

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.



دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک
گرایش طراحی کاربردی

عنوان پایان نامه:

**تحلیل اکستروژن کرنش صفحه ای دو فلزی
با پروفیل قالب دلخواه**

استاد راهنما:

حشمت اله حقیقت

نگارش:

حامد شایسته

بهمن ماه ۱۳۹۱

تقدیر و سپاس

معشوق مطلقى را حمد و ستایش سزاست جل جلاله که تمام موجودات، عاشق مقید اویند، همه راه اوست می پویند و وصل اوست می جویند و حمد اوست که می گویند. با حمد و ستایش بیکران ایزد منان، از پدر و مادر عزیزم که آفتاب پر فروغ وجودشان روشنگر راه زندگیم بوده و محبتشان را در قلب هیچ واژه ای نمی توان گنجانند، تقدیر و تشکر می نمایم. همچنین از زحمات بی دریغ و راهنمایی های علمى استاد عزیزم جناب آقای دکتر حشمت اله حقیقت که در تمام مراحل انجام پایان نامه همراه من بوده اند تقدیر و تشکر خالصانه می نمایم.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

و تمام کسانی که در مراحل تحصیل یاریم کردند

چکیده

صنعت به مواد جدید با خصوصیتی مانند استحکام بالا و چگالی پایین نیاز دارد که این خواص تنها با استفاده از یک ماده واحد فراهم نمی‌شود. مواد ترکیبی امکان برآوردن خواصی مثل استحکام بالا، چگالی پایین، مقاومت بهتر به سایش، ضریب مقاومت خوردگی زیاد و هدایت الکتریکی بالا را فراهم می‌کند. ورق‌های دو فلزی نیز موادی نو در صنعت برای تولید سازه‌های سبک وزن می‌باشند که در صنایع هوایی و خودرو کاربرد دارند. به دلیل حالت تنش فشاری در فرآیند اکستروژن که امکان ایجاد باند‌های متالورژیکی بین دو فلز را می‌دهد، این فرآیند برای ساخت ورق‌های مرکب مناسب است. در این فرآیند، مانند سایر فرآیندهای شکل‌دهی فلز، محاسبه مقدار نیروی شکل‌دهی و بهینه‌سازی آن دارای اهمیت است. حل دقیق برای بسیاری از فرآیندهای شکل‌دهی فلزات در دسترس نیست و تلاش‌های متعددی در زمینه پیشنهاد روش‌های تقریبی که بتواند تخمین قابل‌قبولی برای نیروی مورد نیاز جهت تغییر شکل پلاستیک ارائه نماید صورت گرفته است. از میان روش‌های حل مختلف، روش کرانه فوقانی به عنوان یک روش تحلیلی و روش المان محدود، به صورت گسترده‌ای برای تحلیل فرآیند اکستروژن به کار می‌روند.

در این پایان‌نامه فرآیند اکستروژن مستقیم ورق‌های دو فلزی با پروفیل قالب دلخواه به روش کرانه فوقانی تحلیل و به روش اجزا محدود شبیه‌سازی شده است. برای انجام تحلیل کرانه فوقانی، فرآیند به دو قسمت اکستروژن تک فلزی و اکستروژن دو فلزی تفکیک شده است. مواد تحت تغییر شکل قسمت اکستروژن تک فلزی به سه ناحیه و مواد مدل دو فلزی به شش ناحیه تقسیم شده‌اند. یک میدان سرعت مجاز که برای هر پروفیل قالب دلخواه معتبر است ارائه شده و بر اساس آن، مقادیر نرخ کرنش‌ها در هر ناحیه تغییر شکل محاسبه شده‌اند. سپس توان داخلی، توان برشی و توان اصطکاکی برای هر دو قسمت محاسبه شده و توان‌های کلی به دست آمده‌اند. با مساوی قرار دادن جمع کل توان‌های داخلی، برشی و اصطکاکی با توان خارجی لازم نیروی اکستروژن محاسبه شده است. همچنین از روش المان محدود و با استفاده از نرم‌افزار اجزاء محدود (نرم‌افزار آباکوس) جهت شبیه‌سازی فرآیند استفاده شده است. مشاهده شد که نتایج حاصل از روش تحلیلی ارائه شده و روش المان محدود تطابق خوبی دارد. در پایان نیز اثر پارامترهای مختلف بر نیروی اکستروژن، چگونگی خروج مواد و سختی محصول و استحکام برشی مرز دو فلز بررسی شده‌اند.



Razi University

Faculty of Engineering
Department of Mechanical Engineering

M.Sc. Thesis

Title of the Thesis :
Analysis of Bimetallic Plane Strain Extrusion
Through Arbitrarily Die Shapes

Supervisor:
Dr. Heshmatollah Haghight

By:
Hamed Shayesteh

February 2013

Abstract

Industry requires new materials with properties such as high strength and low density that these properties cannot provide using only a single article. This cannot be coped with by using only monolithic materials. Hybrid materials give the possibility to satisfy like high electrical conductivity, high corrosion resistivity, high strength, better wear resistance, etc. Bi metal sheets are modern material in the industry for the production of lightweight structures which are used in automotive and aviation industries. Because of compressive stress state in the extrusion process that allows creation of metallurgical bonds between the two metals, the process is suitable for bimetal sheet. In this process, like other metal forming processes, calculation of the forming force of metal and its optimizing is important. There is not exact solution for most metal forming process. Therefore, different efforts have been performed to propose approximation method that it can present acceptable estimation for required force to plastic deformation. Among the various solving methods, method of upper bound was widely used as analytical and finite element method to analyze the extrusion process.

In this thesis, forward extrusion of bi-metallic sheet through an arbitrary and wedge shaped die profile was analyzed by upper-bound approach and simulated by finite element method (FEM). Upper bounds for the performance analysis divided into two parts, single metal extrusion and bi metal extrusion. Process of one metallic divided into three zones and process of bi-metal divided into six smaller deformation zones and the amounts of strain rate in each deformation zone were calculated by exhibiting an admissible velocity field in cylindrical coordinate system. Then, the internal power, the power dissipated on frictional and velocity discontinuity surfaces were obtained and then, the extrusion force was calculated. The extrusion process was simulated by finite element method (FEM). These comparisons showed a good agreement by simulation and analytical results. In addition, the effect of various parameters was investigated on extrusion force, state exit and hardness and shearing strength of two metals interface of production.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- فرآیند اکستروژن
۲	۲-۱- انواع فرآیند کستروژن.....
۲	۱-۲-۱- انواع فرایند اکستروژن از نظر درجه حرارت.....
۴	۲-۲-۱- انواع فرایند اکستروژن از دیدگاه تجهیزات مورد استفاده.....
۷	۳-۱- روش های برآورد نیرو در فرآیند شکل دهی فلزات.....
۱۰	۴-۱- روش کرانه فوقانی.....
۱۱	۱-۴-۱- معادلات دیفرانسیل تعادل.....
۱۲	۲-۴-۱- ثابت ماندن حجم و سازگاری.....
۱۳	۳-۴-۱- ماده میسر.....
۱۴	۴-۴-۱- تغوری کرانه فوقانی.....
۱۵	۵-۴-۱- ناپیوستگی سرعت.....
۱۶	۶-۴-۱- توان برشی و توان اصطکاکی.....
۱۸	۵-۱- قطعات دو فلزی.....
۱۹	۶-۱- تاریخچه.....
	فصل دوم: تحلیل کرانه فوقانی اکستروژن ورق دوفلزی با پروفیل قالب دلخواه
۲۸	۱-۲- نواحی تغییر شکل.....
۳۰	۲-۲- تحلیل کرانه فوقانی بخش اکستروژن تک فلزی.....
۳۰	۱-۲-۲- میدان سرعت مجاز در هر ناحیه.....
۳۳	۲-۲-۲- مقادیر نرخ کرنش.....
۳۵	۳-۲-۲- توان داخلی تغییر شکل.....
۳۵	۱-۳-۲-۲- تنش سیلان میانگین در شرایط کرنش صفحه ای.....
۳۷	۴-۲-۲- توان برشی.....
۳۸	۵-۲-۲- توان اصطکاکی.....
۳۹	۳-۲- تحلیل کرانه فوقانی بخش اکستروژن دو فلزی.....
۳۹	۱-۳-۲- میدان سرعت مجاز در هر ناحیه.....
۴۰	۲-۳-۲- مقادیر نرخ کرنش.....
۴۱	۳-۳-۲- توان داخلی.....
۴۲	۴-۳-۲- توان برشی.....
۴۳	۴-۲- توان اصطکاکی.....
۴۴	۵-۲- نیروی شکل دهی و فشار متوسط اکستروژن.....
۴۵	۶-۲- قالب با پروفیل های مختلف.....
۴۵	۱-۶-۲- پروفیل قالب گوه ای.....

۴۷ ۱-۶-۲- قالب با شکل منحنی

فصل سوم: شبیه سازی المان محدود

- ۵۱ ۱-۳- مقدمه
- ۵۳ ۲-۳- شبیه سازی اکستروژن ورق دو فلزی کرنش صفحه ای با قالب گوه ای
- ۵۴ ۱-۲-۳- ایجاد هندسه مدل
- ۵۵ ۲-۲-۳- تعریف خواص مواد
- ۵۶ ۳-۲-۳- مونتاژ قطعات
- ۵۷ ۴-۲-۳- تعیین گام حل مسئله
- ۵۷ ۵-۲-۳- تعریف تماس و خواص تماسی
- ۵۸ ۶-۲-۳- بارگذاری و اعمال شرایط مرزی
- ۵۹ ۷-۲-۳- مش بندی
- ۶۰ ۸-۲-۳- اجرای مسئله
- ۶۱ ۹-۲-۳- مشاهده نتایج
- ۶۱ ۳-۳- شبیه سازی اکستروژن ورق دو فلزی با قالب منحنی

فصل چهارم: تشریح برنامه کامپیوتری

- ۶۵ ۱-۴- تشریح برنامه کامپیوتری
- ۶۷ ۲-۴- مقایسه نتایج تحلیل کرانه فوقانی با المان محدود
- ۶۹ ۳-۴- بررسی تاثیر تفکیک فرآیند اکستروژن ورق دو فلزی به ورق یک فلزی و ورق دو فلزی

فصل پنجم: بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر فشار اکستروژن و بحث

- ۷۲ ۱-۵- مقدمه
- ۷۲ ۲-۵- تاثیر شکل قالب
- ۷۳ ۳-۵- تاثیر ثابت اصطکاک
- ۷۴ ۴-۵- تاثیر درصد کاهش سطح مقطع
- ۷۵ ۵-۵- تاثیر جابجایی هسته و پوسته بر نیروی اکستروژن
- ۷۶ ۶-۵- تاثیر جابجایی هسته و پوسته بر چگونگی خروج مواد از قالب
- ۷۸ ۷-۵- تاثیر عرض هسته و پوسته بر نیروی اکستروژن
- ۷۹ ۸-۵- تاثیر شکل قالب بر توزیع سختی در مواد
- ۸۱ ۹-۵- تاثیر شکل قالب بر استحکام برشی مرز دو فلز

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها

- ۸۴ ۱-۶- نتیجه گیری
- ۸۵ ۲-۶- پیشنهادهایی برای ادامه کار حاضر

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان شکل
۴	۱-۱- اکستروژن مستقیم.....
۵	۱-۲- اکستروژن غیر مستقیم.....
۶	۱-۳- اکستروژن هیدروستاتیک.....
۶	۱-۴- اکستروژن جانبی.....
۷	۱-۵- نمودار نیرو بر حسب جابجایی برای سه فرآیند اکستروژن مستقیم، غیرمستقیم و هیدروستاتیک.....
۱۱	۱-۶- حالت تنش در یک نقطه از ماده.....
۱۶	۱-۷- مؤلفه های سرعت در مرز دو ناحیه.....
۲۰	۱-۸- مدل مورد استفاده توسط هارتلی.....
۲۰	۱-۹- مدل مورد استفاده توسط اوزاکادا.....
۲۱	۱-۱۰- مدل مورد تحلیل توسط توکانو.....
۲۱	۱-۱۱- مدل تحلیلی و آزمایشی توسط یانگ.....
۲۲	۱-۱۲- مدل تحلیلی و آزمایشی توسط چیتکارا.....
۲۳	۱-۱۳- مدل های آزمایش شده توسط مؤمنی و همکاران.....
۲۳	۱-۱۴- مدل سازی لوله دو فلزی توسط حقیقت و عسگری.....
۲۴	۱-۱۵- نمودار شماتیک از فرآیند اکستروژن کرنش صفحه ای با پروفیل قالب دلخواه.....
	۱-۱۶- شماتیک اکستروژن کرنش صفحه ای دو فلزی در قالب دلخواه نواحی تغییر شکل و پارامترهای
۲۵	هندسی آن.....
۲۶	۱-۱۷- آزمایش های تجربی توسط انگلهارت و همکاران.....
۲۹	۲-۱- شماتیک فرآیند اکستروژن ورق دو فلزی با پروفیل قالب دلخواه.....
۲۹	۲-۲- قسمت اکستروژن تک فلزی.....
۲۹	۲-۳- قسمت اکستروژن دو فلزی.....
۳۶	۲-۴- فشرده شدن یک ورق تحت شرایط کرنش صفحه ای.....
۳۸	۲-۵- موقعیت زاویه η بر روی سطح قالب.....
۴۵	۲-۶- فرآیند اکستروژن کرنش صفحه ای با پروفیل قالب گوه ای ، نواحی تغییر شکل و پارامترهای هندسی.....
	۲-۷- فرآیند اکستروژن کرنش صفحه ای با پروفیل قالب منحنی یانگ و هان ، نواحی تغییر شکل و
۴۷	پارامترهای هندسی.....
۴۹	۲-۸- شکل منحنی قالب یانگ و هان در یک حالت مشخص.....
۵۳	۳-۱- ابعاد مقطع دو فلزی اولیه.....
۵۳	۳-۲- منحنی تنش-کرنش آلومینیوم و مس.....
۵۵	۳-۳- مدل سازی پوسته و مدل سازی هسته.....
۵۵	۳-۴- مدل سازی قالب و سنبه.....
۵۶	۳-۵- تعریف خواص مواد.....
۵۶	۳-۶- مونتاژ قطعات.....
۵۷	۳-۷- تعیین المان انطباقی.....

۵۸	..... ۸-۳- تعریف تماس و خواص تماسی.....
۵۹	..... ۹-۳- بارگذاری و اعمال شرایط مرزی.....
۶۰	..... ۱۰-۳- مدل شبکه بندی شده.....
۶۱	..... ۱۱-۳- نحوه اجرا و حل مسئله.....
۶۲	..... ۱۲-۳- مدل سازی قالب باپروفیل یانگ و هان.....
۶۳	..... ۱۳-۳- شبیه سازی فرآیند اکستروژن ورق دو فلزی با پروفیل قالب منحنی یانگ و هان.....
۶۶	..... ۱-۴- نمودار گردشی برنامه کامپیوتری.....
۶۷	..... ۲-۴- ابعاد مقطع دو فلزی اولیه.....
	..... ۳-۴- مقایسه نیروی اکستروژن برحسب جابجایی سنبه برای پروفیل قالب گوه ای به روش تحلیلی کرانه فوقانی و شبیه سازی.....
۶۸	..... ۴-۴- مقایسه نیروی اکستروژن برحسب جابجایی سنبه برای پروفیل منحنی به روش تحلیلی کرانه فوقانی و شبیه سازی.....
۶۸	..... ۵-۴- تفکیک مسئله به مدل یک فلزی و دو فلزی.....
۶۹	..... ۶-۴- مدل یکپارچه.....
۷۰	..... ۷-۴- مقایسه نتایج مدل یکپارچه و مدل تفکیک شده.....
۷۲	..... ۱-۵- مقایسه نیروی اکستروژن برحسب طول قالب.....
۷۳	..... ۲-۵- اثر ثابت اصطکاک برشی بین هسته و قالب منحنی بر طول بهینه قالب گوه ای.....
۷۴	..... ۳-۵- اثر ثابت اصطکاک برشی بین هسته و قالب منحنی بر طول بهینه قالب.....
۷۵	..... ۴-۵- اثر درصد کاهش سطح مقطع بر طول بهینه قالب گوه ای.....
۷۵	..... ۵-۵- مقایسه نیروی اکستروژن برحسب درصد کاهش سطح مقطع قالب منحنی با المان محدود.....
۷۶	..... ۶-۵- اثر جابجایی هسته و پوسته بر نیروی اکستروژن.....
۷۷	..... ۷-۵- اثر جابجایی هسته و پوسته بر چگونگی خروج آنها از قالب.....
۷۹	..... ۸-۵- اثر عرض هسته و پوسته قالب بر نیروی شکل دهی.....
۸۰	..... ۹-۵- منحنی کرنش - سختی آلومینیوم ۵۱۵۴.....
۸۱	..... ۱۰-۵- اثر شکل قالب بر توزیع سختی مواد اکستروژن شده.....
۸۱	..... ۱۱-۵- توزیع مؤلفه محوری سرعت در ورق دوفلزی در قالب منحنی و قالب گوه ای.....

فهرست علامت ها

dQ	..... جریان حجمی تفاضلی
F	..... نیروی اکستروژن
J^*	..... توان خارجی لازم
p_{ave}	..... فشار متوسط اکستروژن
L	..... طول قالب
L_o	..... طول اولیه قطعات
b_c	..... پهناى هسته
b_s	..... پهناى پوسته
r, θ, z	..... سیستم مختصات استوانه ای
r_f	..... موقعیت شعاعی سطح ناپیوستگی سرعت S_2, S_4, A_2
r_o	..... موقعیت شعاعی سطح ناپیوستگی سرعت S_1, S_3, A_1
t_{1f}	..... نصف ضخامت هسته در خروج
t_{2f}	..... نصف ضخامت پوسته در خروج
t_{1i}	..... نصف ضخامت اولیه هسته
t_{2i}	..... نصف ضخامت اولیه پوسته
$\dot{U}_r, \dot{U}_\theta, \dot{U}_z$	..... مؤلفه های سرعت در سیستم مختصات استوانه ای
V_f	..... سرعت محصول نهایی
V_o	..... سرعت بیلت اولیه
S_1, S_3, A_1	..... سطوح ناپیوستگی سرعت، جداکننده ناحیه تغییر شکل از بیلت اولیه
S_2, S_4, A_2	..... سطوح ناپیوستگی سرعت، جداکننده ناحیه تغییر شکل از ورق نهایی
ΔV	..... اختلاف سرعت
$\dot{\epsilon}_{rr}, \dot{\epsilon}_{\theta\theta}, \dot{\epsilon}_{zz}$	..... مؤلفه های نرخ کرنش قائم

$\dot{\epsilon}_{r\theta}, \dot{\epsilon}_{rz}, \dot{\epsilon}_{z\theta}$	..... مؤلفه های نرخ کرنش برشی
\dot{W}_f	..... توان مصرفی روی سطح اصطکاکی
\dot{W}_i	..... توان داخلی تغییر شکل
\dot{W}_s	..... توان مصرفی روی سطح ناپیوستگی سرعت
η	..... زاویه محلی سطح قالب نسبت به مولفه محلی سرعت شعاعی
x	..... میزان پیشروی پانچ
α	..... زاویه خط اتصال دهنده نقطه ابتدایی و انتهایی قالب
β	..... زاویه حد فاصل دو فلز در ناحیه تغییر شکل با خط محوری قال
γ	..... زاویه اختیاری روی سطوح ناپیوستگی سرعت S_1, S_3, A_1
$\psi(r)$	..... موقعیت زاویه ای قالب بر حسب موقعیت شعاعی از مبدأ مختصات
$\psi_i(r)$	..... موقعیت زاویه ای حدفاصل بین دو فلز به عنوان یک تابع مکان شعاعی
m_1	..... ثابت اصطکاک برشی بین پوسته و قالب
m_2	..... ثابت اصطکاک برشی بین هسته و پوسته
σ_s	..... میانگین تنش سیلان پوسته
σ_c	..... میانگین تنش سیلان هسته
σ_{ys}	..... تنش تسلیم پوسته

فصل اول

مقدمه

۱-۱- فرآیند اکستروژن

اکستروژن فرآیندی است که جهت ایجاد قطعات با سطح مقطع ثابت استفاده می شود. در این فرآیند ماده خام در محفظه قالب قرار گرفته و با اعمال نیرو از میان روزنه قالب رانده می شود. قطعات شکل داده شده با این روش، پرداخت سطحی مناسبی داشته و می توانند بدون ماشینکاری بعدی مورد استفاده قرار گیرند.

در سال ۱۷۹۷ جوزف براما^۱، برای اولین بار از اکستروژن جهت تولید لوله سربی استفاده کرد. این فرآیند شامل پیش گرمایش فلز و سپس تحت فشار قرار دادن آن با یک پیستون بود. این فرآیند تا سال ۱۸۲۰ که توماس بار^۲ اولین پرس هیدرولیکی را ساخت توسعه نیافت. در سال ۱۸۹۴ الکساندر دیک^۳ فرآیند اکستروژن را برای آلیاژهای مس و برنج توسعه داد.

۱-۲- انواع فرآیند اکستروژن

فرآیند اکستروژن را می توان از دیدگاه های مختلف دسته بندی کرد که در ذیل به مهمترین آنها اشاره می کنیم:

۱-۲-۱- انواع فرآیند اکستروژن از نظر درجه حرارت

فرآیند اکستروژن با توجه به این که در چه دمایی صورت بگیرد به سه دسته تقسیم می شود:

۱- اکستروژن سرد^۴

اکستروژن سرد در دمای اتاق یا نزدیک به دمای اتاق صورت می گیرد. اگر فرآیند اکستروژن در دمای کمتر از ۰/۳ دمای ذوب ماده صورت بگیرد، اکستروژن سرد نامیده می شود. موادی که اغلب با این نوع فرآیند اکستروژن می شوند عبارتند از: سرب، قلع، آلومینیوم، مس، زرکونیوم، تیتانیوم، مولیبدنیوم، بریلیوم، وانادیوم و استیل.

^۱ Joseph Bramah

^۲ Thomas Burr

^۳ Alexander Dick

^۴ Cold extrusion

۲- اکستروژن داغ^۵

هرگاه ماده به قدری گرم شود که دمای قطعه کار در حین تغییر شکل بالاتر از دمای تبلور مجدد^۶ فلز باشد، فرآیند در دسته اکستروژن داغ قرار می گیرد. این نوع فرآیند معمولاً توسط پرس های هیدرولیک افقی با تناژ متریک بین ۲۳۰ تا ۱۱۰۰۰ انجام می شود. با توجه به فشار کاری این فرآیند که بین ۳۰ تا ۷۰۰ مگاپاسکال می باشد به روانکاری توسط روغن و یا گرافیت و غیره نیاز دارد.

۳- اکستروژن گرم^۷

اگر قطعه کار تا زیر دمای تبلور مجدد گرم شود و فرآیند شکل دهی در این محدوده از دما انجام گیرد، به آن اکستروژن گرم می گویند. از گرم کردن برای کاهش تنش سیلان جریان استفاده می شود و علاوه بر این میزان کرنش های بالاتری قابل دسترسی خواهد بود.

امتیازات شکل دهی سرد نسبت به شکل دهی داغ عبارتند از:

۱. عدم نیاز به گرم کردن

۲. بدست آوردن پرداخت سطحی بهتر.

۳. کنترل ابعاد بسیار دقیق و در نتیجه کاهش ماشین کاری بعدی.

۴. بیشتر قطعات تولیدی از نظر اندازه در یک تلرانس است.

۵. خواص سایشی، استحکامی و خستگی در حد مطلوبی است.

معایب عمده شکل دهی سرد نسبت به شکل دهی داغ عبارتند از:

۱. نیروی زیادی برای تغییر شکل نیاز است.

۲. به تجهیزات جانبی قوی تر و سنگین تری نیاز است.

۳. درصد شکل پذیری از شکل دهی داغ کمتر است.

۴. به وجود آمدن کرنش - سختی که ممکن است به عملیات حرارتی در مراحل میانی نیاز باشد.

⁵ Hot extrusion

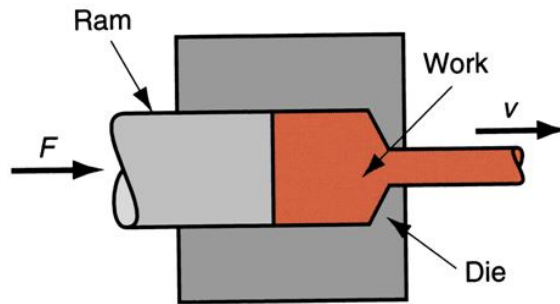
⁶ Recrystallization

⁷ Warm extrusion

۱-۲-۲- انواع فرآیند اکستروژن از دیدگاه تجهیزات مورد استفاده :

الف- اکستروژن مستقیم^۸

اکستروژن مستقیم معمول ترین نوع اکستروژن می باشد. در این فرآیند جهت حرکت ماده با جهت حرکت سنبه یکسان است.



شکل ۱-۱- اکستروژن مستقیم

مزایای اکستروژن مستقیم عبارتند از:

۱. ساده بودن فرآیند
۲. در اکستروژن مستقیم داغ، قطعه ی اکستروود شده بعد از خارج شدن از قالب می تواند به راحتی کنترل شده و خنک شود.

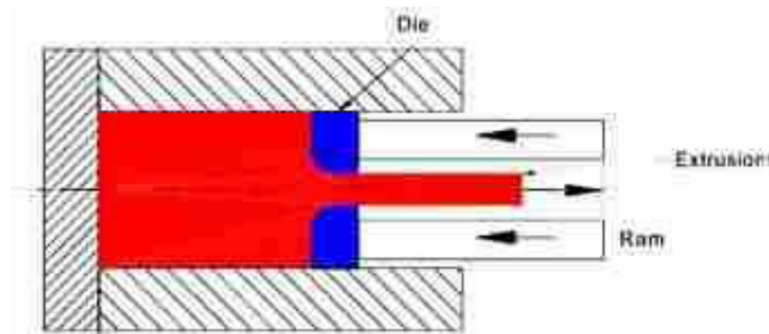
برخی از معایب و محدودیت های اکستروژن مستقیم عبارتند از:

۱. وجود اصطکاک در سطح تماس بین شمش و محفظه و حرارت ناشی از آن و تشکیل ریز ساختار غیر یکنواخت و در نتیجه خواص غیر یکنواخت در امتداد طول قطعه اکستروود شده
۲. نیروی تغییر شکل بالاتر از اکستروژن غیر مستقیم
۳. تشکیل عیوب داخلی، بویژه در موارد وجود اصطکاک، با انتقال ناخالصی های سطحی و زیر سطحی به داخل قطعه و ظاهر گشتن حفره قیفی شکل در انتهای شکل و در نتیجه ازدیاد ضخامت باقیمانده شکل به عنوان دور ریز.

⁸ Forward extrusion

ب- اکستروژن غیر مستقیم^۹

در اکستروژن غیر مستقیم جهت حرکت ماده برخلاف جهت حرکت سنبه است. در این فرآیند به دلیل اینکه حرکت نسبی بین سطح تماس قطعه و دیواره قالب غیر از منطقه سنبه وجود ندارد، نیروهای اصطکاک قابل صرف نظر کردن است در نتیجه نیروی کمتری نسبت به حالت مستقیم نیاز دارد



شکل ۱-۲- اکستروژن غیرمستقیم

از جمله مزایای اکستروژن غیرمستقیم عبارتند از:

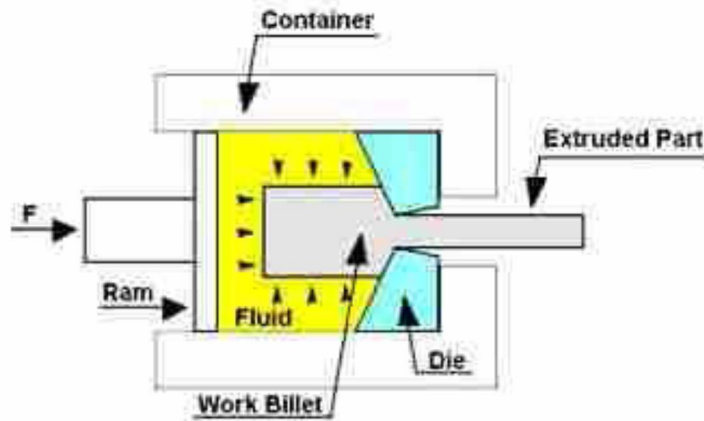
۱. کاهش ۲۰-۳۰ درصدی نیروی لازم در مقایسه با اکستروژن مستقیم بدلیل عدم وجود اصطکاک
 ۲. برخلاف اکستروژن مستقیم به علت عدم وجود اصطکاک بین شمش و محفظه حرارت لایه خارجی شمش افزایش نمی یابد، بنابراین تغییر شکل یکنواخت انجام می گیرد و تشکیل عیب و ترک در لبه ها و سطح محصول کمتر می شود.
 ۳. به علت عدم وجود اصطکاک ناخالصی های سطحی شمش به داخل محصول کشیده نشده و عیب قیفی نیز تشکیل نمی شود.
 ۴. به دلیل عدم وجود اصطکاک عمر ابزار تغییر شکل به ویژه لایه داخلی محفظه افزایش می یابد.
- و برخی از محدودیت های این فرآیند عبارتند از:

۱. وجود امکانات کمتر برای خنک کردن قطعه ی اکستروژن شده بعد از خروج از قالب
۲. محدود بودن طول قطعه، به دلیل قید فیزیکی که سنبه در برابر محصول تولیدی ایجاد می کند.

^۹ Backward extrusion

ج- اکستروژن هیدرواستاتیک^{۱۰}

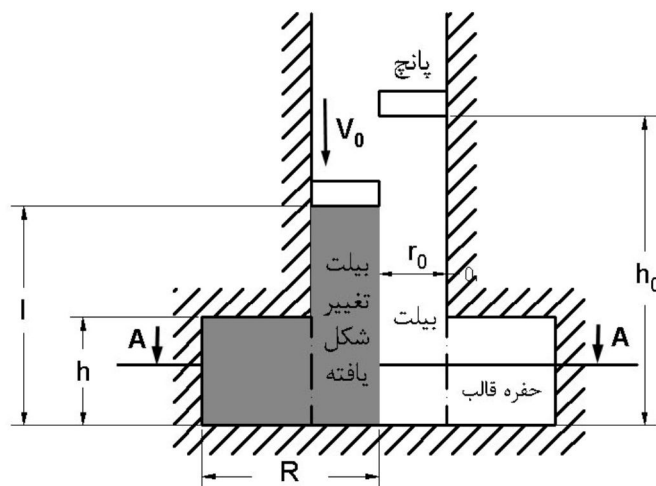
در فرآیند اکستروژن هیدرواستاتیک قطعه کار به صورت کامل در تماس با یک سیال قرار داده می شود و نیرو از طریق سیال به ماده منتقل می شود در نتیجه اصطکاک بین ماده و دیواره قالب وجود ندارد. این فرآیند می تواند به صورت گرم، سرد و داغ انجام گیرد؛ اگرچه دمای کار تحت تاثیر نوع سیال مورد استفاده می باشد. در شکل (۳-۱) یک نمونه از منحنی نیرو اکستروژن بر حسب جابجایی سنبه را نشان می دهد.



شکل ۳-۱- اکستروژن هیدرواستاتیک

د- اکستروژن جانبی^{۱۱}

در این فرآیند جهت حرکت ماده با جهت حرکت سنبه زاویه می سازد که این زاویه می تواند قائمه نیز باشد (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱- اکستروژن جانبی

¹⁰ Hydrostatic extrusion

¹¹ Side (lateral) extrusion