

Podstawowe wiadomości teoretyczne

# Wykrawanie

---

# Wstęp – cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest określenie wpływu:

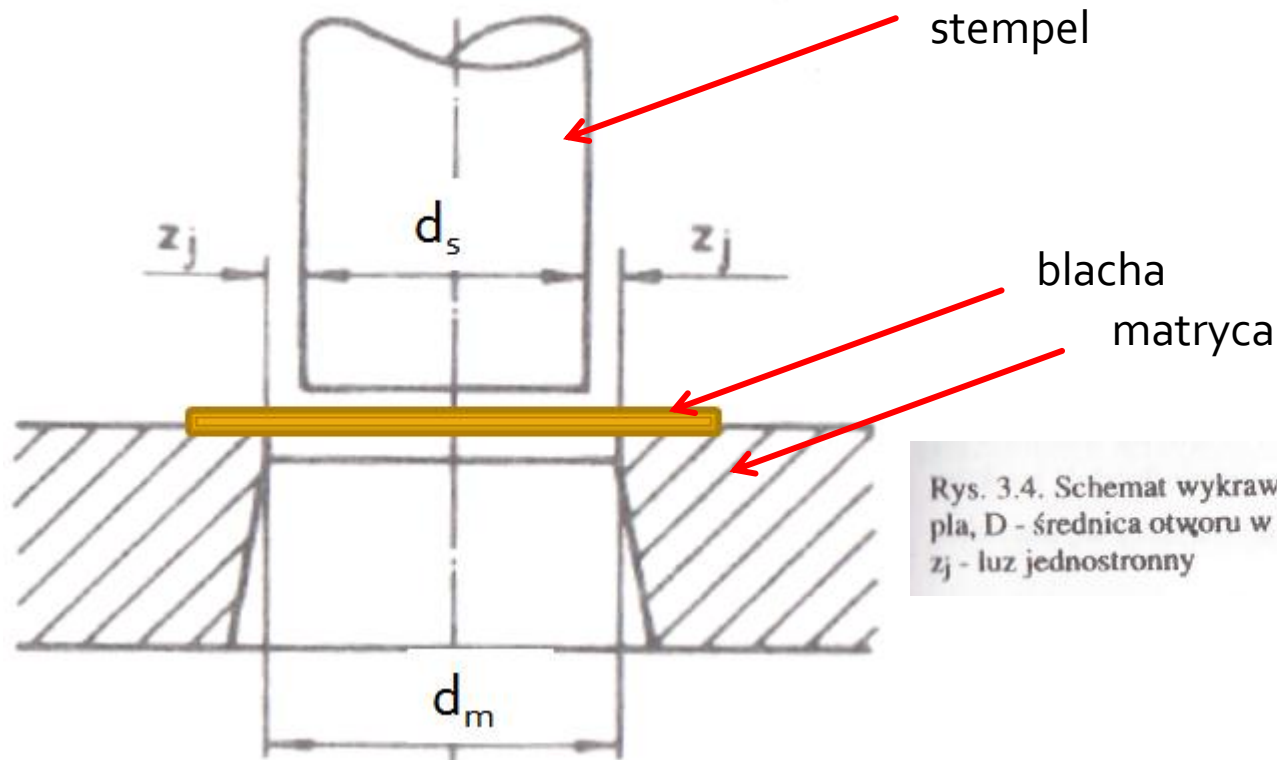
- Luzy z,
- Grubości materiału g,
- Rodzaju materiału (jego wytrzymałości na cięcie Rt),

na wartość **maksymalnej siły wkrawania**.

<https://www.youtube.com/watch?v=ZGamWOu-yjI>

# Schemat procesu

Cięcie może być wykonywane różnymi sposobami – za pomocą nożyc gilotynowych, krążkowych, narzędzi zamontowanych na prasie zwanych tłocznikami (wykrojnikiem) itp. Zasadniczymi częściami wykrojnika są stempel i płyta tnąca (matryca). Jednym z bardzo istotnych parametrów procesu wykrawania jest luz całkowity  $z_c$  lub jednostronny  $z_j$  pomiędzy krawędzią tnącą stempla i matrycy.



Rys. 3.4. Schemat wykrawania:  $d$  - średnica stempla,  $D$  - średnica otworu w płycie tnącej (matrycy),  $z_j$  - luz jednostronny

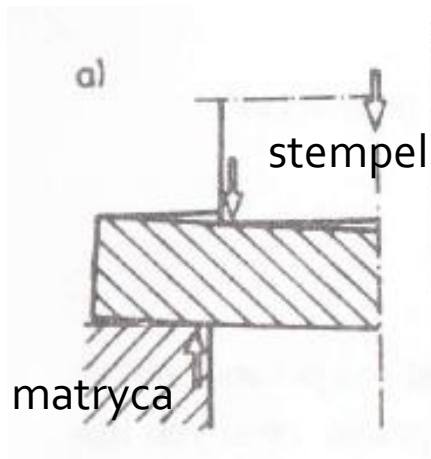
# Fazy procesu wykrawania

## Przebieg procesu wykrawania

W czasie wykrawania (cięcia wzdłuż linii zamkniętej) występują wszystkie fazy procesu, charakterystyczne dla cięcia za pomocą dwóch elementów tnących:

- faza odkształceń sprężystych,
- faza odkształceń sprężysto-plastycznych,
- faza plastycznego płynięcia,
- pękanie materiału,
- całkowite oddzielenie wyciętego przedmiotu od blachy.

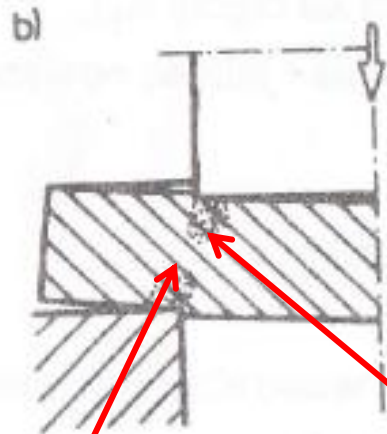
# Faza odkształceń sprężystych



Podczas fazy odkształceń sprężystych blacha zostaje silnie ściśnięta między krawędziami stempła i matrycy, przez co najpierw wyprostowują się jej ewentualne nierówności. Siły wywierane na blachę przez krawędzie tnące stempła i matrycy są względem siebie przesunięte, a powstały na skutek tego moment zginający powoduje wstępne wybrzuszenie blachy (rys. 3.5a). W wyniku tego wybrzuszenia obszar jej przylegania do czołowej powierzchni stempła i matrycy przyjmuje kształt pasków biegnących wzdłuż obu krawędzi tnących, o stopniowo zmniejszającej się szeroko-

ści. Paski te przejmują cały nacisk wywierany przez elementy tnące, co powoduje koncentrację naprężeń w pobliżu krawędzi tnących. Z chwilą osiągnięcia przez naprężenie granicy plastyczności kończy się faza odkształceń sprężystych.

# Faza odkształceń sprężysto-plastycznych

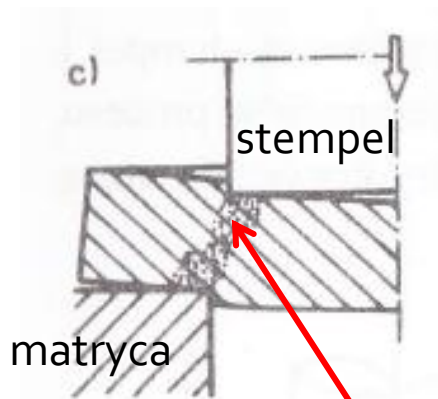


Obszar uplastyczniony materiału występuje początkowo jedynie w miejscu największej koncentracji naprężeń, a więc w bezpośrednim sąsiedztwie krawędzi tnących stempla i matrycy. W miarę wzrostu nacisku granica obszaru uplastycznionego przesuwa się w głąb materiału, a jednocześnie krawędzie tnące stempla i matrycy wgniatają się nieco w materiał, wytwarzając dostatecznie dużą powierzchnię przylegania, będącą w stanie przenieść zwiększony nacisk stempla. Dopóki oba obszary uplastycznione oddzielone są od siebie obszarem sprężystym (rys. 3.5b), dopóty odkształcenia plastyczne są bardzo małe. Dopiero z chwilą połączenia się obu stref uplastycznionych zachodzą warunki umożliwiające powstanie bardzo dużych odkształceń trwałych i to oznacza koniec fazy odkształceń sprężysto-plastycznych.

Obszar odkształceń sprężystych

Obszar odkształceń plastycznych

# Faza plastycznego płynięcia



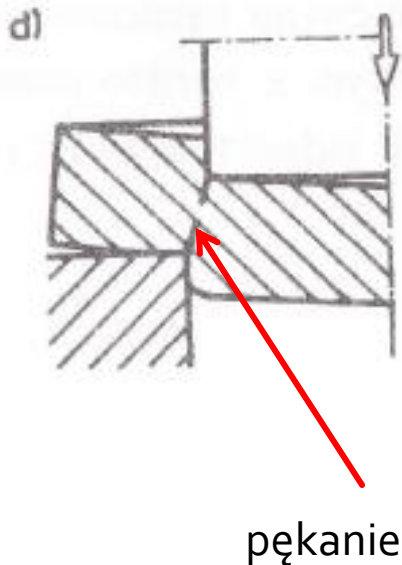
matryca

stempel

Obszar płynięcia  
plastycznego

Kolejna faza cięcia charakteryzuje się plastycznym płynięciem materiału w otoczeniu powierzchni ścinania (rys. 3.5c). W strefie odkształceń plastycznych materiał umacnia się tak intensywnie, że mimo ubytku grubości ścinanej warstwy siła nacisku stempła początkowo wzrasta. W miarę umacniania się materiału wzrastają również naprężenia tnące, występujące na powierzchni ścinania. W pewnym momencie osiągają wartość krytyczną, niezbędną do naruszenia spójności materiału.

# Faza pęknięcia



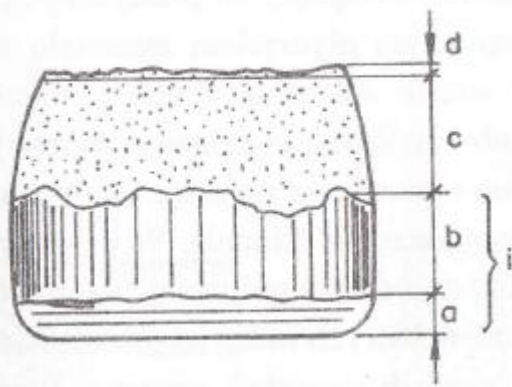
Pierwsze pęknięcia pojawiają się w miejscach, w których materiał jest najbardziej odkształcony, a więc w pobliżu krawędzi tnących stempla i matrycy. Przy odpowiedniej wartości luzu pęknięcia rozchodzące się od obu krawędzi spotykają się ze sobą, tworząc wspólną powierzchnię pęknięcia o zarysie zbliżonym do litery S (rys. 3.5d). Zagłębienie stempla w blachę, przy którym następuje pęknięcie, zależy od rodzaju materiału. Dla materiałów twardszych pęknięcie występuje przy niewielkim zagłębieniu stempla, a dla materiałów bardzo plastycznych dopiero pod koniec procesu cięcia, kiedy siła jest już mniejsza od wartości ekstremalnej.

Pomimo pęknięcia wycinana część tkwi jeszcze dość mocno w otaczającym ją materiale. Jest to spowodowane wzajemnym zazębieniem się nierówności po obu stronach powierzchni pęknięcia. Aby osiągnąć całkowite oddzielenie wycinanego przedmiotu, należy odkształcić lub ściąć występy na powierzchni pęknięcia, co wymaga wywarcia przez stempel pewnego nacisku. Dlatego też siła nie spada do zera z chwilą pęknięcia materiału, lecz może mieć nawet dość znaczną wartość podczas dalszego przesuwania stempla. Taki przebieg siły jest również związany z pokonywaniem oporu tarcia materiału o boczną powierzchnię otworu płyty tnącej.

Luz optymalny jest to taki luz przy którym siła wykrwania jest najmniejsza.



# Jakość powierzchni



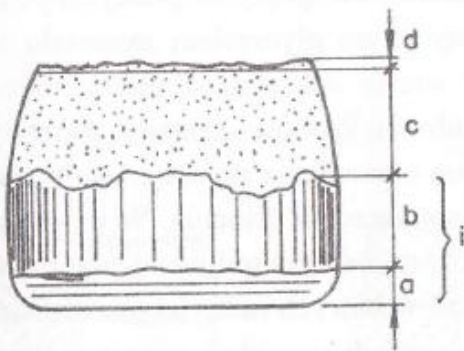
Obserwując powierzchnię boczną wykrojonego przedmiotu można wyodrębnić strefy odpowiadające poszczególnym fazom cięcia (rys. 3.6). Są to następujące strefy:

- a - zaokrąglenie dolnej powierzchni blachy w pobliżu brzegu krążka, powstałe w fazie odkształceń sprężysto-plastycznych,
- b - strefa cięcia - walcowa, o gładkiej błyszczącej powierzchni z niewielkimi rysami biegnącymi pionowo - powstała w fazie odkształceń plastycznych,
- c - strefa pęknięcia - matowa, chropowata, tworząca powierzchnię stożkową,
- d - zadziór - ostry występ na górnej powierzchni przedmiotu

Te same strefy, lecz występujące w odwrotnej kolejności można zaobserwować na powierzchni bocznej otworu wyciętego w blasze.



# Wskaźnik odkształceń plastycznych

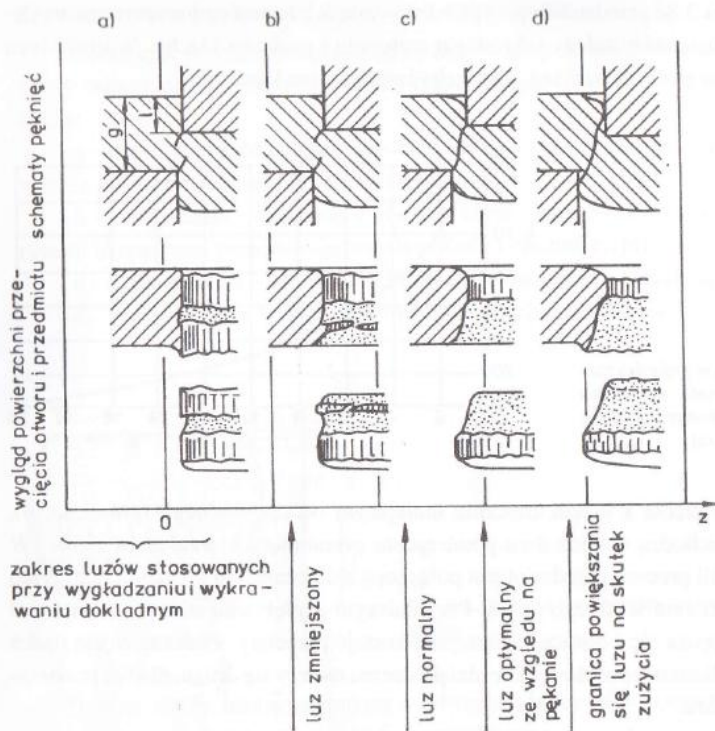


Wartość zagłębienia się stempla w materiał do momentu powstania pęknięcia i odniesiona do grubości materiału  $i/g$  charakteryzuje przebieg procesu wykrawania oraz określa jakość wyrobu:

$$\rightarrow \frac{i}{g} = \frac{a+b}{g} \quad (3.1)$$

Wartość wskaźnika odkształceń plastycznych  $i/g$  zależy przede wszystkim od rodzaju, grubości (rys. 3.7) i stanu materiału oraz od wartości luzu między krawędziami tnącymi stempla i matrycy.

# Wpływ luzu na wygląd powierzchni przecięcia

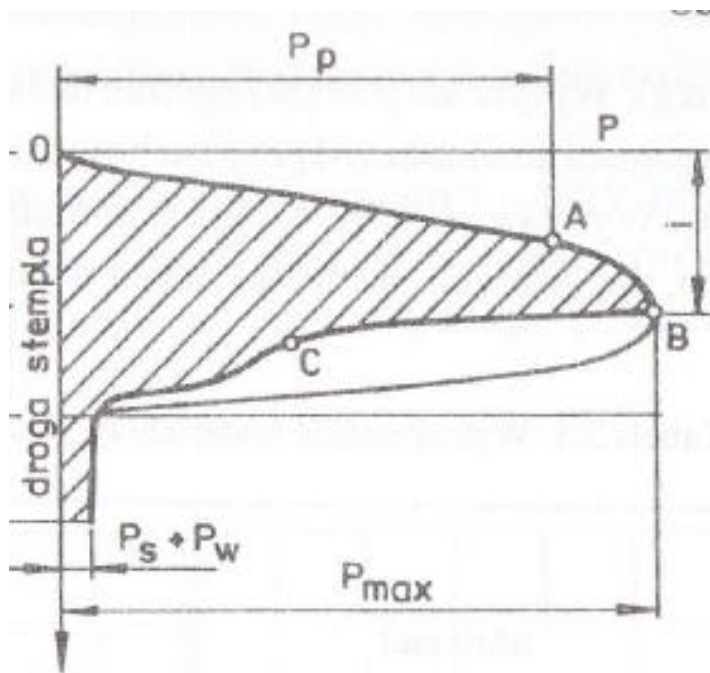


Podczas cięcia z luzem znacznie mniejszym od optymalnego (rys. 3.8a, b), pęknięcia zachodzą wzdłuż dwu powierzchni przesuniętych względem siebie. W pewnej chwili procesu przedmiot jest połączony z otaczającym go materiałem tylko za pośrednictwem wąskiego paska. Przy dalszym zagłębianiu stempla w materiał pasek ten spęca się i obraca, a następnie zostaje przecięty. Podczas cięcia paska dominują odkształcenia plastyczne, dzięki czemu tworzy się druga, gładka powierzchnia rozdziału.

Podczas cięcia z luzem większym od optymalnego (rys. 3.8d) występuje znaczne ugięcie brzegów ciętego materiału. Jest to spowodowane wzrostem momentu gnącego wskutek rozsunienia krawędzi tnących. Przedmioty wycinane z luzem znacznie większym od optymalnego mają stosunkowo wąski pasek błyszczący, duże pochylenie powierzchni pęknięcia oraz grubo wygięty zadziór.

Niejednokrotnie można spotkać się z przypadkiem, że wygląd powierzchni bocznej jest zróżnicowany na obwodzie. Wynika to z wadliwego wykonania narzędzi tnących, złego ustawienia stempla względem matrycy, złego prowadzenia narzędzi lub zużycia krawędzi tnących.

# Siła w procesie wykrawania



Największa siła konieczna do przecięcia materiału zależy od długości linii cięcia, grubości i właściwości mechanicznych materiału, wartości luzu i stanu krawędzi tnących:

$$P_t = k l g R_t$$

(3.2)

gdzie:  $k = 1.2 - 1.3$  - współczynnik zależny od dodatkowych oporów cięcia (np. stopnia krawędzi tnących),

$l$  - długość linii cięcia,

$g$  - grubość blachy,

$R_t$  - wytrzymałość materiału na cięcie.

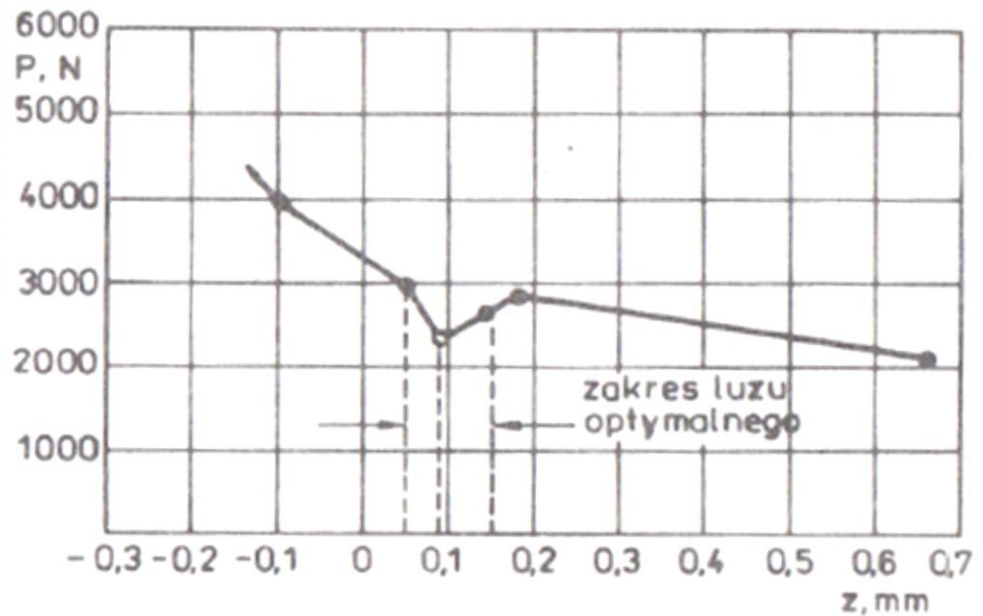
Należy również zaznaczyć, że wartość siły maksymalnej zależy od szeregu innych czynników, takich jak:

- temperatura,
- szybkość odkształcenia,
- geometria i stan krawędzi tnących,
- kształt linii cięcia,
- symetryczność wzajemnego ustawienia stempla i matrycy (rozkład wartości luzu na obwodzie).

Wytrzymałość na cięcie  $R_t$  osiąga minimalną wartość przy pewnej wartości luzu  $z$ , który dla grubych blach stalowych wynosi  $0,15 g$ .

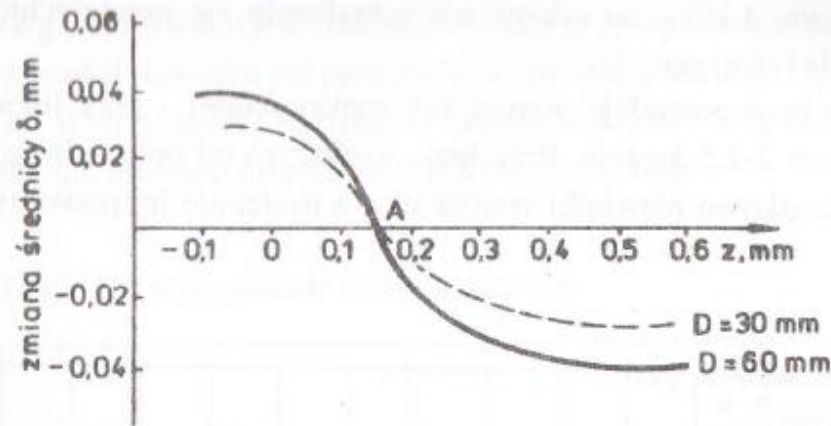
# Wpływ luzu na wielkość siły

Rys. 3.10. Zależność siły maksymalnej od wartości luzu dla blachy Cu o grubości 1,0 mm



# Dokładność części wykrawanych

$$\delta = d_k - d_m$$



Rys. 3.11. Wpływ wartości luzu i średnicy krążka na wielkość zmian wymiarów krążka w wyniku sprężynowania po wykrawaniu (dla blachy Cu o grubości 2.15 mm)

Z wartością luzu łączy się również zmiana wymiarów wykrawanych wyrobów w wyniku ich sprężynowania po wyjściu z otworu matrycy. Wycięty przedmiot zwiększa lub zmniejsza swoje wymiary w zależności od luzu. Dla danej średnicy wyrobu, grubości blachy i rodzaju materiału można dobrać taki luz, przy którym średnica wykrojonego krążka będzie równa średnicy otworu w płycie tnącej.

Oprócz wymienionych czynników na dokładność wymiarową ma wpływ:

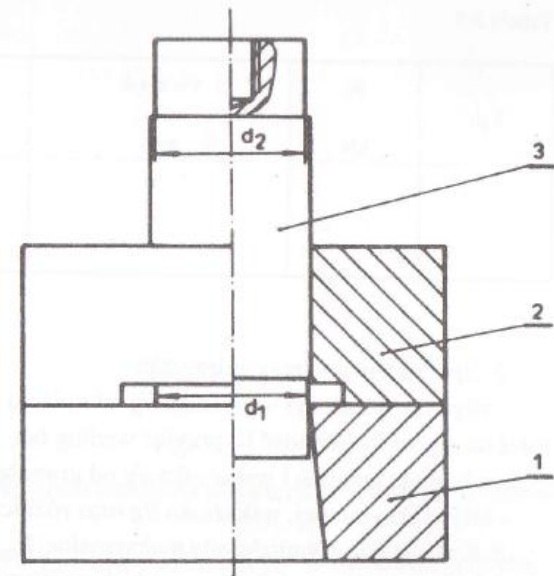
- Konfiguracja linii brzegowych wycinanych przedmiotów,
- Kształt i nachylenie otworu matrycy,
- Stan krawędzi tnących wykrojnika,
- Konstrukcja wykrojnika (docisk, brak docisku)

# Wykonanie ćwiczenia

W celu określenia wpływu rodzaju i grubości materiału oraz wartości luzu na wartość siły maksymalnej i jakość powierzchni przecięcia przewidziano wykrawanie krążków w przyrządzie o prostej budowie (rys. 3.12).

W czasie zajęć laboratoryjnych należy:

1. Przygotować tabelę do notowania wyników (tab. 3.2).
2. Zmierzyć mikrometrem grubość pasków blach przygotowanych do wykrawania.
3. Obliczyć szacunkową wartość siły potrzebnej do wykrawania krążków z blach o różnej grubości w celu wyboru odpowiedniego zakresu pomiarowego dynamometru maszyny wytrzymałościowej.
4. Włożyć pasek blachy w szczelinę pomiędzy płytę tnącą 1 i płytę prowadzącą 2 przyrządu.
5. Po ustawieniu dynamometru maszyny wytrzymałościowej i wyzerowaniu jego wskazań wykroić krążek i odczytać wartość siły maksymalnej.
6. Wyjąć wycięty krążek z przyrządu i za pomocą mikroskopu warsztatowego zmierzyć wartość stref zaginania a, cięcia b, pęknięcia c i wysokość zadzioru d.
7. Zmierzyć mikrometrem średnicę wyciętych krążków.



Rys. 3.12. Schemat wykrojnika laboratoryjnego: 1 - matryca, 2 - płyta prowadząca, 3 - stempel

# Eksperyment i pomiary

Lp	Rodzaj materiału	Grubość blachy $g$ , mm	Średnica stempla $d_{sr}$ , mm	Średnica matrycy $d_{m}$ , mm	Siła $P_{max}$ , kN	Szerokość stref $a+b$ , mm	Średnica krążka $d_{kr}$ , mm
1	stal	1	32,00	32,05	29,6	0,74	32,09
2	stal	1	31,85	32,05	30,5	0,40	32,03
3	stal	1	31,70	32,05	28,6	0,52	32,02
4	stal	1	31,55	32,05	27,4	0,53	32,00
5	stal	1,5	31,85	32,05	40,0	0,2	32,0
6	stal	0,5	31,85	32,05	18,0	0,27	32,0
7	Al	1	31,85	32,05	10,2	0,28	32,02
8	Cu	1	31,85	32,05	23,0	0,42	32,03
9	Mosiądz	1	31,85	32,05	30,8	0,53	32,03



# Opracowanie wyników

1. Na podstawie wyników pomiarów wyznaczyć wartość parametru  $\delta$ .

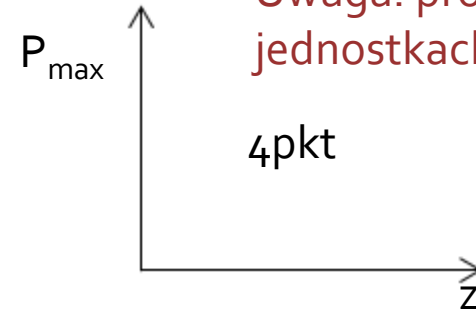
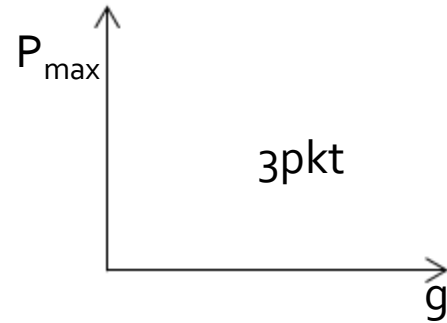
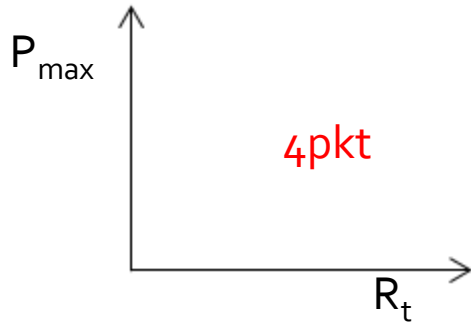
2. Sporządzić wykresy zależności:

- siły maksymalnej i wskaźnika  $i/g$  od rodzaju materiału, tzn. od jego wytrzymałości na cięcie  $R_t$  (wartość  $R_t$  przyjąć według tab. 3.1.). ➤ Patrz skrypt
- siły maksymalnej i wskaźnika  $i/g$  od grubości materiału,
- siły maksymalnej, wskaźnika  $i/g$  oraz różnicy średnic  $\delta$  od wartości luzu.

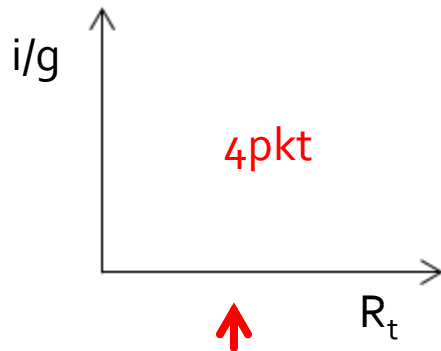
3. Korzystając z wartości siły maksymalnej  $P_{max}$  przy wycinaniu krążka z blachy stalowej o grubości  $g = 1.5$  mm z największą wartością luzu, obliczyć wytrzymałość na cięcie  $R_t$  według zależności (3.3). Otrzymaną wartość porównać z danymi w tab. 3.1.

Lp.	$R_t$ , MPa	$i=a+b$	$i/g$	$\delta=d_k-d_m$ , mm	Luz $z$ , mm

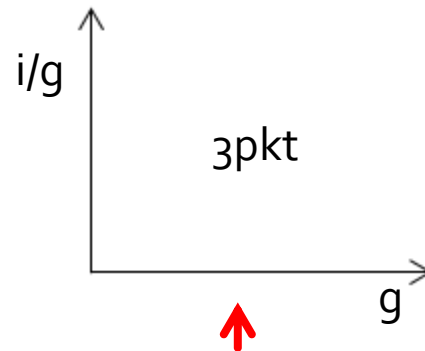
# Wykresy



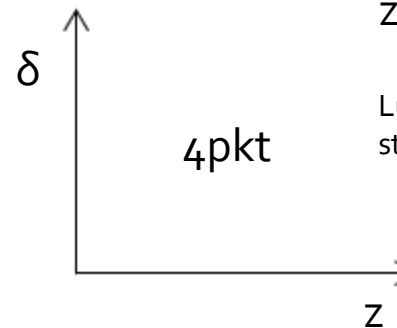
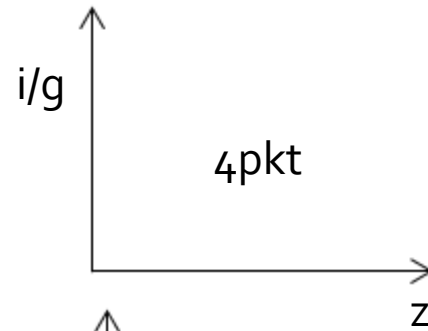
Uwaga: proszę pamiętać o jednostkach!



Luz stały, grubość stała, materiał zmienny!



Luz stały, grubość zmienna, materiał stały!



Luz zmienny, grubość, stała, materiał stały!

# Pytania sprawdzające

1. Narysować schemat wykrawania.
2. Fazy procesu wykrawania, krótka charakterystyka.
3. Wygląd powierzchni bocznej wykrojonego krążka, jakie występują tam strefy.
4. Od czego zależy siła w procesie wykrawania, wymienić czynniki.
5. Przebieg siły wykrawania w funkcji drogi stempla.
6. Przebieg siły wykrawania w funkcji wielkości luzu.
7. Wskaźnik odkształceń plastycznych – co to jest?
8. Co to jest luz optymalny ze względu na pękanie?
9. Jak wygląda powierzchnia wykrojki wykrawanej z luzem zerowym i z luzem zwiększonym?