

## Ćwiczenie T10

### WPŁYW PARAMETRÓW PROCESÓW WYDŁUŻANIA PRĘTÓW NA WARTOŚĆ SIŁY KSZTAŁTOWANIA

Celem ćwiczenia jest określenie wpływu niektórych parametrów procesów ciągnięcia, przepychania i współbieżnego wyciskania prętów na wartość siły kształtowania.

#### 1. Wiadomości podstawowe

W procesach wydłużania, takich jak: ciągnięcie, przepychanie i wyciskanie prętów (rys. 10.1), po stosunkowo krótkiej fazie wstępnej, występuje ustalenie przebiegu odkształcania materiału i warunków smarowania, co w rezultacie powoduje również ustalenie wartości siły realizującej proces. Wymienione procesy należą więc do grupy tzw. procesów stacjonarnych.

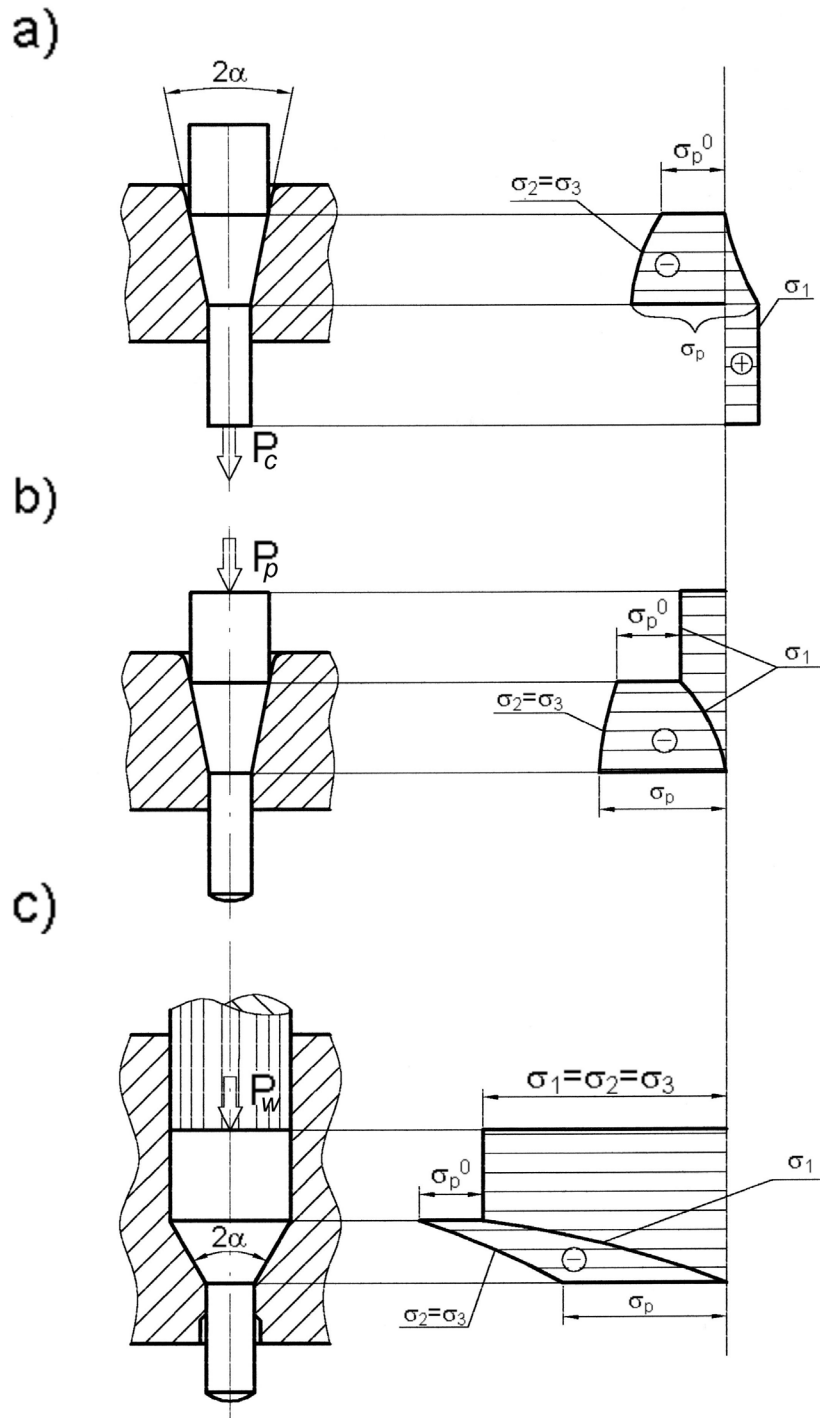
W przypadku wydłużania pręta o przekroju kołowym, zmiana jego przekroju następuje wzdłuż powierzchni roboczej stożka narzędzia o kącie wierzchołkowym  $2\alpha$  (rys. 10.1a). Wartość siły wydłużania  $P$ , a więc również naprężenia osiowego  $\sigma_1$  zależy nie tylko od własności materiału i warunków smarowania, ale także od kąta stożka roboczej  $2\alpha$ , stanu naprężenia (rodzaju procesu) i wartości odkształcenia  $\varepsilon$ . Poniżej omówiono kolejno wpływ wymienionych parametrów na wartość siły wydłużania.

#### 1.1. Wpływ stanu naprężenia

Realizacja omawianych procesów wydłużania prętów zachodzi przy występowaniu, wzdłuż ich osi, różnych rozkładów naprężeń osiowych  $\sigma_1$  i promieniowych  $\sigma_2 = \sigma_3$ . Rozkłady te pokazano schematycznie na rys. 10.1.

Podczas procesu ciągnięcia stan naprężenia w strefie odkształceń plastycznych ulega zmianie od dwuosiowego równomiernego ściskania, przez dwuosiowe ściskanie z rozciąganiem do jednoosiowego rozciągania (rys. 10.1a). W procesie przepychania

natomiast, stan naprężenia zmienia się od trójosiowego nierównomiernego ściskania do dwuosowego równomiernego ściskania (rys. 10.1b).



Rys. 10. 1. Rozkłady naprężeń osiowych i promieniowych dla procesów wydłużania prętów:  
a) ciągnięcia, b) przepychania, c) wyciskania współbieżnego

Na rys. 10.1a, 10.1b wykreślono rozkłady naprężeń promieniowych  $\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3$  dla procesów ciągnięcia i przepychania prętów wykonanych z tego samego materiału, przy zastosowaniu jednakowych wartości parametrów procesu  $\varepsilon$ ,  $2\alpha$  i  $\mu$ . Wartości nacisków jednostkowych działających na powierzchnię stożka roboczego są w przypadku ciągnięcia

znacznie mniejsze niż w przypadku przepychania. Oznacza to, że w porównywalnych warunkach praca tarcia dla ciągnięcia jest również mniejsza niż dla przepychania.

Dla wyciskania współbieżnego rozkładu naprężeń w strefie odkształceń plastycznych są podobne do rozkładów dla przepychania (rys. 10.1c). Ze względu na stosowanie wielokrotnie większych odkształceń niż dla przepychania, naprężenia są tu również dużo większe. Istotna różnica w stosunku do przepychania występuje w nieodkształczonej części pręta, gdzie panuje trójosiowe równomierne ściskanie o wartości naprężeń większych od granicy plastyczności materiału. Powoduje to pojawienie się sił tarcia również na cylindrycznej ścianie matrycy obejmującej materiał nieodkształcany. W rezultacie udział pracy tarcia w całkowitej pracy wydłużania jest dla wyciskania największy. Udział ten powiększa się w miarę wzrostu względnej wysokości  $h_0/d_0$  wstępniaka użytego do wyciskania. Należy podkreślić, że występowanie sił tarcia na cylindrycznej ścianie matrycy powoduje pewien spadek siły wyciskania w miarę wypływania materiału. Dlatego też wyciskanie współbieżne prętów może być uważane za proces stacjonarny tylko z pewnym przybliżeniem.

## 1.2. Wpływ kąta stożka roboczego narzędzia

W każdym z rozważanych przypadków wydłużania prętów całkowitą pracę  $L$ , wykonaną przez siłę zewnętrzną  $P$ , można podzielić na pracę odkształcenia plastycznego  $L_p$ , pracę dodatkowego odkształcenia plastycznego  $L_{pd}$  oraz pracę tarcia  $L_t$ . Wymienione prace są więc związane zależnością:

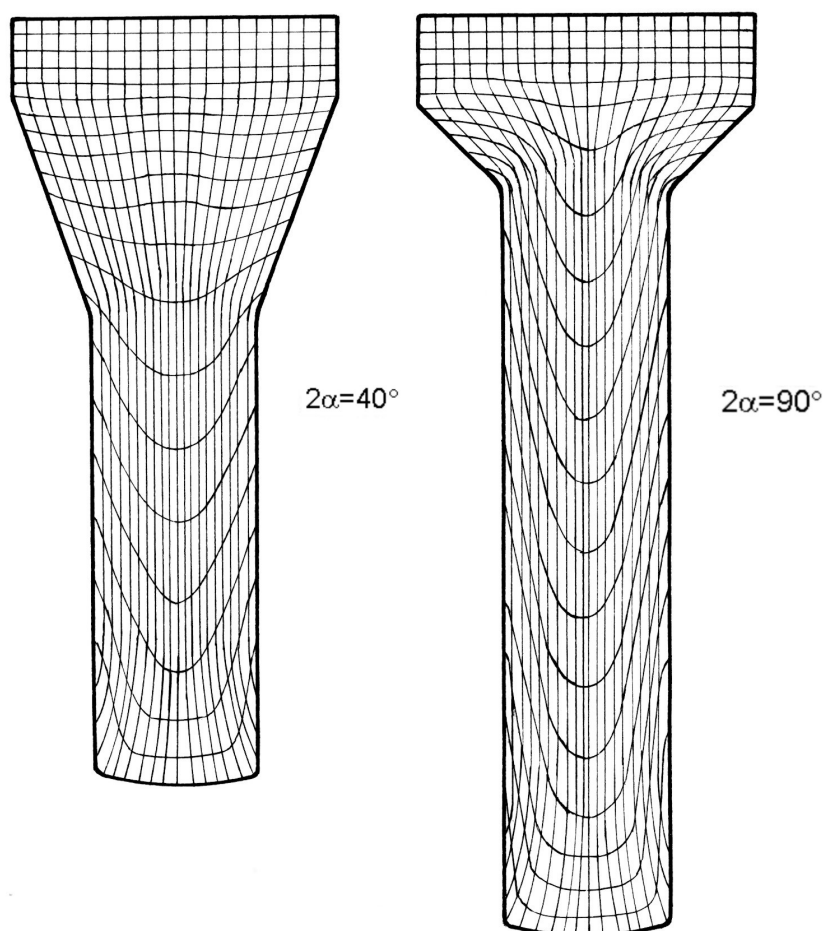
$$L = L_p + L_{pd} + L_t \quad (10.1)$$

Praca odkształcenia plastycznego  $L_p$  odpowiada założeniom proporcjonalnego przebiegu odkształcania i jednorodnego rozkładu odkształceń; zależy więc tylko od przebiegu krzywej umocnienia materiału i wartości odkształcenia  $\varepsilon$ .

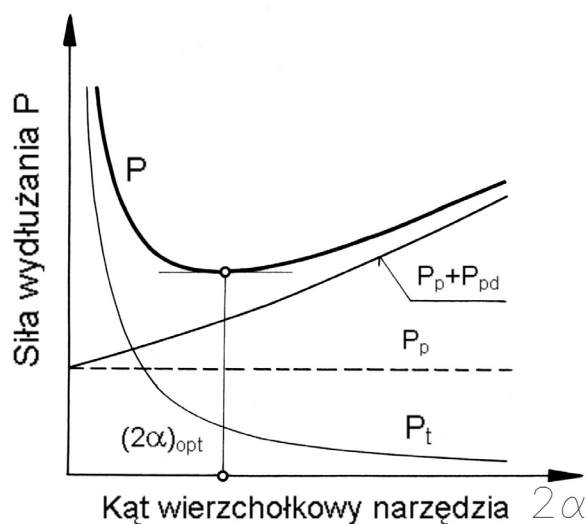
Dodatkowa praca odkształcenia plastycznego  $L_{pd}$  jest związana z warunkami realizacji procesu. Zależy ona od stopnia niejednorodności odkształceń. Największe odkształcenia występują w wierzchniej warstwie kształtowanego przedmiotu, a ich wartość wiąże się z warunkami smarowania. W pozostałej objętości materiału najczęściej występuje również niejednorodny rozkład odkształceń, który zależy przede wszystkim od kąta wierzchołkowego roboczego stożka narzędzia. Niejednorodność taką można stwierdzić, poddając wydłużeniu odcinek pręta złożony z dwóch połówek uzyskanych przez jego przecięcie płaszczyzną osiową. Rozkłady odkształceń można wyznaczyć na podstawie deformacji np. kwadratowej siatki naniesionej na jedną z powierzchni przecięcia. Taka metoda wyznaczania odkształceń jest nazywana metodą wizjoplastyczności. Na rys. 10.2 przedstawiono wpływ kąta stożka roboczego na rozkład odkształceń w wyciskanym pręcie. Jak widać, zwiększenie kąta  $2\alpha$  powoduje wzrost niejednorodności odkształceń, a więc również wzrost pracy  $L_{pd}$ .

Przy określonej wartości odkształcenia  $\varepsilon$ , praca tarcia  $L_t$  zależy od pola powierzchni zetknięcia materiału z narzędziem oraz od występującego tam współczynnika tarcia. Dla

określonych wartości odkształcenia i współczynnika tarcia, pole zetknięcia, a więc i praca tarcia są tym większe, im mniejszy jest kąt stożka roboczego.



Rys. 10. 2. Ilustracja wpływu kąta  $2\alpha$  roboczego stożka matrycy na rozkład odkształceń w wyciskanym pręcie



Rys. 10. 3. Zależności sił  $P_p$ ,  $P_{pd}$ ,  $P_t$  i  $P$  występujących podczas wydłużania prętów od kąta  $2\alpha$  roboczego stożka narzędzia

Z podanego omówienia wynika, że kąt stożka roboczego narzędzia wpływa w różny sposób na składowe pracy wydłużania  $L_{pd}$  i  $L_t$ . Istnieje zatem pewna wartość kąta  $(2\alpha)_{opt}$ , przy której praca wydłużania osiąga minimum, co oznacza, że siła wydłużania  $P$  ma wówczas również najmniejszą wartość. Zależność siły  $P$  od kąta wierzchołkowego  $2\alpha$

można przedstawić jako wynik sumowania sił  $P_p$  (o stałej wartości dla  $\varepsilon = \text{const}$ ),  $P_{pd}$  i  $P_t$ , które można otrzymać, dzieląc poszczególne składowe pracy wydłużania przez przesunięcie odpowiedniego elementu narzędzia, odpowiadające ustalonemu przebiegowi odkształcania materiału. Wykresy przedstawiające zależności wymienionych sił od kąta  $2\alpha$  pokazano na rys. 10.3.

### 1.3. Wpływ odkształcenia $\varepsilon$

Ze wzrostem odkształcenia  $\varepsilon$ , wszystkie składowe pracy wydłużania  $L$  powiększają się. Panuje pogląd, że udział pracy dodatkowego odkształcenia plastycznego  $L_{pd}$  w pracy wydłużania  $L$  jest stosunkowo niewielki. Ponieważ jest on jednocześnie trudny do wyodrębnienia, rozpatruje się go łącznie z udziałem pracy tarcia  $L_t$ .

Praca tarcia  $L_t$  zależy od wartości naprężenia uplastyczniającego  $\bar{\sigma}_p$ , powierzchni  $A$  zetknięcia materiału z matrycą i współczynnika tarcia  $\mu$ . O wartości pracy odkształcenia plastycznego  $L_p$  decydują natomiast wyłącznie naprężenie uplastyczniające  $\bar{\sigma}_p$ , i odkształcenie  $\varepsilon$ .

Podczas współbieżnego wyciskania wstępniaków o jednakowej średnicy  $d_0$  i wysokości  $h_0$ , ale różnych, rosnących wartościach odkształcenia  $\varepsilon$ , występują tylko niewielkie zmiany współczynnika tarcia  $\mu$  i powierzchni styku  $A$  materiału z matrycą. Zmiany powierzchni  $A$  dotyczą stożka roboczego matrycy. Z uwagi na wyciskanie wstępniaków o jednakowych wymiarach  $d_0$  i  $h_0$  są one szczególnie małe w porównaniu do całkowitej powierzchni styku materiału z powierzchniami roboczymi matrycy.

Z powyższych uwag wynika, że praca tarcia  $L_t$  zależy przede wszystkim od wartości naprężenia uplastyczniającego materiał  $\bar{\sigma}_p$ , natomiast praca odkształcenia plastycznego, jako bezpośrednio zależna nie tylko od  $\bar{\sigma}_p$ , ale również od  $\varepsilon$ , wskutek dużego wpływu rosnących wartości  $\varepsilon$ , powiększa się znacznie szybciej niż praca tarcia. Oznacza to, że ze wzrostem odkształcenia, udział pracy tarcia w pracy wydłużania zmniejsza się.

### 1.4. Współczynnik sprawności procesu $\eta$

Udział pracy odkształcenia plastycznego  $L_p$  w pracy wydłużania  $L$  określa się najczęściej za pomocą współczynnika sprawności procesu:

$$\eta = \frac{L_p}{L} \quad (10.2)$$

Im mniejszy jest współczynnik  $\eta$ , tym większy jest udział pracy tarcia  $L_t$  i dodatkowej pracy odkształcenia  $L_{pd}$  w pracy wydłużania  $L$ .

Pracę odkształcenia plastycznego można wyznaczyć za pomocą wzoru  $L_p = wV$ , gdzie  $w$  jest jednostkową pracą odkształcenia plastycznego, określoną na podstawie znanego przebiegu krzywej umocnienia materiału,  $V$  – objętością materiału odkształconego. Przy

znanych wartościach przemieszczenia  $h$  i poprzecznego przekroju pręta  $A_p$ , na który działa ta siła  $P$  realizująca proces – objętość materiału określa zależność  $V = hA_p$ . Dla procesów stacjonarnych praca wydłużenia jest określona zależnością  $L = Ph = \sigma_1 A_p h$ , gdzie  $\sigma_1$  oznacza naprężenie osiowe procesu wydłużania. Podstawiając wymienione związki do wzoru (10.2), otrzymuje się zależność:

$$\eta = \frac{whA_p}{\sigma_1 A_p h}, \quad (10.3)$$

a następnie, po jej przekształceniu, wzór na naprężenia osiowe:

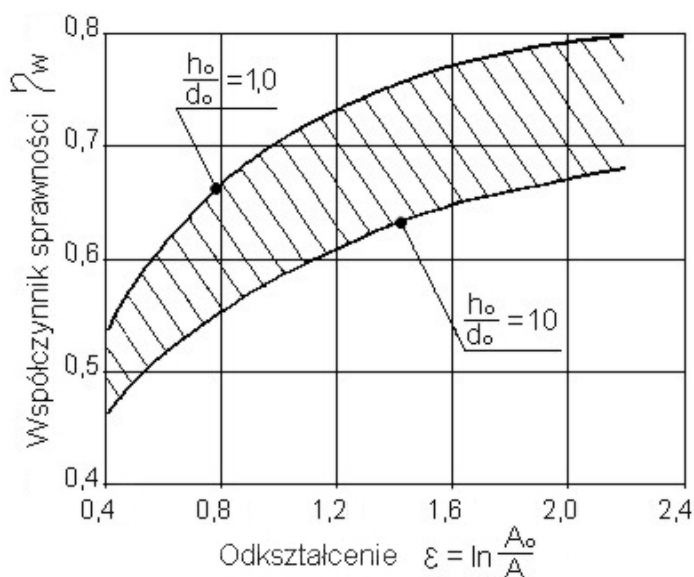
$$\sigma_1 = \frac{w}{\eta} \quad (10.4)$$

Aby obliczyć naprężenie osiowe  $\sigma_1$  trzeba znać wartość jednostkowej pracy odkształcenia plastycznego  $w$  i współczynnika sprawności procesu  $\eta$ . Jak wynika z dotychczasowych rozważań, współczynnik ten zależy od rodzaju i warunków realizacji procesu oraz od wartości odkształcenia  $\varepsilon$ . Wartość  $\eta$  można wyznaczyć doświadczalnie, posługując się zależnością (10.3). Ponieważ występujący w tej zależności iloczyn  $\sigma_1 A_p = P$ , więc

$$\eta = \frac{wA_p}{P} \quad (10.5)$$

Dla danego procesu, warunków odkształcania i wartości odkształcenia  $\varepsilon$ , siłę  $P$  wyznacza się doświadczalnie. Pracę jednostkową  $w$  określa się natomiast na podstawie znanego przebiegu krzywej umocnienia materiału.

Na rys. 10.4 pokazano wyznaczone doświadczalnie wykresy przedstawiające przybliżone zależności  $\eta(\varepsilon)$  dla współbieżnego wyciskania stalowych przedmiotów trzpieniowych ze wstępniaków o względnej wartości  $h_0/d_0 = 1$  i  $h_0/d_0 = 10$  za pomocą matryc o optymalnym wierzchołkowym kącie stożka roboczego  $2\alpha_{opt} = 60^\circ$ . Jak wynika z przebiegu tych zależności, zwiększenie względnej wysokości wstępniaka  $h_0/d_0$  wywołuje znaczny spadek sprawności procesu  $\eta$ . Jest on spowodowany zwiększającym się udziałem



pracy tarcia  $L_t$  w całkowitej pracy wydłużania  $L$ .

Rys. 10. 4. Wpływ odkształcenia  $\varepsilon$  na wartości współczynnika sprawności  $\eta_w$  współbieżnego wyciskania stalowych wyprasek trzpieniowych przy zastosowaniu optymalnego kąta stożka roboczego matrycy  $2\alpha$  oraz fosforanowanych i namydlanych wstępniaków

## 2. Wykonanie ćwiczenia

Ćwiczenie jest dwuczęściowe. Celem jego pierwszej części jest określenie wpływu rodzaju procesu na wartość naprężeń osiowych  $\sigma_1$ , rozpatrzone na przykładzie ciągnięcia i przepychania prętów. Wpływ odkształcenia  $\varepsilon$  na naprężenie  $\sigma_1$  jest zadaniem drugiej części ćwiczenia. Do jej realizacji przewidziano proces wyciskania współbieżnego prętów, gdyż może on być prowadzony przy zastosowaniu odkształceń o znacznie różniących się wartościach.

### 2.1. Wpływ rodzaju procesu na wartość osiowego naprężenia $\sigma_1$

W celu porównania wpływu stanów naprężeń występujących w procesach ciągnięcia i przepychania na wartość naprężenia  $\sigma_1$  przyjęto, że procesom tym zostanie poddany ten sam materiał, przy zastosowaniu tej samej matrycy oraz jednakowych odkształceń  $\varepsilon$  i warunków smarowania.

Założenie jednakowego odkształcenia dla obu tych procesów ogranicza oczywiście jego wartość. Można bowiem zastosować tylko takie odkształcenie, jakie jest możliwe do realizacji w procesie przepychania (*dlaczego?*).

Próbka 5 przeznaczona do ciągnięcia i przepychania, pokazana na rys.10.5a, składa się z części A i B o średnicy  $d_0$  oraz części chwytowej o średnicy  $d$ , umożliwiającej ciągnięcie. Odcinek A próbki zostanie poddany ciągnięciu, natomiast odcinek B przepychaniu.

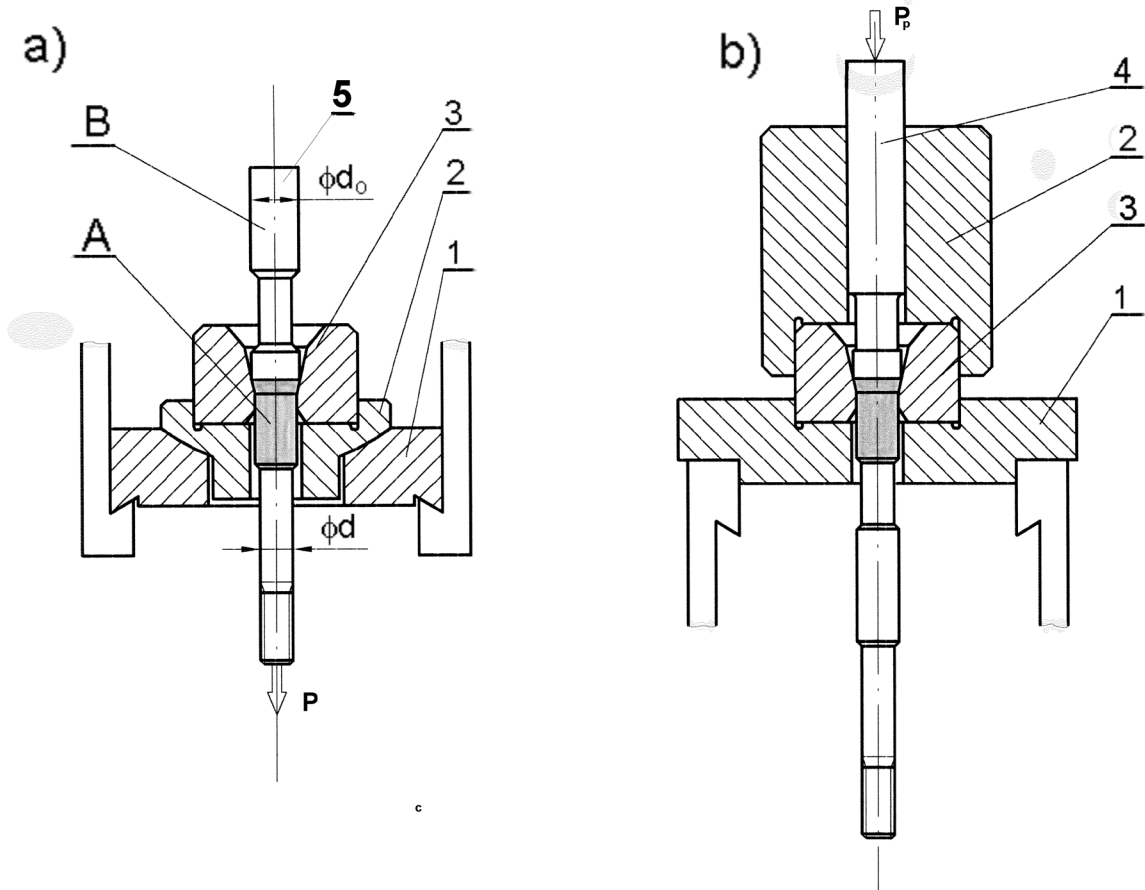
Procesy ciągnięcia i przepychania są prowadzone na maszynie wytrzymałościowej, co umożliwia rejestrację przebiegów sił. Ciągadło podczas realizacji procesu ciągnięcia na maszynie wytrzymałościowej pokazano na rys. 10.5a. Między płytą oporową 1 i ciągadłem 3 znajduje się element pośredni 2 o powierzchni kulistej, co zapewnia osiowe obciążenie próbki.

Ciągadło podczas realizacji procesu przepychania pokazano na rys. 10.5b. Ponieważ popychacz 4 próbki 5, w stosunku do ciągadła 3 jest prowadzony za pomocą tulei 2, nie zachodzi tu konieczność zastosowania pośredniego elementu z powierzchnią kulistą. Robocza część popychacza 4 ma oczywiście nieco mniejszą średnicę niż otwór ciągadła.

#### *Wykonanie prób ciągnięcia i przepychania*

1. Sporządzić arkusz pomiarowy. Powinien on zawierać charakterystykę badanego materiału (w tym również jego twardość), wymiary roboczego otworu matrycy, wymiary próbki przed i po kształtowaniu, wartość odkształcenia  $\varepsilon$ , wartości sił ciągnięcia i przepychania wyznaczone doświadczalnie oraz twardości HRA próbki po kształtowaniu, a także twardości HB, określone za pomocą tablic porównawczych.
2. Zmierzyć mikrometrem średnicę  $d_0$  części A i B próbki. Określić jej średnie wartości z trzech pomiarów wykonanych dla każdego odcinka.

3. Zmierzyć twardość próbki metodą Rockwella, stosując skalę A. Wyznaczyć średnie wartości HRA z trzech pomiarów wykonanych dla części A i B próbki. Określić również twardości HB obu odcinków próbki, posługując się odpowiednimi tablicami porównawczymi.



Rys. 10. 5. Ustawienie przyrządów na maszynie wytrzymałościowej do realizacji procesów:  
a) ciągnięcia, b) przepychania (opis w tekście)

4. Dobrać zakres pomiarowy maszyny wytrzymałościowej. W tym celu obliczyć siłę  $P_p$  przepychania próbki, przyjmując wartość współczynnika sprawności procesu  $\eta = 0,35$  oraz posługując się charakterystyką umacniania materiału próbki otrzymaną od prowadzącego ćwiczenie.
5. Zgodnie z rys. 10.5a, zmontować przyrząd do ciągnięcia.
6. Podczas ciągnięcia rejestrować przebieg siły w funkcji przesunięcia uchwytu maszyny. Odczytać z dynamometru wartość ustalonej siły ciągnięcia  $P_c$ .
7. Zgodnie z rys. 10.5b przebroić maszynę do operacji przepychania.
8. Przeprowadzić proces przepychania, rejestrując przebieg siły. Odczytać wartość ustalonej siły przepychania  $P_p$ .
9. Zmierzyć mikrometrem średnice odkształconych odcinków próbki, postępując w ten sam sposób jak w p. 2.
10. Zmierzyć twardość odkształconych odcinków próbki, postępując podobnie jak w p. 3.



## 2.2. Wpływ odkształcenia $\varepsilon$ na wartość osiowego naprężenia $\sigma_1$

Proces wyciskania będzie realizowany dla próbek o jednakowych wymiarach, wykonanych z jednego pręta. Zmianę wartości odkształcenia  $\varepsilon$  uzyska się przez zastosowanie kilku matryc o różnych średnicach otworów roboczych, ale stałym kącie stożka roboczego. Podczas wszystkich prób wyciskania zostaną zachowane niezmiennie warunki smarowania.

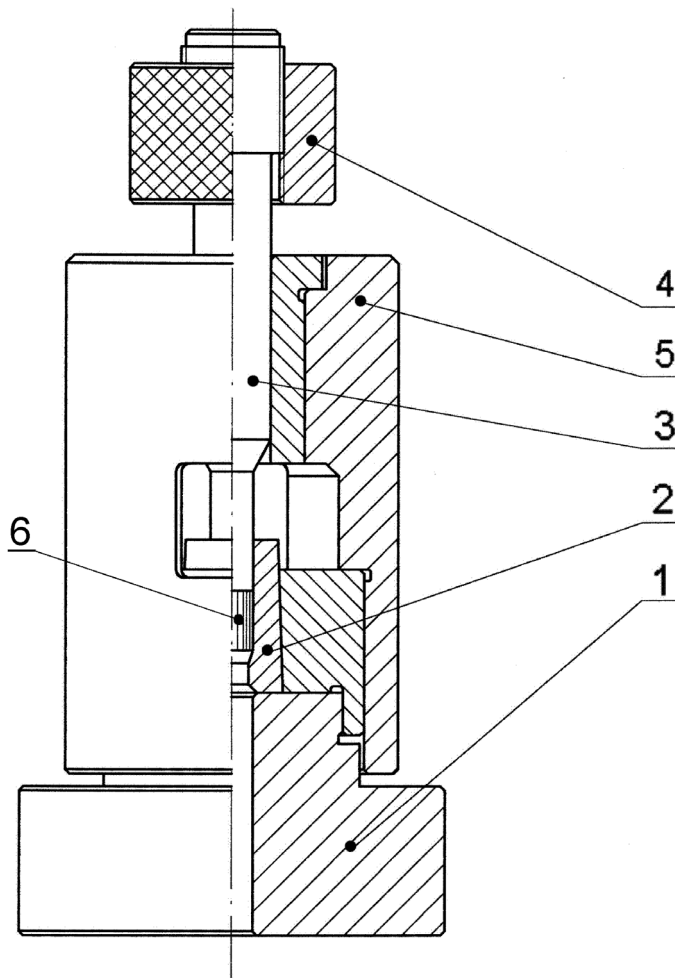
Przyrząd do wyciskania, pokazany na rys. 10.6, składa się z płyty podstawowej 1 wymiennej matrycy 2 (z umieszczoną w niej próbką 6), stempla 3 z nakrętką 4 oraz tulei 5, która zapewnia współosiowe położenie stempla w stosunku do otworu matrycy. Przyrząd jest przystosowany do pracy na maszynie wytrzymałościowej, a więc nie ma wypychacza. Wypychanie wyciśniętej wypraski odbywa się po uprzednim wyjęciu matrycy z przyrządu. Przeprowadza się je na innej maszynie wytrzymałościowej, zgodnie ze schematem pokazanym na rys. 10.7.

### *Wykonanie prób wyciskania współbieżnego*

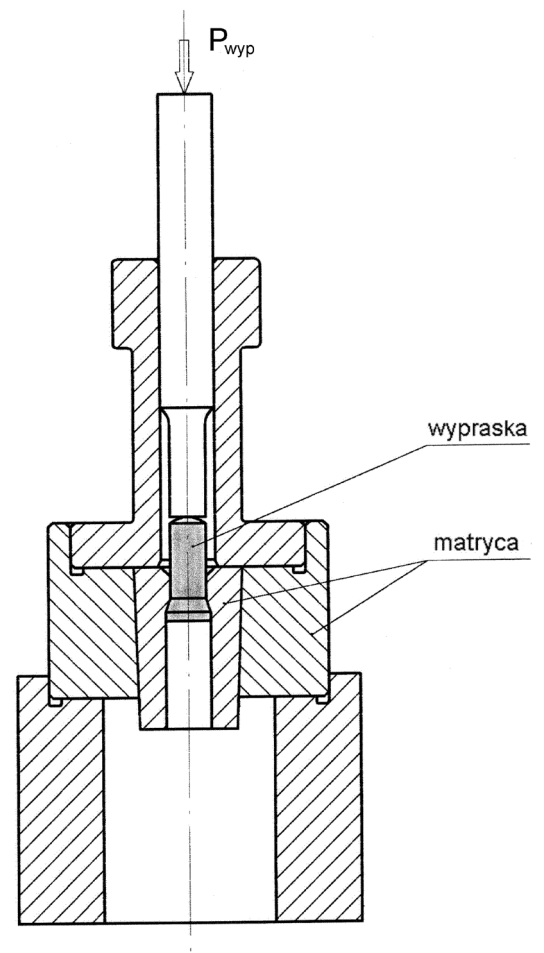
1. Sporządzić arkusz pomiarowy. Powinien on zawierać charakterystykę materiału przeznaczonego do wyciskania (w tym również jego twardość), wymiary wstępniaków i wyciśniętych przedmiotów, wymiary roboczych otworów matryc, największe siły wyciskania  $(P_w)_{max}$  i wypychania  $(P_{wyp})_{max}$  przedmiotów z matryc oraz twardości trzonów wyciśniętych przedmiotów (wyprasek).
2. Zmierzyć wstępniaki i średnice roboczych otworów matryc.
3. Zmierzyć twardość próbek metodą Rockwella, stosując skalę A lub F. Pomiary przeprowadzić dla wszystkich próbek i określić wartość średnią.
4. Dobrać zakres pomiarowy maszyny wytrzymałościowej typu ZD100. W tym celu po odpowiednim przekształceniu wzoru (10.5) obliczyć przybliżoną wartość siły wyciskania  $(P_w)_{max}$  próbki o największym odkształceniu. Od prowadzącego ćwiczenie uzyskać informację dotyczącą charakterystyki umacniania badanego materiału. Współczynnik sprawności  $\eta_w$  odczytać z wykresu podanego na rys. 10.4. Zakres pomiarowy maszyny powinien być większy od obliczonej siły co najmniej o 30%.
5. Przygotować wstępniaki do wyciskania.
6. Wybrać trzy matryce o znacznie różniących się średnicach otworów roboczych.
7. Przygotować przyrząd do wyciskania z matrycą o największym otworze. Nakrętkę 4 stempla 3 (rys. 10.6) ustawić w taki sposób, aby po zmontowaniu przyrządu bez wstępniaka, krawędź czoła stempla była oddalona od powierzchni stożka roboczego matrycy co najmniej o 2 mm.
8. Po włożeniu wstępniaka do matrycy i ustawieniu przyrządu na stole maszyny wytrzymałościowej, przeprowadzić wyciskanie, rejestrując przebieg siły  $P_w$ . Na

otrzymanym wykresie i arkuszu pomiarowym odnotować największą wartość siły wyciskania  $(P_w)_{max}$ .

9. Wyjąć matrycę z przyrządu i zgodnie z rys. 10.7 wypchnąć z niej wyciśniętą wypraskę, rejestrując jednocześnie przebieg siły wypychania. Na otrzymanym wykresie i karcie pomiarowej zanotować wartość największej siły wypychania  $(P_{wyp})_{max}$ .
10. W sposób opisany w p. 8 i 9 przeprowadzić wyciskanie pozostałych próbek, stosując kolejno matryce o malejącym otworze roboczym.
11. Zmierzyć mikrometrem średnice trzonów wyciśniętych wyprasek.
12. Wykonać pomiary twardości trzonów wyciśniętych wyprasek, stosując skalę A lub F metody Rockwella. Twardość mierzyć w pobliżu łbów wyprasek. Posługując się odpowiednimi tablicami porównawczymi, określić dla wszystkich wyprasek przybliżone twardości HB.



Rys. 10. 6. Przyrząd do wyciskania współbieżnego (opis w tekście)



Rys. 10. 7. Schemat wypychania wypraski trzypiennej z matrycy

### 3. Opracowanie sprawozdania

#### 3.1. Wpływ rodzaju procesu na wartość naprężenia osiowego $\sigma_1$

W sprawozdaniu powinny znajdować się następujące opracowania cząstkowe:

1. Starannie sporządzona i wypełniona karta pomiarowa.
2. Wklejone do sprawozdania wykresy przedstawiające przebiegi sił ciągnięcia i przepychania, zarejestrowane podczas wykonywania ćwiczenia. Wykresy powinny mieć oznaczone osie, naniesione podziałki, a także przypisane niezbędne omówienia.
3. Obliczenia zastosowanego odkształcenia  $\varepsilon$ , sprawności procesów ciągnięcia  $\eta_c$ , przepychania  $\eta_p$ , a także wartości stosunku  $\eta_c/\eta_p$ . Należy wyjaśnić przyczyny znacznych różnic w wartościach  $\eta_c$  i  $\eta_p$ .
4. Omówienie wzrostu twardości HB materiału, wywołane procesem ciągnięcia i przepychania oraz porównanie go ze wzrostem naprężeń uplastyczniających  $\sigma_p$ .
5. Obliczenie wartości naprężeń osiowych  $\sigma_1$  występujących w nieodkształconych odcinkach próbki podczas realizacji procesów ciągnięcia i przepychania. Określenie dla tych procesów wartości współczynników pewności technologicznej  $N_{tc}$  i  $N_{tp}$ .

#### 3.2. Wpływ odkształcenia $\varepsilon$ na wartość naprężenia osiowego $\sigma_1$

Sprawozdanie powinno zawierać następujące opracowania cząstkowe:

1. Starannie sporządzona i wypełniona karta pomiarowa.
2. Wklejone do sprawozdania wykresy przebiegu sił wyciskania  $P_w$  i wypychania  $P_{wyp}$  zarejestrowane podczas wykonywania ćwiczenia. Wykresy powinny mieć oznaczone osie, naniesione podziałki, podane maksymalne wartości sił wyciskania  $(P_w)_{max}$  i wypychania  $(P_{wyp})_{max}$  a także przypisane niezbędne omówienia.
3. Obliczenia wartości odkształceń zastępczych  $\varepsilon$  oraz współczynników sprawności procesu wyciskania  $\eta_w$  dla wszystkich przypadków wyciskania.
4. Omówienie i wyjaśnienie ewentualnych różnic w położeniu trzech punktów o znanych wartościach współrzędnych  $(\varepsilon, \eta_w)$ , wyznaczonych doświadczalnie w ćwiczeniu, w stosunku do zależności  $\eta_w(\varepsilon)$  określonych dla współbieżnego wyciskania prętów stalowych, które przedstawia rys. 10.4.
5. Obliczenia wartości największych naprężeń osiowych  $\sigma_1$ , naprężeń uplastyczniających  $\sigma_p$  oraz jednostkowej pracy odkształcenia plastycznego  $w$  dla zrealizowanych w ćwiczeniu operacji wyciskania. Przedstawienie i omówienie wyników tych obliczeń w postaci punktów naniesionych w układzie osi współrzędnych, w którym oś odciętych oznacza odkształcenie  $\varepsilon$ .

6. Omówienie wpływu odkształcenia  $\varepsilon$  na twardość trzonów wyciśniętych wyprasek.

#### 4. Pytania

1. Jaki związek występuje między siłami ciągnięcia i przepychania prętów, a współczynnikami sprawności tych procesów, jeżeli poddaje się im pręt o znanym przekroju poprzecznym  $A_0$ , a jednakowe odkształcenie  $\varepsilon$  uzyskuje się za pomocą tego samego ciągadła?

2. Jak określa się wartość współczynnika pewności technologicznej dla procesów ciągnięcia i przepychania prętów?

3. Dlaczego przy określonej wartości odkształcenia  $\varepsilon$  występuje optymalna wartość kąta  $(2\alpha)_{opt}$ ?

4. W jaki sposób kąt stożka roboczego ciągadła wpływa na rozkład twardości w poprzecznym przekroju ciągniętego pręta?

5. Jeżeli procesy ciągnięcia i przepychania prowadzi się przy największych dopuszczalnych odkształceniach, to w którym z nich naprężenie osiowe  $\sigma_1$  osiąga większą wartość?

6. Uszeregować procesy ciągnięcia, przepychania i wyciskania współbieżnego prętów ze względu na największe, możliwe do uzyskania, wydłużenie.

7. Jaki wpływ na sprawność procesu współbieżnego wyciskania prętów ma względna wartość wstępniaka  $(h_0/d_0)$ ?

8. Jak zmiana kąta stożka roboczego matrycy  $2\alpha$  wpływa na siłę wyciskania?

9. Czy zastosowanie w procesie ciągnięcia przeciwciaгу wpływa na wartość naprężeń ściskających  $\sigma_2=\sigma_3$ ?

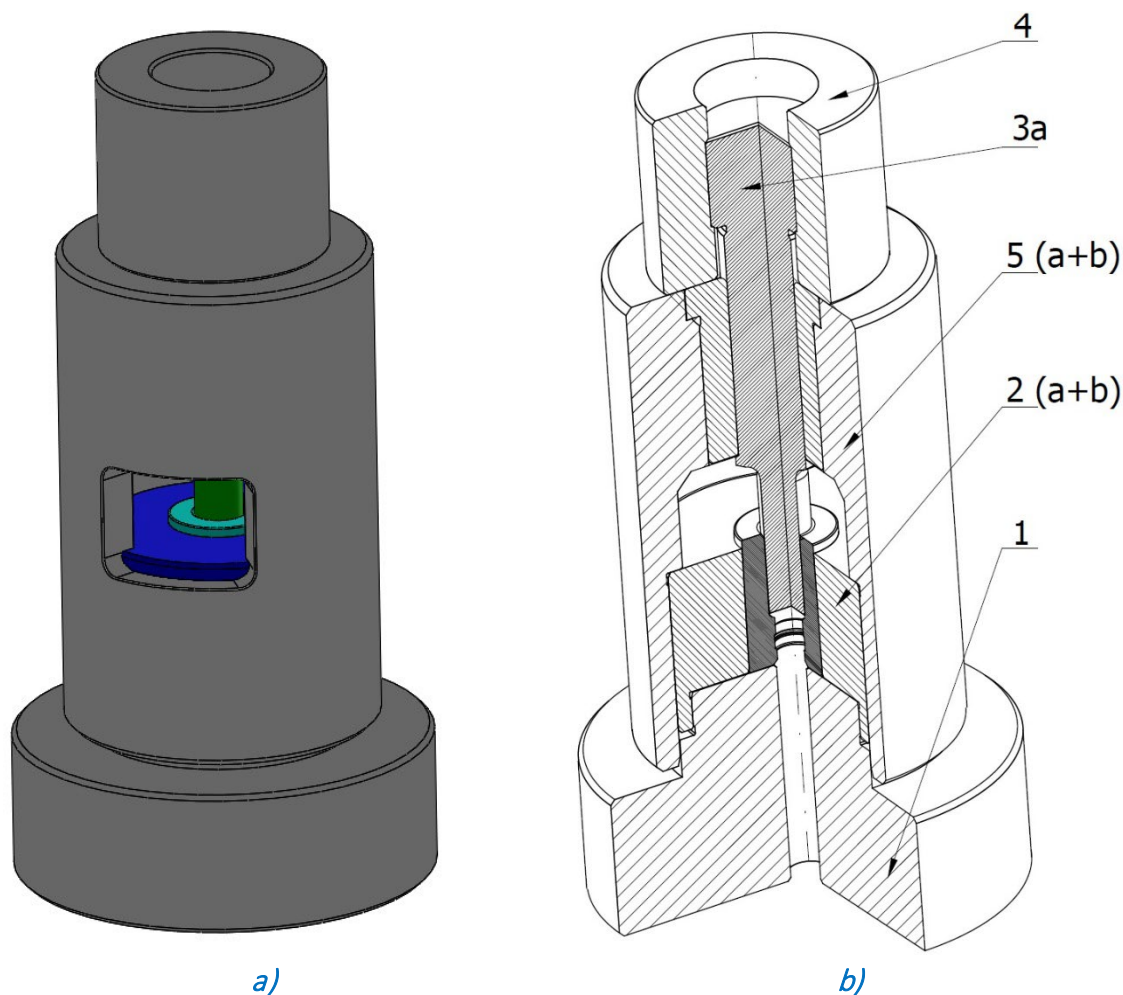
10. Wymienić czynniki ograniczające wartość największego odkształcenia możliwego do zastosowania w procesach ciągnięcia, przepychania i wyciskania prętów.

#### Literatura

[1] Erbel S., Kuczyński K., Marciniak Z.: Techniki wytwarzania. Obróbka Plastyczna. PWN, Warszawa 1986, s. 243 ÷ 260.

## Uzupełnienia T10

Przyrząd do wyciskania współbieżnego dla celów inwentarzowych oznaczono symbolem ftRT. Po wykonaniu przyrządu w metalu zweryfikowano dokumentację konstrukcyjną i z uwzględnieniem realnych wymiarów sporządzono model 3D i rysunki 2D. Na rys. 10.8 pokazano złożenie przyrządu do wyciskania w postaci modelu bryłowego (rys. 10.8a) i widoku izometrycznego (rys. 10.8b). Przyrząd jest w stanie zamkniętym, który osiągnie po zakończeniu wyciskania z użyciem zestawu narzędziowego typu A. Ten zestaw składa się z matrycy umożliwiającej redukcję przekroju walcowego wstępniaka z  $\varnothing 15$  mm na  $\varnothing 11,5$  mm i odpowiedniego stempla. Rysunek zestawieniowy (analogiczny do pokazanego na rys. 10.6) zapisano w zbiorczym pliku DWG wraz z kolekcją rysunków wykonawczych wszystkich części składowych przyrządu. Listę części zapisano w wydzielonym pliku DOC. Wykaz plików dokumentacji technicznej przyrządu do wyciskania zapisano w tablicy Tab.1.



Rys. 10. 8. Złożenia przyrządu do wyciskania: a) model 3D, b) widok izometryczny

Tab. 1. Wykaz plików dokumentacji technicznej przyrządu do wyciskania

Rodzaj dokumentu	Oprogramowanie	Nazwa pliku
Model 3D (złożenie)	SolidWorks 2019	[ Zlozenie_ftRT_A_15-115(Ar).SLDASM ]
Rysunki 2D (zestawienie i wykonawcze)	DraftSight 2019	[ ftRT wWspolbiezne 20.dwg ]
Lista części składowych	MsWord	[ Titleblock ftRt 14.docx ]