بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

شکل دادن فلزات

جلسه چهارم
(کلیات- ۳)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

انواع روش های تولید

روش های اصلی تولید قطعات فلزی عبارتند از:

- ✓ ریخته گری
- ✓ ماشین کاری
- ✓ متالورژی پودر
- ✓ شکل دادن مکانیکی

روش های اتصال

اغلب سازه ها در صنعت از قطعات مختلف تشکیل شده اند که به روش های گوناگونی به یکدیگر متصل می شوند. دسته بندی روش های اتصال فلزات به یکدیگر عبارتند از:

- ✓ بر اساس نوع فرآیند
- ✓ براساس نوع اتصال

انواع روش های اتصال

بر اساس نوع فرآیند:

- ✓ روش مکانیکی (پیچ ، پرچ ، میخ ، پین ، خار و ...): با کمک اجزاء مکانیکی
- ✓ روش متالورژیکی (جوشکاری ، لحیم کاری و ...): با فرآیندهای متالورژیکی
- ✓ روش شیمیایی (چسب های معدنی و آلی): با فرآیندها و پیوندهای شیمیایی

انواع روش های اتصال

بر اساس نوع اتصال:

- ✓ اتصال موقت
- ✓ اتصال نیمه موقت
- ✓ اتصال دائم

روش های اتصال

- ✓ اتصال موقت: در صورت جداکردن اتصال ، قطعات مورد اتصال به راحتی از هم جدا می شوند و قطعه واسط نیز آسیب نمی بیند (پیچ و مهره ، پین ، خار و...)
- ✓ اتصال نیمه موقت: در صورت جداکردن اتصال ، قطعات مورد اتصال به راحتی از هم جدا می شوند و قطعه واسطه از بین می رود (پرچ ، لحیم کاری و بعضی چسب ها)
- ✓ اتصال دائم: در صورت جداکردن اتصال ، قطعات مورد اتصال آسیب دیده و واسطه اتصال از بین می رود (فرآیندهای جوشکاری، لحیم کاری سخت و برخی چسب ها)

روش های اتصال

جوشکاری:

- ✓ از بین بردن فاصله و ایجاد جاذبه مولکولی یا کریستالی بین قطعات و یا پیوند متالورژیکی بین آنها.
- ✓ جوش ایده آل به محل اتصالی گفته می شود که نتوان آن موضع را از قسمت های دیگر قطعات جوش داده شده تشخیص داد و استحکام آن از دیگر قسمت های قطعه بیشتر باشد.

روش های اتصال

در روش های جوشکاری مهمترین عامل انرژی است که می تواند از منابع زیر تامین شود:

- ✓ شعله ای
- ✓ قوس الکتریکی
- ✓ مقاومت الکتریکی
- ✓ تشعشعی (لیزر، اشعه الکترونی، پلاسما)
- ✓ مکانیکی (اصطکاکی)

روش های اتصال

تماس در جوشکاری (اتصال و رسیدن به تماس اتمی بین ۲ سطح) در حقیقت توسط ۲ عامل زیر ایجاد می شود:

- ✓ فشاری: تحت فشار با استفاده از حرارت برای گرم کردن فلز (در حالت پلاستیکی)
- ✓ ذوبی: با استفاده از انرژی ، مواضع مورد جوش ذوب می شوند که اغلب با ماده اضافی (سیم جوش) می باشد (اتصال توسط پلی از فلز مذاب)

بر این مبنا جوشکاری به دو گروه کلی زیر تقسیم می شود:

- ✓ جوشکاری حالت جامد
- ✓ جوشکاری حالت مایع یا ذوبی

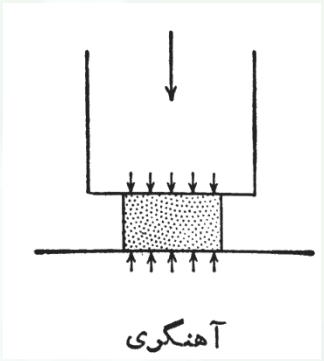
شکل دادن مکانیکی

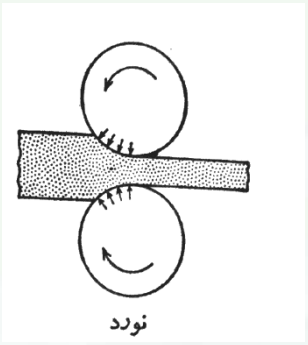
روش های شکل دادن متعددی برای فلزات وجود دارد، اما کلیه آنها را می توان با توجه به نوع نیروهای وارده به قطعه به چند گروه زیر تقسیم نمود:

۱- فرآیندهای فشاری مستقیم
۲- فرآیندهای فشاری غیرمستقیم
۳- فرآیندهای کششی
٤- فرآیندهای خمشی
٥- فرآیندهای برشی

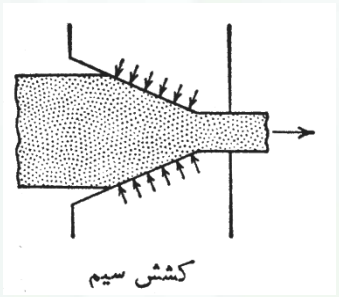
شکل دادن مکانیکی

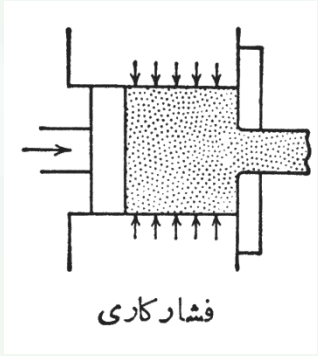
۱- فرآیندهای فشاری مستقیم (نورد/ فورجینگ): نیرو به سطح قطعه وارد شده و جهت سیلان فلز عمود بر جهت نیروست.

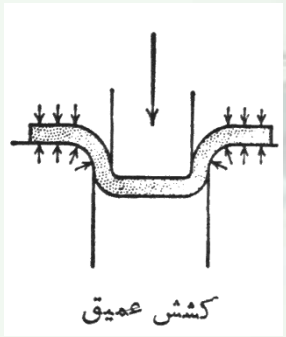




۲- فرآیندهای فشاری غیرمستقیم (کشش سیم/ کشش لوله/ اکستروژن/ کشش عمیق): نیروهای اولیه در این فرآیندها اکثرا کششی بوده، اما نیروی عکس العملی فشاری زیادی بر قطعه وارد می شود و فلز در نتیجه ترکیب این دو تسلیم و شروع به سیلان می کند.



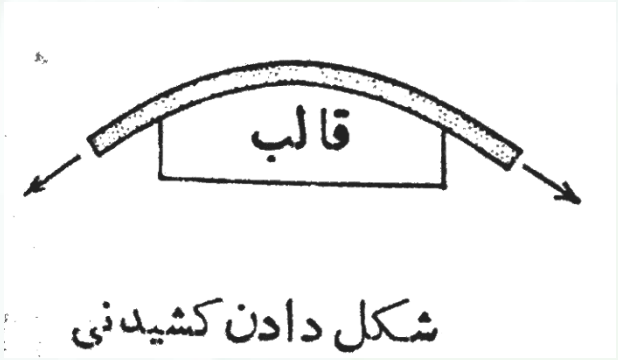




شکل دادن مکانیکی

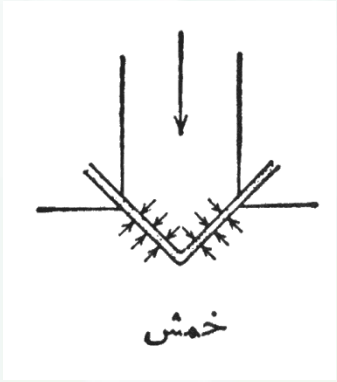
۳- فرآیندهای کششی شامل:

- ✓ شکل دادن به روش کشش: صفحه ای فلزی از همه جهات بر روی قالب کشیده می شود.
- ✓ شکل دادن مکشی: با تولید خلاء در پشت یک صفحه فلزی، آن را به قالب پشت آن چسبانیده و شکل قالب را بوجود می آورند.



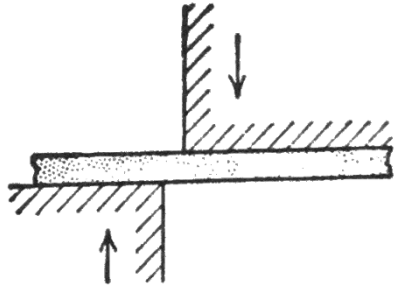
شکل دادن کشیدنی

٤- فرآیندهای خمشی (تغییرشکل صفحه یا تسمه توسط خمش)


خمش

شکل دادن مکانیکی

۵- فرآیند برشی: نیروهای برشی وارده بر جسم باعث برش فلز در صفحه برش می شوند نظیر برش ورق یا شکل دهی برشی (Shear Forming).



شکل دادن مکانیکی

شکل دادن به ۲ منظور انجام می شود:

- ✓ بوجود آوردن شکل مورد نظر
- ✓ بهبودِ خواص ماده بواسطه یکنواخت کردن ساختار داخلی و ریز کردن دانه ها (مثلاً ساختار یا دانه ها یا کریستال های حاصل از ریخته گری)

انواع عملیات مکانیکی:

- ✓ اولیه: فرآیندهایی که سبب کاهش ابعاد شمش، شمشال و نظایر آنها شده و محصول آنها، صفحه و ... است.
- ✓ ثانویه: روش هایی که منجر به تولید قسمتی و یا محصول نهایی می شود (نظیر فرآیندهای مربوط به ورق کاری، کشش سیم، کشش لوله و ...).

شکل دادن مکانیکی

انواع روش های شکل دادن (براساس دمای کاری):

الف) شکل دادن گرم (کار گرم): تغییرشکل تحت دما و سرعت کرنش هایی انجام می شود که بازیابی همزمان با تغییرشکل پلاستیک صورت می پذیرد.

ب) شکل دادن سرد (کار سرد): تغییرشکل پلاستیک در شرایطی انجام می شود که بازیابی در فرآیند تغییرشکل بی اثر است.

شکل دادن مکانیکی

در شکل دادن گرم ، کارسختی بسرعت بواسطه جوانه زنی دانه های جدید عاری از تنش در اثر عمل جوانه زنی مجدد از بین می روند، لذا تغییرشکل زیادی را می توان در قطعه ایجاد کرد. در این حالت چون تنش کمتری برای سیلان نیاز است، لذا انرژی نسبت به حالت کار سرد کمتر می باشد، چون با افزایش دما، تنش سیلان کم می شود. در این روش بین کارسختی و بازیابی مجدد تعادل برقرار است.

شکل دادن مکانیکی

در شکل دادن سرد، مقاومت به سختی، زیاد و چقرمگی کاهش می یابد. اگر تغییرشکل سرد بیش از حد باشد، فلز قبل از رسیدن به شکل نهایی، خواهد شکست. لذا عموماً کار سرد را در چند مرحله انجام داده که بین مراحل آن فلز آنیل شده تا چقرمگی آن بالا رود. بنابراین قیمت تمام شده برای محصول کار سرد بیشتر از کار گرم بوده، ولی کنترل و راحتی عمل آن بهتر از گرم کاری است.

شکل دادن مکانیکی

دمای خاصی برای کار گرم نداریم و برای مواد مختلف متفاوت است، چون باید دمایی باشد که تبلور مجدد روی دهد. مثلاً برای فولاد دمای ۱۱۰۰ سانتی گراد، برای سرب و قلع دمای محیط و برای تنگستن دمای بالاتر از ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد، دمای کار گرم است، یعنی دمای کار سرد برای یک ماده می تواند دمای کار گرم برای ماده دیگر باشد.

عموماً بالاتر از Tm ۰.۵ (نقطه ذوب برحسب کلوین)، کار گرم است. در برخی موارد بجای کار سرد و گرم، کار سرد، کار گرم و داغ کاری داریم.

$Cold\ Work < 0.3\ Tm$ $Warm\ Work = 0.3 \sim 0.7\ Tm$ $Hot\ Work > 0.7\ Tm$

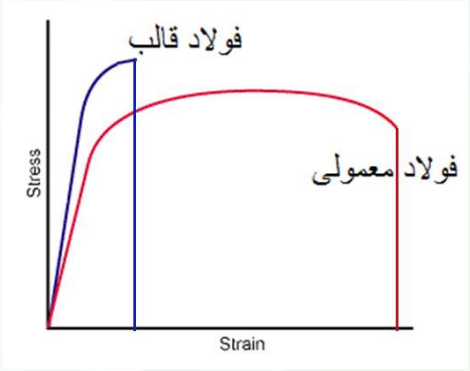
شکل دادن مکانیکی

- ✓ شکل دهی (Forming): فرآیندی که منجر به تغییر ابعاد یا سطح مقطع و یا تولید محصول می شود.
- ✓ شکل دادن (Shaping): مجموعه روش های فرم دادن مواد (ریخته گری، فرآیندهای مکانیکی، جوشکاری، ماشین کاری، متالورژی پودر و ...)
- ✓ شکل پذیری (Formability یا Workability): قابلیت و مشخصات ماده در سهولت ایجاد شکل دلخواه

شکل دادن مکانیکی

قابلیت کار مکانیکی: میزان کرنش مفید یا قابل حصول یک ماده که پیش از شکست می تواند حاصل شود.

سوال: آیا می توان ماده شکل پذیر (Formable) داشته باشیم که شکل (Form) نگیرد؟ بله، کافی است استحکام خیلی بالا باشد.
مثلاً فولاد، شکل پذیر است اما با استحکام بالا،
فرم نمی گیرد.



شکل پذیری، تابع ماده و فرآیند است و هر دو موثر هستند.

Formability = f (Material). g (Process)

شکل دادن مکانیکی

پارامترهای فرآیندی

۱-حالت تنش (کشش تک محوری و ...)

۲-دما (شکل دهی گرم و سرد)

۳-سرعت تغییر شکل ($\dot{\varepsilon}$)

٤-اصطکاک ($\bar{\mu}$) (زبر بودن قالب/ عدم استفاده از روانکار در قالب)

تقابل متغیرهای ماده و فرآیند سبب شکل پذیری می شوند. فلزات، شکل پذیر و سرامیک ها، ترد هستند. فلزات fcc، شکل پذیری بهتری از hcp و bcc دارند.

شکل دادن مکانیکی

مکانیک فلزکاری

عموماً نیروها و تغییرشکل ها در شکل دهی پیچیده هستند، لذا برای امکان تحلیل مناسب و کسب یک راه حل ساده لازم است از فرضیات ساده کننده ای استفاده شود. مثلاً به علت بزرگ بودن کرنش های درگیر در فرآیندهای شکل دادن، از کرنش های الاستیک صرف نظر می شود و تنها کرنش های پلاستیک در نظر گرفته می شوند. همچنین در بسیار موارد از کارسختی نیز صرف نظر می شود.

شکل دادن مکانیکی

رابطه اصلی تغییرشکل پلاستیک، رابطه ثابت بودن حجم است و تغییر حجم تنها محدود به محدوده الاستیک است.

$$\vartheta = -\frac{\varepsilon_D}{\varepsilon_L}$$

$$\varepsilon_V = \varepsilon_e(1 - 2\vartheta)$$

ε_D : تغییر شکل نسبی در جهت عرضی

ε_L : تغییر شکل نسبی در امتداد نیرو

$$\vartheta = 0.5$$

در ناحیه پلاستیک:

$$\rightarrow \quad \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$$

شکل دادن مکانیکی

اکثراً در فرآیندهای فلزکاری، تنش ها و کرنش های فشاری مسلط هستند.

اگر قطعه ای با ارتفاع اولیه h_0 فشرده و به h_1 برسد، کرنش فشاری محوری حقیقی و قراردادی عبارتند از:

کرنش حقیقی یا طبیعی

$$\varepsilon = \int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h} = \ln \frac{h_1}{h_0} = -\ln \frac{h_0}{h_1}$$

$h_0 > h_1$

$$\rightarrow \quad \varepsilon = \ln(e-1)$$

کرنش قراردادی یا مهندسی

$$e = \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{h_1 - h_0}{h_0} = \frac{h_1}{h_0} - 1$$

شکل دادن مکانیکی

کرنش های فشاری بطور قراردادی منفی نشان داده می شوند، اما در مسائل فلزکاری، تنش ها و کرنش های فشاری را با علامت + بیان می کنند. در این موارد از شاخص c برای مشخص کردن این نوع قرارداد استفاده می شود. پس داریم:

$$\varepsilon_c = \ln \frac{h_0}{h_1}$$

$$e_c = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = 1 - \frac{h_1}{h_0}$$