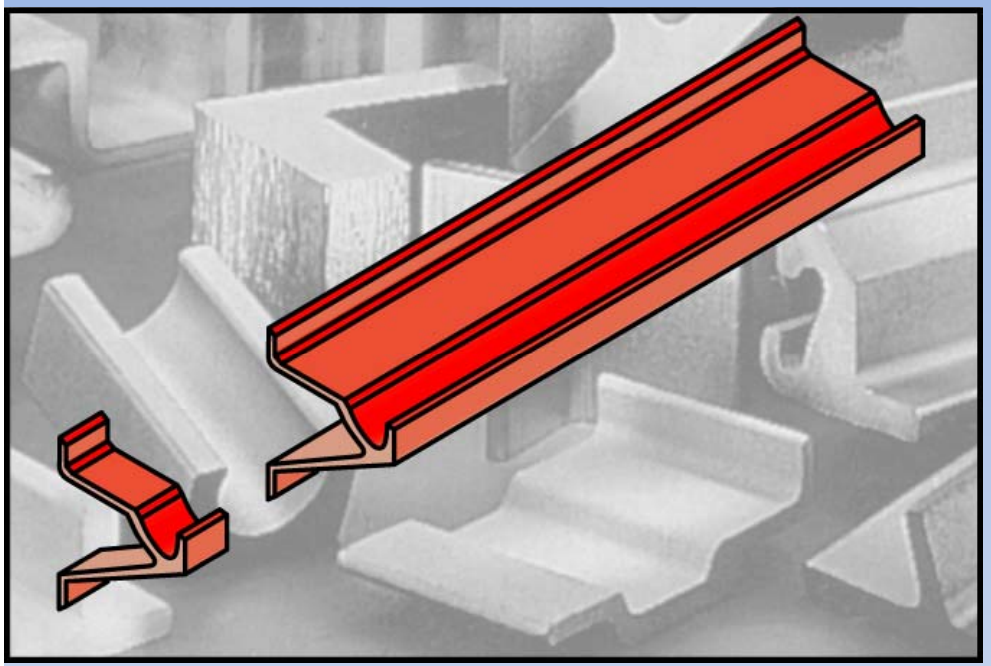


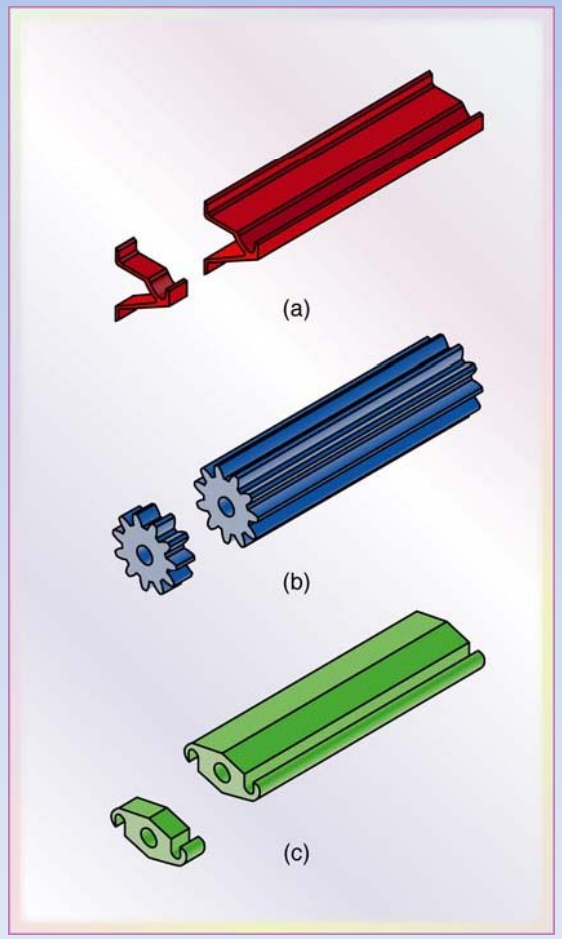
بخش سوم : فصل 15

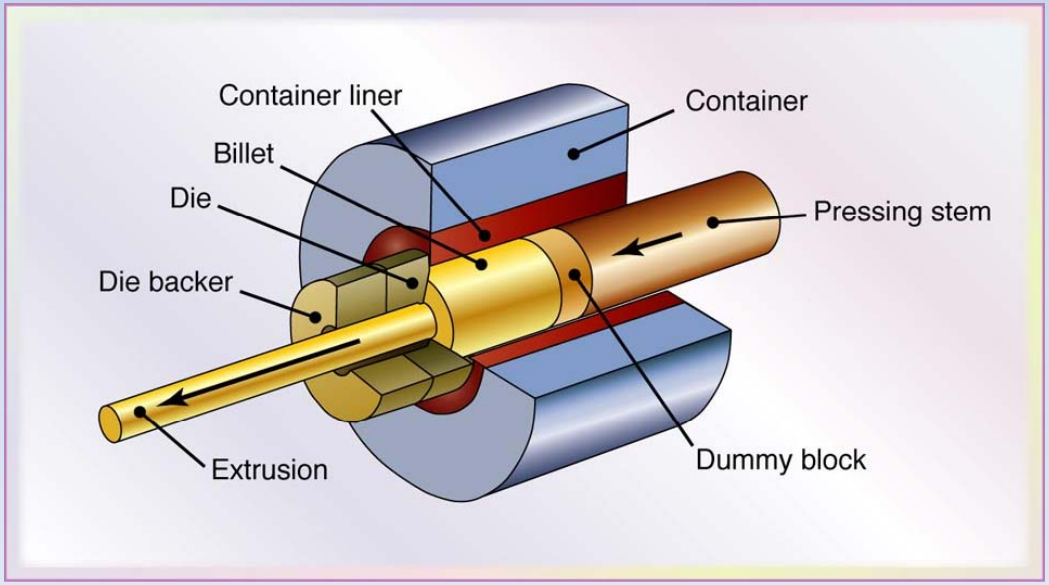
اکستروژن و کشش فلزات

- ویژگی های اکستروژن هیدرواستاتیک مستقیم و غیر مستقیم
- نیروهای اکستروژن بصورت تابعی از جنس ماده و پارامترهای فرآیند
- نکات کاربردی و طراحی قالب برای جلوگیری از نقایص
- کشش میلگرد، سیم و لوله
- طراحی قالب برای یکپارچه گی محصول
- فرآیندهای جایگذین: ماشینکاری، متالورژی پودر، ریخته گری و...

فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

- مقدمه
  - اکستروژن و کشش کاربرد های متعددی در تولید محصولات پیوسته و گسسته دارند
  - تنوع زیادی از مقاطع توپر و خالی توسط این روش تولید می شود
  - Extrudere = force out
  - به علت اینکه مواد تحت تاثیر تنش سه محوره فشاری قرار گرفته اند تغییر شکل زیاد بدون شکست رخ می دهد
  - محصولات نمونه : ریلها، قابها، انواع مقاطع آلومینیومی و ...
  - فلزات مورد استفاده: آلیاژهای آلومینییوم، مس، فولاد و ...

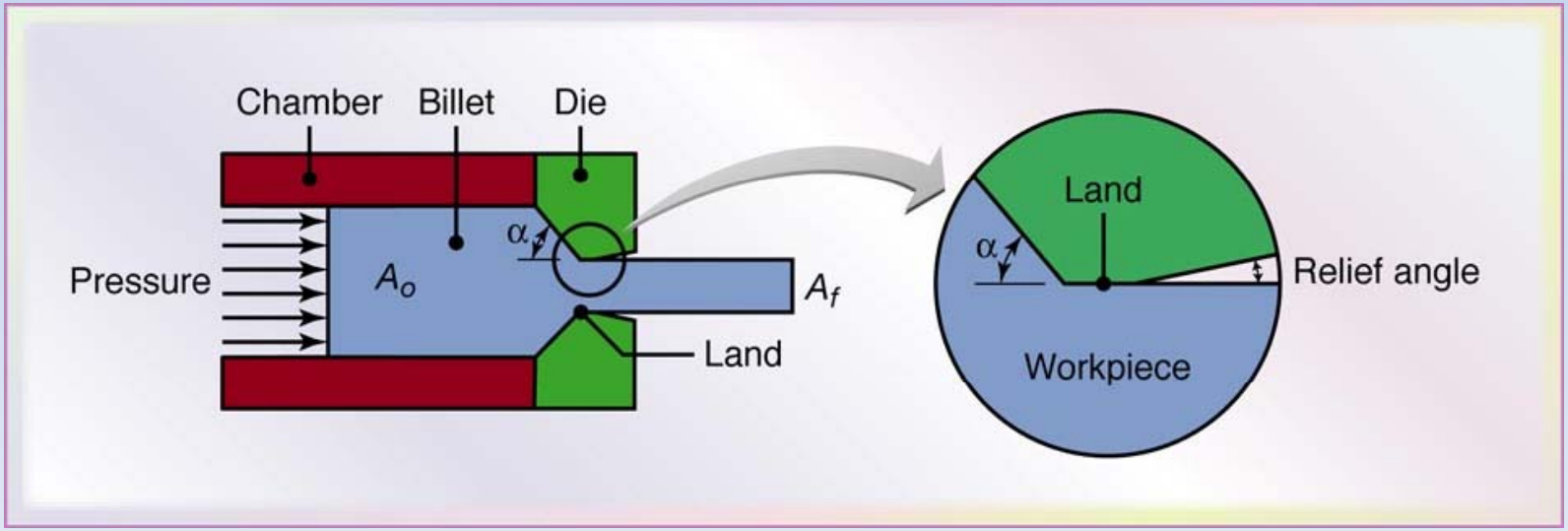


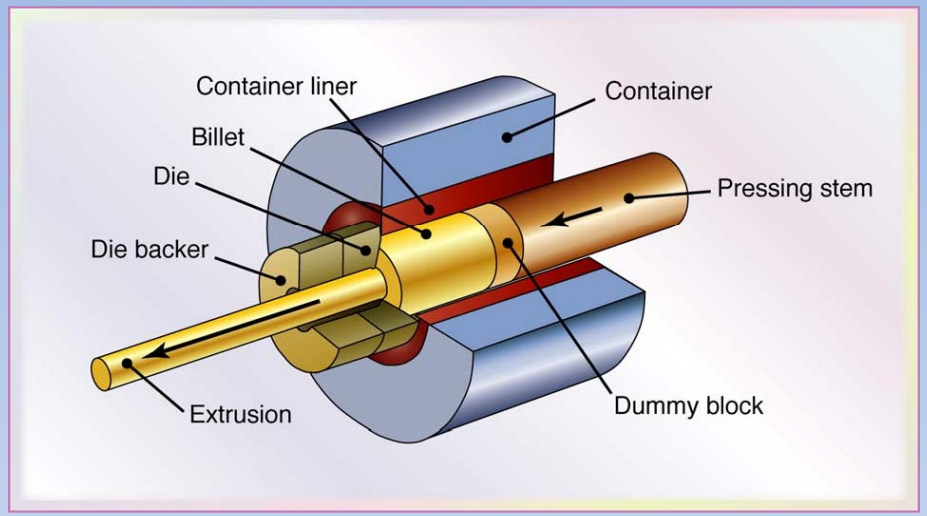


فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

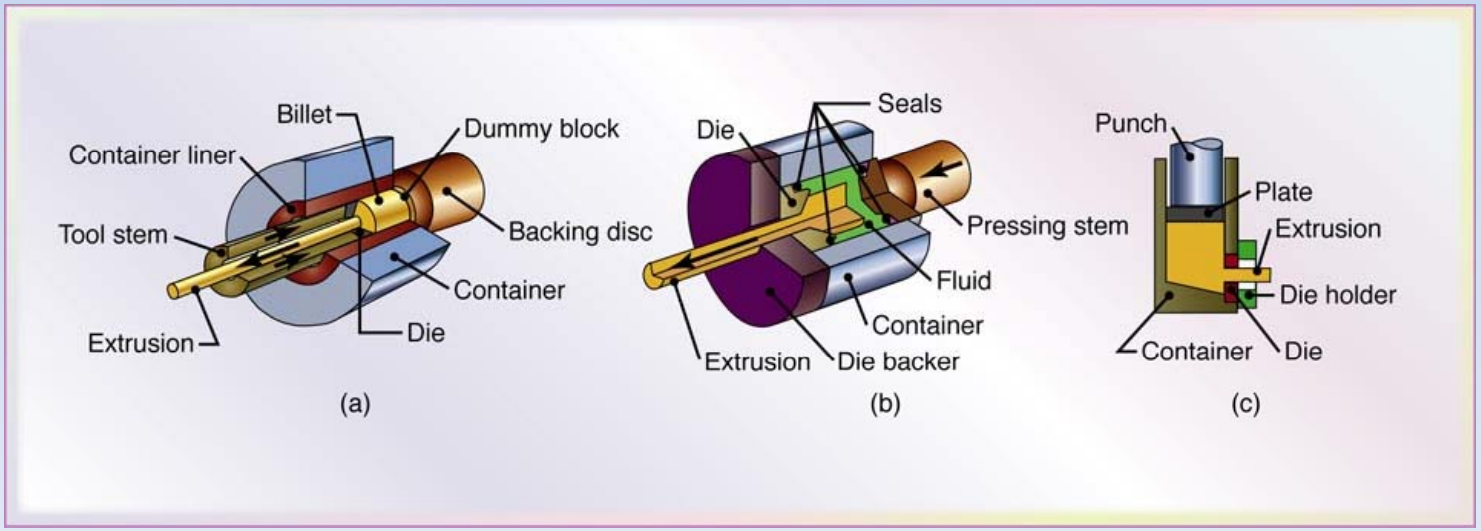
- به علت اینکه بیلتها بصورت مجزا اکسترود می شوند، فرآیند نیمه پیوسته می باشد.
- اکستروژن می تواند برای تولید زیاد و کم مقرون به صرفه باشد
- معمولا اکستروژن در درجه حرارت بالا انجام می شود
- اکستروژن سرد معمولا همراه با فورج می باشد.

- کشش Drawing
  - مقطع قطعه توسط کشیدن و عبور از die کاهش یا تغییر شکل می یابد
  - Rod or Wire
    - Wire از کشیدن rod از داخل حداقل یک die ایجاد می شود.



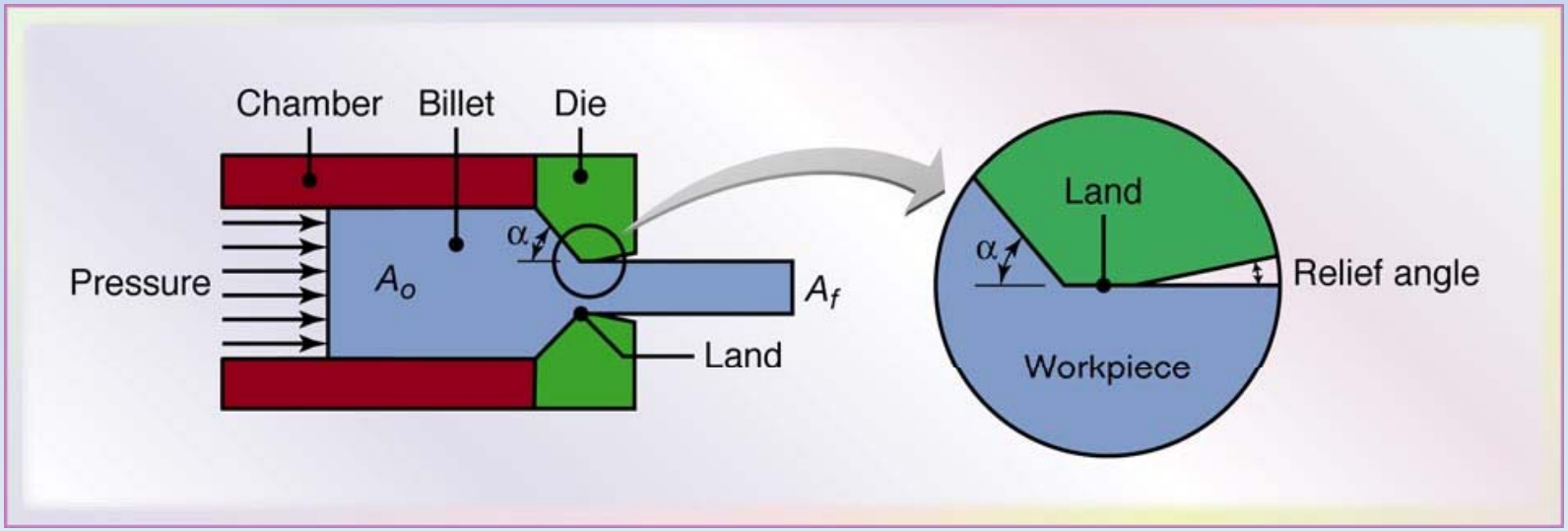


- فرآیند اکستروژن
  - اکستروژن مستقیم
  - انواع دیگر:
    - غیر مستقیم
    - هیدرواستاتیک
      - فشار توسط مایع منتقل شده
      - اصطکاک در روی دیواره خذف شده
    - جانبی



فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

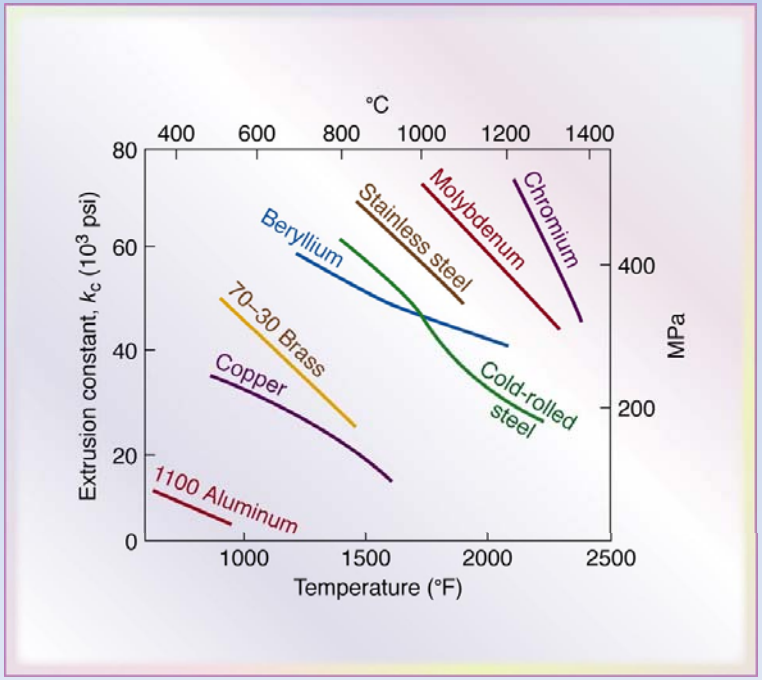
- پارامترهای هندسی
  - زاویه قالب α
  - نسبت سطح مقطع A_o/A_f
- پارامتر های فیزیکی
  - درجه حرارت بیلت
  - سرعت حرکت Ram
  - نوع روانساز



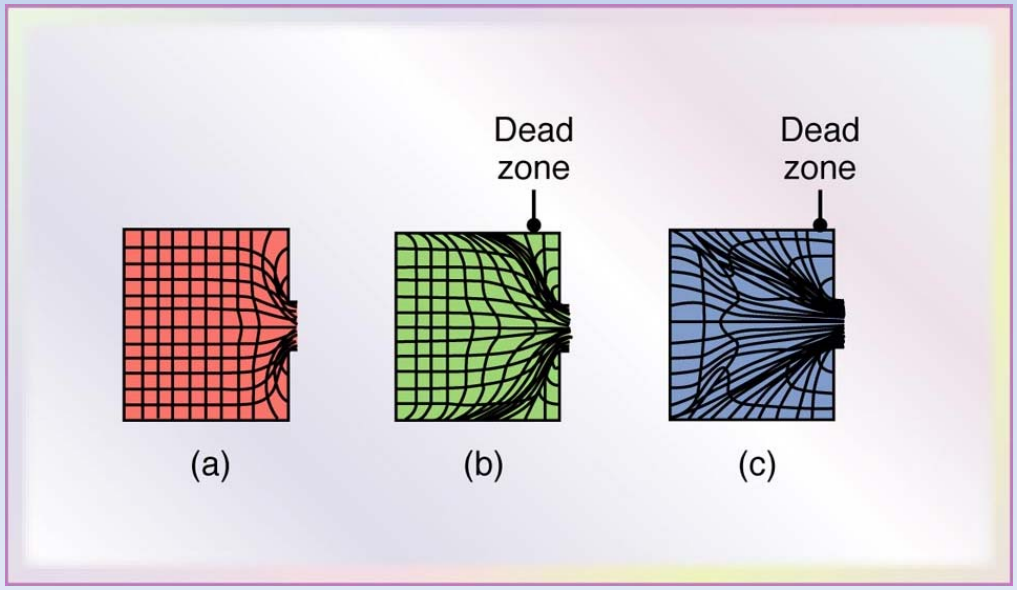
فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

- نیروی اکستروژن
  - استحکام جنس بیلت
  - نسبت اکسترود
  - اصطکاک بیلت با سطح محفظه و قالب
  - پارامتر های دیگر فرآیند مانند درجه حرارت و سرعت اکسترود
  - مقدار k بستگی به جنس و شرایط اصطکاک دارد

$$F = A_o k \ln\left(\frac{A_o}{A_f}\right)$$



- الگوی جریان فلز
  - تاثیر زیادی روی کیفیت و خواص مکانیکی محصول دارد
  - اصل انرژی حداقل
  - در جهت طولی همانند یک سیال غیرقابل تراکم سیلان دارد و دانه ها (grains) در جهت طولی کشیده شده اند
  - پرسش روش متداول بررسی الگوی جریان
  - Die با زاویه 90°
  - الگوی جریان تابع متغیرهای زیادی است از جمله اصطکاک
  - Dead zone
  - سطح براق و burnished اکسترود آلومینیوم نیتجه چیست
  - a اصطکاک کم
  - b اصطکاک زیاد بیلت با محفظه
  - c اصطکاک زیاد و سرد کردن لایه های خارجی بیلت(نقص)



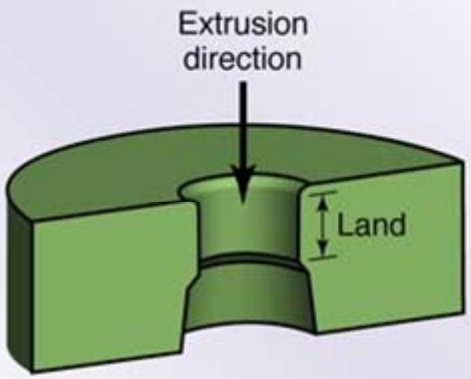
فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

- **پارامتر های فرآیند**
  - چکش خواری
  - نسبت اکسترود
    - معمولا بین 10 الی 100
    - حداقل 4 به منظور اینکه کل حجم تغییرشکل پلاستیک داشته باشد
  - طول متداول قطعات اکسترود شده 7.5 m
  - سرعت رام حداکثر 0.5 m/sec
- **تلرانس ابعادی**
  - ±0.5-2.5 mm با افزایش سطح مقطع افزایش می یابد
- **مقاطع با سطح مقطع کوچک**
  - Straightening and twisting
- **coaxial extrude or cladding**
  - بیلت از دو ماده تشکیل شده
  - استحکام وچکشخواری متناسب
  - Copper cladded with silver

فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

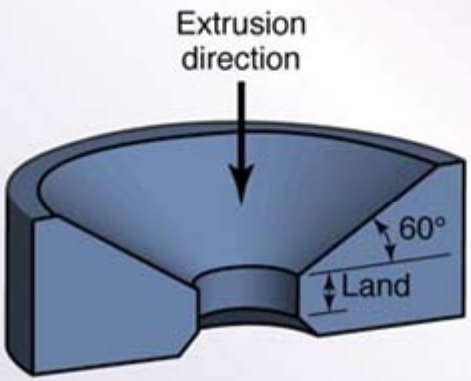
- اکستروژن گرم
  - **گرم کردن بیلت برای افزایش چکشخواری و کاهش نیرو**
  - **به علت درجه حرارت بالا نیاز به تمهیدات خاص دارد**
    - سایش زیاد قالب
    - سرد کردن محفظه و قالب باعث تغییرشکل غیر یکنواخت می شود
    - قالبها پیش گرم می شوند
  - **لایه اکسید روی بیلت تشکیل می شود**
    - روش جلو گیری چیست؟
  - **این لایه می تواند:**
    - ساینده باشد
    - الگوی سیلان را تحت تاثیر قرار دهد
    - صافی سطح محصول را کاهش دهد
  - **Dummy block**

- **طراحی قالب**
  - قالب با زاویه 90° برای فلزات غیر آهنی به ویژه آلومینیومی استفاده می شود. Dead zone زاویه قالب را ایجاد کرده و عمل burnishing رخ می دهد که در نتیجه سطح محصول براق است.
  - انواع لوله نیز اکسترود می شود



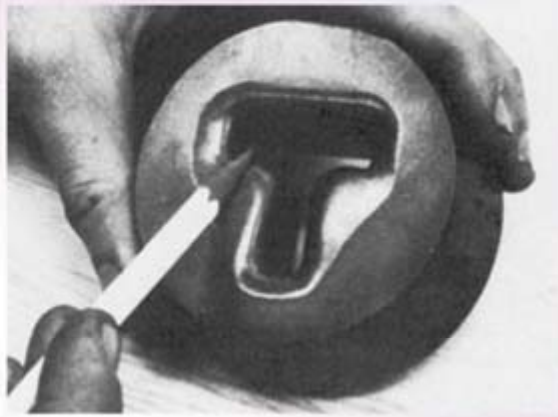
(a)

die for nonferrous metals



(b)

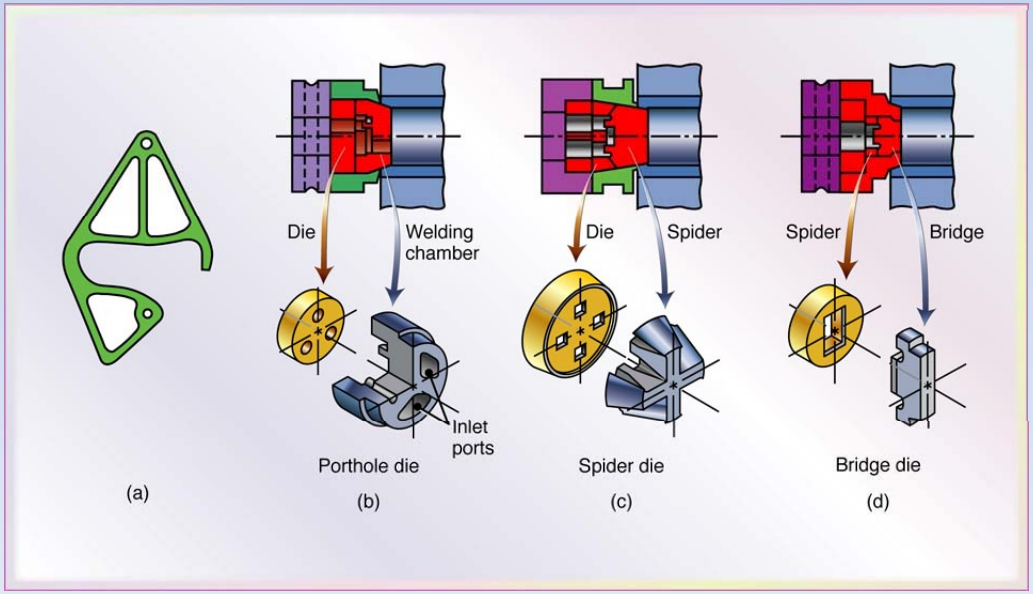
die for ferrous metals



(c)

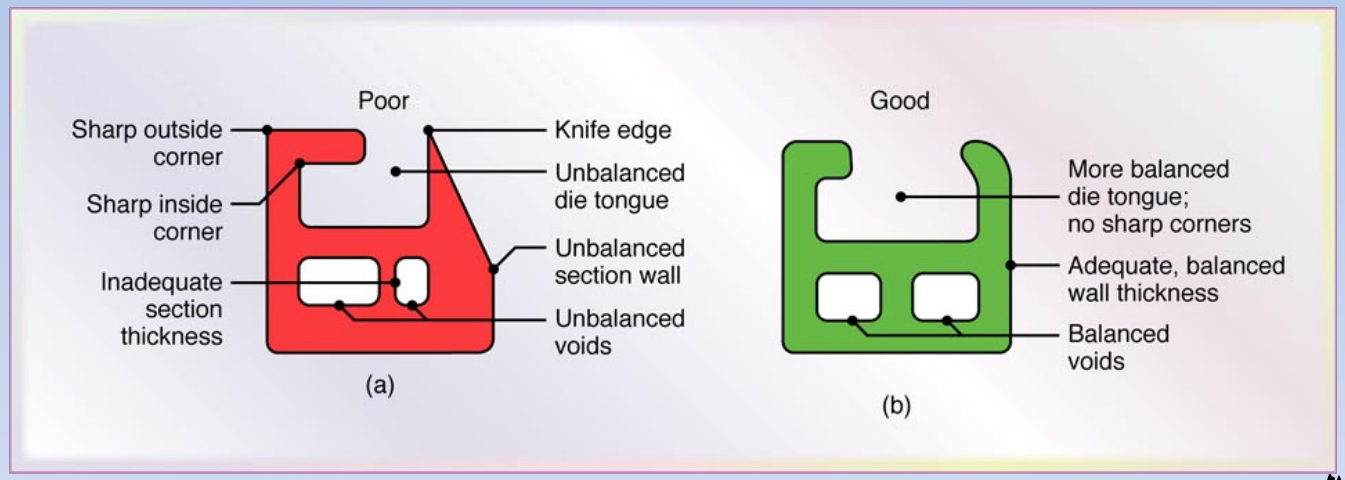
T-shaped extrusion die
hot-work die steel
molten glass as a lubricant

- **اکسترود مقاطع توخالی**
  - Welding chamber method –
    - Spider die, porthole, bridge die
    - ابتدا فلز به چند رشته تقسیم می شود، رشته ها اکسترود شده و سپس تحت فشار زیاد جوش می خورند
    - سطوح جوش خورده در معرض محیط قرار نگرفته اند، لذا استحکام خوبی دارند
    - این روش مناسب آلومینیوم و آلیاژهای آن است
    - آیا می توان از روانساز استفاده کرد؟



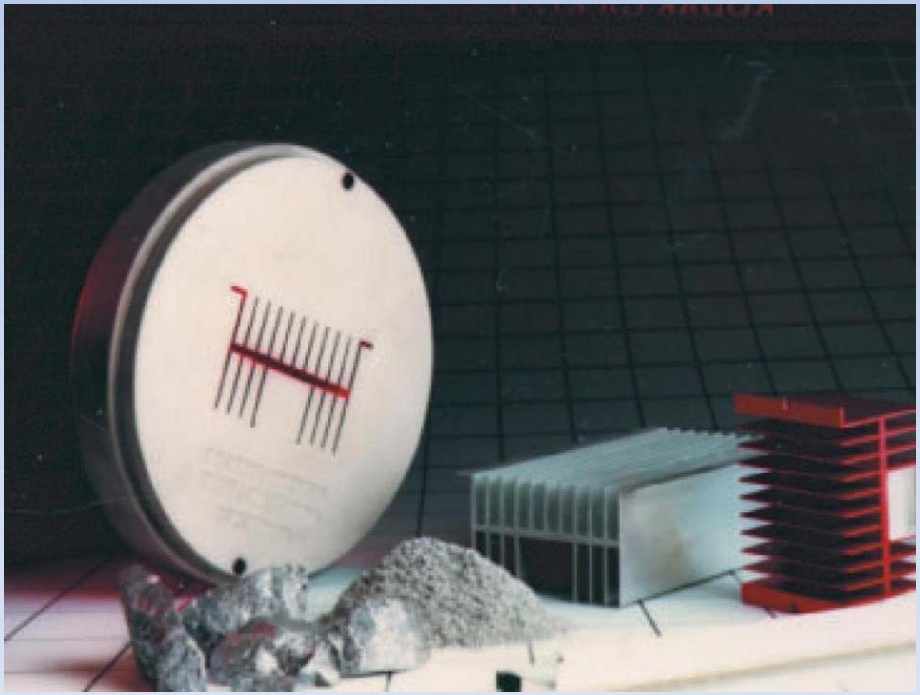
فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

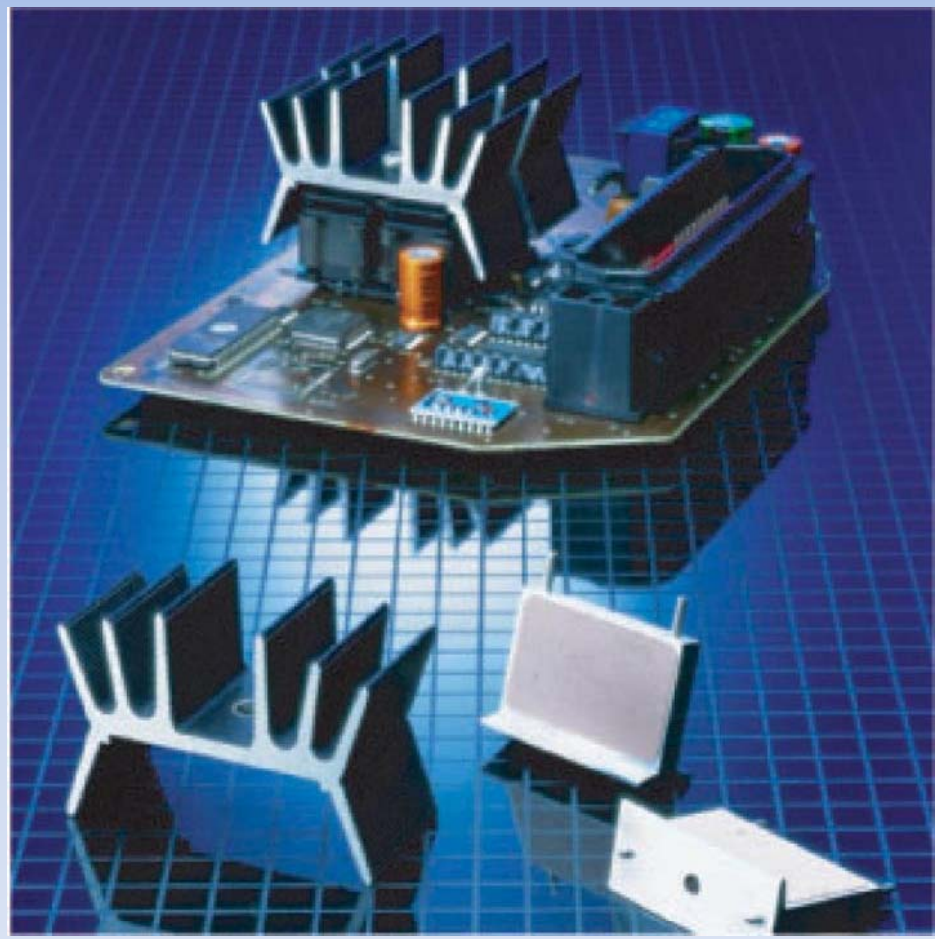
- **چند نکته در مورد طراحی قالب اکسترود**
  - تقارن
  - اجتناب از گوشه تیز
  - اجتناب از تغییرات شدید ابعاد سطح مقطع



- **جنس قالب**
  - فولاد گرمکار گاهی همراه با لایه روکش(coating)
- **روانساز**
  - شیشه مایع برای اکستروژن فولادها
  - برا ی مواد نرمتر canning یا jakecting

Extrusion of Heat Sinks

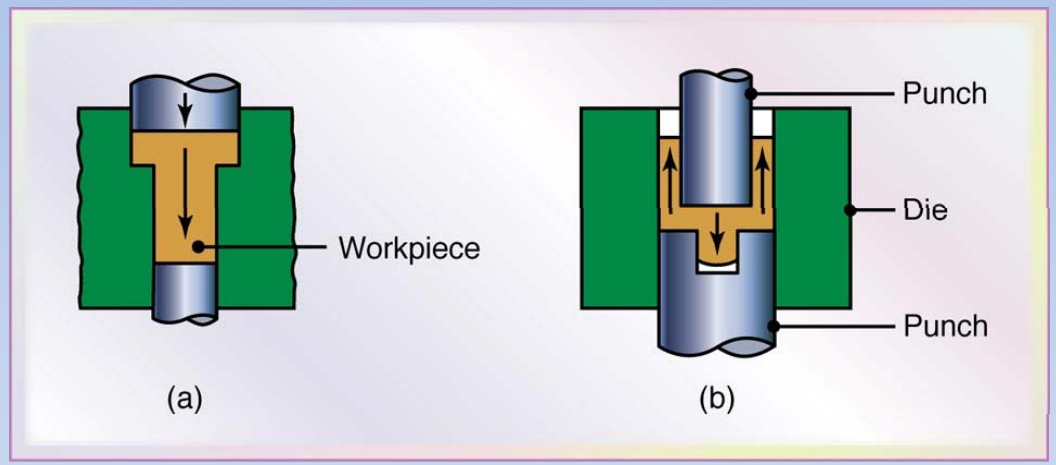




Aluminum extrusion used as a heat sink for a printed circuit board.

Die and resulting heat sink profiles.

- **اکستروژن سرد**
  - ترکیبی از روشهای اکستروژن مستقیم، غیر مستقیم و فورج است

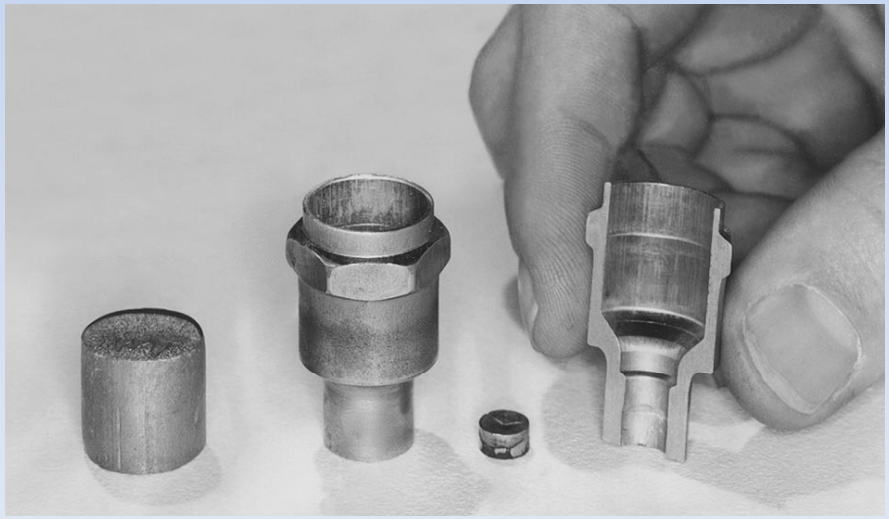


  - Slug از میلگرد بریده می شود
  - نیروی اکسترود سرد

$$F = 1.7 A_o Y_{avg} \varepsilon$$

- A0 سطح مقطع ماده اولیه
- Yang تنش سیلان متوسط
- ε کرنش واقعی $\ln(A_o/A_f)$

- مزایای اکسترود سرد نسبت به گرم
  - خواص مکانیکی بهتر
    - به شرط آنکه حرارت ناشی از تغییرشکل پلاستیک و اصطکاک باعث کریستالیزاسیون مجدد نشود.
    - کنترل مناسب تلرانس ابعادی
    - صافی سطح بهتر
    - نرخ تولید بالا 2000/hour

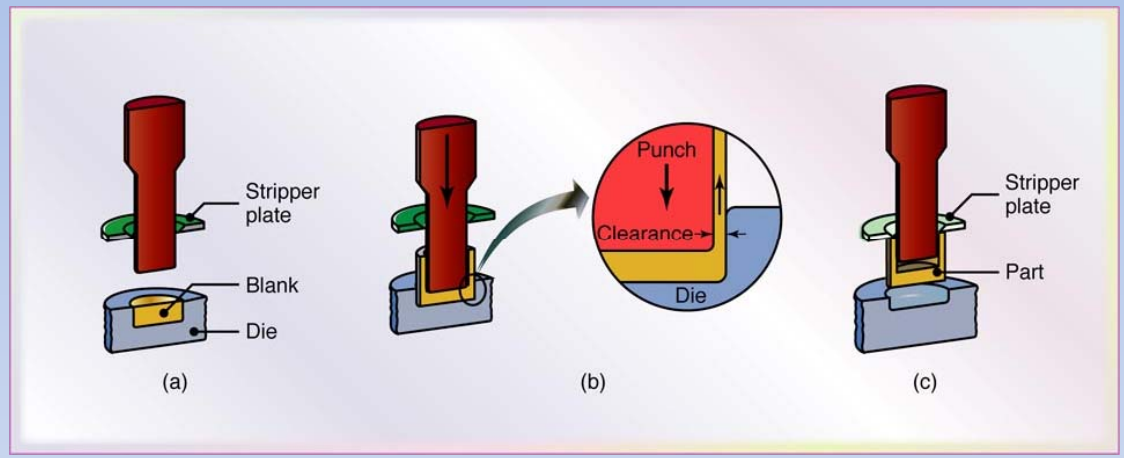


فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

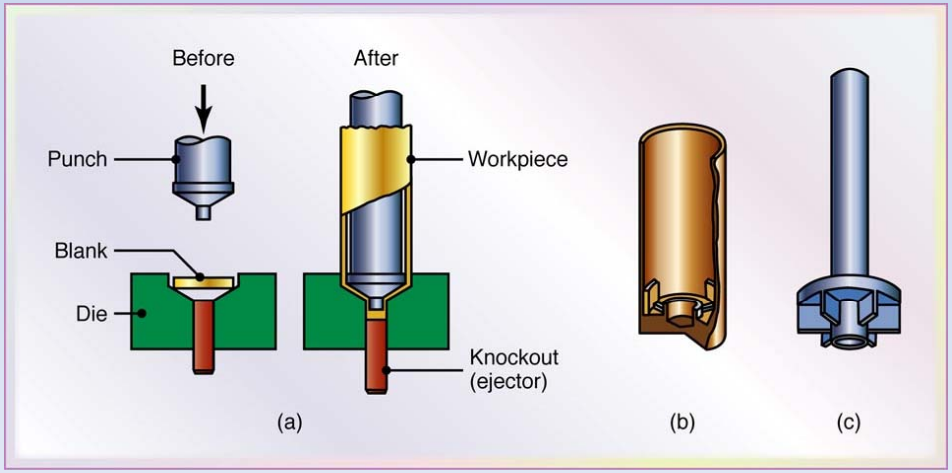
- مقدار تنش در روی قالب اکستروژن سرد بسیار بالا ودر حد سختی جنس قطعه کار است
  - سختی سنبه (punch) 60 الی 65 HRC
    - قطعه بحرانی
  - سختی قالب (die) 58 الی 62 HRC
- روانسازی
  - پدیده (seizure)
  - Phosphate conversion coating
- طراحی ابزار
- انتخاب جنس سنبه و قالب
- جنس قطعه کار special alloy developed for cold extrusion

فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

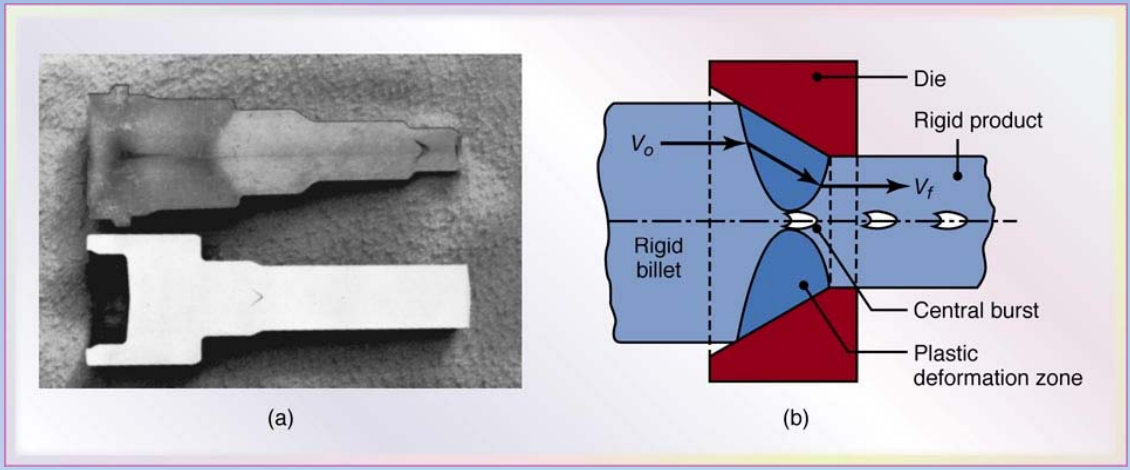
- اکستروژن ضربه ای
  - مشابه اکستروژن غیر مستقیم



- فلزات غیرآهنی با این روش در روی پرس عمودی با نرخ 2 قطعه در ثانیه تولید می شوند،



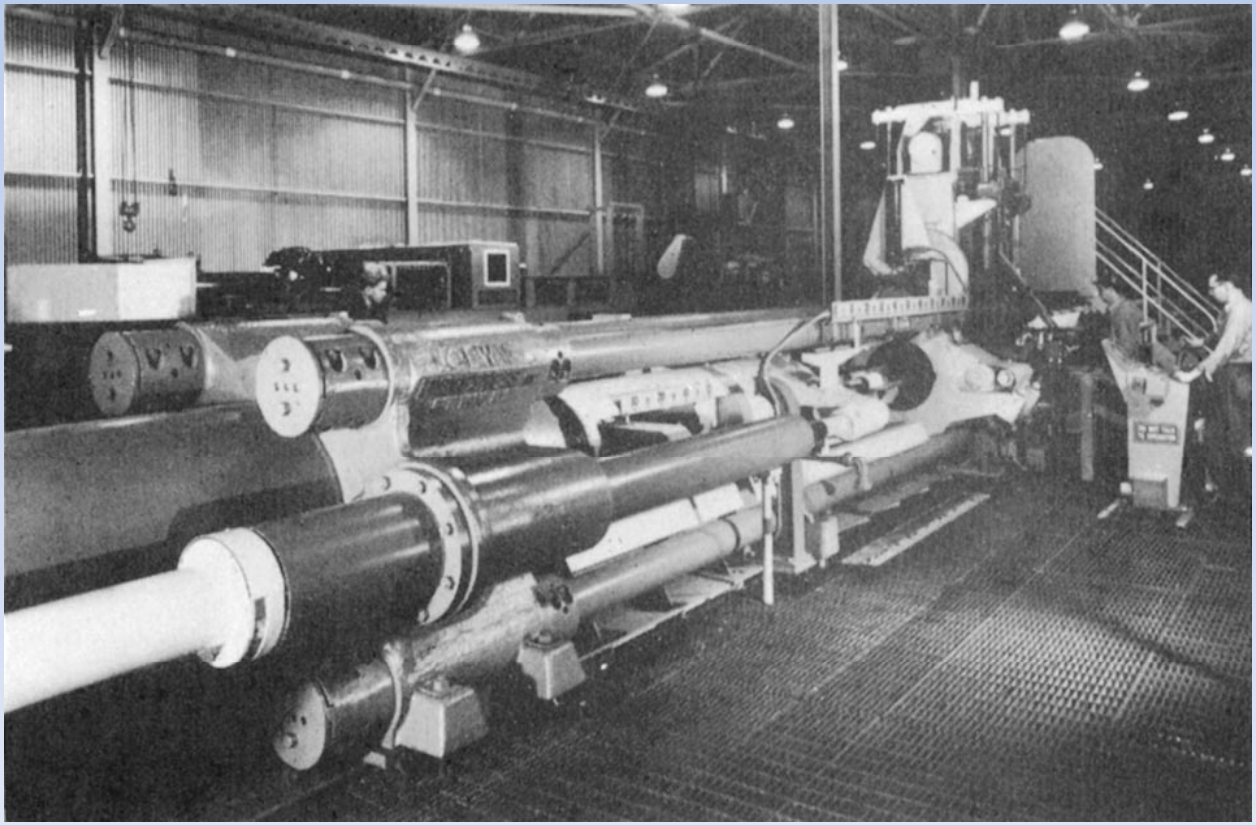
فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات



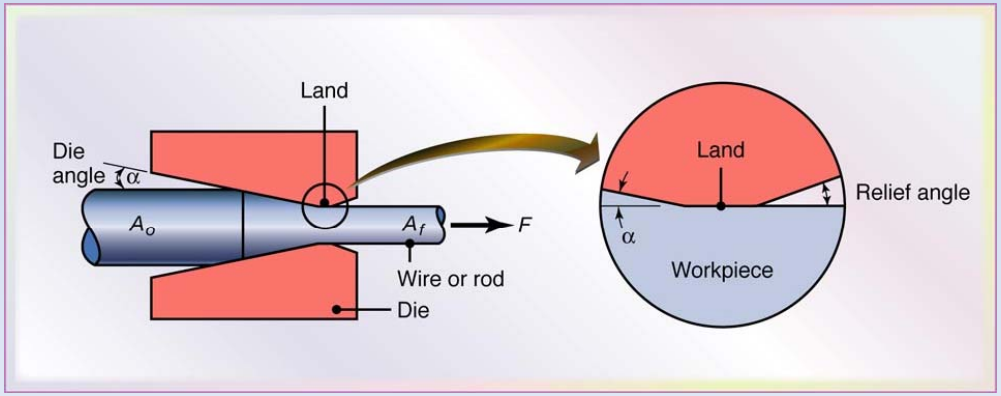
- نقایص فرآیند اکستروژن
  - شرایط جنس قطعه کار
  - پارامترهای فرآیند
  - سه نقص اصلی
    - ترک سطحی
      - درجه حرارت، اصطکاک و یا سرعت زیاد است
      - بامبو- در درجه حرارت کم پدیده periodic sticking رخ می دهد
    - ترک لوله ای
      - مانند شکل 15.6c در این حالت اکسیدها و ناخالصیها به سمت مرکز بیلت هدایت شده با اصلاح الگوی جریان و کنترل گرادیان درجه حرارت قابل کنترل است. همچنین می توان سطح قطعه را قبل از فرآیند ماشینکاری شود.
    - ترک داخلی
      - در مرکز قطعه اکسترود شده مشاهده می شود (chevron cracking)
      - تنش هیدرواستاتیکی کششی در مرکز قطعه
      - با افزایش زاویه قالب و مقدار ناخالصیها افزایش یافته
      - با افزایش نسبت اکسترود و اصطکاک کاهش می یابد

فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

- تجهییزات اکستروژن
  - پرس هیدرولیک افقی
    - سرعت و کورس قابل کنترل است
    - نیرو بصورت ثابت در کورس بلند قابل اعمال است
    - تناژ تا 14000 تن



- فرآیند کشش میلگرد
  - در کشش میلگرد یا سیم از درون قالب کشیده می شود
  - کاربرد میلگرد یا سیم در صنعت بسیار متنوع است:
    - انواع محور ها
    - انواع قطعات سازه ای
    - کابلها
    - الکترود جوش و..
  - پارامترهای اصلی فرآیند عبارتند از:
    - سطح مقطع
    - زاویه قالب
    - اصطکاک
    - سرعت کشش



- نیروی کشش
  - شرایط ایده آل و بدون اصطکاک

$$F = Y_{\text{avg}} A_f \ln\left(\frac{A_o}{A_f}\right)$$

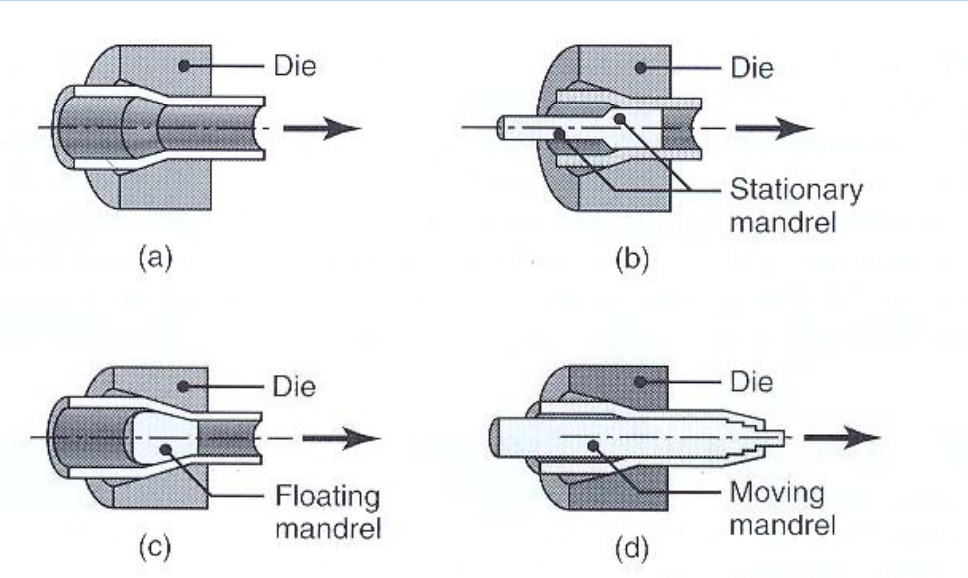
  - شرایط با اصطکاک و همراه با کار اضافی

$$F = Y_{\text{avg}} A_f \left[\left(1 + \frac{\mu}{\alpha}\right) \ln\left(\frac{A_o}{A_f}\right) + \frac{2}{3}\alpha\right]$$

  - α بر حسب رادیان

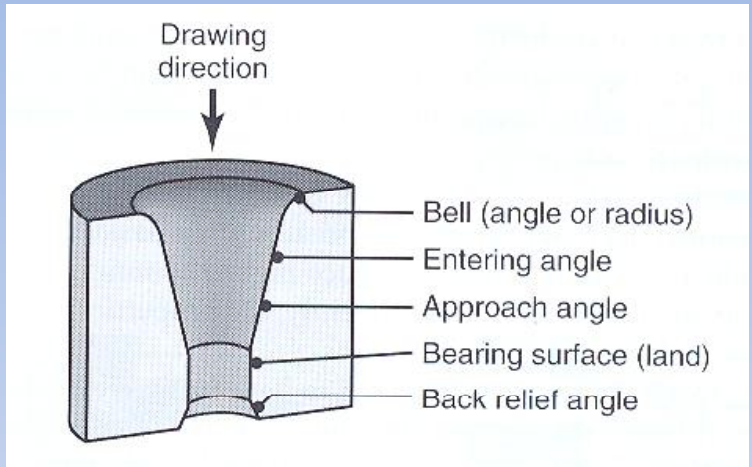
فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

- دو سئوال
  - آیا حدی برای نیروی کشش وجود دارد
  - آیا در برای یک کاهش خاص قطر و شرایط اصطکاکی معین می توان زاویه بهینه ای یافت که نیرو کشش حد اقل باشد
- انواع مقاطع
  - مقاطع توپر و خالی
  - ضخامت، قطر، شکل لوله هایی که توسط اکسترود تولید شده اند می توانند توسط کشش کاهش یابند.
  - استفاده از ماندرل
  - استفاده از قالب های گوه ای برای
  - کشش نوارها در کابردهای خاص

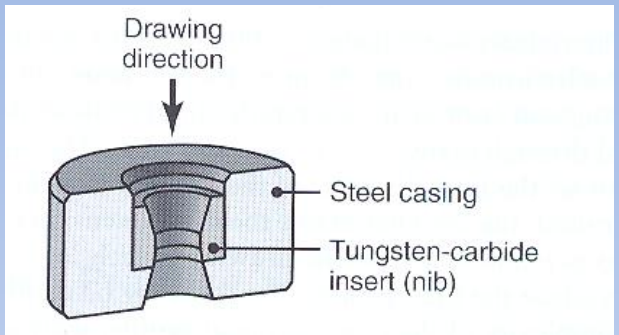


فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

- تجربیات عملی کشش
  - انتخاب پارامترهای فرآیند
  - نسبت کاهش مقطع در هر مرحله حداکثر 45%
  - سیمهای ظریف 15 الی % 25 ضخیم 20 الی 45%
  - Sizing pass
    - بهبود سطح
    - کنترل ابعاد
    - اما تغییر شکل غیر یکنواخت
- کشش رشته ای (bundle drawing)
  - سیمهای ظریف توسط کشش قابل تولید است
  - می توان چند رشته را همراه با هم تولید کرد



- طراحی قالب
  - ویژگی ها در شکل نشان داده شده
  - زاویه قالب 6 الی 15
  - دو زاویه
  - Land
    - Sizing
    - امکان سنگزنی مجدد
  - کشش مقاطع غیر مدور(profile)
    - چند مرحله ای
    - قالب چند تکه نگه داشته شده توسط یک حلقه
    - استفاده از غلتکها هرزگرد در کشش
    - Turk's Head تنظیم زاویه پروفیل

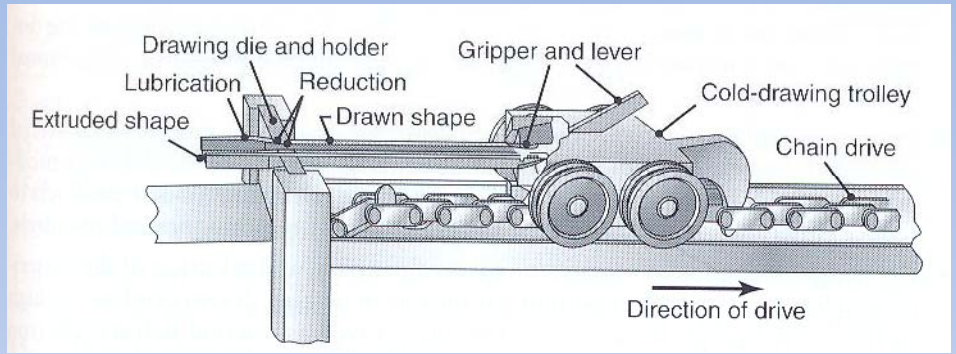


- جنس قالب
  - فولادهای ابزاری
  - کاربید تنگستن
  - در کشش گرم فولاد ریخته گری
  - قالب از جنس Diamond برای کشش سیمهای ظریف (2µm – 1.5 mm)
  - روانکاری
    - عمر قالب
    - کم کردن نیروی کشش
    - کم کردن درجه حرارت
    - ضروری است به ویژه در کشش لوله
    - روشهای روانکاری
      - **کشش تر: قالب و سیم در روانساز غوطه ور می باشند**
      - **کشش خشک: سطح سیم در محفظه ای قبل از ورود به قالب با روانساز آغشته می شود**
      - **پوشش فلزی: سطع سیم پوششی از یک فلز نرم دارد**
      - **ارتعاشات اولتراسونیک: کاهش نیرو، بهبود صافی سطح و عمر قالب، افزایش نسبت کاهش**

- نواقص در فرآیند کشش
  - مشابه با اکستروژن مانند ترک برداشتن درمرکز
  - Seam خراش یا تا شدن طولی
  - Seams می توانند در فرآیند های بعدی باز شوند
  - تغییر شکل غیر یکنواخت، تنشهای پسماند ایجاد می کند
    - در کاهش کم، تنش پسماند در روی سطح فشاری ودر داخل کششی است
    - در کاهش زیاد تنش پسماند در روی سطح کششی است
    - تنشهای پسماندمی توانند
      - منتهی به stress-corrosion cracking
      - پیچیدگی قطعه پس از برداشتن لایه از آن شوند
  - مستقیم نمودن سیم از روشهای تاب گیری

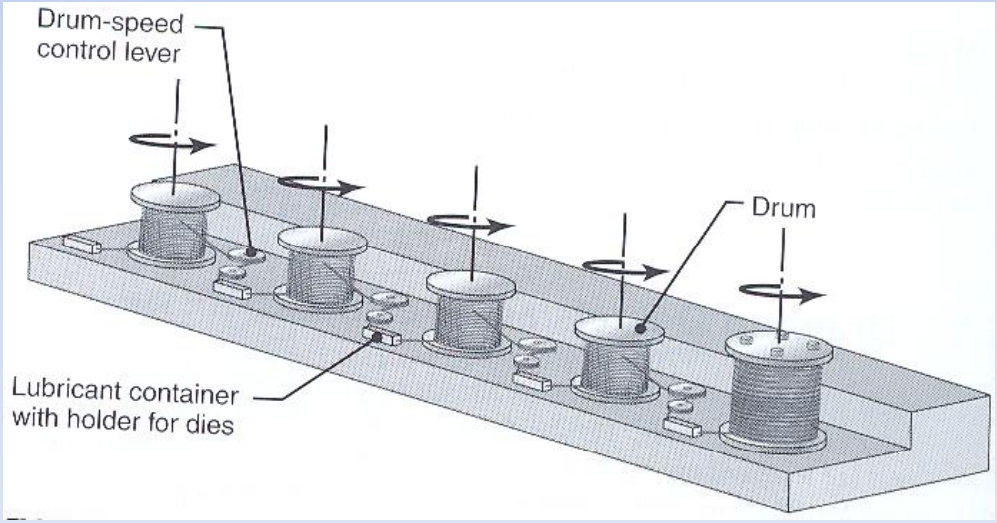
فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

- **تجهیزات کشش**



Draw bench –

- یک قالب
- نیروی کشش با زنجیر یا جک هیدرولیک



Drum Draw –

- سیم طولانی
- سیم با قطر کمتر
- چند مرحله ای

فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

- اصطلاحات انگلیسی ریز را توضیح دهید

Bamboo defect
Bridge die
Bull block
Bundle drawing
Canning
Capstan
Center cracking
Chevron cracking
Cold extrusion
Conversion coating
Dead-metal zone
Draw bench
Drawing
Extrusion
Extrusion constant
Extrusion defects
Extrusion ratio
Fir-tree cracking
Hydrostatic extrusion
Impact extrusion
Ironing
Jacketing
Patenting
Pipe defect
Porthole die
Rod
Seam
Séjournet process
Shear die
Sizing pass
Speed cracking
Spider die
Turk's head
Wire

- پرسشهای مروری

15.1 How does extrusion differ from rolling and forging processes?

15.2 What is the difference between extrusion and drawing?

15.3 What is a spider die? What is it used for?

15.4 Why are wires sometimes drawn in bundles?

15.5 What is a dead-metal zone?

15.6 Define (a) cladding, (b) dummy block, (c) shear dies, (d) skull, and (e) canning.

15.7 Why is glass a good lubricant in hot extrusion?

15.8 Explain why cold extrusion is an important manufacturing process.

15.9 What types of defects may occur in (a) extrusion and (b) drawing?

15.10 What is the difference between direct and reverse extrusion?

15.11 What is a land? What is its function in a die?

15.12 How are tubes extruded? Can they also be drawn? Explain.

15.13 Is it possible to extrude straight gears as well as helical gears? What further processing may be necessary?

15.14 What materials are used in making dies for extrusion?

15.15 What is the difference between piping and bamboo ing?

فصل 15 - اکستروژن و کشش فلزات

- مسائل

15.16 Explain why extrusion is a batch or a semicontinuous process. Do you think it can be made into a continuous process? Explain.

15.19 How would you go about avoiding center-cracking defects in extrusion? Explain why your methods would be effective.

15.22 Will the force in direct extrusion vary as the billet becomes shorter? If so, why?

15.28 What is the purpose of a dummy block in extrusion?

15.30 Occasionally, steel wire drawing will take place within a sheath of a soft metal, such as copper or lead. Why would this sheath be useful?

15.38 Calculate the extrusion force for a round billet 200 mm in diameter, made of stainless steel, and extruded at 1000°C to a diameter of 50 mm.

15.42 A planned extrusion operation involves steel at 1000°C with an initial diameter of 120 mm and a final diameter of 20 mm. Two presses, one with capacity of 20 MN and the other with a capacity of 10 MN, are available for the operation. Is the smaller press sufficient for this operation? If not, what recommendations would you make to allow the use of the smaller press?