wp.kntu.ac.ir/maghaei

Subject ★
Date

نمونه سوال ← sample exams → courses → metal forming → Figures → save

« اصول شکل دهی مواد ۱ »

۹۸,۶,۳۰

مرجع ← شکل دهی فلزات هاسفورد

۹۸,۷,۱

۹ آذر تا آخر جلسه ۸,۱۸ ساعت ۷:۳۰

میان ترم ٪۳۰ - پایان ترم ٪۷۰ - تمرین، حضور فعال ٪۱۰

۹۸,۷,۶

روش های تولید
- جوشکاری
- شکل دهی فلزات
- ریخته گری
- ماشین کاری
- متالورژی پودر، ساخت افزایشی و... (پرینتر ۳ بعدی)

شکل دهی فلزات، از جمله روش های تولید (ساخت) محصول است.

ساخت

ماده اولیه → ابزار یا قالب → محصول

در روش های تولید، معمولاً ماده‌ی اولیه با شکل ساده به محصول با شکل پیچیده و خواص مهندسی مورد نظر تبدیل می‌شود.

تعریف شکل دهی فلزات: فرآیندی که در آن ماده اولیه با شکل ساده به صورت شمش یا محصول نیمه تمام، توسط ابزار یا قالب ... تغییر شکل پلاستیک داده و محصول نهایی را با شکل پیچیده‌تر و با هندسه و خواص مورد نظر ایجاد می‌کند.

PAPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

ویژگی های روش های شکل دادن :

۱- خواص مکانیکی و متالورژیکی محصول تولید شده معمولاً در مقایسه با سایر روش ها بیشتر است. این مسئله به دلیل حذف تخلخل ها و حفره ای و یکنواخت تر شدن ساختار است.

۲- هزینه ی قالب بالا بوده و برای تولید با تعداد بالا مناسب است.

۳- محصول، سریع تولید شده و تولید آن به زمان نگهداری نیاز دارد.

۴- برای تولید قطعات با شکل ساده یا پیچیدگی متوسط، مناسب است.

۹۸,۷,۸

آهنگری (forging) : فرآیند تغییر شکل ماده ی اولیه با اعمال فشار یا ضربه توسط پرس، پتک یا سایر ماشین های خوج می باشد.

★ پتک ها نیرو را به صورت ضربه اعمال می کنند ولی پرس ها نیرو را به صورت فشردن و آرام اعمال می کنند.

آهنگری به دو صورت قالب باز و قالب بسته، دسته بندی می شود. در فرج قالب باز، فلز بین قالب های صاف یا قالب های با شکل ساده، تغییر شکل می دهد و در طی آن جریان فلز در جهت عرض، محدود نشده است.

در فرج قالب بسته، فلز توسط دو نیمه ی قالب به هر یدام حاوی حفره هستند تغییر شکل داده و محصول پس از پرشدن حفره های قالب ایجاد

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

می شود. در این روش، جریان فلز در جهت عرض توسط دیواره های قالب، محدود می شود.

نورد (Rolling): نورد، تغییر شکل و کاهش سطح مقطع فلز با عبورش از میان دو غلتک گردنده است.

نورد به دو صورت نورد ورق و نورد مقاطع انجام می گیرد. ریل راه آهن انواع پروفیل های ساختمانی مثل تیرآهن و میل گرد و نبشی و ... را با نورد مقاطع تولید می کنند.

اکستروژن (Extrusion): فرآیند شکل دهی که در آن، شمش ... (بیلت) billet در یک محفظه ی جدار ضخیم استوانه ای شکل، فشرده شده و با عبور فلز از میان قالب به محصولی با مقطع یکنواخت تبدیل می شود.

با استفاده از فرآیند اکستروژن، مقاطع مختلف آلومینیومی، (۶ پرس، ۴ پرس، ۸ پرس، توخالی) تولید می شود.

کشش (Drawing): میله، لوله و سیم. کاهش سطح مقطع لوله، میله و تولید سیم و مفتول از طریق کشیدن و عبور آن ها از میان قالب می باشد.

کشش عمیق (Deep Drawing): تولید محصولات با دیواره های موازی و به شکل فنجان (cup) از طریق کشیدن ورق به داخل ماتریس (قالب) توسط پانچ است.

ورق اولیه می تواند گرد، مستطیل یا اشکال پیچیده ی دیگری را داشته باشد. این روش برای تولید اشکال توخالی مورد استفاده قرار می گیرد.

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

شکل دهی چرخشی (spinning): فرآیند شکل دهی اشکال توخالی بدون درز از طریق فشردن ورق در حال چرخش بر روی ماندرل (مدل) توسط ابزار کند یا غلتک است.

۹۸/۷/۱۳

تغییر شکل پلاستیک: همان طور که قبلا ذکر شد، تغییر شکل پلاستیک، مهم ترین فرآیندی است که با استفاده از آن محصول تولید می شود. لذا بررسی دقیق آن از جمله مباحث مهم شکل دهی فلزات است.

ویژگی های تغییر شکل پلاستیک:

۱- تغییر شکل پلاستیک دائمی است؛ یعنی پس از برداشتن نیرو باقی می ماند.

۲- در فلزات، مقادیر تغییر شکل پلاستیک بزرگ تر از ... الاستیک است.

۳- تغییر شکل پلاستیک معمولاً غیرخطی است (رابطه‌ی تنش-کرنش)

۴- در طی تغییر شکل پلاستیک، تغییر حجم ناچیز است و فرض می شود در حل تغییر شکل حجم تقریبا ثابت است.

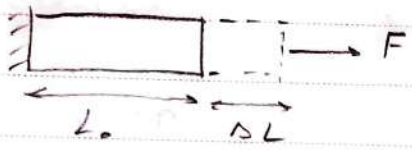
۵- برخلاف تغییر شکل الاستیک که مقادیر نیرو و کار تابعی مستقل از مسیر هستند (مقدار تابع به مقادیر ابتدایی و انتهایی وابسته است)، کار تغییر شکل پلاستیک تابع مسیر بوده و به تاریخچه‌ی تغییر شکل وابسته است.

کرنش (strain): اعمال نیرو به جسم می تواند منجر به حرکت شکل یا تغییر شکل آن شود. میزان تغییر شکل اجسام با توجه به مفهوم کرنش بیان می شود. کرنش به دو شکل محوری (خطی) و برشی (زاویه‌ای) تقسیم بندی می شود.

https://t.me/miirza_beneviis

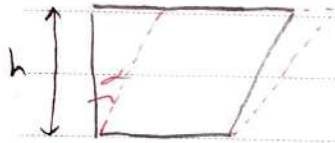
Subject
Date

کرنش خطی : به صورت میزان تغییر طول واحد طول جسم تعریف شده و از رابطه زیر حساب می‌شود.



$$e = \frac{\Delta L}{L_0}$$

کرنش برشی : (زاویه‌ای)



$$\gamma = \tan\alpha \approx \frac{b}{h}$$

رابطه کرنش و جابه‌جایی (کرنش در یک نقطه) :

(اگر همه نقاط جسم با هم حرکت کنند به یک اندازه حرکت است نه کرنش ولی اگر جابه‌جایی نسبی باشد و همه به یک اندازه نباشد کرنش است)

تغییر شکل، جابه‌جایی نسبی نقاط مختلف یک جسم است.

انتقال (حرکت) : در این حالت تمام نقاط جسم به یک میزان جابه‌جا می‌شود.

تغییر شکل : در این حالت، نقاط مختلف جسم نسبت به هم جابه‌جا می‌شوند و هر نقطه جابه‌جایی متفاوتی دارد. در حل تغییر شکل جابه‌جایی نقاط مختلف جسم متفاوت بوده و تابعی از موقعیت هر نقطه است. $e = f(x)$

میزان جابه‌جایی نقاط پس از تغییر شکل را u, v, w می‌نامند و مقدار آن از رابطه زیر حساب می‌شود.

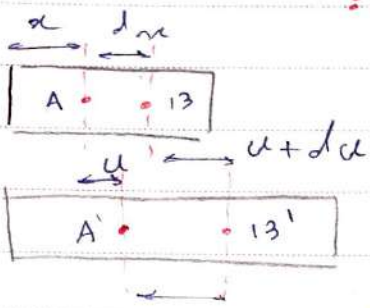
$$u = x_2 - x_1$$
$$v = y_2 - y_1$$
$$w = z_2 - z_1$$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

۹۸/۷/۱۵

رابطه‌ی کرنش و جابجایی در حالت تک محوری:



$$dx+du = dx + \frac{\partial u}{\partial x} dx$$

اگر نقطه‌ی A به مختصات x پس از تغییر شکل به میزان u جابجا شود، نقطه‌ی B با مختصات $x+dx$ به اندازه‌ی $u+du$ جابجا می‌شود

داریم: $du = \frac{\partial u}{\partial x} dx$

$$e_x = \frac{A'B' - AB}{AB} = \frac{dx + \frac{\partial u}{\partial x} dx - dx}{dx} = \frac{\partial u}{\partial x}$$

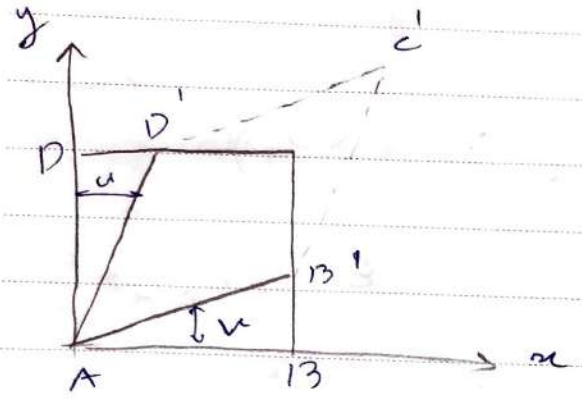
توضیح: $|AB| = dx$, $|A'B'| = B' - A' = (x+dx+u+du) - (x+u)$
$= dx + du$

به طور مشابه می‌توان رابطه‌ی کرنش محوری و جابجایی را به صورت زیر به دست آورد:

$$e_x = \frac{\partial u}{\partial x} , e_y = \frac{\partial v}{\partial y} , e_z = \frac{\partial w}{\partial z}$$

https://t.me/miirza_beneviis

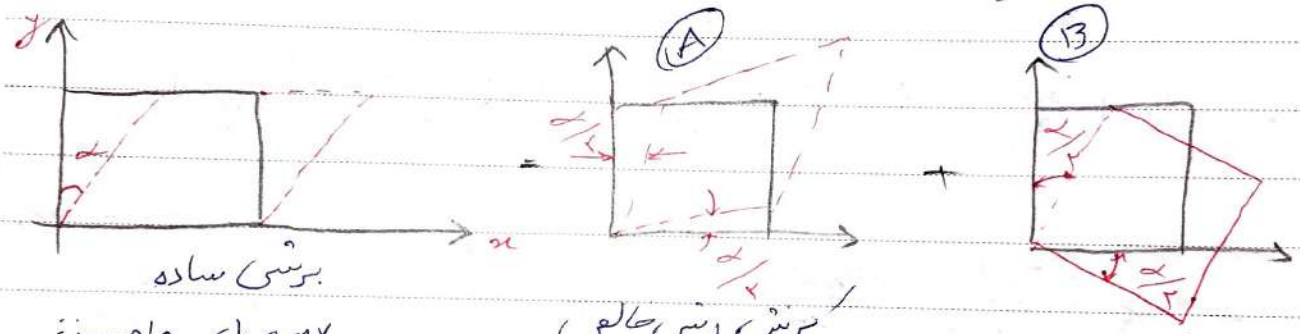
Subject
Date



$$e_{xy} = \frac{BDD'}{AD} = \frac{\partial u}{\partial y}$$

$$e_{yx} = \frac{BB'B'}{AB} = \frac{\partial v}{\partial y}$$

رابطه ی تنش: تغییر شکل برش معندسی (ساده) با ترکیب برش خالص و چرخش:



برش ساده
simple shear
$e_{xy} = \gamma$
$e_{yx} = 0$

ترکیب برش خالص
pure-shear
$e_{xy} = e_{yx}$

چرخش
Rotation
$e_{xy} = -e_{yx}$

تغییر شکل برش، نشان دهنده تغییر شکل زاویه ای است. تغییر شکل زاویه ای هم در اثر برش خالص (ترکیب برش) و هم چرخش ایجاد می شود. در حالت کلی، ترکیب برش ساده را می توان مجموع ترکیب برش خالص و چرخش در نظر بگیریم.

(A) $\frac{1}{2}(e_{xy} + e_{yx}) = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)$

(B) $\frac{1}{2}(e_{xy} - e_{yx}) = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x}\right)$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

رابطه‌ی کرنش برشی خالص، چرخش با جابجایی ها به شکل زیر است:

کرنش برشی خالص

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right), \quad \varepsilon_{xz} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right)$$

$$\varepsilon_{yz} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}\right), \quad \varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx}, \quad \varepsilon_{xz} = \varepsilon_{zx}, \quad \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy}$$

داریم: $\gamma_{xy} = 2\varepsilon_{xy}$

$$w_{xy} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x}\right), \quad w_{yz} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y}\right)$$

چرخشی:

$$w_{xz} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial v}{\partial x}\right), \quad w_{yx} = w_{xy}, \quad w_{zy} = -w_{yz}$$

$$, \quad w_{zx} = -w_{xz}$$

مثال: میدان جابجایی به صورت زیر داده شده است. مقادیر کرنش ها را به دست آورید.

$u = 2x + y^2$ $\quad e_x = \frac{\partial u}{\partial x} = 2$ $\quad e_z = 0$

$v = x^2 - y^2$

$w = 0$ $\quad e_y = \frac{\partial v}{\partial y} = -2y$

$$e_{xy} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right) = \frac{1}{2}(2y + 2x) = x + y$$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

۹۸/۷/۲۰

تنسور کرنش: مقدار کرنش در یک نقطه با توجه به جابه‌جایی آن نقطه در جهت x و y و z، توسط تنسور کرنش بیان می‌شود.
تنسور کرنش، متقارن بوده و دارای ۹ مؤلفه است.

$$\varepsilon_{ij} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

تنسور متقارن: $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ji}$

تنسور چرخش: مجموعه‌ی مؤلفه‌های چرخش در یک نقطه به صورت یک تنسور پادمتقارن نشان داده می‌شود.

$$w_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & w_{xy} & w_{xz} \\ w_{yx} & 0 & w_{yz} \\ w_{zx} & w_{zy} & 0 \end{bmatrix}$$

تنسر پادمتقارن: $w_{ij} = -w_{ji}$

حال نحوه قبلا نیز نشان داده شده داریم:

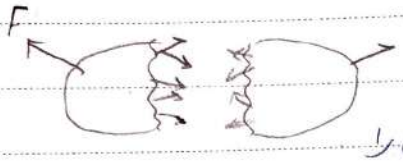
$$e_{ij} = \varepsilon_{ij} + w_{ij}$$

e_{ij} ← تنسر سل
ε_{ij} ← تنش حالص
w_{ij} ← چرخش

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

تعریف تنش:

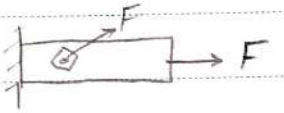


تنش، حاصل نیروهای داخلی جسم (پیوندها و...) است که مقاومت جسم در مقابل نیروی اعمالی را سبب می‌شود و مانع حرکت یا متلاشی شدن جسم در اثر اعمال نیرو می‌شود.

تنش به صورتی مقدار نیروی اعمالی تقسیم بر سطح اثر نیرو تعریف می‌شود.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

به عبارت دیگر، تنش، شدت نیروی اعمال شده به جسم را نشان می‌دهد.



مقدار تنش در یک نقطه: مقدار تنش در یک جسم که تحت اثر نیروی F قرار گرفته (δF) را به شکل زیر می‌توان تعریف کرد.

$$\dagger = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (*)$$

نکته ۱: تعریف محیط پیوسته: محیطی است که بتوان مقدار تنش را در هر نقطه از آن با استفاده از رابطه‌ی فوق حساب کرد. به عبارت دیگر، محیطی است که در آن هیچ فضای خالی وجود ندارد.

اجسام و مواد معمولی را با تقریب مناسبی می‌توان یک جسم پیوسته در نظر گرفت.

نکته ۲: تعریف بردار تنش: در رابطه‌ی $(*)$ $\dagger$ را بردار تنش (Traction) نامیده، جهت آن در امتداد نیروی F است.

PAPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

بردار تنش مانند بردارهای دیگر دارای ۳ مؤلفه است

$$\vec{t} = \sigma \cdot \vec{n}$$

۹۸/۷/۲۲

تنسور تنش: از یک نقطه، صفحات متعددی را می‌توان عبور داد. برای تعیین بردار تنش در هر کدام از این صفحات (تعیین حالت تنش) در نقطه‌ی مورد نظر، از کمیتی به نام تنسور تنش استفاده می‌کنند.
مقدار بردار تنش در هر صفحه با نرمال n را می‌توان از رابطه‌ی زیر حساب کرد.

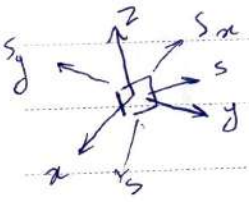
ساده

$$\vec{t}^{\vec{n}} = \sigma \cdot \vec{n}$$

$\vec{t}^{\vec{n}}$: بردار تنش در صفحه با نرمال n — σ: تنسور تنش — $\vec{n}$: بردار نرمال صفحه

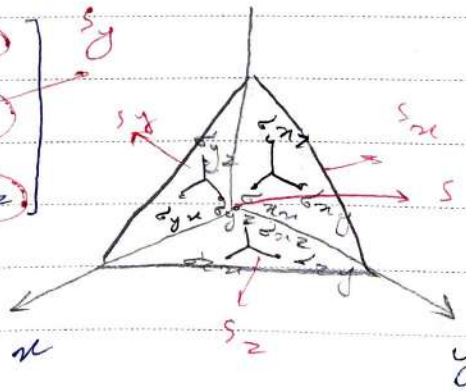
در رابطه‌ی فوق، σ یک تنسور درجه دو است.

با توجه به اصل کوشی، تنسور تنش با توجه به مؤلفه‌های بردار تنش بر سه صفحه‌ی عمود بر هم که از آن نقطه می‌گذرند مشخص می‌شود. مجموعه‌ی مؤلفه‌های سه بردار مذکور، مؤلفه‌های تنسور تنش را مشخص می‌کنند.



$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

s_x — s_y — مؤلفه‌های s_z



https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

هر مؤلفه‌ی تنسور تنش با دو اندیس نشان داده می‌شود. معمولاً اندیس اول، صفحه‌ای را مشخص می‌کند که عمود بر محور مؤلفه‌ی است.
مثلاً

مؤلفه‌ی دوم، جهت تنش اعمالی را نشان می‌دهد. مثلاً در σ_{xx}، تنش بر صفحه‌ای که عمود بر محور x است اعمال شده و جهت تنش در جهت محور x است.

نکته: کمیت‌های فیزیکی را می‌توان به صورت تنسور نشان داد. درجه‌ی تنسور، نشان دهنده‌ی این است که برای نشان دادن آن کمیت به چند بردار نیاز داریم. مثلاً برای تعریف تنسور درجه ۳ (اسکالر) به هیچ برداری نیاز نداریم.
برای مشخص کردن تنسور درجه یک (بردار) به یک بردار نیاز داریم. همچنین تنسور درجه ۲ با دو بردار مشخص می‌شود.
تعداد مؤلفه‌های یک تنسور در فضای ۳ بعدی از رابطه‌ی 3^n مشخص می‌شود
که n درجه‌ی تنسور است. (درجه تنسور)
در حالت کلی تعداد مؤلفه‌ها از رابطه N^n به دست می‌آید (تعداد بعدها)

مثال) تنسور تنش در نقطه‌ی Q به صورت زیر داده شده. مؤلفه‌های بردار تنش و مقدار تنش در صفحه‌ی با نرمال $n(2,1,0)$ را به دست آورید.

$$\vec{t^n} = \sigma \cdot \vec{n}$$

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3\times2 + 2\times1 + 0 \\ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 \\ 4 \\ 3 \end{bmatrix}$$

$$\vec{T} = 8\hat{i} + 4\hat{j} + 3\hat{k}$$

$$|t| = \sqrt{8^2 + 4^2 + 3^2} = \sqrt{89}$$

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

principle stress

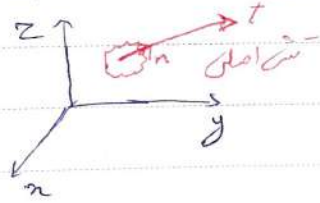
تنش های اصلی: تنش هایی که عمود بر صفحه اصلی (همواری بردار نرمال) وارد می شوند.

صفحات اصلی: (principle plane) چنانچه ذکر شد، از هر نقطه صفحاتی عبور می کند که مقادیر بردار تنش در آن صفحه با توجه به تنسور تنش در آن نقطه، اصلی و بیشینه به دست می آید. صفحاتی که مقدار تنش برشی در آن صفر است را صفحات اصلی می نامیم. تنش عمودی وارد بر این صفحات را نیز تنش اصلی می نامیم. همچنین جهاتی هم امتداد با نرمال صفحات اصلی را جهات اصلی می نامند.

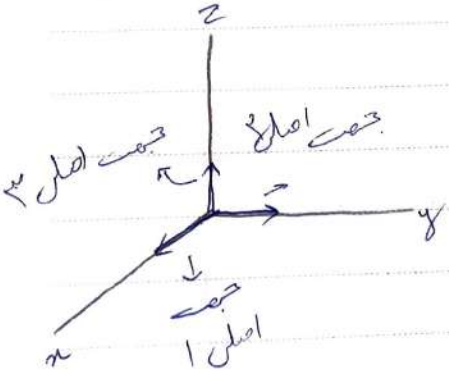
برای هر حالت تنش (تنسور تنش داده شده) در سه بعد، سه تنش اصلی و سه جهت اصلی وجود دارد. این تنش های اصلی به صورت زیر نام گذاری می شوند:

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

تعبیر دیگر تنش اصلی: تنش اصلی، تنشی است که در آن، بردار تنش، هم امتداد با بردار نرمال صفحه است.



نکته: با توجه به تعاریف فوق، جهات اصلی هم امتداد با جهت تنش های اصلی اند.



دستگاه مختصات اصلی:

چنانچه محورهای مختصات را در امتداد جهات اصلی در نظر بگیریم، این دستگاه مختصات را دستگاه مختصات اصلی گوییم.

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

نکته: تنسور تنش در سیستم مختصات اصلی یک سیستم قطری است.

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix}$$

۹۸/۷/۲۹

مقادیر تنش‌های اصلی با توجه به تنسور تنش و از حل معادلی دترمینانی زیر به دست می‌آید:

σ: تنش اصلی

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma & \tau_{xy} & \tau_{zx} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma \end{vmatrix} = 0$$

حل معادلی فوق منجر به معادلی درجه سوم زیر می‌شود که ریشه‌های آن تنش‌های اصلی هستند:

$$\sigma^3 - I_1\sigma^2 - I_2\sigma - I_3 = 0$$

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

$$I_2 = -(\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_x\sigma_z) + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2$$

$$I_3 = \sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{xz}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2$$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

ناوردایی تنسور تنش:
مقادیر I_1 و I_2 و I_3 در سیستم‌های مختصات مختلف یکسان بوده و لذا مقادیر آن‌ها مستقل از دستگاه‌های مختصاتی است.

یادآوری: با تغییر دستگاه‌های مختصاتی، مؤلفه‌های بردارها و تنسورها تغییر می‌کنند اما این سه متغیر ثابتند.

مثال: $\sigma_{x'} + \sigma_{y'} + \sigma_{z'} = I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$

مثال) مقادیر تنش‌های اصلی را برای تنسور تنش زیر محاسبه کنید!

$$\begin{bmatrix} ۱ & ۲ & ۳ \\ ۲ & ۲ & ۴ \\ ۳ & ۴ & ۳ \end{bmatrix} MPa \qquad I_1 = ۶, \quad I_2 = ۱۸, \quad I_3 = ۸$$

$$\sigma^3 - ۶\sigma^2 - ۱۸\sigma - ۸ = ۰ \longrightarrow \begin{cases} \sigma_1 = ۸,۲۸۸ \ MPa \\ \sigma_2 = -۰,۵۵ \ MPa \\ \sigma_3 = -۱,۷۳ \ MPa \end{cases}$$

تعیین جهات اصلی: جهات اصلی با حل همزمان مجموعه معادلات زیر به دست می‌آیند

$$\begin{cases} (\sigma_x - \sigma) l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} n = ۰ \\ \tau_{xy} l + (\sigma_y - \sigma) m + \tau_{zy} n = ۰ \\ \tau_{xz} l + \tau_{yz} m + (\sigma_z - \sigma) n = ۰ \end{cases}$$

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1$$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

در معادلات فوق ۵ تنش اصلی و n و m و l کسینوس های هادی (کسینوس جهات اصلی و محورهای مختصات هستند)

* نکته: به ازای هر تنش اصلی، یک مجموعه کسینوس های هادی به دست می آید که زاویه بین جهت اصلی با محورهای مختصات را نشان می دهد.

مثال) جهات اصلی مسئله ی قبل را به دست آورید.

$$-۷,۲۹\,l + ۳m + ۳n = ۰$$
$$۳l - ۶,۲۹\,m + ۴n = ۰$$
$$۳l + ۴m - ۵,۲۹\,n = ۰$$

$$\Rightarrow \quad l = ۰,۴۴۱ \quad m = ۰,۵۷۷ \quad n = ۰,۶۸۷$$

$$l = \cos(\hat{n}_1, x) \quad , \quad m = \cos(\hat{n}_1, y) \quad , \quad n = \cos(\hat{n}_1, z)$$

$$۱,۵۵\,l + ۲m + ۳n = ۰$$
$$۲l + ۲,۵۵\,m + ۴n = ۰$$
$$۳l + ۴m + ۳,۵۵\,n = ۰$$

$$\Rightarrow \quad l = ۰,۱۱۶ \quad m = -۰,۵۷۷ \quad n = -۰,۷۹$$

$$l = \cos(n_2, x) \quad , \quad m = \cos(n_2, y) \quad n = \cos(n_2, z)$$

$$۲,۷۲۲\,l + ۳m + ۳n = ۰$$
$$۳l + ۳,۷۲۲\,m + ۴n = ۰$$
$$۳l + ۴m + ۴,۷۲۲\,n = ۰$$

$$\Rightarrow \quad l = -۰,۳۷۴ \quad m = -۰,۵۷۱ \quad n = ۰,۷۱۸$$

$$l = \cos(n_3, x) \quad , \quad m = \cos(n_3, y) \quad , \quad n = \cos(n_3, z)$$

n_1 جهت اصلی در امتداد تنش σ_1

n_2 ~ ~ ~ σ_2

n_3 ~ ~ ~ σ_3

P4PCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

نکته: تنش های اصلی σ_1 و σ_2 و σ_3 بر هم عمود بوده و همچنین جهات اصلی سه گانه نیز بر هم عمودند.

تنش های برشی اصلی:

برای هر حالت تنش داده شده، مقادیر ماکزیمم تنش های برشی را، تنش های برشی اصلی نامیده، و صفحاتی که این تنش ها بر آن ها وارد می شود را صفحات برشی اصلی می نامند

جهات این صفحات (جهت نرمال صفحه) جهات تنش های برشی اصلی نامیده می شوده

مقادیر تنش های برشی اصلی و جهات آن ها را از روابط زیر می توان به دست آورد:

	L	m	n
$\tau_1 = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}$	0	$\pm\sqrt{\frac{1}{2}}$	$\pm\sqrt{\frac{1}{2}}$
$\tau_2 = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$	$\pm\sqrt{\frac{1}{2}}$	0	$\pm\sqrt{\frac{1}{2}}$
$\tau_3 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$	$\pm\sqrt{\frac{1}{2}}$	$\pm\sqrt{\frac{1}{2}}$	0

در روابط فوق، به ترتیب σ_1 و σ_2 و σ_3 تنش های اصلی و l و m و n کسینوس های هادی جهات تنش های برشی اصلی است.

با توجه به رابطه $\sigma_3 < \sigma_2 < \sigma_1$، ماکزیمم تنش های برشی اصلی همان τ_2 است

$$\tau_{max} = \tau_2 = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

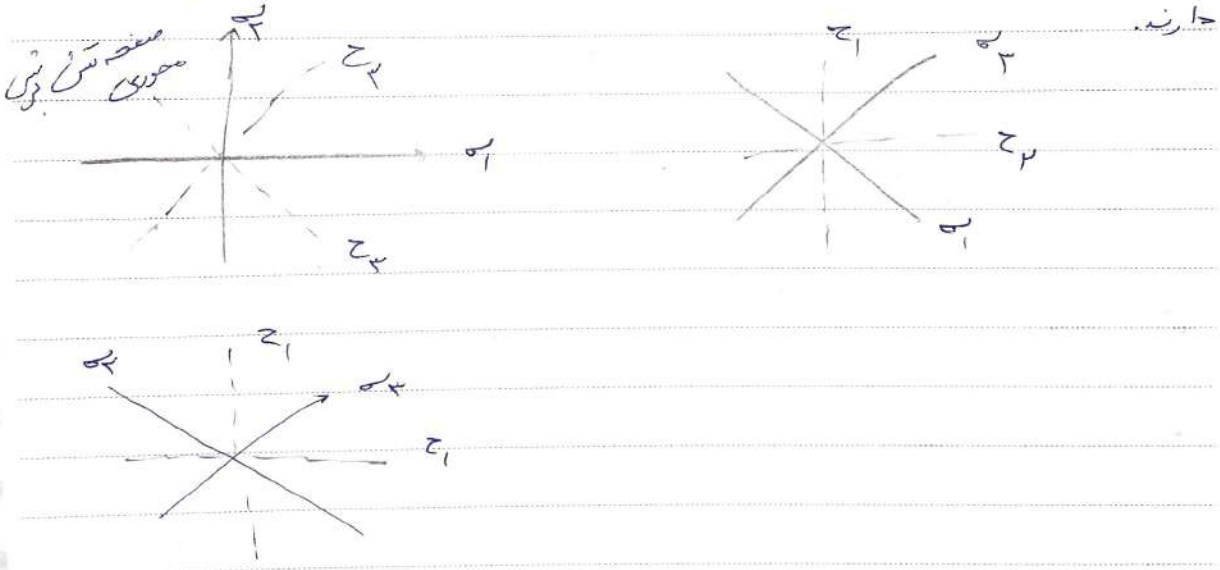
مثال) مقادیر تنش های برشی اصلی را برای مثال قبل به دست آورید.

$$\tau_1 = \frac{|100,55 + 1,1731|}{2} = 50,859\ MPa \qquad \tau_2 = \frac{|18,2888 + 1,1731|}{2} = 9,7309\ MPa$$

$$\tau_3 = \frac{|18,2888 + 0,55|}{2} = 9,4194\ MPa$$

۹۸/۸/۴

نکته: صفحات تنش های برشی اصلی، نیمساز (صفحات قطری) صفحات اصلی می باشند. یعنی نسبت به صفحات و جهات اصلی، تحت زاویه ی 45° قرار دارند.



نکته: با توجه به این که تنش های برشی اصلی (حداکثر تنش های برشی) بر روی صفحاتی با زاویه 45° نسبت به جهات اصلی می سازند، در آزمون کشش نیز طویی (تغییر شکل پلاستیک) بر روی صفحات τ_{max} در امتداد 45° نسبت به جهت کشش (جهت اصلی ۱ یا تنش اصلی σ_1) ایجاد می شود.

دستگاه مختصاتی درتست کشش را می توان منطبق بر جهات اصلی در نظر گرفت. در این حالت تنش کشش، σ_1 است.

PAPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

نکته مهم: مقدار تنش‌های نرمال در صفحاتی که تنش برشی اصلی به آن اعمال می‌شود صفر نبوده و از روابط زیر به دست می‌آید:

$$\sigma_{c_1} = \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2}$$

$$\sigma_{c_2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad , \quad \sigma_{c_3} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$$

حالت تنش دو بعدی (صفحه‌ای): زمانی که تنش‌ها در جهت یکی از محورهای مختصات مثلاً z صفر است

$$\sigma_{ij} = \begin{vmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} \end{vmatrix}$$

در این حالت روابط محاسبه تنش‌های اصلی ساده شده و به صورت زیر است

$$\begin{cases} \sigma_1, \sigma_2 = \dfrac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\dfrac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \\ \sigma_3 = 0 \end{cases}$$

$$\tan 2\theta_n = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_{xx} - \sigma_{yy}} \quad , \quad \tan 2\theta_s = -\frac{\sigma_{xx} - \sigma_{yy}}{2\tau_{xy}}$$

تنش‌های برشی اصلی، با توجه به روابط قبلی و با فرض $\sigma_3 = 0$ به دست می‌آیند.

$$\theta_s + \theta_n = 45$$

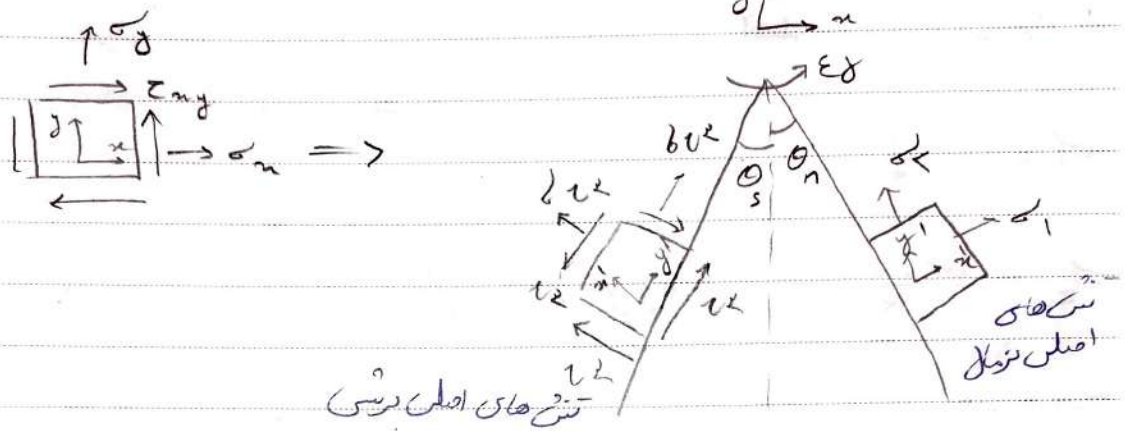
$$\sigma_{c_3} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$$

مقدار تنش نرمال در صفحه تنش برشی اصلی

https://t.me/miirza_beneviis

Subject

Date



مثال) مقادیر تنش های اصلی، تنش های برشی اصلی و زوایای مربوط به حالت تنش زیر را به دست آورید.

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} 95 & 20 \\ 20 & 25 \end{bmatrix}$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{95+25}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{95-25}{2}\right)^2 + 20^2} \begin{cases} \sigma_1 = 100.31 \text{ MPa} \\ \sigma_2 = 19.69 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma_3 = 0$$

$$\tan 2\theta_n = \frac{2 \times 20}{95 - 25} \Rightarrow \theta_n = 14.9^\circ$$

$$\tan 2\theta_s = -2.01 \rightarrow$$

$$\tau_1 = \frac{|\sigma_2 - \sigma_3|}{2} = 9.84 \text{ MPa}, \quad \tau_2 = \frac{|\sigma_1 - \sigma_2|}{2} = 50.16 \text{ MPa}$$

$$\tau_3 = \frac{|\sigma_1 - \sigma_3|}{2} = 40.31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\tau_2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = 60 \text{ MPa}$$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

حالت تنش صفحه‌ای تعمیم یافته: اگر در حالت تنش داده شده $\sigma_z \neq 0$ و $\tau_{zx} = \tau_{zy} = 0$، تمامی معادلات مربوط به حالت تنش صفحه‌ای را می‌توان به کار برد. فقط مقدار $\sigma_3 = \sigma_z$

۹۸,۸,۶

حالت تنش کروی (هیدرواستاتیک):
زمانی که در یک مسئله، تمامی تنش‌های اصلی با هم برابر باشند.

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$$

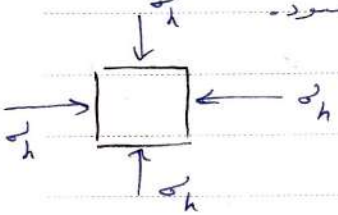
حالت تنش استوانه‌ای:

$$\sigma_1 = \sigma_2 \neq \sigma_3$$

حالت تنش سه محوری:

$$\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$$ Triaxial

تنش هیدرواستاتیک: حالت تنشی است که در آن تنش‌های نرمال اعمالی به هر کدام از صفحات نمونه با هم برابر بوده و تنش برشی به نمونه اعمال نمی‌شود.



تنش‌ها نرمال هستند

تنش هیدرواستاتیک باعث تغییر حجم نمونه و ایجاد کرنش حجمی می‌شود.

$$\Delta = \frac{\Delta V}{V_0} \rightarrow$$ کرنش حجمی

رابطه‌ی تنش هیدرواستاتیک و کرنش حجمی الاستیک با رابطه زیر مشخص می‌شود:

$$\sigma_h = K \Delta V$$

مدول حجمی

PAPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

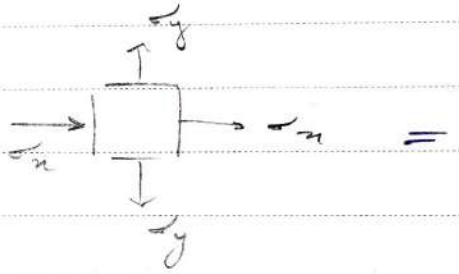
تنسور تنش در حالت هیدرواستاتیک، برابر زیر است:

حالت تنش هیدرواستاتیک

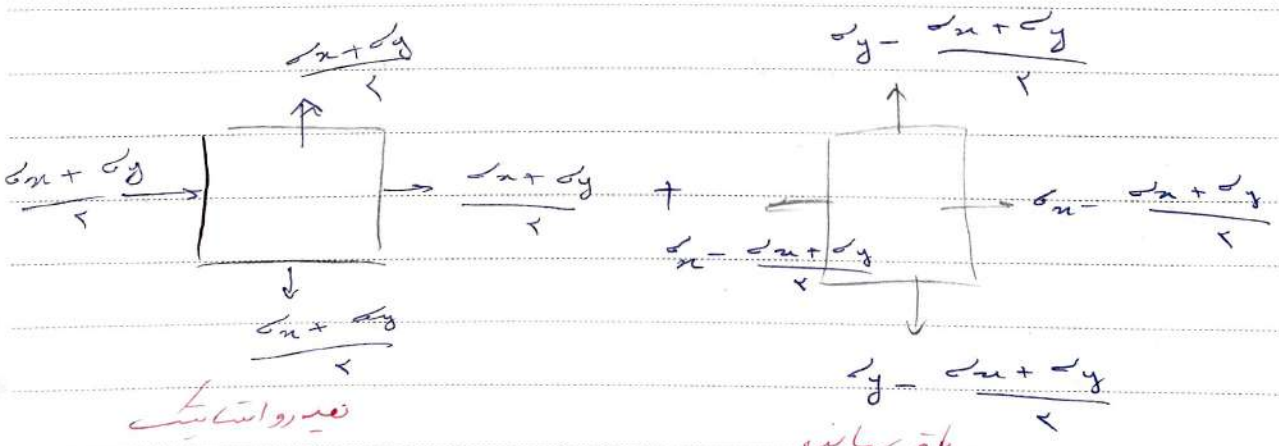
$$\sigma_h = \begin{bmatrix} \sigma_h & \cdot & \cdot \\ \cdot & \sigma_h & \cdot \\ \cdot & \cdot & \sigma_h \end{bmatrix}$$

نکته: تنش‌های هیدرواستاتیک در فلزات، معمولاً ایجاد تغییر شکل پلاستیک نمی‌کنند.

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \sigma_y & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yz} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$



$$\sigma_h = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} \quad *$$



Deviator

تنسور تنش را می‌توان به دو بخش هیدرواستاتیک و بخش باقی‌مانده (انحرافی) تفکیک نمود

تنش هیدرواستاتیک برابر متوسط تنش‌های نرمال است ← رابطه * ن

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

حالت 317

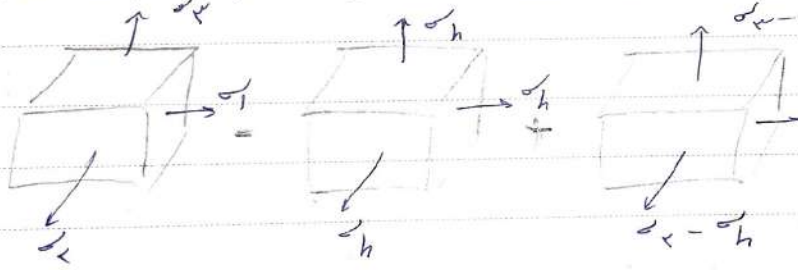
این تقلیل به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_h & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_h & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_h \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_{xx}-\sigma_h & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy}-\sigma_h & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz}-\sigma_h \end{bmatrix}$$

$\sigma_h = \frac{\sigma_x+\sigma_y+\sigma_z}{3}$

تنش انحراف (دویاتور) + تنش هیدرواستاتیک = تنسور تنش

* نکته ← برای حالت تنش‌های اصلی، تنش هیدرواستاتیک (σ_h) برابر است با



دستگاه مختصات اصلی

حالت تنش‌های اصلی:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_h & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_h & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_h \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_1-\sigma_h & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2-\sigma_h & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3-\sigma_h \end{bmatrix}$$

هیدرواستاتیک — انحراف

نکته: با توجه به اینکه تنش‌های هیدرواستاتیک در تسلیم فلزات نقشی ندارند، برای بررسی تغییر شکل پلاستیک، Deviator را در نظر می‌گیرند. برای Deviator می‌توان تنش‌های اصلی و مشتقات تنش را محاسبه کرد.

مقادیر تنش‌های اصلی انحراف از حل معادله زیر به دست می‌آید

Deviator

$$\sigma'^3 - J_1(\sigma')^2 - J_2\sigma' - J_3 = 0$$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

مقادیر J_1، J_2 و J_3، ناوردهای دوبار تنش را با استفاده از روابط مختلفی می‌توان حساب کرد:

برحسب مؤلفه‌های تنسور تنش معمولی:

$$J_1 = (\sigma_x - \sigma_h) + (\sigma_y - \sigma_h) + (\sigma_z - \sigma_h) = 0$$

$$J_2 = \frac{1}{6}\left[(\sigma_x-\sigma_y)^2 + (\sigma_y-\sigma_z)^2 + (\sigma_z-\sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)\right]$$

برحسب مؤلفه‌های تنسور تنش انحرافی (σ'_{ij}):

$$J_1 = 0$$

$$J_2 = \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2 - \sigma'_x\sigma'_y - \sigma'_y\sigma'_z - \sigma'_z\sigma'_x$$

$$\sigma'_i = \sigma_i - \sigma_h$$

$$\sigma_z = \det \sigma'_{ij}$$

مقدار J_2 برحسب تنش‌های اصلی معمولی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$J_2 = \frac{1}{6}\left[(\sigma_1-\sigma_2)^2 + (\sigma_1-\sigma_3)^2 + (\sigma_2-\sigma_3)^2\right]$$

σ_i = تنش اصلی

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

yield criterion

معیارهای تسلیم: شروع تغییر شکل پلاستیک (نقطه‌ی تسلیم) را می‌توان در حالت‌های تنش ساده با آزمایش مشخص کرد. از جمله‌ی این آزمایش‌ها کشش تک محوری، فشار تک محوری، آزمایش پیچش و آزمایش فشار در شرایط کرنش مسطح می‌باشد.

معمولاً مقدار تنش تسلیم در آزمایش کشش/فشار با Y، مقدار تنش تسلیم در آزمایش پیچش با k و مقدار تنش تسلیم در آزمایش فشار، تحت شرایط کرنش مسطح را با C نشان می‌دهند.

۹۸,۸,۱۱

حالت تنش در آزمایش‌های موفق در وقوع تسلیم به صورت زیر است:

آزمایش کشش و فشار: $\sigma_1 = \sigma_0$ ، $\sigma_2 = 0$ ، $\sigma_3 = 0$

آزمایش پیچش: $\sigma_1 = -\sigma_2 = k$ ، $\sigma_3 = 0$

آزمایش فشار در شرایط تنش مسطح: $\sigma_1 = P$ ، $\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) = \frac{1}{2}\sigma_1$ ، $\sigma_3 = 0$ ؛ $\varepsilon_2 = 0$ ، $\varepsilon_3 = -\varepsilon_1$

① جهت اعمال فشار ② در جهت عرض ورق ③ جهت طول

یادآوری: در آزمایش فشار، کرنش سطح معمولاً با استفاده از سمباده‌ای با عرض کم تحت فشار قرار می‌گیرد و شرایط کرنش سطح برقرار است به گونه‌ای که ضخامت ورق کم شده و طول آن افزایش می‌یابد ولی عرض ورق ثابت است.

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

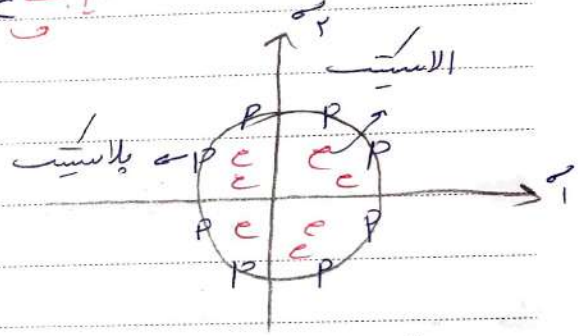
* مقدار تنش تسلیم تحت شرایط بارگذاری پیچیده (حالت‌های تنش پیچیده) و ارتباط آن با تنش تسلیم در آزمایش‌های فوق را با استفاده از معیارهای تسلیم مشخص می‌کنند.

معیارهای تسلیم توابعی از تنش اعمال می‌باشند که شروع تغییر شکل پلاستیک (نقطه‌ی تسلیم) را در حالت‌های تنش مختلف (شرایط بارگذاری پیچیده) پیش‌بینی می‌کنند.

شکل عمومی توابع فوق به صورت زیر است:

$$f(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}) = C \quad \text{ثابت}$$

$$= f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = C$$



← معمولاً توابع تسلیم برای فلزات ایزوتروپ و با توجه به فرضیات زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱- اثر کوشینگر وجود نداشته و تنش تسلیم در کشش و فشار یکسان است.

۲- در طی تغییر شکل پلاستیک، حجم ثابت بوده و در نتیجه $\nu = 0.5$

ثابت پواسون

۳- تنش‌های هیدرواستاتیک در تسلیم نقشی ندارند.

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

معیار میزز — von. mises

معیار میزز براساس دومین نامتغیر تنش انحرافی ارائه شده است. بر اساس معیار تسلیم زمانی اتفاق می‌افتد که J_2 به مقدار بحرانی C برسد.

$J_2 = C$ می‌شود

معیار میزز

$$\begin{cases} J_2 = \frac{1}{6}\left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2\right] = C \\ J_2 = \frac{1}{6}\left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + 6\tau_{xy}^2 + 6\tau_{xz}^2 + 6\tau_{yz}^2\right] \end{cases}$$

PAPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

محاسبه مقدار c :

با جاگذاری شرایط تنش در آزمون های کشش و پیچش در معیار تسلیم می زن می توان مقدار c را به دست آورده

کشش تک محوری $\rightarrow \sigma_1 = \sigma_0 , \sigma_2 = \sigma_3 = 0 \Rightarrow \frac{2\sigma_0^2}{6} = \frac{\sigma_0^2}{3} = c = \frac{\sigma_0^2}{3}$ ①

آزمایش پیچش $\rightarrow \sigma_1 = \sigma_2 = k , \sigma_3 = 0 \Rightarrow c = \frac{6k^2}{6} = k^2$ ②

نکته : رابطه‌ی بین تنش تسلیم در کشش و تنش تسلیم برشی (k) را می توان با تساوی روابط ۱ و ۲ به دست آورد

$$\frac{\sigma_0^2}{3} = k \rightarrow k = \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}} = 0.577\,\sigma_0$$

با جاگذاری c از رابطه‌ی (۱) در معیار فن زن شکل متداول معیار فن زن به دست می آید.

$$\begin{cases} \sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2\right]^{\frac{1}{2}} \\ \text{یا} \\ \sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\sigma_x-\sigma_y)^2+(\sigma_y-\sigma_z)^2+(\sigma_x-\sigma_z)^2+6\tau_{xy}^2+6\tau_{yz}^2+6\tau_{xz}^2\right]^{\frac{1}{2}} \end{cases}$$

معیار ترسکا (Tresca)

تسلیم زمانی اتفاق می افتد که بزرگ ترین تنش برشی اصلی به مقدار بحرانی c برسد.

برای جاگذاری شرایط آزمایش $\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = c$

کشش و پیچش خواهیم داشت:

$$\frac{\sigma_0}{2} = c \rightarrow \text{آزمایش کشش} \quad (1)$$

$$\frac{2k}{2} \Rightarrow c = k \rightarrow \text{پیچش} \quad (2)$$

رابطه‌ی k و σ_0 با توجه به معیار ترسکا از تساوی روابط ۱ و ۲ به دست می آید

https://t.me/miirza_beneviis

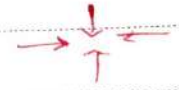
Subject
Date

با جالگذاری مقدار از روابط ۱ و ۲ در معیار ترسکا، شکل متداول این معیار به دست می آید:

$$k = \frac{\sigma_0}{2}$$

معیار ترسکا: $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_0$

$\sigma_1 - \sigma_3 = 2k$



← با توجه به اینکه معیار ترسکا تنش اصلی میانی را در نظر نمی گیرد، دقت کم تری دارد و در محاسبات تقریبی مهندسی استفاده می شود.
از طرف دیگر در اکثر مسائل مهندسی از معیار مای زز استفاده می شود.

۹۸/۸/۱۳

سطح تسلیم (مکان تسلیم): Yield surface - locus

نمایش هندسی تابع تسلیم در فضای تنش، (تنش های سه بعدی) یا مکان تسلیم (تنش های دو بعدی) نامیده می شوند.

تابع تسلیم مای زز در حالت تنش مسطح به صورت زیر است.

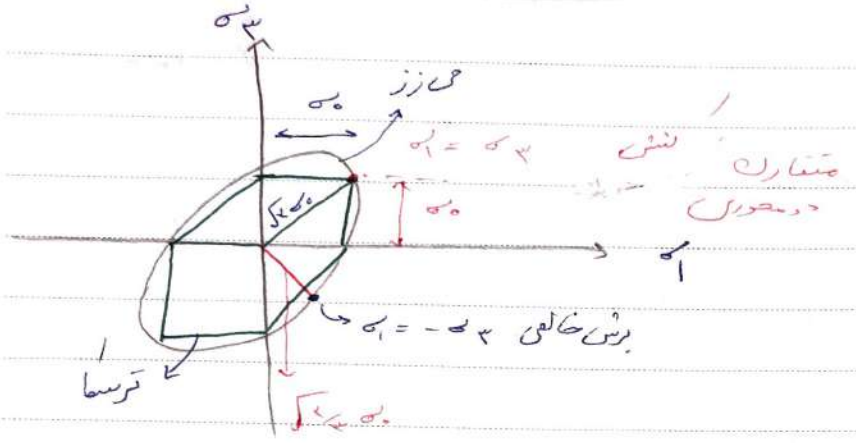
$$\sigma_0^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2 \quad \Rightarrow \quad \sigma_3 = 0$$

معادله فوق، نشان دهنده یک بیضی است که قطر اصلی آن $\sigma_0\sqrt{2}$ و قطر فرعی آن $\sigma_0\sqrt{\frac{2}{3}}$ است.

به این مکان تسلیم، بیضی مای زز نیز گفته می شود.
مکان تسلیم برای معیار ترسکا، یک شش وجهی است که در داخل بیضی مای زز

PAPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date



قرار می گیرد.

تنش متقارن دومحوری

برش خالص

۱- هر دو معیار در حالت تنش تک محوری و تنش متقارن دومحوری ($\sigma_1 = \sigma_0$) پیش بینی یکسانی دارند.

۲- بیشترین تفاوت دو معیار در حالت برش خالص است که به ۱۵٫۵ درصد می رسد.

در حالت سه بعدی، معیارهای فوق به صورت استوانه‌های ۳ بعدی با مقطع شش ضلعی (ترسکا) و استوانه با مقطع دایره (فن زز) می باشند.

سطح جانبی این استوانه‌ها، سطح تسلیم را نشان می دهد.

مثال) یک قطعه‌ی آلومینیوم تحت حالت تنش زیر قرار دارد. اگر تنش تسلیم آلومینیوم ۵۰۰ MPa باشد آیا قطعه تسلیم می شود؟ اگر خیر، ضریب اطمینان چقدر است؟

با توجه به معیار فن زز

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} 200 & 30 & 0 \\ 30 & 100 & 0 \\ 0 & 0 & -50 \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = [(200 - 100$$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

مبانی تنش و کرنش مؤثر (معادل):

Equivalant or Effective stress (strain)

به ازای هر یک از معیارهای تسلیم می‌توان یک مقدار تنش مؤثر (معادل) و کرنش مؤثر (معادل) تعریف کرد.

تنش مؤثر (معادل)، ارتباط مجموعه تنش‌های اعمال شده در یک حالت کلی را با مقدار تنش در آزمایش کشش (تک محوری) یا آزمایش‌های دیگر مثل پیچش نشان می‌دهد.

تنش مؤثر، شکل دیگری از بیان معیار تسلیم است، به گونه‌ای که اثر مقدار تنش مؤثر به مقدار بحرانی برسد، تسلیم اتفاق خواهد افتاد.

نکته: به عبارت ساده‌تر می‌توان گفت تنش مؤثر نشان می‌دهد که اثر مجموعه‌ای از تنش‌های پیچیده، معادل چه مقدار تنش تک محوری در تست کشش یا چه مقدار تنش برشی در آزمایش پیچش است.

مقدار تنش مؤثر با توجه به معیار وون زز به صورت زیر است: تنش مؤثر

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2\right]^{1/2}$$

برحسب تنش‌های اصلی

برحسب تنش‌های معمولی

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\sigma_x-\sigma_y)^2+(\sigma_y-\sigma_z)^2+(\sigma_z-\sigma_x)^2+6\tau_{xy}^2+6\tau_{yz}^2+6\tau_{xz}^2\right]^{1/2}$$

PAPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

نکته: خانچه مقدار τ به k برسد، تسلیم رخ می‌دهد. همچنین اگر مقدار τ به $\sqrt{3}k$ (تنش تسلیم برشی) برسد تسلیم رخ می‌دهد.

تنش مؤثر با توجه به معیار ترسکا، به صورت زیر است: $\sigma_1 - \sigma_3 = \tau$

نکته: زمانی که τ به k برسد تسلیم رخ می‌دهد، همچنین زمانی که τ به $2k$ برسد تسلیم رخ می‌دهد.

حل مثال قبل) $\tau = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(200-100)^2 + (100-(-50))^2 + (-50-200)^2 + 6(20)^2\right]^{\frac{1}{2}}$

$\tau = \frac{36,189}{\sqrt{2}} = 255.8 \text{ MPa} < 500$

با توجه به اینکه تنش معادل کمتر از تنش تسلیم (500 MPa) است، جسم تسلیم نمی‌شود.

$S.F = \frac{500}{225.8} = 2.2$

معیار ترسکا: تسلیم نمی‌شود $\tau = 200 - (-50) = 250 \text{ MPa} < 500$

$S.F = \frac{500}{250} = 2$

نکته: معیار فن مز محافظه‌کارانه‌تر از معیار ترسکا است.

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

نکته ی مهم: در نظر داشته باشیم برای حل مسائل در حالت کلی، به صورت زیر عمل می کنیم

تحلیل مسئله

حالت پیچیده تنش و کرنش ← محاسبه تنش و کرنش معادل ← مقایسه مقادیر معادل با نتایج تست کشش، پیچش و ...

تمرین: نشان دهید رابطه بین تنش تسلیم کششی و تنش تسلیم در فشار کرنش مسطح به صورت زیر است

$$S = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_0$$

تنش تسلیم / کرنش مسطح

نکته: کرنش مؤثر (معادل) → با استفاده از معیارهای تسلیم، مقادیر کرنش معادل را به صورت زیر به دست آورد

بر حسب کرنش های اصلی

$$\bar{\varepsilon} = \left[\frac{2}{3} \left(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

بر اساس می زنند

$$\bar{\varepsilon} = \left[\frac{2}{3} \left[\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_z^2 + 2\left(\varepsilon_{xy}^2 + \varepsilon_{yz}^2 + \varepsilon_{zx}^2 \right) \right] \right]^{\frac{1}{2}}$$

۹۸/۸/۱۸

تمرین: رابطه ی معیار فن زز و انرژی کرنشی را به دست آورید.

https://t.me/miirza_beneviis

PAPCO

Subject
Date

شرایط تنش صفحه‌ای: زمانی که تنش در یک جهت صفر شود حالت تنش صفحه‌ای ایجاد می‌شود. در این حالت داریم:

$$\begin{cases} \varepsilon_z = 0 \ , \ \varepsilon_{zx} = 0 \ , \ \varepsilon_{xz} = 0 \\ \varepsilon_y = 0 \end{cases}$$

در شرایط تنش صفحه‌ای، تنش در جهت z صفر نبوده و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$\sigma_z = \nu(\sigma_1 + \sigma_2)$ ← تنش اصلی

در طی تغییر شکل پلاستیک داریم: $\nu = 0.5$, $\sigma_z = 0.5(\sigma_1 + \sigma_2)$

نکته: حالت تنش صفحه‌ای زمانی ایجاد می‌شود که یک بعد جسم، بسیار بزرگ‌تر از ابعاد دیگر باشد مثل ورق‌ها و ورق‌های با عرض کم. همچنین اگر مانع باقیه‌ی از تغییر شکل در یک جهت جلوگیری کند، حالت تنش صفحه‌ای ایجاد می‌شود.

رابطه‌ی معیار تسلیم در شرایط تنش صفحه‌ای:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \left(\sigma_2 - \frac{\sigma_1+\sigma_2}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_1+\sigma_2}{2} - \sigma_1\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

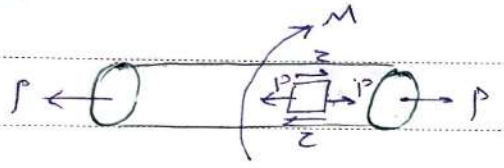
$$= \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \frac{(\sigma_2 - \sigma_1)^2}{2}\right]^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\frac{3(\sigma_1 - \sigma_2)^2}{2}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sqrt{3}}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \ , \ \bar{\sigma} = \frac{\sqrt{3}}{2}(\sigma_m - \sigma_y)$$

https://t.me/miirza_beneviis

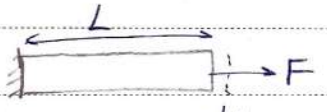
Subject
Date

تمرین) مطابق شکل زیر برای یک لوله‌ی جدارنازک که تحت تنش نرمال P و ممان M قرار گرفته به دست آورید.



(حالت ملی)

محاسبه کار تغییر شکل پلاستیک: میله‌ای به طول L و سطح مقطع A را در نظر می‌گیریم. چنانچه طول میله در اثر اعمال نیروی F به اندازه‌ی dL افزایش یابد، کار انجام شده بر واحد حجم از رابطه زیر حساب می‌شود.



$$dw = \frac{F}{A}\cdot\frac{dL}{L} = \sigma\, d\varepsilon \quad *$$

کار انجام شده در اثر مجموعه‌ای از تنش‌های نرمال و برشی را می‌توان با توجه به اصل جمع آثار به دست آورد.

$$dw = \sigma_x d\varepsilon_x + \sigma_y d\varepsilon_y + \sigma_z d\varepsilon_z + \sigma_{xy} d\varepsilon_{xy} + \sigma_{yz} d\varepsilon_{yz} + \sigma_{xz} d\varepsilon_{xz}$$

کار انجام شده برحسب تنش‌ها و کرنش‌های اصلی: از رابطه زیر به دست می‌آید

$$dw = \sigma_1 d\varepsilon_1 + \sigma_2 d\varepsilon_2 + \sigma_3 d\varepsilon_3$$

کار انجام شده بر اثر تنش و کرنش برشی:

$$dw = \bar{\tau}\, d\bar{\varepsilon}$$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

نکته: مقادیر کار در روابط فوق، سطح زیر منحنی تنش - کرنش است.

کار تغییر شکل الاستیک:

$\star \rightarrow dw = \sigma . d\varepsilon$

چنانچه تغییر شکل، الاستیک خطی باشد، رابطه‌ی تنش - کرنش بر اساس قانون هوک $\sigma = E\varepsilon$

$dw = (E.\varepsilon)\, d\varepsilon$

با انتگرال گیری:

$$w = \int_0^{\varepsilon} E\varepsilon\, d\varepsilon = \frac{1}{2} E\varepsilon^2 = \frac{1}{2}\sigma\varepsilon$$

تمرین) کار تغییر شکل پلاستیک را چنانچه رابطه‌ی $\sigma = k\varepsilon^n$ (هولمان) برقرار باشد به دست آورید.

۹۸/۸/۲۰

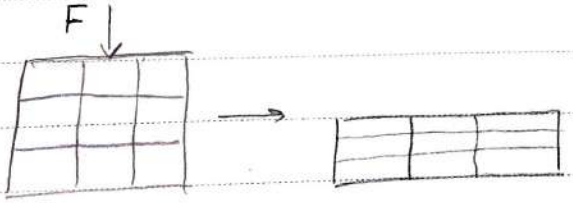
روش کار ایده آل (کار تغییر فرم مصالح):

Ideal work

در حالت کلی، کار لازم برای تغییر شکل را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت.

$W = W_i + W_f + W_r$

W_i: کار تغییر فرم مصالح
W_f: کار اصطکاک
W_r: کار تغییر شکل اضافی



PAPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

نکته: مقادیر کار در روابط فوق، سطح زیر منحنی تنش - کرنش است.

کار تغییر شکل الاستیک:

$$\star \rightarrow dw = \sigma . d\varepsilon$$

چنانچه تغییر شکل، الاستیک خطی باشد، رابطه‌ی تنش - کرنش بر اساس قانون هوک $\sigma = E\varepsilon$ ←

$$dw = (E.\varepsilon)\, d\varepsilon$$

با انتگرال گیری:

$$w = \int_0^{\varepsilon} E\varepsilon\, d\varepsilon = \frac{1}{2} E\varepsilon^2 = \frac{1}{2}\sigma\varepsilon$$

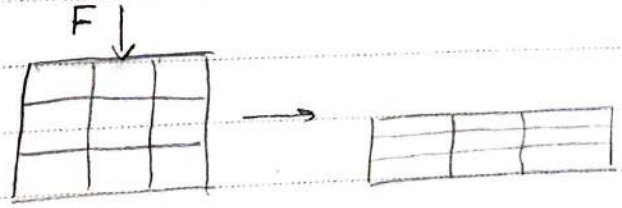
تمرین) کار تغییر شکل پلاستیک را چنانچه رابطه‌ی $\sigma = k\varepsilon^n$ (هولمان) برقرار باشد به دست آورید.

۹۸/۸/۲۰

روش کار ایده آل (کار تغییر فرم ماهیتی): Ideal work

در حالت کلی، کار لازم برای تغییر شکل را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت.

$$W = \underbrace{W_i}_{\text{کار تغییر فرم مفید}} + \underbrace{W_f}_{\text{کار اصطکاک}} + \underbrace{W_r}_{\text{کار تغییر شکل اضافی}}$$



https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

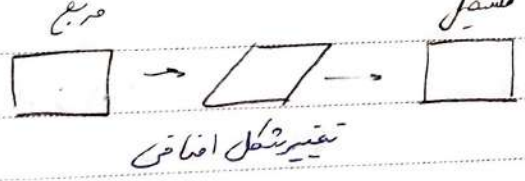
تغییر شکل همگن، تغییر شکل ایده آلی است که در آن نیروی مورد نظر فقط صرف تغییر شکل مورد نظر می شود. در این تغییر شکل، المان های مربعی به طور یکنواخت تغییر شکل داده و به المان مستطیلی تبدیل می شوند.

نمونه ای از تغییر شکل همگن، تست کشش است که تحت شرایط بدون اصطکاک و بدون حضور نیروهای خارجی (قالب) صورت می گیرد.

محاسبه مقدار تغییر شکل همگن: می توان با توجه به ابعاد اولیه و نهایی نمونه و بدون توجه به مسیر تغییر شکل، محاسبه کرد.

$$\varepsilon_i = \ln \frac{L}{L_0} = \ln \frac{A_0}{A}$$

تغییر شکل اضافی (Redundant):



در اثر حضور قالب و اصطکاک ایجاد می شود. در اثر تغییر شکل اضافی، المان های مربعی ابتدا تحت تاثیر تنش های برشی داخلی، دچار اعوجاج شده و سپس به المان های مستطیلی تبدیل می شوند. مقدار تغییر شکل اضافی، تابعی از مسیر تغییر شکل (نوع فرآیند و شکل قالب) است.

در نظر داشته باشیم که کار تغییر شکل، تابع مسیر می باشد.

کار اصطکاک: اصطکاک در اثر تماس قالب و فلز و حرکت نسبی بین آن ها ایجاد شده و بخشی از نیروی اعمالی را به خود اختصاص می دهد.

محاسبه کار تغییر شکل همگن: در این روش ابتدا کار لازم برای تغییر شکل المان بدون اصطکاک را محاسبه کرده و سپس کار لازم را با انتگرال گیری در

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

سرتاسر ناحیه تغییر شکل حساب کنیم. به عنوان مثال در تست کشش، کار لازم برای افزایش طول المان به اندازه dL برابر است با:

$$dw_0 = (\sigma A)\, dL$$

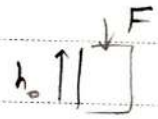
$$\frac{dw_i}{V} = \sigma \frac{dL}{L} \rightarrow \frac{dw_i}{V} = \sigma\, d\varepsilon$$ کار بر واحد حجم

$$\frac{w_i}{V} = \int_{\varepsilon_0}^{\varepsilon_1} \sigma\, d\varepsilon$$

رابطه فوق را می‌توان برحسب تنش و کرنش معادل نوشت و برای سایر فرآیندهای تغییر شکل نیز تعمیم داد.

$$\frac{w_i}{V} = \int_{\varepsilon_0}^{\varepsilon_1} \bar{\sigma}\, d\bar{\varepsilon}$$

محاسبه نیروی لازم برای تغییر شکل:



با توجه به ایده آل فرض کردن تغییر شکل، نیروی لازم برای تغییر شکل، از مساوی کار تغییر شکل حاصل با کار خارجی (حاصل ضرب نیرو در جابجایی اثر نیرو) اعمال شده محاسبه می‌شود:

$$W_i = W_e$$ کار نیروی خارجی

کار تغییر شکل حاصل

مثال) محاسبه فشار لازم برای اکستروژن

فرض می‌کنیم در فرآیند اکستروژن مستقیم، بیلت (شمش یا دایره) با قطر اولیه D_0 و طول L تحت فشار اعمال شده پس از عبور از قالب به محصول با قطر D_f تبدیل شود.

$$W_e = F_e \cdot L$$

چنانچه حجم مادن اولیه را $A_0 \cdot L$ در نظر بگیریم، کار خارجی برابر است با

$$\frac{W_e}{V} = \frac{F_e \cdot L}{A_0 \cdot L} = \frac{F_e}{A_0} = P_c$$ فشار اکستروژن

کار خارجی بر واحد حجم

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

کار تغییر شکل بر واحد حجم: $\frac{W_i}{V} = \int_0^{\bar{\varepsilon}} \bar{\sigma}\, d\bar{\varepsilon}$

با تساوی کار تغییر شکل و کار خارجی:

$$P_e \geq \int_0^{\bar{\varepsilon}} \bar{\sigma}\, d\bar{\varepsilon} \qquad \bar{\varepsilon} = \ln \frac{A_0}{A}$$

ل) رابطه تنش - کرنش در یک فلز به صورت $\bar{\sigma} = 25000\, \bar{\varepsilon}^{0.25}$ (psi) است. اگر میله‌ای از جنس این فلز با قطر اولیه 12,7 mm پس از تست کشش به قطر 11,8 mm تبدیل شود؛ کار انجام شده در واحد حجم چقدر است.

$$\bar{\varepsilon} = \ln \frac{A_0}{A} = \ln \frac{\pi \frac{12,7^2}{4}}{\pi \frac{11,8^2}{4}} = 2 \ln \frac{12,7}{11,8} = 0,199$$

$$\frac{W_i}{V} = \int_0^{\bar{\varepsilon}} \bar{\sigma}\, d\bar{\varepsilon} = \int_0^{0.199} 25000\, \bar{\varepsilon}^{0.25}\, d\bar{\varepsilon} = \left[\frac{25000}{1+0,25} \varepsilon^{1+0,25} \right]_0^{0.199}$$

$$= 2485 \ \frac{lb.in}{in^3}$$

نکته مهم: با توجه به روابط فوق می‌توان نشان داد که کار بر واحد حجم (چگالی انرژی) برابر با مقدار تنش اعمال شده است.

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

۹۸،۸،۲۵

تنش لازم برای کشش میله و سیم چنانچه سطح مقطع اولیه A_0، طول اولیه L_0 باشد و پس از کشش توسط قالب، طول L_1، و سطح مقطع A_1 باشد تنش لازم برای کشش را حساب کنید؟

$$A_0 L_0 = A_1 L_1$$

با توجه به شرط ثابت بودن حجم:

با توجه به این که نیرو به قسمت تغییر شکل یافته اعمال می‌شود، این کار خارجی

$$\frac{We}{V} = \frac{F_e L_1}{A_1 L_1} = \sigma_d \quad \text{کار خارجی} \quad (\text{external})$$

$$\text{کار تغییر شکل} = \frac{W_i}{V} = \int \sigma \, d\varepsilon$$

تساوی کار خارجی و تغییر شکل: $\sigma_d = \int \sigma \, d\varepsilon$

مثال: قطر میله‌ی مثال قبل توسط فرایند کشش از ۱۲٫۷ mm به ۱۱٫۵ mm برسد، تنش کشش مورد نیاز را حساب کنید؟

$$\sigma_d = \int_0^{\bar{\varepsilon}} \sigma \, d\varepsilon, \quad \bar{\varepsilon} = \ln \frac{A_0}{A} = 0.199$$

$$\sigma_d = 24238 \text{ psi}$$

اثر اصطکاک و کار اضافی:

برای منظور نمودن کار اصطکاک و کار تغییر شکل اضافی از راندمان فرایند (η) استفاده می‌شود.

$$\eta = \frac{W_i}{W_t}$$

کار کل: $W_t = W_i + W_f + W_r$

با توجه به رابطه فوق کار کلی $W_t = \frac{W_i}{\eta}$ خواهد شد

https://t.me/miirza_beneviis
PAPCO

Subject
Date

مقدار راندمان (η) در هر فرآیند به طور تجربی مشخص شده و مقدار آن بین ۰٫۵ تا ۰٫۶۵ است.

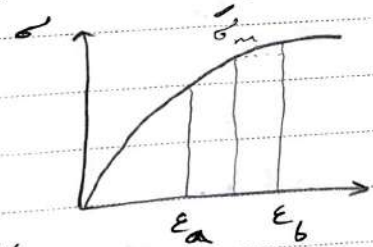
مثال) مقادیر فشار اکستروژن یا تنش لازم برای کشش سیم با توجه به زمان، از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$P_c = \sigma_d = \frac{1}{\eta} \int \bar{\sigma} \, d\bar{\varepsilon}$$

مقدار متوسط راندمان فرآیندهای مختلف به شرح زیر است:

فرآیند	آزمون کشش	فورد ورق	فورج	کشش عمیق	کشش سیم	اکستروژن
راندمان (η)	ایده‌آل تقریباً یکسان	۰٫۸ - ۰٫۹	۰٫۲ - ۰٫۹۵	۰٫۷۸ - ۰٫۸	۰٫۵۵ - ۰٫۷	۰٫۵ - ۰٫۶۵

کاربرد تنش متوسط: به منظور ساده‌تر کردن محاسبات، می‌توان در فرآیند تغییر شکل فلزاتی که کارسختی شدید نیستند، مقدار متوسط تنش تسلیم را در روابط مورد استفاده قرار داد. مقدار تنش تسلیم متوسط را به صورت زیر می‌توان حساب کرد:



$$\bar{\sigma}_m = \frac{1}{\bar{\varepsilon}_b - \bar{\varepsilon}_a} \int_{\varepsilon_a}^{\varepsilon_b} K \bar{\varepsilon}^n \, d\varepsilon$$

$$= \left(\frac{1}{\bar{\varepsilon}_b - \bar{\varepsilon}_a}\right)\left(\frac{K \bar{\varepsilon}^{n+1}}{n+1}\right)_{\bar{\varepsilon}_a}^{\bar{\varepsilon}_b}$$

* $\bar{\sigma} = K \bar{\varepsilon}^n$

محاسبه کار با فرض رابطه توان: اگر $\varepsilon_a = 0$

$$\bar{\sigma}_m = \frac{1}{\bar{\varepsilon}} \int_0^{\bar{\varepsilon}} K \bar{\varepsilon}^n \, d\bar{\varepsilon} = \frac{K \bar{\varepsilon}^n}{n+1}$$

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

نکته: کاربرد تنش تسلیم متوسط، مقدار کار تغییر شکل هلکن، به صورت زیر ساده می‌شود

$$W_i = \int_0^{\bar{\varepsilon}} \bar{\sigma}\, d\bar{\varepsilon} = \bar{\sigma}_m \int_0^{\bar{\varepsilon}} d\bar{\varepsilon} = \bar{\sigma}_m \bar{\varepsilon}$$

مثال ۲: فشار اکستروژن مثال قبل را با در نظر گرفتن راندمان ٪۷۰ به دست آورید.
همچنین مقدار تنش تسلیم متوسط را نیز حساب کنید.

$$P_e = \frac{1}{\eta} \int_0^{\bar{\varepsilon}} \bar{\sigma}\, d\bar{\varepsilon} = \frac{W_i}{\eta} = \frac{۲۶۸۱}{۰/۷} = ۳۷۹۷ \text{ psi}$$

$$\bar{\sigma}_m = \frac{k\bar{\varepsilon}^n}{n+1} = \frac{۲۵۰۰ (۰/۱۹۹)^{۰/۲۵}}{۱/۲۵} = ۱۳۲۵۸ \text{ psi}$$

محاسبه بیشترین کاهش سطح مقطع در کشش:

در فرآیند کشش میله یا سیم، زمانی که تنش سیلان قسمت گشیده شده، برابر استحکام کششی نمونه شود، فرآیند به دلیل ایجاد کلویی خاتمه یافته و نمونه دچار شکست می‌شود. در نتیجه حداکثر تغییر شکل قابل اعمال در یک مرحله از فرآیند را با توجه به شرط زیر می‌توان به دست آورد

$\sigma_d = \sigma_{uts}$ ← استحکام کششی ← تنش کششی نمونه

با توجه به معادله تراش $\sigma_{uts} = k\varepsilon^n$

۹۸/۱/۲۷

کار ایده‌آل: $\sigma_d = \frac{1}{\eta} \int_0^{\varepsilon} \bar{\sigma}\, d\bar{\varepsilon} = \frac{k\bar{\varepsilon}^{n+1}}{\eta(n+1)}$

با تساوی روابط: $k\varepsilon^n = \frac{k\varepsilon^{n+1}}{\eta(n+1)} \rightarrow \varepsilon^* = \eta(n+1)$

در شرایط ایده‌آل $\eta = 1 \xleftarrow{n=0} \varepsilon^* = 1$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

$$\varepsilon = \ln \frac{1}{1-r} \xrightarrow{\varepsilon=1} r^* = 0.63 \;,\; 12^* = 63\%$$

$$r = \frac{A_0 - A}{A_0} \rightarrow \frac{A}{A_0} = 1 - r \;\rightarrow\; \frac{A_0}{A} = \frac{1}{1-r}$$

$$A_0 L_0 = AL \rightarrow \frac{A_0}{A} = \frac{L}{L_0} \rightarrow \varepsilon = \ln \frac{L}{L_0} = \ln \frac{A_0}{A}$$

$$\rightarrow \varepsilon = \ln \frac{1}{1-r}$$

اصطکاک در شکل دهی: در اثر تماس فلز و قالب و حرکت نسبی بین آن‌ها ایجاد می‌شود.

نکته: اثر اصطکاک به صورت یک تنش برشی ظاهر می‌شود.

انواع اصطکاک:
- لغزنده: Abressive
- چسبنده: Adhessive

در اصطکاک لغزنده، در اثر تماس پستی و بلندی‌های سطوح دو جسم متحرک ایجاد می‌شود.

اصطکاک چسبنده: در اثر تنش‌های عمودی اعمالی به جسم، به تنش تسلیم یکی از دو فلز برسد، بین سطوح درگیر، جوش‌های میکرو ایجاد شده و دو سطح در بعضی از نقاط به یکدیگر جوش می‌خورند.

micro weld

غلبه بر اصطکاک در این مرحله، مستلزم شکست جوش یا کنده شدن فلز است.

در حالت چسبنده، تنش برشی اصطکاکی به حد تسلیم (k) می‌رسد.

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

تئوری کولمب

قانون کولمب اصطکاک: در این قانون، مقدار تنش اصطکاکی، تابع خطی تنش عمودی و ضریب اصطکاک است.

$$\tau = \mu \sigma_n$$

تنش عمودی

ضریب اصطکاک μ: Coefficient of Friction (CoF)

مقادیر ضرایب اصطکاک در بعضی از فرآیندهای شکل‌دهی به صورت زیر است.

فرآیند	سرد	گرم
نورد	۰٫۰۵ – ۰٫۱	۰٫۲ – ۰٫۷
خروج / کشش	۰٫۰۵ – ۰٫۱	۰٫۱ – ۰٫۲
	۰٫۰۳ – ۰٫۱	—
شکل‌دهی ورق‌ها	۰٫۰۵ – ۰٫۱	۰٫۱ – ۰٫۲
ماشین‌کاری	۰٫۵ – ۲	—

مثال) مقدار ضریب اصطکاک در حالت جسبنده را حساب کنید.

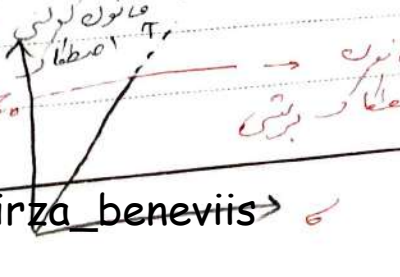
در متوقع اصطکاک جسبنده، بیشترین تنش برشی قابل تحمل، برابر تنش برشی تسلیم برده و تنش عمودی نیز برابر تنش تسلیم فلز است.

تنش تسلیم کشش

$$\tau = \tau_0 = \frac{Y}{\sqrt{3}} \quad \text{در حالت جسبنده}$$

$$\mu = \frac{\tau}{\sigma} = \frac{\frac{Y}{\sqrt{3}}}{Y} = 0.577$$

شما باید ذکره مقدار ضریب اصطکاک بیشتر از مقدار حالت جسبنده نمی‌تواند باشد



PaPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

در بعضی از فرآیندهای تغییر شکل، نیرو (تنش) عمودی می‌تواند چند برابر تنش تسلیم شود. در این حالت، ضریب اصطکاک با توجه به قانون کولن می‌تواند بیشتر از مقدار حسبنده شود. از طرف دیگر، مقدار تنش برشی اصطکاکی نمی‌تواند بیشتر از مقدار k کرده. برای رفع این نقص، از قانون اصطکاک برشی استفاده می‌شود.

$$\tau = mk = m\frac{Y}{\sqrt{3}}$$

m: Friction Factor ضریب اصطکاک

$0 \leq m \leq 1$ ، $m=1$ اصطکاک چسبنده

روان کارها: کاهش اثر اصطکاک در فرآیندهای شکل‌دهی، با استفاده از انواع روان کارها صورت می‌گیرد.

وظایف روان کار: ۱- کاهش اصطکاک و نیروی مورد نیاز ۲- کاهش ساییش، لذا خرابش ۳- یکنواخت نمودن سیلان فلز ۴- خروج قطعه از قالب کمک می‌کند

انواع روان کارها ← ۱- انواع روغن‌های معدنی و گل

۲- انواع امولسیون‌ها مثل آب و روغن

۳- انواع صابون‌ها

۴- انواع گریس‌ها (گریس محلول از صابون‌ها، روغن‌های معدنی و افزودنی‌ها)

۵- روان کارهای جامد مثل گرافیت، سولفید مولیبدن و سرب

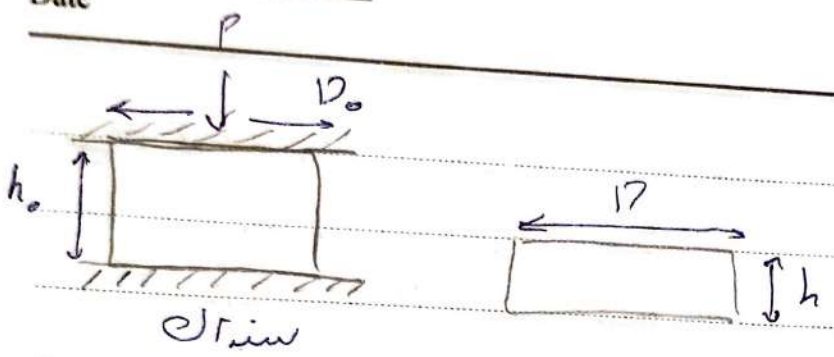
۶- پودر شیشه

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

۹۸/۹/۲



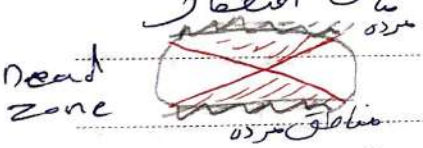
در این آزمایش، نمونه استوانه‌ای با قطر D_0 و ارتفاع h_0، تحت اثر تنش‌های فشاری اعمالی به سطوح قاعده نمونه، تغییر شکل داده و به نمونه با ابعاد D و h تبدیل می‌شود.

مقدار کرنش از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\varepsilon_L = \ln \frac{h_0}{h}$$

جریان فلز در آزمایش فشار: در طی آزمایش فشار، دو جریان فلزی ایجاد می‌شود. یکی جریان در امتداد نیروی عمودی اعمالی به نمونه که به آن جریان اکستروود هم گفته می‌شود. دیگری جریان عرضی و افقی که عمود بر امتداد تنش اعمالی است. جریان عمودی باعث کاهش ارتفاع و جریان عرضی باعث افزایش قطر نمونه می‌شود.

پدیده‌ی بشکه‌ای شدن (Barreling):



در حالت ایده‌آل که سطوح درگیر نمونه با قالب‌ها بدون اصطکاک فرض شود، با توجه به ثابت بودن حجم خواهیم داشت:

$$D_0^2 h_0 = D^2 h$$

و استوانه اولیه پس از تغییر شکل کامل به استوانه‌ای با قطر D و ارتفاع h تبدیل می‌شود. ولی در اثر اصطکاک بین سطوح قالب و قاعده‌ی نمونه، جریان فلز در زیر قالب به سختی صورت می‌گیرد ولی در مرکز نمونه به دلیل نبودن اصطکاک، جریان عرضی و افزایش قطر انجام می‌شود. پس از پایان تغییر شکل، نمونه به صورت بشکه‌ای می‌شود.

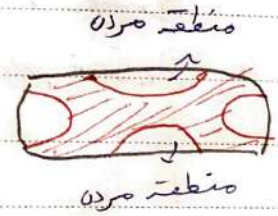
مناطق مرده (مخروط‌های فشاری): به دلیل پدیده‌ی اصطکاک، قسمتی از فلز که در گیر با قالب است تغییر شکل نداده و ناحیه‌ی مخروطی شکل را در زیر قالب

P4PCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

ایجاد می‌کند. این ناحیه در طی آزمایش فشار، تغییر شکل نداده و با آن منطقه‌ی مرده یا محروط فشار می‌گویند.
در فرآیندهای شکل‌دهی، مناطقی که در ناحیه تغییر شکل واقع بوده و لی تغییر شکل کمی دارند یا تغییر شکل نمی‌دهند را مناطق مرده می‌نامند.

نکته: جریان فلز در نمونه‌ای که بشکله‌ای شده به صورت زیر است



نواحی برشی یا باندهای برشی
shear-band

همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، در مرزبین مناطق مرده و نواحی مجاور که تغییر شکل برشی و شدید بوده و منجر به ایجاد باندهای برشی (shear band) در نمونه می‌شود.

نکته: باندهای برشی به ویژه در آزمایش فشار گرم که اصطکاک می‌تواند به حد چسبندگی نیز برسد ایجاد می‌شوند.

نکته: با افزایش نسبت $\frac{D_0}{h_0}$ در نمونه، اثر مناطق مرده و بشکله‌ای شدن تشدید می‌شود. لذا مقدار $\frac{D}{2}$ به h_0 را کاهش داده و حدود 0.5 انتخاب می‌کنند. از طرف دیگر کاهش زیاد $\frac{D_0}{h_0}$ ($\frac{D_0}{h_0} < 0.5$) موجب پدیده‌ی کمانش می‌شود.

محاسبه‌ی فشار حقیقی در شرایط بدون اصطکاک:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi R_2^2} = \frac{F}{\pi (\frac{D_2}{2})^2}$$

فشار حقیقی ← $p = \frac{4F}{\pi D_2^2}$

شرط ثابت بودن حجم ←

$$p = \frac{4F h}{\pi D_2^2 h_0}$$

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

روش slab / تاچی / تعادل نیرو:

روش المان مرزی ← در این روش تنها تغییرات تنش و کرنش را در یک جهت مورد توجه قرار داده و تغییر شکل ممکن دیگر اجزا را در المان (slab) عمود بر این جهت در نظر می‌گیریم.

روش slab، مبتنی بر فرضیات زیر است:

الف) محاسبات، مبتنی بر تغییرات یک بعدی کمیت‌های مورد نظر است (جهت x)

ب) جهات اصلی، ثابت و مشخص بوده و در برگیرنده‌ی جهت x است

مراحل مختلف در روش slab به شرح زیر است:

۱- تعیین جهتی که بیشترین میزان تغییرات تنش و کرنش در آن رخ می‌دهد.

۲- المان‌بندی از ماده را عمود بر جهت فوق در نظر گرفته و معادلات تعادل نیرو را برای آن می‌نویسیم. در این معادلات، تنش‌های اضطراری را نیز در نظر می‌گیریم.

۳- استخراج معادله دیفرانسیل تغییرات تنش در جهت فوق

۴- کاربرد روابط پلاستیسیته به منظور کاهش مجهولات به یک مجهول

۵- اعمال شرایط اولیه و سرحدی

۶- حل معادله دیفرانسیل و تعیین مقدار تنش

نکته: مراحل فوق، مراحل معمول برای حل به روش slab است ولی بسته به نوع مرآینه، ممکن است برخی از مراحل متفاوت باشد.

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

۳

۹۸/۹/٤

بررسی تنش تسمه در شرایط پرس صفحه‌ای:

با توجه به شکل و هندسه قالب، تغییر شکل در جهت عرض ورق (W) صورت نمی‌گیرد. تغییرات تنش و کرنش در جهت x بوده و المان را عمود بر آن در نظر می‌گیریم.

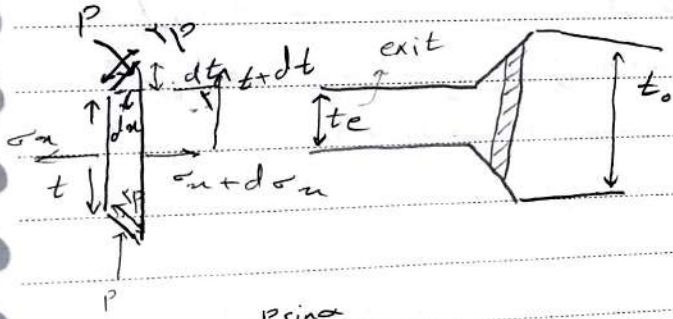
فرضیات ساده کننده:

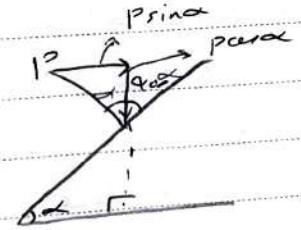
۱- زاویه قالب α کوچک است.

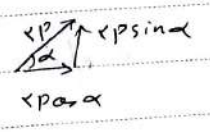
۲- تغییر شکل ماده تحت تنش تسلیم ثابت فرض می‌گیرد.

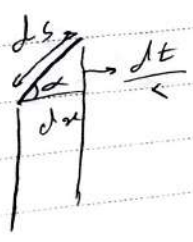
۳- در محل تماس قالب با فلز، اصطکاک به صورت لغزنده و کولمبی است.

٤- جهات اصلی با جهات σ_x و σ_z منطبق است.

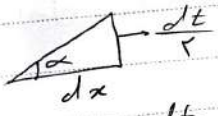








$ds = \frac{dx}{\cos\alpha}$



$\tan\alpha = \frac{dt}{2}{dx}$

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

تعادل نیروها در جهت x:

$$(\sigma_x + d\sigma_x)(t+dt)w + 2p\sin\alpha \frac{dx}{\cos\alpha} w + 2\mu p \cos\alpha \frac{dx}{\cos\alpha} w$$

نیرو اعمالی در جهت x — مولفه نیروی عکس العمل قالب در جهت x — مولفه نیروی اصطکاک در جهت x

$$= \sigma_x wt \quad (1)$$

نیرو جهت x

با ساده سازی و صرف نظر کردن از دیفرانسیل های درجه ۲ به بالا خواهیم داشت:

$$\sigma_x dt + t d\sigma_x + 2p dx \tan\alpha + 2\mu p dx = 0 \quad (2)$$

با توجه به شکل داریم:

$$\frac{\frac{dt}{2}}{dx} = \tan\alpha \rightarrow 2dx = \frac{dt}{\tan\alpha} \quad (3)$$

جایگذاری (۳) در (۲):

$$pdt + \sigma_x dt + t d\sigma_x + \mu p dt \cot\alpha = 0 \quad (4)$$

$$t d\sigma_x + [\sigma_x + p(1+\beta)] dt = 0, \quad \beta = \mu \cot\alpha \quad (5)$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sqrt{3}}{2}(\sigma_x - \sigma_y)$$

با توجه به فرض یکنواخت بودن زاویه α می توان فشار p را در امتداد محور y (یا r) در نظر گرفت. این مسئله را می توان با نوشتن تعادل نیروها در جهت y نیز نشان داد.

در این حالت خواهیم داشت:

$$\sigma_x = \sigma_1, \quad \sigma_y = \sigma_2 = -p, \quad \sigma_z = \sigma_3 \quad (6)$$

PAPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

برای کاهش مجهول ها از رابطه ی زیر در شرایط مسطح استفاده می کنیم.

$$\tau = \frac{\sqrt{3}}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \Rightarrow \sigma_3 = \sigma_1 - \frac{2}{\sqrt{3}}\tau \quad (4)$$

تنش تسلیم در شرایط برش مسطح

با توجه به فرضیات مسئله، τ مقدار تنش تسلیم متوسط و ثابت است. با جایگذاری رابطه ... در رابطه (5) خواهیم داشت:

$$d\sigma_x = \left[(1+\beta)\left(\sigma_x - \frac{2}{\sqrt{3}}\tau\right) - \sigma_x\right]\frac{dt}{t} \quad (7)$$

$$\frac{d\sigma_x}{\beta\sigma_x - H(1+\beta)} = \frac{dt}{t} \quad (8) \qquad H = \frac{2}{\sqrt{3}}\tau$$

با توجه به شرایط مرزی زیر می توان انتگرال گیری نمود:

$$\left.\begin{aligned} t = t_c &\Rightarrow \sigma_x = \sigma_d \\ t = t_0 &\Rightarrow \sigma_x = 0 \end{aligned}\right\}$$

$$\int_{\sigma_x=0}^{\sigma_x=\sigma_d} \frac{d\sigma_x}{\beta\sigma_x - H(1+\beta)} = \int_{t=t_0}^{t=t_c} \frac{dt}{t} \quad (10)$$

$$\frac{1}{\beta} Ln\left[\beta\sigma_x + H(1+\beta)\right]_0^{\sigma_d} = \left[Ln\, t\right]_{t_0}^{t_c} \quad (11)$$

$$\sigma_d = \frac{H(1+\beta)}{\beta}\left[1 - \left(\frac{t_c}{t_0}\right)^{\beta}\right] \quad (12)$$

$$H = \frac{2}{\sqrt{3}}\tau \;,\; \beta = \frac{\mu d t}{\nu}$$

P4PCO

https://t.me/mirza_bemanis

Subject
Date

۹۸,۹,۱۱

تغییرات σ_x بر حسب فرآیند با توجه به مقدار t:

$$\sigma_x(t) = \frac{H(1+13)}{13}\left[1-\left(\frac{t}{t_0}\right)^{13}\right] \quad (13)$$

مقدار کرنش ضخامتی برابر است با:

$$\varepsilon_h = Ln\left(\frac{t_0}{t_c}\right)$$

با جایگذاری آن در رابطه (۱۳):

$$\sigma_f = \frac{H(1+13)}{13}\left[1-\exp(-13\varepsilon_h)\right] \quad (14)$$

مثال) ورق با ضخامت $t_0 = 0.1$ inch و عرض $w = 12$ توسط قالب با زاویه $\alpha = 30^\circ$ شیبدار می‌شود. تنش تسلیم متوسط $\bar{\sigma} = 30$ ksi و ضریب اصطکاک $\mu = 0.08$ است. نیروی مورد نیاز برای کاهش سطح مقطع ۱۰٪ را حساب کنید.

$$13 = \mu \cot\alpha = 0.08 \cot 30 = 0.3$$

$$\varepsilon_h = Ln\frac{1}{1-r} = Ln\frac{1}{1-0.1} = 0.105$$

r: کاهش سطح مقطع — ۱۰٪

$$H = \frac{2}{\sqrt{3}}\bar{\sigma} = 34.6 \text{ ksi}, \quad \sigma_f = \frac{34.6(1+0.3)}{0.3}\left[1-\exp(-0.3\times 0.105)\right]$$

$$\rightarrow \sigma_f = 4.44 \text{ ksi} \longrightarrow$$ نیرو روش خواسته به دست بیاری باید از سطح مقطع نهایی استفاده کنیم

$$F = \sigma_f \cdot w \cdot \underbrace{t_{exit}}_{\downarrow} = 4.44 \times 12 \times 0.09 = 5.6 \text{ Lbf}$$

با کرنش و ضخامت اولیه

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

تنش میله وسیم: اگر سطح مقطع به صورت دایره باشد، معادله دیفرانسیل اصلی به صورت زیراست:

$$\frac{d\sigma}{13\sigma - (1+13)\bar{\sigma}} = \frac{2\,d17}{17}$$

تمرین) داریم $\varepsilon = -\frac{2\,d17}{17}$، حالا همینو انباشته کن

$$\int_{\sigma_0}^{\sigma_d} \frac{d\sigma}{13\sigma - (1+13)\bar{\sigma}} = -\int_0^{\varepsilon_h} d\varepsilon$$

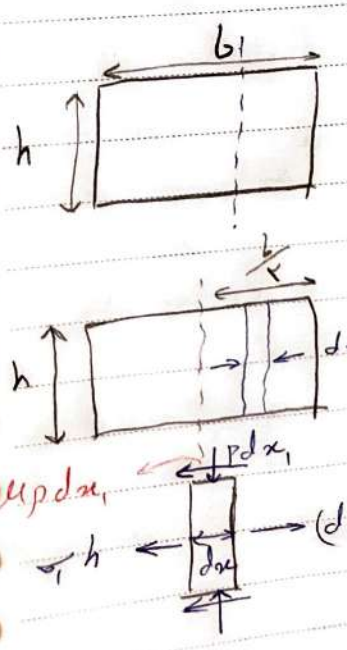
$$\sigma_d = \sigma_a \left(\frac{1+13}{13}\right)\left[1 - \exp(-13\,\varepsilon_h)\right]$$

$13 = M \cot\alpha$

σ_a: تنش تسلیم متوسط

آنالیز فرایند فشار در شرایط کرنش مسطح: (فرج غالب بان)
(فرج دیسک)

شرایط کرنش مسطح با فرض $h \ll b$ برقرار شده و اصطکاک بین سطوح درگیر، از نوع لغزنده و کولمبی در نظر گرفته می‌شود.
همچنین از اثر شکم‌دار شدن صرف نظر می‌شود.



$$\Sigma F_{x_1} = 0$$

$$(\sigma_1 + d\sigma_1)h - \sigma_1 h - 2\mu p\,dx_1 = 0 \quad (1)$$

PAPCO
https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

• جهت برآورد تنش مجهول ها از معیار تسلیم تنش برشی بیشینه استفاده می‌کنیم

$$p = -\sigma_2 = -\sigma_1 + \frac{2\tau}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

τ ثابت

$$dp = -d\sigma_1$$

با فرض ثابت بودن تنش تسلیم (τ)

با جایگذاری dp در (1)

$$\rightarrow -h\,dp - 2\mu p\,dx_1 = 0$$

$$\rightarrow dp = \frac{-2\mu p}{h}\,dx_1 \quad (3)$$

شرایط سرحدی: سطوح جانبی نوار، سطح آزاد بوده و لذا نیرویی به آن وارد نمی‌شود. بنابراین خواهیم داشت:

$$at \quad x = b/2 \;,\; \sigma_1 = 0$$

با جایگذاری معادله فوق در (1)

$$at \; x = b/2 \;,\; p = \frac{2}{\sqrt{3}}\tau \quad (4)$$

انتگرال‌گیری از معادله (3) با توجه به شرط (4):

$$\int_{p=\frac{2\tau}{\sqrt{3}}}^{p=p} \frac{dp}{p} = -\frac{2\mu}{h}\int_{x_1=b/2}^{x_1=x} dx_1$$

$$Ln\,\frac{p\sqrt{3}}{2\tau} = -\frac{2\mu}{h}\left(x - \frac{b}{2}\right)$$

$$p = \frac{2\tau}{\sqrt{3}}\exp\left[\frac{2\mu}{h}\left(\frac{b}{2} - x\right)\right] \quad (5)$$

k

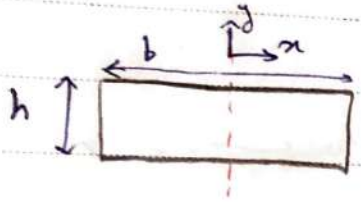
$$\frac{p}{2k} = \exp\left[\frac{2\mu}{h}\left(\frac{b}{2} - x\right)\right]$$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

$$p = \frac{2\bar{\tau}}{\sqrt{3}} \exp\left[\frac{2\mu}{h}\left(\frac{b}{2} - x\right)\right]$$

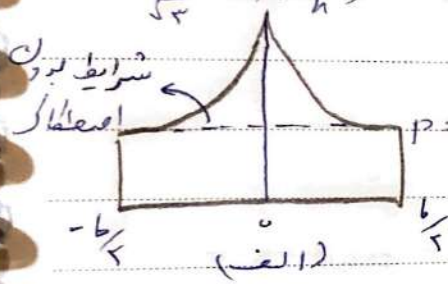
۹۸/۹/۱۶



محاسبه فشار max , min :

فشار در مرکز نمونه max : $p_{max} = \frac{2\bar{\tau}}{\sqrt{3}} \exp\left(\frac{\mu b}{h}\right)$

فشار در سطح آزاد min : $p_{min} = \frac{2\bar{\tau}}{\sqrt{3}}$, $x = \frac{b}{2}$, $p = \frac{2\bar{\tau}}{\sqrt{3}} \exp\left(\frac{\mu b}{h}\right)$



تنش تسلیم متوسط

$\bar{\tau}$: این تنش تسلیم در شرایط فرش صفحه‌ای است.

← نحوه تغییرات فشار از مرز نمونه به سمت دیواره‌ها در شکل الف نشان داده شده است. این توزیع فشار را تپه‌های اصطکاکی می‌گویند. (Friction hill)

محاسبه فشار متوسط و نیروی اعمالی : با توجه به تغییرات فشار می‌توان مقدار فشار متوسط اعمالی را محاسبه و سپس مقدار نیرو را به دست آورد.

$$\bar{P} = \frac{1}{\frac{b}{2}} \int_0^{\frac{b}{2}} p\,dx = \frac{1}{\frac{b}{2}} \int_0^{\frac{b}{2}} \frac{2\bar{\tau}}{\sqrt{3}} \exp\left[\frac{2\mu}{h}\left(\frac{b}{2} - x\right)\right] dx$$

$$c = \frac{2\mu}{h}\ ,\ a = \frac{b}{2} \longrightarrow \bar{P} = \frac{2\bar{\tau}}{a\sqrt{3}} \int_0^a \exp[c(a-x)]\,dx$$

$$\bar{P} = \frac{2\bar{\tau}}{a\sqrt{3}} \exp(ca) \int_0^a \exp(-cx)\,dx$$

$$\bar{P} = \frac{2\bar{\tau}}{a\sqrt{3}} e^{ca} \left[\frac{-e^{-cx}}{c}\right]_{x=0}^{x=k} \longrightarrow \bar{P} = \frac{2\bar{\tau}}{a\sqrt{3}} e^{ca}\left[-\frac{e^{-ca}}{c} - \frac{1}{c}\right]$$

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

$$\bar{P} = \frac{-2\bar{\sigma}}{a\sqrt{3}}\frac{1}{c} + \frac{2\bar{\sigma}}{a\sqrt{3}}\frac{e^{ca}}{c} \rightarrow \bar{P} = \frac{2\bar{\sigma}}{ac\sqrt{3}}(e^{ca}-1)$$

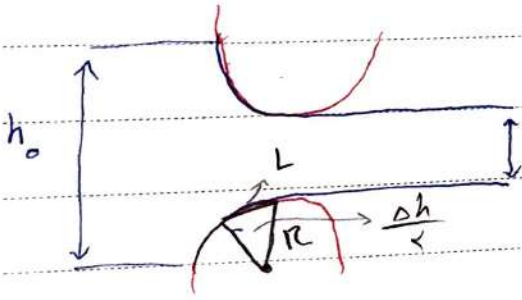
حالت‌داری c و a $\rightarrow$ $\bar{P} = \frac{2\bar{\sigma}}{b\sqrt{3}}\frac{h}{\mu}\left[e^{\frac{\mu b}{h}}-1\right]$

← مقدار نیروی فشاری با حاصل ضرب فشار متوسط در سطح مقطع اعمال نیرو به دست می‌آید.

محاسبه فشار نورد با روش بعاری slab : در فرآیند نورد، اثر اصطکاک مشابه شرایط فشار کرنش مسطح است. فرآیند نورد ورق‌های با طول زیاد را می‌توان مشابه شرایط کرنش مسطح در نظر گرفت. با صرف نظر کردن از انحنای غلتک می‌توان روابط مربوط به فشار کرنش مسطح را استفاده کرد.

نکته: در فرآیند نورد، مقدار a را با $L = \sqrt{R\Delta h}$ جایگزین کرده و h را برابر مقدار عرض $\frac{h_0+h_f}{2}$ در نظر می‌گیریم.

محاسبه L: $L^2 = a^2 + (\frac{\Delta h}{2})^2$



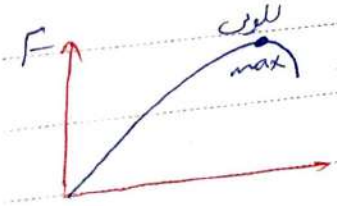
$a^2 = R^2 - (R - \frac{\Delta h}{2})^2 = R\Delta h - (\frac{\Delta h}{2})^2$

$\rightarrow L = \sqrt{R\Delta h}$

شرایط ناپایداری پلاستیک : در آزمون کشش، تشکیل گلویی به منزله ناپایداری پلاستیک بوده و در شرایط بار حداکثر اتفاق می‌افتد.

or تغییر شکل گلویی

شرط max و تشکیل گلویی:



اگر $dF = 0$

$F = \sigma A \rightarrow dF = \sigma dA + A d\sigma = 0$

https://t.me/miirza_beneviis

Subject
Date

شرط ناپایداری پلاستیک و تشکیل گلویی:

$$\frac{d\sigma}{\sigma} = \frac{dA}{A} = d\varepsilon \longrightarrow \boxed{\sigma = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}}$$

مثال ← شرط ناپایداری و تشکیل گلویی را با توجه به معادله هولمن به دست آورید:

$$\sigma = k\varepsilon^n \Rightarrow \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = nk\varepsilon^{n-1} \longrightarrow nk\varepsilon^{n-1} = k\varepsilon^n$$

$$\longrightarrow \varepsilon_n = n \quad (\varepsilon_n)$$ تعداد کرنش در نقطه گلویی

نکته: با توجه به رابطه فوق، مقدار کرنش در نقطه UTS (کرنش یکنواخت ε_r کرنش در نقطه گلویی) برابر n است.

تمرین) زمان لازم برای شروع گلویی در نمونه‌ای که منحنی تنش-کرنش آن از رابطه $\sigma = k\varepsilon^{0.5}$ پیروی می‌کند معادل 5000 s است. مطلوب است محاسبه نرخ کرنش در این حالت (فرض: نرخ کرنش ثابت است)

$$\varepsilon_u = 0.5$$

$$\dot{\varepsilon}_u = \frac{\varepsilon_u}{t} = \frac{0.5}{5000} = 10^{-4}\,s^{-1}$$

۹۸/۹/۱۸

مثال) اگر رفتار تنش-کرنش حقیقی با رابطه‌ی $\sigma = k\varepsilon^n$ توصیف شود مقدار استحکام کششی چقدر است؟

$$\sigma_{uts} = \varepsilon = \varepsilon_u = n$$

$$\sigma_{uts} = k(\varepsilon_u)^n \xrightarrow{\varepsilon_u = n} \sigma_{uts} = k n^n$$

PAPCO

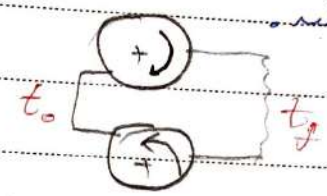
https://t.me/miirza_beneviis

Subject:
Date

نورد: یک فرآیند شکل دهی حجمی است که در طی آن، ضخامت قطعات توسط نیروهای فشاری اعمال شده توسط دو غلتک کاهش می‌یابد. فرآیند نورد معمولاً به صورت نورد ورق یا نورد مقاطع می‌باشد.

(sheet) Flat Rolling

Shape Rolling



مراحل نورد در ابعاد صنعتی

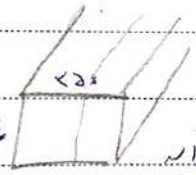
مراحل نورد: معمولاً به صورت زیر است:

۱- بیلت گرم کردن شمش ریخته‌گری (حدود ۱۲۰۰°C برای فولاد)

۲- نورد گرم شمش ریخته‌گری به شمش‌های واسطه به شرح زیر

مثل شمش ۱۳۱۰۰mm ← شمش با مقطع ۱۸۰×۱۸۰mm یا بیشتر (مقطع مربع ۱۸×۱۸۰)

slab (مستطیل) ←

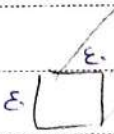


شمش با مقطع $400 \times 2500\ mm^2$ به ازای

شمش ریخته‌گری با ۱۳۱۰۰mm به دست می‌آید

(همچنین معمول است slab توسط فرآیند ریخته‌گری تولید شود)

bilet (بیلت) ← شمش با



مقطع ۴۰×۴۰mm یا بیشتر

از نورد ۱۳۱۰۰mm به دست می‌آید.

۳- تولید محصولات مقاطع نهایی با نورد شمش‌های واسطه

تولید لوله‌های ضخیم با قطر ← ورق ضخیم (plate)

slab ← ورق نازک (sheet) ← لوله‌های معمول (tube - pipe)

فویل

نوار strip

https://t.me/miirza_beneviis

Subject:
Date

Bloom → عوامل ساختمانی → تیرآهن، نبشی، میلگرد
→ ریل
→ لوله بدون درز

میلگرد → بیلت → (wire) مفتول یا سیم → انواع مفتول‌ها

نورد ورق: در این نورد ضخامت بین دو غلتک کاهش و عرض افزوده و نهایت آن کاهش می‌یابد.

کاهش ضخامت: $d = t_0 - t_f$

تغییر عرض ورق: spreading: عرض ورق از w_0 به w_f افزایش می‌یابد. این افزایش، زیاد نبوده و می‌توان از آن صرف نظر کرد.

با توجه به شرط ثابت بودن حجم، رابطه‌ی زیر در طی نورد ورق برقرار است:

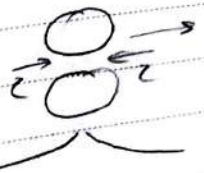
$$t_0 w_0 v_0 = t_f w_f v_f$$

v_0: سرعت ورق موقع ورود به غلتک
v_f: سرعت ورق موقع خروج از غلتک

نقطه‌ی خنثی: نقطه‌ای در زیر غلتک است که در آن سرعت ورق و سرعت غلتک یکسان است. زمانی که سرعت غلتک از سرعت ورق کمتر باشد اثر اصطکاک باعث می‌شود ورق به داخل کشیده شود.

قبل نقطه خنثی: سرعت غلتک < سرعت ورق

بعد از نقطه‌ی خنثی، سرعت ورق بیشتر از غلتک بوده و اثر اصطکاک، مانعی در خروج ورق است.

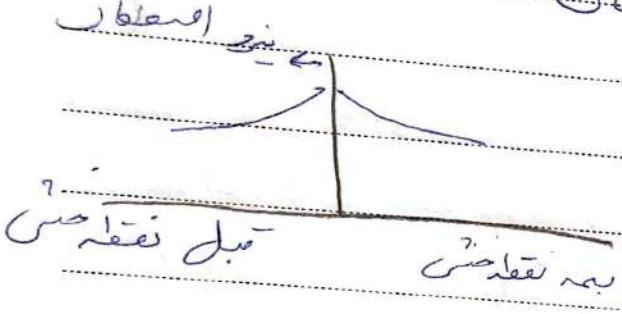


PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject:
Date

تغییرات نیروی اصطکاک در طول نورد ورق را نقطه‌های اصطکاکی نویسنده



مقدار کرنش حقیقی در نورد از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\varepsilon = \ln \frac{t_0}{t}$$

اثر اصطکاک: در اثر تماس ورق و غلتک، نیروی اصطکاک ایجاد می‌شود. نیروی اصطکاک برای کشیده شدن ورق به زیر غلتک، مورد نیاز است.
از طرف دیگر، اصطکاک، نیروی مزاحم نیاز برای نورد را افزایش می‌دهد. به این ترتیب اصطکاک می‌تواند حداکثر ضخامت قابل اعمال در نورد را تعیین کند. در نقطه پاس نورد

$$\Delta_{max} = t_0 - t_f = \mu^2 R$$

شعاع غلتک
ضریب اصطکاک

محاسبه نیروی نورد:

(الف) محاسبه در نظر گرفتن اثر اصطکاک و با توجه به روش کار تیر فرم کلی

$$F = \bar{Y} w L$$

تنش تسلیم متوسط
طول تماس (contact length)
عرض ورق

$$L = \sqrt{R(t_0 - t_f)}$$

توان مورد نیاز: توان مورد نیاز هر یک از غلتک‌ها از رابطه زیر به دست می‌آید

$$P = 2\pi R N F L$$

سرعت چرخش غلتک

https://t.me/miirza_beneviis

Subject:
Date

۹۸,۹,۲۳

قفسه نورد: نورد محصولات مختلف می تواند توسط یک یا چند قفسه نورد صورت گیرد؛ هر قفسه نورد شامل یک چارچوب فولادی است که غلتک ها و یاتاقان ها در آن قرار می گیرند. چرخش غلتک ها توسط موتور برقی و گیربکس انجام می گیرد.

با توجه به نوع قفسه فرآیند نورد را به صورت زیر می توان دسته بندی نمود:

۱- یک سویه (یک طرفه): نمونه ها از یک طرف وارد غلتک شده و از طرف دیگر خارج می شوند.

۲- دو سویه (دو طرفه): نمونه ها می توانند به صورت رفت و برگشتی در میان غلتک ها حرکت کنند. این عمل با تغییر جهت حرکت غلتک ها انجام می شود.

۳- نورد دو غلتکه: نمونه تنها از میان ۲ غلتک عبور می کند.

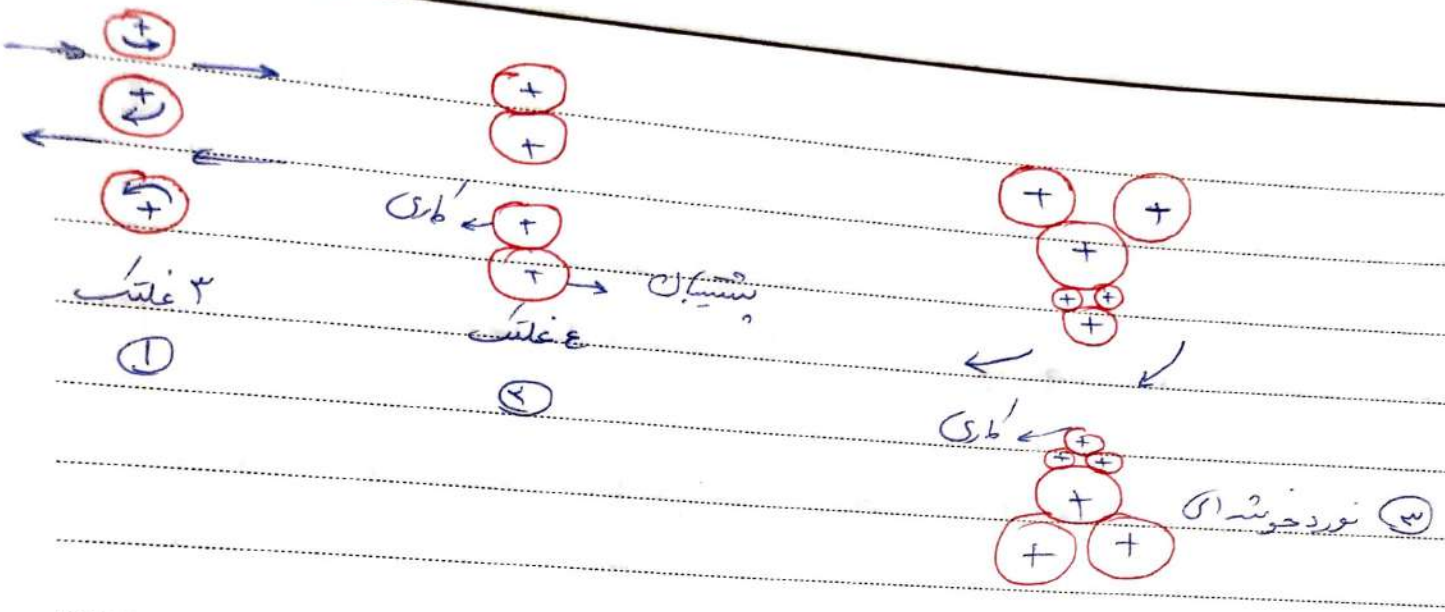
۴- سه غلتکه: نمونه می تواند بین غلتک میانی و پایینی یا غلتک میانی و بالایی قرار گیرد.

۵- چهار غلتکه: نمونه از میان دو غلتک کاری کوچکتر عبور نموده و دو غلتک بزرگتر نقش پشتیبان را دارند و مانع خم شدن و تغییر شکل الاستیک غلتک های کاری می شوند.

۶- نورد خوشه ای یا سیاره ای: دو غلتک کوچک کاری داشته و تعداد زیادی غلتک های پشتیبان بزرگ تر بر روی آن ها قرار می گیرند. معمولاً برای نورد ورق های نازک و فویل ها استفاده می شوند.

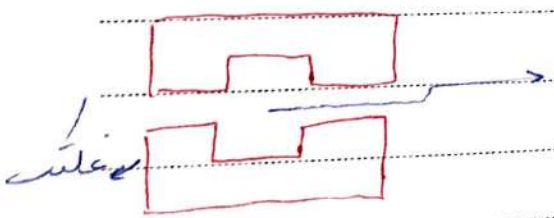
PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis



نورد مقاطع : (shape rolling)

در این نورد علاوه بر کاهش ضخامت، شکل معینی نیز در محصولات ایجاد می‌شود. در این نوع نورد معمولاً شمش باسبر از میان گذرگاه‌هایی (این گذرگاه‌ها کالیبر نام دارند) که در داخل غلتک‌ها ایجاد شده، به شکل نهایی تبدیل می‌شود. انواع مقاطع ساختمانی مثل تیرآهن، نبشی، انواع میل‌گرد و ریل راه‌آهن در این نوع نورد تولید می‌شود.



تولید محصول تام شده با نورد: با استفاده از نورد و طراحی مناسب، می‌توان محصولات تام شده‌ای مثل حلقه (ring rolling)، نورد رزوه (thread rolling)، نورد چرخ دنده (gear rolling)، لوله‌های بدون درز | | تولید کرد.

« صفحه جدید »

آهنگری (Forging):

فرایند شکل‌دهی جسمی که در آن قطعه با فشرده شدن مابین دو قالب شکل داده می‌شود.

https://t.me/miirza_beneviis

Subject:
Date

انواع اصلی:

الف) اصلی قالب باز: قطعه مابین دو قالب تخت یا با شکل بسیار ساده فشرده شده و شکل مورد نظر ایجاد می‌شود.

مهم: در این روش، سیلان عرضی فلز بدون مانع و به صورت آزاد صورت می‌گیرد.

ب) اصلی قالب بسته: فلز درون محفظه‌های دو قالب (بالایی و پایینی) فشرده شده و با پرشدن محفظه‌ها شکل نهایی ایجاد می‌شود. در این روش جریان عرضی فلز توسط دیواره قالب محدود می‌شود.

انواع فورج قالب بسته ←

۱- فورج با پلیسه (Flash): در این روش حجم ماده اولیه بیشتر از محصول بوده و پس از بسته شدن قالب فلز اضافی خارج شده و به صورت یک نوار نازک در اطراف قطعه قرار می‌گیرد. اثر پلیسه افزایش فشار داخل قالب به منظور اطمینان از پرشدن کامل قالب (پلیسه) (به ویژه برای قطعات پیچیده) است

دقیق

۲- فورج بدون پلیسه: در این روش حجم ماده اولیه و محصول یکسان بوده و پس از بسته شدن قالب، پلیسه ایجاد نمی‌شود. این روش نیاز به محاسبات دقیق برای تعیین حجم ماده اولیه دارد.

۹۸/۹/۳۰

نوع خاصی از فورج قالب بسته بدون فلش که قالب‌ها نقش‌های طرفین را در دو طرف قطعه ایجاد می‌کنند ← Coining یا سکه‌زنی نام دارد.

مثال معروف: دست شانون

P4PCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject:
Date

افزایش طول و کاهش عرض ← (logging) lengthening
(سطح مقطع)

انواع فورج قالب باز ← طرز (upsetting) ← کاهش ارتفاع (طول) نمونه و افزایش قطر آن

فورج چند مرحله‌ای ← در طی فرآیند فورج قطعات با شکل‌های پیچیده، نمی‌توان قطعه‌کار را در یک مرحله تولید نمود. در این موارد، ماده اولیه پس از چند مرحله تغییر شکل توسط قالب‌های با شکل‌های ساده‌تر از قطعه‌ی نهایی، به محصول تبدیل می‌شود. این مراحل را پیش فرم / preform می‌گوییم.

انواع روش‌های فورج قالب باز جهت ایجاد پیش فرم، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

همچنین می‌توان برای تهیه پیش فرم، از فورج قالب بسته نیز استفاده کرد.

محاسبه‌ی نیروی فورج: بیشترین نیروی فورج مورد نیاز را از رابطه‌ی زیر می‌توان به دست آورد

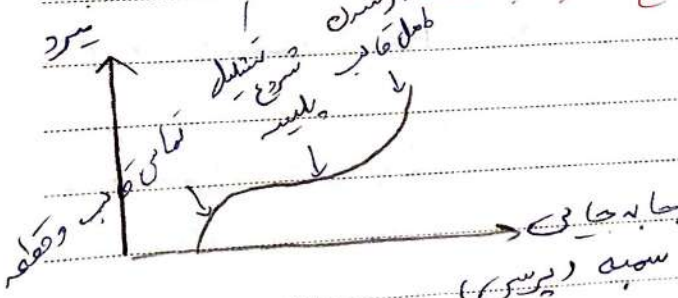
$$F = K_f Y_f A$$

K_f ← ضریب پیچیدگی شکل (معمولاً ۱۰-۶)

Y_f ← تنش تسلیم فلز در دمای پاس

A ← مساحت قطعه به انضمام پلیسه

تغییرات نیرو - جابجایی سمبه در طی فورج قالب بسته:



https://t.me/miirza_beneviis

Subject :
Date

انواع پرس

ماشین های فورج : هر کدام کلی به دو دسته زیر تقسیم می شوند

الف) ماشین های شکل دهی با نیروی معین هستند ، مثلاً ده تن ، صد تن یا هزار تن . پرس ها معمولاً نیرو را به صورت آرام اعمال می کنند

ب) انواع پتک ← ماشین های با انرژی معین هستند مثلاً 5۰۰ kj یا 10 kj این پتک ها نیرو را به صورت ضربه وارد می کنند.

اکستروژن : فرایند شکل دهی حجمی با فشردن فلز در یک استوانه جدار ضخیم و عبور آن از قالب ایجاد می شود.

انواع اکستروژن :

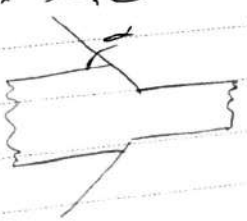
الف) مستقیم، جهت حرکت فلز

ب) معکوس، جهت سیلان فلز برعکس جهت حرکت سنبه است.

محصولات مختلفی مثل انواع پروفیل های آلومینیومی را می توان توسط اکستروژن تولید نمود.

نسبت اکستروژن : نسبت قطر سیلندر به قطر محصول را نسبت اکستروژن می نامند و مقدار آن را معمولاً بین ۱۰ تا ۲۰ در نظر می گیرند.

نکته : اکستروژن را برای شکل دهی فلز به صورت بالک ، انواع پودر ، پلاستیک ها و سرامیک ها مورد استفاده قرار می دهند.

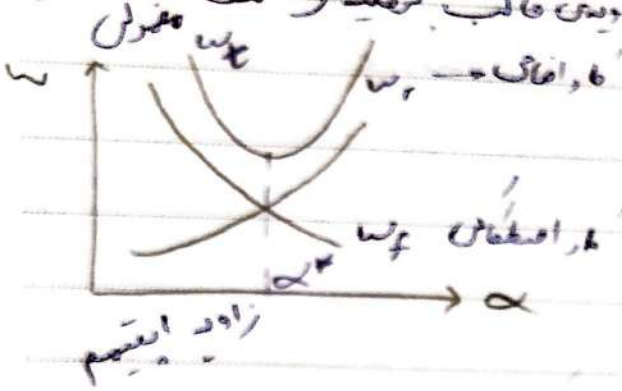


PAPCO

https://t.me/miirza_benevis

Subject:
Date

اثر زاویه حمله بر استرودل و لفتش: با افزایش زاویه حمله، سطح جدایی لایه مرزی جلوتر حرکت می‌کند و ضخامت لایه مرزی افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش زاویه حمله، تغییر شکل‌های اضافی افزایش می‌یابد بنابراین می‌بایست زاویه حمله بهینه را انتخاب کرد.



۹۸/۱۰/۷

محاسبه ضخامت استرودل: علاوه بر روش فارتنیر فرم هملن، از رابطه زیر نیز می‌توان استفاده کرد

$$P = Y_F\left(\varepsilon_{\alpha} + \frac{\langle L}{D_0}\right)$$

$$\varepsilon_{\alpha} = a + b\,Ln\left(\frac{A_0}{A_F}\right) \quad , \quad \text{معمولا } a = 0/8 \ , \ b = 1/2 - 1/5$$

نیروی استرودل: از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$F = P\,A_0$$

توان مورد نیاز استرودل:

$$P = F \cdot V$$

نشتی سیم دمیله: فرایند شکل دهی جسمی که در طی آن، سطح مقطع میله و سیم با استفاده از مال قالب، کاهش می‌یابد. نیروی لازم برای نشتی سیم دمیله:

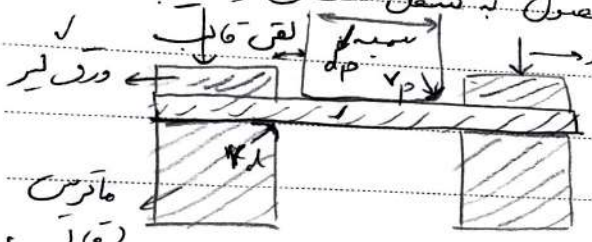
$$= \bar{Y}\left(1 + \frac{m}{\varepsilon_{max}}\right) q\, Ln\frac{A_0}{A_F}$$

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

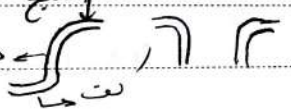
Subject: blank
Date

فرآیند کشش عمیق (Deep Drawing): فرآیند شکل دهی ورق که در طی آن ورق لوح توسط پانچ به درون قالب کشیده شده و محصول به شکل فنجان را ایجاد می کند.

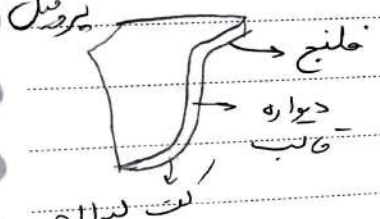


لقی: clearance

مراحل تغییر شکل در طی کشش عمیق: چنانچه در پروفیل زیر نشان داده شده، تغییر شکل در دو مرحله انجام می شود:

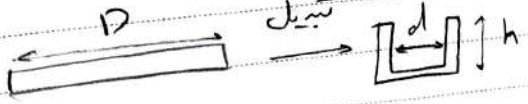


۱- خمش ورق در ناحیه فلنج
۲- کشش ورق در دیواره ی فنجان



لقی قالب (clearance) ← فاصله ی بین سمبه و قالب بوده و معمولاً ۱٫۱ ضخامت ورق است

$c = 1.1\,t$ (ضخامت ورق)



PAPCO
https://t.me/miirza_beneviia

Subject:
Date

نسبت لنش: از رابطه زیر به دست می آید:

$$D_R = \frac{D_h}{d_p}$$

D_h → قطر لوح
d_p → قطر پانچ

در قالب های سه مرحله ای، نسبت لنش معمولاً بیشتر از ۲ است.

محاسبه ی نیروی لنش:

$$F = \pi t D_p UTS (D_R - 0.7)$$

در رابطه ی فوق، UTS استحکام کشش ورق
D_R نسبت لنش، D_p قطر سنبه، t ضخامت ورق است.

محاسبه ی نیروی ورق گیر: معمولاً در طی لنش عمیق، به منظور جلوگیری از چروک خوردگی ورق، ورق گیر بر روی $\frac{1}{3}$ ورق قرار می گیرد و آن را تحت فشار قرار می دهد. ورق با عبور از میان قالب و ورق گیر، وارد دیواره ی قالب می شود. اگر نیروی ورق گیر کم باشد، ورق چروک می خورد. اگر نیروی ورق گیر زیاد باشد، ورق در طی لنش عمیق پاره می شود.
نیروی ورق گیر را می توان از فرمول زیر حساب کرد:

$$BHF = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\frac{\text{تنش تسلیم} + \text{تنش کشش}}{2}$$

BHF: نیروی ورق گیر
D: قطر لوح
d: قطر لیوان
تنش تسلیم: σ_y
تنش کشش: UTS

شعاع های نوشی قالب: همانطور که این شعاع ها بزرگ باشد، پروفیل تیز شده و ورق پاره می شود ولی اگر شعاع ها خیلی زیاد باشد، ورق چروک می خورد.
مقدار بهینه ی شعاع از روابط زیر به دست می آید

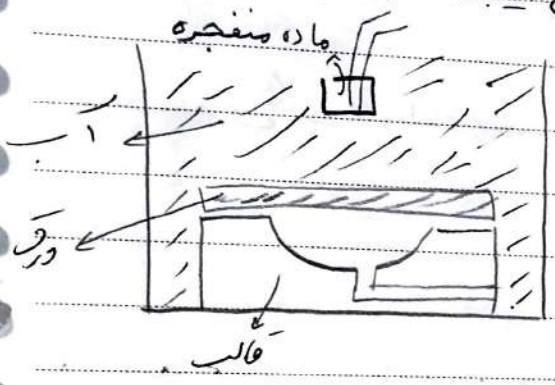
شعاع سمبه: $r_p = 0.8 - 10t$ (ضخامت ورق)

شعاع قالب: $r_d = 0.8 - 6t$ (ضخامت ورق)

https://t.me/miirza_beneviis

Subject:
Date

شکل دهی انفجاری (explosive forming) یا فرآیند شکل دهی ورق / لوله با استفاده از مواد منفجره. معمولاً برای تولید محصولات شکل دهی ورق / لوله با ابعاد بزرگ و شکل ساده به کار می رود. مثلاً برای ایجاد کاسه فولادی با قطر ۳ متر



۹۸/۱۰/۹

مراحل شکل دهی:

۱- ابتدا ورق بر روی قالب قرار می گیرد
۲- سپس مجموعه قالب و ورق را داخل کیسه محفظه (تانک آب) قرار می دهند
۳- ماده منفجره در داخل تانک و به فاصله مناسبی از آن قرار داده شده و منفجر می شود
۴- موج انفجار حاصل موجب تغییر شکل ورق می شود.

مزایا: کاهش هزینه ابزار و قالب
محدودیت: تولید محصولات با شکل ساده و تعداد کم.

مثال) در یک فرآیند اکستروژن، قطر اولیه بیلت ۵۰ میلی متر و طول آن ۳۰۰ mm است. آخرین قرآیند اکستروژن قطر محصول ۲۵mm باشد نیروی اکستروژن را حساب کنید اگر تنش تسلیم بیلت ۱۲۰ Mpa و تنش تسلیم محصول ۲۵۰ Mpa

$$P = Y_f \left(\varepsilon_x + \frac{2L}{D_0}\right)$$

$$\varepsilon_x = \ln \frac{A_0}{A} = \ln \frac{D_0^2}{D^2} = \ln \frac{50^2}{25^2} = \ln 4 = 1.39$$

$$\bar{Y} = \frac{Y_0 + Y_f}{2} = \frac{120 + 250}{2} = 185 \text{ MPa}$$

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

$$P = 158\left(1 + \frac{2(300)}{50}\right) = 2477 \text{ MPa}$$

$$F = P \cdot A = 2477 \times (25R)^2 = 4846 \times 10^6 N = 4846.3 \text{ Ton}$$

- مثال) در یک فرایند نورد، ضخامت ورق از 50mm به 25mm کاهش یافته است. اگر عرض ورق 300mm و شعاع غلتک 500mm و سرعت غلتک 60rpm باشد توان غلتک‌ها را حساب کنید. تنش تسلیم نهایی ورق 200MPa است. تنش تسلیم اولیه ورق 120MPa و ثابت کرنش سختی 0.4 است.

$$\varepsilon = \ln \frac{t_0}{t} = \ln \frac{50}{25} = 0.693$$

طول تماس: $L = \sqrt{R(t_0 + t_f)} = \sqrt{500(50+25)} = 204.12 \text{ mm}$

$$\bar{Y} = \frac{Y_0 + Y_f}{2} = \frac{120 + 200}{2} = 160 \text{ MPa}$$

$$F = \bar{Y} \cdot w \cdot L = 160(300)(204.12) = 9798.2 \text{ kN} = 9798.2 \text{ Ton}$$

$$P = 2\pi N F L = 2\pi\left(9798.2 \times 10^{-3}\right)\left(\frac{60}{1 \times 60}\right)(204.12 \times 10^{-3}) = 1244.8 \text{ kW}$$

مثال) چنانچه در مثال قبل، ضریب اصطکاک را 0.3 فرض کنیم، فشار و نیروی متوسط نورد را حساب کنید.

$$P_{av} = \frac{\bar{h}}{\mu L}\left(\exp\left(\frac{\mu L}{h}\right) - 1\right)\bar{Y}$$

$$\bar{h} = \frac{t_0 + t_f}{2} = \frac{50 + 25}{2} = 42.5 \text{ mm}$$

$$P_{av} = \frac{42.5}{0.3(204.12)}\left(\exp\left(\frac{0.3(204.1)}{42.5}\right) - 1\right) \times 160$$

$$= 0.49(2.78)(160) = 392.1 \text{ MPa}$$

PAPCO

https://t.me/miirza_beneviis

Subject:
Date

L W

$F = \sigma \cdot A = 344,1 \left(\overbrace{204,1 \times 300}\right) = 22388,4\ kN = 2249\ Ton$

مثال) در یک مرحله کشش عمیق، قطر (پرده) blank، 100 mm و ضخامت آن 2 mm است. چنانچه قطر سنبه 60 mm باشد مقدار نیروی کشش و نیروی ورق گیر را حساب کنید. تنش تسلیم ورق 150 mpa و UTS آن 300 mpa است.

نسبت کشش: $\frac{D_b}{D_{p=punch}} = \frac{100}{60} = 1,67$ (D_b: blank)

$F = \pi t D_p UTS (D_r - 0,7) = \pi (2)(60)(1,67 - 0,7) = 11314\ N$

$= 11\ Ton$

$F_{BH} = \frac{\pi}{4}(D_b^2 - D_c^2)\frac{\sigma_y + \sigma_u}{2}$, $\begin{cases} D_c = D_p + 2t & \text{(قطر لبه)} \\ D_c \simeq D_p \end{cases}$

$D_c = D_p \rightarrow F_{BH} = \frac{\pi}{4}(100^2 - 60^2)\left(\frac{150 + 300}{2}\right) = 8794,4\ N$

$(60+4)^2$

$= 9\ Ton$

$= 1\ kN = 1\ Ton$

P4PCO

https://t.me/miirza_beneviis