

TEORIA SPRĘŻYSTOŚCI I PLASTYCZNOŚCI

dr inż. Paweł Szeptyński

adres: p. 320 – III p. WIL

tel. 12 628 20 30

e-mail: pszeptynski@pk.edu.pl

ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE

ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE

odkształcenia sprężyste = odkształcenia odwracalne

**MATERIAŁ
SPRĘŻYSTY**



odkształcenia plastyczne = odkształcenia trwałe

**MATERIAŁ
SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNY**

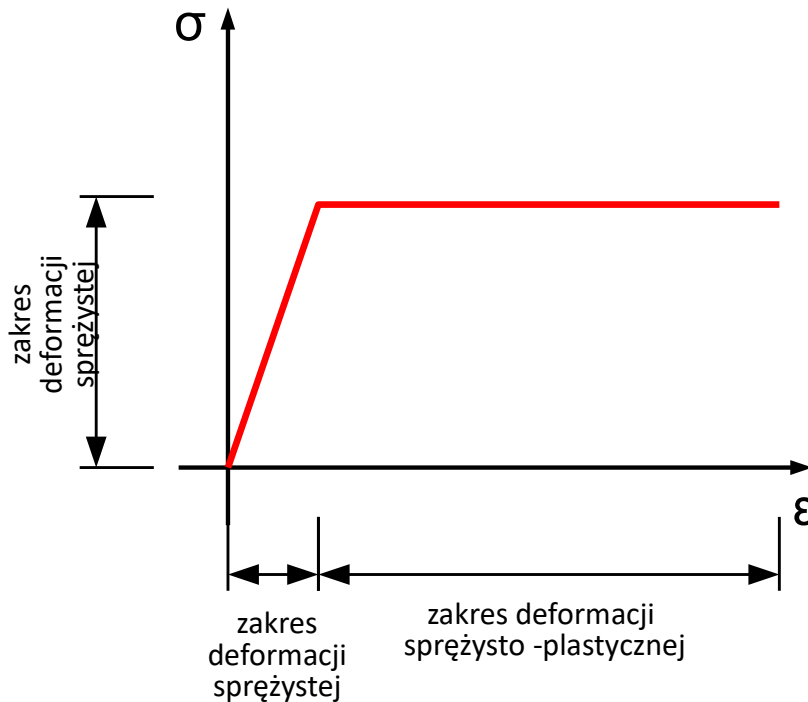


ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE

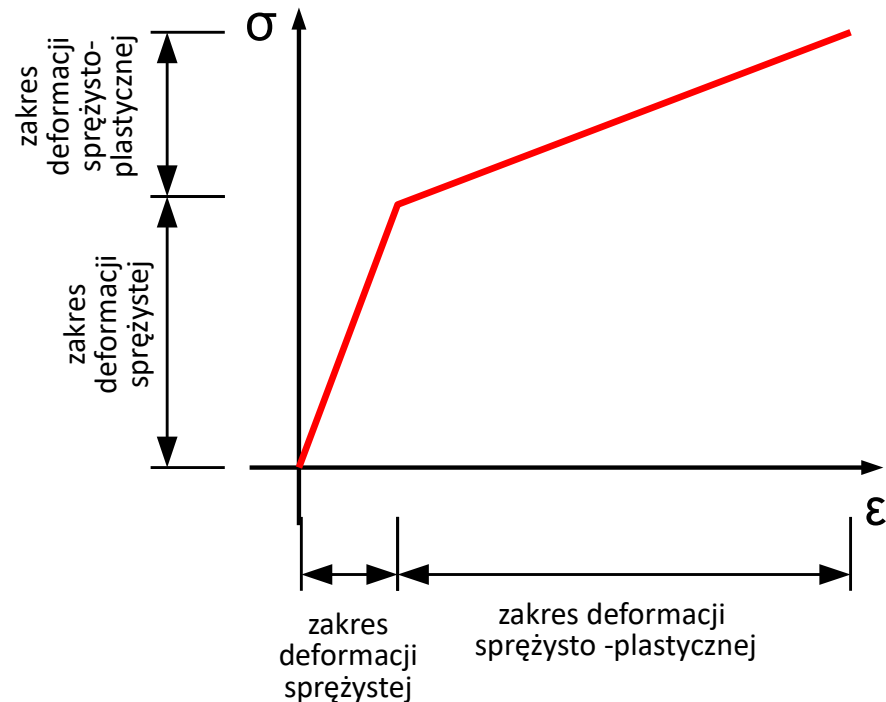
Teoria plastyczności – dział mechaniki ośrodków ciągłych zajmujący się opisem deformacji ciał sprężysto-plastycznych, sztywno-plastycznych, oraz idealnie plastycznych.

ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE

Materiał sprężysto-plastyczny (model Prandtla) – w pewnym zakresie wielkości deformacji, charakterystycznym dla danego materiału, wykazuje **cechy sprężyste**. Poza tym zakresem wykazuje zarówno cechy **sprężyste** jak i **plastyczne**.



model ciała sprężysto-plastycznego
bez wzmocnienia

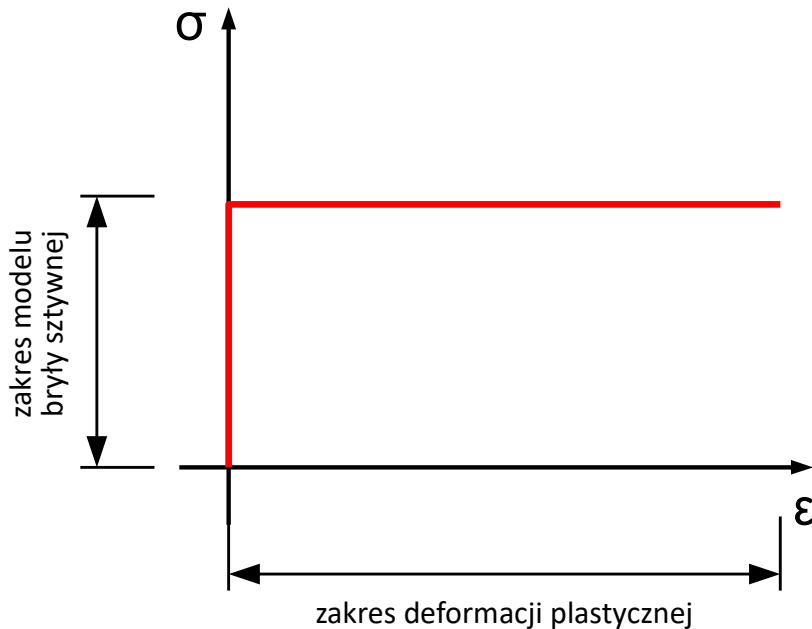


model ciała sprężysto-plastycznego
ze wzmocnieniem

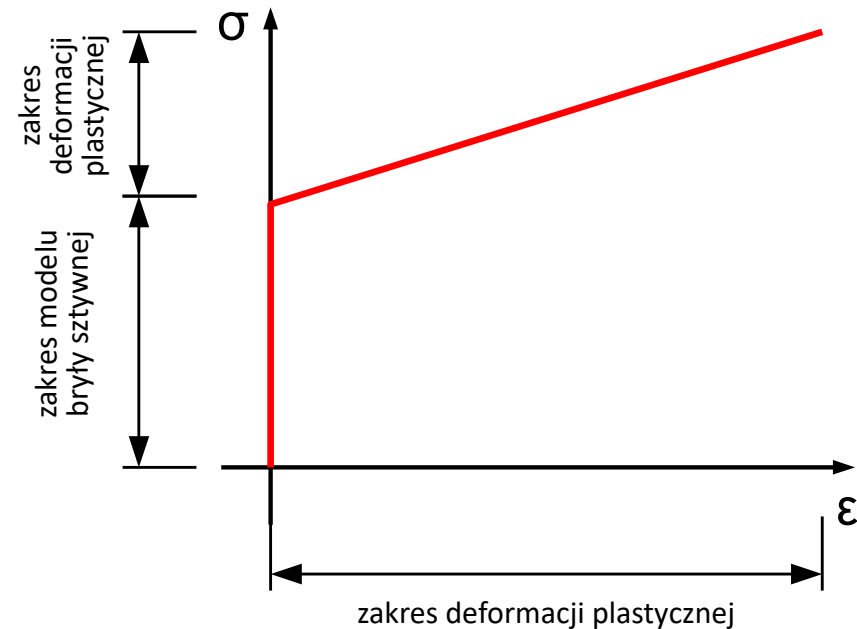
ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE

Materiał sztywno-plastyczny (model Lévy'ego – Misesa) – w pewnym zakresie wielkości deformacji, charakterystycznym dla danego materiału, nie podlega deformacji, zachowuje się jak **bryła sztywna**. Poza tym zakresem wykazuje **wyłącznie cechy plastyczne**.

Jest **granicznym przypadkiem** modelu sprężysto–plastycznego i może stanowić jego **przybliżenie**, jeśli odkształcenia sprężyste są istotnie mniejsze od odkształceń plastycznych.



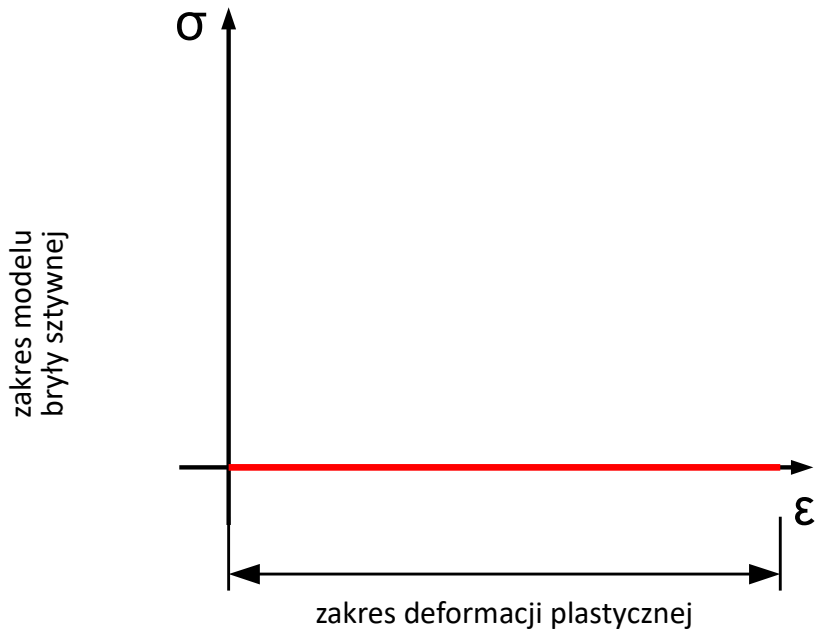
model ciała sztywno-plastycznego
bez wzmocnienia



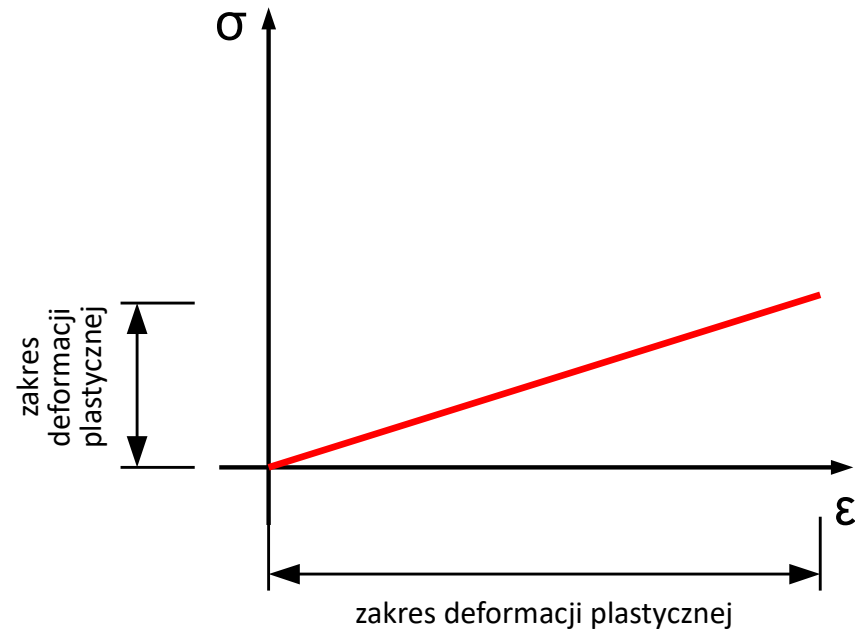
model ciała sztywno-plastycznego
ze wzmocnieniem

ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE

Materiał idealnie plastyczny – w całym zakresie odkształceń materiał wykazuje wyłącznie cechy plastyczne.



model ciała idealnie plastycznego bez wzmocnienia



model ciała idealnie plastycznego ze wzmocnieniem

ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE

Zakres deformacji sprężystej zależy od:

- **własności mechanicznych materiału**

graniczna wartość naprężenia (**granica plastyczności**) lub odkształcenia sprężystego, powyżej której zachodzą procesy deformacji plastycznej jest **cechą mechaniczną charakterystyczną dla danego materiału**.

- **charakteru obciążenia / deformacji**

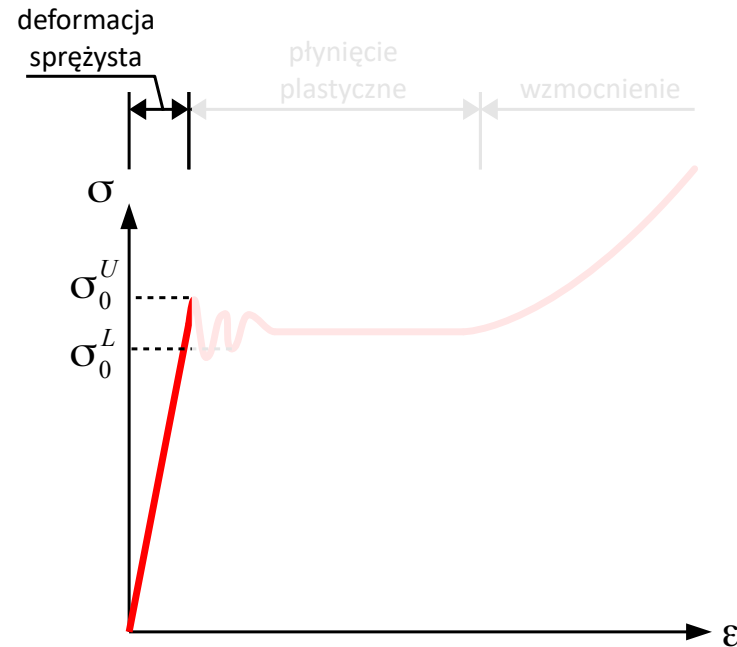
W różnych stanach mechanicznych deformacja plastyczna inicjowana jest przy różnej wielkości **obciążenia lub deformacji**, np. uplastycznienie przy ścinaniu zachodzi z reguły dla mniejszych wielkości naprężenia niż przy rozciąganiu. Warunek, jaki musi spełniać stan naprężenia lub stan odkształcenia, aby zainicjowana być mogła deformacja plastyczna nazywamy **warunkiem plastyczności**.

- **historii deformacji**

Większość materiałów podlega zjawisku **wzmocnienia plastycznego**. Przeszła deformacja plastyczna skutkuje **powiększeniem zakresu sprężystego**. Niektóre materiały nie wykazują istotnego wzmocnienia lub wykazują **osłabienie**.

ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE

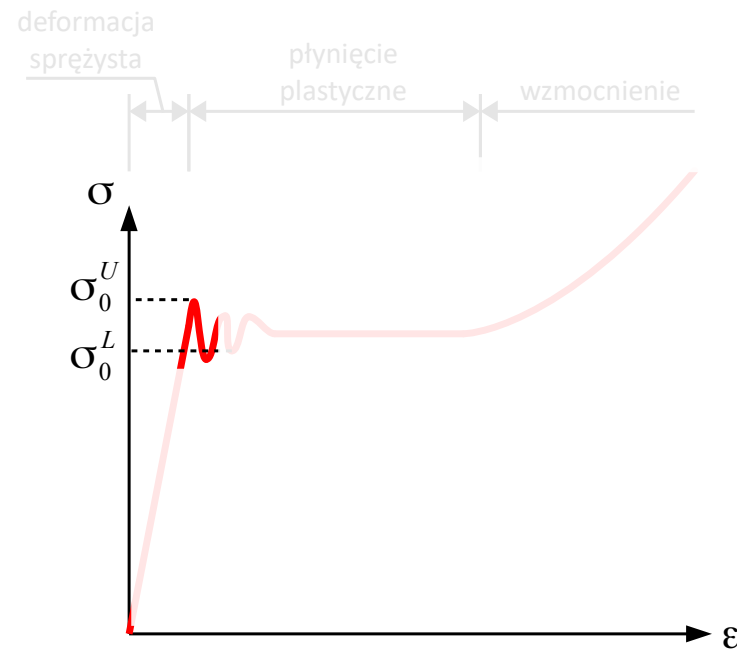
Charakterystyka materiałów o wyraźnie zarysowanej granicy plastyczności



- **Zakres deformacji sprężystej** – odkształcenia plastyczne nie występują lub są pomijalnie małe. W rzeczywistości niewielkie odkształcenia plastyczne występują już dla bardzo niewielkich obciążeń / deformacji, jednak w pewnym zakresie są one bardzo małe i dopiero poza tym zakresem ich przyrost staje się istotny.

ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE

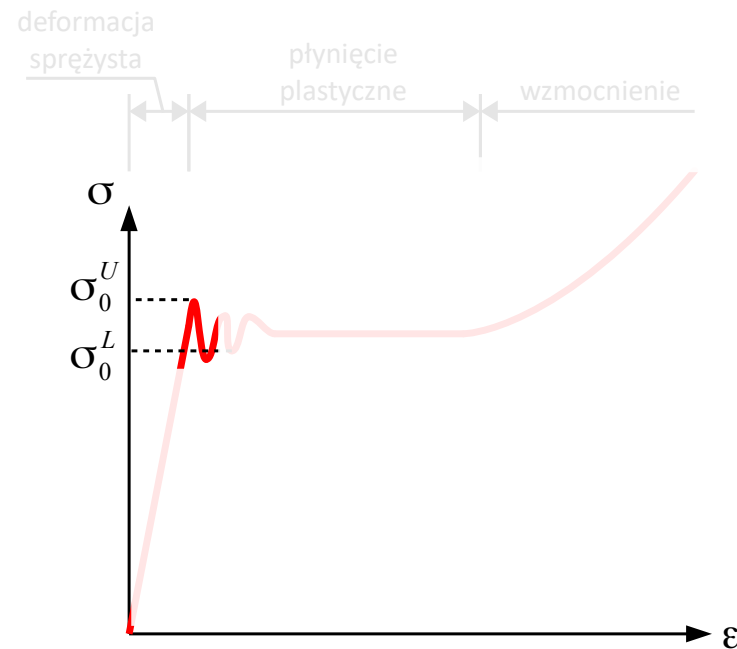
Charakterystyka materiałów o wyraźnie zarysowanej granicy plastyczności



- **Stan graniczny** – stan naprężenia lub odkształcenia spełnia warunek plastyczności, inicjowane są procesy deformacji plastycznej.

ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE

Charakterystyka materiałów o wyraźnie zarysowanej granicy plastyczności

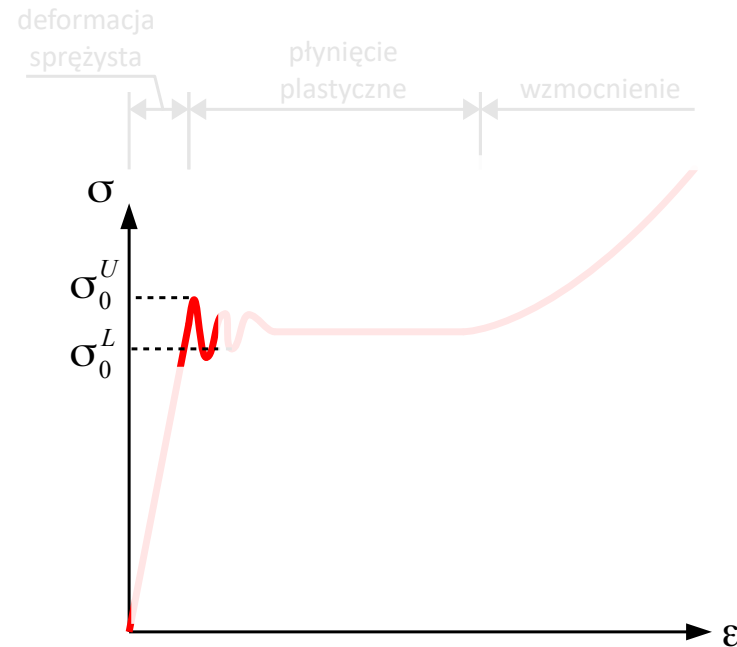


Dolna granica plastyczności σ_0^L :

- **najmniejsza wartość** naprężenia, jaka jest **konieczna do dalszego przyrostu odkształcenia plastycznego** po inicjacji deformacji plastycznej (po spełnieniu warunku plastyczności),
- **najmniejsza wartość** naprężenia **w zakresie deformacji plastycznej z wyłączeniem pierwszego minimum lokalnego** po inicjacji deformacji plastycznej,
- **ostatnie minimum** wartości naprężenia w zakresie deformacji plastycznej **przed wystąpieniem wzmocnienia**.

ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE

Charakterystyka materiałów o wyraźnie zarysowanej granicy plastyczności

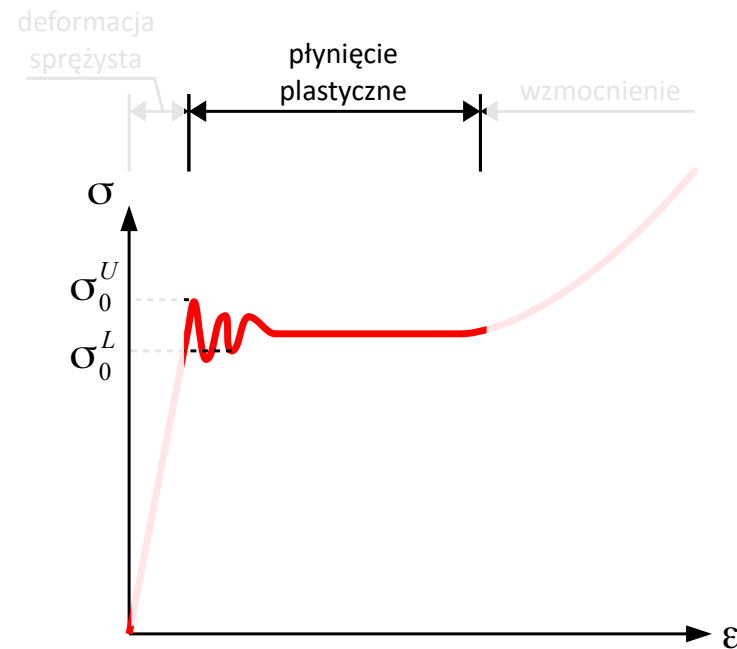


Górna granica plastyczności σ_0^U :

- **pierwsze lokalne maksimum** wartości naprężenia po rozpoczęciu procesu deformacji plastycznej (po spełnieniu warunku plastyczności).
- **największa wartość** naprężenia w zakresie deformacji plastycznej.

ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE

Charakterystyka materiałów o wyraźnie zarysowanej granicy plastyczności

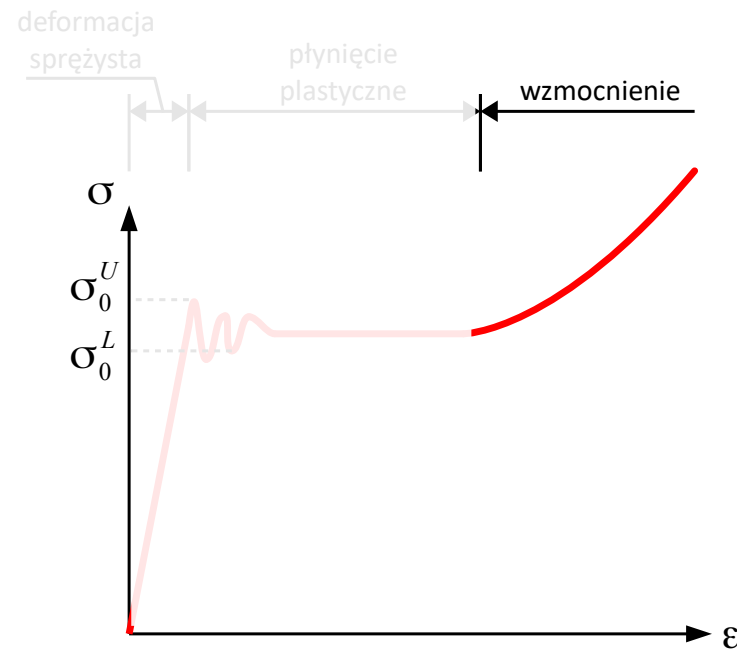


Płynięcie plastyczne:

- Znaczny przyrost odkształcenia przy minimalnej zmienności naprężenia
- Związek między naprężeniem i odkształceniem jest niejednoznaczny
- Proces deformacji sterowany jest odkształceniem

ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE

Charakterystyka materiałów o wyraźnie zarysowanej granicy plastyczności

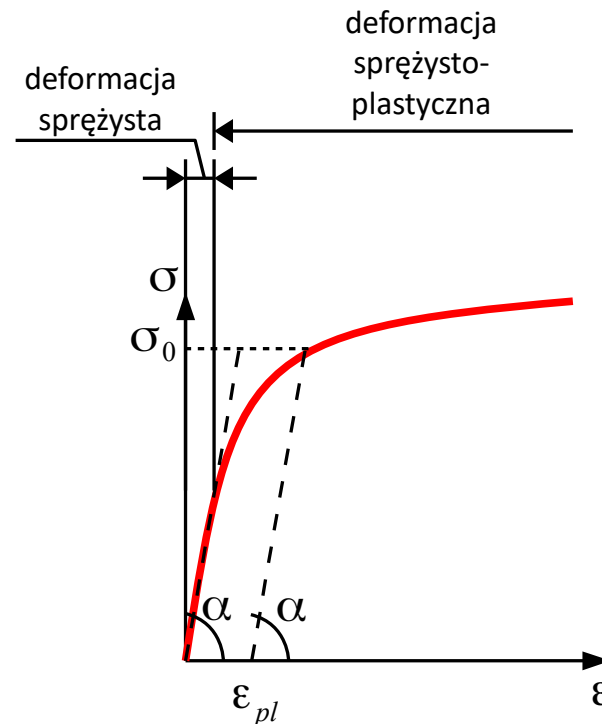


Wzmocnienie:

- **Dalsza deformacja sprężysto-plastyczna wymaga większego obciążenia**
- Dla materiałów nie wykazujących wzmocnienia zakres naprężeń powyżej poziomu naprężenia odpowiadającego „półce plastycznej” jest nieosiągalny – naprężenie jest stałe, a odkształcenie przyrasta aż do pęknięcia.

ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNE

Charakterystyka materiałów bez wyraźnie zarysowanej granicy plastyczności



Umowna granica plastyczności:

- naprężenie, któremu odpowiada ustalona wielkość odkształcenia trwałego, wyznaczanego przy założeniu, że proces odciążenia jest w całości sprężysty i charakterystyka sprężysta materiału nie ulega zmianie w wyniku deformacji plastycznej. Często przyjmowaną wartością dla ciągliwych materiałów sprężysto-plastycznych jest $\epsilon_{pl} = 0,2\%$

MECHANIZMY DEFORMACJI PLASTYCZNEJ

MECHANIZMY DEFORMACJI PLASTYCZNEJ

Obecność **odkształceń trwałych** (plastycznych) związana jest z zajściem **trwałej, nieodwracalnej zmiany w strukturze wewnętrznej materiału**.

W przekształconej strukturze materiału ustala się **nowy stan równowagi wewnętrznej**.

Teoria plastyczności znajduje najszersze zastosowania w opisie ciągliwych metali i stopów. Materiały te charakteryzują się **polikrystaliczną strukturą wewnętrzną**:

- zbudowane z **ziaren monokrystalicznych**, w ich obrębie materiał ma regularną strukturę krystaliczną,
- ziarna mają **różną wielkość i kształt**,
- **orientacja struktury** krystalicznej poszczególnych ziaren może być **różna**.

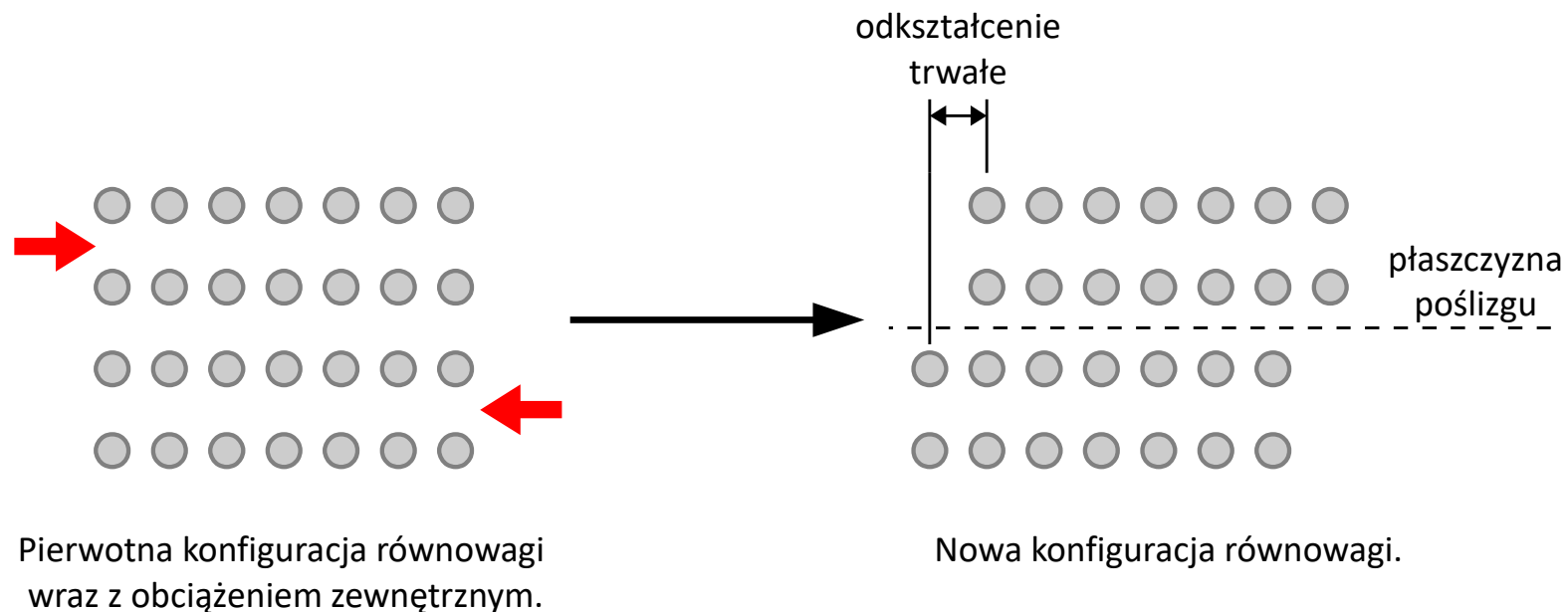
Trwała deformacja struktury wewnętrznej materiału polikrystalicznego może zajść w wyniku zjawisk zachodzących:

- w obrębie jednego monokryształu → **poślizg** (w tym: **ruch dyslokacji**) i **bliźniakowanie**
- na granicy ziaren monokrystalicznych → **poślizg na granicy ziaren**
- w obszarze obejmującym wiele ziaren → np. **pasma ścinania**

MECHANIZMY DEFORMACJI PLASTYCZNEJ

Poślizg wzdłuż płaszczyzny najgęstszego wypełnienia atomami:

- zachodzi w obrębie jednego monokryształu
- część struktury krystalicznej przesuwa się względem drugiej w taki sposób, że atomy jednej z części zajmują w nowym położeniu równowagi miejsca, której w pierwotnym układzie zajmowali ich sąsiedzi.



UWAGA: Energia i obciążenie wymagane do zajścia takiego przesunięcia jest bardzo duża. W rzeczywistości zjawiska takie obserwuje się dla znacznie mniejszych obciążeń. Jest to spowodowane **istnieniem w sieci krystalicznej defektów**, które znacznie obniżają wartość energii wymaganej do inicjacji poślizgu.

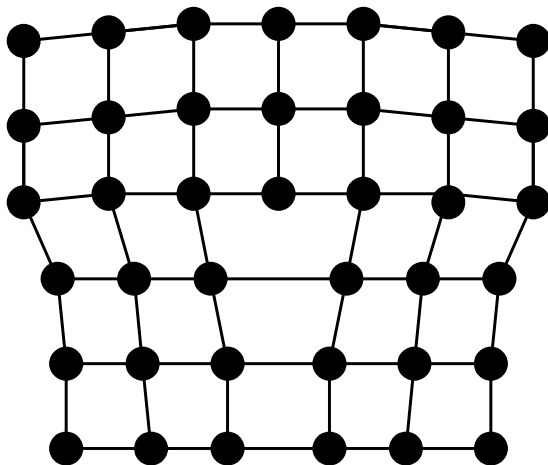
MECHANIZMY DEFORMACJI PLASTYCZNEJ

Wyróżnia się **defekty punktowe** (obejmujące jeden atom), **liniowe**, czyli **dyslokacje** (obejmujące zbiór atomów leżących na jednej linii) i **powierzchniowe** (obejmujące całą płaszczyznę atomów).

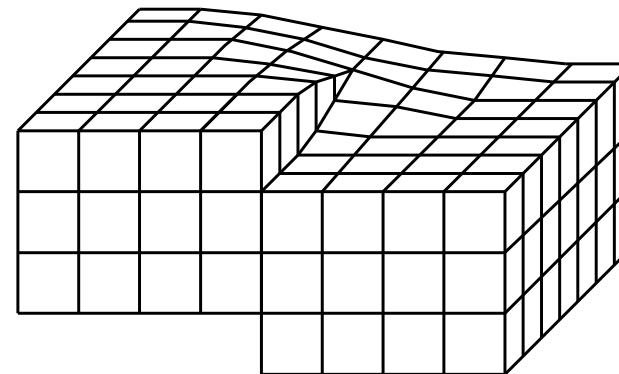
Dla mechanizmów deformacji plastycznej kluczowe są dyslokacje. Wyróżnia się trzy typy dyslokacji:

- **krawędziowe**
- **śrubowe**
- **mieszane**

struktura z dyslokacją
krawędziową



struktura
z dyslokacją śrubową



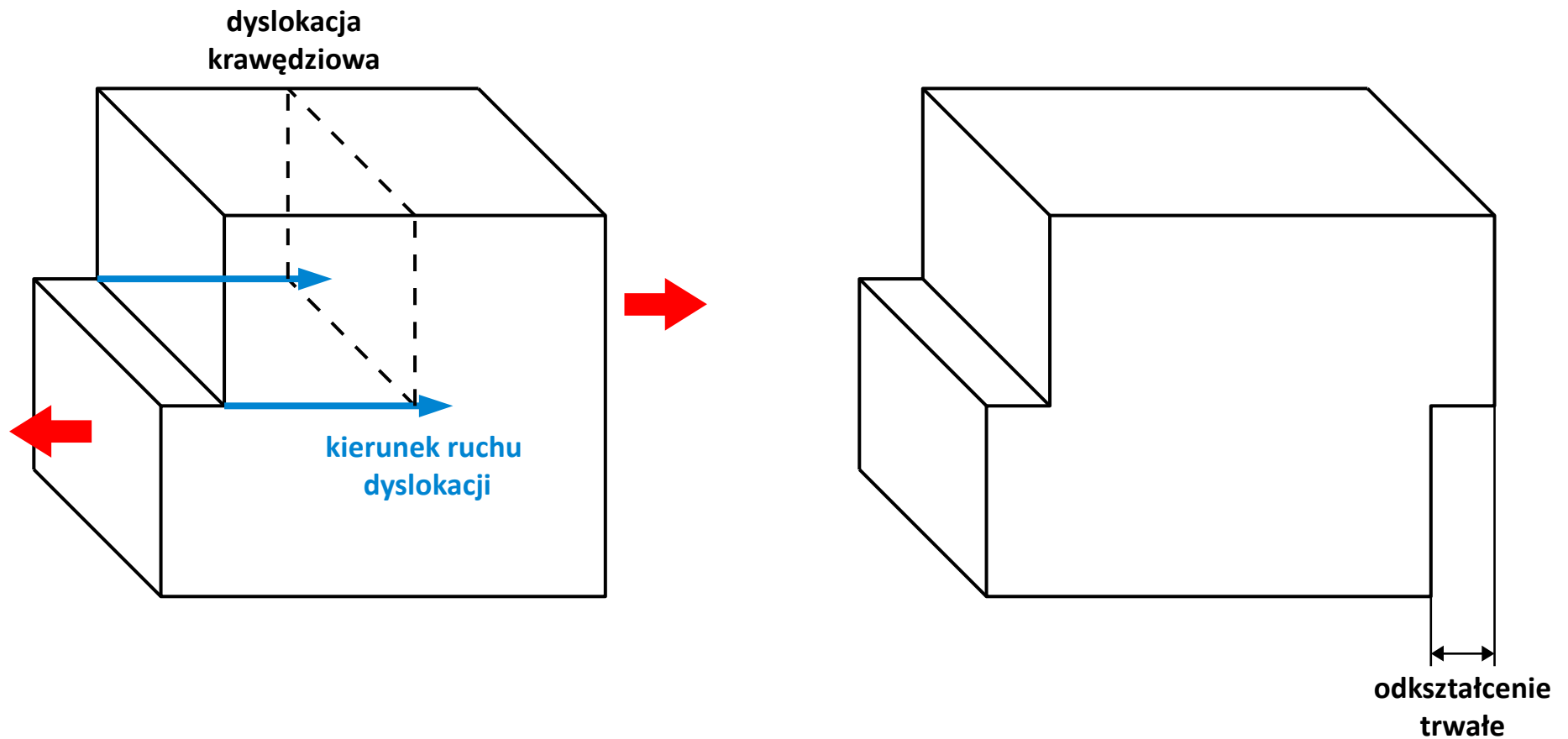
MECHANIZMY DEFORMACJI PLASTYCZNEJ

W obszarze dyslokacji energia potrzebna do przemieszczenia atomów jest znacznie mniejsza niż w strukturze idealnej.

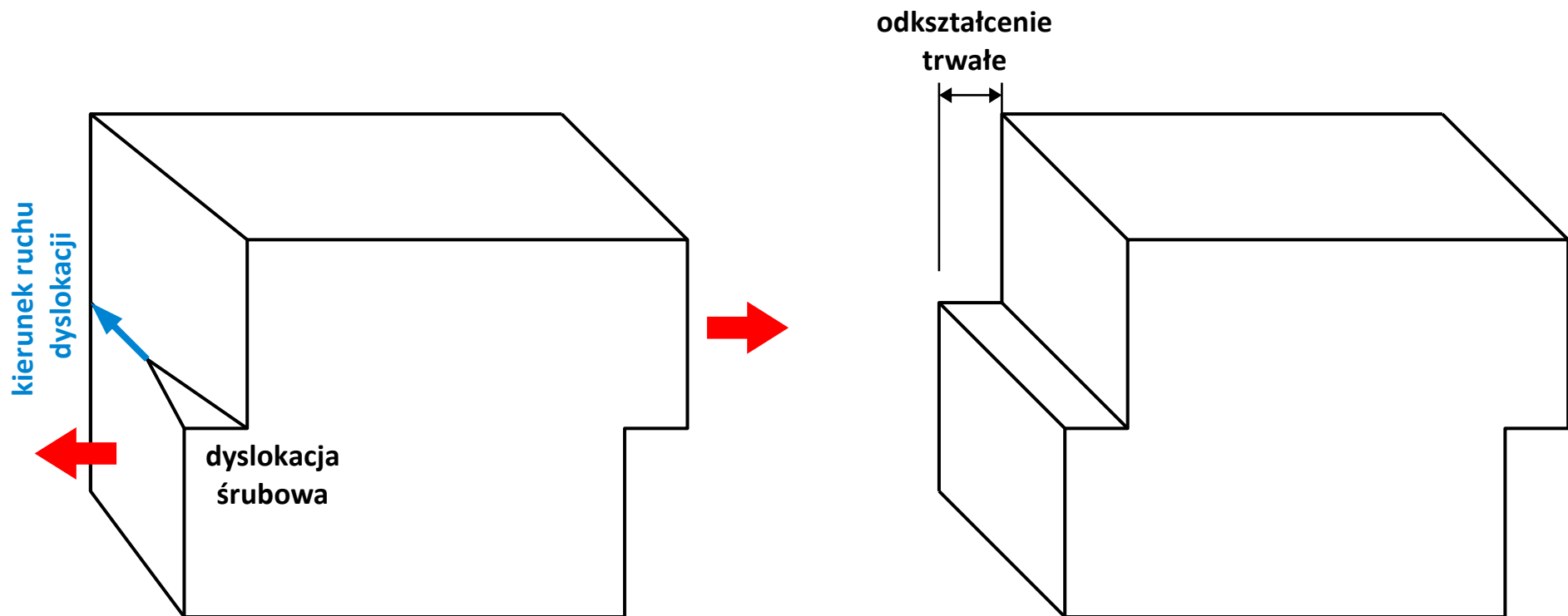
Prosty model deformacji polega na tym, że **atomy wychylone z położenia równowagi** odpowiadającego strukturze idealnej (czyli te w obszarze dyslokacji) **wracają na to położenie równowagi**, natomiast **sąsiednie atomy są wytrącane ze swoich miejsc**.

W efekcie **dyslokacja** (jako pewien układ geometryczny czy też zaburzenie struktury idealnej) „**przesuwa się**” - mówimy wtedy o **ruchu dyslokacji**.

MECHANIZMY DEFORMACJI PLASTYCZNEJ



MECHANIZMY DEFORMACJI PLASTYCZNEJ



MECHANIZMY DEFORMACJI PLASTYCZNEJ

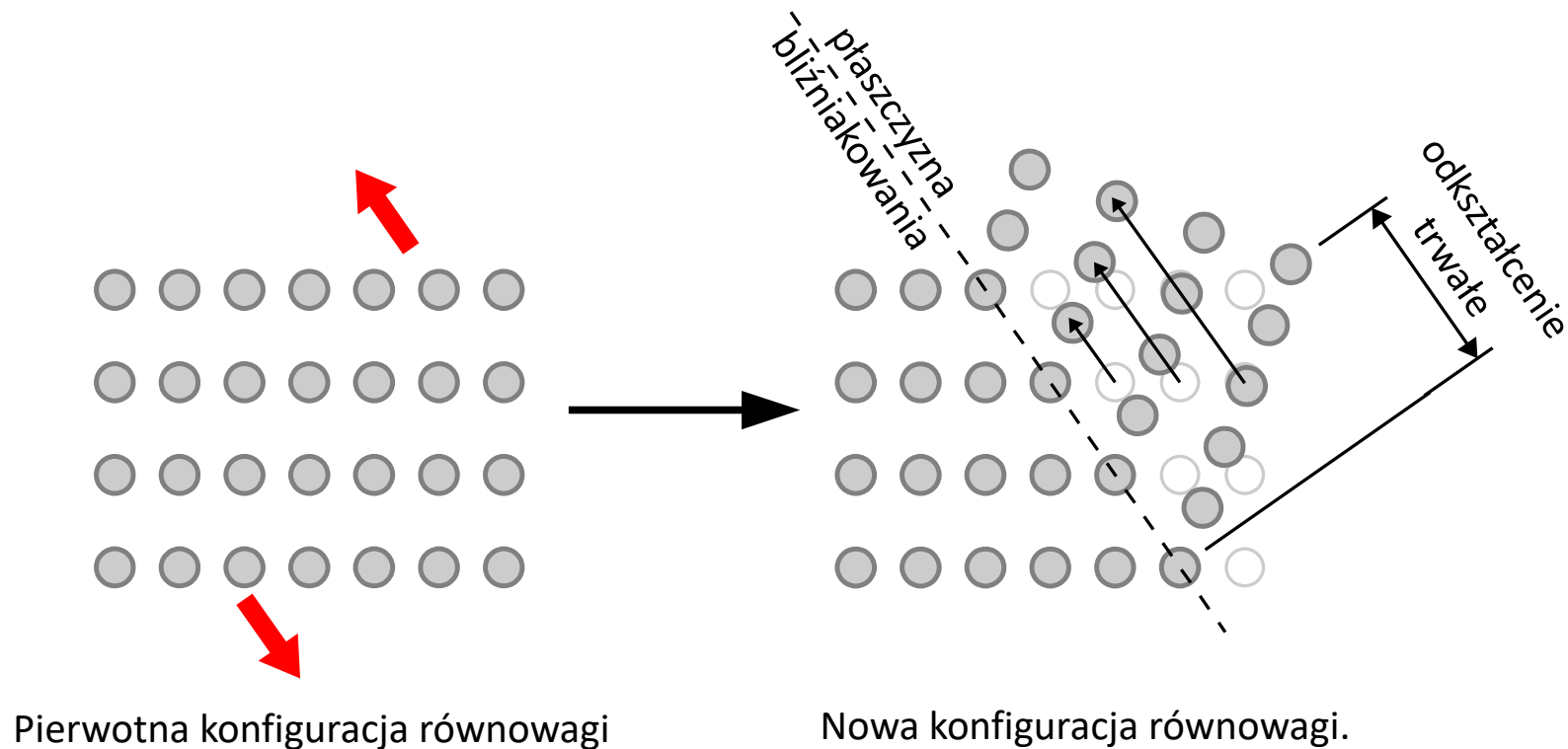
UWAGI:

- Ruch dyslokacji kończy się na powierzchni granicznej ziarna monokrystalicznego.
- Dyslokacje mogą się „przyciągać” lub „odpychać” – energia potrzebna do zbliżenia się zaburzeń jest mniejsza niż ta potrzeba do ich oddalenia się lub na odwrót.
- Nagromadzenie się licznych dyslokacji tego podobnego typu w niewielkim obszarze (koncentracja lub lokalizacja dyslokacji) sprawia, że dyslokacje te wzajemnie się „odpychają” i utrudniają sobie wzajemnie dalszy ruch. Do kontynuowania procesu deformacji plastycznej konieczne jest większe obciążenie – materiał wykazuje **wzmocnienie**.
- Może też zdarzyć się odwrotnie – w niewielkim obszarze gromadzą się dyslokacje różnych typów, które wzajemnie się „przyciągają” i wspomagają swój ruch, który wymaga coraz mniejszego **wymuszenia** – materiał wykazuje **osłabienie**.

MECHANIZMY DEFORMACJI PLASTYCZNEJ

Bliźniakowanie - zmiana struktury krystalicznej pod wpływem obciążenia zewnętrznego, że jedna część tej struktury przekształca się w stosunku do drugiej poprzez przekształcenie symetrii.

- może to być inwersja (odbicie **punktowe**), odbicie symetryczne względem **prostej** lub **płaszczyzny**.
- W przypadku **odbicia względem płaszczyzny** powstają dwa kryształy o tym samym składzie i strukturze przestrzennej, ale o odmiennej orientacji tej struktury – ich **struktury są symetryczne względem płaszczyzny odbicia**, zwanej **płaszczyzną bliźniakowania**. Kryształy te nazywamy **bliźniakami**.



WARUNEK PLASTYCZNOŚCI

WARUNEK PLASTYCZNOŚCI

Mechanizmy deformacji plastycznej mogą zajść tylko w **ściśle określonych warunkach**.

Lokalnie warunki te określają:

- orientacja obciążenia względem możliwych płaszczyzn poślizgu lub bliźniakowania
- energia potrzebna do inicjacji mechanizmu (zależna od rodzaju atomów i odległości między nimi)

Makroskopowo warunek ten formułuje się w postaci pewnej **zależności, którą musi spełniać stan naprężenia** (lub stan **odkształcenia**). Warunek ten nazywamy **warunkiem plastyczności** i z reguły zapisuje się go w postaci:

$$f(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}, \sigma_{23}, \sigma_{31}, \sigma_{12}) = 0$$

Dla **materiałów izotropowych** warunek plastyczności musi być **izotropową skalarną funkcją argumentu tensorowego**, zatem musi się dać wyrazić jako **funkcja skalarna niezmienników tensora naprężenia**, w szczególności zaś, jako funkcja naprężeń głównych:

$$f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = 0$$

WARUNEK PLASTYCZNOŚCI

Alternatywne sformułowania:

- współczynniki równania wiekowego** $f = f(I_1, I_2, I_3)$

$$I_1(\boldsymbol{\sigma}) = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}$$

$$I_2(\boldsymbol{\sigma}) = \sigma_{22}\sigma_{33} + \sigma_{33}\sigma_{11} + \sigma_{11}\sigma_{22} - \sigma_{23}^2 - \sigma_{31}^2 - \sigma_{12}^2$$

$$I_3(\boldsymbol{\sigma}) = \sigma_{11}\sigma_{22}\sigma_{33} + 2\sigma_{23}\sigma_{31}\sigma_{12} - \sigma_{11}\sigma_{23}^2 - \sigma_{22}\sigma_{31}^2 - \sigma_{33}\sigma_{12}^2$$

- niezmienniki aksjatora i dewiatora** $f = f(I_1, J_2, J_3)$

$$I_1(\boldsymbol{\sigma}) = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}$$

$$J_2(\boldsymbol{\sigma}) = \frac{1}{6} \left[(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 \right] + (\sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2 + \sigma_{12}^2)$$

$$J_3(\boldsymbol{\sigma}) = \left(\sigma_{11} - \frac{1}{3} I_1 \right) \left(\sigma_{22} - \frac{1}{3} I_1 \right) \left(\sigma_{33} - \frac{1}{3} I_1 \right) + 2\sigma_{23}\sigma_{31}\sigma_{12} - \left(\sigma_{11} - \frac{1}{3} I_1 \right) \sigma_{23}^2 - \left(\sigma_{22} - \frac{1}{3} I_1 \right) \sigma_{31}^2 - \left(\sigma_{33} - \frac{1}{3} I_1 \right) \sigma_{12}^2$$

- współrzędne walcowe w przestrzeni naprężeń głównych** $f = f(p, q, \theta)$

(np. współrzędne **Lodego**, **Haigha-Westergaarda**)

$$p = \frac{1}{3} I_1 \quad - \text{naprężenie hydrostatyczne}$$

$$q = \sqrt{2 J_2} \quad - \text{naprężenie dewiatorowe}$$

$$\theta = \frac{1}{3} \arccos \left[\frac{3\sqrt{3}}{2} \frac{J_3}{J_2^{3/2}} \right] \quad - \text{kąć Lodego}$$

WARUNEK PLASTYCZNOŚCI

Warunek plastyczności dla materiałów izotropowych:

$$f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = 0$$

może być interpretowany geometrycznie jako równanie powierzchni w trójwymiarowej przestrzeni naprężeń głównych. Powierzchnię tę nazywamy **powierzchnią plastyczności**.

Często stosowanym zabiegiem jest zapisanie warunku plastyczności w postaci:

$$\sigma_{eq} = \sigma_0$$

gdzie:

σ_0 – pewne **naprężenie graniczne** (np. umowna granica plastyczności przy rozciąganiu lub ścinaniu)

σ_{eq} – **naprężenie równoważne** lub **zredukowane** – będące funkcją składowych stanu naprężenia, związaną z warunkiem plastyczności

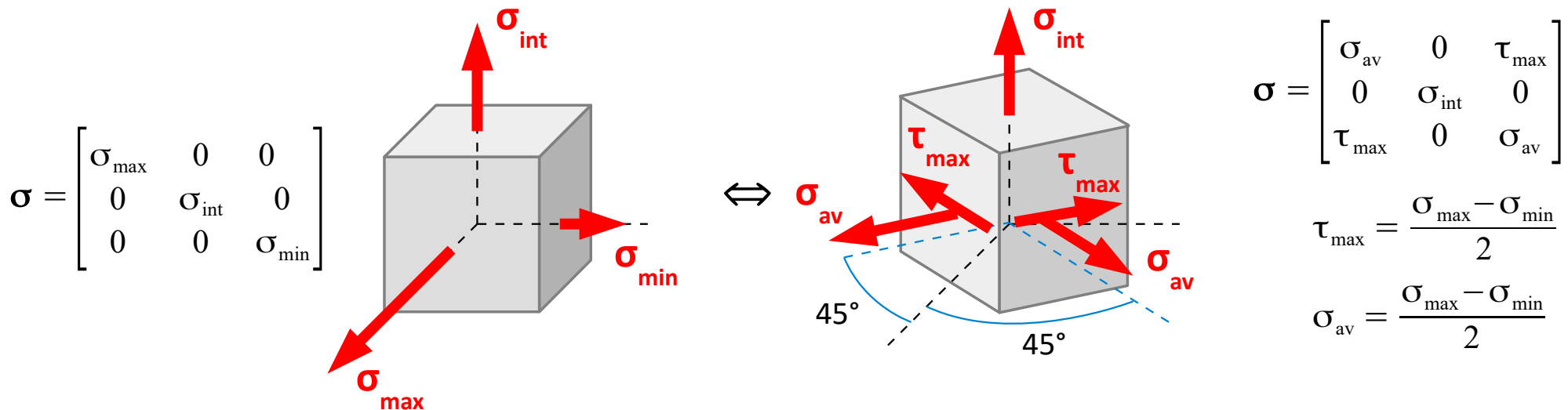
WARUNEK PLASTYCZNOŚCI

WARUNEK PLASTYCZNOŚCI COULOMBA – TRESKI – GUESTA

Uplastycznienie następuje w chwili, gdy **maksymalne naprężenie styczne** osiąga wartość graniczną

$$\tau_{max} = \tau_0 \quad \text{gdzie} \quad \tau_{max} = \max\left(\frac{|\sigma_2 - \sigma_3|}{2}; \frac{|\sigma_3 - \sigma_1|}{2}; \frac{|\sigma_1 - \sigma_2|}{2}\right)$$

Maksymalne naprężenie styczne odpowiada naprężeniom stycznym w płaszczyznach równoległych do kierunku pośredniego naprężenia głównego i nachylonych pod kątem 45° do kierunków maksymalnego i minimalnego naprężenia głównego.



WARUNEK PLASTYCZNOŚCI

Powierzchnię plastyczności stanowi powierzchnia boczna nieskończonej długości graniastostupa o podstawie sześciokąta foremnego i osi nachylonej równomiernie do osi układu naprężeń głównych.

Warunek plastyczności wyrażony przez **naprężenie zredukowane**: $\sigma_{eq} = \sigma_0$

$$\sigma_{eq} = \max(|\sigma_2 - \sigma_3|; |\sigma_3 - \sigma_1|; |\sigma_1 - \sigma_2|)$$

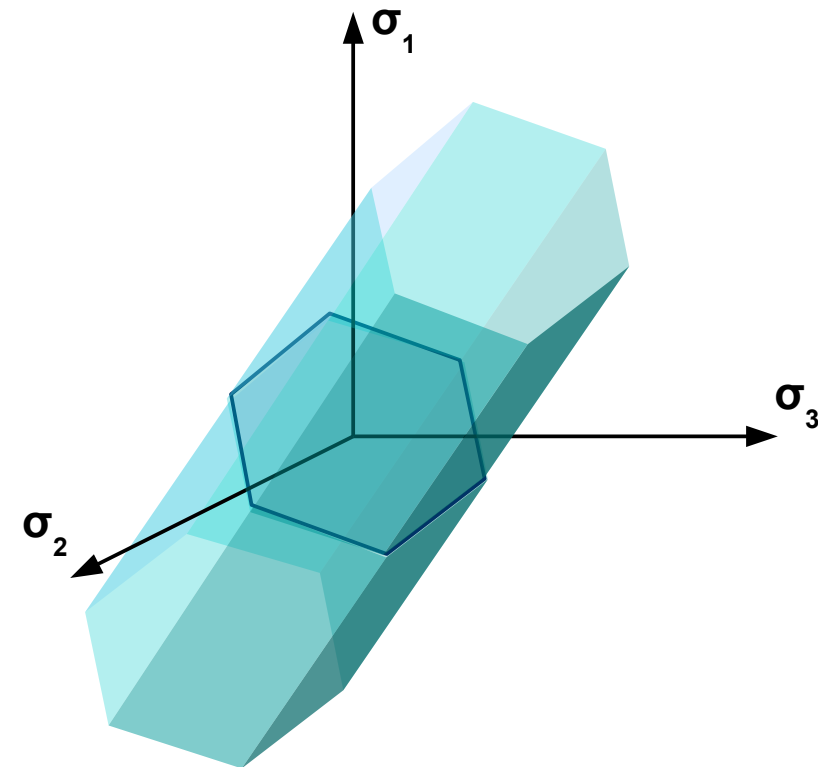
UWAGI:

- Naprężenie hydrostatyczne nie wpływa na wartość naprężenia zredukowanego.
- Materiał wykazuje tę samą granicę plastyczności przy rozciąganiu $\sigma_{0,t}$ i przy ściskaniu $\sigma_{0,c}$:

$$\sigma_{0,t} = \sigma_{0,c}$$

- Związek między granicą plastyczności przy rozciąganiu i ścinaniu:

$$\sigma_{0,s} = \frac{1}{2} \sigma_{0,t}$$



WARUNEK PLASTYCZNOŚCI

WARUNEK PLASTYCZNOŚCI MAXWELLA – HUBERA – MISESA – HENCKY'EGO

Uplastycznienie następuje w chwili, gdy **gęstość energii odkształcenia postaciowego** osiąga wartość graniczną

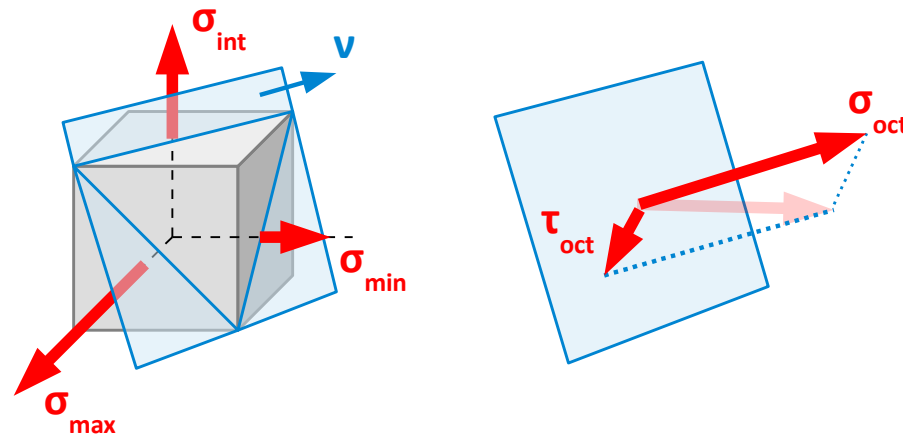
$$\phi_f = h \quad \text{gdzie} \quad \phi_f = \frac{1}{12G} \left[(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2 + \sigma_{12}^2) \right]$$

Warunek plastyczności wyrażony przez **naprężenie zredukowane**: $\sigma_{eq} = \sigma_0$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2 + \sigma_{12}^2) \right]} = \sqrt{3J_2} = \sqrt{\frac{3}{2}} q$$

Naprężenie zredukowane jest proporcjonalne do **stycznej składowej naprężenia oktaedrycznego**, tj. naprężenia odpowiadającego powierzchni o normalnej nachylonej równomiernie do kierunków naprężeń głównych:

$$\sigma_{eq} = \frac{3}{\sqrt{2}} \tau_{oct}$$



WARUNEK PLASTYCZNOŚCI

Powierzchnię plastyczności stanowi powierzchnia boczna walca o nieskończonej długości i osi nachylonej równomiernie do osi układu naprężeń głównych.

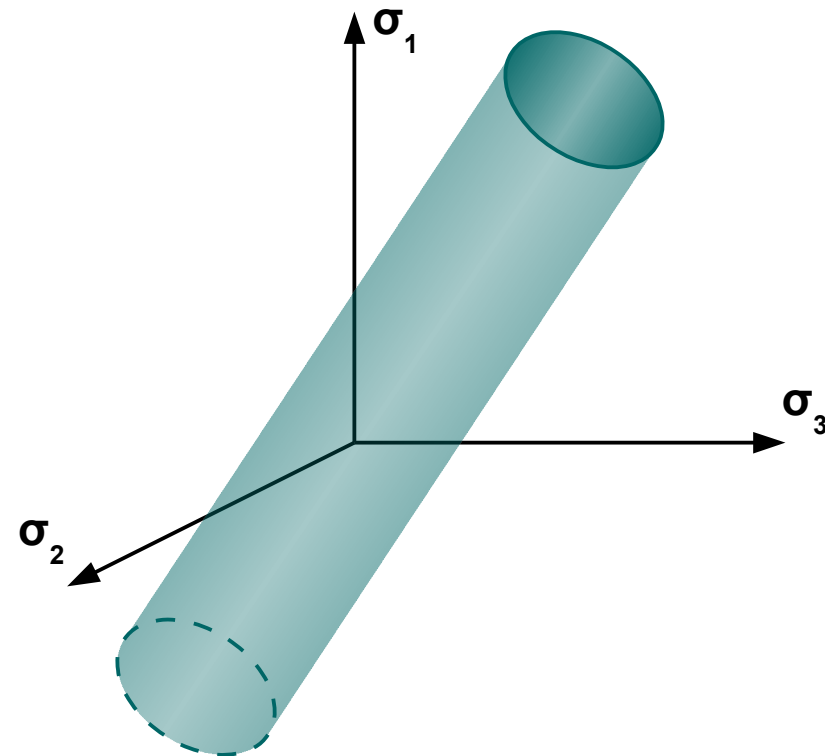
UWAGI:

- Naprężenie hydrostatyczne nie wpływa na wartość naprężenia zredukowanego.
- Materiał wykazuje tę samą granicę plastyczności przy rozciąganiu $\sigma_{0,t}$ i przy ściskaniu $\sigma_{0,c}$:

$$\sigma_{0,t} = \sigma_{0,c}$$

- Związek między granicą plastyczności przy rozciąganiu i ścinaniu:

$$\sigma_{0,s} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_{0,t}$$



WARUNEK PLASTYCZNOŚCI

WARUNEK PLASTYCZNOŚCI BURZYŃSKIEGO

Uplastycznienie następuje w chwili, gdy **gęstość energii odkształcenia postaciowego** osiąga **wartość graniczną zależną od wielkości naprężenia hydrostatycznego** (odkształcenia objętościowego)

$$\phi_f + \left(A + \frac{B}{p} \right) \phi_v = h \quad \Leftrightarrow \quad \phi_f = \tilde{h}(p)$$

gdzie:

gęstość energii odkształcenia postaciowego:

$$\phi_f = \frac{1}{12G} \left[(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2 + \sigma_{12}^2) \right]$$

gęstość energii odkształcenia objętościowego:

$$\phi_v = \frac{1}{18K} (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33})^2$$

naprężenie hydrostatyczne:

$$p = \frac{1}{3} (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33})$$

WARUNEK PLASTYCZNOŚCI

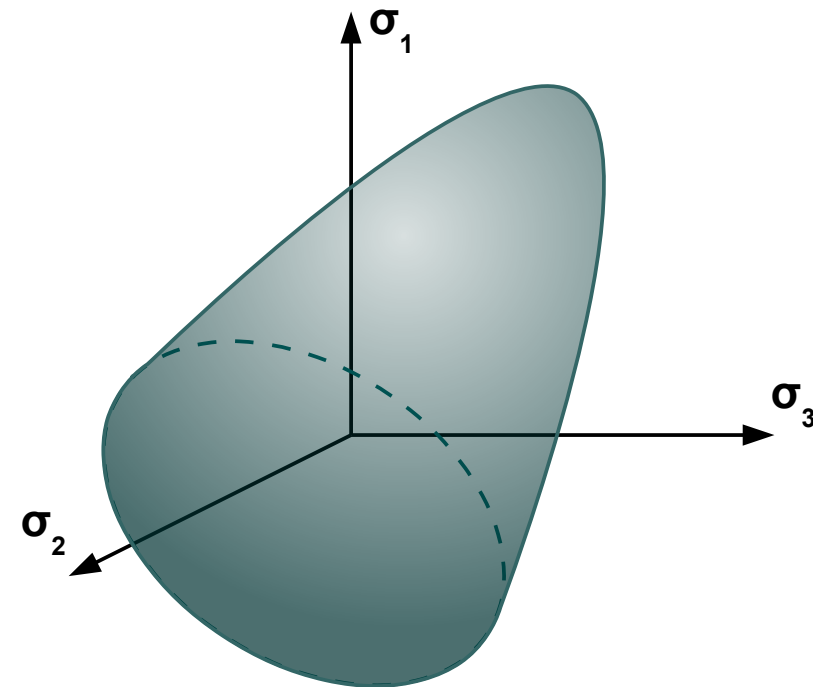
Warunek plastyczności Burzyńskiego można zapisać w następującej postaci:

$$(\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 + \sigma_{33}^2) - 2 \left(\frac{\sigma_{0,c} \sigma_{0,t}}{2 \sigma_{0,s}^2} - 1 \right) (\sigma_{22} \sigma_{33} + \sigma_{33} \sigma_{11} + \sigma_{11} \sigma_{22}) + \frac{\sigma_{0,c} \sigma_{0,t}}{\sigma_{0,s}^2} (\sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2 + \sigma_{12}^2) + (\sigma_{0,c} - \sigma_{0,t}) (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}) - \sigma_{0,c} \sigma_{0,t} = 0$$

Powierzchnię plastyczności stanowi **powierzchnia 2-go stopnia (kwadryka)** o osi symetrii równo nachylonej do kierunków naprężeń głównych – może to być **kula, elipsa obrotowa, paraboloida obrotowa, walec, stożek**, jedna powłoka **dwupowłokowej hiperboloidy obrotowa**.

UWAGI:

- Naprężenie hydrostatyczne może wpływać na wartość naprężenia zredukowanego.
- Materiał może wykazywać różne wartości **granicy plastyczności** przy **rozciąganiu** $\sigma_{0,t}$ i przy **ściskaniu** $\sigma_{0,c}$:
- Szczególnym przypadkiem warunku Burzyńskiego, jest często wykorzystywany **warunek Druckera – Pragera**, odpowiadający powierzchni **stożkowej**.



CHARAKTERYSTYKA DEFORMACJI PLASTYCZNEJ

CHARAKTERYSTYKA DEFORMACJI PLASTYCZNEJ

Deformacja plastyczna wykazuje pewne charakterystyczne cechy:

SPRĘŻYSTY CHARAKTER ODCIĄŻENIA

NIEŚCIŚLIWOŚĆ, BRAK WPŁYWU CIŚNIENIA

ANIZOTROPIA WYMUSZONA

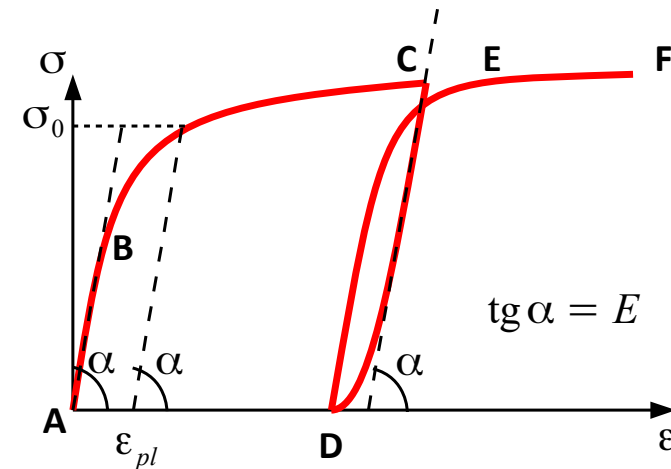
CHARAKTERYSTYKA DEFORMACJI PLASTYCZNEJ

Deformacja plastyczna wykazuje pewne charakterystyczne cechy:

SPRĘŻYSTY CHARAKTER ODCIĄŻENIA

NIEŚCIŚLIWOŚĆ, BRAK WPŁYWU CIŚNIENIA

ANIZOTROPIA WYMUSZONA



- Proces **odciążenia** jest **sprężysty** – tylko odkształcenia sprężyste są odwracalne. Usunięcie odkształceń trwałych wymagałoby zainicjowania nowych poślizgów (dodatkowej energii)
- **Cechy sprężyste** (np. stałe sprężyste) **nie zmieniają się** w wyniku deformacji plastycznej. Dyslokacje obejmują tylko niewielki ułamek objętości całego ciała – poza tymi obszarami struktura ziarna monokrystalicznego jest niezmienną.

CHARAKTERYSTYKA DEFORMACJI PLASTYCZNEJ

Deformacja plastyczna wykazuje pewne charakterystyczne cechy:

SPRĘŻYSTY CHARAKTER ODCIĄŻENIA

NIEŚCIŚLIWOŚĆ, BRAK WPŁYWU CIŚNIENIA

ANIZOTROPIA WYMUSZONA

- Obserwuje się, że w wyniku deformacji plastycznej **objętość ciała nie zmienia się**. Materiał zachowuje się, jakby był nieściśliwy.
- Obserwuje się również **znikomy wpływ naprężenia hydrostatycznego** na spełnienie **warunku plastyczności** (na wartość naprężenia zredukowanego)
- W powszechnie stosowanym **przyrostowym modelu plastyczności ze stowarzyszonym prawem płynięcia** obydwie te zjawiska uwzględnia się poprzez fakt, że **warunek plastyczności nie zależy od naprężenia hydrostatycznego**. Warunek plastyczności określa w tym modelu potencjał plastyczny, na podstawie którego wyznacza się odkształcenia. Gdy potencjał nie zależy od ciśnienia, odkształcenie objętościowe jest zerowe.

CHARAKTERYSTYKA DEFORMACJI PLASTYCZNEJ

Deformacja plastyczna wykazuje pewne charakterystyczne cechy:

SPRĘŻYSTY CHARAKTER ODCIĄŻENIA

NIEŚCIŚLIWOŚĆ, BRAK WPŁYWU CIŚNIENIA

ANIZOTROPIA WYMUSZONA

- W rzeczywistości istnieje pewien wpływ ciśnienia i związana z nim niewielka deformacja objętościowa.
- Wpływ naprężenia hydrostatycznego na warunek plastyczności objawia się tym, że uplastycznienie przy rozciąganiu i ściskaniu występuje przy odrobinę różnych wartościach naprężenia normalnego – nazywamy to efektem SD (ang. *strength differential*)

CHARAKTERYSTYKA DEFORMACJI PLASTYCZNEJ

Deformacja plastyczna wykazuje pewne charakterystyczne cechy:

SPRĘŻYSTY CHARAKTER ODCIĄŻENIA

NIEŚCIŚLIWOŚĆ, BRAK WPŁYWU CIŚNIENIA

ANIZOTROPIA WYMUSZONA

- W ciele polikrystalicznym silna deformacja może doprowadzić do zmiany wzajemnego ułożenia ziaren monokrystalicznych między sobą.
- Jeśli obciążenie jest silnie ukierunkowane (np. jednoosiowe rozciąganie) wtedy ziarna krystaliczne pod wpływem obciążenia doznają obrotu i wydłużają się w kierunku największego odkształcenia rozciągającego.
- Cała struktura wewnętrzna materiału ulega zmianie w taki sposób, że makroskopowe cechy mechaniczne materiału pierwotnie izotropowego nabierają cech **anizotropii wymuszonej** obciążeniem.

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ