بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

شکل دادن فلزات

جلسه پنجم
(اصطکاک و راونکاری)

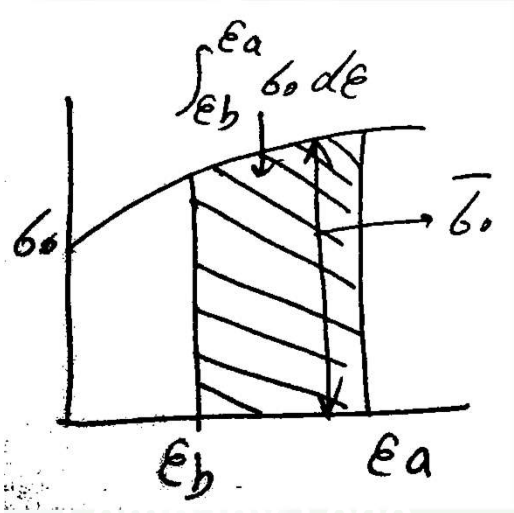
دکتر رضا اسلامی فارسانی

تنش جریان

تعیین تنش جریان

فشار لازم برای شکل دادن به ۳ عامل وابسته است:

- ✓ مقاومت جریان (تنش جریان) برای حالت اختصاصی تنش مثلا تک بعدی یا کرنش مسطح و ... (این مقاومت به کرنش، دما و آهنگ کرنش وابسته است).
- ✓ اصطکاک در مرز قطعه و ابزار
- ✓ شکل هندسی ابزار و شکل هندسی تغییرشکل



اگر بخواهیم بارها و تنش‌های شکل دادن را به دقت پیش‌بینی کنیم، باید مقادیر دقیق تنش جریان را سنجید.

دما در فلزکاری

حدود ۹۵٪ کار مکانیکی تغییرشکل به گرما تبدیل می‌شود. قسمتی از این گرما توسط ابزار به خارج هدایت شده یا در محیط تلف می‌شود. ولی قسمتی از آن باقی می‌ماند تا دمای قطعه را بالا ببرد. حداکثر افزایش دمای نظری در یک فرآیند ساده فاقد اصطکاک از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta T = \frac{Up}{pcj}$$

Up= کار تغییرشکل مومسان در واحد حجم

p= چگالی قطعه

C= گرمای ویژه قطعه

J= معادل مکانیکی گرما 0/1kg.m/j

دما در فلزکاری

ازدیاد دمای نظری (با فرض عدم وجود هرگونه افت دمایی) در $\varepsilon=1$ عبارت است از:

- ۹۱°C– برای آلومینیم
- ۲۹۴°C– برای فولاد
- ۵۸۸°C– برای تیتانیم

اگر سرعت انجام فرآیند تغییرشکل زیاد باشد، اتلاف گرمایی کم بوده و افزایش دما به مقادیر بدست آمده از معادله نزدیک است. درفرآیندهای آهسته، اتلاف گرمایی می‌تواند از افزایش دمای ناشی از تغییرشکل تجاوز کند که در این حالت، دما با ازدیاد تغییرشکل افت می‌کند. برای فلزات با نقطه ذوب کم و یا قابل عملیات حرارتی، افزایش دمای زیادی می‌تواند به تغییرشکل ناخواسته (مثلا خزش) و تغییرفاز و در نتیجه تغییرخواص منجر شود که لازم است این افزایش دما کنترل شود.

آهنگ کرنش

آثار آهنگ کرنش

آهنگ کرنش (سرعت تغییرشکل)، ۳ اثر اصلی بر فلزکاری دارد:

۱- تنش جریان فلز با آهنگ کرنش زیاد می‌شود.

۲- دمای قطعه زیاد می‌شود.

۳- تا وقتی که لایه روان کننده قابل نگهداری باشد، روغن‌کاری در مرز فلز با ابزار مناسب است.

اصطکاک

نیروهای اصطکاکی ایجاد شده بین قطعه و ابزار شکل دادن، مسئله مهمی در فلزکاری هستند و در عمل صرف نظر کردن از آنها در بسیاری از فرآیندهای فلزکاری وجود ندارد و این موضوع عامل عمده‌ای است. مثلاً برای یک صفحه گرد صاف تحت تنش فشاری، شرایط اصطکاکی در وجوه بالا و پایین صفحه توسط ضریب ثابت اصطکاک کولن (μ) به صورت زیر بیان می‌شود:

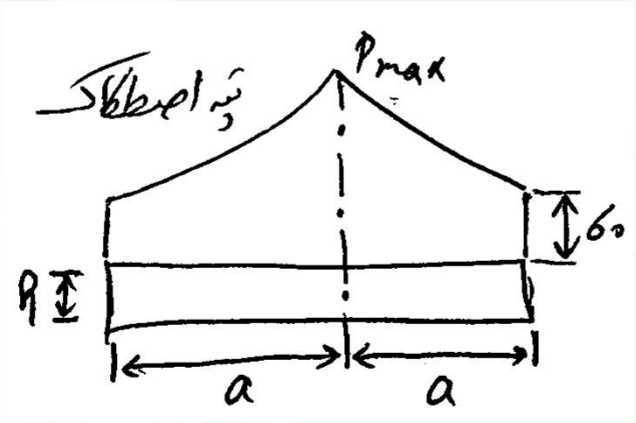
τ = تنش برشی در مرز

p = تنش عمود بر مرز

$$\mu = \frac{\tau}{\rho}$$

اصطکاک

برای صفحه مذکور، توزیع تنش در اطراف خط مرکزی متقارن است و در مرکز صفحه به اوج می‌رسد. این افزایش مشخص در فشار تغییرشکل برحسب فاصله، اغلب تپه اصطکاک نامیده می‌شود.



تنش فشاری محوری در سراسر قطر صفحه $\rightarrow p=\sigma_0 e^{\frac{2\mu}{h}(a-r)}$

فشار میانگین تغییرشکل (ارتفاع متوسط تپه اصطکاک) برای اصطکاک لغزشی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$(0)\bar{p} = \frac{\sigma_0}{2}\left(\frac{h}{\mu a}\right)^2\left[e^{2\mu a/h} - \frac{2\mu a}{h} - 1\right]$$

اصطکاک

حالت دیگر، اصطکاک چسبندگی است که بین قطعه و ابزار هیچ حرکت نسبی وجود ندارد. این شرایط اغلب در گرم کاری روی می‌دهد که روغن‌کاری می‌تواند مشکل‌ساز باشد. در حالت اصطکاک چسبندگی نیز همچنان در $r = 0$ توزیع تنش حداکثر است.

$$(1)\ p = 60\left[1 + \frac{2}{\sqrt{3}}\frac{(a - r)}{h}\right]$$

با تلفیق شرایط اصطکاک چسبندگی و لغزشی، می توان ضریب اصطکاک مرزی (m) داشت که مقادیر آن از ۰ (لغزش کامل) تا ۱ (چسبندگی) متغیر است.

$$m = \frac{\tau i}{k} = \frac{\text{استحکام برشی مرزی}}{\text{تنش تسلیم در برش}}$$

اصطکاک

بیشتر تحلیل‌های فرآیندهای فلزکاری با استفاده از μ انجام شده است، اما کاربرد m از نظر فیزیکی مناسب تر و عملیات ریاضی نیز آسان تر است. لذا داریم:

$$p = \sigma 0(1 + \frac{2m}{\sqrt{3}} \frac{a - r}{h}$$

در این معادله با قراردادن شرایط اصطکاک چسبندگی ($m=1$)، همان معادله قبلی بدست می‌آید. با قراردادن $m=0$ (لغزش کامل)، $p=\sigma_0$ شده، یعنی اصطکاک تاثیری ندارد.

اصطکاک

خیش زدن یا Ploughing (مشابه کشاورزی)

وقتی در یک جفت جامد لغزان، سطح یکی از دیگری به مراتب سخت تر باشد (نظیر هنگامی که ترکیب خاصی از ابزار-قطعه موجود است)، ناهمواری‌های سطح سخت تر به سطح نرم تر رسوخ کرده و حجمی از فلز را متناسب با طول کل لغزش و سطح مقطع ناهمواری جابجا می‌کند. این کار به شخم زدن معروف است. مقاومت اصطکاکی حاصل از برش ناهمواری‌هاست. نیروی شخم زدن با خواص جریان قطعه و اندازه و شکل ناهمواری‌ها مرتبط است، لذا قالب‌های صاف در کاهش سهم اصطکاک در عمل شخم زدن نقش مهمی دارند.

اصطکاک

کنده شدن یا قلوه کن شدن (Pickup)

انتقال ماده از قطعه به ابزار ناشی از روغن کاری ناکافی را کنده شدن گویند. انتقال فلز به دو شکل انجام می‌شود. اگر لایه روان‌کننده در مرز سطح ناهموار ابزار کم شود، قطعه با فشار به داخل شکاف‌های سطحی ابزار وارد می‌شود. حرکت مماس بعدی، فلز نرم را در حین کار بریده و به کنده شدن آن با ابزار و خراب شدن سطح نهایی قطعه منجر می‌شود. اگر روان‌کننده تحت فشار زیاد تجزیه شود، جوشکاری سرد موضعی بین ابزار و قطعه ایجاد می‌شود و در ادامه کندگی و خرابی خواهیم داشت.

روانکاری

در انتخاب روان‌کننده، قطعه، قالب و روان‌کننده باید به صورت یک سیستم کل درنظر گرفته شوند. روان‌کننده‌های فلزکاری دارای عملکردهای متعددی هستند:

- ✓ بار تغییرشکل را کاهش می‌دهند.
- ✓ سایش ابزار را به حداقل می‌رسانند.
- ✓ قطعه و ابزار را از نظر حرارتی عایق می‌کنند.
- ✓ پرداخت سطحی را کنترل می‌کنند.
- ✓ قطعه و یا ابزار را خنک می‌کنند.
- ✓ کندن فلز توسط ابزار را به حداقل می‌رسانند.
- ✓ اصطکاک را کم می‌کنند.

روانکاری

روان کننده باید دارای خواص زیر باشد:

- ✓ در دامنه وسیعی از فشار، دما و سرعت‌های لغزیدن عمل کند.
- ✓ مشخصات خیس کنندگی و پخش شوندگی مناسبی برای قطعه و قالب داشته باشد.
- ✓ مقاوم به حملات شیمیایی در برابر قطعه و قالب باشد.
- ✓ پایداری حرارتی مناسبی داشته باشد.
- ✓ مقاوم به آلودگی میکروبی باشد.
- ✓ پس مانده بی‌ضرری تولید کند که در جوشکاری یا عملیات حرارتی بعدی سبب ایجاد اکسید نشود و به آسانی زدوده شود.
- ✓ غیرسمی و بی‌خطر باشد.
- ✓ ارزان باشد.

روانکاری

انواع روغن کاری:

- ✓ روغن کاری مرزی: سطوح بطور کامل توسط لایه روان کننده مجزا نمی‌شوند. این روش متداول ترین حالت روغن کاری در فلزکاری است.
- ✓ روغن کاری هیدرولیک: دو سطح کاملاً توسط یک لایه روان کننده از هم جدا می‌شوند. این نوع روغن کاری در فشارکاری هیدرواستاتیک و کشش سیم با انجام روغن کاری تحت فشار انجام می‌شود. روغن‌کاری لایه ضخیم نظیر فشارکاری فولاد با یک روان کننده گران رو، می‌تواند روغن‌کاری شبیه هیدرولیک باشد.

روانکاری

روان‌کننده‌های مرزی از نوع مولکول‌های آلی با زنجیر بلند هستند که این مولکول‌های قطبی خودشان را از یک انتها به سطح فلز متصل می‌کنند. مثال‌هایی از این نوع، اسیدهای چرب نظیر اسیداولئیک هستند که وقتی با آب یا روغن مخلوط می‌شوند، یک صابون فلزی تشکیل می‌دهند. روان‌کننده‌های آلی، پایداری حرارتی ضعیفی داشته و در بیش از ۳۰-۲۰ درجه سانتی گراد نمی‌توانند بکار روند.

روانکاری

روغن کاری شبه هیدرودینامیک توسط لایه‌های روان‌کننده پیوسته ایجاد می‌شود. این لایه‌ها ممکن است شامل جامدات نرم صاف (نظیر قلع، مس و تفلون)، پلی اتیلن یا جامدات با ساختار لایه‌ای (نظیر سولفید مولیبدن، گرافیت، نیترید بور و اکسیدهای خاص) باشند. روغن‌کاری لایه پیوسته با سیالاتی همچون شیشه مذاب یا گرافیت پراکنده نیز عملی است.