشرده شده و عملیات حرارتی، در صورت نیاز بر روی پودرها انجام می‌شود[۱۱] .



شکل۲-۲ : فرآیند تولید محصول از پودر به روش آلیاژسازی مکانیکی



شکل ۲-۳ : توزیع اندازه ذرات در حال تعادل [۱۱]

۲-۳ متغیرهای فرآیند آلیاژسازی مکانیکی

آلیاژسازی مکانیکی یک فرآیند پیچیده است که در آن باید متغیرهای زیادی را بهینه کرد تا به ساختار و فاز نهایی مورد نظر دست یافت. بعضی از این پارامترهای مهم عبارتند از : مواد اولیه، نوع آسیاب، محفظه آسیاب، سرعت آسیاب‌کاری، زمان آسیاب کردن، نوع و اندازه گلوله‌ها، نسبت وزنی گلوله‌ها به پودر، مقدار فضای اشغال‌شده محفظه آسیاب، دمای آسیاب‌کاری، استفاده از عامل کنترل فرآیند و ... . این پارامترها به طور کامل از یکدیگر مستقل نیستند؛ برای مثال، زمان بهینه آسیاب‌کاری به نوع آسیاب، اندازه گلوله‌ها، دمای آسیاب‌کاری، نسبت وزنی گلوله‌ها به پودر وابسته است[۱۰، ۱۲ و۱۳]. در ادامه به بررسی اثر بعضی از این پارامترها پرداخته می‌شود.

۲-۳-۱ : ماده اولیه

اندازه، شکل، توزیع اندازه‌ی ذرات پودر و میزان خلوص آن از مواردی هستند که کیفیت پودر اولیه را مشخص می‌کنند. هر اندازه ذرات پودر کوچک‌تر و میزان آلودگی آن کمتر باشد، مناسب‌تر است. در مورد فلزات فعال مثل تیتانیوم و آلومینیوم پودر اولیه نباید در معرض هوا باشد[۱۱].