۱۳۷۸/۷/۱۲

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تفکیک مدارک

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مکانیک

تولید نیمه ساخته از پودر فلزات به روش اکستروژن

اکبر شیرخورشیدیان

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک - ساخت و تولید

TO 28/۲

استاد راهنما:

دکتر امین میراحمدی

شهریور ۱۳۷۷

بسم الله الرحمن الرحيم

چکیده

در این پژوهش فرآیند اکستروژن پودر فلزات مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجائی که این روش شاخه‌ای از متالورژی پودر محسوب می‌شود، در مورد بعضی از جنبه های مربوط به آن نظیر تف جوشی، روانکاری پودر، تف جوشی سریع و جوش حالت جامد نیز مطالبی آورده شده است. از سوی دیگر این فرآیند نوعی اکستروژن می‌باشد و بنابراین در زمینهٔ مباحث تئوری روش، مکانیک اکستروژن مواد قابل تراکم یا به عبارت دیگر رفتار پودر تحت فشار مورد تحقیق قرار گرفته است.

روش اکستروژن مداوم پودر فلزات به عنوان روشی جالب و مورد توجه در ساخت نیم‌ساخته هایی با سطح مقطع کوچک و با طول نامحدود معرفی شده است.

برای درک عملی بهتر این فرآیند چند مدل و ابزار نسبتاً ساده طراحی شده و با سه نوع پودر مورد آزمایش عملی قرار گرفته‌اند. پودرهای مورد استفاده عبارتنداز: پودر آلومینیوم، برادهٔ خرد شدهٔ آلومینیوم و پودر برنج. ابزارهای ساخته‌شده برای روش های اکستروژن مستقیم، اکستروژن جانبی و اکستروژن پیوسته طراحی شده‌است. محصولات به‌دست‌آمده از این مدل‌ها جهت ارزیابی فرآیند مورد برخی آزمایشات خواص مکانیکی قرار گرفته‌اند.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از مسئولین محترم کارخانهٔ متالورژی پودر خراسان برای تأمین پودر استفاده شده در آزمایشات و مسئولین محترم و پرسنل زحمتکش صنایع مهمات سازی پارچین که امکان انجام آزمایشات را فراهم نمودند، صمیمانه قدردانی می‌کنم.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول – مقدمه	
۱-۱ تاریخچه	۱
۱-۲ ویژگی های فرآیند	۴
۱-۳ اهداف این تحقیق	۵
فصل دوم – آنالیز حرکت پودر تحت فشار	
۲-۱ مقدمه	۶
۲-۲ رفتار پودر فلزات تحت فشار در قالب صلب	۷
۲-۳ تئوری پلاستیسیته برای فلزات متخلخل	۸
۲-۴ فرمول های تجربی در محاسبهٔ فشار اکستروژن پودر فلزات	۱۲
فصل سوم – بررسی جوش سرد و تف جوشی	
۳-۱ پدیدهٔ جوش سرد	۱۴
۳-۲ تف جوشی	
۳-۲-۱ مقدمه	۱۶
۳-۲-۲ مکانیزم های تف جوشی	۱۸
۳-۲-۳ تحلیل تف جوشی در مراحل ابتدایی	۲۱
فصل چهارم – روانکاری در فرآیند اکستروژن پودر	۲۵
فصل پنجم – اکستروژن پیوسته پودر فلزات	
۵-۱ مقدمه	۲۷
۵-۲ روش conform	۲۷

عنوان	صفحه

۵-۳ روش اکسترودر پیچی ۳۳

۵-۴ اکستروژن پیوسته با سنبهٔ رفت و برگشتی ۳۳

۵-۵ روش تجربه شده در این پروژه ۳۵

۵-۶ بررسی امکان تف جوشی در اکستروژن پیوسته

۵-۶-۱ مقدمه ۳۷

۵-۶-۲ تف جوشی ثقلی ۳۸

۵-۶-۳ تف جوشی با عبور مستقیم جریان الکتریسیته از مواد ۴۱

فصل ششم - طراحی قالب تولید میلگرد به روش اکستروژن غیر پیوسته

۶-۱ قالب اکستروژن مستقیم ۴۴

۶-۲ قالب اکستروژن جانبی ۵۰

فصل هفتم - آزمایش های عملی و نتایج آنها

۷-۱ آزمایش های عملی

۷-۱-۱ اکستروژن مستقیم پودر آلومینیوم ۵۲

۷-۱-۲ اکستروژن مستقیم پودر برنج ۵۳

۷-۱-۳ اکستروژن مستقیم آلومینیوم ریخته گری شده ۵۳

۷-۱-۴ اکستروژن مستقیم برادهٔ خرد شدهٔ آلومینیوم ۵۳

۷-۱-۵ اکستروژن مستقیم چهار تودهٔ پشت سر هم ۵۴

۷-۱-۶ اکستروژن جانبی پودر آلومینیوم ۵۵

۷-۲ خواص مکانیکی محصولات به دست آمده ۵۵

۷-۳ نتایج ۵۷

ضمیمه ۵۹

مراجع

فهرست شکل ها و نمودارها

شکل	عنوان	صفحه
فصل اول:		
۱-۱	انواع روش های اکستروژن	۱
فصل دوم:		
۲-۱	تغییر نیرو نسبت به حرکت سنبه در اکستروژن	۶
۲-۲	رابطهٔ فشار و دانسیته برای پودر فلز تحت فشار	۸
۲-۳	سطح تسلیم برای مواد متخلخل	۱۰
فصل سوم:		
۳-۱	سطح مقطع یک جوش سرد آلومینیوم	۱۶
۳-۲	شکل گلوگاه در طی زمان در تف جوشی	۱۷
۳-۳	عملکرد مکانیزم های تف جوشی	۲۲
۳-۴	کاهش حجم نسبی بر حسب پارامتر x در تف جوشی	۲۴
۳-۵	تعیین کاهش حجم در تف جوشی	۲۴
فصل پنجم:		
۵-۱	طرح ابتدایی روش اکستروژن مداوم	۲۸
۵-۲	دستگاه conform با چرخ پیش فشار	۲۹
۵-۳	دستگاه conform با سیستم ایجاد خلاء	۳۲
۵-۴	روش دیگر اکستروژن پیوسته با سیستم اکسترودر پیچی	۳۳
۵-۵	اکستروژن پیوسته با سنبهٔ رفت و برگشتی	۳۴

شکل	عنوان	صفحه
۶-۵	دستگاه conform ساخته شده در این پروژه	۳۶
۵-۷	گرم کردن قالب اکستروژن پیوسته با عبور جریان الکتریکی از درون ماده	۴۲

فصل ششم:

۶-۱	پرس هیدرولیک استفاده شده در آزمایش ها	۴۵
۶-۲	قالب تهیهٔ تودهٔ پیش فشرده	۴۶
۶-۳	محفظهٔ دو جداره	۴۸
۶-۴	قالب ساخته شده برای اکستروژن مستقیم	۴۹
۶-۵	قالب ساخته شده برای اکستروژن جانبی	۵۱

فصل هفتم:

۷-۱	ابعاد نمونهٔ تست کشش	۵۵

نمودارها:

۷-۱	نتیجهٔ آزمایش خواص مکانیکی پودر آلومینیوم اکسترود شده به روش مستقیم	۵۶
۷-۲	نتیجهٔ آزمایش خواص مکانیکی پودر آلومینیوم اکسترود شده به روش جانبی	۵۶
۷-۳	نتیجهٔ آزمایش خواص مکانیکی آلومینیوم صلب اکسترود شده به روش مستقیم	۵۷

فهرست جدول‌ها

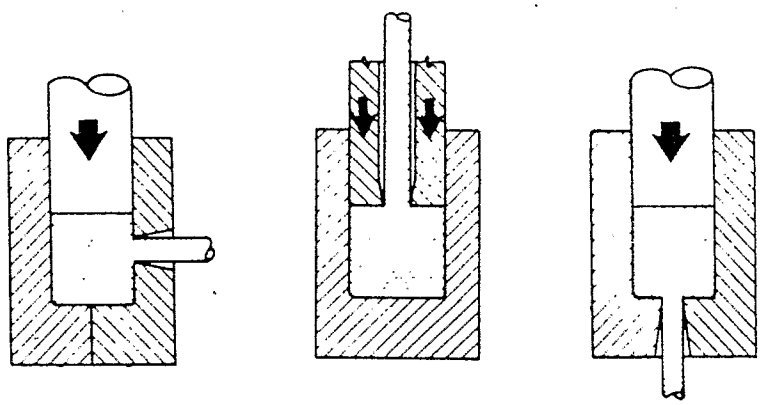
جدول	عنوان	صفحه
فصل سوم:		
۳-۱	مقادیر اعداد ثابت در فرمول محاسبهٔ اندازهٔ گلوگاه	۱۹
فصل پنجم:		
۵-۱	خلاصهٔ ترکیب و دانه بندی چند پودر استفاده شده در روش conform	۳۰
۵-۲	خواص مکانیکی محصولات به دست آمده از روش conform	۳۱
۵-۳	خواص به دست آمده در تف جوشی القایی و تف جوشی سنتی	۴۰
۵-۴	پارامترهای تف جوشی القایی	۴۱
فصل ششم:		
۶-۱	مقادیر تقریبی برای محاسبهٔ محفظه های چند جداره	۴۷
فصل هفتم:		
۷-۱	مشخصات نمونهٔ تست کشش طبق DIN 50125	۵۵

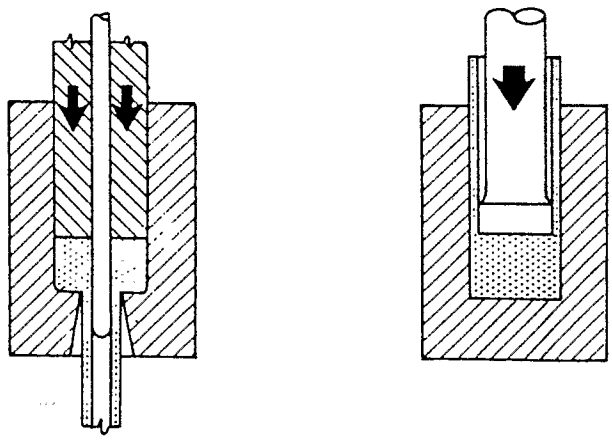
فصل اول -مقدمه

۱-۱ تاریخچه

حدود دویست سال قبل Joseph Bramah برای اولین بار موفق شد لوله های سربی را به روش اکستروژن بسازد. چند سال بعد Thomas Burr از نیروی هیدرولیک برای این کار استفاده نمود که هنوز هم روش متداول در اکستروژن مستقیم می باشد[۷].

باگذشت زمان پیشرفت های زیادی در این فرآیند حاصل شد و تکنیک های جدیدی ابداع گردید. از جمله: اکستروژن معکوس، اکستروژن جانبی ، اکستروژن ضربه ای و انواع روش های اکستروژن مداوم.





شکل (۱-۱) انواع روش های معمول در اکستروژن

در اواخر دهه ۵۰ میلادی برای ساخت پروفیل های از جنس بریلیوم مورد استفاده در صنایع فضایی به ـ ـجای ماده صلب از پودر این فلز استفاده شد و مقاطع طویل اکسترود گردید که در واقع نقطه شروع فعالیت در زمینهٔ اکستروژن پودر می باشد. پس از آن این روش برای تولید میلگرد های از جنس آلومینیوم با استحکام زیاد (SAP) استفاده گردید [۳۱]. به موازات آن محققین نیز به بررسی مباحث تئوری و بهبود روش پرداختند. اکنون پاره ای از موارد تحقیق در زمینهٔ اکستروژن پودر فلزات به طور خلاصه ذکر می گردد:

۱- در سال ۱۹۷۳، T.Sheppard , P.J.M.Chare به بررسی این روش جهت ساخت آلیاژ های Al-Fe پرداختند. این آلیاژها از جمله مواردی هستند که ساخت آنها به روش های ذوبی بسیار مشکل می باشد. از جملهٔ این مشکلات می توان به این موارد اشاره نمود: به وجود آمدن یک ناحیهٔ خمیری به هنگام سرد شدن مذاب، حلالیت محدود این دو عنصر و در نتیجه بروز پدیدهٔ تجمع در محصول و تنش تسلیم بالا در حرارت شکل دادن. در این تجربه در دمای کمتر از ۲۵ ٪ نقطهٔ ذوب آلیاژ با اعمال نیروی نسبتاً کم از روش اکستروژن پودر میلگرد های صلب با خواص مکانیکی مطلوب به دست آمده است. آلیاژ به کار رفته در این تحقیق Al - 5% Fe بوده است [۹].

۲- در سال ۱۹۷۶، J.Grosch , H.Jahniche روش اکستروژن سرد پودر آلومینیوم را مورد تحقیق قرار دادند. نتایج این تجربه نشان میدهد که چنانچه نسبت اکستروژن از یک حدی بیشتر باشد محصول به دست آمده دارای استحکام مطلوبی می باشد (در این آزمایش $R > 8.35$). نتایج آزمایشات مختلف که بر روی محصول انجام شده است نیز در گزارش آنها آمده است و نشان می دهد که می توان پروفیل های آلومینیومی را به روش اکستروژن پودر و بدون تف جوشی به دست آورد [۲۴].

۳- در سال ۱۹۸۳، T.Sheppard , M.A.Zaidi , G.H.Tan تولید آلیاژ های مستحکم Al - Mg و نیروی مورد نیاز فرآیند را تحت بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده از این آزمایش حاکی از این است که نیروی مورد نیاز نسبت به اکستروژن مواد صلب کمتر بوده است. همچنین یک رابطهٔ لگاریتمی برای بیان فشار مورد نیاز در اکستروژن پودر پیشنهاد شده است. این رابطه بر اساس مقادیر تجربی به دست آمده و دارای دو عدد ثابت است که یکی از آنها مربوط به کار اضافی مورد نیاز در روش اکستروژن پودر

می باشد . این کار اضافی در واقع صرف فشردن ، جوش خوردن ، شکستن این جوش ها و جوش‌خوردن‌های مجدد می شود که در بسیاری موارد نیاز به تف جوشی را برطرف می کند[۲۶].

۴- درسال های ۱۹۸۰ و ۱۹۸۴، طی دو بررسی، W.Hermel , G.Leitner , R.Krumphold روش القایی را برای تف جوشی آلیاژ های آهنی و کاربید ها مورد تحقیق قرار دادند. نتایج این تجربه نشان می دهدکه در مورد فلزاتی با قابلیت هدایت الکتریکی خوب و دارای شکل های غیر پیچیده می توان به ــ روش القایی در زمان های خیلی کوتاه تر از روش های معمول در تف جوشی و با صرف انرژی کمتر پودر فشرده شده را به استحکام کافی رساند. این روش از این جهت مورد توجه است که می توان از آن برای تف جوشی در فرآیند اکستروژن پیوسته فلزات بهره گرفت[۱۴ و۱۳].

۵- در سال ۱۹۸۰، J.A.Pardoe روش اکستروژن مداوم پودر فلزات را با اصلاحی که بر روی دستگاه conformکه قبلاً توسط Green برای اکستروژن مداوم مادهٔ صلب اختراع شده بود، تجربه نمود. این دستگاه از یک چرخ گردان دارای شیار محیطی و یک نیم قالب مقعرکه بر روی چرخ قرارگرفته و با هم تشکیل قالب اکستروژن را می دهند استفاده شده است. محرکهٔ شکل دادن در این دستگاه اصطکاک موجود بین چرخ گردان و مادهٔ اکسترود شونده می باشد. این دستگاه برای تولید مقاطع کوچک فلزات غیرآهنی ، بدون تف جوشی کاربرد دارد[۲۳].

۶- در سال ۱۹۸۲، در شرکت صنایع سنگین Sumitomo ژاپن روش conform با اضافه کردن سیستم ایجاد خلاء در قالب برای خارج کردن هوا و گازهای موجود بین دانه های پودر کامل تر گردید و محصولات با کیفیت بهتری تولید شد. این روش امکان استفاده از حرارت های بالا را درروش conform مهیا ساخت که می تواند برای تولید آلیاژ های نیکل،کاربایدها و سرامیک ها در آینده به کار رود[۲۵].

۷- در سال ۱۹۹۷، J.Z.Gronostajski , J.W.Kaczmar , H.Marciniak در مورد بازیافت مستقیم براده های آلومینیومی از روش اکستروژن پودر و تبدیل آنها به محصولات اکسترود شده تحقیق کردند.

آنها نشان دادند که از نظر اقتصادی این روش بسیار مقرون به صرفه تر از روش های ذوبی در باز یافت براده های آلومینیومی می باشد [۲۱].

۸- در سال ۱۹۷۶، H.Mc.Shane , T.Sheppard به بررسی در مورد فشار لازم برای اکستروژن پودر پیش فشرده پرداختند. آنها در این تجربه از روش کران بالایی (upper bound) استفاده کردند و نتایج را با داده های تجربی مقایسه نمودند. آنها نتیجه گرفتند که حل کران بالایی بر اساس میدان تغییر شکل فیزیکی تجربی با مقادیر عملی تطابق بسیار خوبی دارند[۱۲].

۹- در سال ۱۹۹۷، C.Axmann روش modified slab method را برای محاسبهٔ فشار مورد نیاز در اکستروژن پودر فلزات به کار گرفت[۱۱].

۲-۱ ویژگی های فرآیند

ویژگی های قابل توجه حاصل از این فرآیند عبارتند از[۷]:

-- امکان ساخت میلگرد، پروفیل و دیگر مقاطع از جنس آلیاژهای مختلف. این امکان وجود دارد که بتوان قبل از انجام عمل اکستروژن ترکیب مورد نظر را به دقت ساخت و حتی به ترتیبی که مطلوب باشد مرتب نمود و بدین ترتیب ساختار خاصی را به دست آورد. از آنجایی که این مخلوط ذوب نمی شود محصول به دست آمده تا حد زیادی ساختار از پیش ساخته را حفظ خواهد کرد. در این زمینه به دست آوردن آلیاژهایی که به روش ذوبی ساخت آنها دشوار یا غیر ممکن است نیز مورد توجه قرار می گیرد. برای مثال می توان به این موارد اشاره نمود: ساخت میلگردهایی با ترکیب مس و اکسید آلومینیوم که استحکام مس را حتی در دمای بالا افزایش می دهد و در هدایت الکتریکی آن اثر محسوسی نخواهد داشت، ترکیب آلومینیوم با اکسید آلومینیوم و نقره با اکسید کادمیوم نیز از موارد مشابه می باشد.

-- بهبود خواص مکانیکی محصول به دلیل وجود ریز ساختار یکنواخت و به حد اقل رساندن پدیدهٔ نامطلوب تجمع (segregation).

--حذف عمل تف جوشی در مورد بسیاری از آلیاژها بدین صورت که حین عمل اکستروژن دانه های فلز تحت کرنش های شدید برشی واقع می شوند، بر روی یکدیگر می لغزند، طویل می شوند، به هم جوش می خورند و باز این جوش ها شکسته می شوند که همهٔ این عوامل سبب شکستن لایه های سطحی دانه ها شده و سطوح اصلی فلز با هم تماس پیدا می کنند. حرارت ناشی از فرآیند نیز به کمک آن باعث جوش خوردن دانه ها (solid phase welding) و به وجود آمدن یک قطعهٔ کشیدهٔ صلب می شود.

--کاهش نیروی مورد نیاز در مقایسه با اکستروژن مواد صلب که عمدهٔ مقالات به آن اشاره می کنند ولی یک مورد خلاف نیز تجربه شده است [۳۰].

فرآیند اکستروژن پودر فلزات در جهان دارای قدمتی حدود چهل سال می باشد که خصوصاً در زمینهٔ ساخت مقاطع طویل از جنس آلیاژهای خاص نظیر انواع آلیاژهای غیر آهنی مستحکم و مقاوم به حرارت، کامپوزیت های با زمینهٔ فلزی و ابر رساناها متمرکز شده اند.

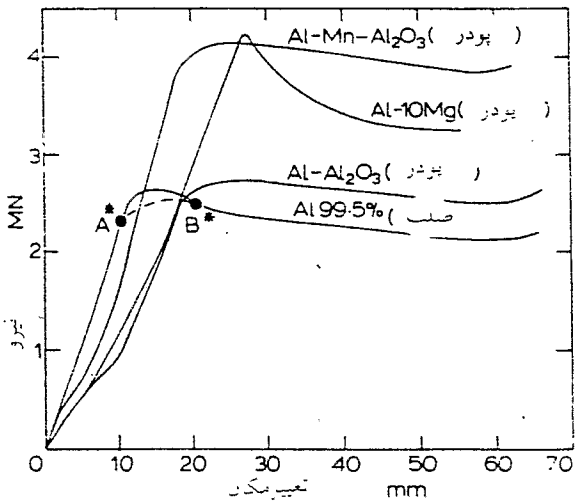
۳-۱ اهداف این تحقیق

در این پژوهش به معرفی این فرآیند، بررسی پارامتر های مؤثر در آن وارائهٔ یافته های محققین در این زمینه پرداخته شده و با طرح چند مدل، گونه هایی از این روش به طور عملی نیز مورد آزمایش قرار گرفته است. در سه فصل ابتدایی بعد از مقدمه فیزیک و مکانیک روش مورد بررسی قرار می گیرد. در فصل پنجم دربارهٔ روش اکستروژن پیوسته و امکان تف جوشی پیوسته که در این روش کاربرد دارد بحث خواهد شد. در این فصل همچنین مدلی از روش conform که ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفته است شرح داده خواهد شد. در دو فصل بعدی طرح های عملی شامل روش های اکستروژن مستقیم و اکستروژن جانبی که مورد آزمایش عملی قرار گرفته اند ارائه شده است. این طرح ها بر اساس موارد تجربه شده که در مقالات مختلف به آنها اشاره شده است و با اعمال حد اکثر ساده سازی به طوری که با حداقل امکانات قابل انجام باشد طراحی شده‌اند. در انتها خواص محصولات به دست آمده مورد بررسی قرار می گیرد که نشان دهندهٔ نقاط قوت و ضعف این فرآیند خواهد بود.

فصل دوم - آنالیز حرکت پودر تحت فشار

۲-۱ مقدمه

با اعمال نیرو بر روی تودهٔ پودر پیش فشرده شده در یک قالب اکستروژن، فشار به مرور افزایش می یابد. به این ترتیب پودر محفظهٔ قالب را پر می کند و تقریباً به دانسیتهٔ کامل می رسد. با وجود این پس از این مرحله تودهٔ فشرده شده دارای استحکام مکانیکی کمی است و دانه های پودر به صورت ضعیفی به هم چسبیده اند. مادهٔ تحت فشار استحکام کافی به دست نخواهد آورد تا وقتی از دهانهٔ اکستروژن خارج شود، یعنی تحت کرنش های شدید برشی واقع شود. این تغییر شکل برشی باعث می شود اتصالات متالورژیکی یکنواختی بین دانه ها برقرار شده و نهایتاً یک قطعهٔ کشیدهٔ صلب به وجود آید. افزایش فشار در این فرآیند نسبت به اکستروژن مادهٔ صلب دارای شیب کمتری است و به صورت غیر خطی تغییر می کند.



شکل (۲-۱) تغییر نیرو نسبت به حرکت سنبه در اکستروژن [۲۶]

قرار دادن یک پولک صلب از جنس پودر پیش فشرده در جلوی قالب باعث می شود یک مقاومت در برابر حرکت پودر ایجاد شود و به این ترتیب تودهٔ فشرده شده قبل از خروج از روزنهٔ قالب تقریباً به دانسیتهٔ نهایی برسد. محصول به دست آمده با به کارگیری این روش دارای کیفیت سطحی بهتری خواهد بود. تجربهٔ Sheppard در مورد اکستروژن پودر پیش فشرده شده نشان داده است که بدون استفاده از این پولک صلب سطح قطعهٔ به دست آمده دچار ترک هایی خواهد شد [۷].

این قطعه همچنین عمل روانسازی را نیز تا حدودی انجام می دهد.