مکانیک: شاخه بسیار مهمی از علم فیزیک می باشد که درباره حرکت اجسام ساکن و متحرک تحت تاثیر نیروهایی که بر آن وارد می شود بحث می کند. (اجسام جامد)

* استاتیک و دینامیک زیرشاخه های علم مکانیک هستند.

استاتیک: در مورد اجسام ساکن بحث می کند.

دینامیک: در مورد اجسام در حال حرکت بحث می کند.

مکانیک سیالات: بررسی رفتار سیالات ساکن (استاتیک سیالات) یا در حال حرکت (دینامیک سیالات)، و برهمکنش سیالات با جامدات یا سیالات دیگر در مرزها.

سیال غیرقابل تراکم (تراکم ناپذیر): سیالی می باشد که با تغییر فشار، دانسیته آن تغییر نکند مثل آب. (دانسیته سیال تحت تاثیر فشار تغییر نکند).

* اگر تغییرات دانسیته تحت تاثیر فشار، زیاد باشد، در آنصورت با یک جریان سیال تراکم پذیر سروکار داریم و اگر تغییرات دانسیته ناچیز باشد، جریان تراکم ناپذیر می باشد.
* تراکم پذیری، ویژگی جریان سیال است نه ویژگی خود سیال.
* معیار تراکم پذیری، تغییرات دانسیته می باشد.

هیدرودینامیک: مطالعه حرکت سیالاتی غیرقابل تراکم.

هیدرولیک: مطالعه جریان مایعات در لوله ها و کانال های باز است و شاخه ای از هیدرودینامیک می باشد.

دینامیک گاز: بررسی جریان سیالاتی که تحت تاثیر تغییرات دانسیته شدید هستند.

ایرودینامیک: بررسی جریان گازها روی اجسام جامد مانند هواپیما، راکت و اتومبیل در سرعت های کم و زیاد.

Scbo
Date.....

Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner

فازهای اولیه ماده:

- جامد: دارای شکل و حجم معین هستند
- سیال:
  - مایع: دارای حجم معین و شکل نامعین هستند
  - گاز: نه شکل معین و نه حجم معین دارد
- پلاسما (دردماهای خیلی زیاد)

* سیال جسمی است که قابلیت جاری شدن دارد.

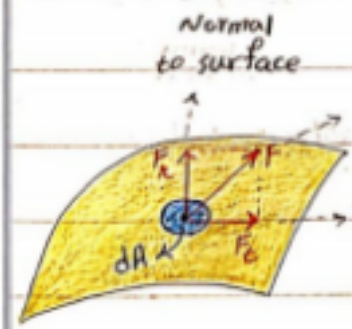
سیال چیست؟

تعریف دقیق‌تر جامد ← جامد می‌تواند در مقابل تنش برشی اعمال شده مقاومت کند.

تعریف دقیق‌تر سیال ← سیال نمی‌تواند در مقابل تنش برشی اعمال شده مقاومت کند.

* تنش (stress):

تنش (stress) = نیرو (Force) / واحد سطحی که به آن نیرو وارد می‌شود (Area)

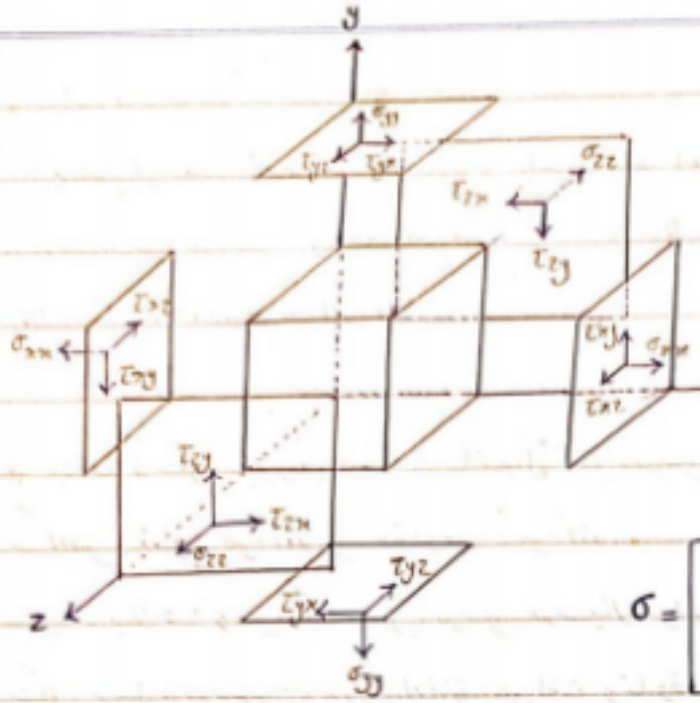


- تنش عمودی: $\sigma = \frac{F_n \text{ (مولفه عمودی)}}{dA \text{ (واحد سطح)}}$
- تنش برشی (مماسی): $\tau = \frac{F_t \text{ (مولفه مماسی)}}{dA}$

* در سیالات ساکن، فشار همان تنش عمودی است.

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

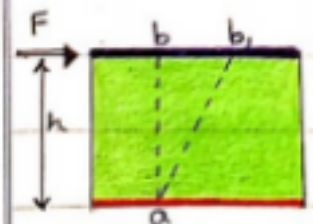


تنش دارای دو اندیس است.
اندیس اول جهت صفحه را
نشان می‌دهد و اندیس دوم،
جهت تنش را نشان می‌دهد.
برای مثال: σ_{xx}، τ_{zy} و...

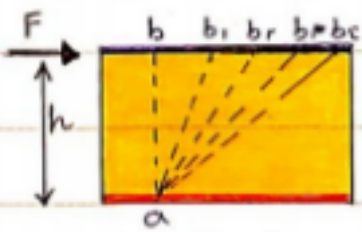
$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

* تنسور یک روش ریاضی برای توصیف ارتباط بین مجموعه‌ای از خواص فیزیکی می‌باشد.
* اسکالرها خواصی هستند که فقط با یک پارامتر مشخص می‌شوند مثل دما، جرم، فشار، دانسیته، حجم و... .
* اسکالر: تنسور مرتبه صفر است ($3^0=1$). مثال ← $m = [2]$:جرم
* بردار: تنسور مرتبه یک است (3^1). مثال ← $\vec{v} = [v_x, v_y, v_z]$: سرعت
* تنش: یک خاصیت فیزیکی می‌باشد و تنسور مرتبه ۲ است که دارای ۹ مولفه می‌باشد (3^2).

• آزمایشی برای نشان دادن تفاوت جامد و سیال:



Solid filled between plates



Fluid filled between plates

Scbo

Date.....

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

* ذرات سیالی که روی صفحه پایینی هستند و به صفحه پایینی می‌چسبند، سرعت آن‌ها برابر سرعت صفحه پایینی و برابر با صفر است. ذراتی که روی صفحه بالایی قرار می‌گیرند، سرعت آن‌ها برابر سرعت صفحه بالایی می باشد و سرعت به‌تدریج از بالا به پایین کاهش پیدا می‌کند.

* جامد (شکل سبز رنگ)، تحت اعمال تنش برشی تغییر شکل محدودی دارد و ناحیه شکلش تغییر می‌کند و مقاومت می‌کند.

* در سیالات وقتی یک تنش برشی به سیال وارد می‌شود، جابجایی سیال و تغییر شکل سیال به صورت مداوم اتفاق می‌افتد و تا وقتی که این تنش برشی وجود دارد، سیال ماهم دچار تغییر شکل می‌دهد.

درنتیجه ← این آزمایش نشان می‌دهد که سیال ساکن نمی‌تواند درمقابل تنش برشی مقاومت کند. (همچنین سیال متحرک هم نمی‌تواند درمقابل تنش برشی مقاومت کند.)

• کاربردهای مکانیک سیالات: جریان‌های طبیعی و آب و هوا - بدن انسان - سیستم‌های لوله‌کشی - ماشین‌ها - هواپیماها - کشتی‌ها - توربین‌های بادی - صنعت - واحدهای تولید نیرو

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

• مقدمه‌ای کوتاه بر تاریخچه مکانیک سیالات

■ ۳۱۲ سال قبل از میلاد مسیح: کانال‌های آبی رومی برای تهیه آب برای مصارف خانگی و آبیاری محصولات.

■ ۱۴۳ - ۲۸۳ قبل از میلاد: لوله‌های گلی و سربی تحت فشار در شهر پرگامون ترکیه.

■ ۲۱۲ - ۲۸۵ قبل از میلاد: اولین تاثیر مهم در تئوری مکانیک سیالات توسط ریاضیدان یونانی ارشمیدوس به جا گذاشته شد.

■ قرون وسطی: کاربرد دستگاه‌های مکانیک سیالات به تدریج گسترش پیدا کرد. پمپ‌های پیستونی توسعه پیدا کردند. آسیاب‌های آبی و بادی بهبود یافتند. تجهیزات مکانیک سیالات بوسیله Georgius Agricola ثبت شدند.

دوره رنسانس: گسترش سیستم‌های سیالاتی و مکانیکی ادامه یافت. روش‌های علمی بهبود یافت. Simon Stevin (1548_1617)، Galileo Galilei (1564_1642)، Edme Mariotte (1620_1684) و Evangelista Torricelli (1608_1647) از اولین کسانی بودند که روش‌های علمی را به مکانیک سیالات اعمال کردند. Blaise Pascal (1623_1662) کارهای قبلی را جمع آوری و تکمیل کرد. Benedetto Castelli (1577_1644) اولین کسی بود که مقاله‌ای درباره اصول پیوستگی در مکانیک سیالات ارائه کرد. Sir Isaac Newton (1643_1727) قوانینش را به سیالات اعمال کرد و اینرسی و مقاومت سیال ساکن، جت‌های آزاد و ویسکوزیته را مورد مطالعه قرار داد. Daniel Bernoulli (1700_1782) و Leonard Euler (1707_1783) معادلات انرژی و مومنتوم را گسترش دادند. کتاب Hydrodynamica نوشته Daniel Bernoulli را می‌توان اولین کتاب نوشته شده در زمینه مکانیک سیالات در نظر گرفت. Jean d'Alembert (1717_1789) ایده مولفه‌های سرعت و شتاب، رابطه‌ای برای پیوستگی و پارادوکسش درباره مقاومت صفر برای حرکت یکنواخت پایا روی یک جسم را گسترش داد.

Scbo
Date.....

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

■ اواخر قرن هجدهم : گسترش تئوری مکانیک سیالات تاثیر کمی بر مهندسی داشت ، چون خواص و پارامترهای سیال به ندرت تعیین شده بودند _ Riche de Prony (1755_1839) و همکارانش در دانشگاه پلی تکنیک پاریس اولین کسانی بودند که تئوری های علمی و محاسباتی را وارد رشته مهندسی کردند ، که به عنوان مدل در بقیه جهان استفاده شد _ Antonie Chezy (1718_1798) ، Louis Navier (1785_1836) ، Gaspard Coriolis (1792_1843) ، Henry Darcy (1803_1858) و تعداد زیادی از افراد که در سیالات مهندسی نقش داشتند ، دانشجو و یا استاد بودند .

■ اوایل قرن نوزدهم : Jean Poiseuille (1799_1869) به دقت جریان سیال را در لوله مویینه برای سیال های مختلف مورد بررسی قرار داد _ Gotthilf Hagen (1797_1884) بین جریان آرام و متلاطم داخل لوله تمایز قائل شد _ Osborne Reynolds (1842_1912) نام Hagen را ادامه داد و عدد بدون بعدی را گسترش داد که به اسم خود (عدد رینولدز) نامگذاری شد . موازی با کارهای اولیه Navier ، George Stokes (1819_1903) معادلات عمومی سیالات را تکمیل کرد که به نام های خود (معادلات نویر_استوکس) نام گذاری شد _ William Froude (1810_1879) روش هایی را برای امتحان مدل های فیزیکی ارائه کرد _ James Francis (1815_1892) و Leaster Pelton (1829_1908) کارهای اولیه را در زمینه توربین ها ارائه کردند _ Clemens Herschel (1842_1930) ونتوری متر را اختراع کرد .

■ اواخر قرن نوزدهم : کارهای زیادی در زمینه مکانیک سیالات توسط دانشمندان انگلیسی و ایرلندی مانند William Thomson ، Lord kelvin (1824_1907) ، William Strutt ، Lord Rayleigh (1842_1919) و Sir Horace Lamb (1849_1934) انجام شد _ این افراد مسائل زیادی شامل آنالیز ابعادی ، جریان های غیر چرخشی ، حرکت گردابه ها ، کاویتاسیون و موج ها را مورد بررسی قرار دادند _ در ابعاد وسیع تر آن ها به بررسی ارتباط مکانیک سیالات ، ترمودینامیک و انتقال حرارت پرداختند .

Scbo
Date.....

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

■ **اوایل قرن بیستم:** در ۱۹۰۳ برادران Wright (Wilbur, 1867-1912; Orville, 1871-1948) اولین هواپیما را با کاربرد تئوری مکانیک سیالات و انجام آزمایشات اختراع کردند. معادلات نویر-استوکس کاربرد کمی تا این زمان داشتند، چون حل این معادلات بسیار پیچیده بود. در سال ۱۹۰۴، Ludwig Prandtl (1875-1953) در یک مقاله پیشرو نشان داد که جریان سیال می‌تواند به دو بخش تبدیل شود، یک بخش نزدیک دیواره (لایه مرزی) و یک لایه خارجی که معادلات ساده شده اویلر و برنولی قابل استفاده هستند. دانشجوهای او Theodor von Kármán (1881-1963)، Paul Blasius (1883-1970) و Johann Nikuradse (1894-1979) آن تئوری را در زمینه هیدرولیک و ایرودینامیک تعمیم دادند.

■ **اواسط قرن بیستم:** می‌توان به عنوان دوران طلایی مکانیک سیالات درنظر گرفته شود. تئوری های موجود برای مطالعات موجود کافی بودند و خواص سیالات و پارامترها بخوبی تعیین شدند. این امر موجب توسعه زیادی در زمینه هوافضا، صنایع شیمیایی و منابع آبی شد، که هریک مکانیک سیالات را در جهت جوبدی قرار داد.

■ **اواخر قرن بیستم:** تحقیقات و مطالعات مکانیک سیالات با گسترش کامپیوترها بسیار مورد توجه قرار گرفت. توانایی حل مسائل پیچیده مانند مدل سازی آب و هوا و بهینه سازی توربین ها مزایای زیادی برای جامعه داشت به طوری که دانشمندان قرن هجده انتظارش را ندارند.

خواص سیال

خاصیت: هر ویژگی که متعلق به سیستم است.

مثال ← فشار (P) ـ دما (T) ـ حجم (V) ـ جرم (m) ـ سرعت (v) ـ ویسکوزیته (μ) ـ ضریب هدایت گرمایی (k) و ...

⟸

Scbd

Date.....

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

دسته بندی خواص: • مقداری - • شدتی

■ مقداری: خواص مقداری به جرم سیستم بستگی دارند مثال: حجم ($\forall$) - انرژی درونی (U) - انتالپی (H) و...

■ شدتی: خواص شدتی به جرم سیستم بستگی ندارند مثال: فشار (P) - دما (T) - حجم ویژه ($\hat{\forall} = \frac{\forall}{m}$) - انتالپی ویژه ($\hat{H} = \frac{H}{m}$) و...

به دما و حجم ویژه بستگی دارد و به مقدار ماده بستگی ندارد.

$P\forall = mRT$

$\rightarrow P\frac{\forall}{m} = RT \rightarrow P\hat{\forall} = RT$

• پیوستگی (Continuum): هر سیال از مولکول ها تشکیل شده است که ممکن است فاصله زیادی از هم داشته باشند. راحت تر است که ساختار اتمی سیال را فراموش کنیم و آن را به صورت یک ماده پیوسته همگن بدون گسستگی در نظر بگیریم. فرض پیوستگی به ما اجازه می دهد که خواص را به صورت توابع نقطه ای در نظر بگیریم که به صورت پیوسته با مکان تغییر می کنند. این فرض تا وقتی درست است که اندازه سیستم ما نسبت به فاصله مولکول ها خیلی بزرگ باشد.

مسیر پویش آزاد متوسط مولکول: مسیری که یک مولکول طی می کند، قبل از اینکه با مولکول بعدی برخورد کند.

* در تعیین فرض پیوستگی، مسیر پویش آزاد مولکول ها اهمیت دارد. هرچه مسیر پویش آزاد کمتر باشد، فرض پیوستگی صادق تر است.

مثال) قطر یک مولکول اکسیژن = 3×10^{-10} m و جرم یک مولکول اکسیژن = $5{,}3 \times 10^{-26}$ kg

(مسیر آزاد متوسط مولکول در فشار 1 atm و دمای 20°C = $6{,}3 \times 10^{-8}$ m)

Scbo

Date.....

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

• خواص میدان سرعت

$\vec{V}(x,y,z,t) = u(x,y,z,t)\vec{i} + v(x,y,z,t)\vec{j} + w(x,y,z,t)\vec{k}$

($\vec{V} = V_x\vec{i} + V_y\vec{j} + V_z\vec{k}$ یا $\vec{U} = u_x\vec{i} + u_y\vec{j} + u_z\vec{k}$) ← به این صورت ها هم نوشته می شوند

- سرعت مهم ترین خاصیت یک سیال است.
- سرعت یک خاصیت میدانی است یعنی سرعت به مکان و زمان بستگی دارد.
- دو روش برای به دست آوردن سرعت سیال وجود دارد: ■ اویلری ■ لاگرانژی

اویلری (Eulerian): ۱) درباره میدان جریان است ـ ۲) میدان سرعت $u(x,y,z,t)$ محاسبه می شود نه تغییرات سرعت $u(t)$ یک ذره ـ ۳) مناسب برای مکانیک سیالات

* در روش اویلری، ما یک نقطه خاصی از فضا را در نظر می گیریم و رفتارش را بررسی می کنیم.

لاگرانژی (Lagrangian): ۱) یک ذره درحال حرکت سیال تعقیب می شود و بررسی می کنیم در هر موقعیت مکانی که این ذره قرار می گیرد چه سرعتی دارد ـ ۲) مناسب برای مکانیک جامدات

• خواص ترمودینامیکی سیال

فشار: ۱) فشار عبارت است از تنش عمودی در یک نقطه از سیال ساکن ـ ۲) بعد از سرعت، فشار مهم ترین خاصیت در مکانیک سیالات است ـ ۳) اختلاف فشار بین دو نقطه از سیال باعث حرکت سیال می شود.

Sibo
Date.....

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

دما: به میزان انرژی درونی سیال ربط داده می‌شود. هرچه انرژی درونی سیال بیشتر باشد، دمای سیال بیشتر است.

دانسیته: نسبت جرم به حجم را گویند. $\rho = \frac{m}{\forall}$

حجم ویژه: نسبت حجم به جرم را گویند. $\hat{\forall} = \frac{\forall}{m} = \frac{1}{\rho}$

دانسیته ویژه (specific gravity): $SG = \frac{\rho}{\rho_{H_2O} = 1000 \frac{kg}{m^3}}$ ← معمولاً سیال مرجع را آب (در دمای 4°C) در نظر می‌گیریم.

وزن مخصوص: حاصل ضرب دانسیته در شتاب گرانش می‌باشد. (تعریف دیگر: نسبت وزن به ازای واحد حجم را گویند.)

$\gamma_s = \rho g$ یا $\left(\gamma_s = \rho g = \frac{m}{\forall} g = \left(\frac{W}{\forall}\right)\right)$

معادله حالت گاز ایده‌آل: $\boxed{P\hat{\forall} = R_{gas} T}$ or $\boxed{P = \rho R_{gas} T}$; $R_{gas} = \frac{R}{M_{w\,gas}}$ ← جرم مولکولی گاز

اثبات: $P\forall = nRT \xrightarrow{n = \frac{m}{M_w}} P\forall = \frac{m}{M_w} RT \longrightarrow P\forall = m \frac{R}{M_w} T$

$\longrightarrow P\forall = m R_{gas} T \longrightarrow P\frac{\forall}{m} = R_{gas} T \longrightarrow (P\hat{\forall} = R_{gas} T)$

یا

$(P = \rho R_{gas} T)$

Scbo

Date

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

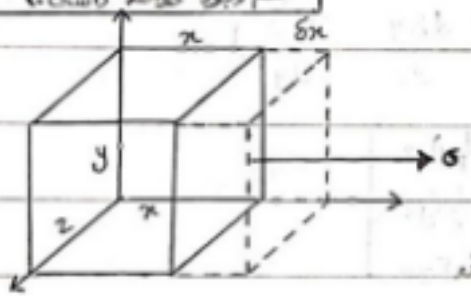
• ویسکوزیته ← مقاومت درونی سیال در برابر حرکت یا جاری شدن را گویند.

(مشابه ضریب اصطکاک در مکانیک جامدات است.)

- Drag force: نیرویی که از طرف سیال در خلاف جهت حرکت جسم به جسم وارد می‌شود. (نیروی Drag مشابه نیروی اصطکاک در مکانیک جامدات است.)

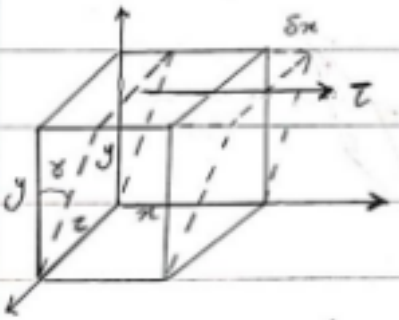
* نیروی Drag وقتی معنی پیدا می‌کند که اختلاف سرعت بین جسم و سیال وجود داشته باشد. (نیروی Drag در اثر حرکت نسبی جسم و سیال ایجاد می‌شود، اگر جسم در داخل سیال ساکن باشد، هیچ حرکت نسبی وجود ندارد یا اگر جسم ما با سرعت سیال حرکت کند، اختلاف سرعت نسبی بین جسم و سیال وجود ندارد و بنابراین نیروی Drag هم وجود نخواهد داشت.)

• کرنش (Strain): معیاری از تغییر شکل جسم است.



■ کرنش عمودی: $\varepsilon = \frac{\delta x \text{ (تغییر طول)}}{x \text{ (طول اولیه)}}$

(اگر جسم ما تحت تاثیر تنش عمودی (σ) قرار بگیرد، باعث می‌شود که طول آن تغییر کند و ما این تغییر طول نسبی را به عنوان کرنش عمودی می‌شناسیم. مثال: کشیدن یک فنر)



■ کرنش برشی (مماسی): $\gamma = \frac{\delta x}{y}$

$\gamma \approx \tan\gamma = \frac{\delta x}{y}$

(اگر جسم ما تحت تاثیر تنش برشی (τ) قرار بگیرد، باعث می‌شود که جسم ما خم شود و زاویه‌ای پیدا کند، این زاویه معیاری از تغییر شکل نسبی است و به آن کرنش برشی می‌گوییم.)

ادامه

Scanned with CamScanner

Scanned with CamScanner

* کرنش یک تنسور می باشد و 9 مولفه دارد.

تانسیر طول دیفرانسیل

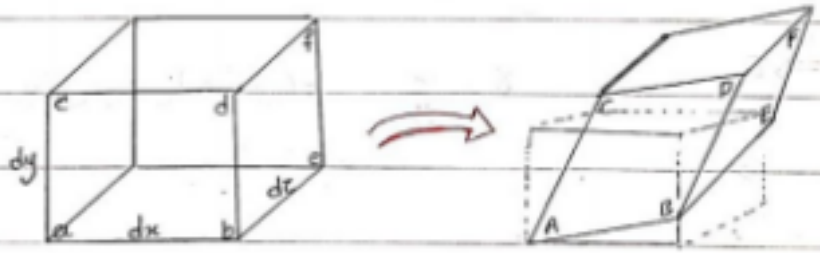
$$\varepsilon_{xx} = \frac{d\delta x}{dx} \quad , \quad \varepsilon_{yy} = \frac{d\delta y}{dy} \quad , \quad \varepsilon_{zz} = \frac{d\delta z}{dz}$$

$$\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = \frac{1}{2}\gamma_{xy} = \frac{1}{2}\gamma_{yx} = \frac{1}{2}\left(\frac{d\delta x}{dy} + \frac{d\delta y}{dx}\right)$$

$$\varepsilon_{xz} = \varepsilon_{zx} = \frac{1}{2}\gamma_{xz} = \frac{1}{2}\gamma_{zx} = \frac{1}{2}\left(\frac{d\delta x}{dz} + \frac{d\delta z}{dx}\right)$$

$$\varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} = \frac{1}{2}\gamma_{yz} = \frac{1}{2}\gamma_{zy} = \frac{1}{2}\left(\frac{d\delta y}{dz} + \frac{d\delta z}{dy}\right)$$

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \varepsilon_{yy} & \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{zx} & \frac{1}{2}\gamma_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}$$



Scbo
Date
Scanned with CamScanner
Scanned with CamScanner