

POLITECHNIKA GDAŃSKA

ROBERT SKOBLIK, LECH WILCZEWSKI

TECHNOLOGIA METALI
Laboratorium

**Skrypt przeznaczony jest dla studentów Wydziału Mechanicznego
i Wydziału Chemicznego – kierunek Inżynieria Materiałowa**

GDAŃSK 2006

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

REDAKTOR SRYPTÓW

RECENZENT

Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Walczak

SPIS TREŚCI

WSTĘP.....	str. 4
CZEŚĆ I ODLEWNICTWO.....	5
WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ.....	5
1. PRZYGOTOWANIE PRODUKCJI ODLEWU.....	7
2. RYSUNEK MODELU, SUROWEGO ODLEWU I FORMY ODLEWNICZEJ.....	20
3. BADANIE PODSTAWOWYCH WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW I MAS FORMIERSKICH.....	36
4. FORMOWANIE RĘCZNE PRZY UŻYCIU MODELU NIEDZIELONEGO, DZIELONEGO I UPROSZCZONEGO.....	49
5. ZALEWANIE FORM CIEKŁYM METALEM.....	58
CZEŚĆ II OBRÓBKA PLASTYCZNA.....	65
WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ.....	65
1. MASZYNY DO OBRÓBKI PLASTYCZNEJ.....	67
2. WPŁYW ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNEGO NA ZIMNO NA ZMIANĘ WŁASNOŚĆ MECHANICZNYCH METALI.....	81
3. WYZNACZANIE KRZYWEJ UMOCNIENIA MATERIAŁÓW.....	90
4. NACISKI I ODKSZTAŁCENIA W PROCESIE SPĘCZANIA.....	97
5. PODSTAWOWE PARAMETRY WALCOWANIA.....	104
6. PRÓBY TECHNOLOGICZNE.....	112
7. GIĘCIE PLASTYCZNE.....	123
8. CIĘCIE.....	132
9. CIĄGNIENIE I PRZEPYCHANIE.....	142
10. WYCISKANIE.....	148
11. TŁOCZENIE POWŁOK NIEROZWIJALNYCH.....	154
12. ODKSZTAŁCENIA W PROCESIE TŁOCZENIA.....	162
13. WYZNACZANIE GRANICZNYCH WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA WYTŁACZANIA.....	167
14. OCENA SKŁONNOŚCI BLACH DO ZACIERANIA W TRAKCIE TŁOCZENIA.....	172
LITERATURA.....	182

WSTĘP

Skrypt pt. „TECHNOLOGIA METALI Laboratorium” został opracowany w dwu częściach. Pierwsza część dotyczy odlewnictwa, natomiast druga - obróbki plastycznej.

Skrypt ten powinien pomóc w opanowaniu wiadomości z odlewnictwa i obróbki plastycznej w zakresie ujętym w programie nauczania dla przedmiotu „Technologia Metali” I i II oraz „Technologia obróbki bezwiórowej” i „Metalurgia” i ułatwić studentom przygotowanie się do odrabiania ćwiczeń laboratoryjnych.

Skrypt został opracowany przede wszystkim dla studentów I, III i IV roku Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej oraz III roku Wydziału Chemicznego, kierunku Inżynieria Materiałowa.

Część I ODLEWNICTWO

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

<i>A</i>	- objętość zbiornika (lejka) wlewowego w cm^3 ,
<i>A</i>	- zawartość lepiszcza w %,
<i>a</i>	- masa próbki przed badaniem w g,
<i>B</i>	- odsiew w %
<i>b</i>	- masa próbki po badaniu w g,
<i>C</i>	- wysokość odlewu w położeniu do zalewania w cm,
F_{WD}	- suma powierzchni przekroju wlewów doprowadzających,
F_{WR}	- powierzchnia przekroju wlewu rozprowadzającego,
F_{WG}	- powierzchnia przekroju wlewu głównego
<i>g</i>	- przeważająca (średnia) grubość ścianek odlewu w mm,
<i>h</i>	- wysokość kształtki walcowej (m),
h_{sr}	- średnie ciśnienie metalostatyczne w cm,
<i>K</i>	- początkowe maksymalne ciśnienie metalostatyczne w cm,
<i>k</i>	- współczynnik charakteryzujący uzysk, zależny od rodzaju stopu z którego wykonany ma być odlew,
O_s	- osypliwość wyrażona w %,
<i>P</i>	- przepuszczalność próbki w $\left[\frac{m^2}{Pa \cdot s} \right]$,
<i>P</i>	- wysokość odlewu nad poziomem wlewów doprowadzających w cm,
P_l	- płynność masy formierskiej w %,
PG	- podstawa wlewu głównego,
PL	- przelew (wychód)
<i>p</i>	- ciśnienie powietrza pod kształtką (Pa),
Q_c	- masa odlewu wraz z układem wlewowym i zasilającym w kg,
Q_{odl}	- masa surowego odlewu w kg,
$\frac{Q_c}{\tau}$	- wydatek metalu z kadzi odlewniczej w kg/s.
R_c	- wytrzymałość na ściskanie w MPa,
R_c^w	- wytrzymałość na ściskanie w stanie wilgotnym w MPa,
R_c^s	- wytrzymałość na ściskanie w stanie wysuszonym w MPa

R_t	- wytrzymałość na ścinanie w MPa,
R_t^w	- wytrzymałość na ścinanie w stanie wilgotnym w MPa
R_t^s	- wytrzymałość na ścinanie w stanie suchym w MPa
R_m	- wytrzymałość na rozciąganie w MPa
R_m^w	- wytrzymałość na rozciąganie w stanie wilgotnym w MPa
R_m^s	- wytrzymałość na rozciąganie w stanie suchym w MPa
S	- powierzchnia przekroju poprzecznego kształtki walcowej w m^2 ,
s	- współczynnik zależny od rodzaju metalu, jego stopnia przegrzania i lejności oraz miejsca doprowadzenia metalu,
V	- objętość powietrza przepływającego przez kształtkę walcową w m^3 ,
V_{odl}	- objętość surowego odlewu w dm^3 ,
WG	- wlew główny,
WR	- wlew rozprowadzający,
WD	- wlewy doprowadzające,
ZW	- zbiornik wlewowy,
μ	- ogólny współczynnik oporu formy,
γ	- gęstość ciekłego metalu w g/cm^3
τ	- optymalny czas zalewania w s,
τ	- czas przepływu powietrza przez kształtkę w s,.
τ_l	- czas rezerwy metalu w s,

1. PRZYGOTOWANIE PRODUKCJI ODLEWU

1.1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z metodami wykonywania odlewów, zasadami poprawnej konstrukcji odlewów, a w szczególności z zasadami zapobiegania powstawania jam skurczowych i rzadzisz, naprężeń i pęknięć w odlewach oraz wymaganiami dotyczącymi konstrukcji odlewów ze względu na łatwość czyszczenia i obróbki mechanicznej.

1.2. Wprowadzenie

1.2.1. Technologiczność konstrukcji odlewu

Analiza technologiczności konstrukcji jest jedną z podstawowych czynności w przygotowaniu produkcji. Ma na celu dostosowanie konstrukcji przedmiotu do specyficznych wymagań wybranej technologii jego produkcji. Składa się ona z czterech podstawowych elementów:

- analizy warunków wymagań eksploatacyjnych w celu ustalenia podstawowych danych do konstrukcji,
- analizy właściwości materiału odlewu w celu określenia jego przydatności do warunków eksploatacyjnych i technologii,
- wyboru najkorzystniejszego wariantu: konstrukcja - materiał - technologia na podstawie analizy kosztów.

Przystępując do konstruowania części maszyn na podstawie danych i założeń wynikających z warunków eksploatacji oraz funkcji użytkowej części, jako wyrobu gotowego, lub elementu współpracującego w maszynie z innymi częściami należy przede wszystkim dokonać wyboru metody wytwarzania, tj. ustalić, czy dana część ma być odlewem, odkuwką, częścią spawaną lub montowaną, wytłoczką itp.

Porównanie charakterystycznych cech techniczno - ekonomicznych części odlewanych, spawanych i odkuwek przedstawiono w tabelicy 1.1.

Technologiczne konstruowanie wymaga więc pogodzenia przeciwieństw zachodzących między wymaganiami eksploatacyjnymi, stawianymi przez użytkownika, a wymaganiami materiałowymi i możliwościami technologii wytwarzania. Nie ma żadnej ogólnej reguły, na podstawie której można by zdecydować o wyborze metody wytwarzania. Każdy przypadek należy analizować indywidualnie i bardzo szczegółowo; przy produkcji jednostkowej na ogół najtańsze są części spawane lub formowane ręcznie w formach piaskowych, lub kute swobodnie, przy produkcji seryjnej na ogół najtaniej wypada odlewanie, natomiast przy produkcji masowej kucie matrycowe i tłoczenie oraz odlewanie pod ciśnieniem. Często o sposobie wytwarzania części decyduje materiał (np. żeliwo szare może być stosowane tylko na odlewy).

Właściwa analiza techniczno – ekonomiczna wykonania części maszyn przy zastosowaniu technologii odlewniczej obejmuje rozpatrzenie następujących wymagań w stosunku do odlewu i jego produkcji:

- tworzywo odlewu,

- wymiary odlewu,
- kształt odlewu,
- wielkość (skala) produkcji,
- dokładność odlewu,
- koszt odlewu,
- zakres i koszty obróbki mechanicznej.

W chwili obecnej wskutek postępu w otrzymywaniu coraz to nowych tworzyw odlewniczych i opracowania nowych technologii odlewniczych coraz więcej części maszyn wykonuje się jako odlewy.

Tablica 1.1

Porównanie charakterystycznych cech techniczno - ekonomicznych części odlewanych, spawanych i odkuwek

Cechy techniczno - ekonomiczne	Odlewy	Części spawane	Odkuwki
1	2	3	4
materiał	żeliwo, staliwo, stopy metali nieżelaznych o odpowiednich właściwościach odlewniczych	powszechnie stosowana stal niskowęglowa w postaci prętów, profili blach, itp.; w ograniczonym zakresie - stale stopowe i metale nieżelazne	stale węglowe i stopowe oraz stopy metali nieżelaznych o właściwościach plastycznych
wielkość części	bez ograniczeń (ograniczenia w poszczególnych metodach odlewania), pod warunkiem posiadania odpowiednich urządzeń do topienia metalu i dźwigowych	bez ograniczeń, pod warunkiem posiadania odpowiednich urządzeń dźwigowych	ograniczona wielkością młotów i pras: kucie w foremnikach na młotach do 1t, na prasach do 30 kg
właściwości mechaniczne	na ogół gorsze niż odkuwek, lecz bardzo zróżnicowane w zależności od stopu	spoina wykazuje około 80% wytrzymałości materiału spawanego	lepsze niż odlewów i części spawanych
najmniejsza grubość ścianki	przeciętnie 0,8 ÷ 5 mm, zależnie od tworzywa i metody odlewania	możliwe bardzo cienkie ścianki	stosunkowo duża grubość ścian, zależnie od właściwości plastycznych materiału
wrażliwość na różnice grubości ścian	duża	mniejsza niż odlewów i odkuwek	duża
otrzymywanie skomplikowanych kształtów wewnętrznych	stosunkowo łatwe	możliwe, lecz bardzo pracochłonne	bardzo trudne lub niewykonalne

1	2	3	4
dokładność wymiarowa	zależna od metody odlewania, odchyłki wymiarowe: $\pm 0,1 \div \pm 4,0$ mm	przy produkcji w przyrządach dość duża, niebezpieczeństwo pancerzenia się dużych części	zależnie od metody: duża przy kalibrowaniu ($\pm 0,1$ mm), mała i średnia przy kuciu matrycowym ($\pm 0,5 \div \pm 3,0$ mm), mała i bardzo mała przy kuciu swobodnym
gładkość powierzchni	od chropowatych do bardzo gładkich, zależnie od metody odlewania	spoiny chropowate, powierzchnie gładkie	chropowate przy kuciu swobodnym, gładkie przy kuciu matrycowym, bardzo gładkie przy kalibrowaniu
masa części surowej przy podobnej wytrzymałości	masa odlewów z żeliwa szarego większa niż części spawanych, z żeliwa sferoidalnego, z żeliw stopowych i staliwa zbliżona do masy części spawanych lub nieco większa	mniejsza niż odlewów i odkuwek	na ogół większa niż odlewów i części spawanych; przy odkuwkach matrycowych często nieco mniejsza niż odlewów
koszt oprzyrządowania	przy formowaniu ręcznym mały, dość wysoki i wysoki przy formowaniu maszynowym i metodach specjalnych	przy produkcji jednostkowej i małoseryjnej mały lub bardzo mały	mały przy kuciu swobodnym, duży i bardzo duży przy kuciu matrycowym
pracochłonność	zwykle mniejsza niż części spawanych	większa niż odlewów i odkuwek matrycowych	duża przy kuciu swobodnym, mała (mniejsza niż odlewów) przy kuciu matrycowym
wydajność	przy formowaniu ręcznym mała, maszynowym – duża, pod ciśnieniem – bardzo duża	na ogół nieco większa przy stosowaniu maszyn spawalniczych	przy kuciu swobodnym mała, przy kuciu matrycowym i prasowaniu duża
koszt gotowej części przy zbliżonej masie i podobnym kształcie	przy produkcji seryjnej na ogół mniejszy niż części spawanych i odkuwek	przy produkcji jednostkowej na ogół mniejszy niż odlewów i odkuwek, przy produkcji seryjnej na ogół większy	przy produkcji seryjnej większy niż odlewów i części spawanych, przy masowej dla niektórych części może być mniejszy

W tablicy 1.2 podano główne metody produkcji odlewów, ich klasyfikację i zakres stosowania natomiast w tablicy 1.3 przedstawiono charakterystykę porównawczą metod odlewania.

Tablica 1.2

Główne metody produkcji odlewów, ich klasyfikacja i zakres stosowania

Spó- sób odle- wa- nia	Cechy klasyfikacji		Zakres zastosowania	
1	2	3	4	
Odlewanie w formach piaskowych	Omodelowanie	Modele drewniane	Produkcja jednostkowa i małoseryjna odlewów średnich i dużych wg wymiarów gabarytowych i ciężaru. Można stosować do formowania ręcznego i maszynowego	
		Modele metalowe	Produkcja wielkoseryjna i masowa odlewów o małych i średnich wymiarach	
		Modele z tworzyw sztucznych	Produkcja seryjna odlewów o małych i średnich wymiarach	
		Modele uproszczone (wzorniki, modele szkieletowe, przymiary kontrolne)	Produkcja jednostkowa odlewów o dużych, rzadziej o średnich wymiarach, mających kształty proste i średnio skomplikowane	
	Budowa formy	Formowanie w skrzynkach stałych i usuwalnych	Wszystkie rodzaje produkcji odlewów o dowolnym stopniu skomplikowania, małych i średnich wymiarach oraz przy produkcji seryjnej dużych odlewów	
		Formowanie w gruncie	Produkcja jednostkowa, głównie odlewów dużych o dowolnym stopniu skomplikowania	
		Formowanie w dołach odlewniczych	Powtarzalna produkcja odlewów o dużych i bardzo dużych wymiarach	
	Materiał wiążący lub spoiwo	Formy szamotowe – ceglane	jednorazowe	Produkcja jednostkowa odlewów o dużych wymiarach
			półtrwałe	Produkcja seryjna odlewów o średnich wymiarach i prostych kształtach
		Masy formierskie z lepiszczem gliniastym	formowanie na wilgotno	Wszystkie rodzaje produkcji odlewów małych i średniej wielkości o kształtach prostych i średnio skomplikowanych
			formowanie na sucho	Wszystkie rodzaje produkcji odlewów odpowiedzialnych o średnich i dużych wymiarach
			formowanie w rdzeniach	Wszystkie rodzaje produkcji odlewów odpowiedzialnych i skomplikowanych, o podwyższonych wymaganiach wymiarowych
		Masy formierskie ze szkłem wodnym	proces CO ₂	Produkcja jednostkowa i seryjna odlewów odpowiedzialnych o wymiarach średnich i dużych, bez względu na stopień skomplikowania
	proces SMS (sypkie masy samoutwardzalne)		Produkcja jednostkowa i seryjna odlewów o wymiarach średnich i dużych, kształtach prostych i średnio skomplikowanych	
	proces CMS (ciekle masy samoutwardzalne)			

		Masy formierskie z żywicami syntetycznymi	utwardzane chemicznie w temperaturze otoczenia	Produkcja jednostkowa i seryjna odlewów o wymiarach średnich i dużych, o podwyższonych wymaganiach wymiarowych
			utwardzane przez podgrzanie	Produkcja wielkoseryjna i masowa odlewów małych, o wysokich wymaganiach wymiarowych
		Formowanie w masach cementowych		Produkcja jednostkowa i seryjna odlewów o dużych wymiarach i kształtach prostych oraz średnio skomplikowanych
Specjalne metody odlewania	Formy metalowe	Odlewanie kokilowe, grawitacyjne		Produkcja wielkoseryjna i masowa odlewów o wymiarach małych i średnich oraz seryjna produkcja odlewów dużych
		Odlewanie w formach wirujących (odśrodkowe)		Seryjna i masowa produkcja odlewów, przede wszystkim mających kształty brył obrotowych
		Odlewanie pod ciśnieniem		Praktycznie ogranicza się do metali nieżelaznych. Masowa produkcja odlewów małych i średniej wielkości o dowolnym kształcie i bardzo wysokich wymaganiach co do dokładności wymiarowej i gładkości powierzchni
	Formy i rdzenie precyzyjne	Proces Croninga (formowanie skorupowe)		Produkcja wielkoseryjna i masowa odlewów o wymiarach małych i średnich oraz wysokich wymaganiach wymiarowych
		Proces Shaw'a (formy ceramiczne)		Produkcja jednostkowa i seryjna odlewów o wymiarach małych, średnich i dużych oraz bardzo wysokich wymaganiach wymiarowych i gładkości powierzchni
		Proces Lost Wax (wytapiane modele)		Produkcja wielkoseryjna i masowa odlewów drobnych, o bardzo wysokich wymaganiach wymiarowych i dużej gładkości powierzchni
		Proces Hot Box (gorące rdzennice)		Wielkoseryjna i masowa produkcja rdzeni drobnych i małych, o bardzo wysokich wymaganiach wymiarowych
	Odl ewa nie cią g łą	Pręty okrągłe i profilowe		Zamiast metali i stopów walcowanych
		Blachy płaskie i profilowe		

1.2.2. Ogólna koncepcja budowy odlewu

Można sformułować następujące zasady konstrukcyjne dotyczące ogólnej koncepcji budowy odlewu:

Tablica 1.3

Charakterystyka metod wytwarzania odlewów

Lp.	Cecha procesu	Metoda wytwarzania odlewu				
		w formach piaskowych		w kokilach	pod ciśnieniem	metodą wytapianych modeli
		formowanie ręczne	formowanie maszynowe			
1	2	3	4	5	6	7
1	rodzaj stopu	wszystkie stopy odlewnicze	wszystkie stopy odlewnicze	stopy lekkie, mosiądze, żeliwo, rzadziej staliwo	specjalne stopy Al, Mg, Zn, Cu, Sn, Pb, rzadziej stopy Fe	w zasadzie wszystkie stopy; zwykle staliwa stopowe i stopy trudno obrabialne
2	zakres jednostkowych mas odlewu	od kilkudziesięciu gramów do 200 t	od kilkudziesięciu gramów do 5 t; narzucarką do kilkudziesięciu ton	od kilkudziesięciu g do 100 kg	zależnie od wielkości maszyny: stopy Zn do 20 kg, Al do 30 kg (80), Cu do 5 kg, Fe do 0,5 kg	0,05 do 15 kg
3	wielkość produkcji	produkcja jednostkowa	produkcja seryjna i masowa zwykle ponad 100 szt.	produkcja wielkoseryjna: dla stopów Al ponad 1000 szt., odlewy z żeliwa ponad 500 szt.	produkcja wielkoseryjna, zwykle ponad 10 do 20 tys. szt., i masowa	produkcja seryjna oraz małe serie odlewów skomplikowanych, trudno obrabialnych
4	najmniejsza osiągalna grubość ścian	odlewy żeliwne - 3 mm, staliwne - 5 mm, nieżelazne - 3 mm		odlewy żeliwne - 3 ÷ 4 mm, staliwne - 10 ÷ 15 mm, ze stopów Al i Cu ÷ 3 mm	ze stopów: Zn 0,6 ÷ 1 mm, Al 0,8 ÷ 1,2 mm, Cu ÷ 1,5 mm	0,1 ÷ 0,2 mm
5	stopień skomplikowania kształtów wewnętrznych	bez ograniczeń	bez ograniczeń	dowolne kształty z rdzeni piaskowych; ograniczenia wynikające ze sposobu usuwania rdzeni metalowych	ograniczenia wynikające z usuwania rdzeni metalowych	w zasadzie bez ograniczeń

cd. tablicy 1.3

1	2	3	4	5	6	7
6	osiągalna klasa dokładności IT	15 ÷ 16	14 ÷ 16, w wyjątkowych przypadkach -12	14 ÷ 16, w wyjątkowych przypadkach -11	10 ÷ 12, w wyjątkowych przypadkach - 9	11 ÷ 16, w wyjątkowych przypadkach - 9
7	odchyłka wymiarowa w mm na 100 mm wymiaru odlewu	nie stabilizowana	0,6 ÷ 0,8, możliwe -0,5	0,5 - możliwe 0,3	0,3 - możliwe - 0,075	0,15 ÷ 0,3 zależnie od tworzywa modelu, formy i odlewu
8	osiągalna chropowatość powierzchni R_z μm	powyżej 100	powyżej 100	40 - 100	10 ÷ 20, wyjątkowo 2÷10	10 ÷ 30, wyjątkowo 2 ÷ 10
9	podstawowe zalety	możliwość produkcji jednostkowej, brak ograniczeń w kształtach odlewów	łatwość mechanizacji i automatyzacji, brak większych ograniczeń w kształtach odlewów	ścista, drobnoziarnista struktura, oszczędność na obróbce, szybkość produkcji, łatwość mechanizacji	duża dokładność wymiarowa, znaczna oszczędność na obróbce, szybkość produkcji,	duża dokładność wymiarowa i gładkość powierzchni, łatwość sterowania procesem krzepnięcia
10	podstawowe wady	mała dokładność wymiarowa.	średnia dokładność wymiarowa i gładkość powierzchni	ograniczony zakres stosowania - wysoki koszt kokili	konieczność posiadania maszyn, bardzo wysoki koszt form, możliwość powstawania wad typu porowatości skurczowej	ograniczony zakres stosowania, trudność mechanizacji
11	zakres stosowania	produkcja części zamiennych, części maszyn prototypowych	powszechnie stosowana do produkcji małych i średnich odlewów (do 5 t)	produkcja małych odlewów głównie ze stopów Al	produkcja odlewów o skomplikowanych kształtach ze stopów Zn i Al	produkcja małych, bardzo skomplikowanych odlewów ze stopów trudno obrabialnych

cd. tablicy 1.3

1	2	3	4	5	6	7
12	zespół modelowy	modele i rdzennice zwykle z drewna	plyty modelowe i rdzennice metalowe lub wykonane z tworzyw sztucznych	kokile ręczne lub do pracy w kokilarkach	bardzo dokładne formy metalowe	metalowe lub inne formy do odlewania modeli woskowych
13	materiał formy	masy naturalne lub syntetyczne ze spoiwami naturalnymi lub chemoutwardzalnymi	masy syntetyczne ze spoiwami gliniastymi, na szkłe wodnym lub tworzywach sztucznych	korpusy żeliwne i stalowe, rdzenie żeliwne, stalowe lub piaskowe	stal węglowa dla stopów Zn, Pb i Sn lub stal stopowa dla stopów Zn, Al, Cu i Fe	masy ceramiczne na bazie krzemianu etylu lub szkła wodnego
14	sposób wykonania formy	ubicie ręczne, ubijakiem pneumatycznym lub narzucarką	zagęszczanie maszynowe, zmechanizowany transport form, naciski 0,25 do 2 MPa	dokładne odlewanie i obróbka skrawaniem	dokładna obróbka skrawaniem	nanoszenie materiału ceramicznego na zespół modelowy kilkoma warstwami
15	sposób zapełniania formy	grawitacyjnie z kadzi - ręcznie lub suwnicą	grawitacyjnie z kadzi podwieszonych lub automatycznie dozownikami	grawitacyjnie łyżką, kadzią lub automatycznie dozownikami	wtlaczanie metalu ciekłego lub w stanie ciastowatym pod ciśnieniem 1 do 200 MPa	grawitacyjnie, pod obniżonym ciśnieniem, w próżni lub pod ciśnieniem odśrodkowym

- 1) rozważenie korzyści zastąpienia odlewu częścią spawaną, kutą lub tłoczoną;
- 2) ocena możliwości podzielenia dużego i skomplikowanego odlewu na kilka odlewów mniejszych w celu uproszczenia wykonania formy, ułatwienia obróbki mechanicznej, zmniejszenia ilości braków itp.;
- 3) rozważenie celowości połączenia kilku prostych odlewów w jeden odlew o bardziej skomplikowanym kształcie w celu uproszczenia obróbki mechanicznej i montażu. Ma to szczególne znaczenie przy produkcji seryjnej i masowej.
- 4) przy odlewach staliwnych rozważenie możliwości spawania kilku odlewów w jedną całość;
- 5) utrzymanie zwartej konstrukcji odlewu, bez silnie wystających elementów zwiększających gabaryty i mogących hamować skurcz odlewniczy.

Przy konstruowaniu odlewów należy rozważyć wiele czynników wytrzymałościowych, materiałowych i technologicznych, a przede wszystkim przeanalizować konstrukcję pod względem:

- wytrzymałości i sztywności,
- zastosowania rodzaju stopu odlewniczego,
- łatwości wykonania modelu, formy i rdzenia,
- możliwości wystąpienia wad odlewniczych w zależności od stopu i metod odlewania,
- łatwości i kosztów obróbki mechanicznej,
- charakterystycznych cech metody odlewania.

Często istnieje nieuzasadniony pogląd, że prowadzenie obliczeń wytrzymałościowych dla odlewów jest zbędne, gdyż grubości przekrojów wymagane ze względów technologicznych są na ogół większe od otrzymywanych z obliczeń wytrzymałościowych. Zapomina się przy tym, że każdy problem konstrukcyjny można zmienić przez dobór innego odpowiedniego stopu odlewniczego, przez odpowiednie kształty konstrukcyjne odlewu, uwzględniające własności technologiczne itp.

Wytrzymałość a zarazem sztywność odlewów zależy głównie od:

- a) najkorzystniejszego kształtu z punktu widzenia równomierności rozkładu naprężeń, otrzymanego z poprawnie wykonanych obliczeń wytrzymałościowych,
- b) poprawnie ukształtowanego odlewu z uwagi na charakterystyczne dla procesu odlewania wady, jak:
 - jamy skurczowe i rzadziny,
 - niejednorodność struktury w ściankach o różnej grubości,
 - naprężenia, odkształcenia, pęknięcia.

Przyczynami powstawania wad technologicznych w odlewie mogą być:

- nieprawidłowe ukształtowanie ścian i ich połączeń,
- lokalne zgrubienia odlewu, tzw. węzły cieplne i ich wzajemne rozmieszczenie w odlewie.

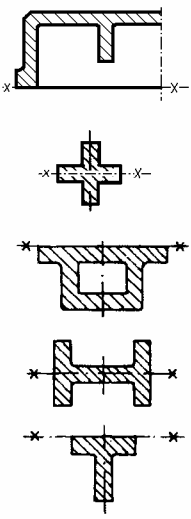
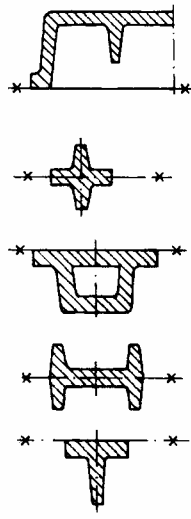
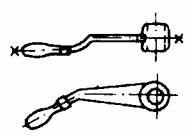
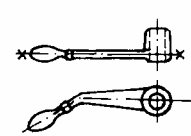
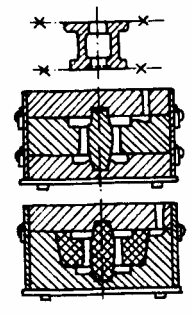
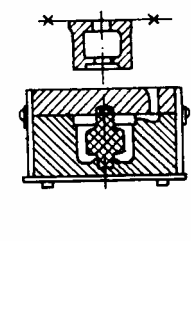
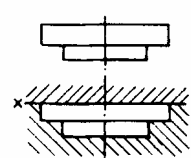
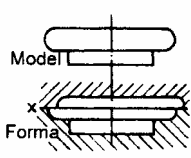
Typowe przykłady technologicznych i nie technologicznych konstrukcji odlewu przedstawiono w tabelicy 1.4.

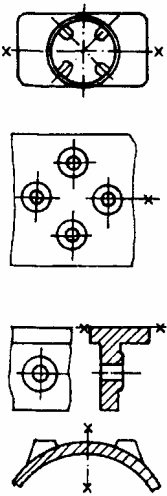
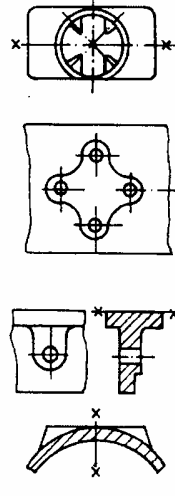
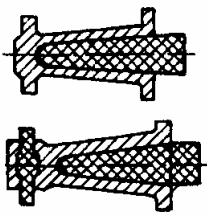
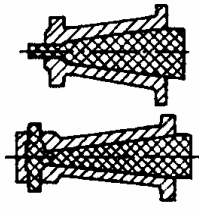
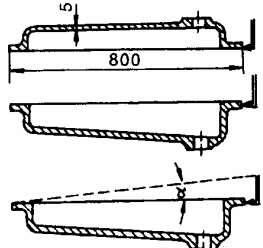
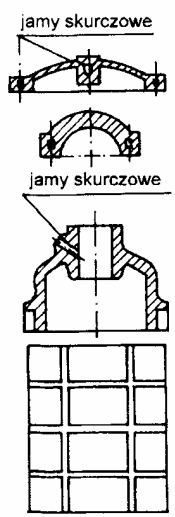
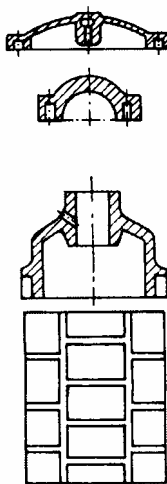
1.3. Pomoce i urządzenia

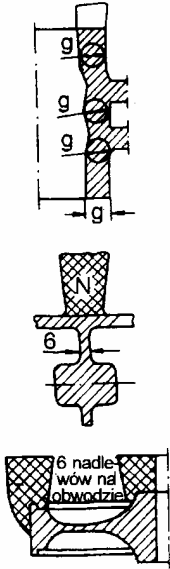
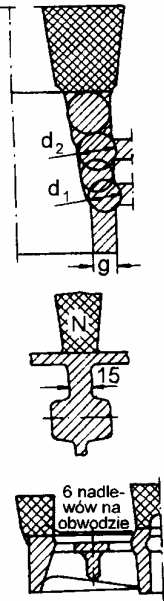
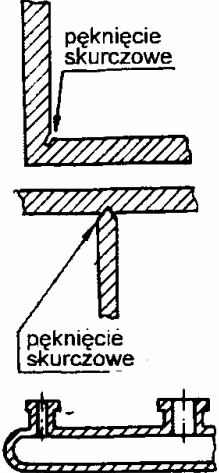
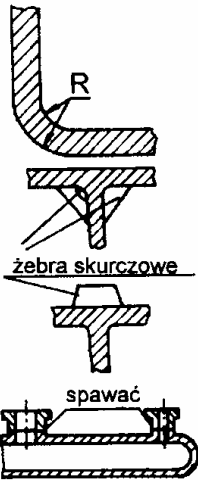
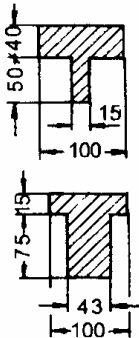
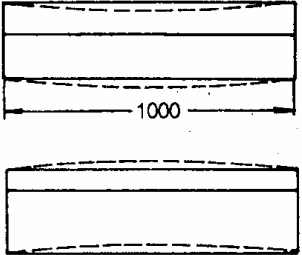
- rysunki gotowych części maszyn,
- normy odlewnicze,
- poradniki.

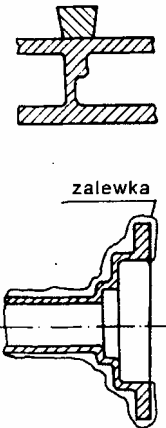

Tablica 1.4

Przykłady konstrukcji odlewów – nietechnologicznych i technologicznych

Nr	Przykłady konstrukcji		Omówienie
	nieprawidłowa	prawidłowa	
1	2	3	4
1			<p>Pochylenia odlewnicze, zaprojektowane przez konstruktora z uwzględnieniem optymalnej powierzchni podziału i kierunku usuwania modelu z formy piaskowej lub odlewu z formy metalowej, umożliwiają stosowanie modeli i form bez dodatkowych pochyleń technologicznych, co prowadzi do zmiany kształtów i wymiarów surowego odlewu</p>
2			<p>Możliwość stosowania płaskiej powierzchni podziału skraca czas formowania lub obniża koszt omodelowania</p>
3			<p>Zmiana kształtu prowadząca do zmniejszenia ilości płaszczyzn podziału lub wyeliminowania rdzeni zewnętrznych, a w konsekwencji do obniżki kosztów wykonania odlewu i wzrostu dokładności wymiarowej. Konstrukcja nieprawidłowa – niedopuszczalna w produkcji wielkoseryjnej</p>
4			<p>Zmiana konstrukcji umożliwia odtworzenie odlewu w jednej części formy – obniżka kosztów omodelowania, wzrost dokładności odlewu oraz uniknięcie możliwości powstania wad, itp. przestawienia</p>

1	2	3	4
5			<p>Zmiana kształtu nadlewów, występów, żeber itp. Eliminuje konieczność stosowania części luźnych, dodatkowych rdzeni zewnętrznych, umożliwia formowanie maszynowe i stosowanie form metalowych o uproszczonych kształtach bez niebezpieczeństwa pęknięć skurczowych</p>
6			<p>Pewność i łatwość montażu rdzeni w formie bez używania podpórek rdzeniowych. Zmiana prowadzi do obustronnego podparcia rdzenia, zwiększa łatwość odprowadzenia gazów, ułatwia usunięcie rdzenia z odlewu</p>
7			<p>Pochylenie dużych płaskich ścianek zmniejsza niebezpieczeństwo niedolewów i zimnych spoin, zwłaszcza w przypadku tworzyw o skłonności do tworzenia tlenków na powierzchni metalu. Gdy jest to niemożliwe, odlewanie do form ustawionych niepoziomo (skośnie)</p>
8			<p>Lokalne zgrubienia w odlewie uniemożliwiają stosowanie zasady krzepnięcia jednoczesnego, stwarzają niebezpieczeństwo powstawania wad skurczowych (jam, rzadzisz). Zachodzi konieczność stosowania nadlewów, ochładzalników lub zmiany konstrukcji – zmniejszenie różnicy grubości ścianek, likwidacja lokalnych węzłów cieplnych przez lokalne wybrania, otwory, przesunięcie punktów przecięcia ścian lub żeber itp.</p>

1	2	3	4
9			<p>Konstrukcja zapewniająca prawidłowe zasilanie węzłów cieplnych przy realizacji krzepnięcia kierunkowego – w kierunku nadlewu: pewność zasilania każdego węzła ciekłym metalem, odlew bez jam i porowatości osiowej, ścisły</p>
10			<p>Pęknięciom odlewu w wyniku mechanicznego i cieplnego hamowania skurczu; można przeciwdziałać przez złagodzenie ostrości połączeń ścian odlewu, zastosowanie żeber skurczowych, ewentualnie usuwanych po wyżarzaniu odprężającym, lub podział odlewu na kilka części. Zmniejszenie naprężeń cieplnych i fazowych przez unikanie zgrubień lokalnych, przez stosowanie łagodnych przejść między grubymi i cienkimi ściankami odlewów</p>
11			<p>Gdy w odlewie przeważają naprężenia cieplne – grube części odlewów wykazują skłonność do zmniejszania swej długości, a cienkie do zwiększania, co prowadzi do paczania się odlewu. Należy zmienić konstrukcję - zmniejszyć różnice grubości</p>

1	2	3	4
12			<p>Łatwość oczyszczania odlewu to łatwość usuwania układu wlewowego nadlewów i zalewek, np. przez zastosowanie żeber w płaszczyźnie podziału w przypadku odlewów o skomplikowanych kształtach</p>

1.4. Instrukcja do ćwiczenia

Wykonujący ćwiczenie otrzyma rysunek przedstawiający błędną konstrukcję odlewu. Korzystając z pomocy norm i poradników będzie miał za zadanie:

- przeanalizować możliwość występowania naprężeń, odkształceń i pęknięć,
- przeanalizować kształt odlewu ze względu na łatwość wykonania formy, czyszczenia odlewu i obróbki mechanicznej,
- zaproponować sposób zasilania odlewu ciekłym metalem (układ wlewowy, nadlewy, ochładzalniki),
- wybrać i uzasadnić wybór metody wykonania odlewu.

1.5. Sprawozdanie

Rysunek poprawnego kształtu odlewu wynikający z przeprowadzonej analizy, wybór i uzasadnienie wyboru wykonania odlewu.

Literatura

[1,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20]

2. RYSUNEK MODELU, SUROWEGO ODLEWU I FORMY ODLEWNICZEJ

2.1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z podstawowymi zasadami konstrukcji części maszyn, które są wykonywane jako odlewy.

2.2. Wprowadzenie

W celu wprowadzenia do produkcji nowego wyrobu konieczne jest opracowanie dokumentacji technologicznej, w której skład wchodzi :

- rysunek konstrukcyjny gotowego wyrobu,
- rysunek koncepcyjny sposobu odlewania,
- rysunek surowego odlewu,
- rysunki konstrukcyjne zespołu modelowego
- rysunek formy odlewniczej,
- rysunki oprzyrządowania specjalnego,
- karta technologiczna,
- karty instrukcyjne,
- karta kalkulacyjna wykonania odlewu,
- karta prób,
- warunki techniczne odlewu.

Podstawowe i najważniejsze znaczenie w dokumentacji technologicznej posiada rysunek surowego odlewu. Wykonuje się go wg ogólnych zasad wykonywania rysunku maszynowego. Stanowi on koncepcję technologiczną odlewu. Służy również do opracowania procesu obróbki skrawaniem odlewu. Jest podstawą do przeprowadzenia analizy konstrukcji odlewu pod względem technologii jego wytwarzania, czyli analizy technologiczności konstrukcji tj.:

- konstrukcji modelu,
- doboru skrzynek rdzeniowych,
- konstrukcji sprawdzianów,
- konstrukcji formy odlewniczej,
- innych przyrządów i narzędzi stosownie do specyfikacji wykonywanego wyrobu.

Rysunek surowego odlewu powinien zawierać:

- dane rozpoznawcze,
- powierzchnię podziału formy odlewniczej,
- bazy obróbkowe dla wyjściowej operacji obróbkowej,
- naddatki na obróbkę skrawaniem,
- naddatki technologiczne,
- pochYLENIA i zbieżności ścian odlewu zgodnie z płaszczyzną podziału formy,
- układ wlewowy i nadlewy,

- dopuszczalne odchyłki wymiarowe dla tych powierzchni nieobrabialnych, dla których odchyłki te odbiegają od normy,
- dane dotyczące specjalnych wymagań stawianych odlewom, np. obróbka cieplna, wymagania co do twardości itp.

Dane rozpoznawcze (nazwa przedmiotu, nr surowego odlewu), tworzywo, miarę skurczową (tablica 2.1) i klasę dokładności (tablica 2.2) odlewu wpisuje się w tabliczce rysunkowej.

Tablica 2.1

Skurcz liniowy odlewów z różnych stopów

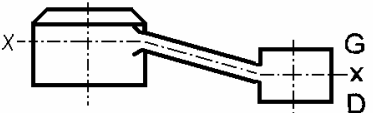
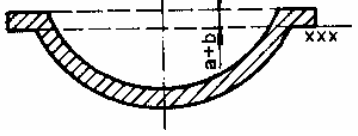
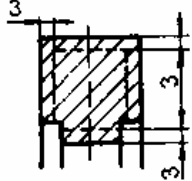
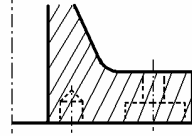
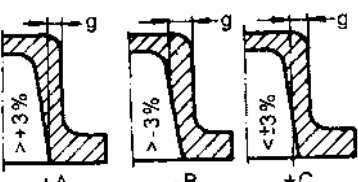
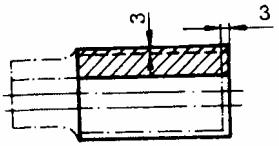
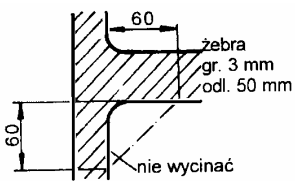
Rodzaj stopu odlewniczego i odlewu	Skurcz %	
	swobodny	hamowany
Żeliwo szare		
odlewy drobne i średnie	1,0	0,9
odlewy średnie i duże	0,9	0,8
odlewy ciężkie	0,8	0,7
Żeliwo ciągliwe (po wyżarzaniu grafityzującym)		
białe	1,8	1,4
czarne	1,5	1,0
Staliwo		
węglowe i niskostopowe	1,6 ÷ 2,0	1,3 ÷ 1,7
wysokostopowe chromowe	1,3 ÷ 1,7	1,0 ÷ 1,4
austenityczne	2,0 ÷ 2,3	1,7 ÷ 2,0
Metale nieżelazne		
brąz cynowy	1,4	0,9 ÷ 1,2
brąz aluminiowy	2,0 ÷ 2,2	0,9 ÷ 1,8
mosiądz	1,8 ÷ 2,0	0,9 ÷ 1,5
silumin	2,0 ÷ 2,3	0,6 ÷ 2,0
stopy aluminium z miedzią	1,0 ÷ 1,2	0,6 ÷ 1,0
stopy magnezu	1,3	0,6 ÷ 1,1
<u>Uwaga.</u> Najniższe z podanych wartości skurczu hamowanego odnoszą się do wymiarów elementów, których skurcz jest najsilniej hamowany i dotyczą odlewów wykonywanych w niepodatnych formach metalowych (ciśnieniowych i kokilowych)		

Dla odlewów z żeliwa i staliwa wyróżnia się pięć klas, a dla odlewów z metali nieżelaznych siedem klas dokładności odlewania. W zależności od klasy wykonania odlewu z norm dobiera się tolerancje wymiarów, wielkości nadatków na obróbkę mechaniczną i odchyłki masy.

Powierzchnia podziału formy ma na celu umożliwienie wyjęcia modelu z formy w czasie formowania, a w przypadku dużych odlewów powierzchnię podziału formy stosuje się także w celu zmniejszenia ciężaru dużych modeli. Powierzchnia podziału formy dzieli odlew, formę i skrzynkę odlewniczą na dwie lub więcej części i przebiega ona zasadniczo przez największy przekrój przedmiotu. Na rysunku surowego odlewu zaznacza się ją w postaci osi kolorem niebieskim i nad osią pisze się „G” w kolorze niebieskim, a pod osią „D” również w kolorze niebieskim lub oznacza się jak na rys. 2.1a. Przykład zastosowania i oznakowania powierzchni podziału formy przedstawiono na rys. 2.1a.

Powierzchnie odlewu, które w późniejszym toku procesu technologicznego będą poddane obróbce skrawaniem, muszą posiadać nadatki o odpowiedniej wielkości. Wielkość nadatku na obróbkę mechaniczną jest znormalizowana i zależy od klasy dokładności odlewania, wielkości danej powierzchni oraz od rodzaju materiału odlewanych (rys. 2.1 c).

Nadatki technologiczne są to te części bądź fragmenty odlewu, które są trudne lub wręcz niemożliwe do wykonania na drodze odlewania w kształcie przedstawionym na rysunku konstrukcyjnym gotowego wyrobu.

a		powierzchnia podziału formy
b	 <p>łącznik wyciąć po obróbce cieplnej</p>	baza obróbkowa xxx, łącznik zabezpieczający odlew przed odkształceniem jako nadatek technologiczny
c		nadatki na obróbkę
d		nadatki technologiczne jako wypełnienie otworów i wnęk
e		nadatki technologiczne wynikające z pochylenia ścian
f		nadatki technologiczne – nadlewki służące do uchwycenia przedmiotu przy obróbce
g		zębra skurczowe jako nadatki technologiczne

Rys. 2.1. Przykłady oznaczeń na rysunkach surowych odlewów

Tablica 2.2

Orientacyjny zakres stosowania klas wykonania odlewów określonych odpowiednią normą

Technologia produkcji odlewu	Rodzaj odlewanej stopu			
	żeliwo szare	żeliwo ciągliwe	staliwo	metale nieżelazne
Formy piaskowe (formowanie ręczne)	IV, V	III, IV	IV, V	VI, VII
Formy piaskowe (formowanie maszynowe)	III, IV	II, III	III, IV	V
Odlewanie kokilowe	I, II	I, II	II	III, IV
Odlewanie metodą wytapianych modeli	-	-	I	I, II
Odlewanie ciśnieniowe	-	-	-	norma nie przewiduje podziału na klasy

Uwaga. W przypadku podania w tablicy dwóch klas dokładności wykonania odlewów należy klasę wyższą przyjmować dla produkcji większej (masowej ew. seryjnej) oraz dla odlewów prostych

Najczęściej spotykane nadatki technologiczne to:

- wypełnianie wnęk i otworów, które odlewa się jako pełne (rys. 2.1 d),
- łączniki zabezpieczające odlew przed odkształceniami i pęknięciami przy stygnięciu, obróbce cieplnej i wykończeniu (rys. 2.1 b),
- dodatkowe nadlewki służące do ustalenia i uchwycenia przedmiotu podczas obróbki mechanicznej (rys. 2.1 f),
- nadatki na skurcz (rys. 2.1 g),
- nadatki wynikające z pochyłości ścian odlewu nie przewidzianych na rysunku przedmiotu (rys. 2.1 e).

Najmniejsze wartości średnic otworów w odlewach żeliwnych wykonanych w formach piaskowych zależą od grubości ścianki odlewu oraz od wielkości produkcji i wynoszą odpowiednio (tablica 2.3):

Tablica 2.3

Średnice otworów w odlewach piaskowych

Otwory wykonywane na gotowo	grubość ścianki odlewu, mm	6 - 10	20 - 30	40 - 50
	średnica odlanego otworu, mm	6 - 10	10 - 15	12 - 18
Otwory odlewane do obróbki skrawaniem w [mm]	Produkcja masowa	20 mm		
	Produkcja seryjna	30 mm		
	Produkcja jednostkowa	50 mm		

Wszelkiego rodzaju wnęki typu: rowek pod klin, wielowypust, uzębienia o małych modułach wykonuje się w odlewie również jako pełne.

Pochylenia ścian i zbieżności mają za zadanie ułatwić wyjęcie modelu z formy. Pochylenia mogą być wykonane w trzech rodzajach („+” ; „+ -” i „-”).

Dla powierzchni obrabianych mechanicznie stosuje się pochylenie tylko w „+”. Ponadto w zależności od grubości ścianek stosuje się następujące pochylenia:

$$g \leq 8 \quad \text{pochylenie „+”}$$

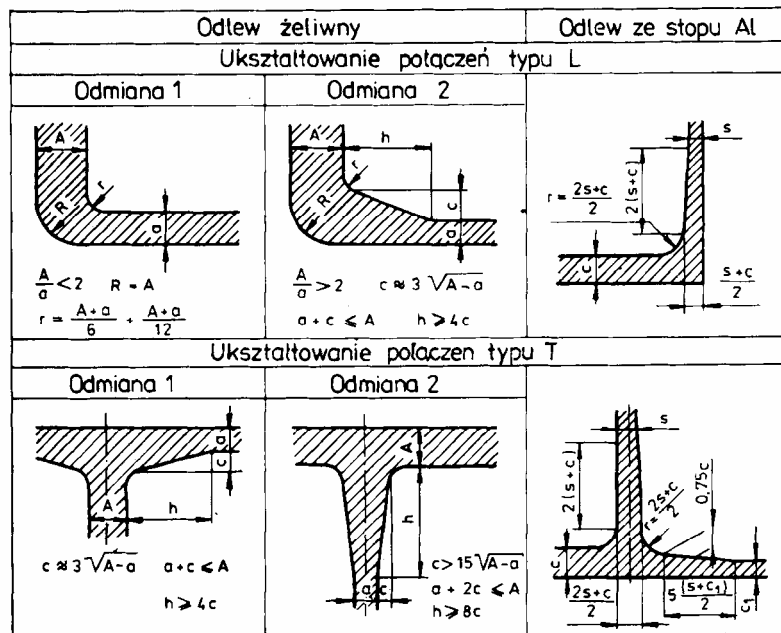
$$8 < g \leq 12 \quad \text{można w „+ -”}$$

dla $g > 12$

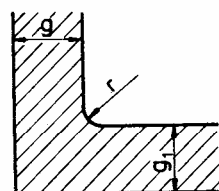
można w „-”

Wszystkie naddatki na rysunku surowego odlewu powinno się zaznaczać kolorem czerwonym lub jak na rys. 2.1.

Podstawową zasadą przy konstruowaniu odlewów jest zasada zachowania możliwie równomiernej grubości ścian oraz unikanie miejscowych zgrubień odlewu. Przejścia między grubymi i cieńszymi przekrojami powinny być łagodne, a zaokrąglenia należy wykonywać z odpowiednio dużymi promieniami. Przykłady rozwiązań przedstawiono na rys. 2.2 i rysunku 2.3.



Rys. 2.2. Technologiczne przejścia między przekrojami różnej grubości



$r = (0,1 \div 0,15)(g + g_1)$
 normalne wartości promieni
 1,2,3,5,8,10,15,20,25,30,40 mm

promienie 1,2 i 3
tylko dla modeli metalowych

Rys. 2.3. Wielkości zaokrąglenia krawędzi wewnętrznych

Minimalne grubości ścian wynoszą odpowiednio:

- dla odlewów małych 3 - 4 mm,
- dla odlewów średnich 6 - 10 mm,
- dla odlewów dużych 12 - 15 mm.

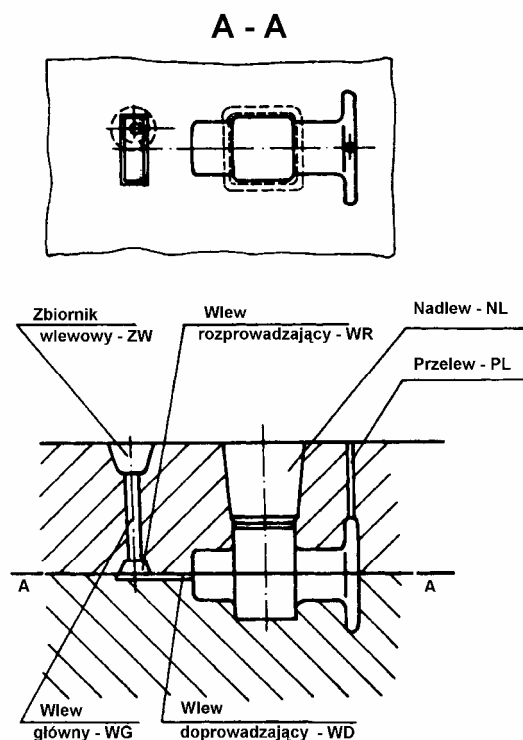
Ważnym zagadnieniem przy wykonywaniu odlewu jest zapewnienie dokładnego wypełnienia formy ciekłym metalem. Zapewnia to prawidłowo obliczony i zaprojektowany układ wlewowy.

Układem wlewowym nazywa się system kanałów wykonanych w formie odlewniczej, który powinien spełniać następujące zadania:

- doprowadzenie ciekłego metalu do ustalonych miejsc wnęki formy z wymaganą prędkością,
- zatrzymanie płynących z metalem zanieczyszczeń i żużla,
- uzyskanie odpowiedniego rozkładu temperatur metalu wypełniającego formę oraz regulowanie zjawisk cieplnych podczas krzepnięcia i stygnięcia odlewu,
- zasilanie krzepnącego odlewu ciekłym stopem.

Pierwsze trzy zadania spełniać może część wprowadzająca układu wlewowego, natomiast ostatnie zadanie spełniają części układu zwane nadlewami lub ochładzalnikami.

Klasyczny układ wlewowy przedstawiony jest na rys. 2.4 natomiast typowy układ wlewowy dla form piaskowych o poziomej powierzchni podziału na rys 2.5. Nazewnictwo, sposób oznaczania i przeznaczenie różnych elementów układów wlewowych przedstawiono w tabelicy 2.4.



Rys. 2.4. Elementy układu wlewowego

Zasadą przy konstruowaniu elementów układu wlewowego jest, aby umożliwiał on zgodne z wymogami technologicznymi stopu i formy zapelnienie wnęki formy odlewniczej, spokojnie i w określonym czasie. Powinny one być tak skonstruowane, aby przez cały czas zalewania danej formy były wypełnione całkowicie ciekłym metalem. Aby ten warunek był spełniony, należy tak dobrać przekroje poszczególnych elementów układu wlewowego tak, aby:

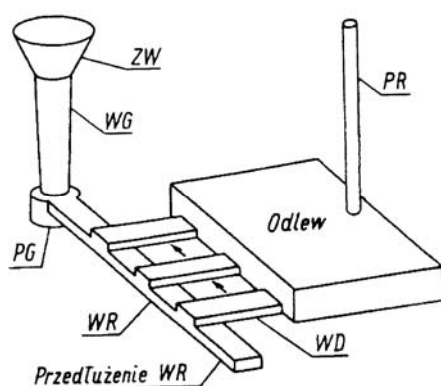
$$F_{WD} < F_{WR} < F_{WG} \quad (2.1)$$

gdzie: F_{WD} - suma powierzchni przekroju wlewów doprowadzających,
 F_{WR} - powierzchnia przekroju wlewu rozprowadzającego,
 F_{WG} - powierzchnia przekroju wlewu głównego

Tablica 2.4

Nomenklatura, sposób oznaczania i przeznaczenie różnych elementów układów wlewowych

L p.	Nazwa elementu	Skrót symboliczny	Przeznaczenie i uwagi
1	2	3	4
1	Zbiornik wlewowy	ZW	Spokojne wprowadzenie metalu do układu. Zatrzymanie zanieczyszczeń i żużla. Rezerwa metalu na nierównomierność zalewania.
2	Wlew główny	WG	Wprowadzenie metalu w głąb formy
3	Wlew rozprowadzający	WR	Rozprowadzenie metalu w głąb formy
4	Wlew doprowadzający	WD	Wprowadzenie metalu do wnęki formy



Rys.2.5. Typowy układ wlewowy dla form o poziomej płaszczyźnie podziału: ZW - zbiornik wlewowy, WG - wlew główny, PG - podstawa wlewu głównego, WR - wlew rozprowadzający, WD - wlewy doprowadzające, PL - przelew (wychód)

Istnieje kilka metod obliczania układu wlewowego. Najczęściej stosowane opierają się na:

- określeniu najkorzystniejszego czasu zalewania formy dla danego odlewu,
- obliczeniu przekrojów elementów układu wlewowego zapewniających uzyskanie ustalonego czasu zalewania formy.

Optymalny czas zalewania formy dla danego odlewu określa się ze wzoru empirycznego Sobolewa:

$$\tau = s^3 \sqrt{g Q_c} \quad [s] \quad (2.2)$$

gdzie: τ - optymalny czas zalewania w s,
 Q_c - masa odlewu wraz z układem wlewowym i zasilającym w kg,
 g - przeważająca (średnia) grubość ścianek odlewu w mm,
 s - współczynnik zależny od rodzaju metalu, jego stopnia przegrzania i lejułości oraz miejsca doprowadzenia metalu,

Metoda obliczenia czasu zalewania formy

- $s = 1,8 \div 2,0$ dla żeliwa,
- $s = 1,3 \div 1,8$ dla staliwa,
- $s = 1,8 \div 3,0$ dla stopów aluminium,
- $s = 0,65 \div 1,1$ dla stopów miedzi.

Masę surowego odlewu obliczamy ze wzoru:

$$Q_{odl} = V_{odl} \cdot \gamma \quad [kg] \quad (2.3)$$

gdzie: Q_{odl} - masa surowego odlewu w kg,
 V_{odl} - objętość surowego odlewu w dm^3 ,
 γ - gęstość stopu w kg/dm^3 .

Masa odlewu wraz z układem wlewowym i zasilającym (nadlewami) obliczamy ze wzoru:

$$Q_c = Q_{odl} \cdot k \quad [\text{kg}] \quad (2.4)$$

gdzie: Q_c - masa surowego odlewu wraz z układem wlewowym i zasilającym w kg,
 k - współczynnik charakteryzujący uzysk, zależny od rodzaju stopu z którego wykonany ma być odlew, np.
 $k = 1,2$ - dla żeliwa szarego,
 $k = 1,3 \div 1,5$ - dla żeliwa ciągliwego i sferoidalnego,
 $k = 1,6 \div 1,8$ - dla staliwa,
 $k = 1,3 \div 1,6$ - dla mosiądzów i brązów.

Czas zalewania ma wpływ na prędkość podnoszenia się ciekłego metalu w formie. Prędkość ta nie powinna być zbyt mała ze względu na niebezpieczeństwo tworzenia się kożuchów tlenkowych oraz ich przymarzanie do ścian formy. Prędkość podnoszenia się metalu oblicza się ze wzoru:

$$g = \frac{C}{\tau} \quad [\text{cm/s}] \quad (2.5)$$

gdzie: g - liniowa prędkość podnoszenia się metalu we wnęce formy w cm/s (tablica 2.5),
 C - wysokość odlewu w położeniu do zalewania w cm (rys. 2.6).
 τ - optymalny czas zalewania w s.

Tablica 2.5

Najmniejsze dopuszczalne prędkości podnoszenia się metalu w formie

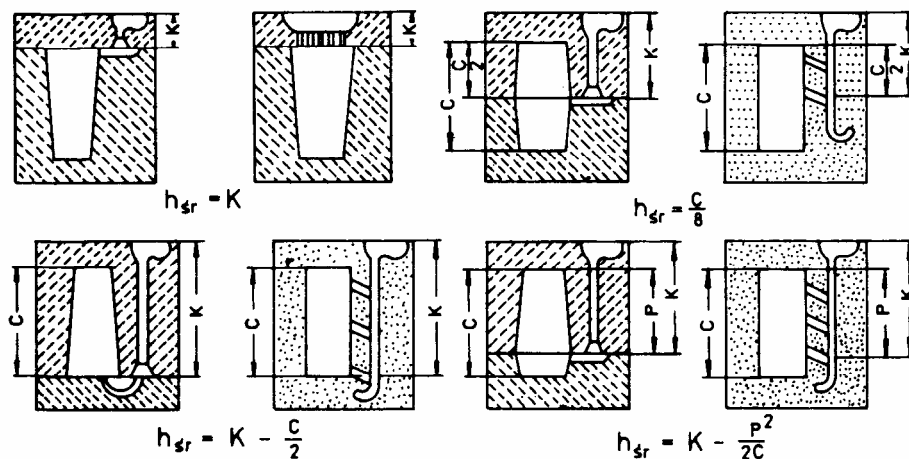
Grubość ścianek odlewu [mm]	Prędkość dopuszczalna v [cm/s]	
	odlewy żeliwne	odlewy staliwne
do 4	3 ÷ 10	-
4 ÷ 10	2 ÷ 3	2
10 ÷ 40	1 ÷ 3	1
powyżej 40	0,8 ÷ 1,0	0,8

Przy odlewaniu metali nieżelaznych prędkość podnoszenia się metalu w formie przyjmuje się $g = 2$ cm/s. Jeżeli prędkość zalewania okaże się zbyt mała, należy zmienić położenie odlewu w formie, tak aby C było większe, lub skrócić czas zalewania.

Na podstawie określonego czasu zalewania formy oblicza się sumę powierzchni przekrojów wlewów doprowadzających ΣF_{WD} jako powierzchnię najwęższego miejsca układu wlewowego, decydującego o wielkości wydatku metalu przepływającego przez układ wlewowy. Sumę przekrojów wlewów doprowadzających określa się z zależności:

$$\Sigma F_{WD} = \frac{Q_c}{0,31 \cdot \mu \sqrt{h_{sr}} \cdot \tau} = \frac{1}{0,31 \cdot \mu \sqrt{h_{sr}}} \cdot \frac{Q_c}{\tau} \quad [\text{cm}^2] \quad (2.6)$$

gdzie: Q_c - masa odlewu wraz z układem wlewowym i nadlewami w kg,
 μ - ogólny współczynnik oporu formy (tablica 2.6),
 h_{sr} - średnie ciśnienie metalostatyczne w cm,
 τ - optymalny czas zalewania w s,
 $\frac{Q_c}{\tau}$ - wydatek metalu z kadzi odlewniczej w kg/s.



Rys. 2.6. Schematy położenia odlewu w formie odlewniczej w zależności od poziomu doprowadzenia metalu do wnętrza formy

Tablica 2.6

Rodzaj odlewów	Rodzaj formy	Wartość współczynnika oporu formy		
		Opór formy		
		duży	średni	mały
żeliwne	wilgotna	0,35	0,42	0,50
	suszona	0,41	0,48	0,60
staliwne	wilgotna	0,25	0,32	0,42
	suszona	0,30	0,38	0,50

Średnie ciśnienie metalostatyczne h_{sr} , oblicza się wg wzoru :

$$h_{sr} = K - \frac{P^2}{C} \quad [\text{cm}] \quad (2.7)$$

gdzie: h_{sr} - średnie ciśnienie metalostatyczne w cm,
 K - początkowe maksymalne ciśnienie metalostatyczne w cm,
 P - wysokość odlewu nad poziomem wlewu doprowadzających w cm,
 C - całkowita wysokość odlewu w położeniu do zalewania.

Aby można było obliczyć wartość średniego ciśnienia metalostatycznego, należy ustalić położenie odlewu podczas zalewania i z kolei określić rozmieszczenie odlewów w formie oraz

odległości pomiędzy odlewami i poszczególnymi elementami formy. Po przyjęciu najmniejszej dopuszczalnej grubości masy formierskiej otaczającej odlew można dobrać kształt i gabaryty znormalizowanych skrzynek formierskich.

Znając sumę najmniejszych przekrojów wlewów doprowadzających oraz korzystając z tablicy 2.7 można określić przekroje wlewów rozprowadzających F_{WR} i wlewów głównych F_{WG} , a następnie dobrać ich kształt i wymiary.

Tablica 2.7

Stosunki powierzchni przekrojów poszczególnych elementów układu wlewowego w zależności od odlewanego metalu

Rodzaj metalu	F_{WD}	F_{WR}	F_{WG}
żeliwo szare zwykłe i wysokojakościowe	1	1,2 ÷ 2,0	1,0 ÷ 1,5
żeliwo ciągliwe	1	1,0 ÷ 1,2	1,0 ÷ 1,3
staliwo	1	1,0 ÷ 1,1	1,2
stopy Cu	1	2	1
brązale (Cu - Al)	2 ÷ 4	2 ÷ 4	1
stopy Al	2 ÷ 6	1,2 ÷ 2,0	1
stopy magnezu	2 ÷ 4	2 ÷ 4	1

Kształt i wymiary zbiornika wlewowego ustala się na podstawie wyliczonej z wzoru 2.8 pojemności metalu w tym zbiorniku.

$$A = \frac{Q_c \cdot \tau_1 \cdot 1000}{\tau \cdot \gamma} \text{ [cm}^3\text{]} \quad (2.8)$$

gdzie: A - objętość zbiornika (lejka) wlewowego w cm^3 ,

Q_c - masa surowego odlewu wraz z układem wlewowym i zasilającym w kg,

τ_1 - czas rezerwy metalu w s - tablica 2.8,

τ - optymalny czas zalewania w s,

γ - gęstość ciekłego metalu w g/cm^3 - tablica 2.9

Tablica 2.8

Czas rezerwy metalu w zbiorniku wlewowym w zależności od masy odlewu

Masa metalu w formie Q_c [kg]	100	100 ÷ 500	500 ÷ 1000	1000 ÷ 5000	powyżej 5000
Rezerwa τ_1 [s]	2 ÷ 3	3 ÷ 4	4 ÷ 6	5 ÷ 7	6 ÷ 8

Do odprowadzenia gazów z formy odlewniczej, wyprowadzenia zanieczyszczeń niemetalowych z wnętrza formy, osłabienia uderzenia metalu o górną powierzchnię wnętrza formy oraz dla oceny stopnia zapelnienia formy ciekłym metalem służą przelewy. Umiejscawia się je zwykle na najwyższym punkcie wnętrza formy (rys. 2.4 i 2.5).

Dla zrekompensowania ubytku metalu wskutek skurczu w stanie ciekłym i w okresie krzepnięcia służą nadlewy. Nadlew jest to naddatek technologiczny, którego głównym zadaniem jest zapobieganie tworzeniu się w odlewie jam skurczowych i rzadzisz, a usuwa się go

w trakcie obróbki wykańczającej. Zależnie od umiejscowienia nadlewu względem odlewu rozróżnia się nadlewy górne i boczne. Z kolei rozróżnia się nadlewy otwarte, czyli takie, których górna powierzchnia sięga powierzchni formy, oraz kryte lub zakryte, mieszczące się w głębi formy. Istnieje wiele odmian nadlewów w zależności od miejsca umieszczenia, sposobu zasilania formy ciekłym metalem, kształtu itp.

Tablica 2.9

Gęstość różnych stopów odlewniczych w stanie ciekłym

Rodzaj stopu	Gęstość w stanie ciekłym [g/cm ³]		Rodzaj stopu	Gęstość w stanie ciekłym [g/cm ³]	
	zakres	wartość średnia		zakres	wartość średnia
żeliwo szare i białe	6,75 ÷ 7,05	6,90	brązy ołowiane	8,40 ÷ 8,80	8,60
staliwo węglowe	7,05 ÷ 7,20	7,10	stopy Zn - Al	5,65 ÷ 6,15	5,90
brązy aluminiowe	6,70 ÷ 7,30	7,00	stopy ołowiu	8,60 ÷ 10,20	9,40
brązy cynowe i krzemowe	7,30 ÷ 7,90	7,60	stopy Al	2,10 ÷ 2,70	2,40
mosiądze	7,50 ÷ 8,00	7,75	stopy Mg	1,50 ÷ 1,70	1,60

Elementy układu wlewowego na rysunku surowego odlewu zaznacza się kolorem czerwonym linią cienką kreska – dwie kropki, natomiast na rysunku koncepcyjnym odlewu linią czerwoną ciągłą.

Rysunek surowego odlewu dla przedmiotu przedstawionego na rys. 2.7 pokazano na rys. 2.8, natomiast rysunek modelu na rys. 2.9, a rysunek formy odlewniczej na rys. 2.10.

2.3. Przebieg ćwiczenia

Przykład wykonania rysunku surowego odlewu.

Wykonać rysunek surowego odlewu dla przedmiotu jak na rysunku mając rysunek konstrukcyjny gotowego wyrobu oraz przyjmując dane:

- produkcja jednostkowa,
- materiał (żeliwo) EN-GJL 250,
- wszystkie powierzchnie obrabiane mechanicznie.

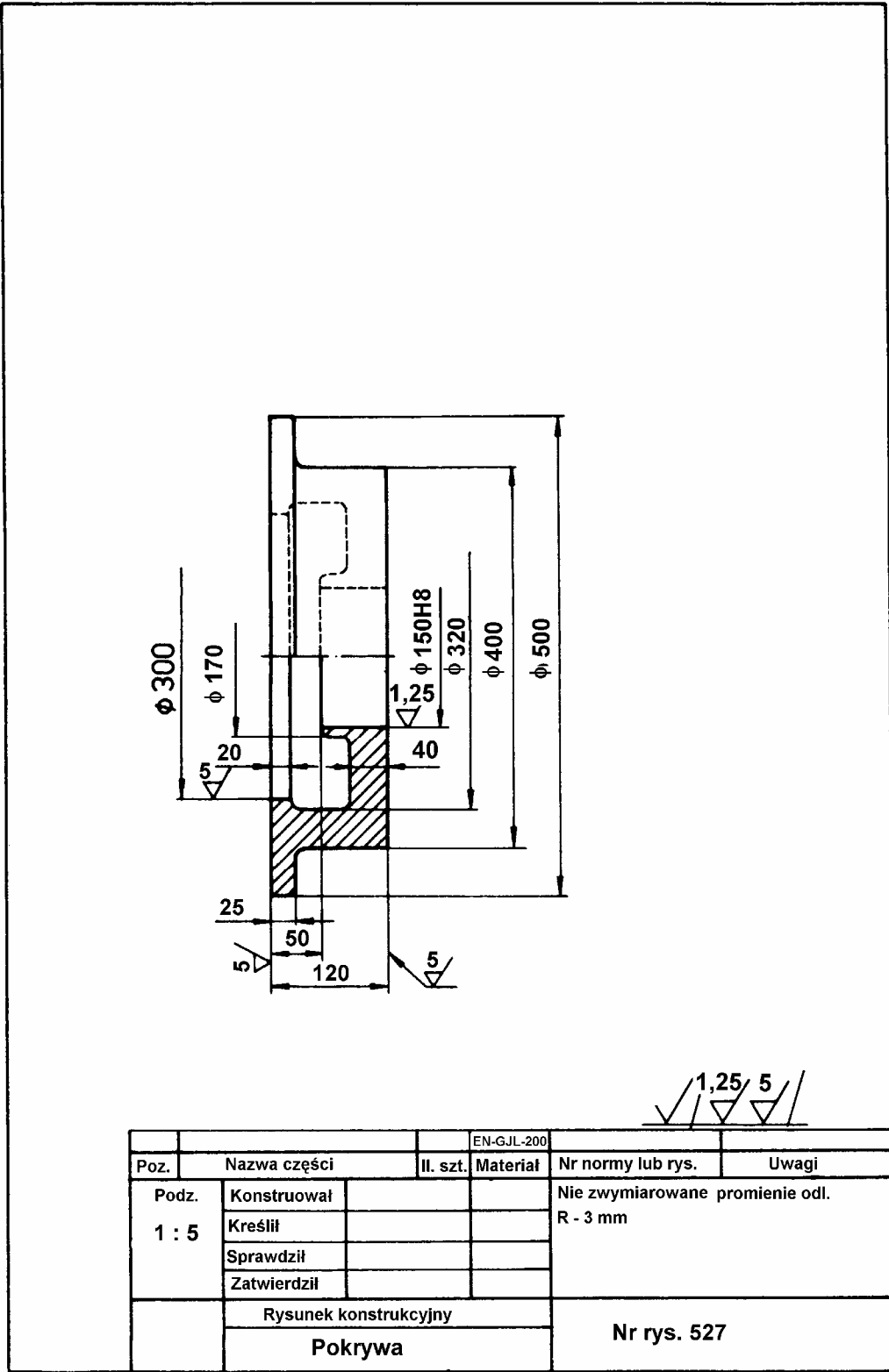
2.4. Pomoce i urządzenia

- rysunki zadanych części maszyn,
- normy.

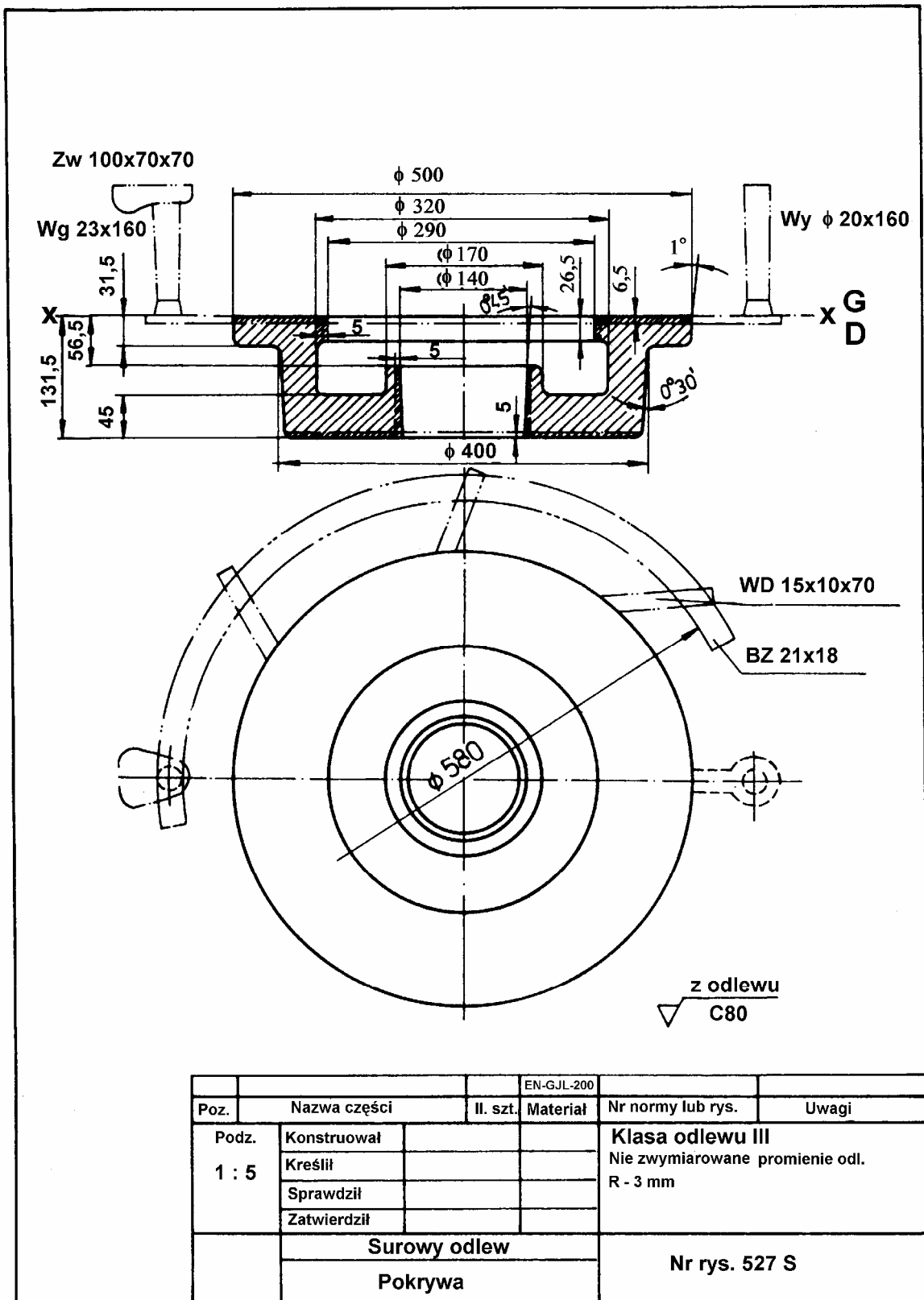
2.5. Instrukcja do ćwiczenia

Na podstawie rysunku konstrukcyjnego należy:

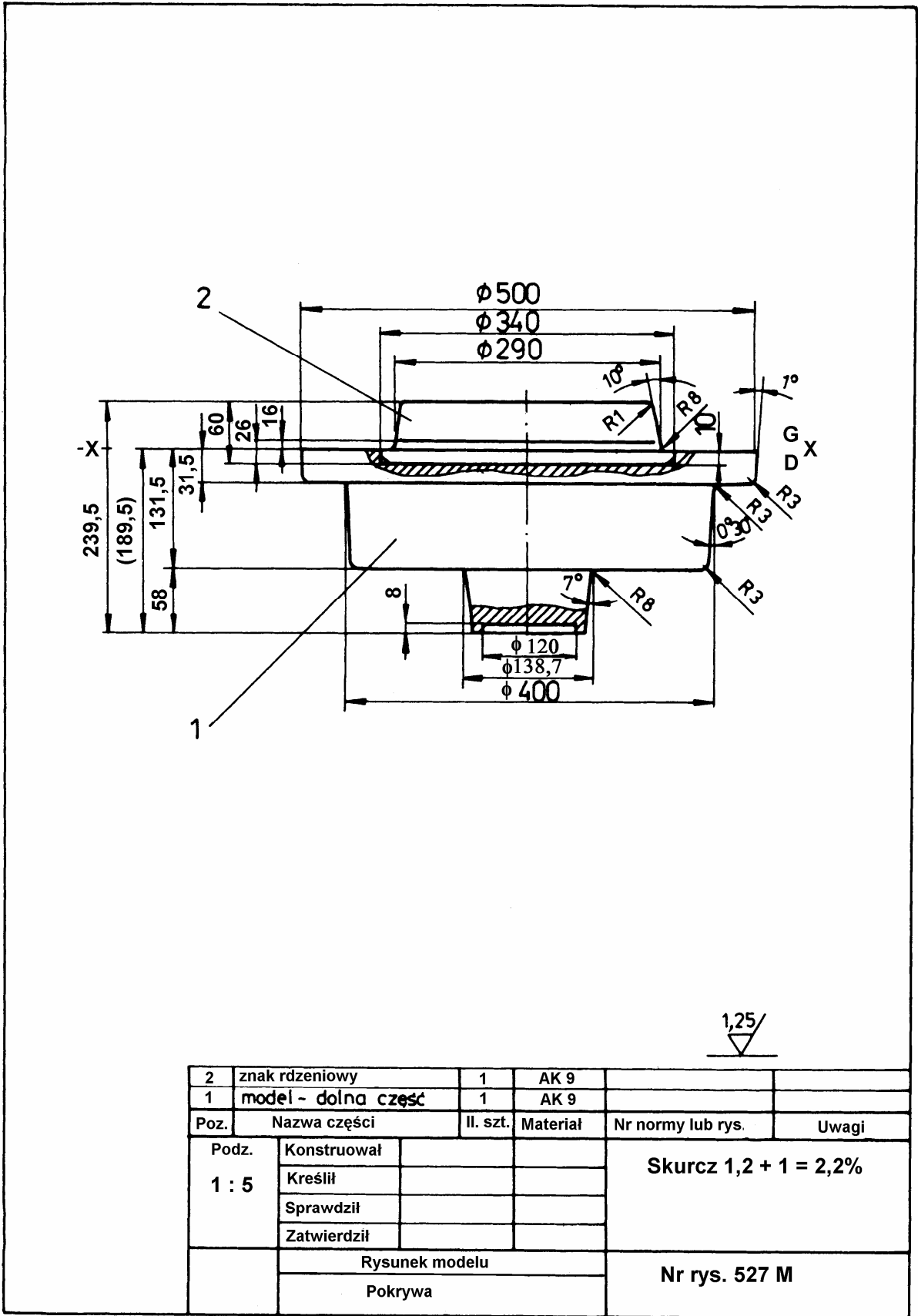
- ustalić pozycję odlewania,
- określić powierzchnię podziału formy,
- dobrać wielkość naddatków na obróbkę mechaniczną i naddatków technologicznych,
- wykonać rysunek surowego odlewu.



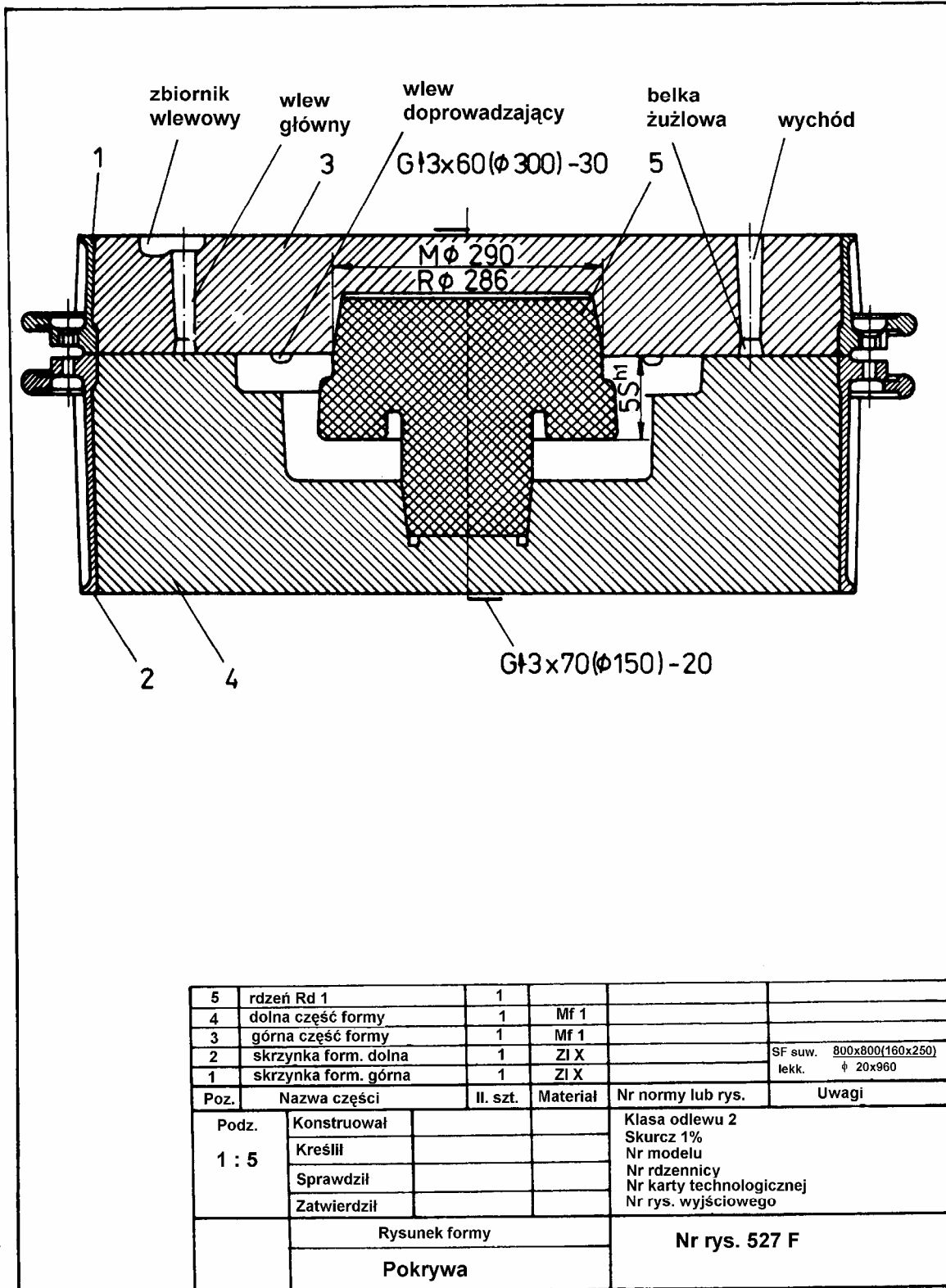
Rys. 2.7. Rysunek konstrukcyjny pokrywy żeliwnej



Rys. 2.8. Rysunek surowego odlewu



Rys. 2.9 Rysunek modelu



Rys. 2.10. Rysunek formy odlewniczej

2.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie obejmuje rysunek surowego odlewu.

Literatura

[1,8,9,10,11,12,13,15,18,20]

3. BADANIE PODSTAWOWYCH WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW I MAS FORMIERSKICH

3.1. Cel ćwiczenia

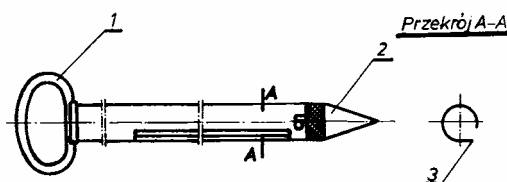
Zapoznanie się z metodami badania podstawowych właściwości piasków i glin formierskich; przeprowadzenie oznaczenia zawartości wilgoci, zawartości lepiszcza, analiza ziarnistości piasków formierskich, badanie wytrzymałości mas formierskich.

3.2. Wprowadzenie

3.2.1. Pobieranie próbek materiałów formierskich

Badania laboratoryjne przeprowadza się na pobranych i odpowiednio przygotowanych próbkach. Należy zwracać dużą uwagę na prawidłowe pobieranie próbek, aby reprezentowały średnie właściwości badanego materiału. Nigdy nie należy pobierać próbek z warstw powierzchniowych, narażonych na działanie wpływów atmosferycznych, gdyż z warstw tych może być wypłukana część gliny z najdrobniejszych ziarn. Należy odrzucać z miejsc pobierania warstwę wierzchnią grubości 25 cm (przy grubości warstwy 50 cm - połowę całkowitej warstwy).

Do pobierania próbek materiałów sypkich oraz mas formierskich i rdzeniowych służy zgłębnik typu LZ (rys. 3.1).



Rys. 3.1. Zgłębnik typu LZ: 1 – rura stalowa z uchwytem, 2 – metalowy stożek, 3 – szczelina probiercza

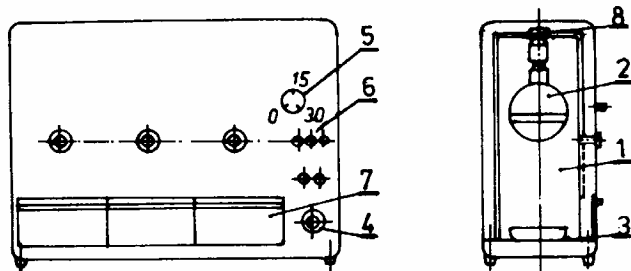
Pobieranie próbki za pomocą zgłębnika wykonuje się przez wbicie stożka w materiał i obrót w lewo o kąt 360° , który powoduje zgarnianie materiałów do wnętrza rury. Zgłębnik z pobraną próbką wyjmuje się z badanego materiału szybkim energicznym ruchem, a po odjęciu stożka wytrząsa się materiał z rury. Objętość pobieranej próbki $0,6 \text{ dcm}^3$, głębokość próbki do 1000 mm.

3.2.2. Oznaczenie zawartości wilgoci

Pod pojęciem „wilgoci” rozumie się wodę higroskopijną, która zostaje usunięta z próbki w czasie suszenia jej w temperaturze $105 - 110^{\circ}\text{C}$. Jest to w przeważającej ilości woda adsorpcyjna, kapilarna i swobodna.

Do oznaczania zawartości wilgoci można stosować:

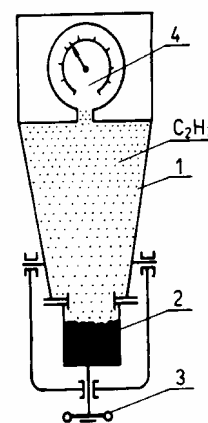
- suszarkę elektryczną laboratoryjną z regulacją umożliwiającą utrzymanie w ciągu godziny temperatury 105°C , mierzonej termometrem rtęciowym z dokładnością do $0,5^{\circ}\text{C}$;
- suszarkę pośpieszną promiennikową trójstanowiskową (rys. 3.2.);
- urządzenie do szybkiego oznaczania zawartości wilgoci Speedy (rys. 3.3).



Rys. 3.2. Suszarka laboratoryjna pośpieszna promiennikowa 3 – stanowiskowa: 1 – komora, 2 – żarówka, 3 – próbka, 4 – wyłącznik główny, 5 – przełącznik czasowy, 6 – wyłączniki błyskawiczne lamp promiennikowych, 7 – drzwiczki, 8 – oprawa żarówki

Suszarka promiennikowa składa się z trzech komór 1 wzajemnie odizolowanych cieplnie. W komorach są umieszczone żarówki promiennikowe 2, każda o mocy 250 W. Dostęp do komór udostępniają odchylane drzwiczki 7. Z prawej strony suszarki jest umieszczony osprzęt elektryczny i tablicowy, na który składają się: przełącznik czasowy 5, wyłącznik główny 4, wyłączniki błyskawiczne do lamp promiennikowych 6.

Zestaw Speedy składa się z kilku odrębnych części, mianowicie: aparatu z manometrem, jednoszalkowej wagi, czepaka, szczotki, szczelnego naczynia na karbid. Aparat składa się z cienkościennego korpusu 1, uchylnego jarzma ze śrubą dociskową 3, pojemnika 2, manometru sprężynowego 4 i filtru. Wnętrze korpusu stanowi komora, w której zachodzi reakcja chemiczna pomiędzy wodą zawartą w masie a rozdrobnionym karbidem.



Rys. 3.3. Aparat Speedy do oznaczania wilgoci: 1 – korpus, 2 – pojemnik, 3 – śruba dociskowa, 4- manometr

3.2.2.1. Oznaczenie zawartości wilgoci przy użyciu suszarki laboratoryjnej promiennikowej

Z próbki laboratoryjnej pobranej zgodnie z normą odważa się na wadze technicznej $50 \pm 0,1$ g materiału formierskiego. Próbkę wstawia się do suszarki laboratoryjnej i suszy w temperaturze $105-110^{\circ}\text{C}$. Czas suszenia dla próbek zawierających do 10% wilgoci wynosi 15 min. Po wysuszeniu próbki i ostudzeniu w eksykatorze ustala się procentową zawartość wilgoci W według wzoru 3.1.

$$W = \frac{a-b}{a} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

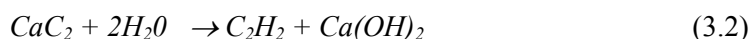
gdzie; a - masa próbki wilgotnej w gramach
 b - masa próbki wysuszonej w gramach

Za wynik pomiaru przyjmuje się średnią z dwóch równoległych oznaczeń. Różnica między dwoma oznaczeniami nie może przekraczać 0,2% wilgoci.

3.2.2.2. Oznaczenia zawartości wilgoci aparatem Speedy

Do oznaczenia odważa się 6 g badanego materiału na specjalnie wycechowanej jednoszalkowej wadze stanowiącej wyposażenie aparatu.

Odważoną próbkę materiału umieszcza się w starannie wyczyszczonym pojemniku, a do korpusu aparatu wsypuje około 5 g sproszkowanego karbidu, pobranego czerpakiem. Po wsypaniu materiałów aparat należy zestawić w położeniu poziomym uważając, aby przed dokręceniem śruby dociskowej nie nastąpiło zetknięcie się wilgotnej próbki z karbidem. Następnie wstrząsa się aparatem w pozycji pionowej aż do ustalenia się położenia wskazówki manometru. W zamkniętej komorze zachodzi reakcja wytwarzania acetyleny:



Wydzielający się acetylen powoduje wzrost ciśnienia w aparacie, który przenosi się na manometr wycechowany w procentach wilgotności.

Odczytu dokonuje się w poziomym położeniu aparatu, a rzeczywistą zawartość wilgoci ustala się przez porównanie odczytu na manometrze z wykresem cechowania dołączonym do każdego aparatu. Za miarodajny wynik przyjmuje się średnią arytmetyczną z dwóch oznaczeń, przy czym różnica między tymi wartościami nie może przekraczać 0,5% wilgotności.

3.2.3. Oznaczenia zawartości lepiszcza

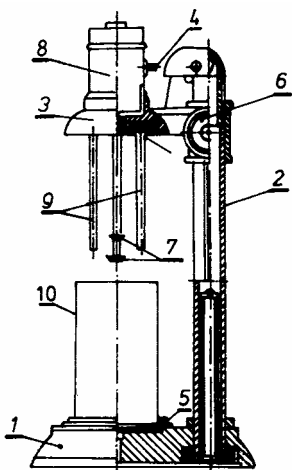
Przez „lepiszcze” rozumie się wszystkie występujące w piaskach formierskich minerały o wielkości ziarn równej lub mniejszej od 0,02 mm. Pomiar polega na oddzieleniu lepiszcza od osnowy ziarnowej piasku i obliczeniu na podstawie różnicy mas procentowej zawartości lepiszcza.

Oddzielenie lepiszcza od osnowy jest oparte na wykorzystaniu różnicy szybkości opadania cząstek w wodzie w zależności od ich wielkości, przy założeniu jednakowej ich gęstości.

Do oznaczenia zawartości lepiszcza służy aparat (rys. 3.4) składający się z głowicy napędowej 3 przesuwanej się po wałku pionowym 2 osadzonym w trójkątnej podstawie 1.

W głowicy jest umieszczony silnik elektryczny 8 sprzęgnięty z mieszadłem 7, wyłącznik błyskawiczny 4, mechanizm zaczepu ustalający głowicę w jej górnym położeniu 6, trzy nastawne pręty kierunkowe o przekroju profilowym 9 oraz pierścień uszczelniający. W podstawie aparatu znajduje się sprężyste zamocowana podstawka 5, na której ustawia się naczynie szklane napełnione badaną mieszaniną.

Asymetrycznie rozstawione pręty mają za zadanie zakłócenie ustabilizowanego przepływu mieszaniny ciekłej wprowadzonej w ruch wirowy przez obracające się mieszadło. Zakłócenie ruchu wirowego mieszaniny powoduje intensywniejsze ocieranie się cząsteczek stałych zawieszonych o siebie, a w rezultacie tego zjawiska szybsze obmywanie lepiszcza.



Rys.3.4. Aparat do oznaczania zawartości lepiszcza: 1- podstawa, 2 – słup prowadzący głowicę napędową, 4 – wyłącznik, 5 – podstawka sprężynująca, 6 – dźwignia zaczepu głowicy, 7 – mieszało, 8 – silnik, 9 – pręty kierunkowe, 10 – naczynie szklane

Oznaczenie zawartości lepiszcza przeprowadza się w następujący sposób. Z wysuszonego piasku lub masy formierskiej pobiera się próbkę o masie $50 \pm 0,1$ g i wysypuje do naczynia szklanego dodając następnie 25 cm^3 3 % roztworu NaOH , oraz 5 % roztworu HCl . Naczynie z zawartością umieszcza się na podstawie sprężynującej, zwalnia dźwignię i dociska głowicę. Następnie uruchamia się mieszało, wprowadzając mieszaninę w ruch wirowy przez okres 5 minut.

Po wypłukaniu lepiszcza naczynie dopełnia się wodą do poziomu 150 mm do dna i odstawia na przeciąg 10 minut, a następnie zlewa zawiesinę w wodzie za pomocą rurki lewarowej. Do pozostałej próbki piasku dodaje się powtórnie wody i po wymieszaniu przez 5 minut ponownie pozostawia na 10 minut, ponownie pozostawia na 10 minut, a następnie odciąga zawiesinę. Czynności te powtarza się po raz trzeci z tym, że czas opadania cząstek zawiesiny wynosi 5 minut. W identyczny sposób postępuje się tak długo, aż ciecz nad osadem będzie po odstawieniu zupełnie przezroczysta.

Pozostałość w naczyniu po oddzieleniu lepiszcza należy przenieść ostrożnie na sączek, który suszy się w temperaturze $105 - 110 \text{ }^\circ\text{C}$, aż do ustalenia się ciężaru.

Po ostudzeniu waży się wykruszone z sączka ziarna piasku z dokładnością do 0,1 g i wyznacza zawrtość lepiszcza:

$$A = \frac{a - b}{a} 100\% \quad (3.4)$$

gdzie: A - zawartość lepiszcza w %
 a - masa piasku przed oddzieleniem lepiszcza
 b - masa piasku po oddzieleniu lepiszcza

Za wynik przyjmuje się średnią arytmetyczną z dwóch równoległych oznaczeń. Oznaczenie uznaje się za prawidłowe, gdy zachowana jest dokładność podana w tablicy 3.1.

Tablica 3.1

Dokładność pomiaru zawartości lepiszcza

Zawartość lepiszcza w %	Dopuszczalna różniaca między dwoma oznaczeniami %
do 1,0	0,1
1,0 do 5,0	0,3
5,0 do 10,0	0,5
powyżej 10,0	1,0

3.2.4. Analiza ziarnistości

Oznaczenie ziarnistości jest to określenie pozostałości ziarn na poszczególnych sitach (o różnej średnicy oczek) w procentach w stosunku do ilości badanego materiału. Jest to tzw. odsiew B:

$$B = \frac{b}{a} 100\% \quad (3.5)$$

gdzie: a - masa próbki przed oznaczeniem w g
 b - masa próbki pozostała na sicie w g

Odsiew przeliczony x_i jest to pozostałość ziarn na sicie przeliczona w procentach w stosunku do materiału formierskiego wziętego do przesiewania po obmyciu lepiszcza

$$x_i = \frac{B}{100 - A} 100\% \quad (3.6)$$

Liczba ziarnistości L obliczona przy stosowaniu zestawu sit (tablica 3.2) jest to liczba wskazująca numer hipotetyczny sita, przez które przeszłyby ziarna badanego materiału formierskiego, gdyby je sprowadzić do przeciętnej wielkości

$$L = \frac{\sum a_i \cdot x_i}{x_i} \quad (3.7)$$

gdzie : a_i - mnożnik podany w tablicy 3.2

Tablica 3.2

Zestaw sit do oznaczania ziarnistości w zależności od rodzaju danego materiału formierskiego

Nr sita	Prześwit oczka (P_i) (mm)	Mnożnik do obliczania liczby ziarnistości (a_i)
1,6	1,6	5
0,8	0,8	11
0,63	0,63	17
0,40	0,40	31
0,32	0,32	38
0,20	0,20	52
0,16	0,16	66
0,10	0,10	103
0,071	0,071	150
0,063	0,063	-
0,056	0,056	195
0,040	0,040	-
Denko	-	300

Średnią wielkość ziarna D_{50} można określić:

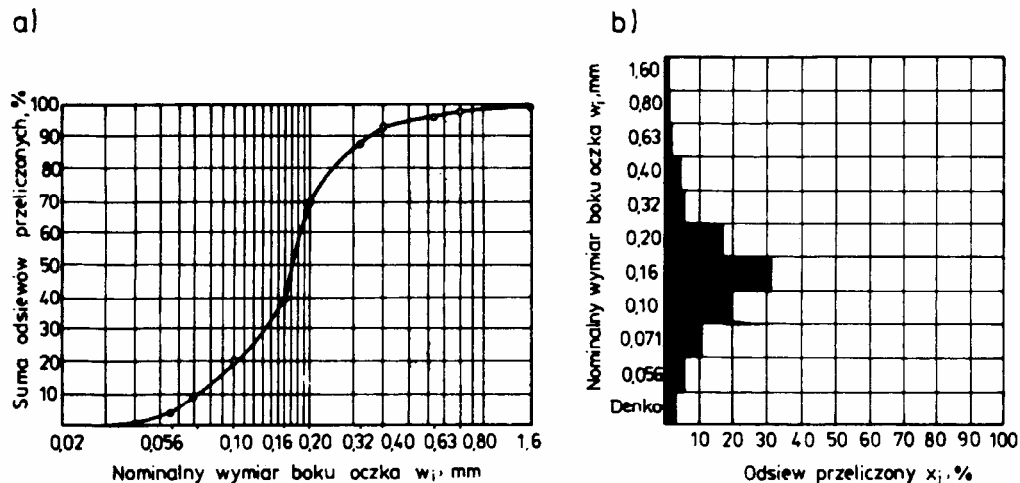
- z przeliczenia - jest to liczba wskazująca prześwit oczka hipotetycznego sita, przez które przeszły ziarna badanego materiału formierskiego, gdyby je sprowadzić do przeciętnej wielkości;
- z krzywej sum - jest to wielkość prześwitu oczka w milimetrach odpowiadająca 50% sumy odsiewów przeliczeniowych (rys. 3.5.).

Fracja główna F_g jest to suma przeliczonych odsiewów z trzech sąsiednich sit znormalizowanego zestawu, na których pozostała największa ilość ziarna. Jest to jeden ze wskaźników charakteryzujący sposób osnowę pod względem jednorodności.

Oznaczenie ziarnistości piasku przeprowadza się w następujący sposób. Z próbki laboratoryjnej pobranej zgodnie z obowiązującą normą i wysuszonej w temperaturze 105 - 110°C należy odważyć dwie próbki po 50 g masy formierskiej. Z odważonych próbek należy wypłukać lepiszcze, wysuszyć i następnie wsypać na górne sito (o największym prześwicie) zestawu ułożonego według numerów zgodnie z tablicą 3.2.

Zestaw sit należy przykryć pokrywą i umieścić na wstrząsarce wibracyjnej. Czas przesiewania wynosi 15 min. Po zakończeniu przesiewania zestaw sit przenosi się na stół laboratoryjny i zsypuje piasek z każdego sita na przygotowane arkusze papieru, czyszcząc przy tym dokładnie sita przy użyciu pędzelka. Odsiewy, a więc pozostałości ziarna na poszczególnych sitach należy dokładnie zważyć z dokładnością do 0,01g i przeliczyć wg. równania 3.4 na procenty B w stosunku do ilości materiału formierskiego wziętego do oznaczenia. Różnica między ciężarem materiału użytego do badania a sumą pozostałości na sitach nie powinna przekraczać 0,05%.

Następnie wypełnia się arkusz oceny piasku oraz wykreśla wykres krzywej sum (rys. 3.5). Ponadto określamy frakcję główną.



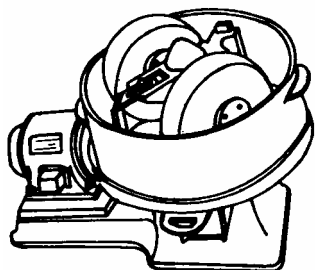
Rys. 3.5. Krzywa sum osnowy piaskowej i wykres słupkowy rozkładu ziarn na poszczególnych sitach: a) krzywa sum, b) wykres słupkowy rozkładu ziarn

Wskaźniki są podstawą dla oceny przydatności badanego materiału dla danej technologii odlewniczej.

3.2.5. Przygotowanie piasku i mas do badań

Piasek względnie masa formierska, mające być poddawane badaniom technologicznym, muszą być uprzednio przygotowane. Przygotowanie to polega na dokładnym wymieszaniu

piasku względnie składników masy i na ich nawilżeniu. Wymieszanie masy przeprowadza się w mieszarce (rys. 3.6).



Rys. 3.6. Mieszarka laboratoryjna

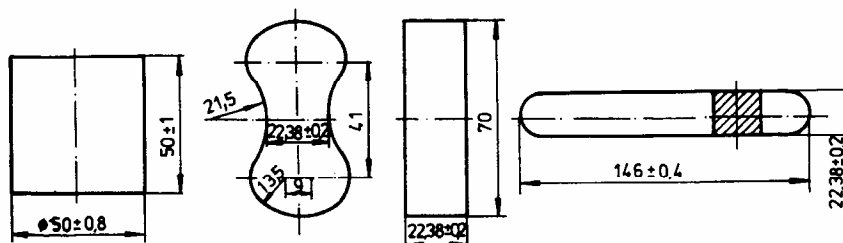
Do sporządzenia masy stosuje się suchy piasek formierski o temperaturze otoczenia (powyżej 0°C), pozostałe składniki jak glinę formierską, pył węglowy, spoiwa itp. używa się, zależnie od rodzaju dodatku, w stanie stałym lub ciekłym. Nie należy stosować piasków gorących lub ciepłych. Sumaryczna ilość składników masy powinna wynosić 3 - 6 kg. Zbyt mała ilość składników masy nie zapewnia równomiernego jej wymieszania.

Do wyczyszczonej mieszarki wprowadza się określoną ilość piasku i uruchamia mieszarkę celem równomiernego rozłożenia materiału w misie.

Następnie wlewa się połowę określonej ilości wody i po 1 minutowym mieszaniu dodaje dalsze materiały sypkie mieszając później przez 2 minuty. W dalszym ciągu uzupełnia się resztę wody oraz dodaje inne składniki ciekłe i miesza przez 7 minut. Przygotowanie masy przeprowadza się przy zamkniętej pokrywie mieszarki. Gotową masę przesiewa się przez sito o oczkach $4 \times 4\text{ mm}$ i wysypuje do szczelnie zamkniętego naczynia. Masę po dwóch godzinach odstania używa się do badań laboratoryjnych. Sposób sporządzania różnych rodzajów mas jest określony normą.

3.2.6. Formowanie kształtek laboratoryjnych

Przewiduje się stosowanie do badań trzech rodzajów kształtek: walcowych, ósemkowych i podłużnych (rys. 3.7).



Rys. 3.7. Kształtki walcowe, ósemkowe i podłużne do badań mas formierskich

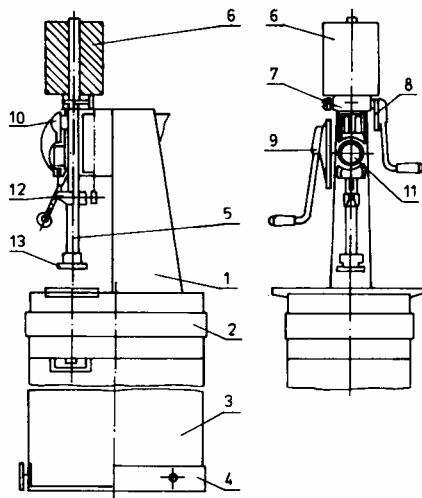
Kształtki walcowe służą do oznaczenia przepuszczalności i wytrzymałości na ściskanie w stanie wilgotnym i suszonym (utwardzonym), a także do oznaczenia innych właściwości jak odporność na ścieranie, odporność na wstrząsy itp. Kształtki ósemkowe są stosowane do oznaczania wytrzymałości na rozciąganie w stanie suszonym (utwardzonym). Kształtki podłużne wykonuje się w celu oznaczenia wytrzymałości na zginanie w stanie wysuszonym (utwardzonym).

Formowanie wszystkich rodzajów kształtek odbywa się przez trzykrotne uderzenie ciężarkiem spadającym z wysokości 50 mm wykonującym pracę zagęszczania równą 10 J. Odbywa się to przy pomocy urządzenia zwanego ubijakiem (rys. 3.8).

Badany materiał przygotowany do sporządzenia znormalizowanych kształtek wysypuje się luźno do foremki ustawionej na podstawce. Foremkę wraz z podstawką umieszcza się na podstawie ubijaka i opuszcza powoli części ruchome. Nie wolno przesuwać tych części

gwałtownie, gdyż powoduje to wstępne zagęszczenie próbki, zmieniając tym samym warunki wykonania. Przy wykonywaniu wszystkich rodzajów kształtek niedopuszczalne jest dosypywanie lub ujmowanie materiału z foremek w czasie ubijania.

Przy pomocy ubijaka można przeprowadzić również oznaczenie „płynności” mas formierskich. Polega ono na określeniu stopnia odkształcenia znormalizowanej kształtki walcowej między czwartym a piątym uderzeniem ciężarka. Oznaczenie płynności przeprowadza się w następujący sposób: na kształtkę walcową sporządzoną w sposób znormalizowany opuszcza się po raz czwarty ciężarek ubijaka. Następnie na wałku pionowym ubijaka mocuje się uchwyt stopki pod nóżkę czujnika zegarowego i nastawia się czujnik na położenie np. 5 mm. Z kolei opuszcza się po raz piąty ciężarek i odczytuje na skali czujnika ubytek wysokości kształtki w mm. Wartość płynności oblicza się ze wzoru:



Rys. 3. 8. Ubijak laboratoryjny: 1 - korpus, 2 - płyta, 3 - szabota, 4 - rama, 5 - wałek pionowy, 6 - ciężarek walcowy, 7 - jarzmo, 8 - krzywka I, 9 - krzywka II, 10 - wziernik z soczewką, 11 - czujnik zegarowy, 12 - zatrzask dla krzywki II

$$P_l = 100 - 40x \quad (3.8)$$

gdzie:

x - ubytek wysokości kształtki walcowej w mm.

Wyniki oznaczenia płynności są jednym z istotnych wskaźników oceny masy formierskiej pod względem jej przydatności do formowania zwłaszcza przez prasowanie.

3. 2.7. Oznaczanie przepuszczalności

Przepuszczalność materiałów formierskich jest to zdolność do odprowadzenia gazów. Charakteryzuje ją różny dla rozmaitych piasków i mas formierskich współczynnik przepuszczalności określony wzorem:

$$P = \frac{V \cdot h}{\tau \cdot S \cdot p} \left[\frac{m^2}{Pa \cdot s} \right] \quad (3.9)$$

gdzie: V - objętość powietrza przepływającego przez kształtkę walcową (m^3),
 h - wysokość kształtki walcowej (m),
 S - powierzchnia przekroju poprzecznego kształtki walcowej (m^2),
 p - ciśnienie powietrza pod kształtką (Pa),
 τ - czas przepływu powietrza przez kształtkę (s).

Oznaczenie przepuszczalności przeprowadza się aparatem do badania przepuszczalności z rejestratorem typ LP i LR przy stałym nadciśnieniu zasilania z wyposażeniem i podziałkami:

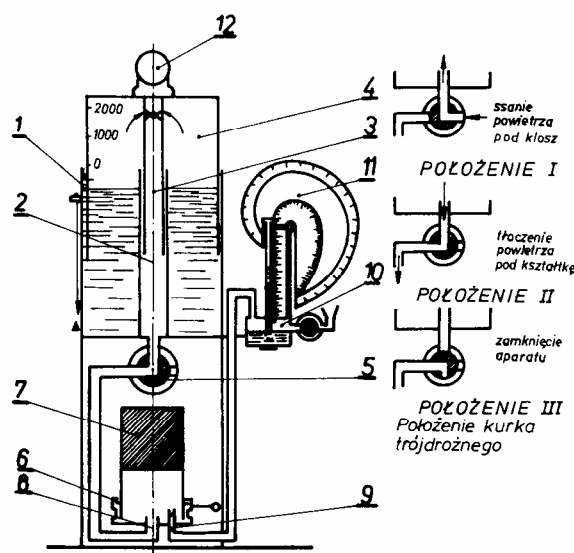
- do odczytu ciśnienia powietrza pod próbką, zakres pomiarowy 0 ÷ 1000 MPa,

- do odczytu przepuszczalności dla dyszy o średnicy 0,5 mm (zakres pomiarowy $20 \div 800 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{Pa} \cdot \text{s}$),
- do odczytu przepuszczalności dla dyszy o średnicy 1,5 mm (zakres pomiarowy $20 \div 800 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{Pa} \cdot \text{s}$),
- do odczytu przepuszczalności dla dyszy o średnicy 1,5 mm (zakres pomiarowy $700 \div 40\,000 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{Pa} \cdot \text{s}$).

Przy zamkniętych dyszach aparatu ciśnienie powietrza powinno wynosić $980 \pm 10 \text{ Pa}$.

Schemat rejestratora przedstawia rys. 3.9

Oznaczenie przepuszczalności przeprowadza się na znormalizowanej kształtce 50 x 50 mm zagęszczonej na ubijaku. Przepuszczalność mas wilgotnych p^w bada się w tulejce niedzielonej, w której próbka została ubita. Przepuszczalność na sucho p^s oznacza się w tulejce z przekładką gumową, dociskaną do poboczniczy próbki powietrzem sprężonym pompką ręczną.



Rys. 3.9. Schemat aparatu do oznaczania przepuszczalności; 1 – zbiornik wodny, 2 – rurka – przewód powietrzny, 3 – rurka klosza, 4 – klosz, 5 – zawór trójdrożny, 6 – podstawa, 7 – kształtka badana, 8 – gniazdo dyszy, 9 – króciec, 10 – manometr, 11 – ruchoma skala, 12 – uchwyt klosza, 13 – urządzenie dociskające

3.2.8. Oznaczenie wytrzymałości

Wytrzymałość materiału formierskiego jest to wartość graniczna jego odporności na wywierany nacisk zewnętrzny, przy którym następuje trwałe odkształcenie badanej kształtki laboratoryjnej.

Metody badań własności wytrzymałościowych obejmują oznaczenia: wytrzymałości na ściskanie - R_c : w stanie wilgotnym R_c^w i wysuszonym R_c^s , na ścinanie - R_t (R_t^w i R_t^s), na rozciąganie - R_m (R_m^w i R_m^s). Zasady oznaczenia wytrzymałości są przedstawione na rys. 4.10.

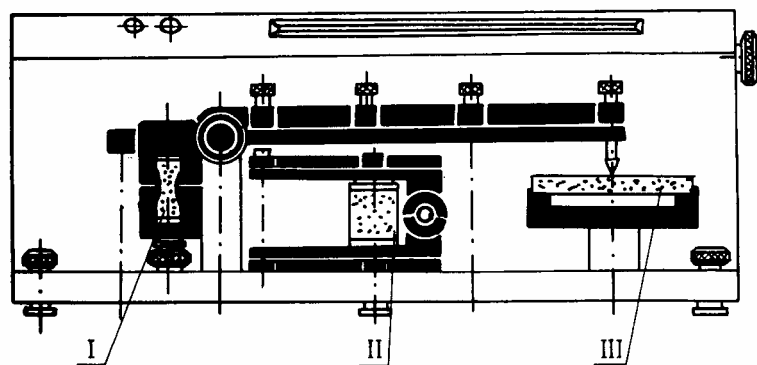
Badanie	Ściskanie	Ścinanie	Zginanie	Przeciąganie
Kształtki suszone (utwardzone)				
Kształtki wilgotne				

Rys. 3.10. Rodzaje kształtek laboratoryjnych i sposoby ich obciążania

Jako jednostkę wytrzymałości w układzie SI przyjęto MPa. Ze względu na to że aparaty służące do pomiaru wytrzymałości mas są wycechowane w kG/cm^2 względnie w G/cm^2 , należy odczytany wynik pomiaru przeliczyć na jednostki SI wg relacji:

$$1 \cdot \text{kG/cm}^2 = 9,81 \cdot 10^{-2} \text{ MPa}$$

Aparat do oznaczania wytrzymałości mas formierskich (rys. 3.11) jest zbudowany na zasadzie dźwigni jednoramiennej z przesuwным obciążnikiem. Na wspólnej osi z dźwignią jest osadzone ramię pomiarowe z otworami do mocowania szczęk górnych dla oznaczania ściskania, ścinania, rozciągania i zginania badanych kształtek. Dolne szczęki są mocowane w odpowiednich otworach rozmieszczonych na podstawie aparatu.



Rys. 3. 11. Aparat do oznaczania wytrzymałości mas formierskich: I, II, III – osie pomiarowe, w których kolejno umieszczane są badane próbki

Obciążnik jest napędzany dwoma silnikami działającymi na przemian, jeden w kierunku ruchu roboczego, drugi w kierunku powrotnym. Wyniki pomiarów dla poszczególnych zakresów wytrzymałościowych są odczytywane na osobnych skalach umieszczonych na wałku

obrotowym. Aparat jest wyposażony w komplet szczęk na ściskanie, ścinanie, zginanie, rozciąganie.

3.2.8.1. Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie

Przygotowaną kształtkę walcową umieszcza się między dwiema szczękami płaskimi i poddaje naciskowi skierowanej osiowo siły P wzrastającej aż do osiągnięcia wartości granicznej P_c , przy której kształtka ulega zniszczeniu. Kształtkę umieszcza się w jednej z osi:

- R_{c0} (zakres $0 \div 0,864 \text{ G/cm}^2$),
- R_{cI} (zakres $0 \div 1,344 \text{ G/cm}^2$),
- R_{cII} (zakres $0 \div 6,704 \text{ G/cm}^2$),
- R_{cIII} (zakres $0 \div 21,04 \text{ G/cm}^2$).

Wynik odczytuje się na odpowiedniej skali i dzieli przez 100.

3.2.8.2. Oznaczenie wytrzymałości na ścinanie

Badanie przeprowadza się przy użyciu szczęk na ścinanie umieszczając je w osiach R_{II} lub R_{III} oraz po zestawieniu dodatkowego ramienia w osi R_{III} . Wyniki pomiarów odczytuje się na skalach R_{II} , R_{III} , R_{III} .

3.2.8.3. Oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie

Przygotowaną kształtkę ósemkową umieszcza się w uchwytach wmontowanych przed pomiarem do aparatu i poddaje działaniu skierowanej osiowo siły rozciągającej P aż do osiągnięcia wartości granicznej P_m , przy której kształtka ulega zniszczeniu.

Przy oznaczaniu R_{rI} ($0 \div 13,03 \text{ G/cm}^2$) odczytany na skali wynik należy podzielić przez 2. Jeżeli kształtka nie ulegnie zniszczeniu, należy przejść na zakres drugi R_{rII} ($0 \div 264 \text{ G/cm}^2$) używając nowej kształtki. Stosując przystawkę do aparatu wytrzymałościowego można rozciągać kształtki walcowe w zakresie R_{rIII} ($0 \div 0,3364 \text{ G/cm}^2$) - (odczyt na skali R_{gS} dzielony przez 1000)

3.2.8.4. Oznaczenie wytrzymałości na zginanie

Oznaczenie wykonuje się na kształtkach podłużnych umieszczonych pomiędzy pryzmatycznymi szczękami. Wyniki odczytuje się na skalach R_{gI} ($0 \div 86,0 \text{ kG/cm}^2$) lub R_{gS} ($0 \div 336 \text{ kG/cm}^2$).

Wyniki badań własności wytrzymałościowych umieszcza się w tablicy.

3.2.9 Oznaczenie osypliwości mas formierskich

Oznaczenie osypliwości mas formierskich służy do określenia ubytku masy formierskiej wskutek sił tarcia. Do oznaczenia stosuje się aparat posiadający lampę promiennikową o mocy 250 W, oraz dwie napędzane rolki.

Oznaczenie przeprowadza się na próbkach walcowych wilgotnych i suchych. Przy badaniu osypliwości masy formierskiej wilgotnej zważoną próbkę walcową umieszcza się na rolkach

w takiej odległości, aby temperatura panująca na powierzchni próbki wynosiła $95 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Następnie próbkę wprawia się w ruch obrotowy na okres 5 min, jednocześnie włączając lampę promiennikową. Osypliwość oblicza się na podstawie ubytku ciężaru badanej próbki wg. wzoru:

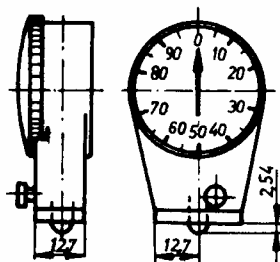
$$O_s = \frac{a-b}{a} \cdot 100\% \quad (3.11)$$

gdzie: O_s - osypliwość wyrażona w procentach
 a - ciężar próbki przed oznaczeniem
 b - ciężar próbki po oznaczeniu

Oznaczenie osypliwości próbek wysuszonych przeprowadza się bez udziału lampy promiennikowej. Czas oznaczania waha się w granicach 2 minut. Sposób obliczania osypliwości wg. wzoru 3.11.

3.2.10. Oznaczenie twardości powierzchniowej

Twardość powierzchniowa jest to opór stawiany przez materiał wciskanej kulce twardościomierza.



Rys. 3.12.
Twardościomierz do

Pomiar polega na wciskaniu kulki twardościomierza (rys. 3.12) o średnicy 5,08 mm z siłą 2,37 N wywieraną przez sprężyny. Twardościomierz wyposażony jest w skalę podzieloną na 100 części. Jedna podziałka oznacza wgłębienie kulki równej 0,0254 mm i jest równoznaczna jednostce twardości. Pomiaru dokonuje się w ten sposób, że do płaskiej powierzchni kształtki walcowej lub formy dociska się równomiernie kulkę tak, aby podstawa twardościomierza przylegała ściśle do badanej powierzchni. Następnie odczytuje się na skali twardość i określa stopień ubicia przedstawiony w tabelicy 3.4.

Za wynik przyjmuje się średnią arytmetyczną z trzech równoległych oznaczeń, przy czym różnica między wartością minimalną i maksymalną nie może przekraczać 10% wyniku średniego.

Tablica 3.4

Stopień ubicia kształtki wyrażonej w jednostkach twardości	
Jednostki twardości	Stopień ubicia
poniżej 12	bardzo słaby
około 20	słaby
około 50	średni
około 70	silny
powyżej 80	bardzo silny

3.3. Pomoce i urządzenia

- masa formierska
- piaski formierskie
- zgłębnik
- suszarki laboratoryjne

- aparat Speedy
- aparat do oznaczania zawartości lepiszcza
- zestaw sit z wstrząsarką wibracyjną
- waga laboratoryjna
- mieszarka
- ubijak z foremkami
- aparat do oznaczania przepuszczalności z rejestratorem
- aparat do badania wytrzymałości masy formierskiej
- aparat do oznaczania osypliwości
- twardościomierz

3.4. Instrukcja ćwiczenia

- pobrać próbkę piasku formierskiego
- zbadać jej wilgotność
- określić zawartość lepiszcza
- przeprowadzić oznaczenie ziarnistości
- wymieszać masę formierską
- przygotować kształtki
- oznaczyć przepuszczalność masy formierskiej
- oznaczyć własności wytrzymałościowe masy formierskiej
- oznaczyć osypliwość
- zmierzyć twardość próbek
- sporządzić sprawozdanie

3.5. Sprawozdanie

Sprawozdanie obejmuje tablicowe zestawienie wyników pomiarów.

Literatura

[4,6,10,11,12,16,17,20]

4. FORMOWANIE RĘCZNE PRZY UŻYCIU MODELU NIEDZIELONEGO, DZIELONEGO I UPROSZCZONEGO

4.1. Cel ćwiczenia

Praktyczne zapoznanie się z wykonywaniem form piaskowych przy użyciu modelu niedzielonego, dzielonego i uproszczonego.

4.2. Wprowadzenie

4.2.1. Materiały formierskie i ich przygotowanie

Materiały formierskie służą - po odpowiedniej przeróbce - do wykonywania form i rdzeni. Dzieli się na główne i pomocnicze. Masą formierską lub rdzeniową nazywa się mieszaninę głównych i pomocniczych materiałów formierskich z wodą, dobranych w odpowiednich proporcjach i odpowiednio przygotowanych.

Główne materiały formierskie to:

- piaski formierskie - niektóre z sypkich i luźnych skał osadowych, składające się głównie z ziarn kwarcu o nieregularnych kształtach, gdzie zawartość osnowy ziarnowej wynosi minimum 65% ciężaru. W piaskach tych może występować naturalne lepiszcze mineralne - w ilości do 35%. Poza piaskami formierskimi mogą być stosowane inne minerały charakteryzujące się wysoką ognioodpornością oraz posiadające mniejszą rozszerzalność cieplną jak np. korund naturalny i sztuczny, mulit, szamot, magnezyt, chromit, silimanit i cyrkon;
- gliny formierskie zawierające powyżej 50% lepiszcza.

Pomocniczym materiałem formierskim zazwyczaj są różnego rodzaju spoiwa pochodzenia organicznego i nieorganicznego, służące do spajania ze sobą luźnych ziaren piasku, jak: oleje roślinne, kalafonia, dekstryna, melasa, szkło wodne, żywice syntetyczne i w coraz większym zakresie żywice szybkoztwardzalne na zimno i na gorąco. Do pomocniczych materiałów zaliczamy również materiały chroniące masę przed przypaleniem się jej do powierzchni odlewu (grafit, pył węglowy, węgiel drzewny), materiały zwiększające przepuszczalność (torf, trociny), pudry formierskie (likopodium, talk).

Schemat podziału materiałów formierskich przedstawiony jest na rys. 4.1.

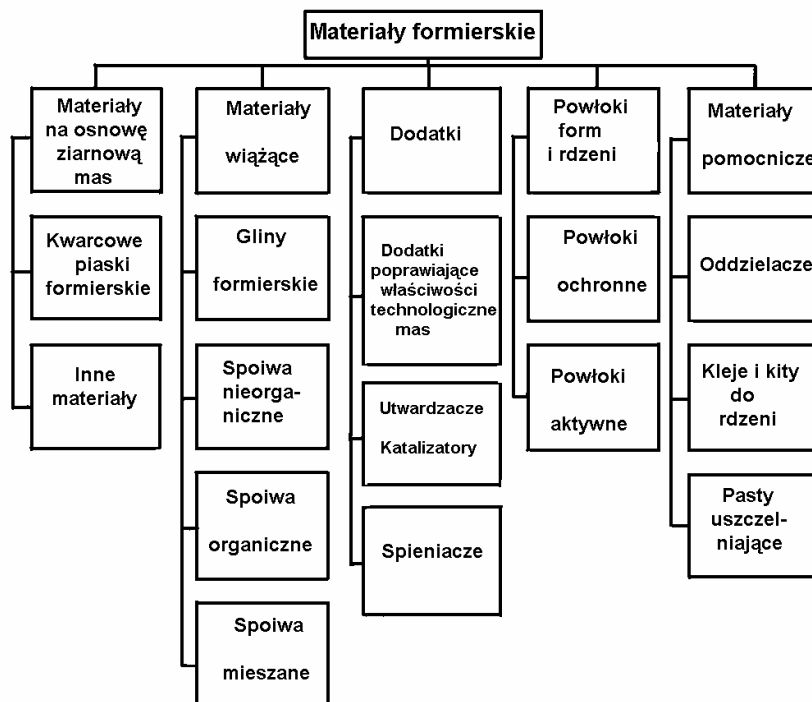
Masy formierskie i rdzeniowe można sklasyfikować zależnie od zastosowania i rodzaju:

- masy stosowane do odlewania żeliwa, staliwa i metali nieżelaznych,
- masy do form odlewanych „na wilgotno” i „na sucho”,
- masy przymodelowe i wypełniające oraz jednolite,
- masy naturalne i syntetyczne,
- masy formierskie i rdzeniowe specjalne (cementowe, ceramiczne i tp.).

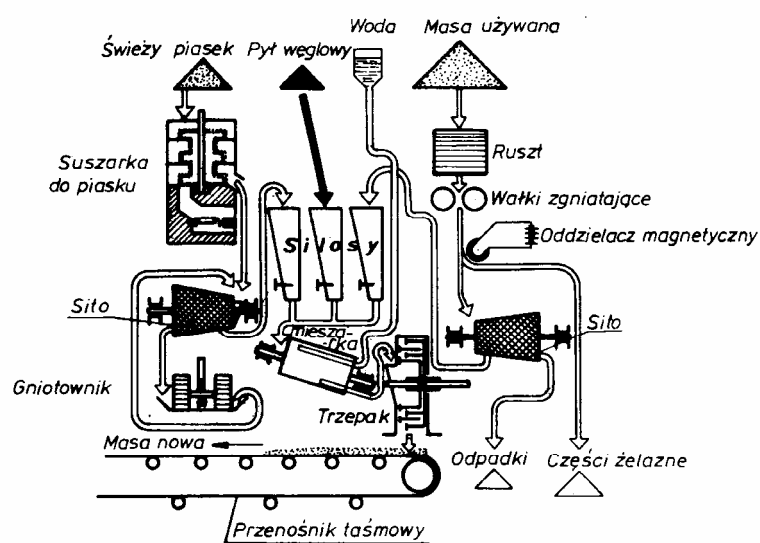
Masy formierskie przygotowuje się ze świeżego piasku i gliny z dodatkiem używanej masy i domieszek. Proces technologiczny przygotowania mas składa się z następujących etapów:

- przygotowanie świeżych piasków z potrzebną zawartością gliny,
- regeneracja masy formierskiej używanej (starej),
- przygotowanie domieszek,
- przygotowanie masy formierskiej z przygotowanych składników.

Kolejne czynności związane z tokiem przerobu wprowadzonych materiałów i przebiegiem sporządzania z nich użytecznej masy wraz ze stosowanymi urządzeniami przedstawia rys. 4.2.



Rys. 4.1. Podział mas formierskich

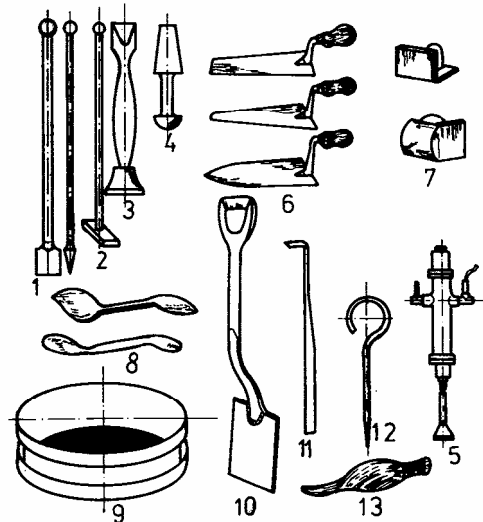


Rys. 4.2. Schemat przygotowania masy formierskiej

4.2.2. Narzędzia i przyrządy formierskie

Do ręcznego wykonywania formy służą specjalne narzędzia formierskie, które zależnie od zastosowania można podzielić na dwie grupy:

- narzędzia służące do zaformowania modelu w skrzynce lub w podłożu odlewni (rys. 4.3),
- narzędzia służące do wyjmowania modelu, naprawiania części uszkodzonych formy i ostatecznego wykończenia jej (rys. 4.3).



Rys. 4.3. Podstawowe narzędzia do formowania ręcznego: 1, 2 - ubijaki duże, 3, 4 - ubijaki małe, 5 - ubijak pneumatyczny, 6 - gładziki płaskie, 7 - gładziki krawędziowe, 8 - jaszczurki, 9 - sito, 10 - łopata, 11 - lancet z haczykiem, 12 - haczyk do wyjmowania modelu, 13 - pędzel

Formy odlewnicze wykonuje się najczęściej w metalowych skrzynkach formierskich. Skrzynki te mogą być prostokątne, kwadratowe, okrągłe i o kształtach specjalnych. Wykonuje się je jako odlewy z żeliwa, staliwa, aluminium oraz tłoczone i spawane z blach stalowych.

Do wykonania formy odlewniczej potrzebny jest model. Model odlewniczy jest pomocniczym przyrządem o kształcie zewnętrznym odlewianego przedmiotu z pewnymi zmianami podyktowanymi względami odlewniczym. Wymiary modelu powiększone są o wielkości skurczu metalu w czasie krzepnięcia.

Pod względem konstrukcyjnym modele możemy podzielić na grupy:

I- modele bezpośrednio odtwarzające kształt odlewu: są to modele bezrdzeniowe, czyli tzw. modele naturalne,

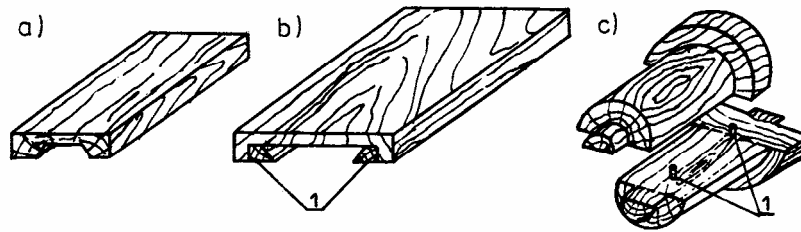
II - modele pośrednio odtwarzające kształt odlewu, wymagające stosowania skrzynek rdzeniowych (rdzennic),

III - modele uproszczone.

Wszystkie modele można wykonać jako modele dzielone i niedzielone (rys. 4.4).

Do formowania ręcznego, czyli do produkcji jednostkowej i małoseryjnej wykonuje się je z drewna. Znacznie bardziej trwałe są modele metalowe wykonywane najczęściej ze stopów aluminium, miedzi i żeliwa.

Modele metalowe stosuje się przy formowaniu maszynowym; są one zamocowane na stałe do płyt podmodelowych i tworzą tzw. płytę modelową.

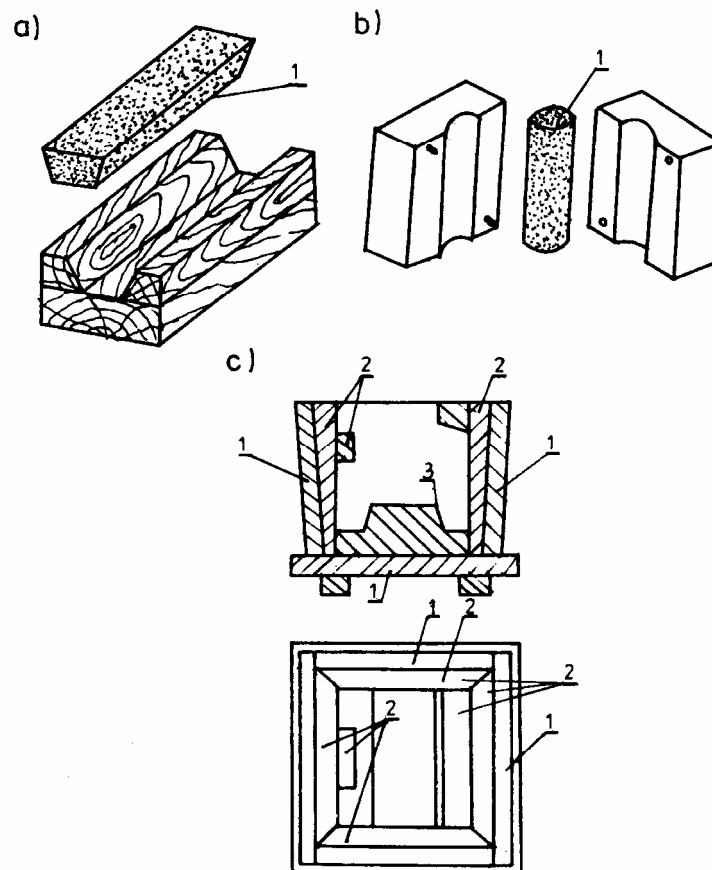


Rys. 4.4. Modele drewniane: a - niedzielony, b - z częściami odejmowanymi, 1 - listwy ustalające, c - dzielony, 1 - kołki ustalające

Obecnie modele i rdzennice małe i średniej wielkości wykonywane są z tworzyw sztucznych.

Nie wszystkie odlewy tworzą pełną, zwartą bryłę, wypełnioną całkowicie metalem. Większość odlewanych elementów posiada wewnątrz różnego kształtu i wielkości wolne przestrzenie lub otwory odtwarzane przez rdzenie mocowane w formie.

Rdzenie formuje się w rdzennicach, które również mogą być niedzielone, dzielone i z częściami odejmowanymi (rys. 4.5).



Rys. 4.5. Rdzennice: a - niedzielone, 1 - rdzeń; b - dzielone, 1 - rdzeń; c - skrzynkowa z częściami odejmowanymi, 1 - pancierz rozbieralny, 2 - boczne wysuwane części, 3 - dolna odejmowana część

W rdzeniach odróżniamy dwie części: właściwy rdzeń odtwarzający określoną część odlewu i rdzennik, niezbędny do utrzymania rdzenia w ściśle określonym miejscu formy. Wnękę do umieszczenia rdzenia w formie odtwarza znak rdzeniowy modelu.

Rdzenie wykonywane są najczęściej z masy ze spoiwem wymagającym suszenia w suszarni w celu utwardzenia (np. szkło wodne, spoiwa żywiczne).

4.2.3. Wykonanie formy

Większość form odlewniczych sporządza się w dwóch, rzadziej w kilku skrzynkach formierskich. W przypadku formowania dwuskrzynkowego, forma składa się z części górnej i dolnej, rozdzielonych płaszczyzną podziału. Formy dwuskrzynkowe można wykonać z modeli niedzielonych i dzielonych. W ostatnim przypadku, najczęściej spotykanym, powierzchnia podziału modelu pokrywa się z powierzchnią podziału formy.

4.2.3.1. Formowanie w dwóch skrzynkach formierskich

Wykonanie formy odlewniczej w dwóch skrzynkach z modelu drewnianego niedzielonego składa się z następujących zabiegów:

- ustawienie modelu i odwróconej skrzynki dolnej na płycie podmodelowej,
- posypanie modelu pudrem formierskim w celu zabezpieczenia przed przywieraniem masy formierskiej,
- wypełnienie skrzynki masą przymodelową i wypełniającą oraz jej ubicie,
- wykonanie odpowietrzenia nakłuwakiem,
- odwrócenie dolnej połówki formy wraz z modelem o 180° , ustawienie na modelu odlewu modelu układu wlewowego i górnej skrzynki,
- wypełnienie górnej skrzynki masą formierską i ubicie jej,
- rozłożenie ubitych form na części, wyjęcie modeli, reperacje i wykańczanie form - suszenie rdzeni,
- składanie formy, przygotowanie do zalania i zalanie ciekłym metalem.

Wykonanie form z modelu dzielonego przebiega w podobny sposób, z tą jednak różnicą, że po odwróceniu dolnej skrzynki, w której była zaformowana połowa modelu, układa się jego drugą część, model wlewu, a następnie górną skrzynkę, którą wypełnia się masą formierską. Kolejne czynności przy formowaniu w dwóch skrzynkach przedstawia tablica 4.1.

4.2.3.2. Wykonanie rdzeni

Rdzenie wykonuje się w rdzennicach w następujący sposób:

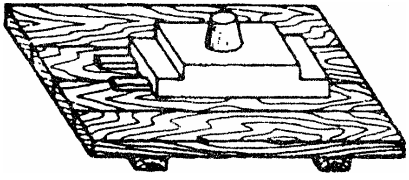
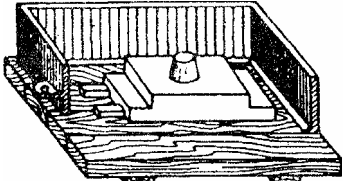
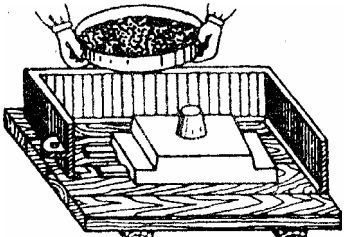
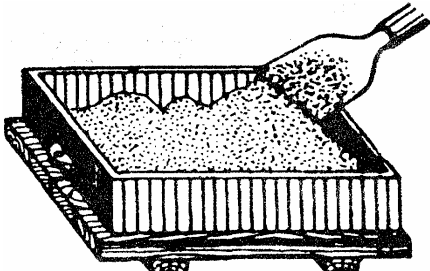
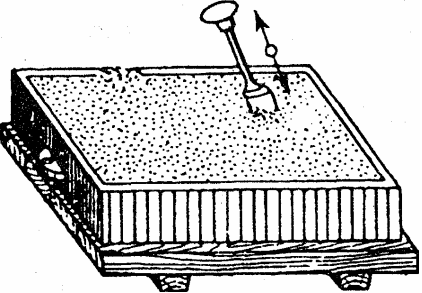
- składa się połówki rdzennicy i ściąga ściskaczem,
- wypełnia do połowy rdzennicę masą rdzeniową i ustawia żebro z drutu stalowego,
- dopełnia rdzennicę masą,
- wykonuje kanał odpowietrzający nakłuwakiem,
- wyjmuje rdzeń z rdzennicy i suszy się.

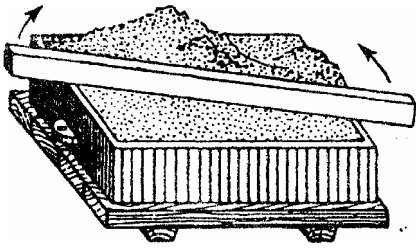
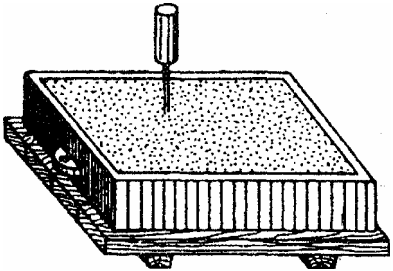
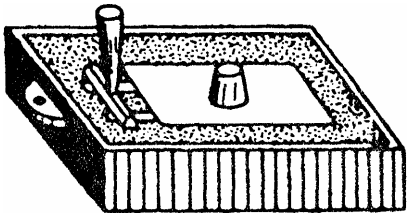
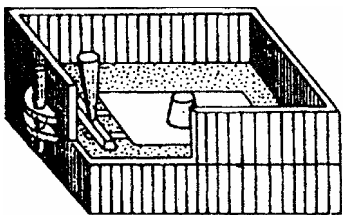
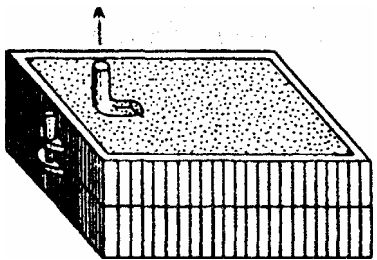
4.2.3.3. Formowanie wzornikiem

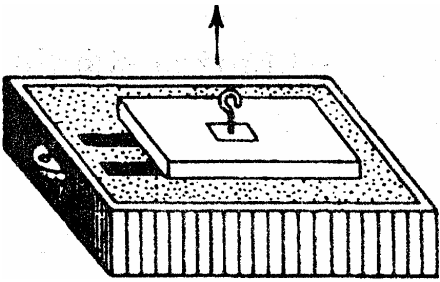
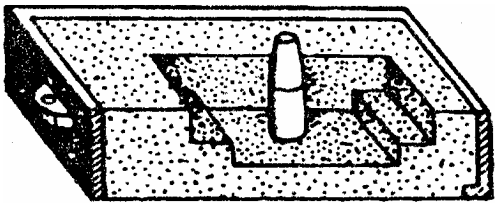
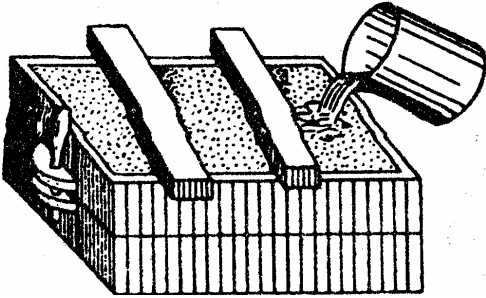
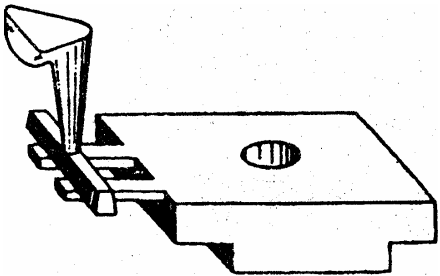
Poza opisanym formowaniem ręcznym w dwóch skrzynkach z modelu niedzielonego lub dzielonego istnieje cały szereg metod formowania ręcznego różniących się czynnościami i zabiegami oraz zakresem zastosowań w zależności od wielkości i charakteru produkcji.

Tablica 4.1

Przebieg ręcznego wykonania formy

1	2
	<p>Ustawić płytę podmodelową. Na płycie umieścić model i opylić pudrem</p>
	<p>Należy dolną skrzynkę formierską</p>
	<p>Obsypać model masą formierską i obcisnąć ręką</p>
	<p>Wypełnić skrzynkę masą</p>
	<p>Ubijać ubijakiem ręcznym</p>

1	2
	<p>Zgarniać nadmiar masy listwą zgarniającą</p>
	<p>Wykonać kanały odpowietrzające za pomocą nakłuwaka</p>
	<p>Obrócić dolną połowę formy o 180°. Wyrównać gładzikiem powierzchnię. Ustawić na wlewach doprowadzających belkę wlewową i na belce wlew główny</p>
	<p>Ustawić górną połówkę skrzynki. Obsypać powierzchnię pudrem formierskim</p>
	<p>Wypełnić górną skrzynkę masą formierską ubijając ubijakiem ręcznym. Zgarnąć nadmiar ubitej masy. Wykonać nakłuwakiem kanały odpowietrzające. Wykonać zbiornik wlewowy i wyjąć model wlewu głównego</p>

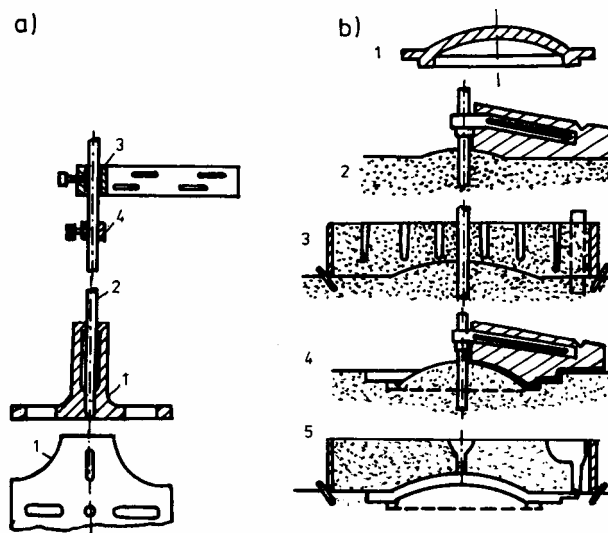
1	2
	<p>Zdjąć górną połowę formy i obrócić o 180°.</p> <p>Zwilżyć obrys modeli nawilżonym pędzlem.</p> <p>Obstukać modele i ostrożnie je wyjąć</p>
	<p>Zamocować rdzeń w gnieździe</p>
	<p>Założyć górną połówkę skrzynki na dolną wg. sworzni.</p> <p>Ustawić na formie obciążniki.</p> <p>Zalać formę ciekłym metalem</p>
	<p>Odlew</p>

Do formowania pojedynczych lub najwyżej kilku dużych odlewów o kształcie obrotowym jak koła zamachowe, większe koła pasowe, pokrywy itp. zamiast kosztownych i łatwo deformujących się modeli używa się tanich i prostych w wykonaniu wzorników, obracanych przeważnie dookoła osi pionowej (rys. 4.6).

Przebieg formowania wzornikiem:

- wykonujemy w gruncie za pomocą wzornika wgłębienie służące do uformowania skrzynki górnej,
- formujemy skrzynkę górną,

- zdejmujemy skrzynkę górną,
- za pomocą wzornika formujemy dolną część formy,
- składamy skrzynki do zalewania.



Rys. 4.6. Przykład formowania przy użyciu wzornika; a - urządzenie do formowania wzornikowego, 1 - łożysko, 2 - wrzeciono stalowe, 3 - ramię żeliwne, 4 - pierścień nastawczy; b - formowanie wzornikowe pokrywy, 1 - pokrywa, 2 - formowanie wzornikiem górnej powierzchni pokrywy, 3 - formowanie skrzynki górnej, 4 - formowanie pokrywy, 5 - forma przygotowana do zalania

4.3. Pomoce i urządzenia

- masa formierska,
- skrzynki formierskie,
- płyta podmodelowa,
- model,
- narzędzia formierskie,
- puder formierski.

4.4. Instrukcja do ćwiczenia

- przygotować masę formierską,
- wykonać formę z zadanego modelu.

4.5. Sprawozdanie

Podstawą zaliczenia ćwiczenia jest wykonana forma.

Literatura

[1,2,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,16,17,18,20]

5. ZALEWANIE FORM CIEKŁYM METALEM

5.1. Cel ćwiczenia

Poznanie budowy układu wlewowego i zasilania oraz procesów cieplnych zachodzących w trakcie krzepnięcia i stygnięcia metalu w formie, a także sposobów podniesienia jakości odlewu.

5.2. WPROWADZENIE

5.2.1. Tworzywa odlewnicze

Tworzywa odlewnicze dzielimy na stopy żelaza i stopy metali nieżelaznych. Szczegółowy podział tworzyw odlewniczych przedstawiono na rys. 5.1.

Stopy odlewnicze żelaza dzielą się na żeliwa, staliwa, żeliwa ciągliwe i są stopami żelaza z węglem, w których zawsze występują w większych lub mniejszych ilościach krzem, mangan, fosfor i szkodliwa siarka.

Najbardziej rozpowszechnionym odlewniczym stopem żelaza jest żeliwo szare, w którym cały węgiel lub znaczna jego część występuje w postaci wolnej w formie płatków grafitu (żeliwo szare) lub kulek grafitu (żeliwo sferoidalne).

Pod względem struktury osnowy metalicznej żeliwo szare można podzielić na żeliwo szare ferrytyczne, ferrytyczno - perlityczne i perlityczne.

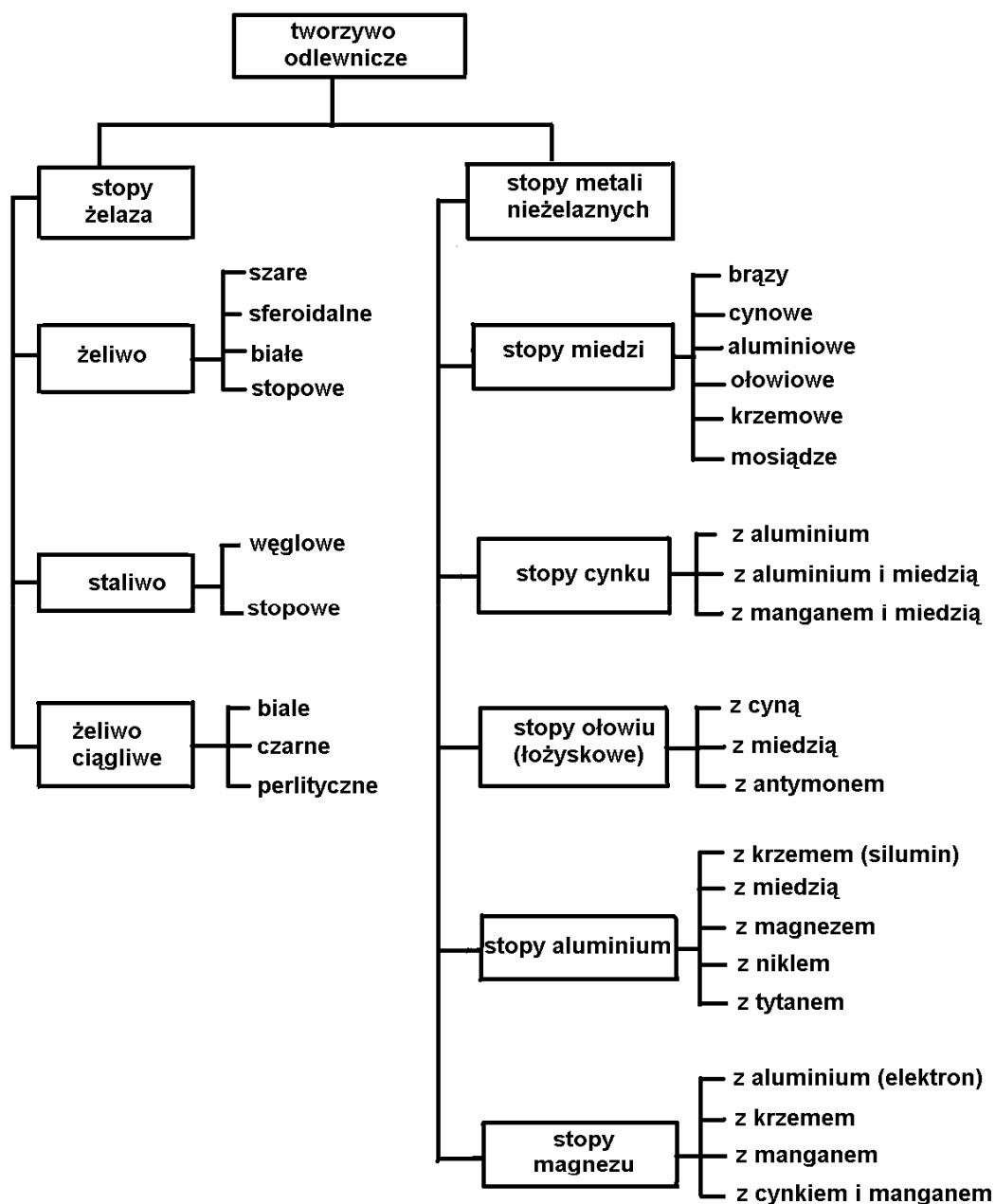
Podstawą klasyfikacji jest minimalna wytrzymałość na rozciąganie R_m . Polska Norma dzieli żeliwo szare niestopowe na sześć gatunków: EN-GJL-100, EN-GJL-150, EN-GJL-200, EN-GJL-250, EN-GJL-300, EN-GJL-350. Innym takim kryterium podziału może być twardość np. EN-GJL – HB-175 (twardość HB min. 100, max. 175).

Dla uzyskania wysokiej wytrzymałości odlewu stosuje się modyfikowanie żeliwa przez dodanie do ciekłego metalu modyfikatora - żelazokrzemu lub wapniokrzemu w celu regulowania procesem grafityzacji. Najbardziej znanym na świecie żeliwem modyfikowanym jest żeliwo Meehanite.

W celu ogólnego polepszenia właściwości mechanicznych lub otrzymania wybitnie dobrych, określonych właściwości wprowadza się do żeliwa dodatki stopowe, takie jak nikiel, chrom, molibden, aluminium, krzem, mangan itp. Rozróżniamy żeliwa niskostopowe, gdy zawartość składników stopowych nie przekracza 3%, oraz wysokostopowe, zawierające składniki stopowe w ilości powyżej 3%.

Coraz szersze zastosowanie w budowie maszyn mają żeliwa sferoidalne. Żeliwo sferoidalne jest typowym żeliwem szarym, w którym nie związana część węgla wydziela się w czasie krzepnięcia w postaci kulek grafitu, a nie jak w żeliwie szarym w postaci płatków grafitu. Uzyskujemy to poprzez modyfikowanie żeliwa szarego czystym magnezem lub stopami magnezu z niklem, miedzią, lub żelazem i krzemem. Polska Norma dzieli żeliwa sferoidalne na dziewięć gatunków w zależności od wytrzymałości na rozciąganie R_m

i wydłużenia A%: EN-GJS-350-22, EN-GJS-400-18, EN-GJS-400-15, EN-GJS-450-10, EN-GJS-500-7, EN-GJS-600-3, EN-GJS-700-2, EN-GJS-800-2, EN-GJS-900-2.



Rys. 5.1. Podział tworzyw odlewniczych

Węgiel w żeliwach może również występować w postaci związanej, czyli cementytu, perlitu czy ledeburytu. Występowanie cementytu powoduje, że żeliwo takie jest bardzo twarde. Są to tzw. żeliwa białe. Są również żeliwa w których przy powierzchni występuje żeliwo białe a w głębi odlewu żeliwo szare. Takie żeliwo nazywamy zabielonym.

Żeliwo białe ze względu na dużą twardość i trudności w jego obróbce nie znalazło szerszego zastosowania. Stało się ono jednak materiałem wyjściowym do produkcji żeliwa ciągliwego. Poprzez odpowiednią obróbkę cieplną żeliwa białego możemy uzyskać żeliwo ciągliwe białe, żeliwo ciągliwe czarne i żeliwo ciągliwe perlityczne.

Staliwo jest to stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, zawierający do 2,0% węgla, odlewany do form odlewniczych, gdzie krzepnie w postaci odlewu. Dzieli się ono na staliwo węglowe konstrukcyjne i staliwo stopowe.

Staliwa oznacza się podając: literę L, liczbę określającą średnią zawartość węgla w setnych procenta i litery oznaczające pierwiastki stopowe (G - mangan, S - krzem, H - chrom, N - nikiel, F - wanad, M - molibden).

Stopy metali nieżelaznych znalazły bardzo szerokie zastosowanie zarówno w budowie maszyn, jak i w komunikacji, chemii, przemyśle spożywczym i gospodarstwie domowym.

Odlewnicze stopy miedzi to głównie brązy (brązy cynowe, cynowo - ołowiowe, aluminium, krzemowe, ołowiowe) i mosiądze.

Stopy odlewnicze aluminium to głównie siluminy (stopy aluminium z krzemem). Poza siluminem duże zastosowanie znalazły stopy: aluminium z miedzią, aluminium z magnezem, aluminium z cynkiem.

Najbardziej rozpowszechnionymi stopami odlewniczymi cynku są stopy z aluminium zwane „znanami” i stopy z miedzią.

W przemyśle lotniczym duże zastosowanie znalazły odlewnicze stopy magnezu, głównie z aluminium, cynkiem i manganem.

5.2.2. Wytapianie stopów odlewniczych

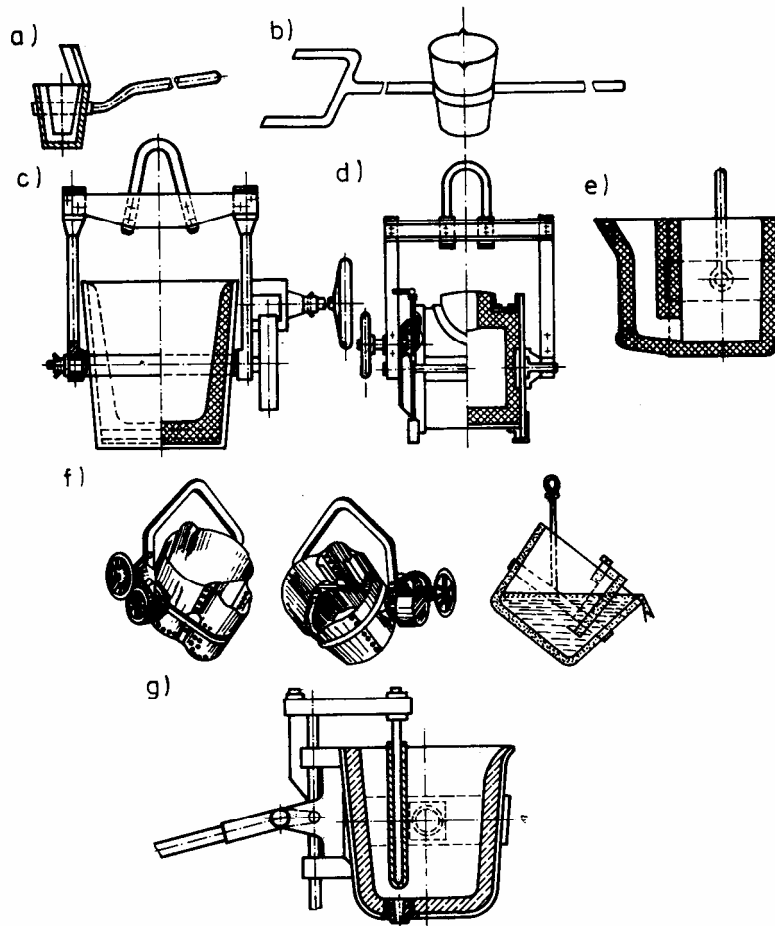
Procesy wytapiania można podzielić według rodzajów stopów na wytapianie staliwa, żeliwa i metali nieżelaznych lekkich i ciężkich. Otrzymywanie tych stopów, poza różnymi temperaturami wytapiania wymaga przeprowadzenia wielu zupełnie odmiennych i charakterystycznych dla tych stopów procesów metalurgicznych.

Procesy wytapiania można również klasyfikować w zależności od rodzajów pieców, w których przeprowadzane są procesy metalurgiczne, stosując jako kryterium tego podziału źródła ciepła oraz usytuowanie wsadu względem źródeł energii cieplnej. Rozróżniamy następujące typy pieców:

- żeliwiaki - piece szybowe do topienia żeliwa, rzadziej brązu, w których wsad metalowy styka się bezpośrednio z koksem jako paliwem i spalinami,
- piece płomienne- do wytopu żeliwa, stopów miedzi, opalane najczęściej paliwem gazowym, a także ciekłym i stałym, w których wytapiany metal styka się bezpośrednio tylko ze spalinami,
- piece tyglowe - do wytopu stopów metali nieżelaznych, opalane paliwem stałym, ciekłym lub gazowym, a także elektryczne, w których wytapiany metal umieszczony w ogniotrwałym tyglu nie styka się ani z paliwem, ani ze spalinami,
- konwertory - do wytapiania staliw, w których źródłem ciepła są reakcje utleniania zachodzące w ciekłym metalu pod wpływem wdmuchiwanego do niego powietrza albo powietrza wzbogaconego tlenem, lub nawet czystego tlenu,
- piece elektryczne - do wytapiania żeliw i staliw wysokojakościowych i stopów metali nieżelaznych, przetwarzają energię elektryczną na energię cieplną, umożliwiając stopienie wsadu metalowego.

5.2.3. Zalewanie form odlewniczych

Zalewanie formy ciekłym metalem jest bardzo ważnym zabiegiem w wytwarzaniu odlewu, a wszelkie błędy popełnione przy tej operacji powodują nie tylko powstawanie wad, lecz często wybrakowanie wyrobu.



Rys. 5.2. Kadzie odlewnicze: a - łyżka odlewnicza, b - kadź z widłami, c - kadź suwnicowa, otwarta, d - kadź suwnicowa zamknięta, e - kadź przechylna z przegrodą, f - kadź syfonowa (czajnikowa), g - kadź zatyczkowa

Forma powinna być zalana w jak najkrótszym czasie po jej wykonaniu. Czas ten zależy od rodzaju formy (suszona, wilgotna) oraz od wielkości i grubości ścianek odlewu. Zalewanie formy przeprowadza się przy użyciu kadzi odlewniczych (rys. 5.2.).

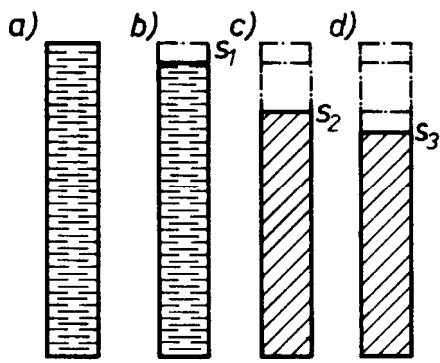
Właściwe i prawidłowe zalanie oraz rozprowadzenie ciekłego metalu w formie spełnia układ wlewowy (omówiony w ćwiczeniu 2).

5.2.4. Zjawiska zachodzące w czasie krzepnięcia i stygnięcia metalu w formie

Po zalaniu formy ciekłym metalem rozpoczyna się proces krzepnięcia i stygnięcia odlewu, którego jakość zależy od:

- właściwości fizycznych i technicznych materiału formy (przewodność cieplna, wytrzymałość, podatność, przepuszczalność),
- właściwości fizycznych i mechanicznych materiału odlewu (temperatura zalewania, płynność, przewodność cieplna, wytrzymałość w wysokich temperaturach, jednorodność),
- wielkości skurczu materiału odlewu.

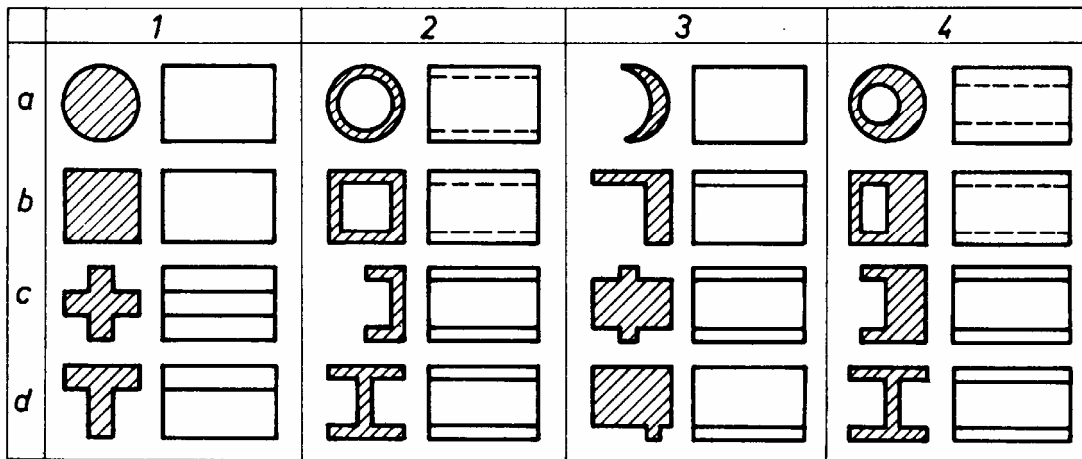
Najważniejszym zjawiskiem towarzyszącym procesowi krzepnięcia i stygnięcia jest skurcz metalu (rys. 5.3). Jest to zmniejszenie wymiarów odlewu w stosunku do odpowiednich wymiarów modelu, według którego wykonano formę odlewniczą.



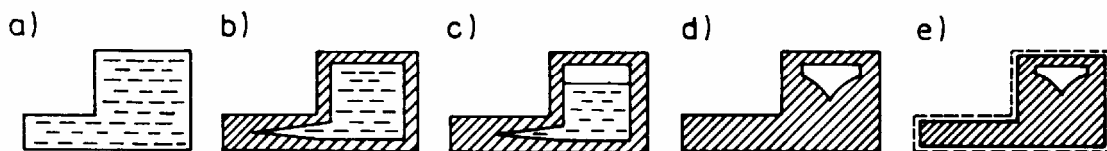
Rys. 5.3. Skurcz metalu w czasie stygnięcia: a - forma po zalaniu, b - skurcz w stanie ciekłym S_1 , c - skurcz w okresie krzepnięcia S_2 , d - skurcz w stanie stałym S_3

Skurcz może być swobodny w odlewach o kształtach prostych (płyty, wałki) lub hamowany w odlewach o kształtach złożonych (tuleje, koła, rury). Hamowanie skurczu metalu mogą spowodować czynniki mechaniczne (opór formy, rdzeni, uźebrowania skrzynek) i cieplne (różny skurcz poszczególnych części odlewu wynikający z różnych grubości ścianek, a tym samym z różnych szybkości stygnięcia). Wpływ konstrukcji odlewu na rodzaj skurczu przedstawia rys. 5.4.

Metal wlany do formy krzepnie stopniowo od ścianek do środka odlewu. Sposób odprowadzenia ciepła w czasie krzepnięcia metalu ma wpływ na powstawanie jam skurczowych i rzadzisz skurczowych (rys. 5.5). Powstawaniu jam i rzadzisz skurczowych możemy zapobiegać poprzez odpowiednie zaprojektowanie układu zasilania ciekłym metalem (rys. 5.6). Również błędne łączenie ścian odlewów może sprzyjać powstawaniu jam i rzadzisz skurczowych (rys. 5.7).

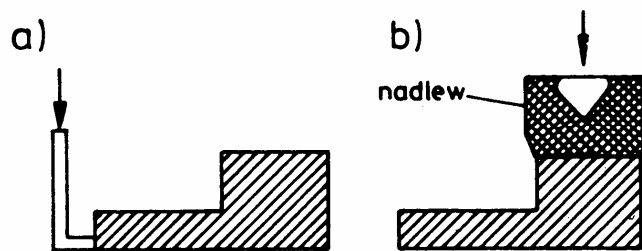


Rys. 5.4. Wpływ konstrukcji odlewu na rodzaj skurczu: a - skurcz swobodny, b - hamowany mechanicznie, c - hamowany cieplnie, d - hamowany mechanicznie i cieplnie



Rys. 5.5. Schematyczny przebieg krzepnięcia i powstawania jamy skurczowej

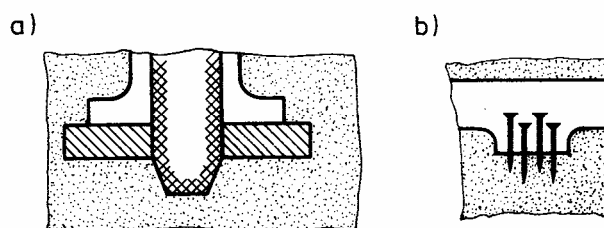
Najskuteczniejszym środkiem zapobiegania tworzeniu się jam i rzadzisz skurczowych w odlewach jest stosowanie nadlewów. Stosuje się je głównie przy kierunkowym krzepnięciu w celu zasilania odpowiednich części odlewu ciekłym metalem w okresie jego krzepnięcia.



Rys. 5.6. Schematyczne przedstawienie zasady krzepnięcia: a - jednoczesnego, b - kierunkowego

Typ węzła	Węzeł L	Węzeł Y	Węzeł T	Węzeł X
błędnie: za mały promień zaokrąglenia, pęknięcia				
błędnie: jama skurczowa na skutek zbyt dużego promienia				
poprawnie				

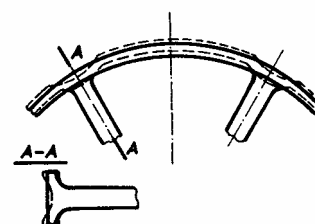
Rys. 5.7. Błędne i poprawne łączenie ścian odlewów w celu zapobiegania powstawaniu pęknięć i jam skurczowych w miejscach łączenia



Rys. 5. 8. Sposób ustawiania ochładzalników: a - zewnętrznych, b - wewnętrznych

Przyspieszenie krzepnięcia i stygnięcia węzłów cieplnych w niektórych częściach odlewu możemy osiągnąć za pomocą ustawienia w formie ochładzalników. Rozróżnia się ochładzalniki zewnętrzne i wewnętrzne (rys. 5.8).

Skurcz metalu zachodzący w stanie stałym powoduje powstawanie w odlewie naprężeń, które mogą prowadzić do pękania się i pęknięcia odlewów (rys. 5.9).



Rys. 5.9. Skutki skurczu hamowanego - zniekształcenia odlewu

5.3 Pomoce i urządzenia

- rysunki konstrukcyjne części maszyn,
- piece do topienia metalu,
- wsad odlewniczy,
- formy odlewnicze.

5.4. Instrukcja do ćwiczenia

- dobranie układu wlewowego,
- stopienie metalu,
- zalanie formy, wybicie odlewu,
- oczyszczenie i kontrola odlewu.

5.5. Sprawozdanie

Zaliczenie ćwiczenia nastąpi po sprawdzeniu i ocenie wykonanego zadania.

Literatura

[1,2,5,6,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,20,22]

Część II OBRÓBKA PLASTYCZNA

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

A, A_r	- wydłużenie względne lub równomierne,
A_5, A_{10}	- wydłużenie względne w próbie rozciągania,
B	- siła bezwładności,
d, d_k	- średnica wyrobu lub kęsa,
D	- średnica narzędzia odkształcającego; średnica krążka użytego do wytłaczania,
E, E_c	- współczynnik sprężystości wzdłużnej materiału (stała materiałowa, tzw. moduł Younga) przy rozciąganiu lub ściskaniu,
F	- całkowita siła nacisku narzędzia zewnętrznego lub na jednostkę szerokości walcowanego pasma,
F_n, F_p	- siła naciągu i przeciwnaciągu,
g, g_t	- grubość pasma lub ścianki tulei,
h	- wysokość pasma,
HB; HV HR(A,B,C,F);	- twardość metali - określona odpowiednio metodami statycznymi, według: Brinella, Vickersa i Rockwella ,
IE_{27}	- wskaźnik tłoczności Erichsena,
$K=(D_0/d)$	- stopień odkształcenia przy tłoczeniu,
KC	- udarność,
l_0	- baza pomiarowa próbki do rozciągania,
L, L_p	- praca odkształcenia sprężystego i plastycznego,
$m = (d/D)$	- współczynnik ciągnięcia (wytłaczania),
M	- moment siły zewnętrznej,
M_o, M	- moment obrotowy i walcowania,
N	- liczba przegięć lub skręceń do zniszczenia próbki,
r	- promień,
R_m	- granica wytrzymałości na rozciąganie,
R_u	- granica wytrzymałości na zerwanie,
$R_{0,2}$	- umowna granica plastyczności,
S	- powierzchnia przekroju poprzecznego,
t	- czas,
T	- siła tarcia; temperatura odkształcenia,

T_t	- temperatura topnienia,
T_r	- temperatura rekrytalizacji,
U	- energia odkształcenia,
V	- objętość,
z	- zgniot względny; stopień zgniotu,
Z	- przewężenie względne i równomierne,
α	- kąt ciągnięcia; kąt chwytu,
β	- kąt sprężynowania; współczynnik poszerzenia,
γ	- współczynnik gniotu,
$\Delta b, \Delta h, \Delta l$	- poszerzenie, gniot i wydłużenie bezwzględne,
$\varepsilon_i = \varepsilon_H$	- intensywność odkształcenia; odkształcenie uogólnione,
ε_m	- odkształcenie średnie,
$\varepsilon_l, \varepsilon_r, \varepsilon_t$	- odkształcenie logarytmiczne w kierunku wzdłużnym, promieniowym i stycznym,
$\varepsilon_{wb}, \varepsilon_{wh}, \varepsilon_{wl}$	- poszerzenie, gniot i wydłużenie względne,
$\varepsilon_b, \varepsilon_h, \varepsilon_l$	- odkształcenie rzeczywiste logarytmiczne w kierunku poprzecznym, pionowym i wzdłużnym,
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	- główne odkształcenia logarytmiczne,
λ	- współczynnik wydłużenia,
μ	- współczynnik tarcia,
ν	- współczynnik przewężenia poprzecznego (stała materiałowa, tzw. Liczba Poissona),
ρ	- gęstość ciała; kąt tarcia,
σ	- naprężenie,
$\sigma_i = \sigma_H$	- intensywność naprężeń (naprężenie uogólnione),
σ_m	- naprężenie średnie,
σ_p	- naprężenie uplastyczniające,
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	- naprężenia główne,
τ	- naprężenie styczne,
τ_s	- naprężenie styczne na powierzchni styku metalu i narzędzia; granica plastyczności przy ścinaniu,
$\tau_{12}, \tau_{23}, \tau_{31}$	- główne naprężenia styczne,

1. MASZYNY DO OBRÓBKI PLASTYCZNEJ

1.1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z podstawowymi maszynami do obróbki plastycznej.

1.2. Wprowadzenie

Obróbką plastyczną metali nazywamy proces technologiczny podczas którego, działając na obrabiany metal odpowiednio wielką siłą zewnętrzną, dzięki odkształceniom trwałym metalu (odkształceniom plastycznym) uzyskujemy jego żądane ukształtowanie bez zniszczenia obrabianego materiału.

Odkształcenie plastyczne jest to trwałe odkształcenie materiału nie znikające po usunięciu obciążenia.

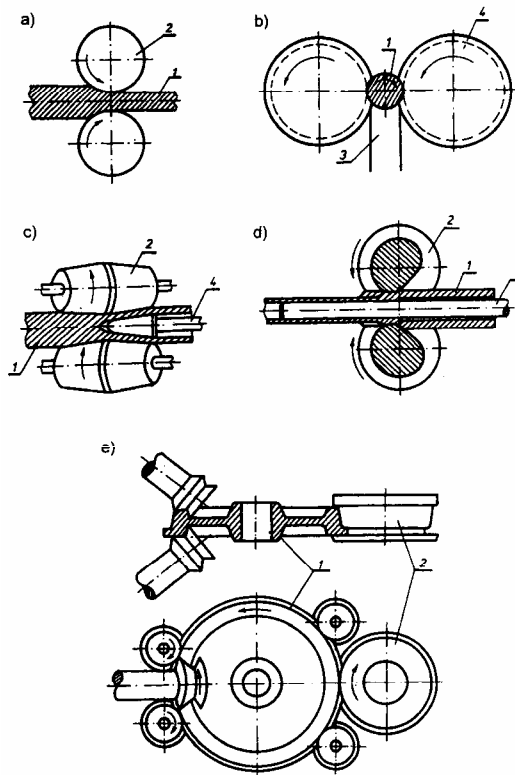
Procesy obróbki plastycznej przeprowadzane w temperaturach poniżej temperatury rekrytalizacji nazywamy obróbką plastyczną na zimno, natomiast powyżej temperatury rekrytalizacji – obróbką plastyczną na gorąco.

1.2.1. Podstawowe rodzaje procesów obróbki plastycznej

Walcowanie jest obróbką, która polega na plastycznym odkształcaniu materiału wprowadzonego między dwa walce współpracujące ze sobą i przechodzącego między nimi (rys. 1.1). Ze względu na rodzaj ruchu walcowanego materiału, kształt i ustawienie walców rozróżnia się walcowanie:

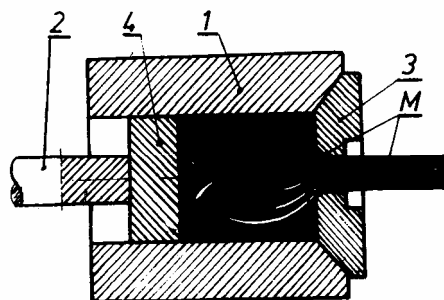
- a) wzdłużne (rys. 1.1a), w którym materiał wykonuje ruch postępowy, a walce o osiach wzajemnie równoległych obracają się w kierunkach przeciwnych - otrzymuje się tak głównie blachy, taśmy, pręty i kształtowniki;
- b) poprzeczne (rys. 1.1b), w którym materiał wykonuje ruch obrotowy, a walce o osiach równoległych obracają się w zgodnym kierunku - wykonuje się tak śruby, wkręty i koła zębate;
- c) skośne (rys. 1.1c), w którym materiał wykonuje ruch postępowo - obrotowy, a walce o osiach wzajemnie skośnych obracają się w zgodnych kierunkach - wytwarza się tak tuleje rurowe, kule itp.;
- d) okresowe (rys. 1.1d), w którym materiał wykonuje ruch postępowy lub postępowo - zwrotny, a walce o osiach równoległych (o przekrojach niekołowych) obracają się w przeciwnych kierunkach - produkuje się tak tuleje rurowe, przedkuwki, wyroby ornamentowe itp.;
- e) specjalne, które jest kombinacją omówionych sposobów walcowania - wyrabia się tak bosc koła wagonowe (rys. 1.1e) i inne wyroby o złożonym kształcie.

Wszystkie wyroby stalowe i większość z metali nieżelaznych w pierwszym stadium walcuje się na gorąco. Niektóre wyroby walcowane na gorąco można następnie walcować na zimno. Nie wszystkie stopy metali dają się walcować, np.: żeliwo, stале wysokowęglowe, nikiel i jego stopy.



Rys. 1.1. Schematy walcowania: a) wzdłużnego, b) poprzecznego, c) skośnego, d) okresowego, e) specjalnego; 1 - materiał, 2 - walce, 3 - podpora, 4 - trzpień

Wyciskanie zwane również prasowaniem wypływowym, polega na wywieraniu nacisku na wsad umieszczony w pojemniku (inaczej zwanym recypientem), na skutek czego metal wypływa przez otwór matrycy, przyjmując kształty wyznaczone jego zarysem (rys. 1.2).



Rys. 1.2 Schemat wyciskania; 1 - pojemnik, 2 - tłoczyko, 3 - matryca, 4- przetłocznica, M - metal wyciskany

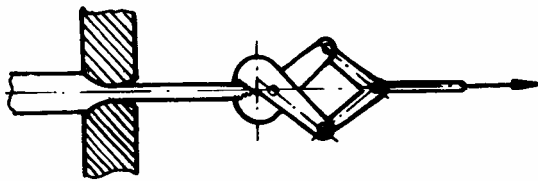
W zależności od kierunku płynięcia metalu względem kierunku posuwu rozróżniamy:

- a) wyciskanie współbieżne,
- b) wyciskanie przeciwbieżne,
- c) wyciskanie złożone,
- d) wyciskanie hydrostatyczne.

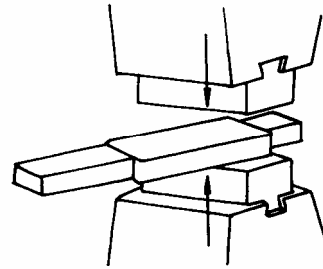
Do wyciskania używa się pras mechanicznych i hydraulicznych.

Za pomocą wyciskania na gorąco wyrabia się wydłużone wyroby hutnicze, jak rury, kształtowniki, pręty, a nawet w przypadku metali nieżelaznych druty. Metodą wyciskania na zimno produkuje się wiele różnych wyrobów gotowych, jak np. tubki do past, części maszyn itp.

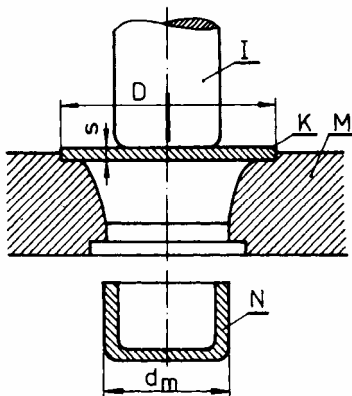
Ciągnięcie polega na odkształcaniu plastycznym niemal wyłącznie na zimno wyrobów walcowanych lub wyciskanych przez powierzchnie wewnętrzne ciągadła (rys. 1.3). Ciągadło, podobnie jak matryca w procesie wyciskania, nadaje wyrobowi ciągnionemu właściwe kształty i wymiary przekroju poprzecznego. Ciągnięcie przeprowadza się na ciągarkach bębnowych i ławowych.



Rys. 1.3. Schemat ciągnięcia



Rys. 1.4. Schemat kucia



Rys. 1.5. Schemat procesu tłoczenia: I - stempel, M - matryca, K - blacha, N - wytłoczka, s - grubość blachy, D - średnica blachy, d_m - średnica wytłoczki

Kucie i prasowanie polega na ścisaniu kutego metalu między kowadłem a bijakiem (rys. 1.4) lub między półwkami matrycy. Kuć można pod młotami lub prasami, w obu przypadkach w metalu przerobionym plastycznie powstają podobne stany naprężenia oraz odkształcenia.

Tłoczenie służy ono do wyrobu z blach lub taśm naczyń przestrzennych (rys. 1.5). Przeprowadza się je na prasach mechanicznych i hydraulicznych.

Cięcie polega na rozdzieleniu całkowitym lub częściowym materiału. Przeprowadza się je na nożycach i w wykrojnikach.

Gięcie jest to kształtowanie blachy lub taśmy bez zmiany jej grubości; do tych procesów należy również gięcie rur, kształtowników, prętów itp. Przeprowadzamy je na prasach, giętarek, walcach.

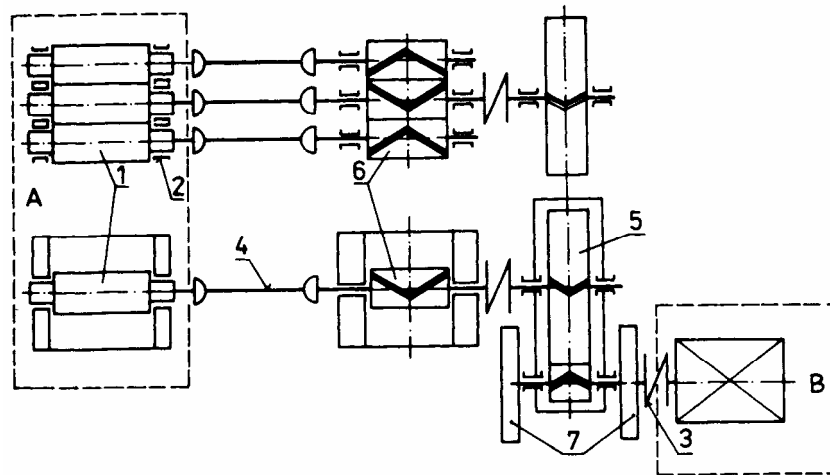
1.2.2. Walcarki

Walcarką nazywamy urządzenie złożone zwykle z trzech zasadniczych zespołów: klatki walcowniczej, silnika napędowego oraz mechanizmu przenoszącego ruch obrotowy silnika na walce (rys. 1.6).

Klatka walcownicza składa się z walców roboczych, łożysk, w których obracają się czopy walców, urządzenia nastawczego służącego do regulacji wzajemnego odstępu walców, dwóch stojaków połączonych ściągaczami, stanowiących kadłub klatki, oraz uzbrojenia walców służącego do wprowadzenia materiału między walce.

W skład mechanizmów przenoszących ruch obrotowy silnika na walce wchodzi: sprzęgło główne łączące silnik z przekładnią zębatą, łączniki, które służą do połączenia walców z klatką walców zębatych, przekładnia zębata służąca do zmniejszenia prędkości obrotowej, klatka

walców zębatach przenosząca ruch obrotowy na dwa lub trzy walce, koło zamachowe, umieszczone na wale małego koła przekładni zębatej, które służy jako akumulator energii.

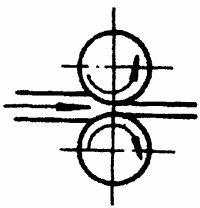
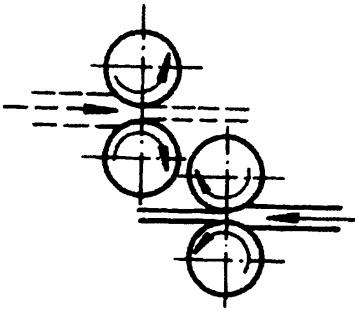


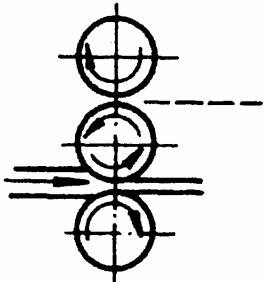
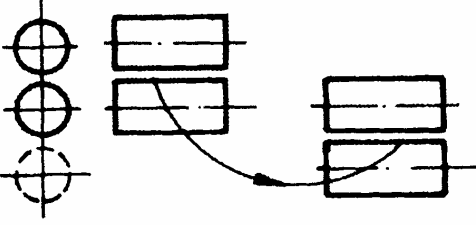
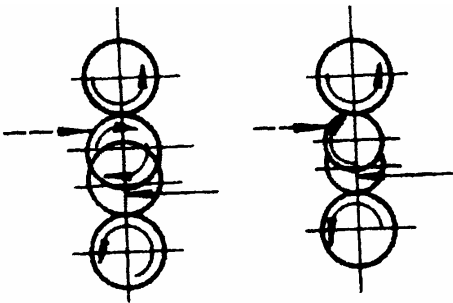
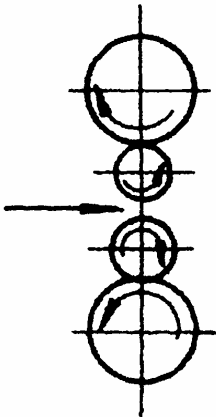
Rys. 1.6. Schemat walcarki; A - klatka robocza, 1 - walce robocze, 2 - łożyska, B - silnik, 3 - sprzęgło główne, 4 - łączniki, 5 - przekładnia zębata, 6 - klatki walców zębatach, 7 - koła zamachowe

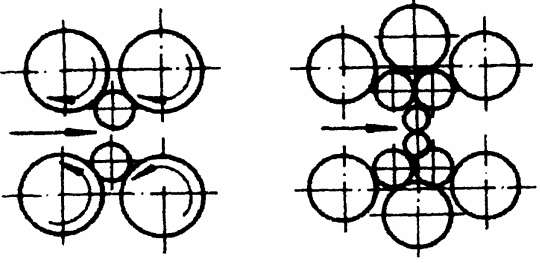
Wszystkie walcarki można sklasyfikować wg trzech kryteriów :

- według liczby i układu walców w klatce roboczej rys. 1.7a, 1.7b,
- według rodzaju walców
- według przeznaczenia walcarek.

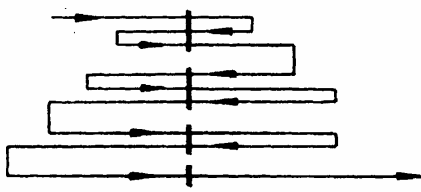
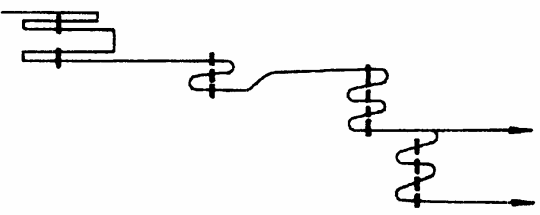

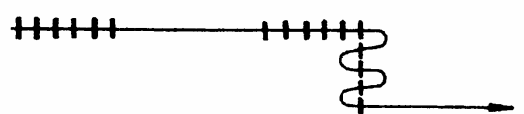
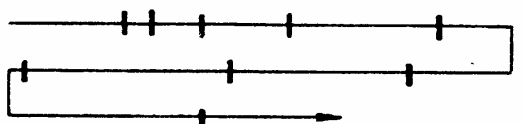
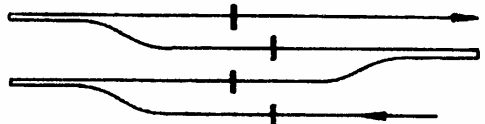
a)

Lp.	Typ walcarki	Przeznaczenie
1	 <p>duo</p>	do zgniatania, do walcowania nawrotnego grubych blach i profilów, do walcowania kęsów, prętów i kształtowników, do walcowania blach cienkich oraz blach i taśm na zimno
2	 <p>podwójne duo</p>	do walcowania drobnych i średnich wyrobów o małej wydajności, zwykle walcowanie stali stopowych

Lp.	Typ walcarki	Przeznaczenie
3	 <p style="text-align: center;">trio</p>	do walcowania dwuteowników, szyn, kęsisk, kęsów, i innych grubych profilów, do walcowania bruzdowego o małej wydajności
4	 <p style="text-align: center;">ślepe trio (duo przemienne)</p>	walcowanie drobnych prętów i niektórych kształtowników
5	 <p style="text-align: center;">trio Lautha</p>	do walcowania grubych blach, do gładzenia blach cienkich, do walcowania bednarki
6	 <p style="text-align: center;">kwarto</p>	do walcowania na gorąco i zimno blach grubych, bednarki i taśm

Lp.	Typ walcarki	Przeznaczenie
7	 <p>wielowalcowe</p>	do walcowania na zimno blach cienkich, taśm oraz folii

b)

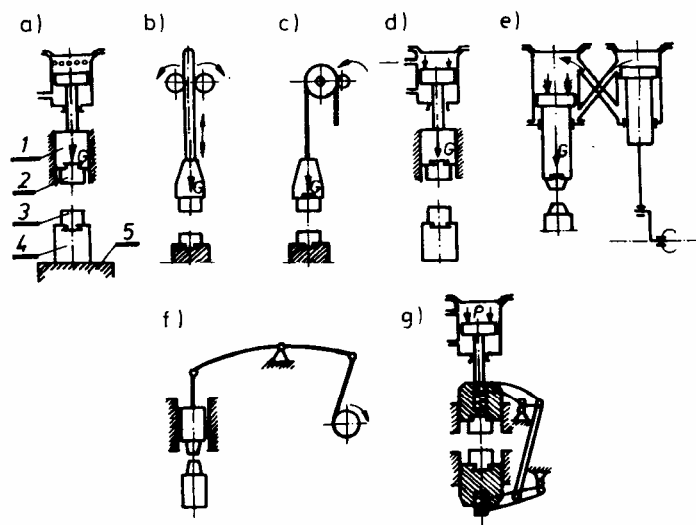
Lp.	Układ walcowni	Schemat ustawienia walcarek
1	układ jednoliniowy	
2	układ wieloliniowy	
3	układ ciągły	
4	układ półciągły	
5	układ mijany	
6	układ szachownicowy	

Rys. 1.7. Schematy ułożenia walców poziomych w kłatkach walcowniczych i w zespołach walcowniczych: a) schematy walcarek, b) układy kłatek roboczych w zespole walcowniczym

1.2.3. Młoty mechaniczne

Młoty są to maszyny służące do kucia materiału na gorąco i pracujące udarowo. Dzieli się one pod względem energetycznym na młoty pojedynczego i podwójnego działania. Schematy młotów i ich podział przedstawia rys. 1.8.

Zasadniczymi częściami młotów są: bijak 1, który uderza w kształtowany materiał, oraz szabota 4 przyjmująca uderzenie bijaka. W bijaku i szabocie mocuje się kowadła 2 i 3, płaskie bądź kształtowe, służące do kucia swobodnego lub półswobodnego, względnie matryce, gdy przeprowadza się kucie matrycowe. Energia kinetyczna bijaka zostaje zużytkowana na pracę odkształcenia plastycznego oraz na energię drgań szaboty i energię odkształceń sprężystych młota. W celu zapobiegania rozchodzenia się drgań szabotę umieszcza się na fundamencie ułożonym na przekładce amortyzacyjnej, którą najczęściej stanowi warstwa bali dębowych.



Rys. 1.8. Schematy młotów: a) młot spadowy parowo - powietrzny, b) spadowy deskowy, c) spadowy pasowy, d) młot obustronnego działania parowy lub pneumatyczny, e) młot dwustronnego działania sprężarkowy, f) młot sprężynowy, g) młot przeciwbieżny; 1 - bijak, 2 - kowadło górne, 3 - kowadło dolne, 4 - szabota, 5 - fundament;

Wielkość młotów określa się zazwyczaj ciężarem G części spadających, tj. ciężarem tłoczyska, bijaka i górnej połowy matrycy. O ile określenie to dla młotów do swobodnego kucia jest wystarczające, to dla młotów matrycowych, a zwłaszcza nowoczesnej konstrukcji, nie jest ściśle i nie charakteryzuje należycie ich wielkości. Wielkość tych młotów powinna być określona zasadniczo ich energią uderzenia liczoną w J .

Podstawowym problemem konstrukcji młotów jest rozwiązanie sposobu wprowadzenia w ruch bijaka (tzn. nadawania mu przyspieszenia).

Z tego względu młoty można podzielić na pięć grup:

- 1) młoty spadowe, w których przyspieszenie bijaka następuje wyłącznie pod wpływem działania siły ciężkości (rys. 1.8 a,b,c),
- 2) młoty, w których przyspieszenie bijaka następuje pod wpływem sił jego ciężaru i parcia pary lub powietrza sprężonego, działających na górną powierzchnię tłoka (rys. 1.8 d,e),
- 3) młoty dźwigniowe i sprężynowe, w których przyspieszenie bijaka zależy od siły ciężaru, prędkości obrotowej korby oraz własności sprężystych ramienia lub resoru (rys. 1.8 f),

- 4) młoty przeciwbieżne o zrównoważonych ciężarach bijaków, w których przyśpieszenie ruchu bijaków zależy wyłącznie od działania ciśnienia; w młotach tych siła ciężenia nie wpływa na przyśpieszenie zespołów bijakowych (rys. 1.8 g),
- 5) młoty bardzo szybkie; w młotach tych przyśpieszenie bijaka następuje również pod wpływem sumy nacisku gazu na górną powierzchnia tłoczyska, jednak ze względu na sposób rozwiązania konstrukcyjnego, jak i na działanie wielkimi zasobami energii, różnią się one znacznie od młotów konwencjonalnych; prędkość ruchu bijaka w tych młotach jest kilkakrotnie większa od prędkości młotów konwencjonalnych.

Ze względu na sposób pracy młoty dzielimy na młoty do swobodnego kucia, młoty do kucia matrycowego i młoty uniwersalne, na których można wykonywać zarówno operacje kucia swobodnego, jak i matrycowego.

Młoty posiadają liczne zalety, jak duży zakres produkowanych wymiarów odkuwek, mała wrażliwość na przeciążenie, zdolność wywierania bardzo dużych sił nacisku (nawet 1000 razy większych od ciężaru bijaka przy stosunkowo małym ciężarze młota), łatwą regulację energii uderzenia i szereg innych. Równolegle jednak mają i wady, które powodują ograniczenie ich zastosowania.

Najpoważniejszą wadą jest niszczące działanie wstrząsów na otoczenie i na sam młot oraz na jego fundament. Wskutek tego fundamenty młotów są bardzo ciężkie i specjalnie amortyzowane (np. ustawiane na klocach drewnianych lub na sprężynach).

Mechanizmy młota i fundament wymagają częstych remontów.

Te trudności sprawiły, że współcześnie istnieje pogląd w myśl którego zamiast bardzo dużych młotów lepiej jest instalować prasy.

1.2.4 Prasy

Prasy są jednymi z najczęściej stosowanych maszyn do obróbki plastycznej. Stosuje się je do kucia, wyciskania jak i tłoczenia.

W zależności od sposobu napędzania części ruchomej prasy, zwanej suwakiem (w której osadza się ruchome kowadło, ruchomą część matrycy lub stempel), rozróżnia się :

- 1) prasy korbowe, mimośrodowe, prasy kolanowe,
- 2) prasy śrubowo - cierne,
- 3) prasy hydrauliczne,
- 4) prasy specjalne.

Prasy korbowe (rys.1.9, 1.11), mimośrodowe i kolanowe odznaczają się dużym współczynnikiem sprawności, dużą wydajnością oraz dokładnością przy kuciu matrycowym.

Zasada działania tych pras polega na zmianie ruchu obrotowego silnika 3 przez przekładnię, sprzęgło i wykorbienie wału obrotowego na ruch posuwisto - zwrotny suwaka 11. Skok suwaka w prasie korbowej jest stały i zależy od wykorbienia wału korbowego.

W prasie mimośrodowej skok suwaka można zmieniać skokowo w pewnych granicach, zależnie od ustawienia wykorbienia mimośrodu względem wykorbienia wału korbowego. Prasy korbowe stosowane są do kucia w matrycach wielowykrojowych na zimno i na gorąco, jak też do spęczniania, dogniatania itp. Naciski w tych prasach dochodzą do 10 MN.

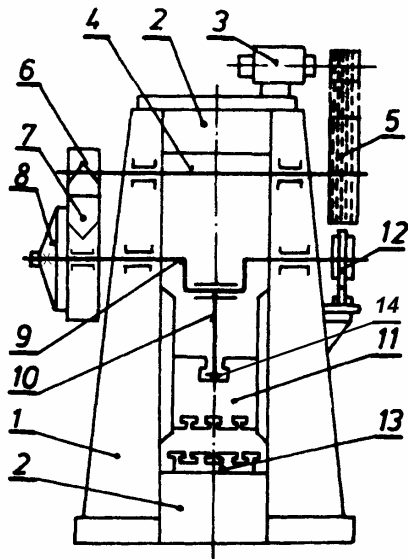
Prasy mimośrodowe bardzo szeroko stosowane do tłoczenia wyrobów, ze względu na dużą uniwersalność związana z możliwością zmiany skoku suwaka.

Prasy kolanowe wyróżniają się niewielkimi skokami przy bardzo dużych naciskach. Pozwala to na wykonanie odkuwek o bardzo dużych dokładnościach, wynoszących 0,05 - 0,1 mm.

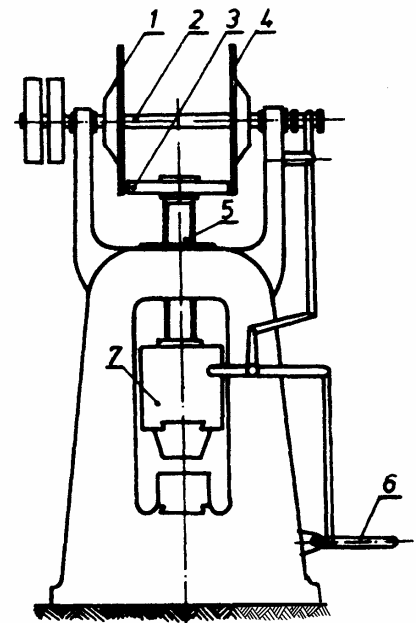
W prasie śrubowej (rys. 1.10) siła nacisku jest wywierana za pomocą śruby o gwincie prostokątnym 5, obracającej się w nakrętce osadzonej w korpusie prasy. Na śrubie umieszczony jest suwak 7, w którym mocuje się górną część matrycy lub kowadło.

Zależnie od sposobu napędu śruby rozróżnia się prasy śrubowe cierne (najczęściej stosowane), hydrauliczne i pneumatyczne, jak też z bezpośrednim napędem elektrycznym.

Prasy śrubowe, mimo że są mniej wydajne i sprawne od innych, są mniej wrażliwe na przeciążenia. Stosuje się je do gięcia, prostowania, wyciskania i spęczania łbów śrub, nitów, zaworów silnikowych spalinowych oraz odkuwek o prostych kształtach. Prasy takie buduje się o sile nacisku 9800kN (1000T).



Rys. 1.9. Schemat prasy korbowej; 1 - kadłub, 2 - belka łącząca poprzeczna, 3 - silnik asynchroniczny, 4 - wał pośredni, 5 - koło zamachowe, 6,7 - przekładnia kół zębatych, 8 - sprzęgło cierne, 9 - wał korbowy, 10 - korbowód, 11 - suwak, 12 - hamulec, 13 - stół prasy



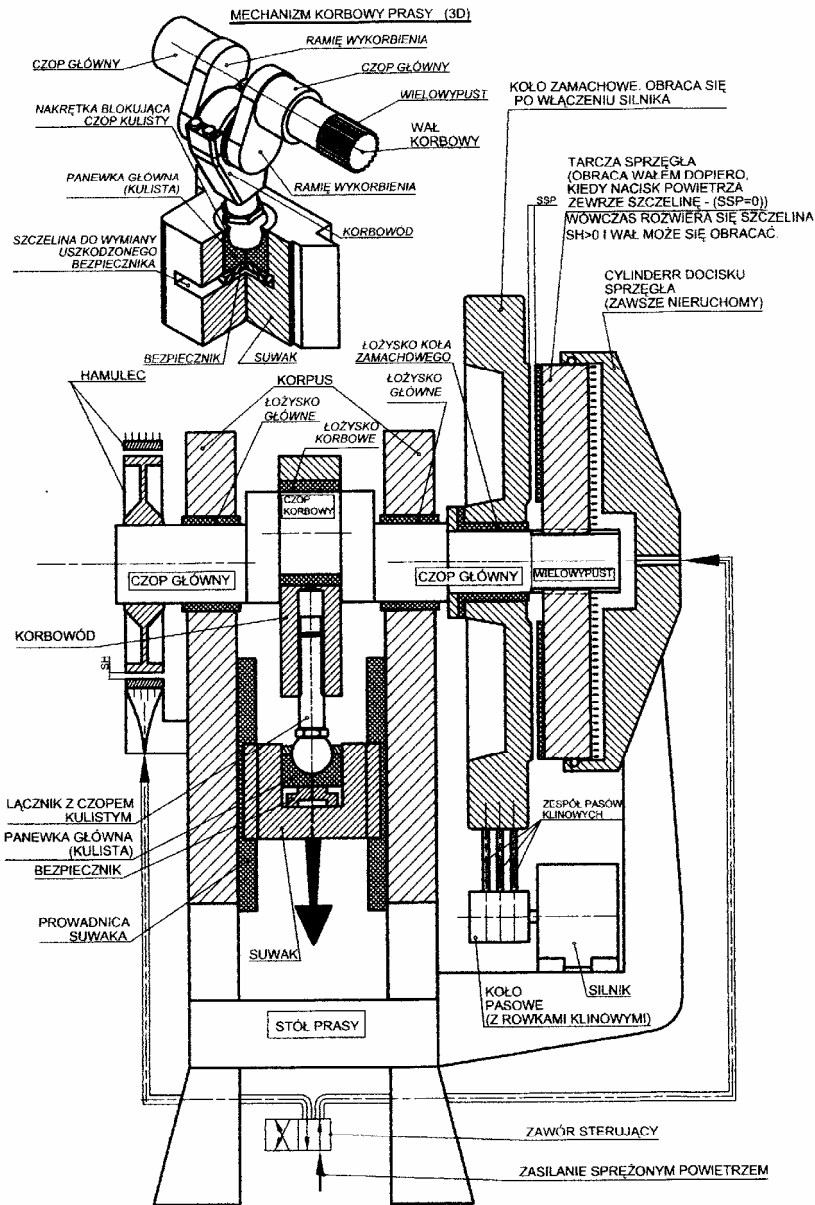
Rys. 1.10. Prasa cierna śrubowa; 1,4 - tarcze cierne napędowe, 2 - wał, na którym osadzone są tarcze 1 i 4, 3 - tarcza cierna napędzana osadzona na końcówce śruby, 5 - śruba naciskowa, 6 - dźwignia do przesuwania poosiowego wału 2 z tarczami 1 i 4, 7 - suwak prasy

Prasy hydrauliczne (rys. 1.12) należą do najczęściej pracujących maszyn kuźniczych. Istnieje wiele odmian pras hydraulicznych, różniących się przeznaczeniem, konstrukcją, wielkościami nacisków, prędkościami suwaków itp. Wszystkie typy pras hydraulicznych działają na tej samej zasadzie. W cylindrze roboczym pracuje tłok, zakończony suwakiem (poprzecznica) 3. Korpus cylindra połączony jest ze stołem i kolumnami, które są jednocześnie prowadnicami suwaka. Ruch roboczy suwaka odbywa się dzięki ciśnieniu na tłok od góry, natomiast ruch powrotny wywołuje ciśnienie na tłok od dołu.

Rozróżnia się prasy hydrauliczne:

- do kucia swobodnego,
- do kucia matrycowego,
- do wyciskania.

Do kucia używa się pras pionowych o nacisku od kilku tysięcy kN do 740000 kN (75000T). Prasy do wyciskania posiadają naciski nawet do 200000 kN.



ZASADA DZIAŁANIA PRASY KORBOWEJ

OPRACOWAŁ
Tadeusz
Bieńkowski

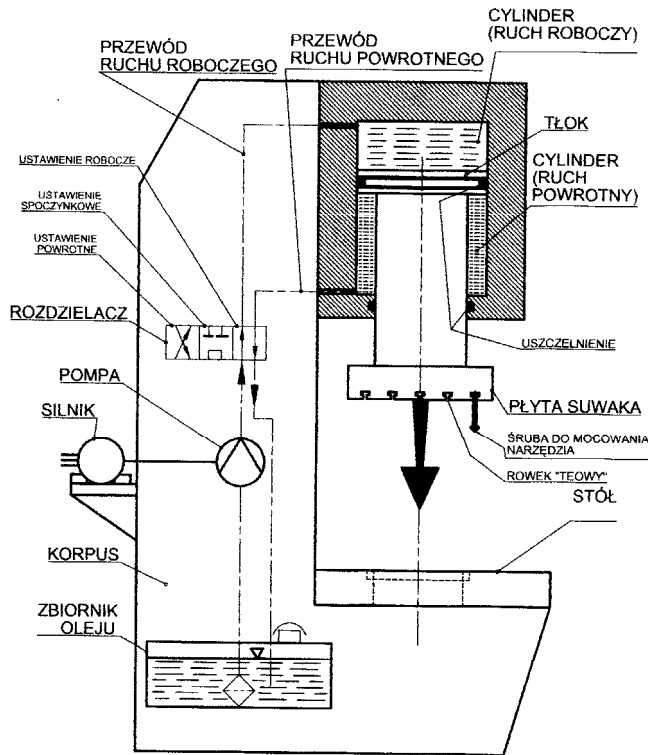
Rys. 1.11. Zasada pracy prasy korbowej

1.2.5. Ciągadła i ciągarcki

Wyroby walcowane lub wyciskane na gorąco, mianowicie pręty, niewielkie kształtowniki, poddaje się dalszej obróbce plastycznej, polegającej na ciągnięciu przez otwór w narzędziu, zwanym ciągadłem mocowanym w maszynie zwanej ciągarcką.

Głównym elementem ciągadła jest otwór roboczy.

Rozróżnia się ciągadła o profilu prostym (rys. 1.13 a) lub łukowym (rys. 1.13 b). Poszczególne części profilu otworu pokazane na rys. 1.13 a spełniają zadanie:

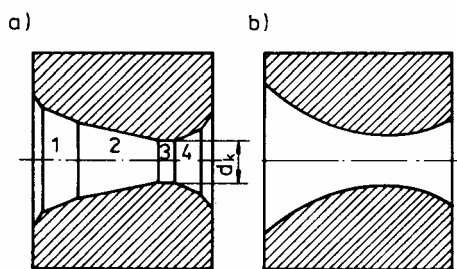


ZASADA DZIAŁANIA PRASY HYDRAULICZNEJ

OPRACOWAŁ
Tadeusz
Bieńkowski

Rys. 1.12. Zasada pracy prasy hydraulicznej

- stożek smarujący 1 ma za zadanie doprowadzenie smaru na powierzchnie robocze;
- stożek zgniatający 2 przejmuje naciski metalu podczas odkształcenia plastycznego w ciągadłe, kąt rozwarcia powierzchni roboczych zwykle waha się w granicach 4 do 12⁰, zależnie od rodzaju metalu przerabianego plastycznie oraz od jego wymiarów ;



Rys. 1.13. Profile otworów ciągadła: a) ciągadło stożkowe (o prostych tworzących powierzchnię otworu), 1 - stożek smarujący, 2 - stożek zgniatający, 3 - otwór kalibrujący, 4 - stożek wyjściowy, d_k - średnica nominalna; b) ciągadło łukowe

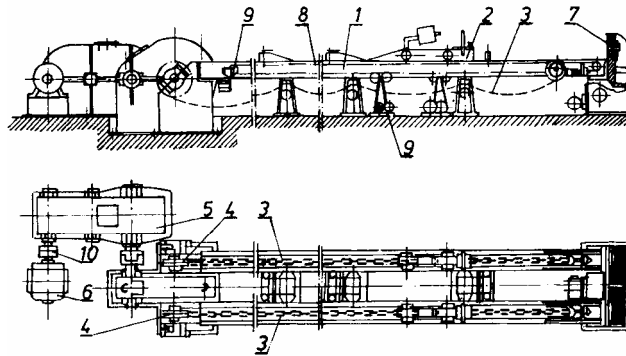
- część kalibrująca 3 ma powierzchnię równoległą do osi otworu;
- stożek wyjściowy 4 powinien mieć kąt wierzchołkowy ok. 1 rad, tak łagodne zakończenie powierzchni ścieranych przez metal przeciągany zabezpiecza je przed wykruszaniem. Obecnie stosuje się ciągadła stalowe, z węglików spiekanych lub diamentowe.

Ciągarka składa się z ciągadła oraz z mechanizmu ciągnącego. Ciągadło umieszcza się w odpowiedniej oprawie. Zaostrzony koniec wsadu przewleka się przez otwór ciągadła i podaje do uchwytu mechanizmu ciągnącego (rys. 1.3).

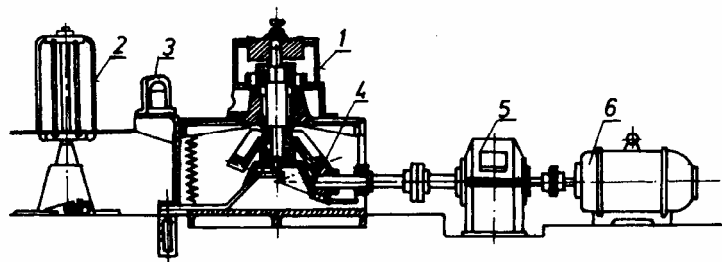
Zależnie od rodzaju mechanizmu ciągnącego można podzielić ciągarki na dwie grupy:

- 1) ciągarki do ciągnięcia pasm prostych (prętów i rur) o ruchu prostoliniowym, tzw. ławowe – czę-

- ścią ciągnąca tych ciągarek może być łańcuch, lina i niekiedy cylinder hydrauliczny, poruszający wózek, w którym zamocowane są kleszcze chwytające ciągnięte pasmo,
- 2) ciągarki do drutu w kręgach, w których siłę ciągnącą wywołują obracające się bębny lub pierścienie i odpowiednio do tego nazywa się je ciągarkami bębnowymi lub pierścieniowymi.



Rys. 1.14. Ciągarka łańcuchowa; 1 - łożo, 2 - wózek, 3 - łańcuchy drabinkowe, 4 - koła łańcuchowe, 5 - przekładnia zębata, 6 - silnik elektryczny, 7 - ciągnadło, 8 - łańcuch, 9 - przekładnia i silnik elektryczny, 10 - sprzęgło cierne



Rys. 1.15. Jednobębnowa ciągarka do produkcji drutu; 1 - bęben, 2 - rozwijarka, 3 - ciągnadło, 4 - przekładnia zębata stożkowa, 5 - przekładnia zębata (reduktor), 6 - silnik elektryczny

Prosta ciągarka łańcuchowa przedstawiona jest na rys. 1.14. Po łożu 1 posuwa się wózek 2 z zamocowanymi na nim uchwytami. Wózek zaczepiany jest do łańcucha drabinkowego 3. Łańcuch poruszany jest przez koło zębate łańcuchowe 4 napędzane silnikiem elektrycznym 6 przez przekładnię pasową 5. Przekładnia jest połączona z wałem silnika za pomocą sprzęgła ciernego 10, zabezpieczającego łańcuch przed zerwaniem. W uchwytach wózka mocuje się końce metalu przewleczzonego przez otwór ciągnadła 7. Po ukończeniu ciągnięcia powrót wózka na stronę ciągnadła odbywa się samoczynnie. Ciągarki ławowe są budowane o sile ciągnięcia od kilku N do około 2000 kN (tj. do około 200 T), a ich prędkości wahają się od 0,1 do 1,0 m/s. Na ciągarkach tych możemy wykonywać odcinki o długości do 30 m (rzadko do 60 m). Dlatego wyroby o małych przekrojach, nadające się do zwijania w kręgi, są przeciągane za pomocą ciągarek bębnowych.

Najprostsza ciągarka jednobębnowa składa się z ciągnadła i napędzanego bębna (rys. 1.15).

Ciągarek jednobębnowych używa się do ciągnięcia drutów o większych średnicach: 6 - 16 mm. Stosowane prędkości ciągnięcia wynoszą 0,3-4,0 m/s. Do ciągnięcia drutów o mniejszych średnicach stosuje się ciągarki wielostopniowe.

1.2..6. Maszyny do cięcia

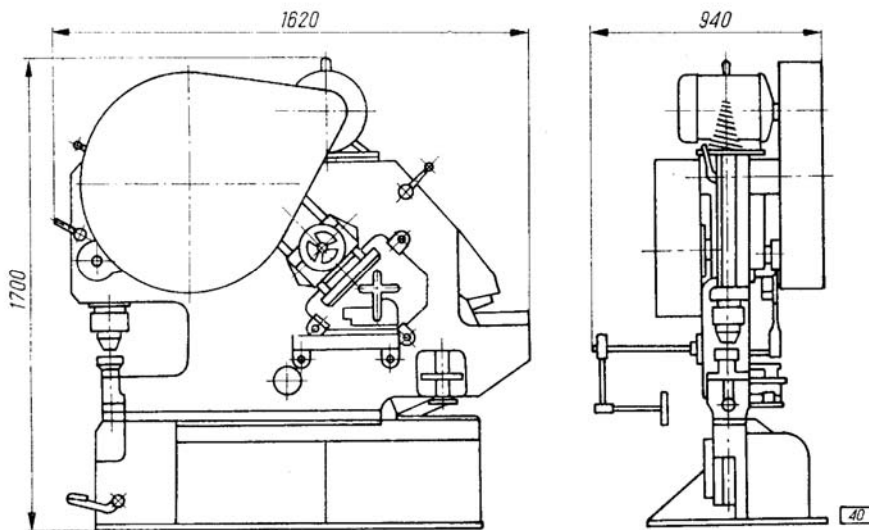
Operacje cięcia możemy podzielić na:

- a) cięcie nożycami,
- b) cięcie na prasach, czyli wykrawanie.
- c) cięcie gumą.

Półfabrykaty przeznaczone do obróbki skrawaniem lub obróbki plastycznej w większości przypadków poddawane są wstępnej operacji cięcia. Cięcie wykonuje się na nożycach dźwigniowych, gilotynowych, krążkowych i innych (tablica 1.1).

Jedną z maszyn do cięcia materiału są nożyce uniwersalne NU-13A (rys.1.16). Jest to maszyna wielooperacyjna, zawierająca cztery różne urządzenia:

- nożyce do blach,
- nożyce do profili,
- przebijarkę,
- wycinarkę.



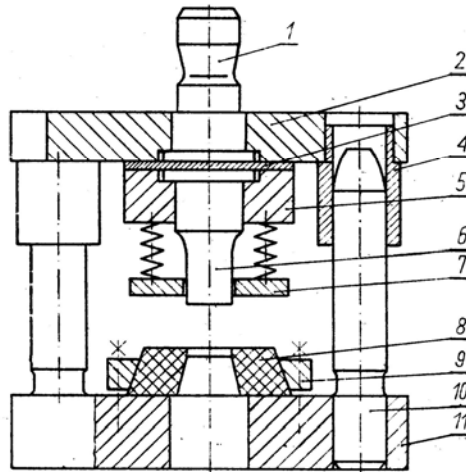
Rys.1.16. Nożyce uniwersalne NU-13A

Dzięki zgrupowaniu tych urządzeń w jednej maszynie nożyce uniwersalne NU - 13A umożliwiają wykonanie różnorodnych operacji, jak: cięcie blach i płaskowników, cięcie prętów o przekroju okrągłym i kwadratowym, cięcie prostopadłe i ukośne kształtowników (kątowników i teowników) itp. Przy użyciu noży specjalnych można przecinać przedmioty, których wymiary podane są na tabliczce zamontowanej na nożycach.

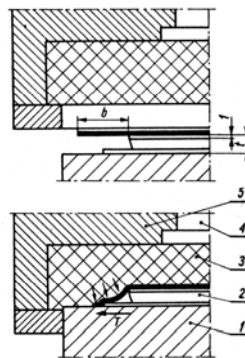
Wszystkie urządzenia nożyc posiadają możliwość wykonywania jednocześnie ruchu pojedynczego lub ciągłego.

Dzięki swej uniwersalności nożyce NU-13A nadają się do stosowania w różnych gałęziach przemysłu budowy maszyn i konstrukcji stalowych w hutnictwie, w stoczniach, w magazynach stali, budownictwie itp.

Cięcie na prasach nazywamy wykrawaniem. Narzędziami w procesie wykrawania są wykrojniki. Schemat wykrojnika przedstawia rys. 1.17 a cięcia gumą rys. 1.18.



Rys.1.17. Schemat wykrojnika: 1 – czop, 2 – płyta głowicowa, 3 – przekładka, 4 – tuleja prowadząca, 5 – płyta stemplowa, 6 – stempel, 7 – spychacz, 8 – matryca, 9 – pierścień mocujący, 10 – słup prowadzący, 11 – płyta podstawowa



Rys.1.18. Schemat cięcia gumą: 1 – płyta podstawowa, 2 – wzornik, 3 – guma, 4 – wyrzutnik gumy, 5 - obudowa

1.3. Pomoce i urządzenia

Maszyny do obróbki plastycznej znajdujące się w laboratorium.

1.4. Instrukcja do ćwiczenia

- zapoznanie się z zasadą działania maszyn,
- uruchomienie maszyn,
- wykonanie prostych przedmiotów.

Literatura

[23,24,27,29,30,31,36,37,38,39,40,41,42,43]

2. WPŁYW ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNEGO NA ZIMNO NA ZMIANĘ WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH METALI

2.1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z możliwością trwałego odkształcenia metalu na zimno oraz z wpływem tego odkształcenia na jego własności mechaniczne.

2.2. Wprowadzenie

Metale posiadają specyficzną cechę łatwego, trwałego odkształcania się na zimno i gorąco pod wpływem działania określonej wielkości siły, bez naruszenia ich wewnętrznej spójności. Dają się one zatem łatwo kuć, walcować, ciągnąć, tłoczyć, zginać itp. bez wywoływania rys i pęknięć. Na skutek tej właściwości metali możemy z nich wyrabiać - za pomocą obróbki plastycznej na zimno - blachy, druty, profile i inne elementy o złożonym kształcie. Przy odkształceniu metalu następują zmiany jego struktury, które wywołują zmianę jego własności mechanicznych. Obróbka plastyczna na zimno stosowana jest głównie do wytwarzania cienkich blach i taśm poniżej 1 mm grubości, drutu, rur o grubości ścianki poniżej 2 mm itp. Ponadto obróbka taka stosowana jest dla podwyższenia wytrzymałości metalu i jego twardości. Za pomocą tej obróbki uzyskuje się także wyroby, np.: rury i pręty o dużej dokładności wymiarowej.

2.2.1. Ogólne pojęcie zgniotu

Trwałe odkształcenie metali bez naruszania ich spójności nazywamy odkształceniem plastycznym. W czasie odkształcenia plastycznego na zimno, to jest w temperaturze poniżej tzw. rekrytalizacji zachodzą zmiany w budowie krystalicznej, które powodują zwiększenie własności wytrzymałościowych i obniżenie własności plastycznych. Całokształt zmian tych własności nosi nazwę zgniotu. Zjawisko zgniotu występuje jedynie trwale jako skutek przeróbki plastycznej na zimno, gdyż podczas przeróbki plastycznej na gorąco zgniot zanika w bardzo krótkim czasie. Dlatego na ogół pomija się jego krótkotrwałe występowanie i przyjmuje się, że podczas przeróbki plastycznej na gorąco zgniot w ogóle nie występuje.

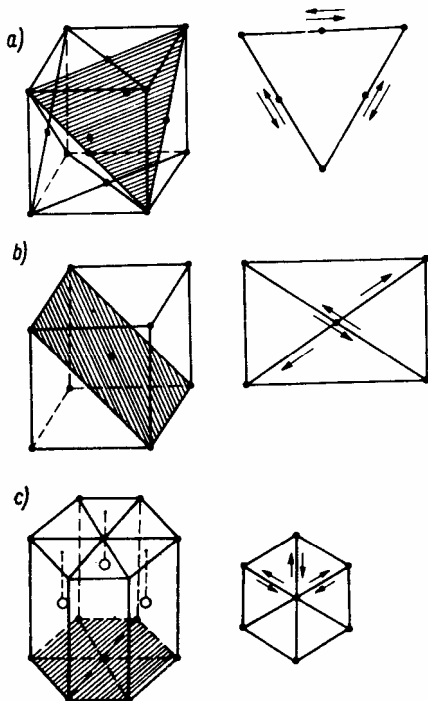
Wielkość zgniotu określa się za pomocą tzw. stopnia zgniotu. Stopień zgniotu jest to ubytek względny przekroju przyjmowany jako wskaźnik liczbowego stanu zgniotu, wyrażający całkowitą zmianę przekroju po wszystkich zabiegach obróbki plastycznej na zimno od ostatniej obróbki cieplnej lub plastycznej na gorąco, powodujących rekrytalizację.

$$z = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

gdzie: S_0 - przekrój początkowy,
 S - przekrój po obróbce.

2.2.2. Mechanizm odkształceń plastycznych

Zdolność metali do odkształceń plastycznych jest ściśle związana z ich krystaliczną budową. Większość metali krystalizuje w układach: regularnym płaskocentrycznym A1, regularnym przestrzennie centrycznym A2 i heksagonalnym zwartym A3 (rys.2.1).

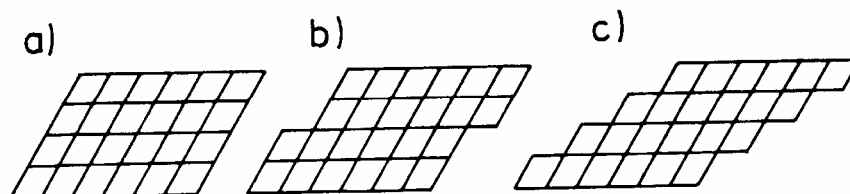


Rys. 2.1. Płaszczyzny i kierunki poślizgu w sieciach przestrzennych: a) regularnej, płaskocentrycznej A1, b) regularnej przestrzenniecentrycznej A2, c) heksagonalnej A3

powoduje niejednorodność własności w kierunku podłużnym i poprzecznym do kierunku płynięcia materiału. Szczególnie silna zmiana własności mechanicznych występuje po obróbce plastycznej na zimno.

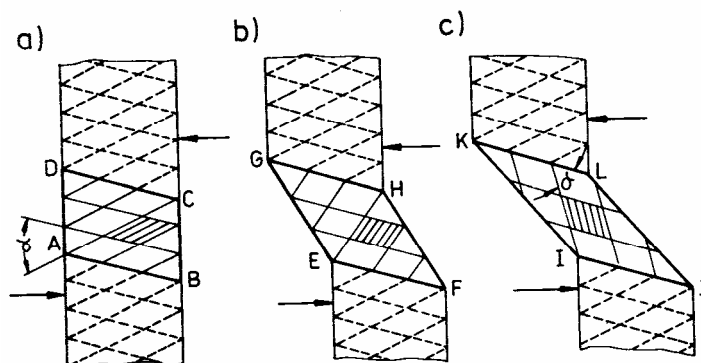
Odształcenie plastyczne odbywa się poprzez poślizg w płaszczyźnie krystalograficznej (rys.2.2) lub też poprzez bliźniakowanie (rys. 2.3).

Poślizg odbywa się w płaszczyznach krystalograficznych - najgęściej obsadzonych atomami. Ponieważ poszczególne płaszczyzny krystalograficzne obsadzone są różną ilością atomów, w kryształach występuje niejednorodność własności mechanicznych, badana w różnych kierunkach. Niejednorodność tę nazywamy anizotropią. Anizotropia silnie uwidacznia się w monokryształach. W technice stosowane są przeważnie metale o budowie polikrystalicznej, w których na ogół anizotropii nie obserwuje się. Ujawnia się ona jednak po przeróbce plastycznej. Odształcenie plastyczne powoduje wydłużenie poszczególnych ziarn w kierunku płynięcia materiału (rys. 2.4). Wydłużaniu się ziarn towarzyszy uporządkowanie ich osi krystalograficznych, charakteryzujące się równoległością określonych płaszczyzn i kierunków krystalograficznych poszczególnych ziarn. Taka sieć o statystycznie uporządkowanych kierunkach płaszczyzn krystalograficznych nazywana jest teksturą (rys. 2.5). Odształcenie ziarn wywołuje zmianę własności mechanicznych oraz

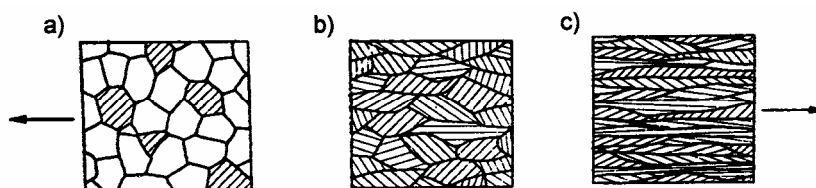


Rys. 2.2. Odształcenie plastyczne wskutek poślizgu: a) sieć kryształu nie odkształconego, b) przemieszczenie na jednej płaszczyźnie poślizgu, c) przemieszczenie w trzech sąsiednich płaszczyznach poślizgu

Poza poślizgiem metale mogą odkształcać się w sposób trwały za pomocą mechanizmu bliźniakowania. Mechanizm ten polega na przemieszczeniu bloku sieci krystalicznej wokół płaszczyzny symetrii w położenie, w którym atomy przemieszczonego kryształu są lustrzanym odbiciem atomów w części nieodkształconej (rys. 2.3). Bliźniakowanie występuje w tych metalach, których sieć krystaliczna ma małą liczbę płaszczyzn łatwego poślizgu, np. w metalach o sieci heksagonalnej. Wielkość przemieszczenia przy bliźniakowaniu jest proporcjonalna do odległości tych warstw od płaszczyzny bliźniakowania. Ponieważ przesunięcie to nie może przyjmować znacznych wartości, trwałe odkształcenie plastyczne metali zachodzi poprzez poślizg.



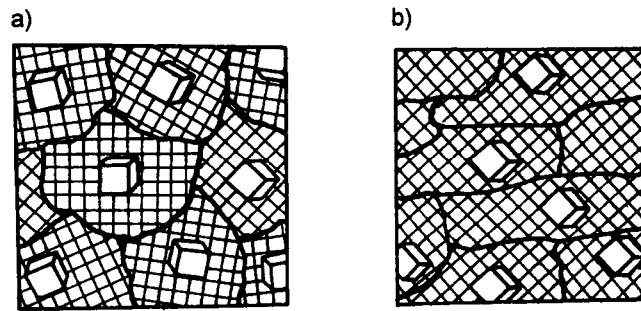
Rys. 2.3. Schemat odkształceń plastycznych w kryształach metalu przez tworzenie bliźniaków: a) sieć kryształu nie odkształconego, b) stan przejściowy, c) stan końcowy



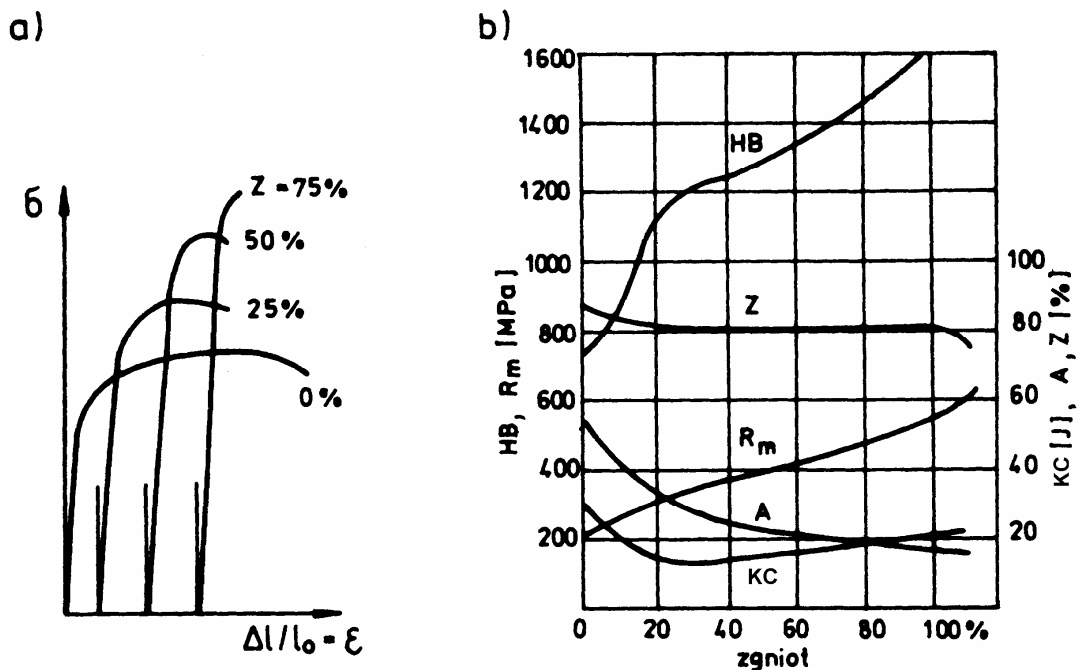
Rys. 2.4. Schemat zmiany struktury pod wpływem wzrastającego zgniotu w metalu polikrystalicznym: a) struktura w stanie wyżarzonym, b,c) po różnym stopniu zgniotu

Ze wzrostem odkształcenia plastycznego, określonego przez stopień zgniotu, ulegają zmianie własności mechaniczne metalu. Zmiana tych własności nosi ogólną nazwę umocnienia, gdyż wzrastają wówczas: wytrzymałość na rozciąganie R_m , granica plastyczności R_e oraz twardość HB . Maleje natomiast udarność KC oraz zanika zdolność do odkształceń plastycznych, co wyraża się spadkiem wydłużenia A i przewężenia Z (rys. 2.6a i 2.6b). Oprócz zmian własności mechanicznych, zgniot wywołuje zmianę niektórych własności fizycznych, np. przewodności elektrycznej, gęstości itp.

Umocnienie polega na tym, że odkształcenie plastyczne zwiększa liczbę defektów w sieci, a w miarę jego postępowania powoduje coraz silniejsze blokowanie deformacji; aby je dalej kontynuować, trzeba stosować większe obciążenia. Jasne to jest, jeżeli pamiętamy o przeszkodach, na jakie napotykają dyslokacje w swoim ruchu. Zjawisko umocnienia występuje zarówno w mono - jak i w polikryształach i zależy zarówno od szybkości odkształcenia, jak i od temperatury. W przypadku polikryształu wzmocnienie przebiega zawsze wyraźniej, gdyż dodatkowo dochodzi element przeszkody dla ruchu dyslokacji w postaci granic ziarn.



Rys. 2.5. Tekstura metalu po zgnioście: a) układ kryształów w stanie wyżarzonym, b) tekstura po zgnioście (ukierunkowane osie krystalograficzne w kierunku płynięcia metalu)



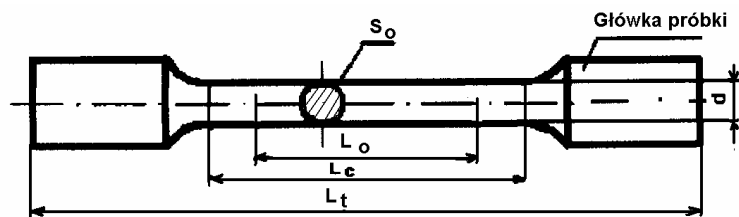
Rys. 2.6. Zmiana kształtu krzywych rozciągania dla próbek z różnym stopniem zgniotu (a) oraz zmiana własności czystego żelaza w zależności od stopnia zgniotu (b)

2.2.3. Plastyczność i spójność metali przy jednoosiowym rozciąganiu

Przebieg procesu technologicznego wytwarzania wyrobu w procesach obróbki plastycznej ma istotny wpływ na końcowe własności mechaniczne materiału które można sprawdzić w próbie rozciągania. Ten sam materiał poddany różnym zabiegom technologicznym ma zupełnie inne końcowe własności mechaniczne

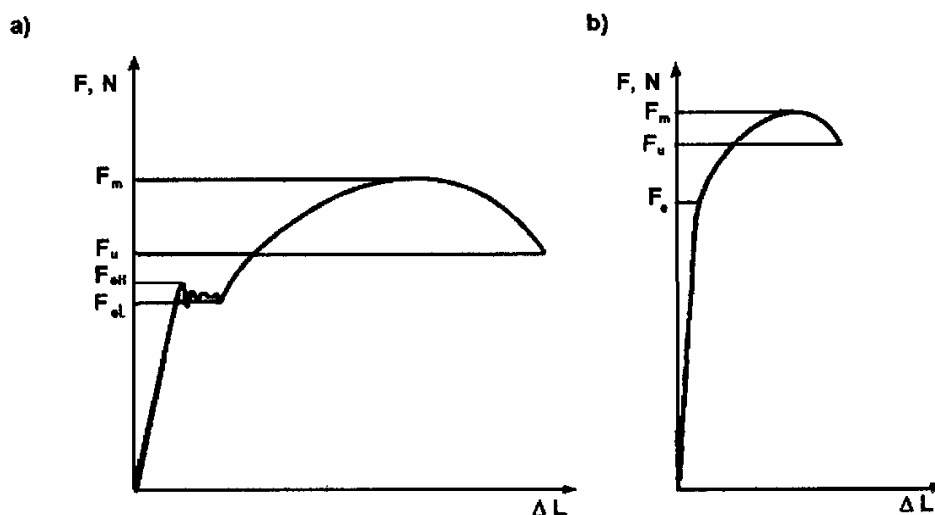
Statyczna próba rozciągania jest podstawową próbą w badaniach materiałów a zwłaszcza metali. Wyznaczone przy pomocy tej próby własności mechaniczne umożliwiają odbiór techniczny metali i stopów i pozwalają ocenić skuteczność przeprowadzanych procesów technologicznych.

Próbki do próby rozciągania w zależności od kształtu i wymiarów materiału wyjściowego pobiera się zgodnie z wymaganiami odpowiednich norm. Kształt i podstawowe wymiary próbki do rozciągania przedstawia rys. 2.7.



Rys. 2.7. Próbkę o przekroju okrągłym stosowaną w próbie rozciągania

Przy rozciąganiu próbek rejestruje się siłę oraz wydłużenie próbki, czyli wykreśla się krzywoliniową zależność w układzie współrzędnych siła - wydłużenie $F(\Delta l)$ (rys.2.8). Jak wynika z powyższych rysunków, przebieg odkształcenia metali w czasie rozciągania może się odbywać, w zależności od rodzaju metalu, z wykazaniem wyraźnej granicy plastyczności (rys. 2.8 a) oraz bez wyraźnej granicy plastyczności (rys. 2.8 b).



Rys. 2.8. Wykresy rozciągania stali z wyraźną granicą plastyczności (a) i bez wyraźnej granicy plastyczności (b)

Na podstawie próby rozciągania można określić dwie grupy własności mechanicznych – własności wytrzymałościowe, których miernikiem jest naprężenie i własności plastyczne określane przez zmianę wymiarów odkształcanej próbki.

Własności wytrzymałościowe:

- a) górna granica plastyczności R_{eH} – wartość naprężenia przy pierwszym spadku siły F_{eH} odniesionej do przekroju początkowego próbki S_0 :

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0} \quad (2.2)$$

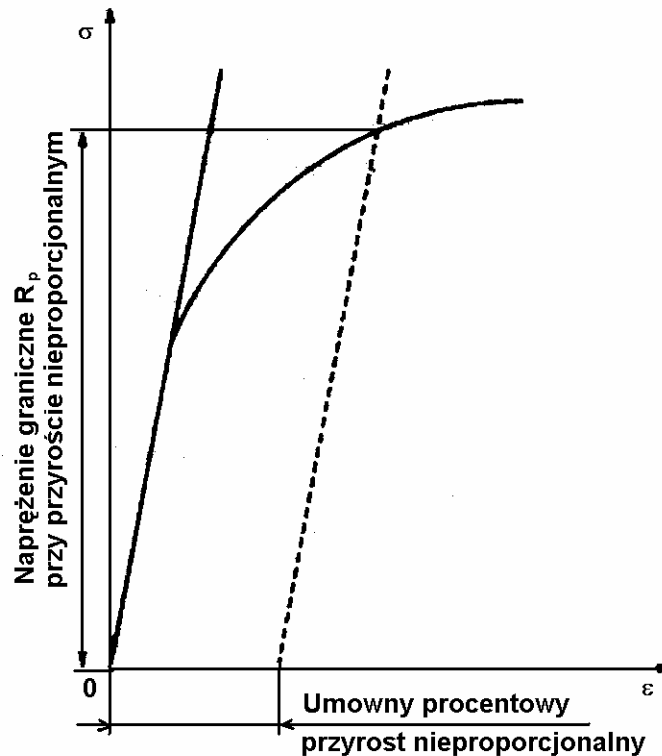
- b) dolna granica plastyczności R_{eL} – najmniejsze naprężenie podczas płynięcia:

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0} \quad (2.3)$$

Górną i dolną granicę plastyczności można wyznaczyć jedynie gdy na wykresie rozciągania jest wyraźny wzrost wydłużenia próbki przy ustalonej lub nieco zmniejszonej sile rozciągania.

- c) naprężenie graniczne przy przyroście nieproporcjonalnym R_p – naprężenie określone przy przyroście nieproporcjonalnym tzn. braku cech wyraźnej granicy plastyczności, równym umownemu procentowi długości pomiarowej np. 0,2 % (rys. 2.9) określanej do tej pory jako „umowna granica plastyczności $R_{0,2}$ ”:

$$R_{p0,2} = \frac{F_{p0,2}}{S_0} \quad (2.4)$$



Rys. 2.9. Naprężenie graniczne przy przyroście nieproporcjonalnym R_p

- d) wytrzymałość na rozciąganie – R_m – naprężenie odpowiadające największej sile F_m odniesionej do przekroju początkowego próbki S_0 :

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (2.5)$$

- e) naprężenie rozrywające R_u - naprężenie w momencie gdy próbka pęka odniesione do najmniejszego pola przekroju próbki S_u po rozerwaniu:

$$R_u = \frac{F_u}{S_u} \quad (2.6)$$

Jednostką własności wytrzymałościowych jest $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$.

Własności plastyczne:

- a) wydłużenie procentowe po rozerwaniu A – trwałe wydłużenie długości pomiarowej po rozerwaniu $(L_u - L_0)$ wyrażone w procentach początkowej długości pomiarowej L_0

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad (2.7)$$

Początkowa długość pomiarowa próbki związana jest z początkową powierzchnią przekroju poprzecznego S_0 i określana na podstawie równania

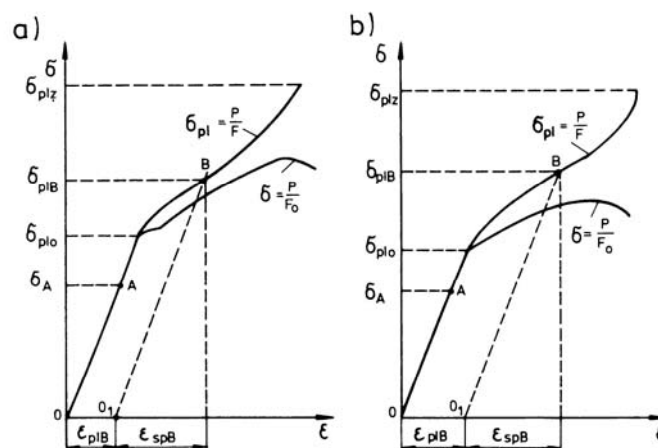
$$L_0 = k\sqrt{S_0} \quad (2.8)$$

gdzie $k = 5,65$ odpowiada długości pomiarowej $L_0 = 5d$ w wypadku próbek o przekroju okrągłym.

- b) przewężenie procentowe przekroju Z – największa zmiana przekroju poprzecznego która następuje podczas próby $(S_0 - S_u)$, wyrażona w procentach początkowej powierzchni przekroju poprzecznego S_0

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \quad (2.9)$$

Przy rozciąganiu jednoosiowym gładkich próbek, mierząc naprężenie σ oraz *odkształcenie* ϵ , otrzymujemy wykres rozciągania (rys. 2.10). Na wykresie przedstawione są dwie krzywe - naprężeń rzeczywistych σ_{pl} uplastyczniających, wyznaczonych ze stosunku siły rozciągania F do chwilowego rzeczywistego przekroju próbki S oraz naprężeń umownych σ (w rzeczywistości nieistniejących), jako stosunek siły rozciągającej F do początkowego przekroju próbki S_0 . Naprężenia umowne charakteryzują własności wytrzymałościowe metali z dokładnością wystarczającą dla potrzeb budowy maszyn i konstrukcji metalowych.



Rys. 2.10. Wykres naprężeń i odkształceń umownych (krzywa 1) i rzeczywistych (krzywa 2) rozciągania próbek: a) materiał posiadający wyraźną granicę plastyczności, b) nie posiadający wyraźnej granicy plastyczności

Przy rozciąganiu próbki do chwili osiągnięcia granicy plastyczności (ściślej do granicy sprężystości) w próbce zachodzą wyłącznie odkształcenia sprężyste. Wszystkie stany naprężeń i odkształceń w tym obszarze, zarówno przy wzroście jak i przy obniżaniu naprężeń, przebiegają wg. prostej 0A. Po przekroczeniu naprężenia σ_A (granicy sprężystości) w metalu pojawiają się obok odkształceń sprężystych odkształcenia plastyczne. Wielkość odkształcenia sprężystego i plastycznego dla punktu B pokazuje rys. 2.10.

Przy odciażaniu próbki ze stanu naprężenia B, kolejne stany naprężenia i odkształcenia będą przebiegały wg. prostej 0₁B, równoległej do prostej 0A. Po całkowitym usunięciu obciążenia pozostaje trwałe odkształcenie ε_{pl} . Przy ponownym obciążaniu próbki naprężenie - odkształcenie będzie przebiegało wg. prostej 0₁B aż do punktu B. Dopiero po osiągnięciu tego punktu dalsze rozciąganie powoduje odkształcenie plastyczne.

Zjawisko wzrostu naprężenia uplastyczniającego po uprzednim odkształceniu plastycznym nazywamy umocnieniem, nastąpił bowiem tu wzrost granicy plastyczności z wartości σ_{pl0} do σ_{plB} . Przy dalszym rozciąganiu w pewnym momencie na próbce zaczyna tworzyć się przewężenie (szyjka). W tym momencie siła obciążająca zaczyna maleć. Zjawisko tworzenia się szyjki nazywane jest utratą stateczności. Po przekroczeniu naprężenia σ_{plZ} następuje zerwanie próbki.

Część krzywej powyżej σ_{pl0} nazywamy krzywą umocnienia. Krzywą tę można przedstawić wyrażeniem:

$$\sigma_{pl} = \sigma_o \varepsilon^n \quad (2.10)$$

gdzie: σ_o - stała materiałowa,

ε - odkształcenie logarytmiczne,

n - współczynnik wzmocnienia zawarty zwykle w granicach 0,1 do 0,3,

σ_{pl} - jest zależne od wielkości ziarna, wpływ wielkości ziarna na naprężenie uplastyczniające przedstawia zależność Halla - Petcha.

$$\sigma_{pl} = \sigma_o + d_z^{-\frac{1}{2}} \cdot k_y \quad (2.11)$$

gdzie: d_z - średnia średnica ziarna,

k_y i σ_o - wielkości stałe dla danego materiału w określonej temperaturze i przy określonej szybkości odkształcenia.

2.3. Pomoce i urządzenia

- ciągarka,
- maszyna wytrzymałościowa,
- ciągadła,
- pręt do ciągnięcia.

2.4. Przebieg ćwiczenia

Do badań wpływu odkształcenia plastycznego na zimno na własności mechaniczne metali zastosujemy drut stalowy w stanie wyżarzonym. Najpierw określamy krzywą rozciągania dla próbek z drutu w stanie wyżarzonym, określamy R_e , R_m , A i Z . Następnie inne próbki wyżarzonego drutu przeciągamy na ciągarce stosując różne średnice oczka ciągadła tak, aby

uzyskać różne stopnie zgniotu. Następnie z drutu pobieramy próbki do badań twardości i wytrzymałości. Próbki z drutu po różnym stopniu zgniotu rozciągamy na maszynie wytrzymałościowej i określamy podstawowe parametry R_e i R_m oraz A , podobnie jak dla próbki wyżarzonej. Wyniki wpisujemy do tablicy. Na podstawie danych z tablicy 2.1 rysujemy wykres zależności R_e , R_m , A i Z od stopnia zgniotu. Dla narysowania wykresu należy zbadać minimum cztery próbki o różnym stopniu zgniotu. Na wyciętych próbkach twardość mierzymy na powierzchni czołowej w różnej odległości od powierzchni, na podstawie wyników badań robimy wykres.

2.5. Sprawozdanie

W sprawozdaniu zamieścić wyniki pomiarów i obliczeń (tablica 2.1 i 2.2) oraz wykresy zależności R_m , R_e , A , Z od stopnia zgniotu z i HV od odległości od powierzchni drutu

Tablica 2.1.

Nr próbki	z %	R_e MPa	R_m MPa	A %	Z %	Uwagi

Tablica 2.2.

Stopień zgniotu z %	HB			
	odległość od zewnętrznej powierzchni drutu			

Literatura

[23,24,26,25,28,29, 31,32,33,34,35,37,38,40,41]

3. WYZNACZANIE KRZYWEJ UMOCNIENIA MATERIAŁÓW

3.1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z metodami wyznaczania krzywej umocnienia materiałów w zależności od wielkości stopnia zgniotu.

3.2. Wprowadzenie

Umocnieniem (wzmocnieniem plastycznym) metali nazywa się zjawisko wzrostu naprężeń uplastyczniających wywołane trwałymi odkształceniami.

Zjawisko umocnienia jest czynnikiem decydującym o przebiegu operacji przeróbki plastycznej metali na zimno. Zmiana własności mechanicznych wraz ze wzrostem odkształcenia wpływa na wartość sił i możliwości kształtowania wyrobów. Prawidłowy dobór mocy i nacisków urządzeń, jakość wyrobów oraz trwałość narzędzi w procesach przeróbki plastycznej na zimno uzależniona jest od dokładności określenia cech plastycznych kształtowanego materiału. Do najbardziej uniwersalnych opisów zmian naprężenia uplastyczniającego w funkcji odkształcenia należą krzywe umocnienia opisane równaniami podanymi w tablicy 3.1.

Tablica 3.1

Najczęściej stosowane równania krzywych umocnienia

Lp.	Analityczna postać wzoru
1	$\sigma_p = \sigma_p^0 + C(\varepsilon_i + \varepsilon_i^0)^n$
2	$\sigma_p = \sigma_p^0 + C\varepsilon_i^n$
3	$\sigma_p = C(\varepsilon_i + \varepsilon_i^0)^n$
4	$\sigma_p = C\varepsilon_i^n$
Oznaczenia: $C, n, \varepsilon_0, \sigma_0$ - stałe materiałowe	

Zmiany budowy krystalicznej metalu wpływają na jego własności mechaniczne oraz fizyczne. Całokształt zmian tych własności nosi nazwę zgniotu. Zjawisko zgniotu występuje jedynie trwale jako skutek przeróbki plastycznej na zimno, gdyż podczas przeróbki plastycznej na gorąco zgniot zanika w bardzo krótkim czasie.

Zjawisko zgniotu i umocnienia zostało szerzej omówione w ćwiczeniu 2.

3.2.1. Metody wyznaczania krzywej umocnienia

Zależność naprężenia uplastyczniającego od odkształcenia wyznacza się drogą doświadczalną i otrzymuje tzw. krzywe umocnienia. Informacja o przebiegu takiej krzywej jest niezbędna do obliczania wartości sił, naprężeń, pracy odkształcenia plastycznego w różnych procesach przeróbki plastycznej.

Do celów związanych z technologią przeróbki plastycznej na zimno wykorzystywany jest początkowy odcinek krzywej umocnienia w zakresie odkształceń nie przekraczających $\varepsilon = 0,1 \div 0,3$. Charakterystyki te są sporządzane dla temperatury około 20^0 C i prędkości odkształcenia od 10^{-3} do 10^{-2} m/s.

Zależność pomiędzy σ_p a ε najczęściej przedstawiana jest jako wykres zależności naprężenia uplastyczniającego od zastępczego odkształcenia plastycznego, czyli jako uogólniona krzywa umocnienia.

Wyodrębnia się trzy grupy metod doświadczalnych wyznaczających uogólnioną krzywą umocnienia $\sigma_p = f(\varepsilon_i)$:

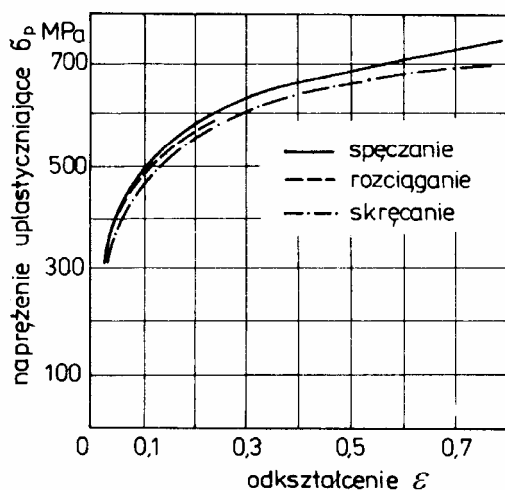
Grupa 1: próby wytrzymałościowe (jednoosiowe rozciąganie, ściskanie, skręcanie).

Grupa 2: metody wyznaczania naprężenia uplastyczniającego σ_p materiału wstępnie odkształ-

conego przez obróbkę plastyczną (np. ciągnięcie, walcowanie lub kucie).

Grupa 3: specjalne próby wytrzymałościowe przystosowane do postaci badanego elementu (próba pierścieni wyciętych z blach, metoda ściskania pakietu utworzonego z wielu krążków blach i inne).

Krzywe umocnienia stali 25 otrzymane z prób rozciągania, spęczania beztarciowego i skręcania przedstawia rys. 3.1.



Rys. 3.1. Krzywe umocnienia stali 25, otrzymane z prób rozciągania, spęczania „beztarciowego” i skręcania

Wartość stałych materiałowych C i n oblicza się na podstawie wyznaczonych doświadczalnie współrzędnych dwóch punktów krzywej umocnienia, przy czym zadaniem próby rozciągania jest określenie współrzędnych tylko tych punktów.

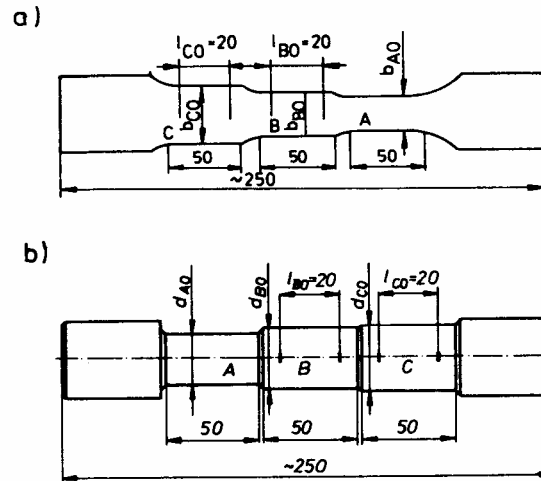
Część środkowa próbki składa się z trzech odcinków A, B, C różnej szerokości początkowej b_0 : $b_{B0} = 1,01 b_{A0}$, $b_{C0} = 1,1 b_{A0}$. Aby umożliwić dokładne określenie odkształceń ε_B i ε_C , nanosi się na odcinkach B i C bazy pomiarowe l_{B0} i l_{C0} . Po rozciągnięciu próbki aż do momentu wyraźnego przewężenia lub zerwania w części A odczytujemy wartość siły maksymalnej i mierzymy długość odcinków l_B i l_C . Szukane wartości odkształceń obliczamy jako:

W praktyce stosowane są głównie dwie metody wyznaczania krzywej umocnienia:

- analityczna - rozciągania próbki o zmiennym przekroju,
- doświadczalna - w statycznej próbie spęczania.

3.2.1.1. Metoda analityczna rozciągania próbki o zmiennym przekroju

Metoda zaproponowana przez R.H.Heyera polega na poddaniu próbki, która na swojej długości posiada zmienne przekroje (jak na rys. 3.2), rozciąganiu, aż do momentu uzyskania odkształcenia plastycznego w części A, to jest tej części próbki, która posiada najmniejszą średnicę. W praktyce, aż do utworzenia się w części próbki A wyraźnego przewężenia (tzw. „szyjki”). Kształt i wymiary próbki stosowanej w metodzie Heyera przedstawia rys. 3.2.



Rys. 3.2. Kształt i wymiary próbki do wyznaczania parametrów równania krzywej umocnienia metodą Heyera: a) próbka płaska, b) próbka okrągła

$$\varepsilon_C = \ln \frac{l_C}{l_{C0}}; \quad \varepsilon_B = \ln \frac{l_B}{l_{B0}} \quad (3.1)$$

Naprężenia uplastyczniające, odpowiadające obliczonym odkształceniom, są równe naprężeniom rozciągającym, które występują w tych częściach próbki w fazie końcowej rozciągania:

$$\sigma_{pB} = \frac{F_{\max}}{S_B}; \quad \sigma_{pC} = \frac{F_{\max}}{S_C} \quad (3.2)$$

gdzie: S_B i S_C - pola odpowiednich przekrojów próbki

Przekroje próbek można określić z warunków stałej objętości odcinków pomiarowych:

$$S_B = g_0 b_{B0} \frac{l_{B0}}{l_B}; \quad S_C = g_0 b_{C0} \frac{l_{C0}}{l_C} \quad (3.3)$$

gdzie: g_0 - grubość próbki

Korzystając z przyjętego równania krzywej umocnienia dla materiałów wyzarzonych, obliczamy odpowiednie wartości naprężeń:

$$\sigma_{pB} = C \varepsilon_B^n \quad \text{oraz} \quad \sigma_{pC} = C \varepsilon_C^n \quad (3.4)$$

Wykorzystując dane zależności oraz fakt, że wartość siły maksymalnej rozciągającej część B i C próbki była taka sama, obliczamy wartości stałych materiałowych n i C :

$$n = \frac{\ln \frac{b_{C0}}{b_{B0}} + \varepsilon_B - \varepsilon_C}{\ln \varepsilon_B - \ln \varepsilon_C} \quad (3.5)$$

$$C = \frac{F_{max}}{b_{C0} g_o \frac{l_{C0}}{l_C} \varepsilon_C^n} \quad (3.6)$$

Analogicznie obliczamy stałe materiałowe przy rozciąganiu próbek okrągłych:

$$n = \frac{2 \cdot \ln \frac{d_{C0}}{d_{B0}} + \varepsilon_B - \varepsilon_C}{\ln \varepsilon_B - \ln \varepsilon_C} \quad (3.7)$$

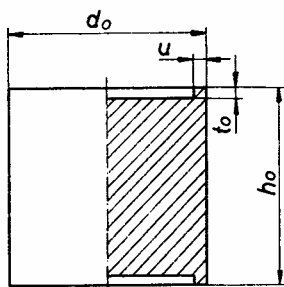
$$C = \frac{F_{max}}{\frac{\pi d_B^2}{4} \varepsilon_B^n} \quad (3.8)$$

Znając wartości współczynników C i n, podstawiając odpowiednie wartości φ (np. 0,1; 0,2; 0,3.....itd.) należy obliczyć naprężenie uplastyczniające (wytrzymałość plastyczną) σ_p [MPa] i sporządzić wykres krzywej umocnienia w układzie współrzędnych: σ_p (rzędna) i ε (odcięta).

$$\sigma_p = C \cdot \varepsilon^n \quad (3.6)$$

Przedstawiona metoda analityczna wyznaczenia krzywej wzmocnienia jako funkcji krzywej $\sigma_p = f(\varepsilon)$ jest metodą bardzo dokładną.

3.2.1.2. Statyczna próba spęczania



Rys. 3.3. Kształt próbki do ściskania

Z punktu widzenia praktycznego dla określenia krzywej umocnienia wystarczająco dokładna jest metoda doświadczalna przeprowadzona przez spęczanie. Metoda ta, zaproponowana przez Rastiegajewa w 1940 r., poddana została z biegiem lat wielu próbom sprawdzającym i obecnie jest szeroko stosowana.

Kształt próbek z czołowymi wytoczeniami pokazano na rys. 3.3, a zalecane wymiary podano w tabelicy 3.2. Przed spęczaniem wytoczenia zapełnia się smarem, przy czym zalecana jest parafina w stanie stałym. Podczas spęczania smar utrzymuje się w zagłębieniu i całkowicie zapobiega tarcia metalicznemu środkowej części próbki o powierzchnię narzędzi spęczających. Stykają się z nimi jedynie burty, które ulegają zgnieceniu na początku procesu spęczania.

Dzięki warunkom hydrostatycznego smarowania spęczanie jest równomierne nawet przy 60 -70 % ubytku wysokości próbki. Próbka zachowuje niemal idealny walcowy kształt, bez tworzenia się charakterystycznej barylki. Konsekwentnie można więc - opierając się na zasadzie stałej objętości - stabelaryzować aktualne pola przekrojów poprzecznych, odpowiadające kolejnym spęczaniom. Naprężenie uplastyczniające oblicza się wówczas najprościej, dzieląc zmierzoną siłę spęczającą przez aktualny poprzeczny przekrój próbki.

Tablica 3.2

Zalecane wymiary w mm próbek z czołowymi wytoczeniami
(patrz rys. 3.3)

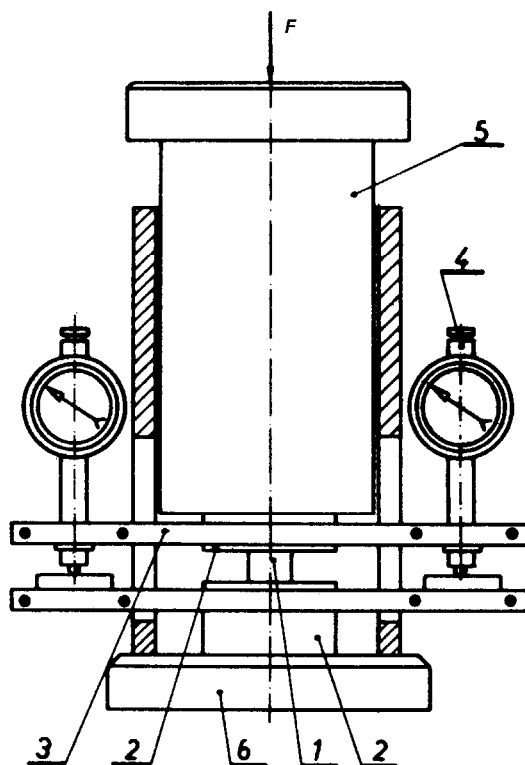
d_0	h_0	u	t_0
10	10	0,3	0,15
11	11	0,3	0,15
12	12	0,4	0,20
13	13	0,4	0,20
14	14	0,4	0,20
15	15	0,5	0,30
16	16	0,5	0,30
17	17	0,5	0,30
18	18	0,6	0,30
19	19	0,6	0,40
20	20	0,6	0,40
22	22	0,8	0,40
24	24	0,8	0,45
26	26	0,8	0,45
28	28	1,0	0,45
30	30	1,0	0,45

Do prób spęczania skonstruowano przyrząd jak na rys. 3.4, w którym aktualną wysokość próbki (z pominięciem jej bardzo małych odkształceń sprężystych) mierzy się za pomocą dwu czujników. Te czujniki są zawieszane w dwu jarzmach bezpośrednio na kowadełkach spęczających. Tak zredukowano udział sprężystych odkształceń przyrządu.

W zasadzie do wykonania pomiaru naprężeń rzeczywistych przy spęczaniu opisanym sposobem wystarcza jedna próbka. Jedynie dla celów kontrolnych i zwiększenia dokładności można użyć trzech lub więcej próbek. Całkowity czas pomiaru na trzech próbkach, przeprowadzenia prostych obliczeń i wykreślenia krzywej wzmocnienia nie przekracza 2 godzin.

3.3. Pomoce i urządzenia

- maszyny wytrzymałościowe, $F = 100 \text{ kN}$,
- przyrząd do spęczania próbek wraz z wyposażeniem,
- próbki o zmiennych przekrojach na rozciąganie,
- próbki na ściskanie,
- warsztatowe przyrządy pomiarowe.



Rys. 3.4. Przyrząd do próby ściszania; 1 - próbka ściszana, 2 - kowadełka ściszające, 3 - jarzmo czujnika, 4 - czujnik zegarowy, 5 - stempel, 6 - korpus przyrządu

3.4. Instrukcja do ćwiczenia

- 1) Na maszynie wytrzymałościowej, po zamontowaniu próbki o zmiennym przekroju, dokonać jej obciążenia siłą powodującą odkształcenie plastyczne części A próbki (do utworzenia „szyjki”),
 - odnotować maksymalną siłę przyłożonego obciążenia F [N] z dokładnością ± 100 N,
 - po zdjęciu próbki dokonać pomiarów wydłużenia części C i B próbki l_C i l_B [mm] z dokładnością $\pm 0,1$ mm,
 - przeprowadzić obliczenia współczynników C i n ,
 - obliczyć zależność funkcyjną $\sigma_p = C \cdot \varepsilon^n$ oraz $\varepsilon = 0,1; 0,2$ i wykonać wykres krzywej wzmocnienia we współrzędnych $\sigma_p - \varepsilon$,
- 2) Zamontować na maszynie wytrzymałościowej przyrząd do ściszania próbek,
 - po założeniu próbki dokonać wstępnego ściszania próbki siłą $F = 2000 \div 4000$ N, w zależności od rodzaju materiału próbki,
 - czujniki zegarowe w zamontowanym przyrządzie ustawić na ‘0’,
 - obciążać płynnie próbkę i co 0,5 mm dokonywać odczytu wielkości siły F z dokładnością do ± 100 N,
- 3) dla każdego pomiaru wykonać obliczenia:

$$\varepsilon_i = \ln \frac{l}{l_o} ; \quad S_i = \frac{S_o \cdot l_o}{l_i} [\text{mm}^2]; \quad \sigma_{pi} = \frac{F_i}{S_i} [\text{MPa}]$$

4) wykonać wykres umocnienia materiału we współrzędnych $\sigma_p - \varepsilon$.

3. 5. Sprawozdanie

W sprawozdaniu zamieścić tok obliczeń krzywych umocnienia i wykresy

$$\sigma_p - \varepsilon$$

Literatura

[24,25,28,29,30,31,32,33,34,36,37,38,40]

4. NACISKI I ODKSZTAŁCENIA W PROCESIE SPĘCZANIA

4.1. Cel ćwiczenia

Poglądowe przedstawienie wpływu tarcia na rozkład odkształceń i nacisków w procesie swobodnego spęczania.

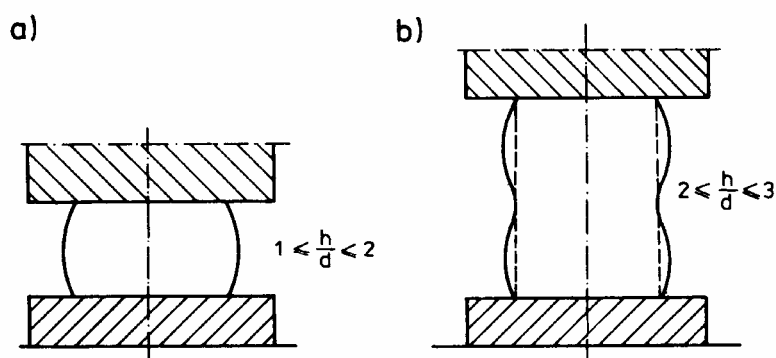
4.2. Wprowadzenie

W praktyce rozróżnia się dwa zasadnicze sposoby spęczania: spęczanie swobodne i spęczanie w matrycy. Podczas spęczania swobodnego w kierunku działania siły następuje zmniejszenie wymiaru materiału, a w pozostałych kierunkach materiał przemieszcza się swobodnie.

Najprostszym sposobem spęczania jest ściskanie krótkich odcinków pręta między dwiema płytami o równoległych powierzchniach roboczych. Przebieg procesu zależy od wymiarów materiału i tarcia na powierzchni styku materiału z narzędziem. W procesie swobodnego spęczania tarcie powoduje, że materiał odkształca się nierównomiernie, nierównomierny jest również rozkład nacisków jednostkowych na powierzchni spęczanego materiału.

W procesie swobodnego spęczania tarcie występujące pomiędzy powierzchniami kowadeł a kształtowanym materiałem powoduje, że materiał ten odkształca się nierównomiernie, podobnie nierównomierny jest również rozkład nacisku jednostkowego na stykających się powierzchniach.

Rozważmy proces swobodnego spęczania próbki cylindrycznej. Gdyby proces przebiegał bez tarcia, to próbka odkształcałaby się równomiernie, zachowując kształt cylindryczny, nacisk jednostkowy na powierzchni styku byłby jednakowy w każdym punkcie. W rzeczywistym procesie wskutek tarcia próbka przybiera różne kształty w zależności od wymiarów i działania sił tarcia (rys. 4.1). Jeżeli stosunek wysokości do średnicy jest większy od jedności, a mniejszy od dwóch, to cylindryczna próbka przyjmie po spęczeniu charakterystyczny kształt beczkowaty (rys. 4.1 a). Przy stosunku wysokości do średnicy większym od dwóch, ale mniejszym od trzech, próbka może przyjąć po spęczeniu kształt podwójnej beczki (rys. 4.1 b). Natomiast gdy h_0/d_0 jest większe od trzech, wówczas próbka ulega wyboczeniu.

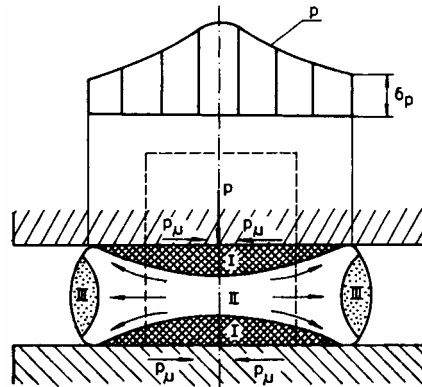


Rys. 4. 1. Kształty walcowych próbek o różnym stosunku h/d po spęczeniu między płytami

Świadczy to o nierównomierności odkształceń w czasie spęczania. Najbardziej odkształca się materiał w środkowej strefie próbki, najmniej w strefie przylegającej do kowadeł.

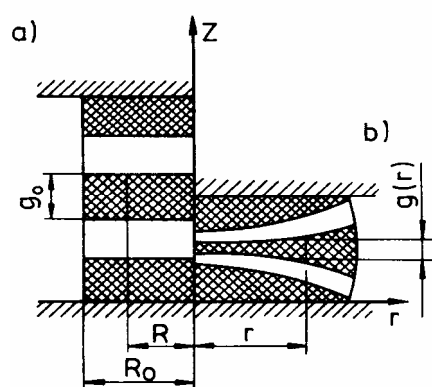
Na rys. 4.2 pokazana jest spęczana próbka walcowa, w której można wyodrębnić trzy charakterystyczne obszary:

- dwa stożki przylegające do obu powierzchni narzędzia, które przemieszczają się wraz z narzędziem, nie ulegające większym odkształceniom (I),
- obszar intensywnego płynięcia plastycznego, w którym materiał przemieszcza się w kierunku swobodnych powierzchni zgodnie ze strzałkami pokazanymi na rysunku (II),
- obszar zewnętrzny, w którym panują znaczne obwodowe naprężenia rozciągające (III).



Rys. 4.2. Przemieszczanie się cząstek materiału podczas spęczania walca w warunkach dużego tarcia oraz rozkład nacisków na powierzchni

Próbka wykonana z różnokolorowych warstw plasteliny (rys. 4.3) pozwala oszacować poglądowo rozkład odkształceń. Jeżeli przyjmiemy, że kierunek osiowy z , promieniowy r i obwodowy t są głównymi kierunkami odkształcenia, to porównując wymiary poszczególnych warstw po i przed odkształceniem, możemy obliczyć wartości składowych odkształcenia ε_1 , ε_2 , ε_3 . Zgodnie z oznaczeniami na rys. 4.4 odkształcenie w kierunku osiowym (ε_1) cylindrycznej warstwy odległej o r od osi próbki wyrazi się wzorem:



$$\varepsilon_1 = \varepsilon_z = \ln \frac{g(r)}{g_0} \quad (4.1)$$

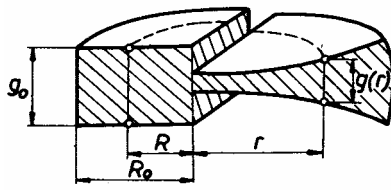
Odkształcenie obwodowe (ε_2) rozpatrywanej warstwy cylindrycznej określić można porównując jej obwód przed i po odkształceniu:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_t = \ln \frac{r}{R} \quad (4.2)$$

Promienie R i r związane są ze sobą warunkiem stałej objętości:

Rys. 4.3. Wygląd warstw próbki z materiału modelowego: a) nieodkształconej, b) po odkształceniu

$$\pi R^2 g_0 = \int_0^r 2 \cdot \pi \cdot r \cdot g(r) \cdot dr \quad (4.3)$$



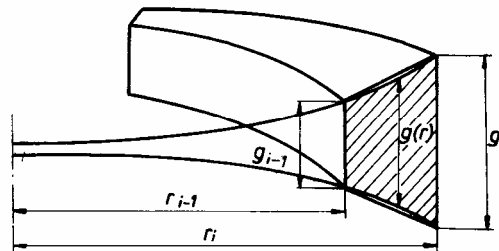
Rys. 4.4. Schemat oznaczeń próbki spęczzonej

Ponieważ funkcja określająca grubość warstwy $g(r)$ od promienia r jest nieznana, to całkę (4.3) można zastąpić sumą skończonych objętości pierścieni o przekroju trapezowym, powstałych z zastąpienia ciągłej funkcji $g(r)$ odcinkami linii prostej, rys. 4.5. Przy takim uproszczeniu wyrażenie na odkształcenie w kierunku n -tej warstwy przyjmuje postać:

$$\varepsilon_2 = \ln \frac{r_n}{\sqrt{\frac{1}{\pi g_0} \cdot \sum_1^n V_i}} \quad (4.4)$$

gdzie: v_i jest objętością i -tego pierścienia o przekroju trapezowym i wynosi:

$$v_i = \frac{p}{3} \cdot [(2g_i + g_{i-1})r_i^2 - (g_i - g_{i-1})r_i r_{i-1} - (2g_{i-1} + g_i)r_{i-1}^2] \quad (4.5)$$



Rys. 4.5. Schemat do obliczeń odkształceń próbki po spęczeniu

Dokonując pomiarów grubości g_i danej warstwy w określonych odległościach r_i od osi próbki można, korzystając z zależności (4.1) i (4.4), obliczyć wartości odkształceń głównych ε_1 i ε_2 .

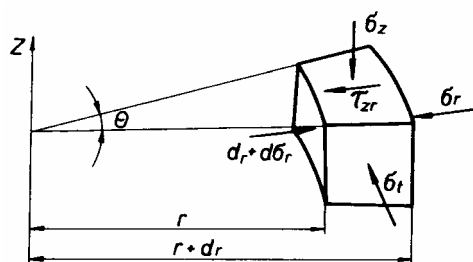
Trzecią składową odkształcenia można wyznaczyć z warunku stałej objętości:

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0 \quad (4.6)$$

Tarcie utrudniające promieniowe przemieszczanie się materiału powoduje, że nacisk jednostkowy na powierzchniach styku nie jest jednakowy w każdym ich punkcie. Jeżeli na czołowej powierzchni kowadełka wykonamy wąską szczelinę, w którą może wpływać spęczony materiał, to okaże się, że wysokość otrzymanej wypływki największa jest w punkcie leżącym na osi, najmniejsza zaś przy krawędzi próbki (rys. 4.6). Kształt wypływki świadczy o niejednorodnym polu nacisku na powierzchni styku. W punkcie leżącym na osi próbki nacisk jest największy, dlatego wypływka jest największa, najmniejszy nacisk jest przy krawędzi próbki.



Rys. 4.6. Próbka po spęczeniu z wypływką



Rys. 4.7. Układ naprężeń działających na element objętościowy

W celu wyjaśnienia tego zjawiska należy rozważyć element objętościowy spęczanego krążka o wysokości h , ograniczony współosiowymi płaszczyznami cylindrycznymi o promieniach r i $r+dr$ oraz dwiema płaszczyznami promieniowymi rozchylonymi o kąt Θ (rys. 4.7). Element ten obciążony jest naprężeniem osiowym σ_z oraz wynikającymi z występowania tarcia: naprężeniem stycznym τ_{zr} , naprężeniem obwodowym σ_t i naprężeniem promieniowym σ_r .

Obwodowe i promieniowe naprężenia ściskające pojawiają się w próbce, gdyż tarcie przeciwdziała obwodowemu i promieniowemu płynięciu materiału.

Ze stowarzyszonego prawa płynięcia wynika, że podczas swobodnego spęczania $\sigma_r = \sigma_t$, zaś z warunku plastyczności równanie:

$$\sigma_t - \sigma_z = \sigma_p \quad (4.7)$$

gdzie: σ_p - naprężenie uplastyczniające.

Ponieważ osiowe naprężenie σ_z równe jest naciskowi p , to można zapisać:

$$\sigma_r = \sigma_t = \sigma_p - p \quad (4.8)$$

Równanie równowagi rozpatrywanego elementu objętościowego ma postać:

$$(\sigma_r + d\sigma_r) \cdot h \cdot r \Theta - \sigma_r (r + dr) \Theta \cdot h - 2\tau_{zr} \cdot r \cdot \Theta \cdot dr + 2\sigma_t \cdot dr \cdot h \cdot \sin \frac{\Theta}{2} = 0$$

Po redukcji i podzieleniu przez $\Theta \cdot r$ otrzymuje się:

$$h \cdot d\sigma_r - \sigma_r \cdot h \cdot \frac{dr}{r} - 2\tau_{zr} \cdot dr + 2\sigma_t \cdot h \cdot \frac{dr}{r} \cdot \frac{\sin \frac{\Theta}{2}}{\Theta} = 0 \quad (4.8a)$$

Ponieważ $\frac{dr}{r}$ i $\frac{\sin \frac{\Theta}{2}}{\Theta}$ są małe, to w dalszym rozważaniu składnik i zawierające te wyrażenia zostają pominięte i ostatecznie równanie równowagi przejmie postać:

$$h \cdot d\sigma_r - 2\tau_{zr} \cdot dr = 0 \quad (4.9)$$

Jeżeli założy się, że wartość naprężenia stycznego τ_{zr} określona jest zgodnie z prawem tarcia posuwistego Coulomba, $\tau_{zr} = \mu p$ (współczynnik tarcia - μ) oraz po zróżniczkowaniu równania (4.8) określi się $d\sigma_r = -dp$, to warunek równowagi przybiera postać:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{2 \cdot \mu}{h} \cdot dr \quad (4.10)$$

a po scałkowaniu i przekształceniu

$$p = C \cdot \exp\left(-\frac{2 \cdot \mu}{h} \cdot r\right) \quad (4.11)$$

Stałą całkowania wyznacza się z warunku brzegowego:

dla $r = R_0$ napężenie promieniowe $\sigma_r = 0$

a więc:

$$\sigma_t = \sigma_r = 0 = \sigma_p - p$$

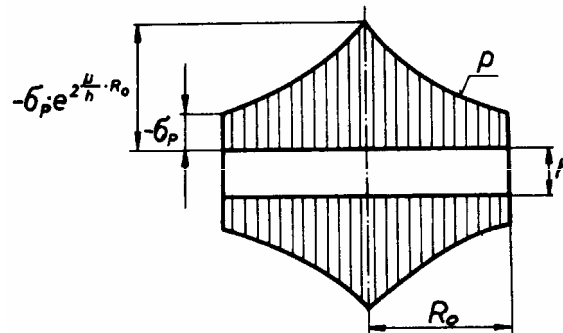
Stała C wynosi:

$$C = -\sigma_p \cdot \exp\left(\frac{2 \cdot \mu}{h} \cdot R_0\right) \quad (4.12)$$

Stąd nacisk jednostkowy na powierzchni próbki wynosi:

$$p = -\sigma_p \cdot \exp\left(\frac{2 \cdot \mu}{h} (R_0 - r)\right) \quad (4.13)$$

Rozkład nacisku odpowiadający równaniu (4.13) ilustruje rys. 4.8.



Rys. 4.8. Rozkład nacisków na próbkę spęczaną

4.3. Przebieg ćwiczenia

- przygotować z plasteliny o różnych kolorach krążki o jednakowej grubości wynoszącej około 6 mm i średnicy około 30 mm,
- złożyć z nieparzystej ilości krążków próbkę do spęczania, układając krążki na przemian kolorami. Zanotować w tablicach wg wzoru wymiary krążków,
- spęczyć między dwiema równoległymi płytami przygotowaną próbkę do około połowy jej wysokości,

- spęczoną próbkę przeciąć w płaszczyźnie prostopadłej do czołowej powierzchni i przechodzącej przez oś asymetrii,
- w płaszczyźnie przekroju zaznaczyć rysikiem oś symetrii próbki,
- próbkę umieścić na stoliku mikroskopu warsztatowego i dokonać pomiarów grubości poszczególnych warstw w osi próbki oraz grubości warstwy środkowej w odpowiednich odległościach od osi. Wyniki zanotować w tablicach.
- spęczyć jednowarstwowy krążek między kowadełkami ze szczeliną,
- wykonać szkice odkształconych próbek.

4. 4. Pomoce i urządzenia

- prasa ręczna,
- mikroskop warsztatowy,
- plastelina kolorowa,
- rysik,
- suwmiarka.

4.5. Instrukcja do ćwiczenia

Na podstawie wyników przeprowadzonego doświadczenia należy wyznaczyć:

- rozkład odkształcenia osiowego ε_1 wzdłuż osi próbki (tablica 4.1.),

Tablica 4.1

Rozkład odkształcenia osiowego ε_1 wzdłuż osi próbki

Nr warstwy	Grubość początkowa	Grubość końcowa	Odształcenie osiowe
	g_0	g	ε_1
	mm	mm	--
1.			
2.			
3.			

- rozkład odkształceń głównych ε_1 , ε_2 i ε_3 w środkowej warstwie spęczonej próbki wzdłuż kierunku promieniowego (tablica 4.2.),

Tablica 4.2

Rozkład odkształceń głównych

Lp	Odległość od osi	Grubość początkowa $g_0=$ Średnica początkowa $d_0=$						
		grubość	objętość	suma objętości	odległość od osi	odkształcenie		
		r_i	V_i	ΣV_i	R_i	ε_1	ε_2	ε_3
		mm	mm ³	mm ³	mm	$\ln g_i/g_0$	$\ln r_i/R_i$	$-\varepsilon_2-\varepsilon_1$
1.	0							
2.	4							
3.	8							
4.	12							

- szkice obu próbek, opisać rozkład na powierzchni styku kowadeł z próbką.

4.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie z przeprowadzonego ćwiczenia winno zawierać:

- wykres rozkładu odkształceń głównych ε_1 , ε_2 , i ε_3 w środkowej warstwie spęczonej próbki wzdłuż kierunku promieniowego (na papierze milimetrowym),
- rozkład nacisków na powierzchni styku kowadeł z próbką wraz z rozkładem teoretycznym nacisków (na papierze milimetrowym),
- szkice spęczonych próbek.

Literatura

[34,37,38,40,42,43]

5. PODSTAWOWE PARAMETRY WALCOWANIA

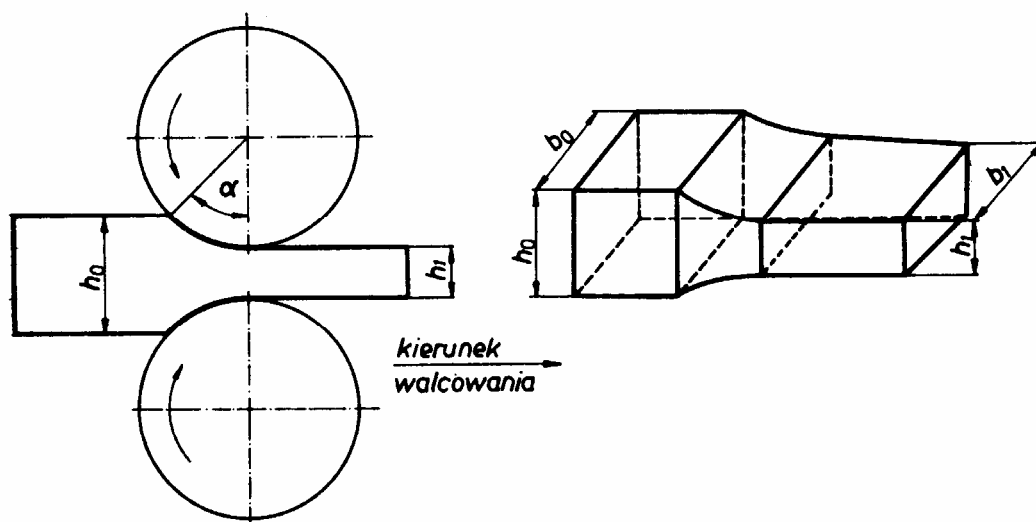
5.1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z technologią walcowania i sposobami określania podstawowych parametrów tego procesu.

5.2. Wprowadzenie

5.2.1 Charakterystyka procesu walcowania

W procesie walcowania żądany kształt przedmiotu otrzymuje się za pomocą odkształcenia plastycznego materiału, wywołanego przez obracające się walce. Czasami zamiast walców stosuje się tarcze stożkowe lub skośne.



Rys. 5.1. Schemat walcowania wzdłużnego

Rozróżniamy trzy zasadnicze rodzaje walcowania: walcowanie wzdłużne, poprzeczne i skośne. Przy walcowaniu wzdłużnym (rys. 5.1) odkształcenie dokonuje się między dwoma walcami o osiach równoległych, obracającymi się w przeciwnych kierunkach. Na skutek tarcia, jakie występuje między walcami a metalem, zostaje on wciągnięty między walce i odkształcony. Początkowa wysokość walcowanego metalu h_0 zmniejsza się do wysokości h_1 , natomiast długość i szerokość powiększają się, przy czym zwykle długość powiększa się znacznie więcej niż szerokość i z tego powodu poszerzenie często się pomija. Metal walcowany otrzymuje ruch prostoliniowy, prostopadły do osi walców, w tym samym kierunku następuje jego największe wydłużenie.

Za pomocą walcowania wzdłużnego otrzymuje się około 90% wszystkich wyrobów walcowanych. Walcowanie poprzeczne i skośne stosuje się przy produkcji rur.

5.2.2. Parametry procesu walcowania

Do głównych parametrów wpływających na technologię walcowania należą: gniot, poszerzenie, wydłużenie i wyprzedzenie. W celu umożliwienia ich określenia przyjmuje się następujące oznaczenia:

h_0 - wysokość (grubość) pasma przed walcowaniem (przepustem),

b_0 - szerokość pasma przed walcowaniem,

l_0 - długość pasma przed walcowaniem,

h_1 - wysokość pasma po walcowaniu,

b_1 - szerokość pasma po walcowaniu,

l_1 - długość pasma po walcowaniu,

S_0 - powierzchnia przekroju pasma przed walcowaniem.

S_1 - powierzchnia przekroju pasma po walcowaniu.

$$S_0 = h_0 b_0 \quad (5.1)$$

$$S_1 = h_1 b_1 \quad (5.2)$$

W dalszych rozważaniach przyjmować się będzie, że objętość metalu w czasie walcowania nie ulega zmianie, czyli

$$V_0 = V_1 \quad (5.3)$$

Jest to tzw. „zasada stałej objętości”, znajdująca całkowite potwierdzenie w praktyce.

Wyrażając objętość odkształcanego materiału przed odkształceniem i po odkształceniu za pomocą jego podstawowych wymiarów, otrzymuje się:

$$V_0 = h_0 b_0 l_0 \quad ; \quad V_1 = h_1 b_1 l_1 \quad (5.4)$$

Wykorzystując równanie stałej objętości można zapisać

$$h_0 b_0 l_0 = h_1 b_1 l_1 \quad \text{czyli} \quad \frac{h_1 b_1 l_1}{h_0 b_0 l_0} = 1 \quad (5.5)$$

Zmiany odpowiednich liniowych wymiarów będzie się określać wielkością współczynnika odkształcenia.

Podstawowe określenia parametrów walcowania:

gniot - jest to liniowe zmniejszenie wymiarów przedmiotu odkształconego pod działaniem siły ściskającej w kierunku jej działania

$$\frac{h_1}{h_0} = \gamma < 1 \quad \text{współczynnik gniotu} \quad (5.6)$$

$$\Delta h = h_0 - h_1 \quad \text{gniot bezwzględny} \quad (5.7)$$

$$\varepsilon_{wh} = \frac{\Delta h}{h_0} \quad \text{gniot względny} \quad (5.8)$$

$$G_h = 100\varepsilon_{wh} \quad \text{gniot względny procentowy} \quad (5.9)$$

$$\varepsilon_h = \ln \frac{h_1}{h_0} \quad \text{gniot rzeczywisty} \quad (5.10)$$

poszerzenie - jest to przyrost szerokości przedmiotu w każdym procesie przeróbki plastycznej, powodujący powiększenie szerokości

$$\frac{b_1}{b_0} = \beta \geq 1 \quad \text{współczynnik poszerzenia} \quad (5.11)$$

$$\Delta b = b_1 - b_0 \quad \text{poszerzenie bezwzględne} \quad (5.12)$$

$$\varepsilon_{wb} = \frac{\Delta b}{b_0} \quad \text{poszerzenie względne} \quad (5.13)$$

$$G_b = 100\varepsilon_{wb} \quad \text{poszerzenie względne procentowe} \quad (5.14)$$

$$\varepsilon_b = \ln \frac{b_1}{b_0} \quad \text{poszerzenie rzeczywiste} \quad (5.15)$$

wydłużenie - oznacza przyrost długości przerabianego plastycznie przedmiotu

$$\frac{l_1}{l_0} = \frac{S_0}{S_1} = \lambda > 1 \quad \text{współczynnik wydłużenia} \quad (5.16)$$

$$\Delta l = l_1 - l_0 \quad \text{wydłużenie bezwzględne} \quad (5.17)$$

$$\varepsilon_{wl} = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \quad \text{wydłużenie względne} \quad (5.18)$$

$$\varepsilon_l = \ln \frac{l_1}{l_0} = \ln \frac{S_0}{S_1} \quad \text{wydłużenie rzeczywiste} \quad (5.19)$$

$$G_l = 100\varepsilon_{wl} \quad \text{wydłużenie względne procentowe} \quad (5.20)$$

$$\Delta S = S_0 - S_1 \quad \text{ubytek przekroju bezwzględny} \quad (5.21)$$

$$q = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \quad \text{ubytek przekroju względny} \quad (5.22)$$

$$q\% = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100\% \quad \text{ubytek przekroju względny procentowy} \quad (5.23)$$

$$\lambda_c = \frac{S_0}{S_n} \quad \text{całkowity stopień przeróbki plastycznej} \quad (5.24)$$

$$\delta_w = \frac{b}{h} \quad \text{współczynnik kształtu} \quad (5.25)$$

W procesie walcowania można wyrazić współczynnik wydłużenia w dowolnym przepuszczeniu w zależności od różnych wielkości

$$\lambda = \frac{S_0}{S_1} = \frac{h_0}{h_1} \cdot \frac{b_0}{b_1} = \frac{l_1}{l_0} = \frac{v_h}{v_0} \quad (5.26)$$

gdzie: v_0 – prędkość wejściowa metalu,

v_h – prędkość wyjściowa metalu.

Dla określenia stopnia odkształcenia w całym cyklu walcowania (za pomocą współczynników wydłużenia w kolejnych przepustach) wprowadzono pojęcie współczynnika całkowitego wydłużenia

$$\lambda_c = \frac{S_0}{S_n} = \frac{S_0}{S_1} \cdot \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{S_2}{S_3} \cdot \dots \cdot \frac{S_{n-1}}{S_n} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \dots \cdot \lambda_n = \lambda_{sr}^n \quad (5.27)$$

$$\lambda_{sr} = \sqrt[n]{\frac{S_0}{S_n}} \quad (5.28)$$

gdzie: λ_{sr} - średni współczynnik wydłużenia,

n - ilość przepustów.

Wielkości współczynnika wydłużenia λ_{sr} dla poszczególnych rodzajów procesów walcowania są różne i zależne od kształtu wykroju, od konstrukcji walcarek i mocy napędu.

Przykładowo:

1. w walcowniach wstępnych $\lambda_{sr} = 1,12 - 1,25$,
2. w walcowniach bruzdowych $\lambda_{sr} = 1,3 - 1,6$,
3. w walcowniach blach cienkich ciągłych na gorąco stosuje się $\lambda_{sr} = 1,6$.

W celu określenia ilości przepustów dla danego rodzaju walcowania, znając λ_{sr} , n wylicza się ze wzoru

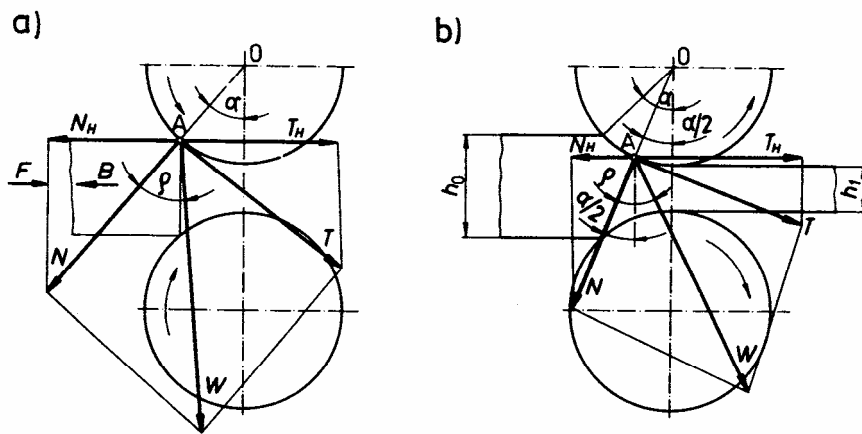
$$n = \frac{\log S_0 - \log S_n}{\log \lambda_{sr}} \quad (5.29)$$

5.2. 3. Warunek chwytu

Aby pasmo mogło być wprowadzone między walce, jego grubość powinna być w pewnym stosunku do średnicy walców oraz do odległości między nimi. Ze względu na symetrię wystarczy rozpatrywać siły w odniesieniu do jednego walca. W chwili zetknięcia się metalu z walcem (np. górnym, rys. 5.2) w punkcie A walec ciśnie na pręt siłą N prostopadłą do zarysu walca. Wskutek obrotu walca i pod wpływem siły N wystąpi w punkcie A siła tarcia styczna do obwodu walca i skierowana zgodnie z kierunkiem obrotu. Pasma zostanie uchwycone przez walce jeżeli:

$$T_H + \frac{F}{2} > N_H + \frac{B}{2} \quad (5.30)$$

gdzie: F - siła spowodowana ruchem obrotowym samotoku podającego,
 B - siła bezwładności.



Rys. 5.2. Zależności pomiędzy kątem chwytu i kątem tarcia: a) w momencie chwytu metalu przez walce, b) przy ustalonym procesie walcowania

Ponieważ $T_H = T \cos \alpha$; $N_H = N \sin \alpha$

$$\text{więc} \quad T \cos \alpha + \frac{F}{2} > N \sin \alpha + \frac{B}{2} \quad (5.31)$$

oraz

$$T > N \operatorname{tg} \alpha + \frac{B - F}{2 \cos \alpha} \quad (5.32)$$

Przyjmując

$$T = \mu N$$

otrzymuje się

$$\mu > \operatorname{tg} \alpha + \frac{B - F}{2N \cos \alpha} \quad (5.33)$$

Jeśli nie ma siły zewnętrznej F , a siłę bezwładności B można pominąć, to warunek chwytu pasma przy walcu przyjmie postać:

$$\mu > \operatorname{tg} \alpha \quad (5.34)$$

albo wyrażając współczynnik tarcia μ przez kąt tarcia ρ czyli $\mu = \operatorname{tg} \rho$ otrzyma się $\operatorname{tg} \rho > \operatorname{tg} \alpha$ i ostatecznie:

$$\rho > \alpha \quad (5.35)$$

Dla chwytu pasma przez walce konieczne jest więc, aby kąt tarcia ρ był większy od kąta chwytu α .

Z powyższych rozważań można poczynić, odnośnie chwytu pasma przez walce, następujące uwagi:

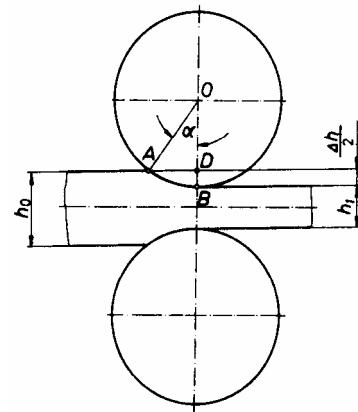
1. Walcowane pasmo będzie tym łatwiej chwywane przez walce, im większa jest siła F (zewnętrzna, np. wywołana prędkością samotoku) wepchnięcia do walców.
2. Przy takiej samej średnicy walców i wysokości pasma - im gniot jest mniejszy, tym mniejszy jest kąt chwytu i tym łatwiej następuje uchwycenie metalu przez walce.
3. Wielkość kąta chwytu zależna jest od średnicy walca. Z rys. 5.3 widać, że im średnica walca jest mniejsza, tym (przy niezmięnionej wysokości pasma) kąt chwytu jest większy.
4. Chwyt pasma przez walce jest utrudniony przy temperaturach wyższych, gdyż w zakresie przeróbki plastycznej stali na gorąco współczynnik tarcia maleje ze wzrostem temperatury.
5. Z podwyższeniem temperatury wzrasta plastyczność walcowanego metalu. Jeżeli więc wprowadzi się gorące pasmo w walce z pewną prędkością v nadaną mu przez samotok, wówczas początek pasma ulega łatwemu odkształceniu, co ułatwia chwyt, gdyż zmniejsza się kąt α .
6. Im większa jest prędkość obwodowa walców, tym pasmo trudniej jest przez nie chwywane, a zatem zwiększenie prędkości walcowania zmusza do stosowania mniejszych gniotów.

Z powyższych uwag wynika, że wielkość dopuszczalnego chwytu zależy od bardzo wielu czynników. Ogólne zależności pomiędzy wielkością gniotu a średnicą walców wyprowadza się na podstawie rys. 5.3.:

$$\cos \alpha = \frac{OD}{OA} = \frac{OD}{R} \quad (5.36)$$

oraz

$$OD = OB - DB = R - \frac{\Delta h}{2} \quad (5.37)$$



Rys. 5.3. Zależność pomiędzy kątem chwytu, gniotem i średnicą walców

skąd

$$\cos \alpha = \frac{R - \frac{\Delta h}{2}}{R} = 1 - \frac{\Delta h}{2R} = 1 - \frac{\Delta h}{D} \quad (5.38)$$

Im większa jest zatem średnica walców, tym większy jest kąt chwytu (przy tym samym gnioście). Wynika z tego, że im mniejsza jest średnica walców, tym trudniej pasmo jest przez nie chwywane.

Z przekształcenia powyższych wzorów wynika: $\Delta h = D (1 - \cos \alpha)$, a ponieważ kąt chwytu α może być co najwyżej równy kątowi tarcia, zatem można napisać:

$$\Delta h_{max} = D (1 - \cos \rho) \quad (5.39)$$

Równanie to określa maksymalny dopuszczalny gniośt.

Maksymalne kąty chwytu stosowane w praktyce w zależności od rodzaju walcowania podaje tablica 5.1. Maksymalny kąt chwytu, jaki można stosować przy danym rodzaju walców i danej średnicy, nazywa się granicznym kątem chwytu.

Tablica 5.1.

Graniczne kąty chwytu w zależności od rodzaju walcowania

Rodzaj walcowania	Współczynnik tarcia μ	Maksymalny kąt chwytu α	Maksymalny stosunek $\frac{\Delta h}{R}$
walcowanie na gorąco: kęsiska (na walcach z napawianiami)	0,45 ÷ 0,62	24 ÷ 32	$\frac{1}{5} \div \frac{1}{3}$
kęsy	0,36 ÷ 0,47	20 ÷ 25	$\frac{1}{8} \div \frac{1}{7}$
blachy	0,27 ÷ 0,36	15 ÷ 20	$\frac{1}{14} \div \frac{1}{8}$
walcowanie na zimno: na walcach gładkich	0,09 ÷ 0,18	5 ÷ 10	$\frac{1}{130} \div \frac{1}{33}$
na walcach z dobrze szlifowaną beczką	0,05 ÷ 0,09	3 ÷ 5	$\frac{1}{350} \div \frac{1}{250}$

5.3. Pomoce i urządzenia

- walcarka duo,
- próbka klinowa,
- próbka o zmiennej szerokości,
- suwmiarka.

5.4. Instrukcja do ćwiczenia

- uruchomić walcarkę,

- przeprowadzić próbę pomiaru kąta chwytu,
- przewalcować próbkę o zmiennej szerokości,
- zmierzyć uzyskane wymiary próbek,
- sporządzić sprawozdanie.

5.5. Sprawozdanie

1. Pomiar kąta chwytu

Tablica 5.2.

Kąt chwytu materiału przez walce

Pomiar	Prześwit	Kąt chwytu	Kąt tarcia	Średnica walców	Graniczny kąt chwytu	Gniot maksymalny
1.						
2.						
3.						

2. Pomiar parametrów walcowania

Tablica 5.3.

Podstawowe parametry walcowania

Pomiar	h_0	l_0	b_0	h_1	b_1	l_1	Δh	Δb	Δl	λ	β	γ
1.												
2.												
3.												
4.												

Literatura

[23,24,27,34,36,37,38,40]

6. PRÓBY TECHNOLOGICZNE

6.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami badań własności technologicznych materiałów konstrukcyjnych.

6.2. Wprowadzenie

Próby technologiczne mają na celu sprawdzenie własności technologicznych danego materiału. Wyniki, w zależności od rodzajów przeprowadzanych prób, podaje się w jednostkach umownych lub tylko na podstawie obserwacji badanego materiału podczas przeprowadzania próby. Próbom technologicznym możemy poddawać bednarki, blachy, druty, pręty i walcówkę, kształtowniki i rury.

Najczęściej stosowane próby technologiczne:

1. dla drutów i walcówki:
 - 1.1. próba dwukierunkowego przeginania,
 - 1.2. próba jednokierunkowego skręcania,
 - 1.3. próba nawijania drutu,
2. dla blach, bednarki, prętów:
 - 2.1. próba tłoczności metodą Erichsena,
 - 2.2. technologiczna próba zginania metali,
 - 2.3. próba dwukierunkowego przeginania,
 - 2.4. próba zwijania ze zginaniem,
 - 2.5. próba podwójnego zginania,
 - 2.6. próba spęczania,
3. dla rur:
 - 3.1. próba spłaszczania rur,
4. dla kształtowników:
 - 4.1. próba rozginania i zginania kształtowników.

Sposób pobierania próbek do badań oraz metodyka badań określana jest normami.

Protokół badania powinien zawierać następujące informacje :

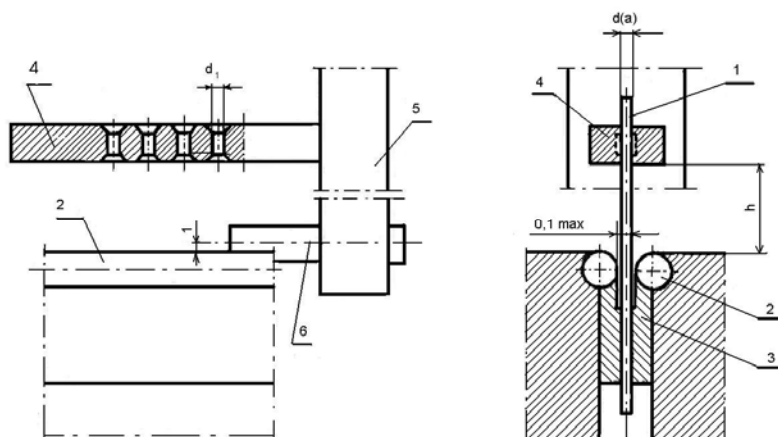
- a) powołanie na normę międzynarodową
- b) identyfikację próbki (rodzaj materiału, numer wytopu)
- c) średnicę d
- d) szczegóły dotyczące przygotowania próbki (prostowania)
- e) warunki przeprowadzenia próby (odległość między uchwytami, zastosowane obciążenie rozciągające)
- f) wynik próby

6.2.1. Próby technologiczne dla drutów i walcówki

6.2.1.1. Próba dwukierunkowego przeginięcia drutu i walcówki

Próbie wielokrotnego przeginięcia drutów o średnicy d lub walcówki o grubości g od 0,3 mm do 10 mm przeprowadza się w celu określenia podatności próbki na odkształcenia plastyczne i wykrycia wad wewnętrznych materiału. Podatność próbki na odkształcenia plastyczne ocenia się z liczby przegieć, a wady wewnętrzne materiału z przełomu próbki.

Próbie przeprowadza się z zastosowaniem przyrządu przedstawionego na rys.6.1.



Rys.6.1. Schemat przyrządu do przeginięcia drutu: 1 – próbka, 2 – wałek, 3 – wkładka, 4 – przewodnica, 5 – dźwignia, 6 – oś przeginięcia dźwigni

Parametry pomiarowe próby przeginięcia przedstawiono w tabelicy 6.1.

Tablica 6.1

Parametry pomiarowe próby przeginięcia

Oznaczenie	Określenie	Jednostka
d	Średnica drutu okrągłego	mm
g	Najmniejsza grubość drutu o przekroju nieokrągłym, umieszczonego między równoległymi uchwytami	mm
r	Promień wałków zginających	mm
h	Odległość między górną płaszczyzną styczną do wałków zginających a dolną powierzchnią przewodnicy	mm
d_g	Średnica otworu przewodnicy	mm
y	Odległość osi wałka zginającego od górnej powierzchni uchwytu	mm

Urządzenie jest wyposażone w komplet wymiennych wałków oraz przewodnic o wymiarach zależnych od średnicy lub grubości próbki. Od wymiarów próbki zależy także wymagany odstęp h między górną, styczną powierzchnią wałków zginających a dolną powierzchnią przewodnicy. Górna krawędź uchwytu powinna znajdować się poniżej osi wałków zginających w odległości y równej 1,5 mm – dla wałków o promieniu do 2,5 mm i równej 3,0 mm – dla wałków o większym promieniu (jeśli $r \leq 2,5$ mm, $y = 1,5$ mm, jeśli $r > 2,5$ mm, $y = 3,0$ mm)

Długość wyprostowanej przed badaniem próbki winna wynosić 100 ÷ 150 mm.

Próba ta polega na wielokrotnym przeginięciu próbki zaciśniętej w szczękach przyrządu i przesuniętej przez otwór w przewodnicy. Z położenia wyjściowego pionowego, przegina się

próbki za pomocą dźwigni w prawo o 90° do zderzaka i z powrotem do położenia wyjściowego, licząc to przegięcie jako pierwsze. Drugie i następne przegięcia na przemian w lewo i w prawo, każde do zderzaka i z powrotem do położenia wyjściowego, wykonuje się aż do złamania próbki.

Próbkę należy prowadzić aż do uzyskania podanej w normach przedmiotowych liczby przegięć lub wystąpienia pęknięcia widocznego bez zastosowania przyrządów powiększających.

Przegięcie, w czasie którego następuje pęknięcie próbki nie powinno być wliczane do liczby przegięć.

Tablica 6.2

Warunki zamocowania próbek drutu do prób wielokrotnego przeginięcia

Średnica nominalna lub grubość drutu d(g)	Promień wałka zginającego r	Odległość h	Średnica otworu prowadnicy ¹⁾ d _g
1	2	3	4
0,3 ≤ d(g) ≤ 0,5	1,25 ± 0,05	15	2,0
0,5 < d(g) ≤ 0,7	1,75 ± 0,05	15	2,0
0,7 < d(g) ≤ 1,0	2,5 ± 0,1	15	2,0
1,0 < d(g) ≤ 1,5	3,75 ± 0,1	20	2,0
1,5 < d(g) ≤ 2,0	5,0 ± 0,1	20	2,0 i 2,5
2,0 < d(g) ≤ 3,0	7,5 ± 0,1	25	2,5 i 3,5
3,0 < d(g) ≤ 4,0	10 ± 0,1	35	3,5 i 4,5
4,0 < d(g) ≤ 6,0	15 ± 0,1	50	4,5 i 7,0
6,0 < d(g) ≤ 8,0	20 ± 0,1	75	7,0 i 9,0
8,0 < d(g) ≤ 10	25 ± 0,1	100	9,0 i 11,0

¹⁾ Mniejsze średnice otworów mogą być stosowane dla mniejszych nominalnych średnic drutów (patrz kolumna 1) i większe średnice otworów dla większych średnic nominalnych (patrz kolumna 1). Dla zakresu średnic podanego w kolumnie 1 powinny być wybrane odpowiednie średnice otworów w celu zapewnienia swobodnego ruchu drutu.

Przeginięcie powinno odbywać się ze stałą prędkością nie przekraczającą jednego przegięcia na sekundę. Jeśli jest to konieczne należy zmniejszyć prędkość przeginięcia, aby nagrzanie próbki nie miało wpływu na wynik próby.

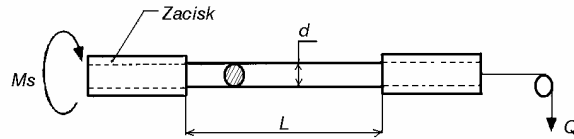
Próbkę przeprowadza się w temperaturze otoczenia w przedziale od 10 do 30°C. Próby w warunkach kontrolowanych powinny być wykonywane w temperaturze 23 ± 5°C.

6.2.1.2. Próba jednokierunkowego skręcania drutu

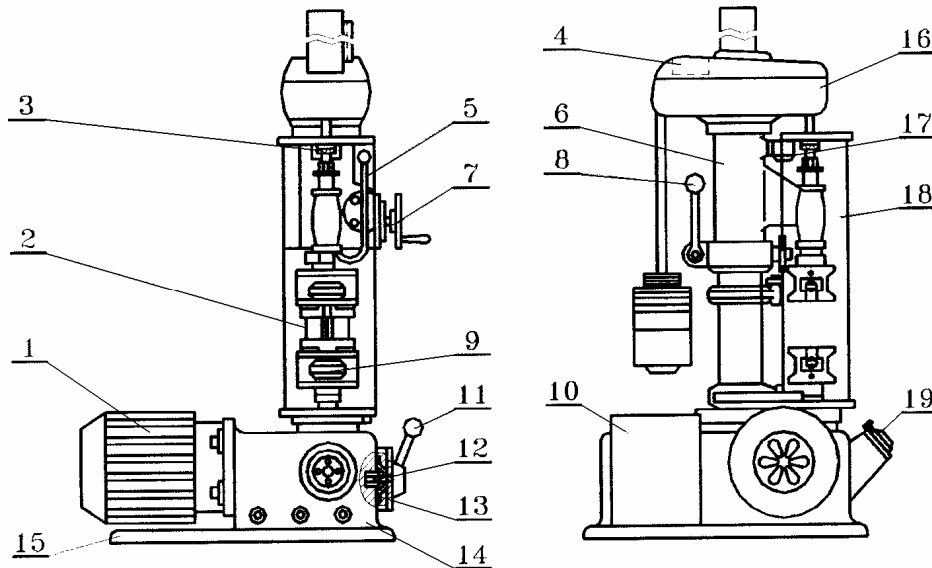
Próba skręcania drutów o średnicy d od 0,3 mm do 5 mm, służy do określenia podatności drutów na odkształcenia plastyczne przy jednokierunkowym skręcaniu, wykrycia niejednorodności, wad materiału oraz błędów obróbki plastycznej lub termicznej.

Próba polega na skręcaniu próbki (rys. 6.2) zamocowanej w uchwytach skrętkarki (rys. 6.3), wstępnie napiętej siłą Q (stałe obciążenie rozciągające, wystarczające do jej wyprostowania ale nie przekraczające 2% wartości nominalnego obciążenia zrywającego drut), ze stałą prędkością do momentu do momentu pęknięcia, względnie osiągnięcia żądanej liczby skręceń.

Podatność na skręcenie badanego drutu oraz przelom opisujemy zgodnie z wymogami normy na badany drut, względnie wymogami odbiorcy.



Rys. 6.2 Schemat próby jednokierunkowego skręcania



Rys. 6.3 Ogólny widok maszyny K-5; 1 – silnik, 2 – stojak, 3 – zawieszenie, 4 – mikroprzełącznik, 5 – dźwignia opuszczania wrzeciona, 6 – górna tuleja (słup), 7 – kółko ręczne, 8 – dźwignia, 9 – uchwyty, 10 – szafa elektryczna, 11 – dźwignia, 12 – ślimak (przekładnia), 13 – pokrywa, 14 – korpus maszyny, 15 – podstawa, 16 – mechanizm obciążenia, 17 – mikroprzełącznik, 18 – obudowa, 19 – licznik

Tablica 6.3

Odległość L między zaciskami w zależności od średnicy d próbki (drutu).

Średnica nominalna d [mm]	Odległość między zaciskami (nominalna)
$0,3 \leq d < 1$	200 d
$1 \leq d < 5$	100 d ¹⁾
$5 \leq d$	50 d ²⁾

¹⁾ Odległość 50 d może być stos. za spec. zgodą, gdy maszyna nie pozwala na zastos. długości równej 100 d
²⁾ Odległość 30 d może być stos. za spec. zgodą, gdy maszyna nie pozwala na zastos. długości równej 50 d

Jeżeli w normie przedmiotowej nie podano inaczej, prędkość przeprowadzenia próby nie powinna przekroczyć wartości podanej w tablicy 6.4 w przypadku stali, miedzi, aluminium, stopów aluminium dla podanych wartości średnic.

Próby przeprowadza się w temperaturze otoczenia od 10 do 35°C. Próby prowadzone w specjalnych warunkach powinny być wykonane w temperaturze 23 ±5°C.

Próby przeprowadza się na urządzeniu zwanym skręcarką. Na wyposażeniu laboratorium znajduje się skręcarka do drutów K – 5.

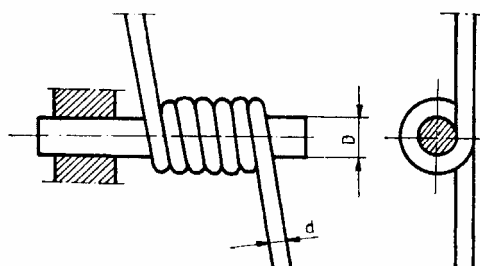
Tablica 6.4

Prędkość skrećania w zależności od średnicy drutu i rodzaju materiału

Średnica d [mm]	Maksymalna liczba skręceń na sekundę		
	Stal	Miedź i stopy miedzi	Aluminium i stopy aluminium
$d < 1$	3	5	1
$1 \leq d < 3,0$	1	2	
$1,5 \leq d < 3,0$		1,5	
$3,0 \leq d < 3,6$		1	
$3,6 \leq d < 5,0$			
$5,0 \leq d < 10,0$	0,5	0,5	

6.2.1.3. Próba nawijania drutu

Próbie nawijania stosuje się do drutów o średnicy $d \leq 6$ mm. Polega ona na nawinięciu $5 \div 10$ ściśle przylegających do siebie zwojów na trzpień o określonej średnicy (rys.6.4). Własności plastyczne materiału, jakość przylegania powłok ochronnych oraz obecność ewentualnych wad materiałowych określa się w wyniku oględzin próbek, zwracając uwagę na rozwarstwienia, pęknięcia, naderwania i odprysnięcia drutu lub powłoki ochronnej.



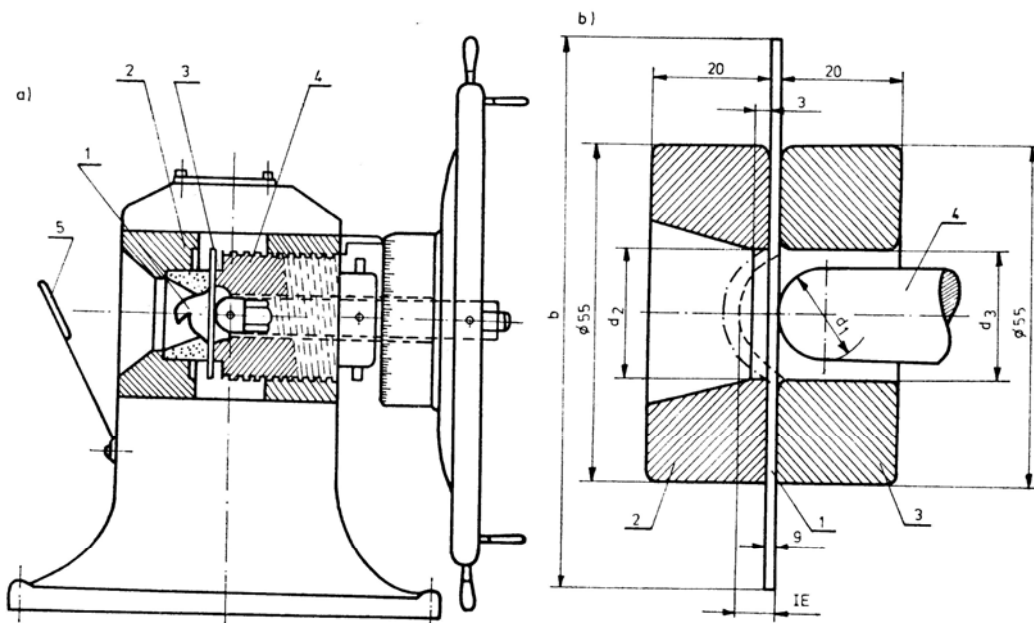
Rys. 6.4. Schemat próby technologicznej nawijania drutu

6.2.2. Próby technologiczne dla blach, bednarki i prętów

6.2.2.1. Próba tłoczności metodą Erichsena

Próba metodą Erichsena jest stosowana w celu określenia tłoczności cienkich blach i bednarki o grubości $g \geq 0,1$ mm i szerokości $b \geq 13$ mm oraz sprawdzenia ich podatności do tłoczenia na zimno.

Polega ona na powolnym wtlaczaniu kulki lub stempla zakończonego kulisto, o średnicy 3, 8, 15 lub 20 mm, dobieranej w zależności od grubości blachy, w próbkę dociśniętą do matrycy o odpowiedniej średnicy 5, 11, 21, 27 mm za pomocą dociskacza. Zasadnicze wymiary aparatu Erichsena przedstawia rys. 6.5). Wtlaczanie przerywa się w chwili powstania pęknięcia w próbce. Wynik próby tłoczności metodą Erichsena stanowi średnia arytmetyczna wyników pomiarów głębokości trzech wtląceń. Przykład zapisu wyników próby tłoczności pokazano w tablicy 6.5.



Rys. 6.5. Próba tłocznosci Erichsena: a) schemat aparatu, b) schemat pomiaru: 1- próbka, 2 – matryca, 3 – pierścień dociskający, 4 – stempel, 5 - lustro

Tablica 6.5

Sposób zapisu wyników próby tłocznosci metodą Erichsena

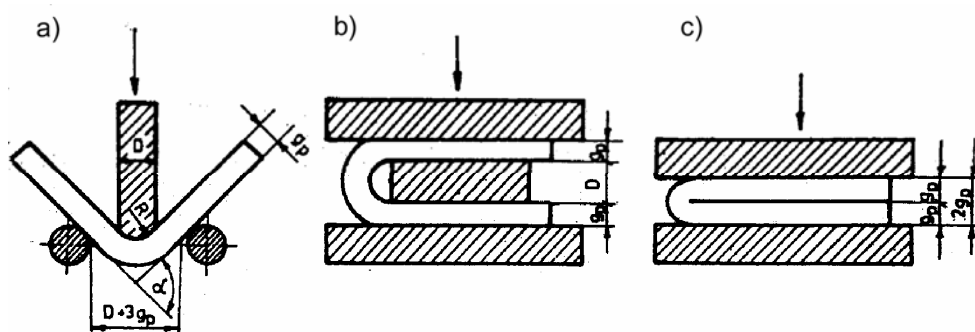
Próba tłocznosci metodą Erichsena, protokół nr 45/82					
Materiał: blacha mosiężną nieznanego gatunku					
Aparat; Erichsen, nr fabr. 3274					
Lp.	Grubość próbki mm	Średnica tłocznika i średnica matrycy mm	Wyniki próby mm	Średnio mm	Wygląd powierzchni
1.	0,81	20/27	14,79 14,21 14,53	14.5	matowa
2.	0,85	20/27	14,10 14,06 14,22	14.4	matowa

6.2.2.2. Technologiczna próba zginania metali

Technologicznej próbie zginania na zimno lub w podwyższonej temperaturze poddaje się próbki pobrane z półwyrobów i wyrobów walcowanych, kutych i lanych. Próba ma na celu sprawdzenie zdolności materiału do odkształceń plastycznych przy zginaniu. Przebieg próby zginania opisuje norma PN-EN ISO 7438:2006 Metale -- Próba zginania.

Próbkę ustawioną na dwóch podporach nastawnych, wyposażonych w obracające się wałki, zgina się równomiernie i nieprzerwanie za pomocą trzpienia o określonej grubości i zaokrągleniu, ustawionego w połowie odległości między podporami, z ewentualnym zastosowaniem wkładek (rys. 6.6). Zamiast podpór można użyć przystosowanej do tego celu podkładki z przyrównaniem wycięciem o rozwartości nie mniejszej niż 125 mm, w kształcie

litery U lub V, o kącie rozwarcia 60° . Wynik próby jest uważany za dodatni jeżeli przy zgięciu jednym z podanych sposobów próbka zginana na trzpieniu o zadanej grubości i średnicy zaokrąglenia nie uległa złamaniu i nie wykaże na zewnętrznej zgiętej powierzchni naderwań, rozwarstwień lub pęknięć.



Rys. 6.6. Sposób przeprowadzania technologicznej próby zginania metali : a) - do określonego kąta zgięcia $\alpha \leq 180^\circ$, b) - do równoległości ramion, c) - do styku ramion

6.2.2.3 Próba przeginania blach

Próba przeginania blach o grubości g do 3 mm przeprowadza się w celu określenia przydatności do odkształceń plastycznych.

Próbie przeprowadza się z zastosowaniem przyrządu podobnego jak do próby przeginania dwukierunkowego drutu i walcówki, posiada tylko inną prowadnicę i uchwyt mocujący.

Tablica 6.6

Oznaczenia pomiarowe w próbie przeginania blach

Oznaczenie	Określenie	Jednostka
g	Grubość próbki	mm
r	Promień rolek lub szczęk oporowych	mm
h	Odległość między górną płaszczyzną styczną do rolek lub szczęk oporowych a dolną powierzchnią czołową prowadnicy	mm
y	Odległość pomiędzy płaszczyzną przechodząca przez osie rolek lub szczęk oporowych a najbliższym punktem zetknięcia próbki z uchwytami mocującymi urządzenia	mm

Grubość g próbki powinna odpowiadać grubości badanego wyrobu, przy zachowaniu neutralnego stanu jego powierzchni na próbce.

Szerokość próbki (jeżeli w normach przedmiotowych nie podano inaczej) powinna wynosić 20_0^{+5} mm. Próbki taśm o szerokości do 25 mm zachowują pełną szerokość wyrobu (nie podlegają obróbce mechanicznej). W próbie przeginania blach i taśm prądnicowych i transformatorowych, dopuszcza się próbki o szerokości $30 \div 0,2$ mm.

Długość próbki powinna wynosić $100 \div 150$ mm.

Próba ta polega na wielokrotnym przeginaniu próbki zamocowanej jednym końcem w uchwycie składającym się z odpowiednich szczęk lub wałków o promieniu r o kąt 90° od położenia wyjściowego na przemian w jedną i drugą stronę, aż do pojawienia się pęknięcia.

Przebieg które spowodowało pęknięcie lub całkowite złamanie próbki, nie wlicza się do liczby przebiegów. W czasie trwania próby należy obserwować powierzchnię próbki w miejscu zginania.

Tablica 6.7

Podstawowe wymiary konstrukcyjne urządzenia do próby przeginięcia

Grubość próbki	Podstawowe wymiary konstrukcyjne urządzenia do próby przeginięcia		
g	r	h ¹⁾	y ²⁾
mm			
do 0,3	1,0 ±0,1	5 ±0,5	1,5 ±0,1
powyżej 0,3 do 0,5	2,5 ±0,1	10 ±0,5	
powyżej 0,5 do 1,0	5,0 ±0,1	15 ±0,5	3,0 ±0,2
powyżej 1,0 do 1,5	7,5 ±0,2	20 ±1,0	
powyżej 1,5 do 3,0	10,0 ±0,2	25 ±1,0	

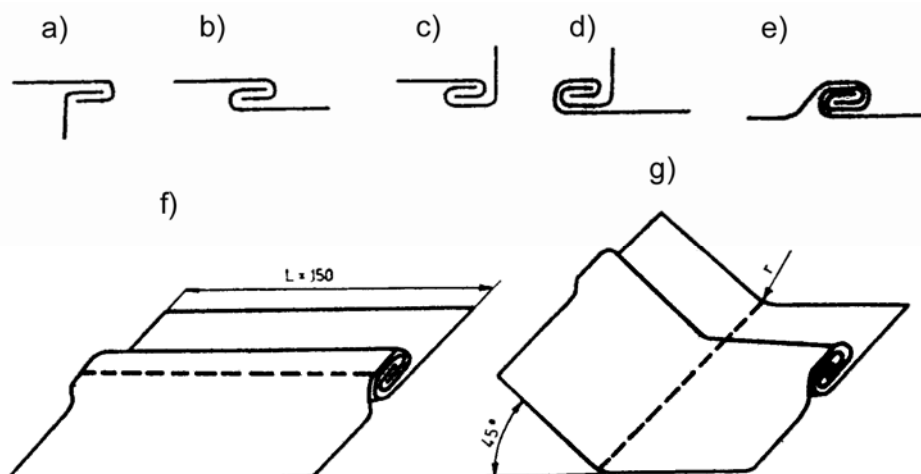
¹⁾ Dopuszcza się stosowanie urządzeń w odległości **h** wynoszącej od 25 do 50 mm
²⁾ Podana odległość **y** dotyczy wyłącznie rolek oporowych

6.2.2.4. Próba zwijania ze zginaniem

Próba zwijania ze zginaniem, (tzw. próba zginania podwójnego zamka), jest stosowana dla cienkich blach o grubości $g \leq 0,8$ mm.

Polega na ścisłym złączeniu dwóch odcinków blachy przez podwójne ich zawinięcie (rys. 6.7). Złączone odcinki blach zgina się o kąt $\alpha \leq 45^\circ$ na trzpieniu o promieniu $r = (3 \div 5) g$ wzdłuż osi prostopadłej do osi zawinięcia, a następnie prostuje.

Zginanie i prostowanie przeprowadza się wielokrotnie do osiągnięcia wymaganej liczby zgięć.

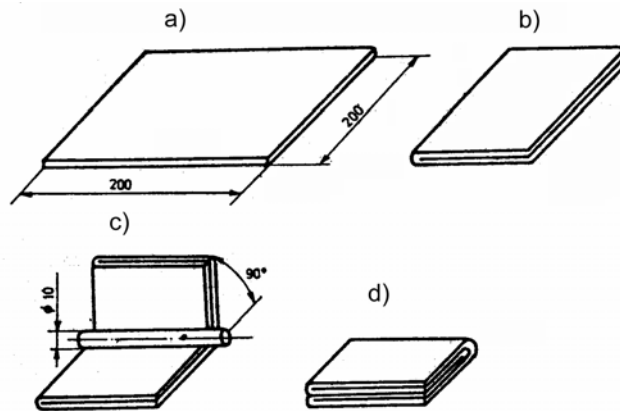


Rys. 6.7. Schemat próby zawijania ze zginaniem : a ÷ e) kolejne etapy zawijania blachy, f, g) sposób zginania blachy

6.2.2.5. Próba podwójnego zaginania

Próbie podwójnego zawijania jest to tzw. próba kopertowa, stosowana również do cienkich blach.

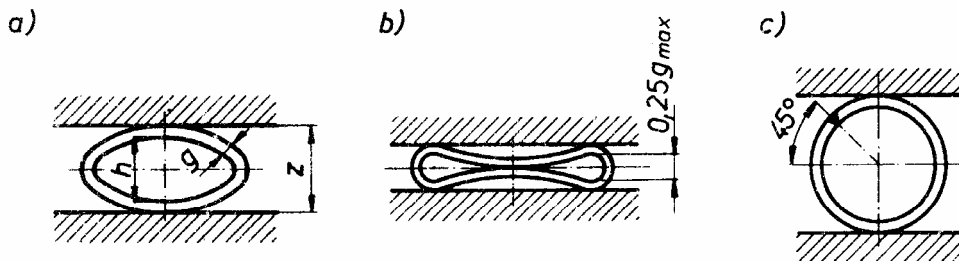
Przeprowadza się ją zginając próbkę wzdłuż dwóch prostopadłych do siebie osi, aż do styku ramion (rys. 6.8) . Jeżeli w miejscu największych odkształceń plastycznych w okolicy środka próbki nie powstają rysy ani pęknięcia , wynik próby uważa się za dodatni.



Rys. 6.8 Schemat próby podwójnego zginania blachy : a ÷ d) kolejne etapy próby

6.2.3. Próba spłaszczania rur

Próbie poddaje się rury o średnicy zewnętrznej D do 400 mm włącznie, o grubości ścianki do $0,15 D$, jeżeli normy przedmiotowe dla rur nie przewidują inaczej. Próbkę spłaszcza się w kierunku prostopadłym do osi rury aż do osiągnięcia przepisanej wysokości lub do styku i sprawdza się, czy na powierzchni zewnętrznej nie wystąpiły pęknięcia lub naderwania (rys. 6.9).



Rys. 6.9. Próba spłaszczania rur; a) do określonej wysokości, b) do styku, c) spawanych lub zgrzewanych

Próbkę długości $L = 1,5 D_w$ (D_w - średnica wewnętrzna rury), nie mniej jednak niż 10 mm i nie więcej niż 100 mm, odcina się z końca rury, prostopadle do osi. Powierzchnie czołowe próbek powinny być obrabiane mechanicznie, Prędkość spłaszczania próbki; nie powinna przekraczać 25 mm/min.

- a) Spłaszczanie do określonej wysokości - próbkę kładzie się na dolną płytę prasy, tak aby oś wzdłużna rury leżała w płaszczyźnie prostopadłej do osi działania siły ściskającej. Próbkę przeprowadza się do osiągnięcia między płytami odległości z lub do chwili pojawienia się pierwszego pęknięcia, jeżeli wystąpi ono przed osiągnięciem przepisanej

odległości z. Jeżeli warunki techniczne zamówienia określają wysokość spłaszczenia h mierzona wewnątrz rury (rys. 6.9 a), odległość z oblicza się wg wzoru:

$$z = h + 2g$$

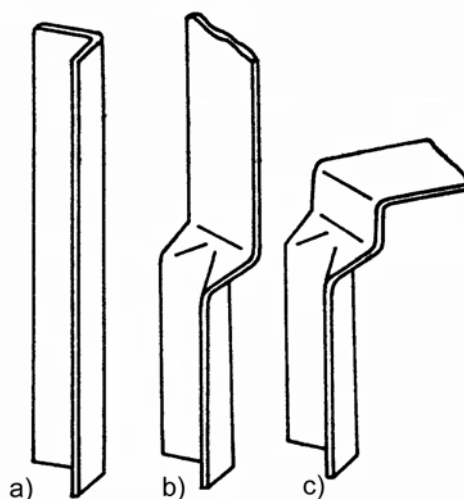
g - grubość ścianki rury

- b) Spłaszczanie do styku - próbkę spłaszcza się jak to opisano poprzednio, lecz do styku (rys. 6.9 b). Próbę należy przerwać, jeżeli przed zetknięciem się ścianek ukażą się pęknięcia lub naderwanie. Przy spłaszczeniu do styku dopuszcza się na końcach próbki szczeliny o wysokości nie większej niż 1/4 grubości ścianki rury
- c) Spłaszczanie rur spawanych lub zgrzewanych - przeprowadza się próbę zgodnie z wymogami norm przedmiotowych lub warunków technicznych zamówienia, do określonej wysokości lub styku. Położenie złącza powinno być podane, jeżeli nie określono położenia, złącze powinno znajdować się w płaszczyźnie nachylonej o 45° do kierunku spłaszczania (rys. 6.9 c).

Sprawdzenie próbek po spłaszczeniu przeprowadza się nieuzbrojonym okiem, przy czym nie bierze się pod uwagę odpadnięcia warstwy tlenków.

6.2.4. Próba rozginania i zginania kształtowników

Próbę zginania kształtowników przeprowadza się na kowadle za pomocą młotów mechanicznych lub przez uderzanie młotkiem ręcznym. Po osiągnięciu kąta 180° między ramionami w przypadku kątowników lub między średnikiem a stopką w przypadku ceowników i zetowników, próbkę zgina się prostopadłe do podłużnej osi kształtownika (rys. 6.10). Wynik próby jest dodatni, jeżeli na powierzchni próbki nie występują pęknięcia i naderwania widoczne nieuzbrojonym okiem.



Rys. 6.10. Schemat próby rozginania kątownika : a) ÷ c) kolejne etapy próby

6.3. Pomoce i urządzenia

- Stanowiska do badań własności technologicznych,
- Próbki materiałów konstrukcyjnych.

6.4. Przebieg ćwiczenia

- Zapoznanie się z urządzeniami, na których przeprowadza się próby technologiczne,
- Przeprowadzenie prób technologicznych.

6.5. Sprawozdanie

Sprawozdanie winno zawierać protokoły z badań wg schematu podanego we wprowadzeniu do ćwiczenia.

Literatura

[25,28,34,35,37,38,39,40,41]

7. GIĘCIE PLASTYCZNE

7.1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie ze sposobami gięcia, a także z naprężeniami i odkształceniami powstającymi przy tym zabiegu, jak również z praktycznym wykonaniem gięcia na zimno.

7.2. Wprowadzenie

Gięcie jest procesem kształtowania przedmiotów, w których zachowana zostaje prostoliniowość tworzących, a zmiana krzywizny giętego materiału zachodzi w jednej płaszczyźnie. Obejmuje takie operacje jak: wyginanie, zaginanie, zwijanie, profilowanie, skręcanie, prostowanie. Operacje gięcia mogą być prowadzone zarówno na zimno jak i na gorąco (tj. powyżej temperatury rekrytalizacji).

7.2.1. Metody gięcia

W zależności od rodzaju ruchu narzędzia w stosunku do obrabianego materiału znane są następujące metody gięcia:

- na prasach (rys. 7.1 a,b,c),
- walcach (rys. 7.1 d,e,f,g,h,i,j)
- za pomocą ciągnięcia (przepychania) (rys. 7.1 k)

Wyginanie (rys. 7.1 a) jest podstawowym sposobem gięcia na prasach. Pas blachy 1 położony na matrycy 2 kształtowany jest wskutek wywierania przez stempel 3 odpowiedniego nacisku na materiał. Powoduje to zakrzywianie się blachy i obrót ramion wyginanego przedmiotu.

Zaginanie (rys.7.1 b) – blacha 1 w trakcie zaginania dociskana jest do czoła stempla 2 za pomocą sprężystego dociskacza 3. Ramiona blachy wystające poza stempel ślizgają się po zaokrąglonych krawędziach matrycy 4 ulegając stopniowemu zaginaniu.

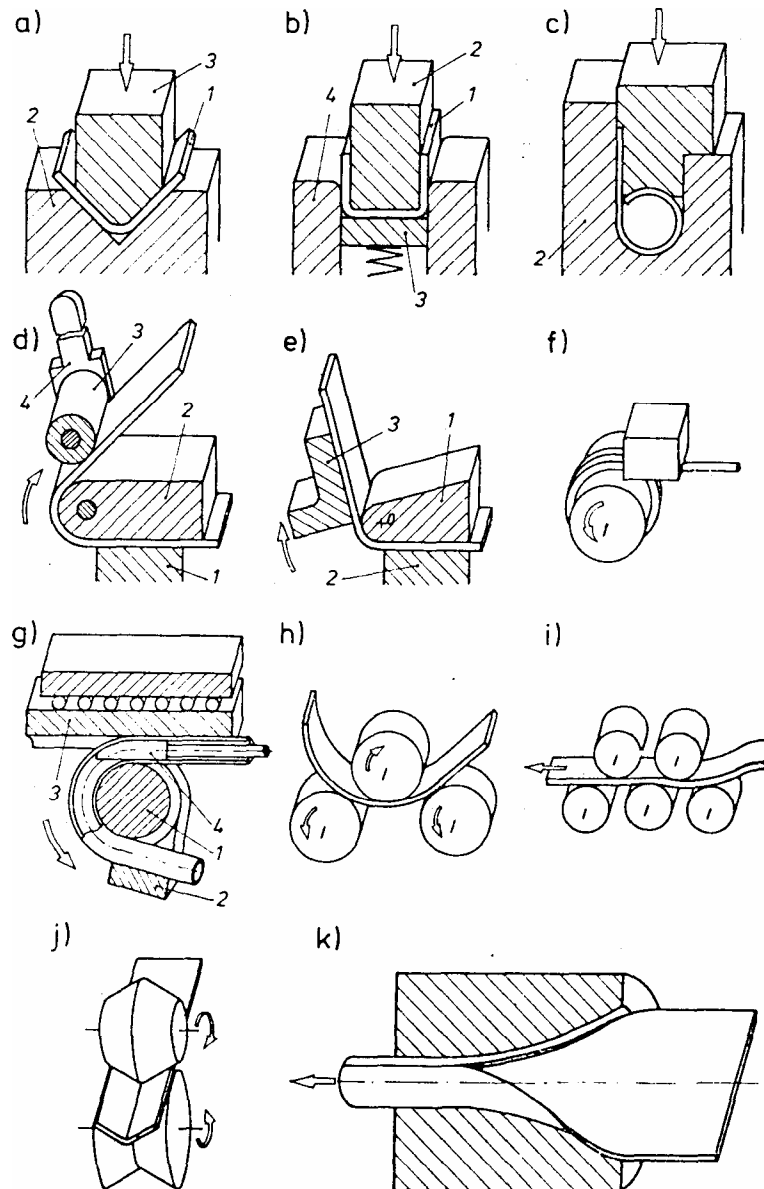
Zwijanie (rys. 7.1 c) – siła kształtująca skierowana jest wzdłuż płaszczyzny blachy. Kształtowanie blachy następuje wskutek ślizgania się jej po wewnętrznej walcowej powierzchni matrycy 2. Zwinięty przedmiot wyjmowany jest poprzez wysunięcie w kierunku równoległym do osi ukształtowanego przedmiotu.

Owijanie (rys. 7.1 d,e,f,g,) – metoda ta polega na zamocowaniu jednego końca blachy, drutu lub rury w przyrządzie, natomiast drugi koniec dociskany jest rolką lub płytą do wzornika.

Gięcie na trzech walcach (rys. 7.1. h) – blachę umieszcza się pomiędzy trzema obracającymi się walcami. Krzywiznę gięcia uzyskujemy poprzez odpowiedni rozstaw i działanie nacisków. W ten sposób m. in. można uzyskiwać rury o dużych średnicach lub płaszcze zbiorników cystern. Gięcie na walcach wykorzystywane jest również do prostowania wyrobów w prostownicach rolkowych (rys.7.1 i).

Do wykonywania elementów giętych o dużych długościach stosuje się często walcowanie wzdłużne (rys.7.1j).

Gięcie przez przeciąganie (rys. 7.1.k) służy głównie do zwijania taśmy w rury.



Rys. 7.1. Sposoby gięcia: a) wyginanie, b) zaginanie, c) zwijanie, d) owijanie prętów, e) gięcie na zaginarkach, f) zwijanie sprężyn na trzpieniu, g) owijanie rur, h) gięcie blachy za pomocą trzech walców, i) prostowanie blachy, j) wzdłużne walcowanie kształtowników, k) gięcie przez przeciąganie

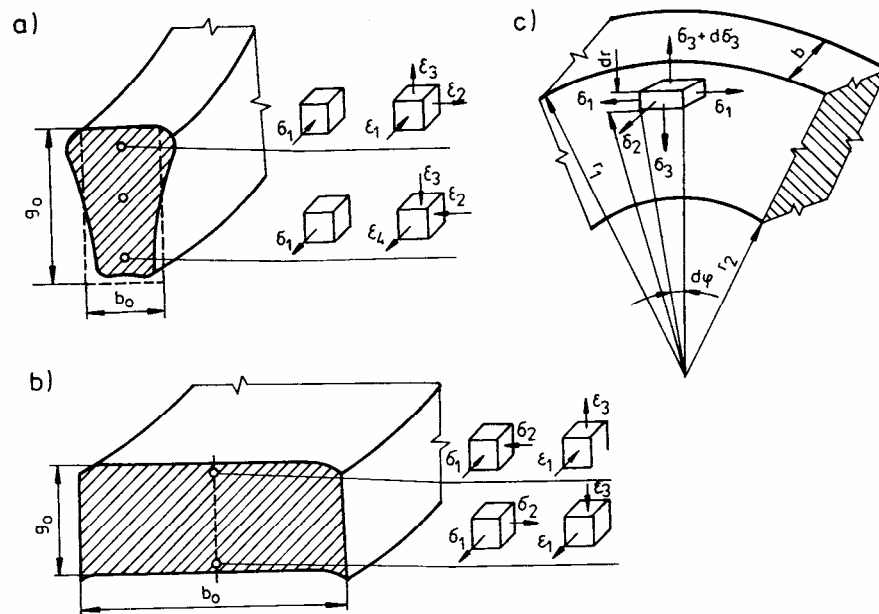
7.2.2. Rozkład naprężeń i odkształceń

Stan naprężeń i odkształceń występujący przy gięciu zależy przede wszystkim od geometrycznych warunków procesu, tj. od stosunku wymiarów przekroju poprzecznego b/g (rys. 7.2) i krzywizny gięcia l/ρ .

W procesie gięcia wyróżnia się następujące fazy:

1. Faza odkształceń sprężystych materiału, dla której w skrajnych punktach przekroju poprzecznego wartość naprężeń i odkształceń jest liniowa. Faza gięcia sprężystego kończy się z chwilą, gdy w skrajnych włóknach naprężenia osiągną wartość naprężeń uplastyczniających σ_p^0 . Zależność między odkształceniem ε a naprężeniem σ , występującym przy jednoosiowym

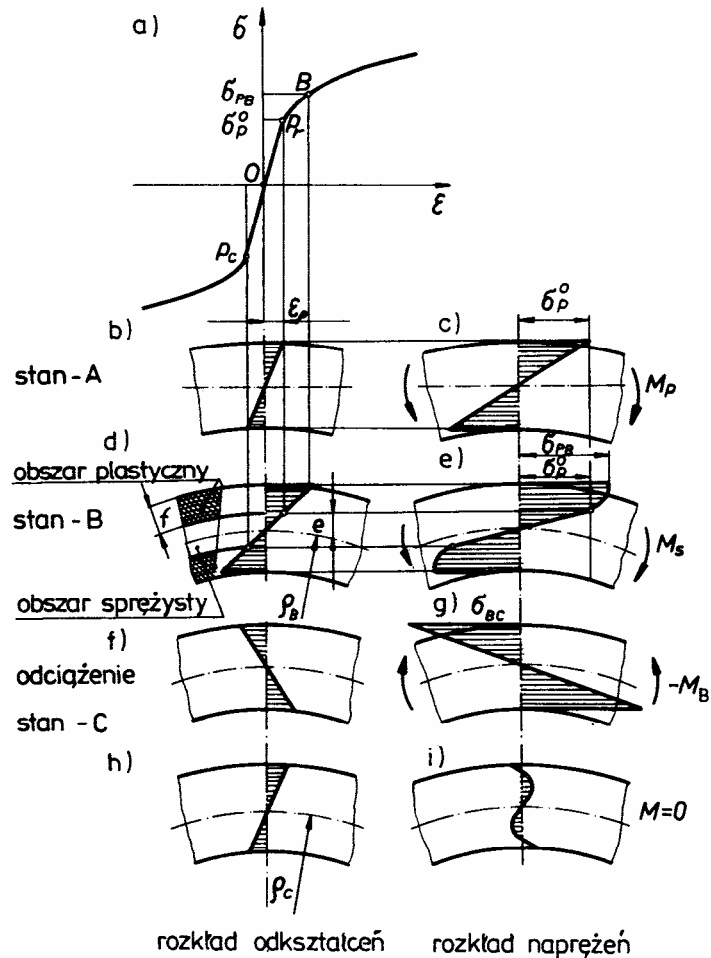
rozciąganiu lub ściskaniu dla większości metali i ich stopów przedstawia wykres podany na rys. 7.3 a. Prostoliniowy odcinek P_rOP_c tej krzywej odpowiada stanowi sprężystemu.



Rys. 7.2. Klasyfikacja procesów gięcia ze względu na stan naprężeń: a) gięcie o małej krzywiznie pasów wąskich, b) gięcie o małej krzywiznie pasów szerokich, c) gięcie o dużej krzywiznie

2. Faza odkształceń plastycznych. Gdy naprężenie przekroczy pewną graniczną wartość σ_p^0 (granice plastyczności), co jest równoznaczne z osiągnięciem odkształceń większych od wartości ε_p , materiał wchodzi w stan plastyczny, charakteryzujący się odkształceniem trwałym. Wraz ze wzrostem odkształcenia trwałego obserwuje się pewien dalszy wzrost naprężenia uplastyczniającego, spowodowany zjawiskiem umocnienia się materiału odkształcanego plastycznie na zimno.

Prostoliniowy odcinek pręta wykonanego z materiału o opisanych własnościach poddany został zginaniu pod wpływem wzrastającego stopniowo momentu zginającego M , przyłożonego do obu końców tego pręta. W wyniku działania momentu M następuje zakrzywienie pręta, przy czym w zakresie sprężystym zarówno odkształcenia osiowe ε_r jak i naprężenia σ są proporcjonalne do odległości rozpatrywanej warstwy od osi neutralnej. Rozkład naprężeń i odkształceń w przekroju poprzecznym pręta przedstawiono na rys. 7.3 b,c. Faza gięcia sprężystego kończy się z chwilą, gdy w warstwie skrajnej odkształcenia i naprężenia osiągną wartości graniczne ε_p i σ_p^0 (stan A). Przy dalszym zwiększaniu krzywizny, już w zakresie plastycznym, zachowany zostaje w przybliżeniu liniowy rozkład odkształceń (rys. 7.3 d), przy czym w obu warstwach zewnętrznych o grubości f odkształcenie osiowe przekracza wartość graniczną ε_p , wobec czego warstwy te znajdują się w stanie plastycznym, podczas gdy leżąca między nimi warstwa o grubości e jest jeszcze w stanie sprężystym. Na podstawie wykresu odkształceń (rys. 7.3 d) oraz wykresu podstawowego (rys. 7.3 a) wyznaczyć można naprężenie osiowe istniejące w każdym punkcie przekroju poprzecznego przy plastycznym zginaniu. Otrzymany w ten sposób rozkład naprężeń przedstawia rys. 7.3 e. Jak widać, w środkowej warstwie sprężystej naprężenia wzrastają liniowo w miarę oddalenia się od warstwy neutralnej, by na granicy obszaru uplastyczniającego osiągnąć σ_p^0 . Dalszy ich wzrost w obszarze plastycznym spowodo-



Rys. 7.3. Rozkład odkształceń i naprężeń w przekroju poprzecznym pręta giętego: a) zależność między odkształceniem ϵ a naprężeniem σ przy jednoosiowym rozciąganiu i ścisnieniu metalu, b) odkształcenia sprężyste, d) naprężenia sprężyste, e) odkształcenia plastyczne, f) odkształcenia przy odciążeniu, g) naprężenia przy odciążeniu, h) odkształcenia szczałkowe, i) naprężenia szczałkowe

wany jest zjawiskiem umacniania się odkształconego materiału i nie jest proporcjonalny do odległości od warstwy neutralnej.

3. Faza powrotnych odkształceń sprężystych. Omawiany dotychczas rozkład naprężeń i odkształceń odnosił się do procesu obciążania, przy którym zarówno moment zginający jak i zakrzywienie stopniowo się zwiększają. Wyobrażając sobie, że po osiągnięciu stanu zakrzywienia B pokazanego na rys. 7.3 d,e następuje odciążenie; moment zginający zaczyna się zmniejszać, dochodząc w końcu do zera. W czasie odciążania następuje częściowe wyprostowanie zakrzywionego pręta, a więc zakrzywienie jego osi ulega pewnemu zmniejszeniu.

W celu określenia rozkładu naprężeń po odciążeniu, należy założyć chwilowo, że pręt zakrzywiony jak w stanie B jest wolny od odkształceń i naprężeń. Zmniejszenie się jego zakrzywienia, odpowiadające odciążeniu (równoznaczne z częściowym rozgięciem pręta) wywoła w nim odkształcenia i naprężenia o znaku przeciwnym niż przy zagięciu. Ponieważ odciążanie

zachodzi w zakresie sprężystym, przeto rozkład tych naprężeń i odkształceń będzie liniowy, jak to przedstawia rys. 7.3 f,g. Jeżeli materiał w stanie wyjściowym B nie jest wolny od naprężeń, tak jak to jest w rzeczywistości, wówczas wykres 7.3 g przedstawia naprężenia σ_{BC} związane z odcieżaniem. Naprężenia te można określić pamiętając, że rozkład ich jest liniowy, a moment względem osi neutralnej musi być równy - M_B .

W celu otrzymania rozkładu naprężeń pozostających w pręcie po zdjęciu obciążenia należy zsumować rozkłady naprężeń pokazane na rys. 7.3 e,g. Otrzymany w ten sposób rozkład naprężeń własnych, pozostających w materiale po całkowitym zdjęciu obciążenia zewnętrznego (stan C), przedstawia rys. 7.3 i. Jak widać z tego rysunku, w warstwie zewnętrznej, która w czasie gięcia była rozciągana, pojawiają się ściskające naprężenia własne (szczątkowe) i odwrotnie - w skrajnej warstwie wewnętrznej pozostają rozciągające naprężenia własne. Jak zawsze przy naprężeniach własnych istnieje równowaga sił i momentów.

7.2.3. Określenie momentu gięcia

Obliczenie momentu gnącego, potrzebnego do uzyskania żądanej krzywizny trwałej, napotyka na duże trudności ze względu na złożone zjawiska zachodzące w procesie gięcia plastycznego, jak np. krzywoliniowy rozkład naprężeń spowodowany umocnieniem materiału, zmniejszenie się grubości giętego przedmiotu itp. Istnieje możliwość uwzględnienia tych wszystkich czynników przy jednoczesnym zachowaniu prostoty obliczeń potrzebnych do określenia wartości momentu. Do tego celu niezbędna jest doświadczalnie wyznaczona charakterystyka materiału, ujmująca zmianę jego własności przy gięciu plastycznym. W celu uzyskania takiej charakterystyki najlepiej jest przeprowadzić operację gięcia czystym momentem gnącym (rys. 7.4).

Analityczne określenie rozkładu momentów dla zakresu:

$$0 \leq x \leq \frac{l-b}{2}$$

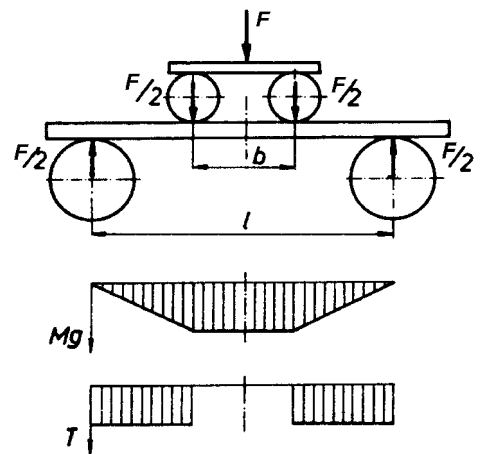
$$M_x = \frac{F}{2} \cdot x \quad (7.1)$$

dla zakresu:

$$\frac{l-b}{2} \leq x \leq \frac{l}{2}$$

$$M_x = \frac{F}{2} \cdot x - \frac{F}{2} \cdot \left(x - \frac{l-b}{2}\right) = \frac{F}{2} \cdot x - \frac{F}{2} \cdot x + \frac{F(l-b)}{4}$$

po redukcji otrzymuje się:



Rys. 7.4. Schemat gięcia czystym momentem

$$M_x = \frac{F}{4}(l - b) = const \quad (7.2)$$

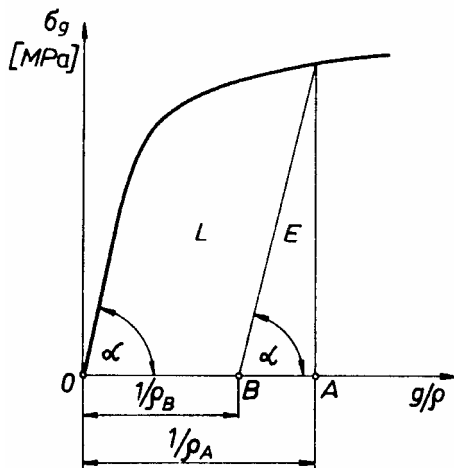
Z analizy rozkładu momentów działających wzdłuż giętej próbki wynika, że na szerokości b wielkość momentu jest wartością stałą. Stała wartość momentu zapewnia uzyskanie stałej wartości zakrzywienia próbki na długości b . Odpowiadającą danemu zakrzywieniu wartość momentu gnącego nanosi się na wykres o współrzędnych M_g i $1/\rho$, gdzie ρ jest promieniem krzywizny.

Z krzywej $M_g = (l/\rho)$ można uzyskać krzywą gięcia danego materiału mnożąc krzywiznę $1/\rho$ przez znaną grubość próbki g oraz dzieląc moment M_g przez wskaźnik przekroju poprzecznego próbki:

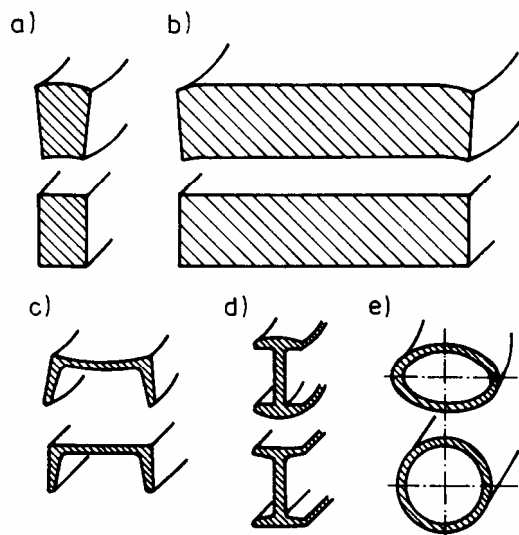
$$W_x = \frac{bg^2}{6}$$

gdzie: g - grubość próbki,
 b - szerokość próbki

Zmieniając odpowiednio podziałki na osiach odciętych i rzędnych, wykres z rys. 7.5 w układzie osi współrzędnych: g/ρ , $\sigma_g = \frac{M_g}{W_x}$ będzie przedstawiał charakterystykę materiału dla procesu gięcia. Podaje ona zależność między tzw. zastępczym naprężeniem gnącym $\sigma_g = \frac{M_g}{W_x}$ a względną krzywizną g/ρ .



Rys.7.5. Krzywa gięcia



Rys. 7.6. Zmiany kształtu przekroju poprzecznego przedmiotów wywołane gięciem plastycznym

7.2.4. Ograniczenia procesu gięcia.

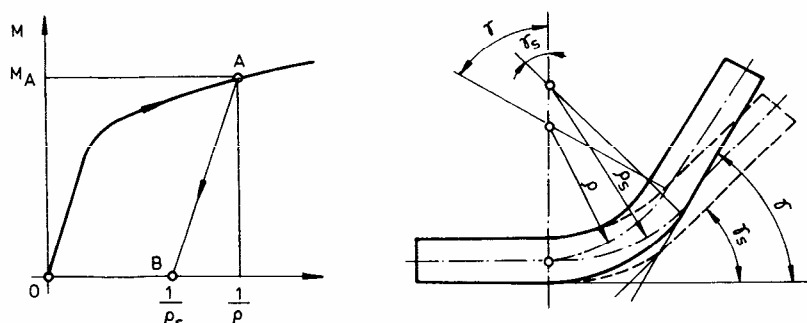
W projektowaniu wyrobów giętych i doborze materiału uwzględnia się przede wszystkim krytyczny promień gięcia. Jest to najmniejszy promień, przy którym na zewnętrznej, rozciąganej powierzchni może występować pęknięcie materiału.

Minimalny promień gięcia zależy od:

- skłonności materiału do pęknięcia,
- położenia linii gięcia w stosunku do kierunku walcowania,
- jakości powierzchni giętego materiału.

Podczas gięcia plastycznego następują najczęściej zmiany kształtu poprzecznego giętej części spowodowane zwiększaniem się wymiarów poprzecznych warstw ściskanych i zmniejszaniem analogicznych wymiarów warstw rozciąganych (rys. 7.6).

Zmiana przekroju poprzecznego jest nieuniknioną konsekwencją gięcia plastycznego i musi być uwzględniona w konstruowaniu przedmiotów zakrzywionych plastycznie.



Rys. 7.7. Schemat sprężynowania po gięciu

Sprężynowanie. W biernej fazie procesu gięcia, gdy wartość momentu gnącego zmaleje do zera, krzywizna materiału $1/\rho$ (rys. 7.7) zmniejszy się do wartości $1/\rho_s$.

Czynniki określające zjawisko sprężynowania po gięciu można podzielić na trzy grupy:

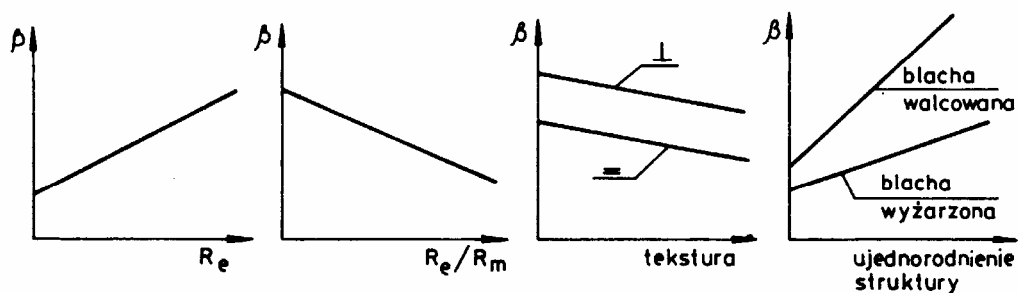
- czynniki geometryczne (promień gięcia ρ , grubość giętego materiału g , względny promień gięcia ρ/g , odległość pomiędzy podporami, szerokość pasma),
- czynniki materiałowe (granica plastyczności R_e , stosunek granicy plastyczności do granicy wytrzymałości R_e/R_m , orientacja linii gięcia względem kierunku walcowania, rodzaj struktury materiału),
- czynniki technologiczne (temperatura i prędkość odkształcania).

Wpływ poszczególnych czynników na wielkość kąta sprężynowania przedstawiono na rys. 7.8, 7.9, 7.10.

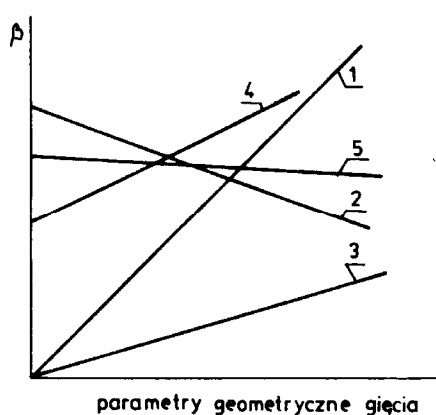
7.2.5. Prostowanie

Do procesów gięcia możemy zaliczyć również operacje prostowania, gdyż w czasie tego procesu następuje odkształcenie materiału bez zmiany jego grubości. Prostowanie służy do usuwania zniekształceń blach lub wyrobów w celu otrzymania płaskich powierzchni. Rozróżnia się prostowanie:

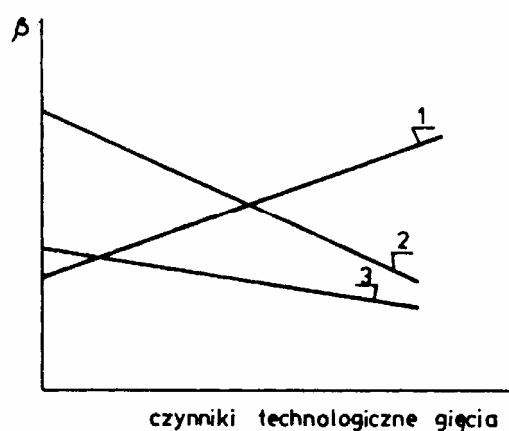
- między płytami płaskimi i naciętymi,
- prostowanie walcami (rolkami),
- wyprężanie – poddanie go rozciąganiu i wywołaniu w nim niewielkich trwałych wydłużeń



Rys. 7.8. Wpływ czynników materiałowych na wartość kąta sprężynowania



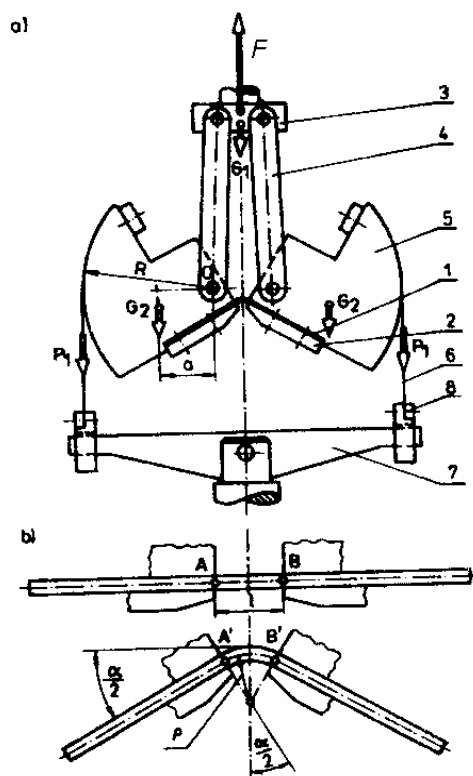
Rys. 7.9. Wpływ czynników geometrycznych: promienia gięcia ρ (1), grubości g (2), względnego promienia gięcia ρ/g (3), odległości pomiędzy podporami (4), szerokości pasma (5) na wartość kąta sprężynowania po gięciu



Rys. 7.10. Wpływ niektórych czynników technologicznych na wartość kąta sprężynowania po gięciu: prędkości (1), czasu (2), temperatury gięcia (3)

7.3. Pomoce i urządzenia

- maszyna wytrzymałościowa,
- przyrząd do gięcia czystym momentem (rys. 7.11).



Rys. 7.11. Schemat przyrządu do gięcia czystym momentem gnącym (a) oraz próbek do wyznaczania charakterystyki gięcia materiału przed i podczas zginania (b): 1- próbka blaszana, 2 – szczęki dociskowe, 3 – głowica przyrządu, 4 – ciągną, 5 – szczęki obrotowe, 6 – ciągną elastyczne, 7 – belka, 8 - strzemiona

7.4. Przebieg ćwiczenia

Ćwiczenie przeprowadzone zostanie na próbkach ze stali niskowęglowej i aluminium. W czasie ćwiczenia należy:

- założyć przyrząd na prasę,
- ustawić próbkę,
- przeprowadzić próbę gięcia,
- zdjąć krzywą uzależniającą siłę gięcia $F=f(r_w)$, gdzie r_w - promień wewnętrzny gięcia.

7.5. Sprawozdanie

Sprawozdanie winno zawierać:

- szkice i wymiary próbek,
- wyniki pomiarów i obliczeń - krzywą gięcia (wykres).

Literatura

[23,24,25,28,29,31,32,33,34,37,38,39,40,41]

8. CIĘCIE

8.1. Cel ćwiczenia

Poznanie ogólnej charakterystyki procesów cięcia blach i profili na prasach i nożycach z uwzględnieniem zjawisk zachodzących w materiale oraz podstawowych parametrów cięcia i budowy narzędzi. Określenie wpływu luzu pomiędzy otworem w płycie tnącej, grubością materiału i rodzajem materiału na wartość maksymalnej siły wykrawania i jakość powierzchni cięcia.

8.2. Wprowadzenie

Operacje cięcia możemy podzielić na:

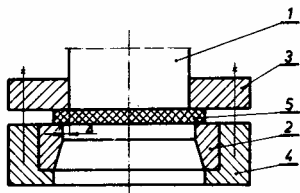
- a) cięcie nożycami,
- b) cięcie na prasach, czyli wykrawanie.
- c) cięcie gumą.

8.2.1. Cięcie nożycami

Półfabrykaty przeznaczone do obróbki skrawaniem lub obróbki plastycznej w większości przypadków poddawane są wstępnej operacji cięcia. Cięcie wykonuje się na nożycach dźwigniowych, gilotynowych, krążkowych i innych (tablica 8.1).

8.2.2. Wykrawanie

Cięcie na prasach nazywamy wykrawaniem. Narzędziami w procesie wykrawania są wykrojniki. Schemat wykrojnika laboratoryjnego przedstawia rys. 8.1. Blachę 5 dociska do matrycy 2 płytą 3. Matryca jest wciśnięta w oprawę 4. Wykrawanie odbywa się pod naciskiem stempla 1. Stempel i matryca muszą być hartowane i szlifowane, a ich krawędzie ostre. Są one jakby nożami o zamkniętym obrysie, mającym sprzężone ze sobą krawędzie



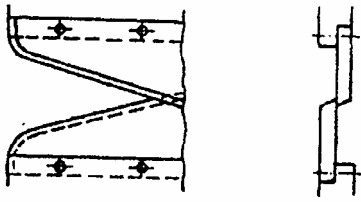
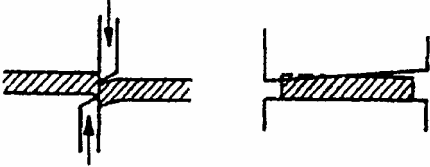
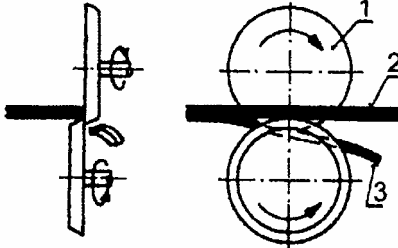
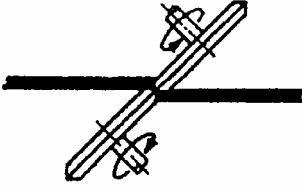
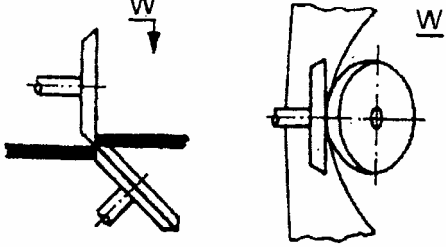
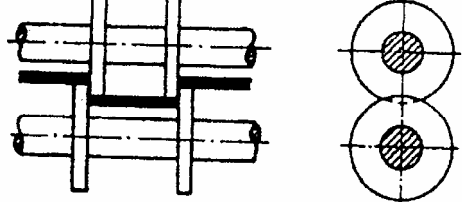
Rys. 8.1. Schemat wykrojnika laboratoryjnego: 1 - stempel, 2 - matryca, 3 - płyta dociskacza, 4 - oprawa matrycy, 5 - blacha

Istotne jest określenie prawidłowego luzu między stemplem i matrycą, wykazującego wpływ na przebieg procesu wykrawania. Gdy luz jest za mały, to pęknięcia nie łączą się ze sobą i wycięty przedmiot ma na całym obwodzie zadziory. Przy zbyt dużym luzie górna powierzchnia przedmiotu nie jest gładka i błyszcząca, ale poszarpana. Wartość luzu optymalnego zależy od rodzaju materiału, grubości blachy i rodzaju operacji.

Przykładowo wycinanie i dziurkowanie stali o grubości $g = 10 \div 25$ mm wymaga luzu $L = 10 \div 15\% g$, a wycinanie otworów z gładkimi ściankami (przy tej samej grubości g) $L = 6 \div 8\% g$.

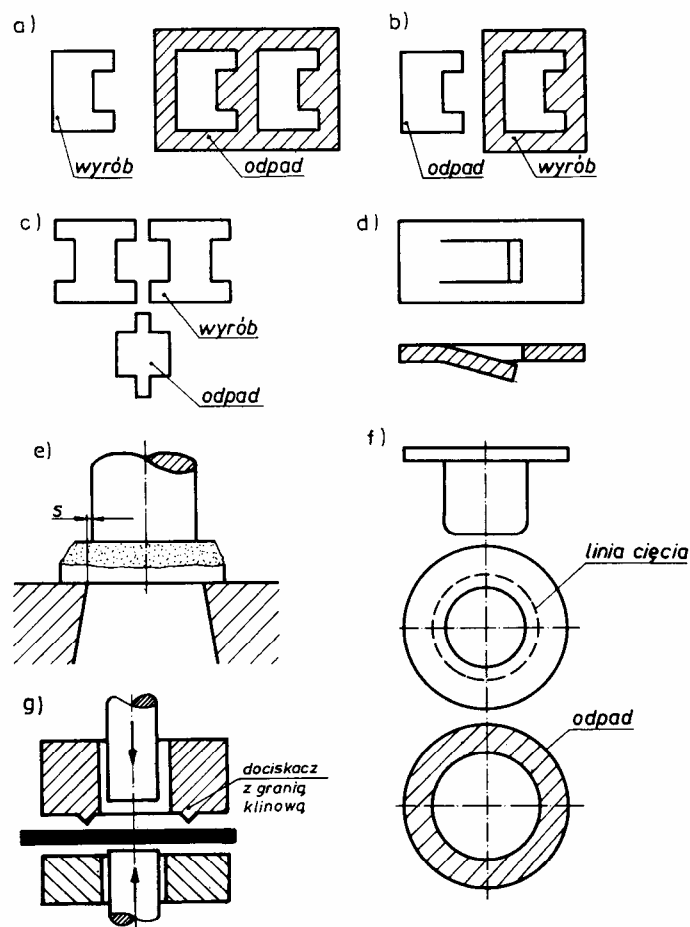
Tablica 8.1

Nożyce do cięcia blach

Lp.	Nazwa nożyc	Schemat nożyc	Czynności
1	skokowe		wycinanie zarysów krzywoliniowych o małych promieniach krzywizn
2	gilotynowe		cięcie arkuszy na odcinki, pasy itp.
3	krażkowe o osiach równoległych		cięcie proste i wycinanie krawców z wyjściem od brzegu 1 - noże, 2 - blacha 3 - okrawki
4	krażkowe o osiach pochylonych		wycinanie krawców, pierścieni i innych półwyrobów krzywoliniowych
5	krażkowe z pochylonym dolnym nożem		cięcie pasów krawców i pierścieni
6	wielokrażkowe		do cięcia blach lub taśm na wąskie pasy

8.2.2.1. Operacje wykrawania

Rys. 8.2 przedstawia różne operacje wykrawania.



Rys. 8.2. Schemat operacji: a) wycinania, b) dziurkowania, c) odcinania, d) nacinania, e) wygładzania, f) okrawania, g) cięcia dokładnego ze spęczaniem

- Wycinanie - jest to całkowite oddzielenie materiału wzdłuż linii zamkniętej. Część wycięta stanowi przedmiot, a materiał leżący na zewnątrz jest odpadem - rys. 8.2 a.
- Dziurkowanie - jest to całkowite oddzielenie materiału wzdłuż linii zamkniętej. Część wycięta stanowi odpad, a materiał leżący na zewnątrz linii cięcia - przedmiot, w którym wycięto otwór - rys. 8.2 b.
- Odcinanie - jest to całkowite oddzielenie przedmiotu od materiału wzdłuż linii nie zamkniętej - rys. 8.2 c.
- Nacinanie - jest to częściowe oddzielenie materiału wzdłuż linii nie zamkniętej. Nie występuje tu rozdzielanie materiału na dwie oddzielne części - rys. 8.2 d.
- Wygładzanie - celem operacji jest nadanie powierzchni przecięcia żądanej dokładności kształtu, wymiarów i gładkości. Przykład wygładzania przez ścinanie zewnętrznego nadatku przedstawia rys. 8.2. e.
- Okrawanie - jest to wyrównanie obrzeża przedmiotu przez usunięcie nadmiaru materiału - rys. 8.2 f.

- g) Dokładne wykrawanie - jest operacją, zapewniającą polepszenie jakości i dokładności wymiarów powierzchni ciętej, dzięki czemu niepotrzebna staje się wykańczająca obróbka skrawaniem wyrobów wykrawanych - rys. 8.2 g. Ze względu na powiększające się zastosowanie dokładnego wykrawania zostanie ono omówione szerzej.

8.2.2.2. Dokładne wykrawanie

Dokładne wykrawanie umożliwia uzyskanie małej chropowatości powierzchni cięcia wielkości $R_a = 0,3 \div 1,5 \mu\text{m}$ i zwiększenie małej dokładności do $5 \div 6$ klasy ISO. Wartości te uzależnione są od własności materiału wykrawanego, wymiarów wyrobu i dokładności wykonania wykrojnika.

Wydajność produkcji gotowych wyrobów metodą wykrawania dokładnego jest rzędu 30 szt./min, operacja ta jest więc szczególnie korzystna z punktu widzenia kryterium oceny techniczno - ekonomicznej.

Można wyróżnić następujące metody dokładnego wykrawania:

- a) ze spęczaniem - dzięki dodatkowemu obciążeniu materiału wykrawanego w pobliżu krawędzi tnącej występuje kompensacja naprężeń rozciągających, niekorzystnych dla gładkości powierzchni i dokładności wymiarów (rys. 8.2.g),
- b) ze zmniejszonym luzem - uzyskuje się korzystniejszy stan naprężeń i występuje proces ścierania powierzchni cięcia o powierzchnię przyłożenia matrycy, co powoduje poprawę gładkości.

8.2.3. Fazy cięcia

Proces cięcia blachy składa się następujących faz:

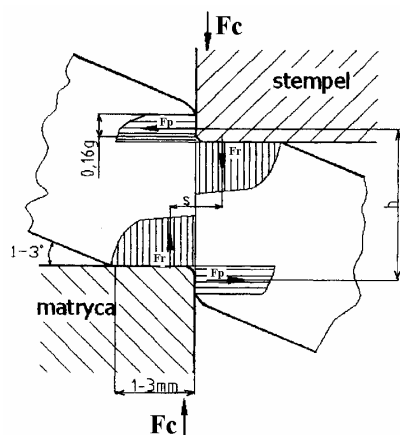
- 1) odkształceń sprężystych,
- 2) odkształceń sprężysto - plastycznych,
- 3) plastycznego płynięcia,
- 4) pękania,
- 5) całkowitego oddzielenia wyciętego przedmiotu od blachy.

Faza odkształceń sprężystych. W tej fazie siły wywierane na blachę, przez krawędzie tnące stempla i płyty tnącej, są względem siebie przesunięte. Zarówno siły prostopadłe F_p jak i siły równoległe F_r do siły cięcia F_c tworzą momenty obrotowe. Moment $F_r \cdot s$ działa w ten sposób na materiał cięty, że próbuje obrócić go zgodnie z mchem wskazówek zegara, natomiast moment $F_p \cdot h$ obraca materiał przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, czyli przeciwdziała momentowi $F_r \cdot s$.

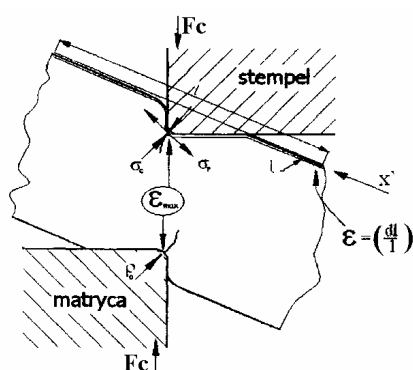
Siła F_r jest większa od siły F_p , ale „ramie” (odległość h) na jakim działa moment $F_p \cdot h$ niweluje tę różnicę i w rezultacie mamy, że $F_r \cdot s > F_p \cdot h$ (nieznacznie), co powoduje niewielkie wstępne, kątowe odchylenie blachy, co uwidoczniono na rys.8.3. W rezultacie obszar przylegania blachy do czołowych powierzchni stempla i płyty tnącej zmniejsza się do wąskich pasków biegnących wzdłuż obu krawędzi tnących. Obszar tego przylegania wynosi od 1 do 3mm.

Faza odkształceń sprężysto - plastycznych i plastycznego płynięcia. Gdy naprężenia tnące osiągną tam wartość dostateczną do uplastycznienia materiału rozpoczyna się faza odkształceń sprężysto - plastycznych. Powstają wówczas dwa obszary uplastycznione, które swoje źródła mają przy krawędziach tnących stempla i matrycy. Oba obszary uplastycznione, łączą się w jeden obszar i następuje plastyczne płynięcie materiału, czemu towarzyszy wzajemne przemieszczanie się obu części ciętego materiału.

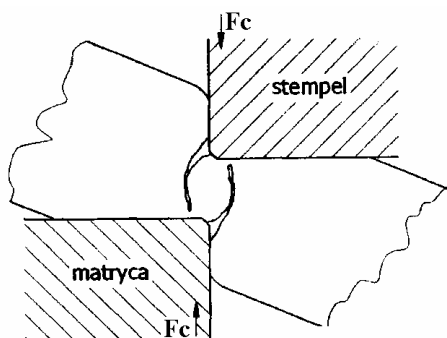
Przemieszczenie to i obszar błyszczący z gładką powierzchnią otworu jak i wyciętego przedmiotu jest równy 1/6 grubości przecinanej blachy czyli około 0,16g. W tej fazie, pomimo ubytku grubości ścinanej warstwy, siła nacisku stempla dalej wzrasta w wyniku umocnienia materiału.



Rys. 8.3. Faza odkształceń sprężystych



Rys. 8.4 Początek pęknięcia materiału

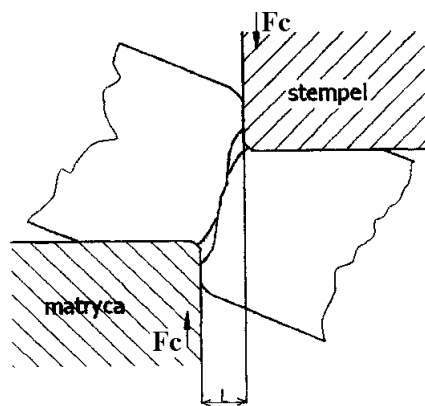


Rys. 8.5. Rozwój pęknięcia

Faza pęknięcia (przedstawiona w aspekcie braku luzu i dalej luzu optymalnego). W miarę zwiększającego się odkształcenia plastycznego następuje umacnianie się materiału, czemu towarzyszy proces powstawania, wzrostu i łączenia się porów i pustek prowadzący do plastycznego pęknięcia materiału. Stosunek długości materiału przed cięciem l do długości materiału w trakcie cięcia l' wskazuje na to, że przy powierzchni styku stempla z materiałem ciętym występują odkształcenia plastyczne. Największy gradient odkształcenia plastycznego — występuje na krawędziach tnących (w rzeczywistości będących bardzo małymi promieniami).

W okolicy krawędzi tnącej (promień po) stempla następuje rozciąganie materiału wzdłuż x' jak i jego ściskanie normalnie do x' (związane z oporem jaki stawia matryca) co powoduje, że materiał w tym miejscu ma lokalnie, chwilowo obniżoną granicę plastyczności (rys. 8.4.), a więc pęknięcie jest wynikiem rozrywania materiału, a nie jego cięcia. Takie samo zjawisko występuje od strony matrycy. Dalsze zagłębianie się stempla w materiale powoduje rozszerzenie się pęknięcia (rys. 8.5). Pęknięcia rozchodzące się od obu krawędzi nie napotykają się i występują wzdłuż dwu powierzchni przesuniętych względem siebie. W środkowej strefie powstaje wąski pasek materiału, który w czasie dalszego ruchu stempla spęcza się i obraca. Tak powstała „klucha” materiału oddzielona od reszty umacnia się osiągając twardość zbliżoną do twardości stempla i matrycy.

Przecięcie tego materiału, które następuje w kolejnej fazie powoduje tępienie się krawędzi stempla i matrycy co jest niepożądane. Dodatkowo powstają nitki umocnionego materiału, które również powodują niszczenie powierzchni materiału ciętego jak i narzędzi. Dlatego bardzo ważnym zadaniem przy projektowaniu tłoczników jest optymalny dobór luzu pomiędzy matrycą a stemplem. Jeżeli luz jest prawidłowo dobrany to pęknięcia rozchodzące się od obu krawędzi, spotykają się ze sobą tworząc wspólną powierzchnię pęknięcia o zarysie zbliżonym do litery S (rys. 8.6). Nagły spadek siły występujący w chwili pęknięcia powoduje skok stempla wywołany wyzwolona energia sprężystego odkształcenia stempla, tłocznika i korpusu prasy. Chwila, w której następuje pęknięcie, zależy od rodzaju materiału.



Rys. 8.6. Pęknięcie materiału przy optymalnym luzie

Występuje ono zwykle w pobliżu ekstremum nacisku stempla. Dla materiałów twardych pęknięcie może wystąpić znacznie wcześniej, a dla bardzo plastycznych dopiero pod koniec procesu cięcia przy sile dużo mniejszej od wartości ekstremalnej.

Faza całkowitego oddzielenia wykrojonego przedmiotu. Pomimo pęknięcia, materiał znajdujący się pod stemplem, tkwi jeszcze dość mocno w otaczającym go materiale. Zjawisko to, występujące przy cięciu wzdłuż linii zamkniętej; jest spowodowane wzajemnym ząbieniem się nierówności po obu stronach powierzchni rozdzielania. Aby osiągnąć całkowite oddzielenie wyciętego przedmiotu, należy odkształcić lub ściąć występy na powierzchni pęknięcia, co wymaga wywarcia przez stempel pewnego nacisku. Dlatego też, z chwilą pęknięcia materiału, siła nie spada od razu do zera.

Występowanie takiego przebiegu siły jest również związane z pokonaniem oporów tarcia materiału o boczne powierzchnie otworu płyty tnącej i stempla.

8.2.4. Wygląd powierzchni przecięcia

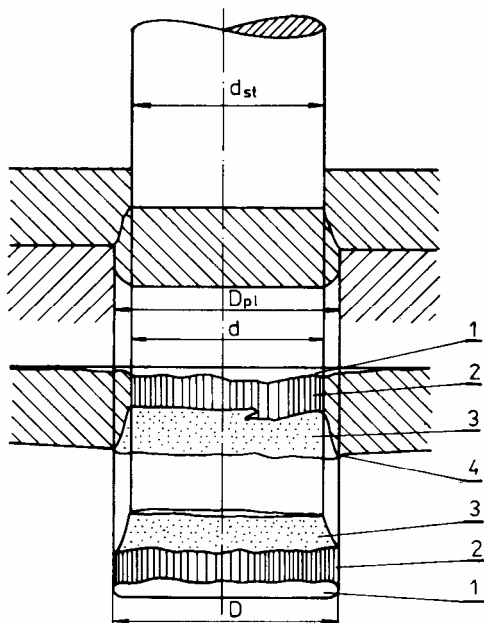
Na powierzchni wykrojonego otworu oraz na powierzchni wyciętego przedmiotu można wyróżnić cztery strefy pokazane na rys. 8.7. Strefa 1, zwana strefą zaokrąglenia, powstaje w fazie sprężysto - plastycznej przy wgłębianiu się krawędzi tnących w materiał. Strefa 2 o błyszczącej powierzchni z podłużnymi ryskami charakterystyczna jest dla fazy intensywnego odkształcenia plastycznego. Strefa 3 jest strefą pęknięcia o matowej nierównej powierzchni. Strefa 4 charakteryzuje się wgnieceniem czołowej powierzchni narzędzia - bardzo często zakończona ostrym występem, zwanym zadziorem. Zadziór występuje głównie w przypadku cięcia z niewłaściwym luzem między stemplem a otworem płyty tnącej przy stępionej krawędzi tnącej.

8.2.5. Wpływ luzów na warunki wykrawania

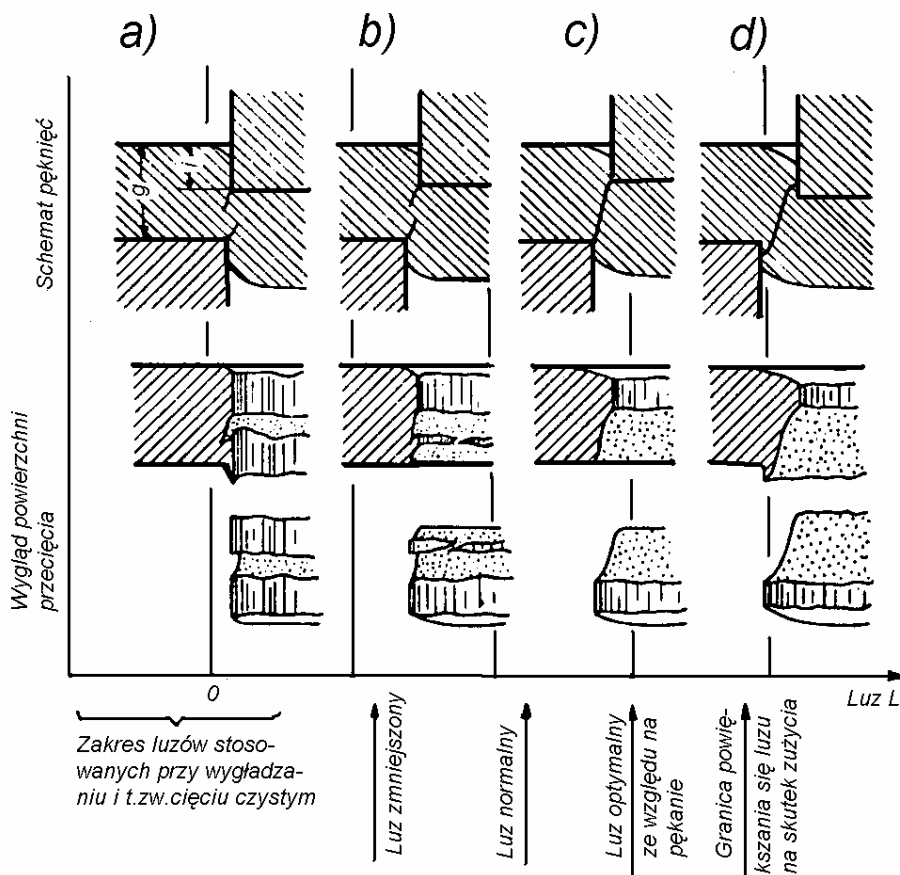
Właściwe cięcie występuje wtedy, gdy otrzymane wyroby mają obrzeża zupełnie równe bez wyszarpań i załamań, siła cięcia oraz energia zużyta na cięcie są najmniejsze, a tłoczniaki mają odpowiednią trwałość. Aby warunki te zostały spełnione, musi być zachowany odpowiedni luz między stemplem a otworem płyty tnącej. Szczelina (czyli luz jednostronny) jest to najmniejsza odległość współpracujących krawędzi tnących stempla i płyty tnącej, mierzona w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku ruchu stempla. Właściwa wielkość szczeliny między krawędziami tnącymi umożliwia połączenie się obu powierzchni pęknięć, a wycięta część materiału ma wtedy stosunkowo gładkie krawędzie. Dla otrzymania gładkich krawędzi przedmiotów wycinanych konieczne jest stosowanie szczelin o właściwej wielkości, których szerokość zależy od rodzaju, grubości i twardości materiału obrabianego.

Cięcie przebiega w sposób najbardziej właściwy, gdy stempel wcisnie się w materiał przed powstaniem pęknięć na głębokość równą jednej trzeciej grubości materiału, a na tę samą głębokość wciska się materiał w otwór płyty tnącej. Część powierzchni cięcia, która powstaje w czasie wspomnianego zagłębienia się stempla, jest bardzo gładka i wygląda jak

wypolerowana obręcz przylegająca do zaokrąglonej krawędzi. Gdy wielkość szczeliny jest niedostateczna,



Rys. 8.7. Wygląd powierzchni przecięcia



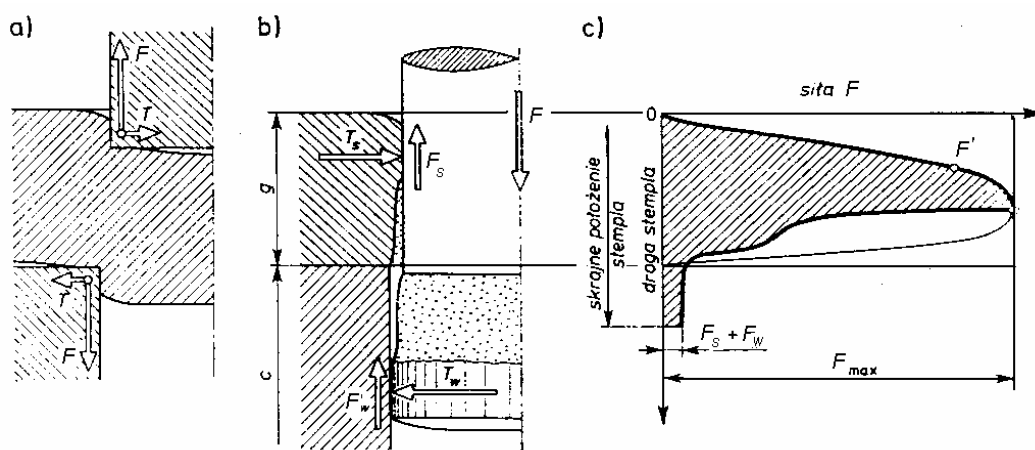
Rys. 8.8. Wygląd powierzchni przecięcia przy różnej wielkości luzu

dotatkowa część grubości materiału musi być cięta, zanim nastąpi całkowite oddzielenie materiału. Gdy wielkość szczeliny jest właściwa, powierzchnia cięcia poniżej części gładkiej jest nierówna tak na wykroju, jak i na pozostałym materiale. W przypadku zastosowania właściwej wielkości szczeliny kąt pochylenia powierzchni pęknięć jest taki, że pozwala na równe oderwanie się wycinanego materiału. Pęknięcia powstające obok krawędzi tnących stempla i płyty tnącej, rozprzestrzeniają się wtedy wzdłuż jednej linii i w końcu łączą się. Wynikiem stosowania szczeliny o nadmiernej szerokości jest powstawanie zbieżnych powierzchni cięcia, wielkość wykroju tylko od strony przylegającej do płyty tnącej jest równa wielkości otworu płyty tnącej.

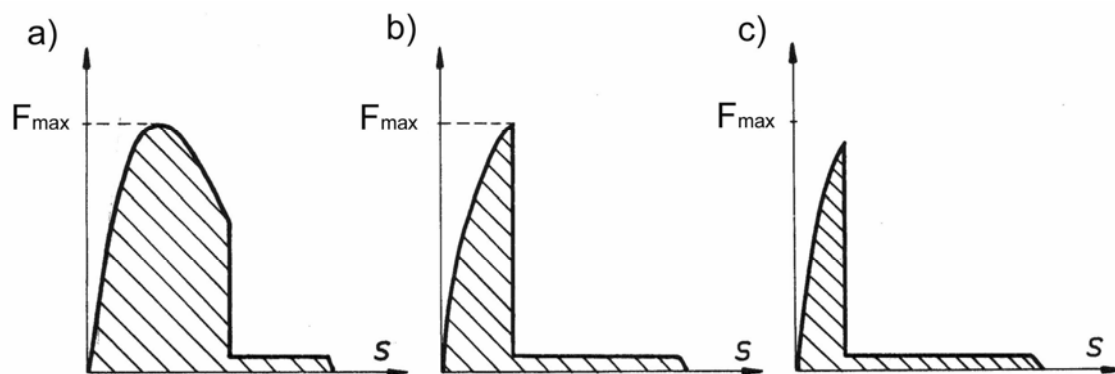
Szerokość fragmentu powierzchni cięcia odznaczającej się gładką błyszczącą powierzchnią zależy będzie od twardości materiału przy założeniu, że wielkość szczeliny i grubość materiału są stałe; im bardziej miękki materiał, tym większa szerokość gładkiego fragmentu. Metale o większej twardości wymagają stosowania większej szczeliny, a stempel zagłębia się w nie na głębokość mniejszą niż przy metalach miękkich. Tępe narzędzie wywołuje ten sam skutek co zbyt mała szczelina oraz powoduje powstawanie zadziórów na krawędzi materiału od strony płyty tnącej. Skutki stosowania szczelin o różnych wielkościach przedstawia rys. 8.8. Materiał o złej jakości lub niejednorodny daje krawędzie nieregularne, nawet przy cięciu ze szczeliną o właściwej wielkości.

8.2.6. Siła cięcia

Obliczenie wartości siły cięcia jest konieczne ze względu na dobór nacisku i mocy silnika prasy lub nożyc odpowiednich do wykonania wyrobu. Wartość siły nacisku zależy przede wszystkim od długości linii cięcia, grubości materiału i jego wytrzymałości na ścinanie. Siły cięcia występujące przy wykrawaniu przedstawia rys. 8. 9. Jak widać z rysunku, siła cięcia F ulega zmianie w miarę zagłębiania się stempla w materiał. Rys. 8.10 przedstawia zmianę siły cięcia w funkcji drogi stempla dla trzech różnych materiałów: kruchych, plastycznych i bardzo plastycznych. Moment, w którym następuje pęknięcie, zależy od rodzaju materiału. Dla materiałów miękkich i plastycznych, np. przy cięciu ołowiu, cyny lub miękkiego aluminium, pęknięcie występuje w końcowej fazie procesu (rys. 8.10 a). Natomiast proces plastycznego płynięcia materiałów twardych (np. stal o dużej zawartości węgla) może być już na samym początku przerwany pęknięciem materiału (rys. 8.10 c).



Rys.8.9. Siły występujące przy wykrawaniu: a – podczas cięcia, b – po rozdzieleniu, c – przebieg siły cięcia



Rys. 8.10. Wykresy siły wykrawania w funkcji drogi stempla dla materiałów: a) bardzo plastycznych, b) plastycznych, c) kruchych

Pomimo pęknięcia krążek blachy znajdujący się pod stemplem tkwi jeszcze dość mocno w otaczającym go materiale. Jest to spowodowane wzajemnym zazębieniem się nierówności istniejących po obu stronach powierzchni pęknięcia. Aby całkowicie oddzielić wycięty przedmiot, należy odkształcić lub ściąć występy na powierzchni pęknięcia, co wymaga wywarcia przez stempel pewnego nacisku. Dlatego też, w przypadku cięcia wzdłuż linii zamkniętej siła nie spada do zera z chwilą pęknięcia materiału, lecz utrzymuje się na pewnym poziomie, co widać na rys. 8.10. Spowodowane jest to również tarcie materiału o powierzchnię otworu płyty tnącej. Maksymalną siłę cięcia oblicza się wg. wzoru

$$F_t = K \cdot L \cdot g \cdot R_t \quad (8.1)$$

gdzie: R_t - wytrzymałość materiału na ścinanie,

L - długość linii cięcia,

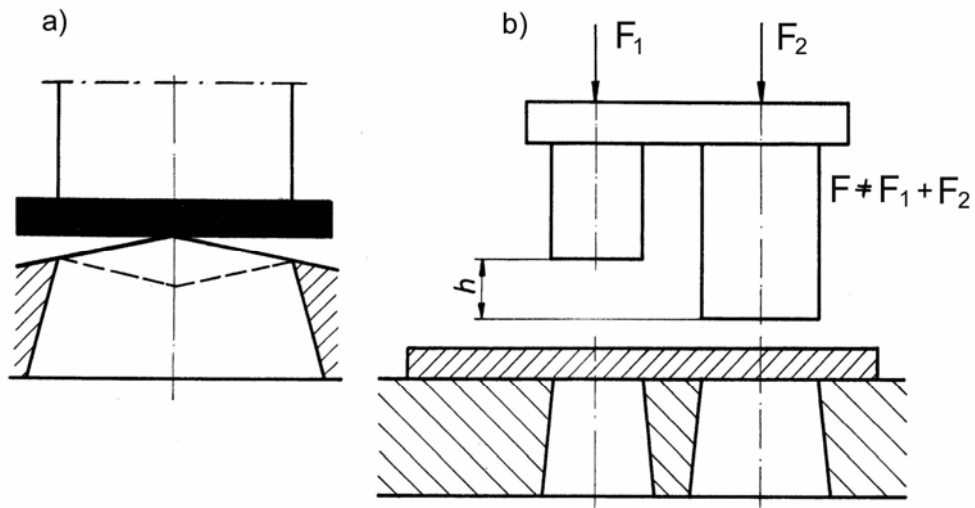
g - grubość materiału,

K - współczynnik uwzględniający występowanie gięcia przy cięciu, stopienie noży itp. $K = 1,3 - 1,7$

8.2.7. Sposoby zmniejszenia siły cięcia

W celu zmniejszenia siły cięcia stosuje się:

- cięcie stopniowe
 - za pomocą wykrojnika lub matryc zukosowanych (rys. 8.11 a),
 - za pomocą stempli o różnej długości w przypadku równoczesnego wycinania kilku otworów (rys. 8.11 b); w ten sposób uzyskuje się zmniejszenie powierzchni cięcia,
 - podgrzewanie ciętego materiału, co powoduje zmniejszenie wartości R_t .
- Dzięki tym działaniom uzyskuje się zmniejszenie siły cięcia o 10 ÷ 60%, w zależności od kąta zukosowania i grubości materiału.



Rys. 8.11. Metody zmniejszania siły wykrawania: a) przez zukosowanie matrycy, b) wykrawanie za pomocą kilku stempli

8.3. Pomoce i urządzenia

- nożyce uniwersalne,
- uproszczone wykrojniki,
- maszyna wytrzymałościowa 100 kN,
- prasa hydrauliczna 1500 kN,
- prasa mimośrodowa 600 kN.

8.4. Przebieg ćwiczenia

- próba cięcia nożycami,
- zapoznanie się z budową wykrojnika,
- próba wykrawania z pomiarem i bez pomiaru sił,
- wykrawanie blach o różnych grubościach z różnymi luzami.

8.5. Sprawozdanie

- narysować przebieg siły wykrawania w funkcji drogi stempla, uzyskany w czasie próby wykrawania,
- obliczyć teoretycznie maksymalną siłę cięcia i porównać ją z uzyskaną na wykresie,
- naszkicować poznany wykrojnik,
- przeprowadzić analizę wpływu wielkości luzu na jakość cięcia.

Literatura

[17,18,23,24,27,29,30,31,32]

9. CIĄNIENIE I PRZEPYCHANIE

9.1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z przygotowaniem oraz technologią wytwarzania drutów i prętów metodą ciągnięcia.

9.2. Wprowadzenie

9.2.1. Charakterystyka procesów

Wyroby walcowane lub wyciskane na gorąco, mianowicie pręty, niewielkie kształtowniki, poddaje się dalszej obróbce plastycznej, polegającej na ciągnięciu przez otwór w narzędziu, zwanym ciągadłem. Ciągnięcie przeprowadza się głównie na zimno. Stosuje się je w celu uzyskania:

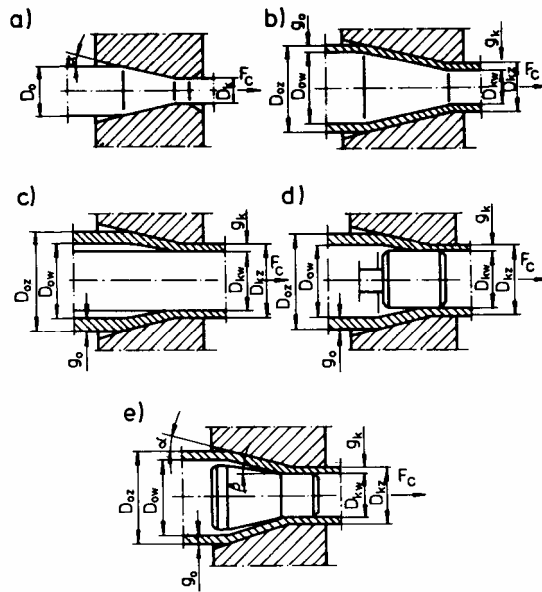
- małych wymiarów przekroju, nieosiągalnych podczas walcowania lub wyciskania na gorąco,
- zmiany kształtu przekroju poprzecznego,
- minimalnych odchyłek wymiarowych,
- gładkiej i czystej powierzchni,
- polepszenie własności mechanicznych.

Za pomocą ciągnięcia przerabia się przede wszystkim węglowe stale miękkie, ale także stale o większych zawartościach węgla - nawet do 1,2%, również stale stopowe konstrukcyjne i narzędziowe z zawartością wolframu, chromu, niklu, manganu itp. oraz metale nieżelazne, jak: miedź oraz brązy i mosiądze, nikiel i jego stopy, aluminium i jego stopy, cynk, ołów, wolfram, molibden itp.

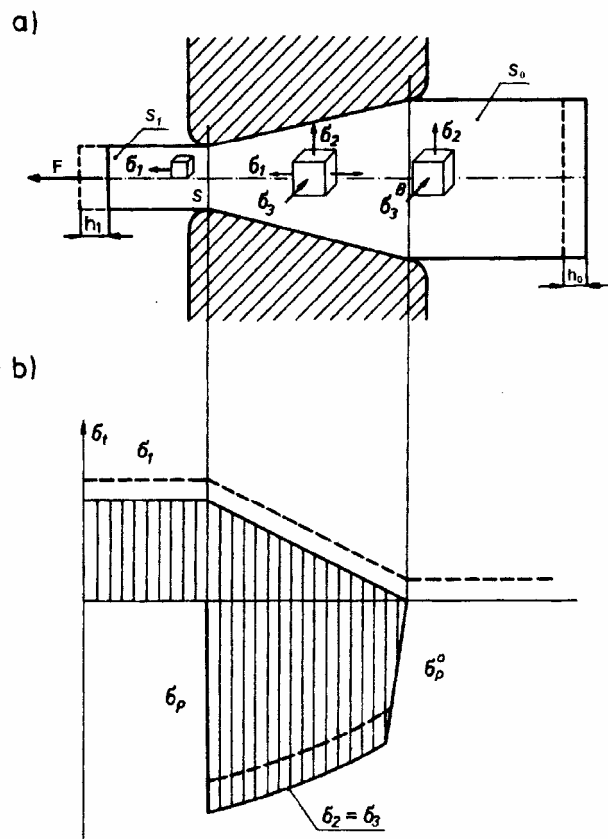
Podstawowe schematy ciągnięcia związane są z rodzajem wyrobu, a także ze sposobem realizacji odkształcenia. Są to przedstawione na rys. 9.1: ciągnięcie prętów i drutów o przekroju pełnym (a), ciągnięcie rur swobodne („na pusto”) (b), ciągnięcie na trzpieniu długim (c), krótkim (d) i swobodnym („korcu swobodnym”) (e).

Zasadniczy proces odkształcenia plastycznego odbywa się w czasie przeciągania zaostzonego pręta (rury) przez odpowiednio ukształtowany otwór narzędzia, zwanego ciągadłem. Kształt otworu roboczego ciągadła jest jednym z podstawowych czynników wpływających na proces ciągnięcia. Ze względu na kształt części roboczej ciągadła dzielimy na stożkowe i łukowe (patrz ćwiczenie „maszyny do obróbki plastycznej - rys. 1.12). Częściej stosowane są ciągadła stożkowe. Materiałem do ich wyrobu są głównie węgliki spiekane i diament techniczny. Do ciągnięcia elementów o dużych przekrojach można wykonywać ciągadła ze stali narzędziowych.

Znajdujący się w ciągadle metal ściskany jego ściankami zmniejsza swoje wymiary poprzeczne, a powiększa długość. Plastyczne odkształcanie materiału następuje w otworze na odcinku A-B pod wpływem rozciągających naprężeń osiowych, (rys. 9.2 a), wywołanych siłą F , przyłożoną do wychodzącego z narzędzia końca pręta, oraz ściskających naprężeń promieniowych $\sigma_2 = \sigma_3$, wywołanych naciskiem ścianek stożkowatego otworu ciągadła. Rozkład naprężeń σ_1 i σ_2 wzdłuż osi pręta przedstawiono na rys. 9.2 b.



Rys. 9.1. Podstawowe schematy ciagnienia



Rys. 9.2. Ciagnienie pręta: a) schemat ciagnienia, b) rozkład naprężeń wzdłuż osi pręta

9.2.2. Obliczanie siły ciągnięcia

Aby wyznaczyć siłę F , konieczną do przeciągnięcia pręta o początkowym przekroju S_0 przez ciągadło o polu otworu S , porównujemy pracę $L = F \cdot h_1$, wykonaną przez siłę F , w czasie gdy koniec pręta przesunął się o wielkość h_0 , z pracą zużytą w tym czasie na plastyczne wydłużenie odcinka pręta o długości h_0 i objętości $V = S_0 \cdot h_0 = S_1 \cdot h_1$

$$F \cdot h_1 = \frac{L}{\eta} \quad (9.1)$$

przy czym η jest współczynnikiem energetycznej sprawności procesu ciągnięcia.

Korzystając z wzoru na pracę

$$L = \lambda \cdot V \cdot \sigma_p \cdot \varepsilon \quad (9.2)$$

gdzie : λ - współczynnik określany doświadczalnie, zależny głównie od rodzaju materiału,

σ_p - naprężenie uplastyczniające,

$\varepsilon = \ln \frac{S_0}{S}$ – odkształcenie rzeczywiste,

równanie (9.1) zapisać można w postaci

$$F \cdot h_1 = \frac{\lambda}{\eta} \cdot S_1 \cdot \sigma_p \ln \frac{S_0}{S} \quad (9.3)$$

Jak wynika z tego wzoru, siła F jest tym większa, im większą wartość osiąga stosunek $\frac{S_0}{S}$.

Wartości siły ciągnięcia F nie można dowolnie zwiększać, ponieważ po przekroczeniu pewnej wielkości mogłoby nastąpić zerwanie pręta.

Względne ubytki przekroju, stosowane w praktyce dla jednej operacji ciągnięcia zależą od stanu i rodzaju materiału. Dla prętów i drutów o przekroju okrągłym wynoszą one:

- dla miedzi, aluminium, mosiądzu, brązu i stali niskowęglowej w stanie miękkim 25 ÷ 30%,
- dla miedzi, kobaltu, stali niskowęglowej w stanie półtwardym 20 ÷ 25%,
- dla stali niskowęglowej w stanie twardym, stali stopowych, wolframu, molibdenu 10 ÷ 20%.

W celu uzyskania większego ubytku przekroju poprzecznego, niż to jest możliwe do osiągnięcia w jednorazowym ciągu, konieczne jest wielokrotne przepuszczanie materiału przez szereg ciągałek o stopniowo zmniejszających się wymiarach ciągadła i stosowanie wyżarzania międzyoperacyjnego.

9.2.3. Technologia ciągnięcia

Technologia ciągnięcia oprócz samego procesu ciągnięcia obejmuje procesy przygotowania materiału do ciągnięcia, wybór właściwej metody ciągnięcia oraz procesy wykończeniowe wyrobów ciągnionych. Powierzchnia materiałów wyjściowych, przeznaczonych do ciągnięcia, takich jak walcówka lub prasówka, pokryta jest warstwą tlenków, która usuwa się przez trawienie w roztworach kwasów. Po wytrawieniu materiał

wyjściowy powinien być płukany w wodzie i kąpeli neutralizującej działanie roztworów trawiących. Bardzo często na tym etapie przygotowań na powierzchnię materiałów nakłada się powłoki smarne, metaliczne lub fosforanowe. Tak przygotowany materiał zostaje zaostrzony przez walcowanie na zaostrzarce walcowej lub przez kucie i zaciągnięty w otwór ciągadła.

9.2.4. Tarcie i smarowanie w procesie ciągnięcia

Tarcie w procesie ciągnięcia jest zjawiskiem bardzo niekorzystnym. Wpływa na zwiększenie siły ciągnięcia jak również na nierównomierność odkształcenia i występowania naprężeń własnych. Na pokonanie sił tarcia zużywa się około 30 – 50% całkowitej siły ciągnięcia.

Występowanie nierównomierności odkształcenia powoduje nierównomierności własności na przekroju ciągniętego wyrobu. Z nierównomiernością odkształcenia jest ściśle związane zjawisko powstawania naprężeń własnych. Naprężenia własne powodują określone wady materiału jak np. pęknięcie powierzchniowe, łuski, pęknięcia głębokie sięgające środka materiału itp. Nadmierne tarcie jest przyczyną szybkiego zużycia ciągałek i utrudnia uzyskanie odpowiedniej gładkości powierzchni gotowego wyrobu.

Zmniejszenie tarcia uzyskujemy poprzez zastosowanie odpowiednich środków smarujących.

W procesach ciągnięcia najczęściej stosowane są smary ciekłe będące kompozycją różnych olejów lub smary stałe, których głównym składnikiem są mydła. Typowe smary ciągarskie na bazie olejów mineralnych zawierają pewne aktywne dodatki, które znacznie poprawiają własności smarów. Takie substancje jak grafit i siarczek molibdenu mają dobre własności smarujące a ponadto dużą odporność na działanie wysokich temperatur.

9.2.5. Przepychanie

Proces przepychania różni się od ciągnięcia miejscem przyłożenia siły i większym oporem tarcia. Operację przepychania stosuje się w praktyce przemysłowej raczej rzadko, częściej występuje w sposób ukryty w procesach kucia lub wyciskania. Przepychanie można stosować w produkcji wałków przekładniowych (gładkich, z odsadzeniami, a nawet z wielowypustami), rozpychania, obciskania i zamykania końcówek rur (np. butle gazowe). Przykłady przepychania zestawiono na rys. 9.3.

Rozkład naprężeń osiowych i promieniowych wzdłuż osi pręta pokazano na rys. 9.4. Jak wynika z porównania rys. 9.2 i 9.4 naprężenia σ_2 przyjmują znacznie większe wartości dla przepychania niż dla ciągnięcia (przy tej samej wartości ubytku przekroju poprzecznego kształtowanego pręta). Oznacza to, że naciski jednostkowe wywierane przez materiał na ścianki narzędzia są także większe podczas procesu przepychania.

Siłę w procesie przepychania określa się wg podobnego wzoru jak w przypadku ciągnięcia:

$$F_p = \frac{\pi D_0^2}{4} \cdot \frac{\sigma_{psr}}{\eta_p \eta_t} \cdot \ln \left(\frac{D_0}{d_1} \right)^2 \quad (9.4)$$

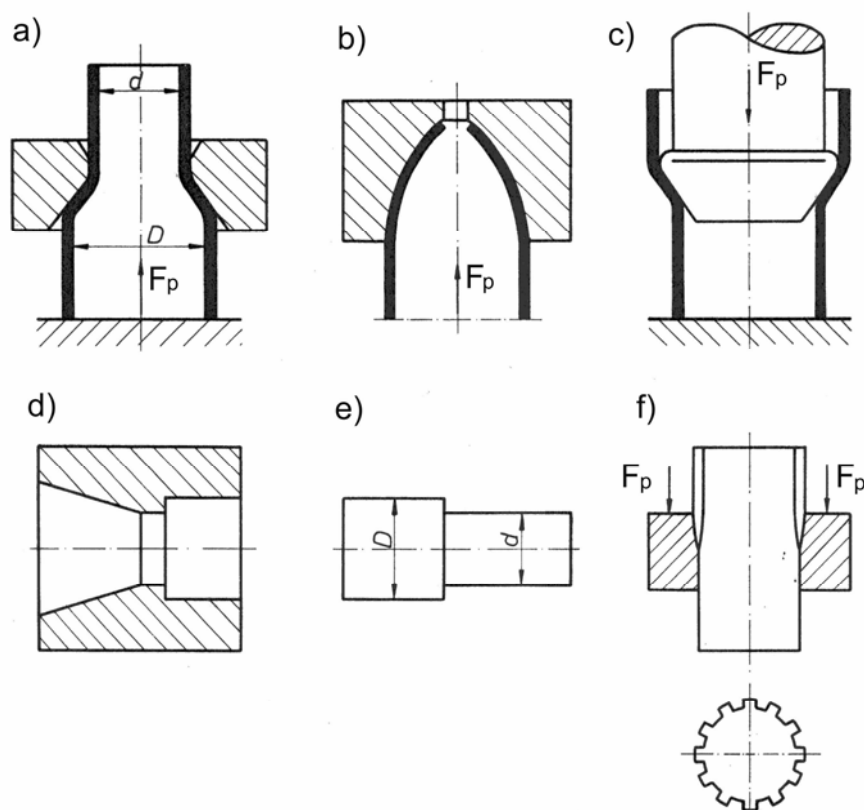
gdzie: D_0 - średnica przed odkształceniem,

d_1 - średnica po odkształceniu,

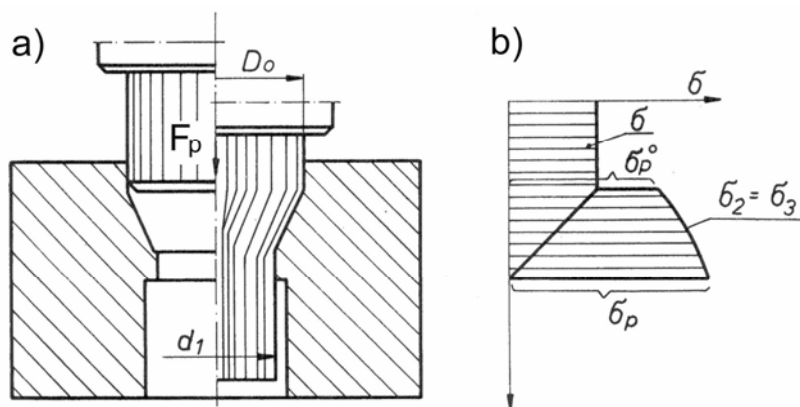
$\sigma_{p, sr}$ - średnia granica plastyczności,

η_p - sprawność procesu wynikająca z niejednorodności odkształceń plastycznych,

η_t - sprawność procesu wynikająca z oporów tarcia.



Rys. 9.3. Operacje przepychania (przykłady)



Rys. 9.4. Przepychanie: a) schemat przepychania, b) rozkład naprężeń wzdłuż osi pręta

Dopuszczalne zmniejszenie przekroju poprzecznego jest ograniczone wartością siły F , która nie może przekroczyć wytrzymałości na ścisnienie nieodkształconego odcinka materiału. Dla celów praktycznych przyjmuje się, że dopuszczalny ubytek przekroju w jednej operacji przepychania nie powinien przekraczać około 25%, co odpowiada stosunkowi średnic $D_0/d_1 \approx 1,15$.

Opór tarcia przepychania (η_t) jest większy niż w przypadku ciągnięcia, gdyż w części zgniatającej i kalibrującej narzędzia występują ściskające naprężenia w kierunku wzdłużnym (σ_l), które zwiększają nacisk materiału na ścianki robocze narzędzia, co wywołuje

zwiększenie siły tarcia. W przypadku ciągnięcia naprężenia wzdłużne są naprężeniami rozciągającymi, a więc zmniejszającymi wielkość nacisku materiału na ścianki narzędzia.

Utrata prostoliniowości powstaje w części zgniatającej narzędzia, w której materiał będący w stanie plastycznym ulega ugięciu przy stosunkowo małym momencie gnącym. Moment taki wywołują różnice oporu tarcia na obwodzie ciągadła. Podatność na ugięcia ulega znacznemu zmniejszeniu, jeżeli proces przepychania prowadzony jest bez konieczności uplastyczniania rdzenia (np. przy kształtowaniu wielowypustu).

Duże naciski wywierane przez materiał na ścianki robocze narzędzia powodują wypychanie smaru na zewnątrz. Istnieje duża podatność do tworzenia narostów na powierzchni narzędzia. Narosty rysują wyrób obniżając jego jakość i jednocześnie znacznie zwiększają siłę przepychania. Do przepychania należy stosować smary posiadające bardzo dużą przyczepność do materiału.

9.3. Pomoce i urządzenia

- ciągarła bębnowa,
- ciągarła łańcuchowa,
- ciągadła do ciągnięcia drutów i prętów,
- narzędzia do przepychania,
- druty i pręty,
- maszyna wytrzymałościowa,

9.4. Instrukcja do ćwiczenia

- przygotowanie drutów i prętów do ciągnięcia i przepychania,
- ciągnięcie drutów,
- ciągnięcie prętów,
- wyznaczanie siły ciągnięcia,
- przepychanie odcinków rur,
- przepychanie pręta,
- określenie wielkości odkształcenia odcinków rur,
- określenie wielkości odkształcenia pręta.

9.5. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy umieścić:

- schemat układu: przedmiot - narzędzie - ciągarła,
- teoretyczne wyznaczanie siły ciągnięcia i porównanie jej z siłą pomiarową,
- szkic narzędzia do przepychania,
- rysunek uzyskanej próbki.

Literatura

[23,24,29,30,34,37,38,40]

10. WYCISKANIE

10.1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z techniką wyciskania współbieżnego i przeciwbieżnego, zakresem stosowania oraz podstawowymi parametrami technologicznymi tego procesu..

10.2. Wprowadzenie

10.2.1. Charakterystyka procesu wyciskania

Wyciskanie jest podstawową metodą wytwarzania rur, prętów i profili z metali i ich stopów. Wyciskanie, nazywane często prasowaniem wypływowym, jest procesem, w którym za pomocą narzędzi wywiera się nacisk na metal umieszczony w pojemniku (recypiencie), co powoduje wymuszone jego płynięcie przez odpowiednią szczelinę (otwór).

Wyciskanie jest najbardziej ekonomiczną metodą, którą celowo jest stosować do:

- wstępnej przeróbki metali o niskiej plastyczności, których nie można odkształcać drogą kucia czy walcowania,
- wytwarzania prętów i wyrobów z otworami o złożonych kształtach, których otrzymanie innymi metodami jest trudne lub niemożliwe,
- łączenia różnorodnych metali i otrzymywania wyrobów bi- i polimetalicznych z określonymi grubościami poszczególnych warstw,
- wytwarzania małych partii wyrobów o dużej masie i prostych kształtach, których wytwarzanie innymi metodami jest nieekonomiczne.

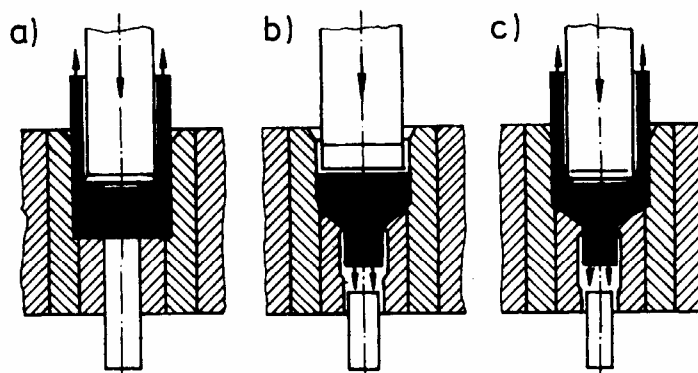
Wyroby wyciskane charakteryzują się dobrymi własnościami mechanicznymi, dużą dokładnością wymiarów, czystą i gładką powierzchnią.

W zależności od kierunku płynięcia metalu względem kierunku ruchu tłoczyska rozróżnia się:

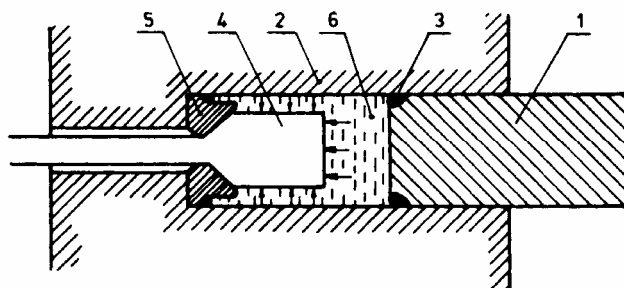
- wyciskanie współbieżne (rys. 10.1b), w którym metal płynie w kierunku zgodnym z ruchem tłoczyska,
- wyciskanie przeciwbieżne (rys. 10.1a), w którym metal płynie przeciwnie do ruchu tłoczyska,
- wyciskanie złożone (rys. 10.1c), w którym metal płynie równocześnie zgodnie i przeciwnie z ruchem tłoczyska.

Przy wyciskaniu współbieżnym metal może wypływać przez otwór matrycy nie tylko w wyniku nacisku tłoczyska, ale również przez wywieranie na materiał nacisku za pośrednictwem cieczy. Schematy takiego sposobu wyciskania zwanego wyciskaniem hydrostatycznym przedstawia rys. 10.2.

Wyciskanie na zimno jest szczególnie efektywną metodą. Należy ona do grupy tzw. metod dokładnej obróbki plastycznej metali. Zasadniczą zaletą jest możliwość uzyskania wyrobów o wysokiej jakości w sposób bardziej opłacalny niż przy użyciu innych metod obróbki mechanicznej.



Rys. 10.1. Sposoby wyciskania: a) wyciskanie przeciwbieżne, b) wyciskanie współbieżne, c) wyciskanie złożone



Rys. 10.2. Schemat wyciskania hydrostatycznego; 1 – nurnik, 2 – pojemnik – cylinder wysokiego ciśnienia, 3 – uszczelka, 4 – wsad, 5 – matryca, 6 – ciecz o wysokim ciśnieniu

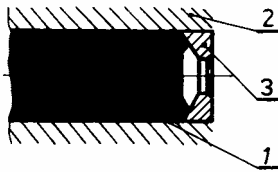
Podstawowe zalety wyciskania na zimno to:

- duży stopień wykorzystania materiału (nawet do 100%),
- ograniczenie lub wyeliminowanie obróbki wykańczającej,
- polepszenie własności mechanicznych z uwagi na korzystny układ włókien oraz podwyższenie własności wytrzymałościowych i twardości,
- możliwość stosowania gatunków gorszych (tańszych) materiałów w miejsce bardziej wytrzymałych,
- możliwość uzyskania na gotowo kształtów trudnych do uzyskania innymi metodami,
- duża dokładność kształtowo - wymiarowa i dobra jakość powierzchni.

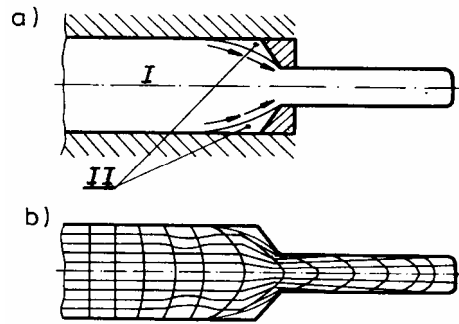
Procesy wyciskania mają także wady. Wynikają one głównie z występowania dużych nacisków jednostkowych podczas kształtowania. To z kolei wiąże się z problemem zagwarantowania dużej wytrzymałości stempli i matryc. Ponadto są jeszcze inne czynniki ograniczające procesy wyciskania, a mianowicie: zdolność do odkształceń materiału kształtowanego bez naruszenia spójności oraz zdolność warstwy smarnej do odkształceń.

W trakcie wyciskania wyróżnia się następujące stadia:

- **Spęczanie materiału** (rys. 10.3), podczas którego nacisk stempla powoduje powstawanie naprężeń mniejszych od granicy plastyczności wsadu, wywołując sprężyste odkształcenie materiału. W fazie tej wypełnia się luz między wsadem a ściankami recypienta, zachodzi również częściowe wplywanie materiału w otwór matrycy.

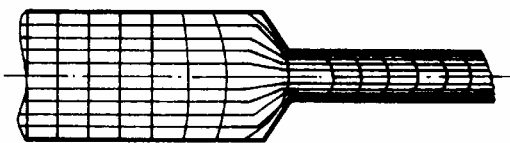


Rys. 10.3. Spęczanie materiału podczas wyciskania współbieżnego; 1- metal wyciskany, 2 – pojemnik (recypient), 3 – matryca

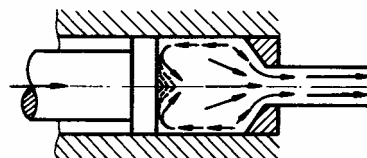


Rys.10.4. Początkowa faza wyciskania współbieżnego: a) schemat, b) siatka współrzędnych

- **Początkowa faza wyciskania** (10.4), podczas której wyciskany materiał płynie do otworu matrycy wzdłuż granicy strefy martwej (sprężystej). Strefa ta, oznaczona numerem II powstaje pod wpływem poślizgu metalu na granicy obszarów I i II. Wielkość tego obszaru zależy od kąta pochylenia matrycy α (rys.10.8) oraz jakości smarowania. Kierunek przemieszczania się materiału pokazują strzałki (rys. 10.4a), zaś zdeformowaną siatkę obrazuje rys 10.4b., której kształt dowodzi dużej niejednorodności odkształceń. Warstwa przejściowa między obszarami I i II na skutek odkształceń, wielokrotnie większych niż w reszcie materiału, umacnia się, co powoduje przesuwanie się płaszczyzny poślizgu.
- **Faza wyciskania równomiernego laminarnego**), podczas której wypływ metalu zapewnia stałe własności na długości wyciśniętego wyrobu. Jest to główna część procesu. Siatka współrzędnych tej fazy jest zilustrowana na rys. 10.5.
- **Faza wyciskania turbulentnego**, kończąca proces wyciskania. W tylnej części wsadu, przy powierzchni stempla, na skutek szybkiego wyciskania materiału z warstw przyosiowych rozpoczyna się proces zawijania warstw zewnętrznych do wnętrza pręta (rys. 10.6). Proces ten wprowadza do środka pręta warstwy zewnętrzne zawierające zanieczyszczenia i tworzy w środkowej części stempla wgłębienie w kształcie lejka (wciąg prasowniczy) skupiający wady wsadu. Aby do wyrobu nie dostał się wciąg prasowniczy, nie doprowadza się wyciskania do końca, lecz przerywa się proces w chwili rozpoczęcia turbulentnych ruchów wsadu. Wyciskanie przeciwbieżne posiada w porównaniu z wyciskaniem współbieżnym szereg zalet i zapewnia przede wszystkim bardziej równomierny przepływ metalu.



Rys.10.5. Siatka współrzędnych dla fazy wyciskania równomiernego (laminarnego)



Rys. 10.6. Schemat wyciskania turbulentnego

10.2.2. Siły wyciskania

Wartość i przebieg siły wyciskania zależy od:

- własności wyciskanego metalu,
- sposobu wyciskania,
- warunków prowadzenia procesu wyciskania, określonych przez wartość i prędkość odkształcenia oraz temperaturę,
- kształtu narzędzia, stanu powierzchni narzędzia i warunków smarowania.

Analizę sił przy wyciskaniu można rozpocząć od analizy typowych wykresów tych sił w funkcji drogi stempla (rys. 10.7). W pokazanych krzywych można wyróżnić trzy przedziały:

- narastanie siły aż do momentu osiągnięcia lokalnego maksimum,
- część wykresu o prawie stałej wartości siły charakteryzująca stacjonarną fazę procesu,
- ostatnia część wykresu charakteryzująca się gwałtownym przyrostem siły (zwykle faza ta w praktyce przemysłowej jest pomijana).

Wyciskany materiał. Do wyciskania przeznaczają się wiele metali i stopów. Najczęściej w dotychczasowej praktyce przemysłowej w procesie wyciskania wykonuje się wyroby z żelaza, miedzi, aluminium i ich stopów.

Na wartość nacisków przy wyciskaniu wpływa przede wszystkim skład chemiczny oraz struktura materiału przeznaczanego do wyciskania. Najdokładniejsze informacje o wpływie zastosowanego materiału na naciski przy wyciskaniu można uzyskać wykonując krzywą umocnienia tego materiału, przy czym pożądana jest krzywa o małych naprężeniach uplastyczniających oraz małym module umocnienia. W praktyce, ze względu na trudności związane z szybkim wykonaniem krzywej umocnienia, czasami szacuje się wpływ danego materiału na naciski przy wyciskaniu na zimno na podstawie jego wytrzymałości na rozciąganie lub na podstawie jego twardości.

Stopień odkształcenia. Odkształcenie materiału w procesie wyciskania określane jest przez zaistniałe zmiany wymiarowe. Do tego celu można zastosować kilka różnych wskaźników:

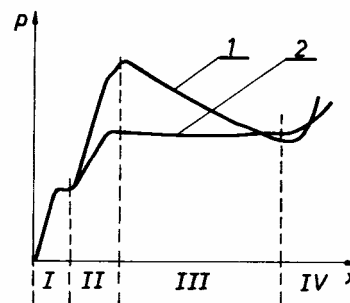
- współczynnik wydłużenia:

$$\lambda = \frac{S_0}{S_k} = \frac{D^2}{D^2 - d^2} \quad (10.1)$$

gdzie: S_0 - powierzchnia przekroju poprzecznego wsadu,
 S_k - powierzchnia przekroju poprzecznego wyrobu.

- względny stopień odkształcenia:

$$\varepsilon_{wl} = \frac{S_0 - S_k}{S_0} = \frac{\Delta S}{S_0} = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \quad (10.2)$$



Rys. 10.7. Wykres przebiegu siły wyciskania w funkcji drogi stempla $P=f(x)$; 1 – wyciskanie współbieżne, 2 – wyciskanie przeciwbieżne. Cyframi od I do IV oznaczono fazy procesów wyciskania

- logarytmiczny lub rzeczywisty stopień odkształcenia:

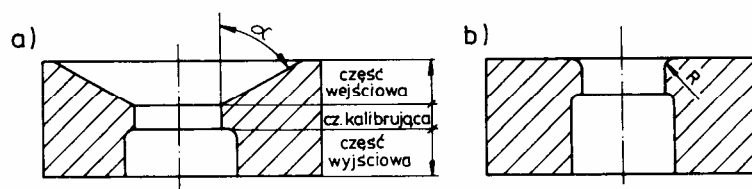
$$\varepsilon_l = \ln \frac{S_0}{S_k} \quad (10.3)$$

Stopień odkształcenia odgrywa istotną rolę w procesie wyciskania. Zwiększenie stopnia odkształcenia powoduje wzrost prędkości przepływu metalu przez otwór w matrycy, a co za tym idzie, zmniejsza żywotność matrycy, zwiększa możliwość tworzenia się pęknięć i pęcherzy w wyrobie.

Temperatura. Wszelkie ograniczenia zastosowania wyciskania wynikają z twardości i wytrzymałości narzędzi. Wymiary wyrobów z metali kolorowych wyciskanych na gorąco są ograniczone tylko wielkością prasy i pojemnością recypienta. Na gorąco wyciska się stopy cynku, aluminium i jego stopy, miedź i jej stopy, stal. Stosuje się różne temperatury. Najwyższych temperatur wymagają brązy i stal. Recypienty i stemple do wyciskania w temperaturze rzędu 600⁰ C wykonane są ze stali do pracy na gorąco, a do wyciskania w wyższych temperaturach ze stali żarowytrzymałych.

Możliwość wyciskania na zimno metali twardych jak stal lub brąz jest ograniczona. Narzędzia wykonuje się wówczas z węglików spiekanych. Również do wyciskania stali na gorąco recypient wykonuje się z węglików wolframu.

Kształt narzędzi. Na wartość nacisków przy wyciskaniu wpływają części narzędzi bezpośrednio stykające się z odkształcanym metalem. Przy wyciskaniu współbieżnym jest to przede wszystkim kształt stożka matrycy (rys.10.8), natomiast przy wyciskaniu przeciwbieżnym ukształtowanie zakończenia stempla. Doświadczalnie stwierdzono, że przy wyciskaniu współbieżnym optymalny kąt stożka wynosi 45 - 30⁰. Przy wyciskaniu przeciwbieżnym naciski są w zasadzie niezależne od kształtu stempla, o ile grubość dna wyciskanego naczynia nie osiąga krytycznej wartości.



Rys. 10.8. Matryce do wyciskania współbieżnego: a) matryca stożkowa, b) matryca płaska

Smarowanie wpływa decydująco na zmianę sił tarcia w procesie wyciskania. Wsad przed wyciskaniem na zimno jest poddawany odtłuszczeniu, wytrawianiu i pokrywaniu odpowiednimi warstwami smarującymi np. fosforanami cynkowymi, mydłem, stearynianem cynku itp. Przy wyciskaniu na gorąco warstwę smarującą może stanowić szkło wodne, grafit.

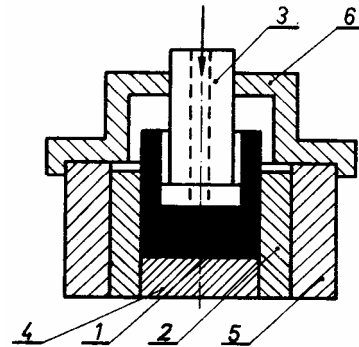
Obliczanie wartości nacisków. Ponieważ na wartość nacisków przy wyciskaniu wpływa duża ilość różnych czynników, ich dokładne określenie nastęrcza szereg problemów. Istnieje szereg wzorów na obliczenie nacisków jak i sił wyciskania np. Siebla i Fangmeiera, Kuhnego, Dippera, Faworskiego, Tychowskiego, Pugh'a i Watkina. Siłę wyciskania z wystarczającą dla praktyki dokładnością określić można z zależności:

$$F = \frac{1}{\eta} \sigma_{pss} \cdot S_0 \cdot \ln \frac{S_0}{S_1} \quad (10.4)$$

gdzie: η - sprawność procesu wyciskania wynoszący w zależności od warunków prowadzenia procesu wynoszący $\eta = 0,2 \div 0,75$,
 $\sigma_{pśr}$ - średnia wartość naprężenia uplastyczniającego materiał przed i po odkształceniu.

10.3. POMOCE I URZĄDZENIA

- tłocznik do wyciskania na zimno (rys. 10.9),
- próbki aluminiowe i miedziane,
- prasa hydrauliczna 2500 kN
- suwmiarka.



10.4. PRZEBIEG ĆWICZENIA

- zapoznanie się z budową tłocznika,
- pomiar próbek do wyciskania,
- montaż tłocznika,
- przeprowadzenie próby wyciskania połączone ze zdjęciem przebiegu siły w funkcji drogi stempla $F = f(x)$
- demontaż tłocznika,
- pomiar kształtu próbki po wyciskaniu.

Rys. 10. 9. Laboratoryjny tłocznik do wyciskania przeciwbieżnego wyrobu wydrażonego; 1 – wyciskany metal, 2 – recypient, 3 – stempel, 4 – płytka oporowa, 5 – oprawa, 6 - przewód

10.5. Sprawozdanie

Sprawozdanie winno zawierać:

- krótki opis przeprowadzonego ćwiczenia,
- szkic tłocznika,
- rysunek wykonanego wyrobu,
- obliczenie rzeczywistego odkształcenia ϵ ,
- obliczenie wymaganej siły wyciskania ze wzoru (10.3) i porównanie jej z wartością rzeczywistą, odczytana z przebiegu siły.

Literatura

[23,24,29,34,36,37,38,39,40]

11. TŁOCZENIE POWŁOK NIEROZWIJALNYCH

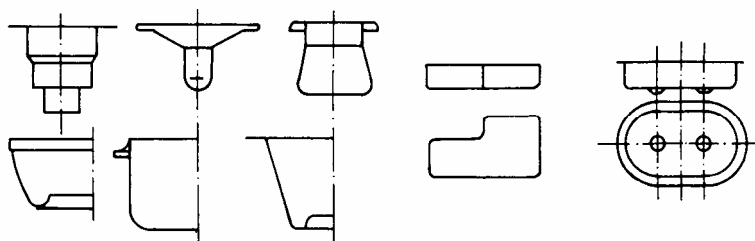
11.1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się ze sposobami kształtowania na prasach wytłoczek nierozwijalnych.

11.2. Wprowadzenie

Do wytłoczek o powierzchni nierozwijalnej zalicza się przedmioty od bardzo prostych (typu miseczka) do złożonych kształtów (elementy karoserii samochodu). Wspólną cechą tych wytłoczek jest to, że nie można ich rozłożyć na płaszczyźnie przez rozginanie, bez pocięcia.

Przykłady wytłoczek o powierzchniach nierozwijalnych pokazano na rys. 11.1.



Rys. 11.1 Przykłady wytłoczek o powierzchni nierozwijalnej

11.2.1. Podstawowe operacje kształtowania wytłoczek nierozwijalnych

Operacje kształtowania wytłoczek nierozwijalnych na prasach dzielimy na dwie grupy:

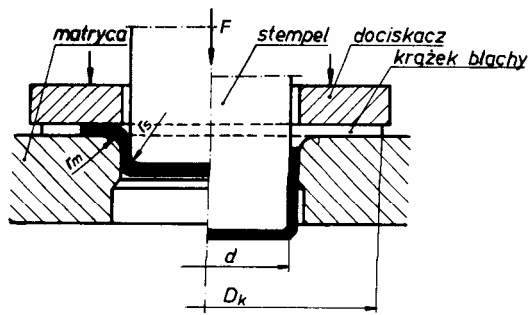
- operacje służące do nadania zasadniczego kształtu wytłoczce: wytłaczanie, przetłaczanie, przewijanie, wyciąganie;
- operacje wykańczające: dotłaczanie, wywijanie, rozpychanie i obciskanie.

Wytłaczanie

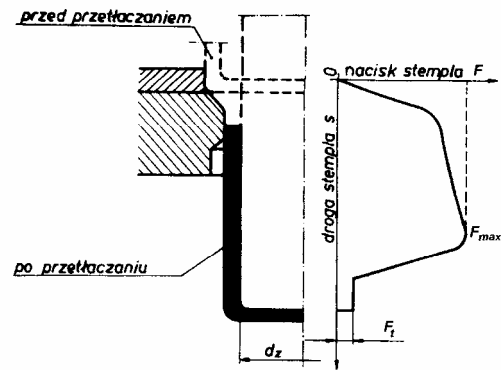
Jest to proces, podczas którego następuje przekształcenie płaskiego półwyrobu w wytłoczkę o powierzchni nierozwijalnej. Schemat procesu wytłaczania przedstawia rys. 11.2. Narzędziem w procesie wytłaczania jest tłocznik. Składa się on głównie ze stempla, matrycy i dociskacza, zabezpieczającego brzeg blachy przed pofałdowaniem pod działaniem obwodowych naprężeń ściskających.

Przetłaczanie

Niebezpieczeństwo obwodowego pęknięcia wytłoczki w czasie procesu wytłaczania ogranicza wysokość wytłoczki, która praktycznie nie przekracza $(0,7 \div 0,8)$ średnicy końcowej d . W celu uzyskania większych wysokości należy wstępnie ukształtowaną wytłoczkę poddać następnej operacji zwanej przetłaczaniem. Przetłaczanie polega na zwiększeniu wysokości wytłoczki kosztem zmniejszenia średnicy d , przy czym grubość ścianki powiększa się. Schemat przetłaczania przedstawiono na rys. 11.3.



Rys. 11.2. Schemat wytłaczania



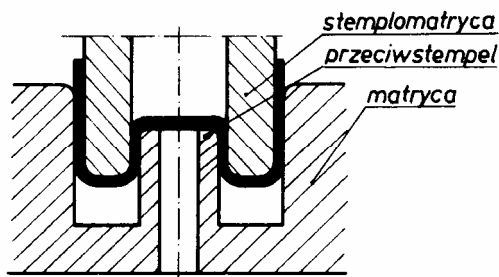
Rys. 11.3. Schemat przetłaczania

Przewijanie

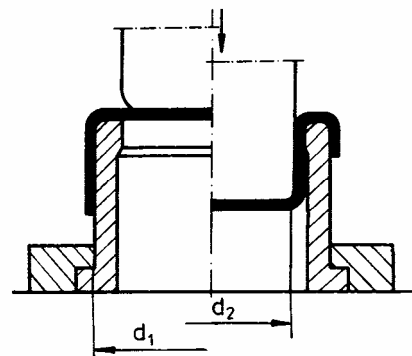
Inną metodą przetłaczania jest przewijanie (rys. 11.4). W wyniku procesu przewijania powierzchnia wewnętrzna wytłoczki staje się zewnętrzną. Można przewijać wytłoczki cienkościennie o grubości ścianki $g < 0,025d_{n-1}$ (d_{n-1} - średnica wytłoczki przed przewijaniem). Przetłaczanie za pomocą przewijania ma, w stosunku do zwykłego przetłaczania, następujące zalety:

- istnieje możliwość większego zredukowania średnicy naczynia w jednym zabiegu przetłaczania,
- istnieje możliwość łączenia w jednej operacji wytłaczania z przewijaniem.

Przykładem połączenia zabiegów wytłaczania z przewijaniem podano na rys. 11.5. Stemplomatryca jest wykonana w kształcie rury, na której układa się cylindryczną wytłoczka. W dalszej fazie tłoczenia dno wytłoczki opiera się o przeciwstempel rozpoczynając fazę przewijania wytłoczki ze średnicy d_1 na średnicę d_2 .



Rys. 11.4. Schemat przewijania



Rys. 11.5. Schemat przetłaczania z przewijaniem

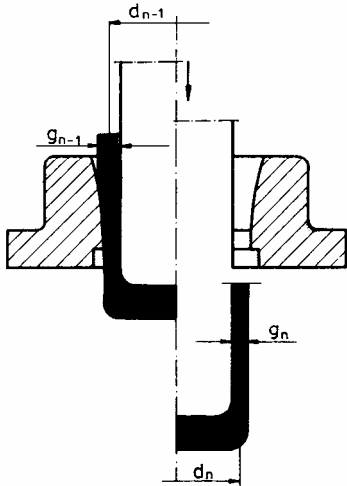
Wyciąganie

Wyciąganie polega na zwiększeniu wysokości wytłoczki przez zmniejszenie grubości jej ścianki, przy czym wewnętrzna średnica wytłoczki nie ulega zazwyczaj większej zmianie. Schemat wyciągania przedstawia rys. 11.6.

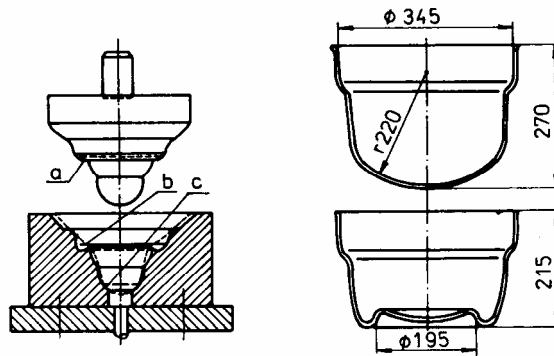
11.2.2. Operacje wykańczające

Dotłaczanie

Dotłaczanie polega na nadaniu wytłoczce ostatecznego kształtu. Przykład ostatecznego kształtowania przez dotłaczanie przedstawiono na rys. 11.7.



Rys. 11.6. Schemat wyciągania



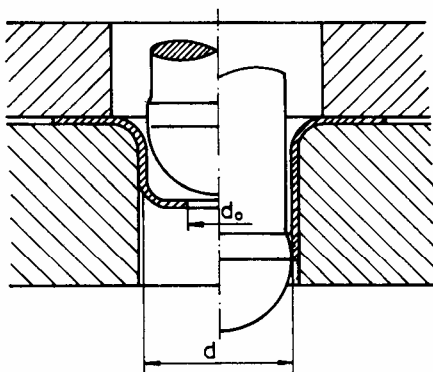
Rys. 11.7. Dotłaczanie: a) stempel, b) wytłoczka, c) matryca

Wywijanie

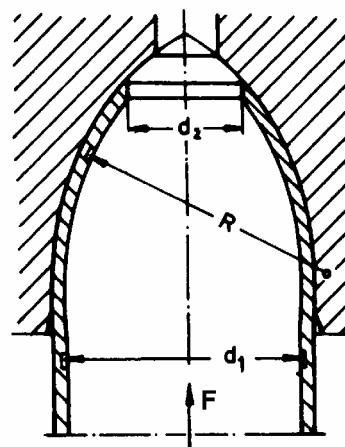
Za pomocą wywijania (rys. 11.8) otrzymuje się powiększenie uprzednio wyciętych otworów i wywinięcie ścianek dookoła tych otworów.

Obciskanie

Obciskaniem nazywa się operację, która powoduje zmniejszenie wymiarów poprzecznych wyrobów. Operacja ta jest powszechnie stosowana przy zważaniu łusek amunicyjnych oraz przy wyrobie butli na sprężone gazy (rys. 11.9).



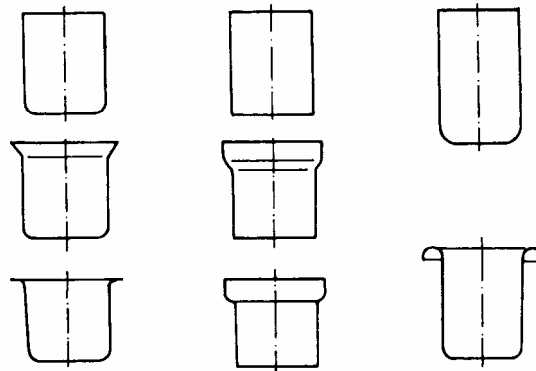
Rys. 11.8. Wywijanie dna wytłoczki



Rys. 11.9. Przykład obciskania

Rozpychanie

Rozpychaniem nazywa się operację, która powoduje powiększenie wymiarów poprzecznych wyrobów. Stosuje się do kształtowania wypukłych, bocznych ścian rur, kształtowania kołnierzy wytłoczek (rys. 11.10).



Rys. 11.10. Przykłady wyrobów kształtowanych przez rozpychanie

11.2.3. Tłoczenie hydrostatyczne

Tłoczenie hydrostatyczne wykonuje się na urządzeniu, w którym tłoczona na zimno blacha znajduje się pomiędzy metalowym wzornikiem, stanowiącym stempel lub matrycę, oraz hydraulicznym dociskaczem. W miejscu, gdzie tłoczona blacha opiera się o wzornik, część roboczego ciśnienia przenosi się z wzornika poprzez blachę na dociskacz, nie biorąc udziału w pracy kształtowania. Powoduje to znaczne zwiększenie siły potrzebnej do realizacji procesu tłoczenia hydrostatycznego.

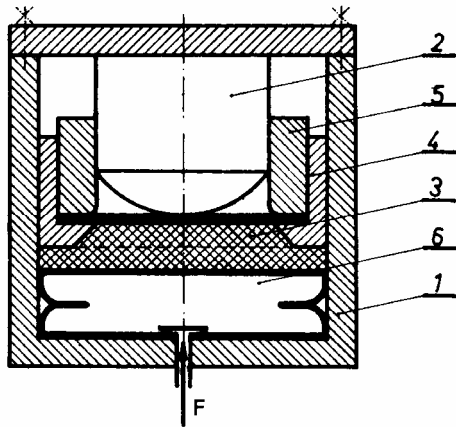
O zastosowaniu tłoczenia hydrostatycznego zwykle decyduje prosta budowa tłoczniaka lub niemożność wykonania jakiegoś wyrobu innym sposobem. Hydrauliczny docisk jest realizowany za pomocą:

- cieczy
- worków napełnionych cieczą
- wkładek z tworzyw elastycznych, np. gumy odpornej na oleje, tworzyw poliuretanowych itp.

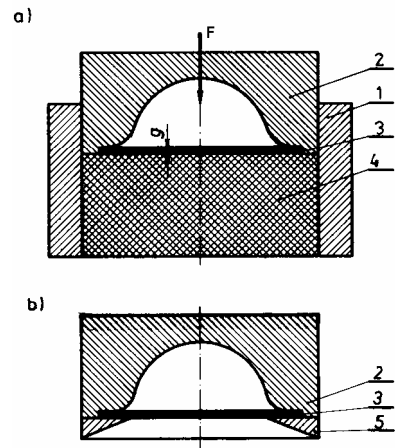
Ciecze byłyby doskonalsze w przenoszeniu ciśnienia (niż guma), ale nie stosuje się ich ze względu na trudności uszczelnienia. Pośrednim rozwiązaniem są elastyczne worki napełnione cieczą.

W zależności od roli, jaką spełnia ciśnienie cieczy lub wkładki, wytłaczanie hydrauliczne dzielimy na zewnętrzne i wewnętrzne (rys. 11.11 i rys. 11.12). Pierwszy rodzaj wytłaczania występuje wówczas, gdy stempel zastąpiony jest przez ciecz lub wkładkę, natomiast matrycę stanowi metalowy wzornik. W przypadku wytłaczania zewnętrznego ciecz lub wkładka zastępuje matrycę.

Dodatkową zaletą tłoczenia hydrostatycznego jest całkowite wyeliminowanie tarcia blachy o powierzchnię stempla lub pierścienia ciągowego, co występuje przy tradycyjnym tłoczeniu. Ciśnienie hydrostatyczne działające równomiernie na całej powierzchni wytłaczanej blachy zwiększa możliwości wykonania wytłoczek o złożonych kształtach geometrycznych, np. rozpęczanie środkowego odcinka rury (rys. 11.13).



Rys. 11.11. Laboratoryjny tłocznik hydrostatyczny o działaniu zewnętrznym; 1 – obudowa, 2 – stempel, 3 – przeladka gumowa, 4 – dociskacz, 5 – zacisk, 6 – poliuretanowy worek hydrauliczny



Rys. 11.12. Laboratoryjny tłocznik hydrostatyczny o działaniu wewnętrznym; a) tłoczenie o działaniu bez dociskacza, b) matryca z dociskaczem; 1 - cylinder, 2 - matryca, 3 - blacha, 4 - wkładka gumowa, 5 - dociskacz metalowy

Podobne efekty do kształtowania hydrostatycznego możemy uzyskać kształtując metodą hydrodynamiczną, czyli wybuchem. Fala wysokiego ciśnienia, wywołana eksplozją ładunku wybuchowego zanurzonego w wodzie, nawet bez uszczelnień, prawidłowo kształtuje wytłoczki.

11.2.4. Określenie siły w procesie wytłaczania

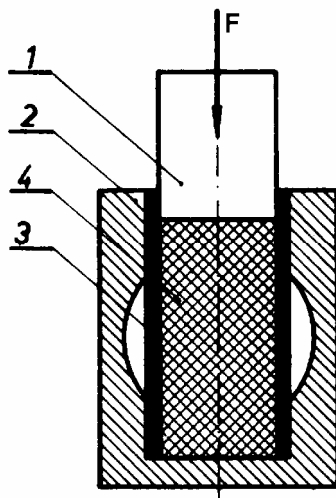
Silę nacisku stempla w funkcji jego przesunięcia przedstawiono na rys. 11.14. Siła ta jest ściśle związana z oporem plastycznym kołnierza. Początkowo rośnie, a po osiągnięciu wartości maksymalnej F_k^{\max} maleje, osiągając w końcowej fazie zupełnie małą wartość F_t , niezbędną do pokonania oporów tarcia obrzeża wytłoczki o cylindryczną ściankę otworu matrycy. Siła tłoczenia osiąga największą wartość przy przesunięciu stempla odpowiadającemu ok. $0,3 \div 0,5$ wysokości gotowej wytłoczki. W tym właśnie momencie występuje niebezpieczeństwo obwodowego pęknięcia wytłoczki. Aby do tego nie dopuścić, proces musi być zrealizowany w ten sposób, żeby siła F_k^{\max} była mniejsza od siły zrywającej wytłoczkę F_{zr} . W czasie wytłaczania więc:

$$F_k^{\max} < F_z$$

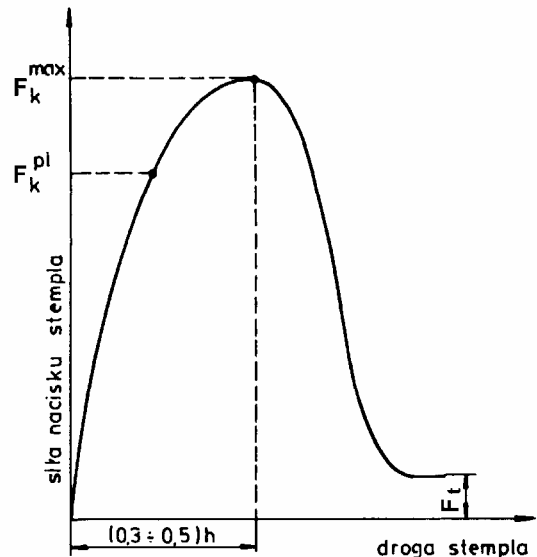
Warunek ten jest spełniony wówczas, gdy stosunek średnicy d wytłoczki do średnicy D użytego do wytłaczania krążka jest większy od pewnej wartości granicznej

$$\frac{d}{D} > \left(\frac{d}{D}\right)_{gr} \quad (11.1.)$$

Stosunek $\frac{d}{D} = m_1$ określamy mianem współczynnika wytłaczania (współczynnika ciągnięcia).



Rys. 11.13. Rozpęczanie środkowego odcinka rury przy użyciu tłoczni hydrostatycznego o działaniu wewnętrznym; 1 - stempel, 2 - dwudzielna matryca, 3 - rura, 4 – elastyczne tworzywo



Rys. 11.14. Przebieg siły nacisku stempla w funkcji jego drogi

W celu zmniejszenia niebezpieczeństwa pęknięcia wytłoczki (zmniejszenia wartości współczynnika m_1) należy tak przeprowadzać proces wytłaczania, aby maksymalna siła ciągnięcia F_k^{\max} była jak najmniejsza, zaś siła zrywająca dno F_{zr} możliwie duża. Można osiągnąć to przez:

- zaokrąglenie krawędzi pierścienia ciągowego możliwie dużym promieniem $r_m = (5 \div 10)g$ (rys. 11.2) oraz stempla $r_s = (4 \div 6)g$ w celu zmniejszenia dodatkowego zaginania blachy na tej krawędzi;
- staranne wypolerowanie powierzchni roboczych pierścienia ciągowego i dociskacza, po których ślizga się kształtowana blacha oraz dobre smarowanie powierzchni trących (należy tu zauważyć, że tarcie pomiędzy stemplem a wewnętrzną powierzchnią wytłoczki nie jest szkodliwe, a nawet polepsza warunki tłoczenia powodując zwiększenie siły F_{zr}). Przy zachowaniu możliwie optymalnych warunków tłoczenia współczynnik wytłaczania m_1 może osiągnąć wartości podane w tabelicy 11.1.

Wartości współczynnika m_1 zależą stosunkowo nieznacznie od rodzaju kształtowanego materiału, toteż dane liczbowe zawarte w tej tabeli można stosować do różnych gatunków stali miękkiej, mosiądzu, miedzi itp.

Tabela 11.1.

Najmniejsze dopuszczalne wartości współczynnika wytłaczania m_1

$\frac{g}{D} \cdot 100$	2	1,5	1	0,6	0,3	0,15	0,08
$m_1 = \frac{d}{D}$	0,48	0,5	0,53	0,55	0,58	0,6	0,63
g - grubość blachy							

Jak wynika z poprzednich rozważań, siła wytlaczania F_k^{\max} jest równa sile zrywającej, gdy współczynnik m_1 jest równy granicznej wartości stosunku $(\frac{d}{D})_{gr}$.

Ponieważ w pierwszym przybliżeniu zachodzi:

$$F_{zr} \approx \pi \cdot d \cdot g \cdot R_m \quad (11.2)$$

więc dla tego przypadku:

$$F_k^{\max} \approx \pi \cdot d \cdot g \cdot R_m \quad (11.3)$$

gdzie R_m - wytrzymałość materiału na rozciąganie.

$$\text{Gdy: } F_k^{\max} < F_{zr}, \quad \text{to: } \frac{F_{zr}}{F_k^{\max}} = k \quad (11.4)$$

Uwzględniając wartości współczynnika k podane w tablicy 11.2 maksymalną siłę wytlaczania można wyznaczyć ze wzoru:

$$F_k^{\max} = k \cdot \pi \cdot d \cdot g \cdot R_m \quad (11.5)$$

Tablica 11.2.

Wartości współczynnika k

$m_1 = \frac{d}{D}$	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8
K	1	0,86	0,72	0,6	0,5	0,4

11.3. Pomoce i urządzenia

- tłoczniki,
- maszyna wytrzymałościowa (100 kN),
- prasa hydrauliczna (1000 kN),
- suwmiarka,
- próbki z blachy o różnych średnicach D_k .

11.4. Przebieg ćwiczenia

Próba tłoczenia:

- zapoznać się z budową tłoczniaka,
- dokonać pomiaru wymiarów próbek - średnicy krążków D_k ,
- grubości krążków g ,
- przeprowadzić próbę tłoczenia dla poszczególnych próbek z zarejestrowaniem przebiegu siły nacisku na stempel,
- zmierzyć wysokość uzyskanych wytłoczek,
- wyniki pomiarów zestawić w tablicy wyników.

Próba tłoczenia z przewijaniem:

- zapoznać się z budową tłoczniaka do tłoczenia z przewijaniem,
- dokonać pomiaru próbki,
- przeprowadzić próbę tłoczenia z przewijaniem.

11. 5. Sprawozdanie

W sprawozdaniu umieścić:

- rysunki poznanych tłoczniaków,
- tablicę wyników (tablica 11.3),
- przykład obliczenia F_0^{\max} ,
- wykresy przebiegu rzeczywistej siły nacisku,
- obliczenie średnicy, wysokości wytłoczek jakie powinno się otrzymać i porównanie z wynikami pomiarów,
- wnioski.

Tablica 11.3

Tablica wyników

Lp	D_K	g	d	h	R_m	m_1	k	F_0^{\max}	F_k^{\max}
1.									
2.									
3.									
R_m - wytrzymałość na rozciąganie badanego materiału, m_1 - współczynnik wytłaczania, k - współczynnik zależny od m_1 (tablica 11.2), F_0^{\max} - maksymalna siła nacisku określona z obliczeń, F_0^{\max} - maksymalna siła nacisku uzyskana w doświadczeniu.									

Literatura

[17,18,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32]

12. ODKSZTAŁCENIA W PROCESIE TŁOCZENIA

12.1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z rodzajem odkształceń występujących w procesie tłoczenia i sposobem ich określania w przypadku miseczkowania.

12.2. Wprowadzenie

W procesie kształtowania wytłoczek powłokowych operacje tłoczenia można podzielić na dwie grupy:

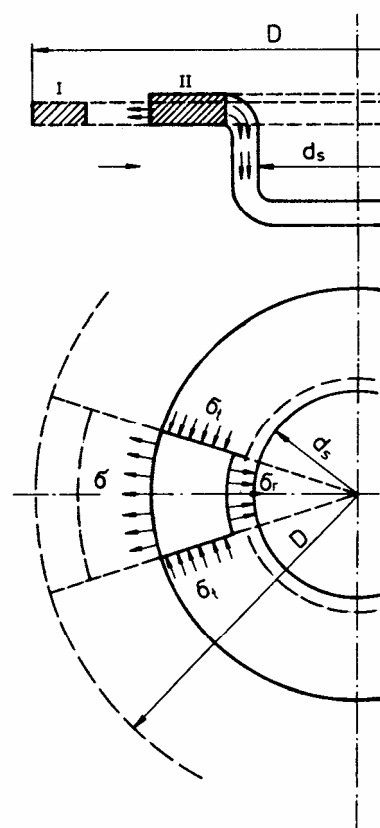
- 1) operacje ciągnięcia służące do nadania zasadniczego kształtu wytłoczce (wytłaczanie, przetłaczanie),
- 2) operacje wykańczające (np. okrawanie, wywijanie).

W trakcie tłoczenia wytłoczek występują różne naprężenia i w wyniku działania tych naprężeń w wytłoczce powstają odpowiedniej wielkości odkształcenia. W trakcie ciągnięcia kołnierza wytłoczki powstają w nim odkształcenia w następujących kierunkach:

- w kierunku promieniowym
- w kierunku stycznym
- w kierunku pionowym (po grubości)

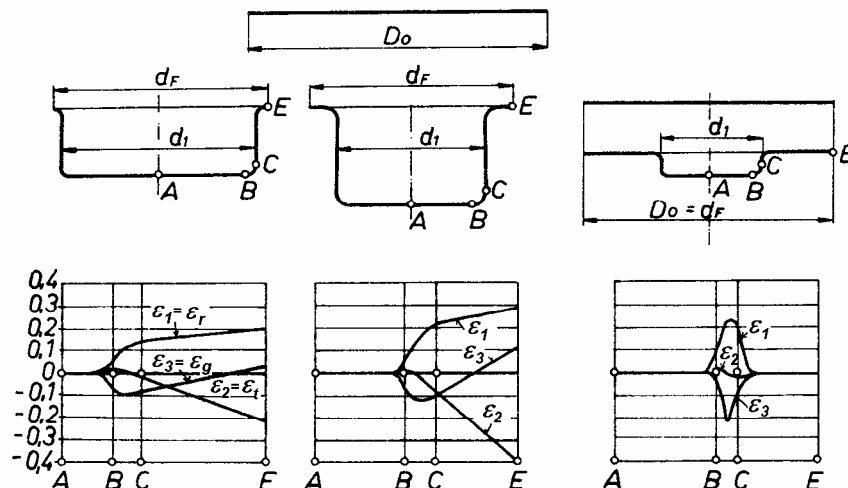
Kierunki odkształceń przedstawiono na rys. 12.1. W początkowej fazie procesu płaski element kołnierza I, w wyniku działania naprężeń promieniowych σ_r i obwodowych σ_t , wydłuża się w kierunku promieniowym, skraca w kierunku obwodowym i nieznacznie pogrubia się, zajmując położenie II. Następnie podczas zbliżania się elementu do krawędzi matrycy naprężenia ściskające stopniowo maleją, a zwiększają się naprężenia rozciągające. W dalszej operacji rozpatrywany element ulega gięciu, przesuwał się po roboczej krawędzi matrycy i przekształca się w element bocznej powierzchni naczynia, ulegając niewielkiemu wydłużeniu wzdłuż tworzącej.

Przykład odkształceń dla cylindrycznego naczynia w zależności od wielkości średnicy krążka przedstawiono na rys. 12.2. Na dnie wytłoczki nie występują prawie żadne odkształcenia. Odkształcenia zaczynają pojawiać się najpierw na promieniu zakrzywienia i przyjmują największe wartości przy końcu powierzchni walcowej. Fakt ten wynika z redukcji stale zmniejszającej się szerokości kołnierza. Oprócz wydłużenia w kierunku tworzącej ϵ_l ,

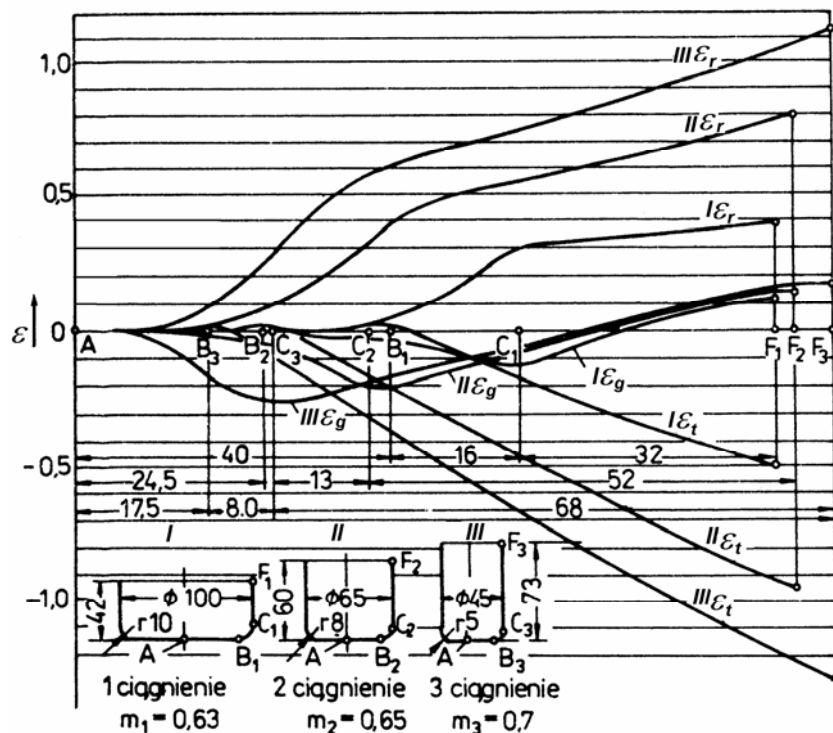


Rys. 12.1. Kolejne etapy odkształcania się elementu materiału w procesie wytłaczania

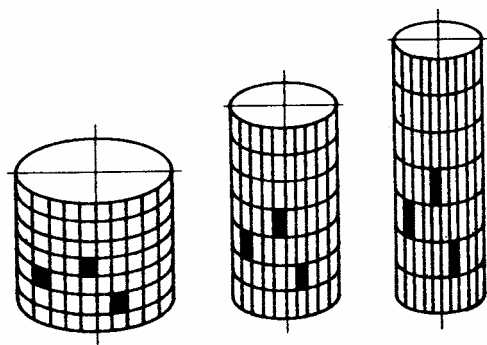
powstałego w wyniku działających naprężeń rozciągających o kierunku promienia σ_1 (σ_r) i ściskających obwodowych σ_2 (σ_t), występują również niepożądane odkształcenia w kierunku grubości materiału ε_3 (ε_g). W pobliżu dna wytłoczki występuje pocienienie ścianki o około 10 ÷ 20 %, a przy brzegu pogrubienie o około 30%. Wytłoczki niecylicydryczne, ale o osiowo -symetrycznym kształcie mają podobny przebieg odkształceń jak przy miseczkowaniu. Na rys. 12.3 przedstawiono odkształcenia, jakie wystąpiły w miseczce po trzech kolejnych ciągach, a rys. 12.4 przedstawia odkształcenia siatki dla tego przykładu.



Rys. 12.2. Wielkość odkształceń cylindrycznego naczynia w zależności od średnicy krawężka

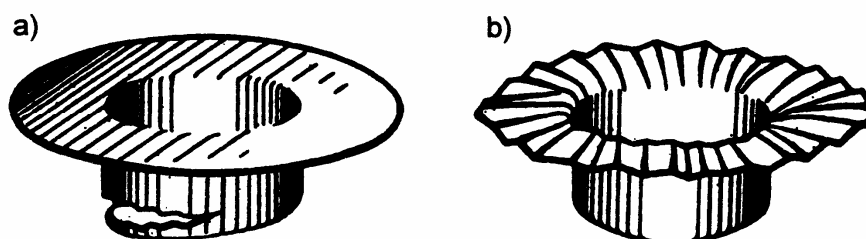


Rys. 12.3. Wykres odkształceń w miseczce po trzech kolejnych ciągach



Rys. 12.4. Odształcenia siatki po trzech kolejnych ciągach

Ściskające naprężenia obwodowe osiągają największą wartość przy krawędzi naczynia, gdzie początkowa średnica krążka D zostaje zmniejszona do średnicy d_m otworu matrycy. Powoduje to powstanie nadmiaru materiału utrudniającego kształtowanie bocznych ścianek naczynia, a w efekcie może prowadzić do fałdowania obrzeży naczynia (rys. 12.5b). W celu zapobieżenia fałdowania się płaskiego kołnierza stosuje się dociskanie materiału do czołowej powierzchni matrycy za pomocą pierścienia dociskającego. Najbardziej niebezpiecznym miejscem w procesie wytłaczania jest strefa przejściowa z dna naczynia w ściankę boczną, gdyż w tym miejscu działają jedynie naprężenia rozciągające powodujące znaczne pocienienie ścianki, mogące doprowadzić w efekcie do oderwania dna (rys. 12.5a).



Rys. 12.5. Wady wyrobów wytłaczanych: a) obwodowe pęknięcie ścianki bocznej, b) zafałdowanie kołnierza

Stopień odształcenia podczas wytłaczania przedmiotów cylindrycznych wyraża się za pomocą współczynnika wytłaczania który jest stosunkiem średniej średnicy wytłoczki d do średnicy krążka materiału wyjściowego D :

$$m = \frac{d}{D} \quad (12.1)$$

12.3. Pomoce i urządzenia

- tłoczники,
- próbki z naniesioną siatką współrzędnych,
- suwmiarka,
- maszyna wytrzymałościowa.

12.4. Przebieg ćwiczenia

W celu przeprowadzenia ćwiczenia należy:

- zapoznać się z budową tłoczniaka,
- dokonać pomiarów próbek (krążków),
- zmierzyć średnicę krążków D_0 ,
- zmierzyć grubość blachy g_0 ,
- zmierzyć odległość między kolejnymi kołami współśrodkowymi siatki s_0 ,
- zmierzyć kąty między kolejnymi promieniami siatki α_0 ,
- założyć próbkę,
- przygotować tłocznik do pracy,
- przeprowadzić operację tłoczenia,
- zdemontować tłocznik,
- dokonać pomiarów uzyskanej wytłoczki i siatki mierząc:
 - średnicę wytłoczki d ,
 - wysokość wytłoczki h ,
 - odległość między kolejnymi kołami współśrodkowymi s_i ,
 - średnie odległości łuków między promieniami siatki l_i ,
- wyniki pomiarów zestawić w tablicy (wzór tablicy - tablica 12.1).

Tablica 12.1

Wyniki pomiarów					
Lp.	Odległość początkowa między kolejnymi kołami współśrodkowymi s^0 -	Średnia długość początkowa łuków Δl_i^0 $\Delta l_i^0 = \frac{\alpha_0 (d_i + d_{i-1})}{4}$	Odległość między kołami współśrodkowymi po tłoczeniu s_i	Średnia długość łuków Δl_i $\Delta l_i = \frac{l_i + l_{i-1}}{2}$	Uwagi
	mm	mm	mm	mm	-
1	2	3	4	5	
1					
2					
3					
.					
α_0 w mierze łukowej					

12.5. Sprawozdanie

Sprawozdanie winno zawierać:

- tablicę pomiarów odkształceń oraz wykres odkształceń jak na rys. 12.2,
- obliczenie maksymalnego pocienienia i pogrubienia ścianki wytłoczki z zaznaczeniem na szkicu miejsc ich występowania,
Wzór tablicy pomiarów odkształceń (tablica 12.2).

Tablica 13.2

Wyniki pomiarów odkształceń

Lp.	ε_1	ε_2	ε_3	Uwagi
	$\varepsilon_{1i} = \ln \frac{s_i}{s_0}$	$\varepsilon_{2i} = \ln \frac{\Delta l_i}{\Delta l_i^0}$	$\varepsilon_{3i} = -(\varepsilon_{1i} + \varepsilon_{2i})$	-
	-	-	-	
1	2	3	4	5
1				
2				
3				
.				
.				
.				

Literatura

[23,24,28, 29,30,31,32,33,36,38,39,40]

13. WYZNACZANIE GRANICZNYCH WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA WYTŁACZANIA

13.1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z mechanizmem odkształcania dna wytłoczki i kołnierza oraz czynnikami ograniczającymi wielkość odkształceń, wyrażonymi jako „współczynnik wytłaczania”.

13.2. Wprowadzenie

W tłocznictwie cienkich blach duży udział ilościowy ma operacja wytłaczania, której celem jest przekształcenie płaskiego kawałka blachy w wytłoczkę o powierzchni nierozwijalnej. Najprostszą wytłoczką tego rodzaju jest naczynie cylindryczne bez kołnierza. Przeformowanie, materiału zachodzące podczas wytłaczania naczynia cylindrycznego, przyjęto określać w praktyce przemysłowej wartością współczynnika wytłaczania:

$$m_1 = \frac{d}{D} \quad (13.1)$$

gdzie: m_1 - współczynnik wytłaczania,
 d - średnica wytłoczki,
 D - średnica krawędzi materiału wyjściowego blachy.

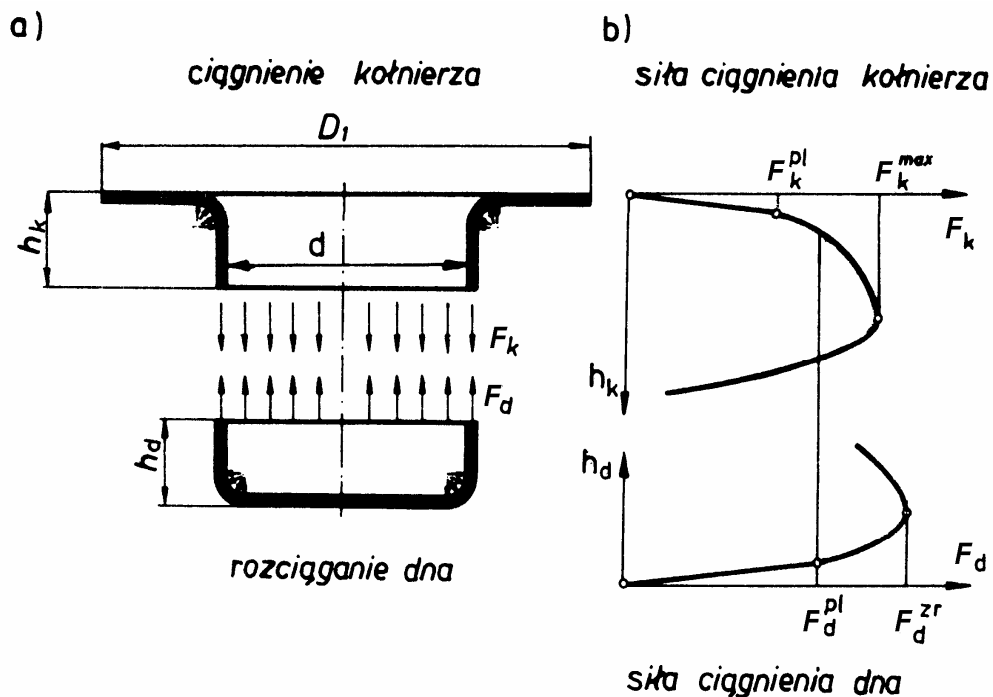
Zamiast współczynnika m_1 używa się czasem współczynnika odkształcenia β , który jest odwrotnością współczynnika wytłaczania:

$$\beta = \frac{1}{m_1} = \frac{D}{d} \quad (13.2)$$

Współczynniki m_1 lub β nie mogą mieć wartości dowolnych. Ich wartości graniczne $(m_1)_{gr}$ lub β_{gr} wynikają z warunku równości największej siły tłoczenia F^{\max} i wytrzymałości walcowej ścianki wytłoczki na zerwanie, nazwanej krótko siłą zrywającą F^{Zr} . Osiągnięcie przez siłę tłoczenia wartości F^{Zr} jest równoznaczne z obwodowym rozdzieleniem wytłoczki w pobliżu zaokrąglonej krawędzi stempla.

Ze względu na zależność $(m_1)_{gr}$, względnie β_{gr} od wartości sił F^{\max} i F^{Zr} przeprowadzono analizę sił występujących w procesie wytłaczania.

Kształtowaną wytłoczkę można myślowo podzielić na dwie części, a mianowicie na dno i kołnierz (rys. 13.1). Kołnierz wytłoczki traktuje się jako pierścień, którego zewnętrzna krawędź jest wolna od obciążeń, a na krawędź wewnętrzną działają siły ciągnące, dające wypadkową F_k w kierunku osi. W kołnierzu występują promieniowe naprężenia rozciągające i obwodowe naprężenia ściskające. Osiowa siła F_k wywierana na wewnętrzny brzeg pierścienia zależy od oporu plastycznego kołnierza i ulega zmianie w miarę zmniejszania się jego średnicy zewnętrznej D_1 i powiększania wysokości h_k walcowych ścianek. Zmiany te przedstawia wykres na rys. 13.1b.



Rys. 13.1. Wytłoczka z działającymi siłami osiowymi (a) oraz zmiany sił na długości wytłoczki (b)

Proces plastycznego płynięcia kołnierza, charakteryzujący się zmniejszaniem zewnętrznej jego średnicy D_1 , rozpoczyna się przy sile F_k^{pl} . Następnie siła F_k rośnie na skutek umacniania zachodzącego w odkształcanym na zimno materiale w wyniku zwiększania się grubości blachy w zewnętrznej części kołnierza. Jednocześnie jednak zmniejszanie się szerokości odkształcanego kołnierza, którego średnica D_1 zbliża się stopniowo do jego średnicy wewnętrznej d , przyczynia się do spadku oporu plastycznego. W rezultacie obu tych zjawisk F_k , po osiągnięciu wartości F_k^{max} , maleje prawie do zera wtedy, gdy cały kołnierz przekształci się w walcową część wytłoczki.

W procesie rozciągania dna jest ono obciążone siłą osiową F_d , równomiernie rozłożoną wzdłuż jego obwodu i zastępującą oddziaływanie kołnierza wytłoczki. Rosnąca siła F_d osiąga wartość F_d^{pl} , co powoduje proces plastycznego rozciągania płaskiego dna oraz jego ścianek bocznych. Początkowy wzrost siły F_d jest spowodowany intensywnym umacnianiem się materiału. W momencie, gdy siła osiąga krytyczną wartość F_d^{zr} , następuje przewężenie ścianek bocznych prowadzące do pęknięcia. Pęknięcie to ma miejsce najczęściej na zaokrąglonej krawędzi, gdzie grubość ścianki jest najmniejsza.

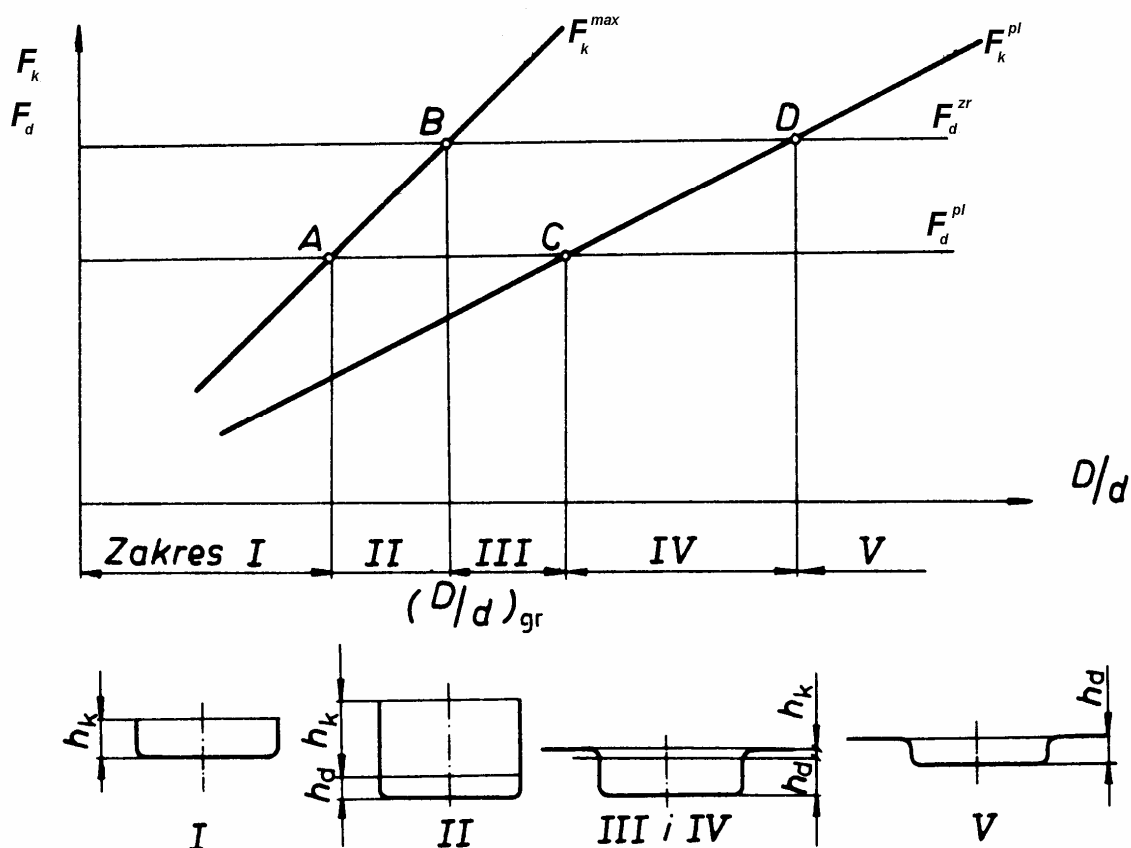
Rozpatrując łącznie przebieg tłoczenia kołnierza i dna (co ma miejsce w rzeczywistym procesie tłoczenia), łatwo zauważyć zależność występowania poszczególnych faz kształtowania dna i kołnierza od stosunku D/d . Sporządzając wykresy tych sił jako funkcji stosunku D/d można zanalizować wpływ tego stosunku na przebieg procesu. Upraszczając analizę wpływu stosunku D/d , przyjmując należy średnicę d jako stałą, a zmieniać tylko średnicę D . Przy takim założeniu siła F_d^{pl} i F_d^{zr} zrywająca dno nie zależy od stosunku D/d . Natomiast obie siły związane z procesem kształtowania kołnierza, a więc F_k^{pl} i F_k^{max} są tym większe, im większe są średnice D krążka, przy stałej średnicy d .

Posługując się omawianym wykresem można wyodrębnić kilka różnych przebiegów kształtowania wytłoczki, z których każdy zachodzi w innym zakresie stosunku D/d , wyznaczonym przez punkty przecięcia A, B, C, D odpowiednich linii wykresu (rys. 13.2). Siła tłoczenia osiąga największą wartość przy przesunięciu stempla odpowiadającemu około $0,3 \div 0,5$ wysokości gotowej wytłoczki. W tym właśnie momencie występuje niebezpieczeństwo obwodowego pęknięcia wytłoczki. Aby do niego nie dopuścić, proces musi być prowadzony w ten sposób, żeby siła F_k^{\max} była mniejsza od siły zrywającej wytłoczkę F_d^{zr} .

W czasie tłoczenia musi być więc spełniony warunek

$$F_k^{\max} < F_d^{\text{zr}} \quad (13.3)$$

Z wykresu (rys. 13.2) widać, że warunek ten jest spełniony wówczas, gdy stosunek średnicy D/d użytego krążka jest mniejszy od odciętej $\left(\frac{D}{d}\right)_{\text{gr}}$ punktu B leżącego na przecięciu się linii F_k^{\max} i F_d^{zr} .



Rys. 13.2. Różne przebiegi kształtowania wytłoczki w zależności od stosunku D/d

Stosunek D/d dla wytłoczki spełnia warunek

$$\frac{D}{d} \left\langle \left(\frac{D}{d} \right)_{gr} \right. \quad (13.4)$$

lub

$$\frac{d}{D} = m_1 \left\langle \left(\frac{d}{D} \right)_{gr} \right. \quad (13.5)$$

Graniczna wartość współczynnika wytłaczania to minimalna wartość stosunku d/D, przy którym w trakcie tłoczenia uzyskuje się miseczkę.

W celu zmniejszenia niebezpieczeństwa pęknięcia wytłoczki (obniżenie wartości współczynnika m_1), należy tak przeprowadzić proces wytłaczania, aby maksymalna siła ciągnięcia kołnierza F_k^{max} była jak najmniejsza, zaś siła zrywająca dno F_d^{Zr} możliwie duża.

Można to osiągnąć przez:

- zaokrąglenie krawędzi pierścienia ciągowego możliwie dużym promieniem $r_m=(5\div 10)g$, w celu zmniejszenia dodatkowego zaginania blachy na tej krawędzi,
- staranne wypolerowanie powierzchni roboczych pierścienia ciągowego i dociskacza, po których ślizga się kształtowana blacha oraz dobre smarowanie powierzchni tnących,
- wykonanie możliwie dużych promieni zaokrąglenia krawędzi stempla $r_s=(4\div 6)g$.

Graniczne wartości współczynnika m_1 zależą stosunkowo nieznacznie od rodzaju kształtowanego materiału, określane są doświadczalnie i podane w podręcznikach poświęconych tłocznictwu.

Jak wynika z poprzednich rozważań, maksymalna siła wytłaczania F_k^{max} jest równa sile zrywającej F^{Zr} wówczas, gdy współczynnik $m_1 = \left(\frac{d}{D} \right)_{gr}$.

Ponieważ w pierwszym przybliżeniu siła zrywająca wytłoczkę wynosi

$$F^{Zr} \approx \pi \cdot d \cdot g \cdot R_m \quad (13.6)$$

więc dla tego przypadku

$$F_k^{max} \approx \pi \cdot d \cdot g \cdot R_m \quad (13.7)$$

gdzie: d - średnica wytłoczki (liczona po środku grubości ścianek),

g - początkowa grubość blachy,

R_m - wytrzymałość na rozciąganie kształtowanej blachy.

Gdy współczynnik $m_1 \left\langle \left(\frac{d}{D} \right)_{gr} \right.$, wtedy siła F_k^{max} jest mniejsza od F^{Zr} , przy czym stosunek

tych dwu sił oznaczmy przez k. Uwzględniając wartości współczynnika k podane w tablicy 13.1, maksymalną siłę wytłaczania można wyznaczyć ze wzoru:

$$F_k^{max} = k \cdot \pi \cdot d \cdot g \cdot R_m \quad (13.8)$$

Tablica 13.1

Wartości współczynnika k						
$m_1 = \frac{d}{D}$	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8
k	1	0,86	0,72	0,6	0,5	0,4

13.3. Pomoce i urządzenia

- tłocznik,
- próbki (w postaci krążków) o różnej średnicy D_0 ,
- suwmiarka,
- maszyna wytrzymałościowa.

13.4. Przebieg ćwiczenia

W celu przeprowadzenia ćwiczenia należy:

- zapoznać się z budową tłocznika,
- zmierzyć średnicę próbek do tłoczenia D ,
- zmierzyć średnicę otworu roboczego matrycy d ,
- założyć próbkę na tłocznik,
- przygotować tłocznik do pracy,
- przeprowadzić operację tłoczenia wyznaczając zależność $F=f(h)$,
- zdemontować tłocznik,
- zmierzyć wysokość wytłoczki i jej średnicę,
- - przeprowadzić takie same czynności dla wszystkich próbek (krążków).

13.5. Sprawozdanie

Sprawozdanie winno zawierać:

- wielkości maksymalnych sił tłocznika dla poszczególnych stosunków D_0/d wytłoczki,
- wyznaczenie granicznej wartości współczynnika wytłaczania $m_1=d/D$.

Literatura

[23,24,29,31,32,33,34,37,38,39,40]

14. OCENA SKŁONNOŚCI BLACH DO ZACIERANIA W TRAKCIE TŁOCZENIA

14.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze zjawiskiem powstawania zatarcia w procesie tłoczenia blach, przyczynami jego występowania, wielkością i sposobem jego wyznaczania.

14.2. Wprowadzenie

14.2.1. Tarcie w procesie tłoczenia

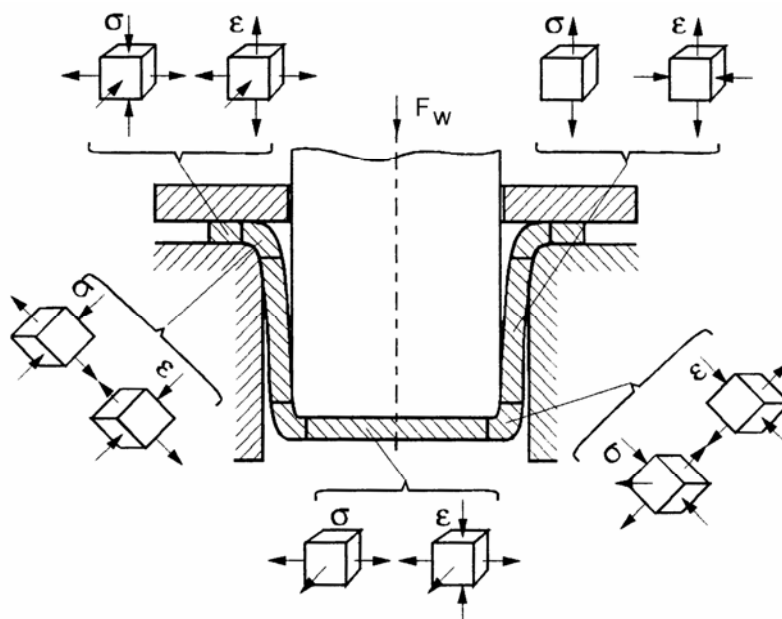
Tłoczenie jest jednym z podstawowych procesów obróbki plastycznej na zimno obejmującym: cięcie, kształtowanie blach, folii i płyt metalowych lub przedmiotów o małej, w stosunku do innych wymiarów, grubości.

Jak wynika z tej definicji, procesy tłoczenia mogą być przeprowadzone:

- przy naruszaniu spójności materiału (odcinanie, wycinanie, dziurowanie, okrawanie, nacinanie),
- bez naruszania spójności materiału (gięcie, wytlaczanie i kształtowanie).

Ze względu na to, że najbardziej charakterystyczne dla tej grupy procesów jest wytlaczanie, do tego procesu zostaną odniesione dalsze rozważania.

Schemat możliwych stanów naprężenia i odkształcenia przy wytlaczaniu sztywnymi narzędziami z dociskaczem ilustruje rys. 14.1.



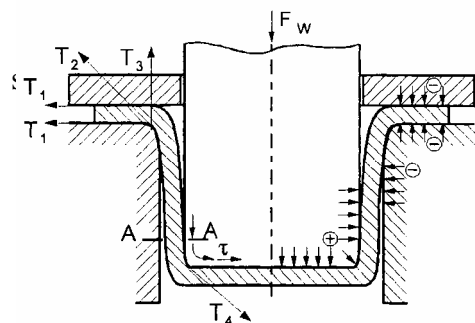
Rys. 14.1. Schemat stanów naprężenia i odkształcenia przy wytlaczaniu sztywnymi narzędziami z dociskaczem

Jak wynika z rysunku, w procesie wytłaczania mogą wystąpić zarówno jedno, dwu, jak i trójosiowe stany naprężenia i odkształcenia, przy czym w denku i części walcowej wytłoczki przeważają naprężenia rozciągające, natomiast w kołnierzu (pod dociskaczem) oprócz naprężeń rozciągających występują również naprężenia ściskające. Proces wytłaczania jest realizowany na ogół na prasach, przy czym jeden element narzędzia (stempel) wykonuje ruch posuwisto-zwrotny, drugi (matryca) jest nieruchomy, a odkształcany metal ślizga się po powierzchni narzędzia.

Z uwagi na warunki mechaniczne i kinematyczne proces tłoczenia należy do procesów mało stabilnych, gdyż w czasie każdego cyklu wytłaczania ulegają zmianie zarówno wartość siły wytłaczania, jak również prędkość i temperatura. Kontakt narzędzia z odkształcanym metalem ma charakter cykliczny.

14.2.2. Wpływ tarcia na prowadzenie procesu.

Schemat oddziaływania sił tarcia w procesie wytłaczania z dociskaczem ilustruje rys. 14.2.



Rys.14.2. Schemat oddziaływania sił tarcia w procesie wytłaczania z dociskaczem

W procesie wytłaczania należy pokonać opory tarcia występujące:

- w dociskaczu,
- na krawędzi ciągowej matrycy,
- w szczelinie ciągownika,
- na stemple.

Zależnie od schematu procesu i warunków technologicznych siły tarcia mogą wywierać wpływ zarówno dodatni, jak i ujemny.

Tarcie występujące w dociskaczu wpływa na zwiększenie naprężeń osiowych.

Opory tarcia w dociskaczu wywierają więc wpływ niekorzystny i mogą prowadzić do zerwania wytłoczki. Ma to szczególne znaczenie

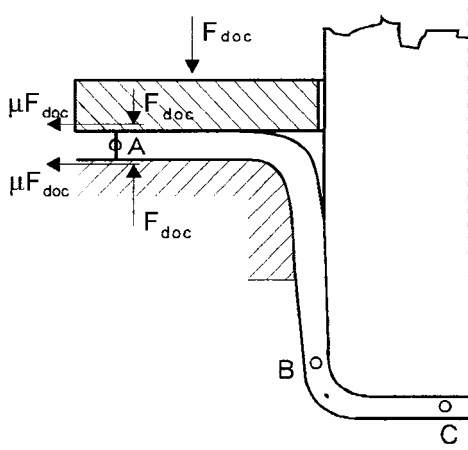
przy wytłaczaniu blach o małej grubości, gdyż wraz ze zmniejszeniem grubości maleje przekrój czynny wytłoczki, podczas gdy powierzchnia tarcia nie ulega zmianie.

Tarcie odkształcanej blachy o powierzchnię pierścienia ciągowego (na krawędzi ciągowej oraz w szczelinie ciągownika) powoduje wzrost nacisku wywieranego przez stempel i zwiększa niebezpieczeństwo oderwania dna wytłoczki (niebezpieczny przekrój A-A rys. 14.2), a więc również wywiera wpływ ujemny. Ponadto w jednym i drugim przypadku tarcie powoduje zwiększenie siły wytłaczania F_w , a przez to pogorszenie współczynnika sprawności energetycznej procesu. Jedynie tarcie odkształcanej blachy o powierzchnię stempla wywiera wpływ dodatni, gdyż zwiększa siłę F^{cr} (siła konieczna do zerwania wytłoczki), a więc jest czynnikiem ułatwiającym tłoczenie. Tarcie wywiera także wpływ na odkształcalność graniczną oraz na zmianę grubości ścianek, przy czym zmiany te są różne w różnych obszarach wytłoczki.

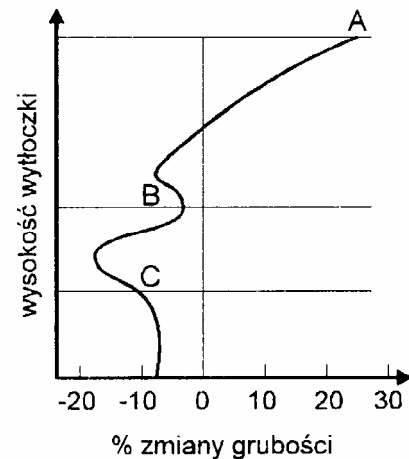
Zmianę grubości blachy wg badań B. Fogga ilustruje rys. 14.3. Wyraźne zmiany grubości wytłoczki występują w strefie zetknięcia z czołem stempla, przy czym istotny wpływ na nierównomierność odkształceń wywiera tutaj tarcie między stemplem a wytłózką. Metal będący w kontakcie z płaską powierzchnią stempla pocienia się jednorodnie, natomiast metal znajdujący się w obszarze styku z promieniową częścią stempla - niejednorodnie.

Typową krzywą zmiany grubości w funkcji odkształcenia ilustruje rys. 14.4. Widać z niej, że istnieją dwie strefy lokalnego pocienienia - pocienienie dotyczące profilu stempla, nazywane szyjką pierwotną i pocienienie spowodowane zginaniem z rozciąganiem nazywane szyjką pierwotną i pocienienie spowodowane zginaniem z rozciąganiem nazywane szyjką

wtórną. W dalszych obszarach występuje przyrost grubości ścianki wytłoczki. Na zmianę grubości ścianki wytłoczki w procesie tłoczenia istotny wpływ wywierają takie czynniki jak: promień zaokrąglenia stempla, grubość blachy, wartość naprężeń osiowych oraz opory tarcia występujące między stemplem a odkształcanym metalem.



Rys. 14.3. Schemat zmiany grubości blachy w procesie wytłaczania z dociskaczem



Rys. 14.4. Zmiany grubości blachy w różnych obszarach wytłoczki

14.2.3. Czynniki ograniczające proces wytłaczania.

Wpływ tarcia jest szczególnie istotny przy głębokim tłoczeniu, gdy siła tłoczenia jest odpowiednio duża, by spowodować pęknięcie wytłoczki. Aby w procesie wytłaczania nie nastąpiło zerwanie wytłoczki, maksymalna siła wywierana przez stempel P_w musi być mniejsza niż siła zrywająca denko wytłoczki F^{zr} , czyli:

$$F_w \leq F^{zr} \quad (14.1)$$

przy czym siłę F^{zr} można wg Z. Marciniaka wyrazić zależnością:

$$F_{zr} = F_a + F_t = 2\pi R_s g_o \left(1 - \frac{g}{2r_s} + \frac{\mu h}{2R_s} \right) R_m \quad (14.2)$$

gdzie: F_a - maksymalna siła, którą jest w stanie przenieść przekrój A-A wytłoczki;

F_t - siła tarcia blachy o stempel;

R_s - promień stempla;

r_s - promień zaokrąglenia krawędzi stempla;

g_o - początkowa grubość blachy;

g - grubość blachy po tłoczeniu;

h - wysokość strefy przylegania,

R_m - wytrzymałość blachy na rozciąganie;

μ - współczynnik tarcia.

Warunek ten ogranicza jednocześnie maksymalną średnicę krążka, z którego można wytłoczyć naczynie o wymaganej średnicy bez obawy zerwania wytłoczki.

Innym problemem ograniczającym proces wytłaczania jest wpływ tarcia na ogólną wartość siły wytłaczania i współczynnik sprawności procesu. Według Z. Marciniaka wartość rzeczywistej siły wytłaczania można wyznaczyć ze wzoru:

$$F_w = \frac{1}{\eta} \left[2\pi R_s (\sigma_p g) \dot{s}r \left(\ln \frac{R_k}{R_s} + \frac{g_k}{2\rho} \right) + 2\mu P_{doc} \frac{R_s}{R_k} \right] \sin \alpha \quad (14.3)$$

gdzie: R_k - zewnętrzny promień kołnierza;

ρ - krzywizna środkowej warstwy blachy na krawędzi matrycy;

α - kąt pochylenia stycznej;

σ_p - naprężenie uplastyczniające kołnierza;

g_k - końcowa grubość kołnierza;

η - współczynnik sprawności energetycznej procesu.

Wyrażenia na siłę wytłaczania F_w podawane przez innych autorów oparte są na podobnych założeniach.

Ze wzoru wynika, że jeśli pominie się wpływ zmiany takich wielkości jak: R_s , R_k/R_s , σ_p , g (spowodowanych umocnieniem), to wzrost oporów tarcia powoduje wzrost siły wytłaczania. Aby zatem zapewnić większą stateczność procesu wytłaczania oraz realizować proces przy minimalnym zużyciu energii, należy dążyć do zmniejszenia oporów tarcia w dociskaczu, na krawędzi gnącej oraz w szczelinie ciągnika, nie eliminując tarcia między stemplem a odkształcaną blachą.

14.2.4. Skutki oddziaływania sił tarcia.

Efekty oddziaływania sił tarcia w procesie wytłaczania można zaliczyć zarówno do pozytywnych, jak i negatywnych czynników.

Do negatywnych skutków oddziaływania sił tarcia należą:

- zwiększenie nierównomierności odkształceń, powodujące znaczne zmiany grubości wytłoczki, a nawet pęknięcie (oderwanie dna wytłoczki),
- wzrost naprężeń promieniowych σ_2 , powodujący niebezpieczeństwo powstawania pęknięć w wytłoczce,
- wzrost siły wytłaczania F_w , spowodowany oporami tarcia w dociskaczu i ciągniku,
- wzrost temperatury w obszarze styku w granicach $30 \div 80^\circ \text{C}$ i pogorszenie warunków smarowania (na skutek zmiany lepkości smaru),
- pogorszenie gładkości powierzchni wytłoczki (rysowanie),
- obniżanie trwałości narzędzi.

Pozytywnym efektem jest oddziaływanie sił tarcia występujących między odkształcanym metalem a stemplem.

14.2.5. Wpływ tarcia na własności warstwy wierzchniej

Mimo wielu badań i doświadczeń nie przedstawiono do tej pory dokładnych związków między warunkami tarcia a uzyskanym polem własności warstwy wierzchniej wyrobu. Dotychczas konstruktor projektując wyrób zwracał uwagę na takie cechy, jak:

- wytrzymałość na obciążenia,
- dokładność wymiarowo-kształtową,
- odporność na korozję - bądź estetykę wyrobu.

Obecnie istnieje pogląd, że o jakości wyrobu, a zwłaszcza o cechach użytkowych, takich jak trwałość i niezawodność, decyduje w bardzo dużym stopniu stan warstwy wierzchniej. W procesach obróbki plastycznej, poza nadawaniem wymiarów i kształtów obrabianemu elementowi, należy dążyć do uzyskania wymaganych własności warstwy wierzchniej, zwłaszcza w tych przypadkach, gdy obróbka plastyczna jest obróbką ostateczną wyrobu.

Do istotnych czynników wpływających na stan warstwy wierzchniej wyrobu można zaliczyć:

- warunki tarcia,
- parametry kształtowania (naciski jednostkowe, prędkość odkształcenia, temperatura odkształcenia metalu).

Występujące w strefie kontaktu, odkształcany metal - narzędzie, tarcie zewnętrzne, a ściślej zespół procesów trybologicznych, ma istotny wpływ na stan warstwy wierzchniej wyrobu, jak i zmiany stanu warstwy wierzchniej narzędzia.

Różnorodność procesów trybologicznych obejmujących:

- mechaniczne współdziałania powierzchni trących,
- adhezyjne współdziałanie przesuwających się względem siebie powierzchni,
- reakcje fizykochemiczne, które są efektem oddziaływania ciała trzeciego - czyli smaru, świadczy o złożoności wpływu tych czynników i trudności przewidywania skutków końcowych.

Przez tarcie zewnętrzne jest wywierany wpływ na własności mechaniczne warstwy wierzchniej wyrobu (rozkład i wartość naprężeń własnych, stopień umocnienia, stekstrowanie, wady budowy), jak też na własności stereometryczne, tj. chropowatość powierzchni, nośność, falistość.

W procesach obróbki plastycznej wartości współczynników tarcia są około 10 - krotnie większe niż w przypadku elementów maszyn. Zmniejszenie oporów tarcia, a przez to poprawa jakości wyrobu, możliwe jest przez odpowiedni dobór własności warstwy wierzchniej narzędzia.

W przypadku procesów obróbki plastycznej odkształcany metal jest z góry narzucony, w odróżnieniu od elementów maszyn, gdzie możliwy jest dobór materiałów pary trącej w dość szerokim zakresie. Materiał narzędzia w obróbce plastycznej może być zmieniany w granicach, na które pozwalają względy wytrzymałościowe. Zmianę składu chemicznego warstwy wierzchniej narzędzia można uzyskać przez stosowanie różnych procesów obróbki cieplno - chemicznej, galwanicznej itp.

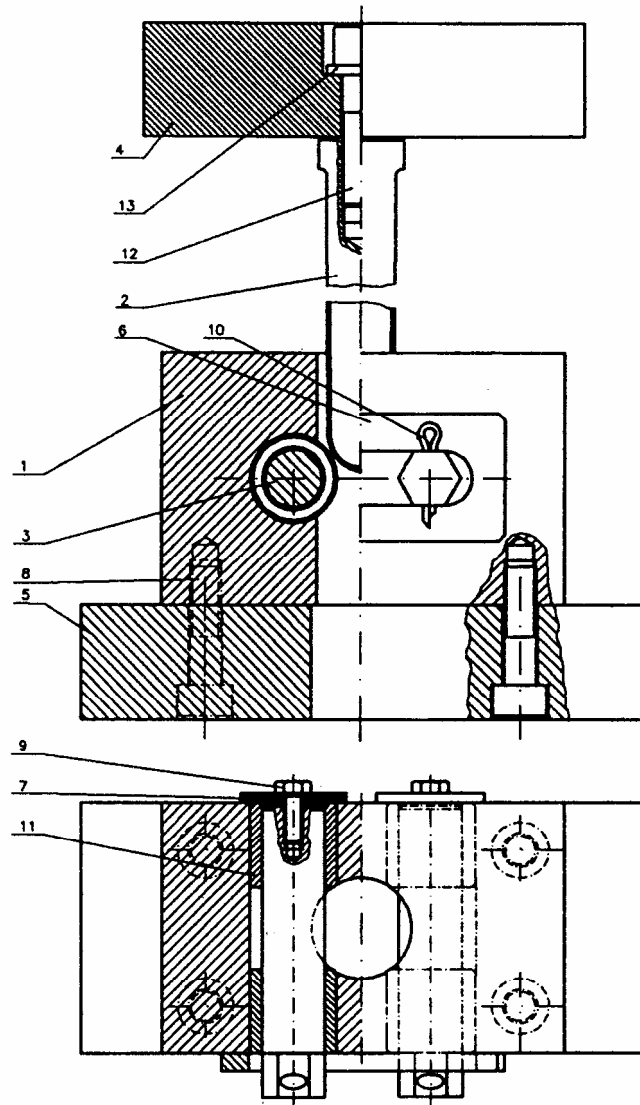
Stan warstwy wierzchniej narzędzia powinien być tak dobrany, aby przy zastosowanej technice wytwarzania narzędzie nie traciło zbyt szybko swoich własności geometrycznych i zapewniało uzyskanie wymaganej jakości wyrobów określanej przez użytkownika.

Szczególnie wyróżniającymi się parametrami warstwy wierzchniej w procesach obróbki plastycznej w stosunku do innych procesów technologicznych w przyszłości mogą być:

- głębokość zalegania warstwy wierzchniej,
- gradienty: naprężeń własnych, mikrotwardości, zmian strukturalnych.

14.2.3. Próba zacierania blach

Schemat przyrządu do wyznaczania wskaźników charakteryzujących ocenę skłonności blach do zacierania obrazuje rys. 14.5. Próba oceny skłonności blach do zacierania polega na przepychaniu klinowego stempla 2 w dół, z opasaną na nim próbką, pomiędzy dwiema sztywno zamocowanymi przeciwpróbkami 3, umieszczonymi w korpusie 1.



Rys. 14. 5. Schemat przyrządu do próby zacierania: 1 - korpus, 2 - stempel, 3 - przeciwpróbka, 4 - płyta stemplowa, 5 - płyta podstawy, 6 - płytka boczna, 7, 13 - podkładki, 8, 9, 12 - śruby, 10 - zawleczka, 11 - tulejka

Tarcie próbki o przeciwpróbki zmniejsza jej grubość, aż do momentu gdy odkształcenie osiągnie wartość graniczną, charakterystyczną dla danego gatunku blachy i warunków tarcia. Efektem końcowym procesu tarcia jest zerwanie próbki. Przeciwpróbki są wałeczkami i obracane są o niewielki kąt, żeby odsłonić ich nową, nie zatartą powierzchnię. Zostały one wykonane ze stali narzędziowej (NC10) i zahartowane do twardości $60 \text{ HRC}_{\text{min}}$, z powodu istniejących w procesie dużych nacisków powierzchniowych.

Stempel wykonany jest z wałka ze stali narzędziowej (NC10). Ma kształt klina, który obrabia się cieplnie na twardość 60 HRC.

Próbki są wykonane w postaci pasków blachy o wymiarach 12,5 x 320 mm i grubości 1 mm. Pobiera się je równolegle do kierunku walcowania blachy.

Przed rozpoczęciem badania sprawdza się początkową chropowatość powierzchni próbki R_{ao} (średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej) za pomocą profilografometru. Następną czynnością jest odftuszczenie rozpuszczalnikiem (np. benzyną lub tri) powierzchni roboczych przeciwpróbek oraz próbki po obu jej stronach.

W celu zachowania tych samych warunków tarcia w każdym przeprowadzonym doświadczeniu, należy użyć nowe przeciwpróbki lub też regenerować ich powierzchnie robocze przez polerowanie i mycie.

Przyrząd jest przystosowany do maszyny wytrzymałościowej o nacisku nie mniejszym niż 150 kN z prędkością od 15 do 100 mm/min.

W wyjątkowych przypadkach należy użyć stempla o większej długości niż podany, tzn. takiego który zapewni zerwanie próbki. Do szczególnych przypadków należy zaliczyć kształtowanie bardzo plastycznych materiałów, jak również użycie smaru, który umożliwia osiągnięcie bardzo dużych odkształceń granicznych.

Powiększenie długości stempla może być związane z koniecznością zwiększenia długości próbki.

Wyznaczanie wskaźników na zatarcie

Wskaźniki te charakteryzują skłonność blach do zacierania się podczas tłoczenia. Informują pośrednio o maksymalnie osiągalnej wielkości odkształcenia plastycznego w obecności sił tarcia i związanym z nim zjawisku szczepności. Na ocenę skłonności do zacierania składają się następujące wskaźniki:

- umowny wskaźnik odporności próbki na zatarcie T ,
- wskaźnik zmiany chropowatości W_R ,
- graniczny ubytek próbki ε_{gr} .

Ad. a) Po dokonaniu próby umieszcza się odkształcony pasek blachy na stoliku mikroskopu warsztatowego. Następnie wykonuje się pomiar sumarycznej szerokości s śladów zatarcia na pasku blachy w oznaczonych odległościach od początku nawiązania styku próbki z przeciwpróbką oraz całkowitej szerokości powierzchni styku s_c . Pomiar jest pobierany w odległościach 10, 20, 40, 60, 80, 100% odległości drogi tarcia L_t od miejsca nawiązania styku (wg schematu na rys. 14.6).

Wyniki pomiarów względnej szerokości pola zatarcia

$$R = \frac{s}{s_c} \cdot 100\% \quad (14.4)$$

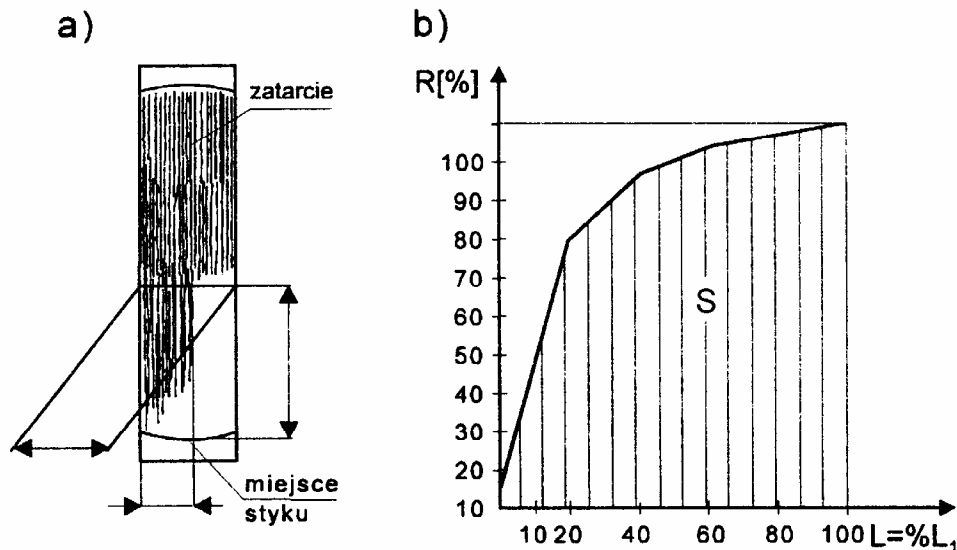
nanosi się na wykres w funkcji drogi tarcia L_t (wg schematu 14.6b).

Wskaźnik skłonności do zacierania jest to stosunek pola pod krzywą wykresu do pola całkowitego. Wyraża się wzorem:

$$T = \frac{S}{S_c} \quad (14.5)$$

gdzie: S - pole powierzchni zatarcia

S_c - całkowite pole styku próbki z przeciwpróbką,



Rys. 14.6. Schemat wyznaczania wskaźnika T: a) schemat pomiaru na próbce, b) wykres pola zatarcia

Pole S pod krzywą na wykresie mierzy się za pomocą planimetru lub oblicza się ze wzoru:

$$S = 10(s_{10}+s_{100})+15s_{20}+20(s_{40}+s_{60}+s_{80}) \quad (14.6)$$

Wskaźnik o wartości równej zero oznacza, że nie ma żadnych śladów zatarcia na powierzchni współpracy próbki z przeciwpróbką, natomiast wskaźnik równy jedności informuje, że zatarcie wystąpiło na całej powierzchni od początku nawiązania styku.

Ad. b) Wskaźnik zmiany chropowatości W_R podczas odkształcenia jest to stosunek chropowatości powierzchni po odkształceniu do pierwotnej chropowatości próbki. Wskaźnik ten oblicza się ze wzoru:

$$W_R = \frac{R_{at}}{R_{ao}} \quad (14.7)$$

gdzie: R_{ao} - początkowa chropowatość powierzchni blachy przed odkształceniem,
 R_{at} - chropowatość próbki po odkształceniu.

Do pomiaru chropowatości stosuje się profilografometr. Mierzy się najpierw R_{ao} , a następnie R_{at} w kierunku prostopadłym do kierunku tarcia, w miejscu największego odkształcenia, po stronie przeciwnej do miejsca zerwania próbki. Pomiaru dokonuje się na odcinku o długości 3, 2 mm.

Wskaźnik W_R mniejszy od jedności oznacza, że w procesie tarcia nastąpiło wygładzanie powierzchni. Wzrost wskaźnika świadczy o zmianach zachodzących na powierzchni tarcia podczas odkształcenia próbki.

Ad. c) Graniczny ubytek grubości próbki ε mierzy się po stronie przeciwnej do miejsca zerwania. Oblicza się go ze wzoru:

$$\varepsilon = \ln \frac{g_1}{g_0} \quad (14.8)$$

gdzie: g_0 - początkowa grubość blachy mierzona jest z dokładnością do 0,01 mm,

g_1 - grubość próbki mierzona po zerwaniu w miejscu największego odkształcenia, po stronie przeciwnej do miejsca zerwania, z dokładnością 0,01 mm.

14.3. Pomoce i urządzenia

- maszyna wytrzymałościowa o nacisku nie mniejszym niż 150 kN,
- przyrząd do wyznaczania wskaźnika na zatarcie wraz z wyposażeniem,
- mikroskop warsztatowy,
- profilografometr,
- mikrometr,
- rozpuszczalnik do odtłuszczania próbki i przeciwpróbek (benzyna lub tri),
- próbki.

14.4. Instrukcja do ćwiczenia

- zmierzyć początkową grubość próbki g_0 z dokładnością do 0,01 mm,
- sprawdzić profilografometrem początkową chropowatość powierzchni próbki R_{a0} przed odkształceniem,
- umieścić na maszynie wytrzymałościowej przyrząd do wyznaczania wskaźnika na zatarcie,
- odtłuścić dokładnie powierzchnie robocze przeciwpróbek oraz próbki,
- założyć na stempel próbkę (wg rys. 14.5.) i obciążyć go siłą, aż do zerwania próbki,
- odnotować maksymalną siłę przyłożonego obciążenia, ustalić prędkość i naciski powierzchniowe przeprowadzonego procesu,
- dokonać pomiaru na mikroskopie warsztatowym sumarycznej szerokości śladów zatarcia S oraz całkowitej szerokości powierzchni styku S_c w oznaczonych odległościach,
- przeprowadzić obliczenia względnej szerokości pola zatarcia według wzoru (14.4) i wykonać na papierze milimetrowym wykres $R = f(L)$ (wg rys. 14.6 b),
- za pomocą planimetru lub innej metody dokonać pomiaru pola F pod krzywą na wykresie $R = f(L)$,
- przeprowadzić obliczenia wskaźnika skłonności do zacierania wg wzoru (14.5),
- wykonać pomiar chropowatości R_{at} i obliczyć wskaźnik chropowatości wg wzoru (14.7),
- zmierzyć grubość próbki g_1 po zerwaniu w miejscu największego odkształcenia i obliczyć graniczny ubytek grubości próbki wg wzoru (14.8),
- próbę przeprowadzić kilkakrotnie i wartości uśrednić.

14.5. Sprawozdanie

Sprawozdanie z przeprowadzonego ćwiczenia winno zawierać:

- rysunek próbki,
- wykres względnej szerokości pola zatarcia $R = f(L)$,
- przykładowe obliczenia,
- wykonaną według wzoru tablicę 14.1 z odnotowanymi informacjami dotyczącymi: materiału próbki, matrycy i wyników wcześniej wykonanych obliczeń,
- wnioski z przeprowadzonego doświadczenia.

Tablica 14.1.

Typowe warunki procesu

Blacha ze stali		Stan		R _m =		[Mpa]			
Wymiary próbki		[mm]		grubość g ₀ =		[mm]			
Matryca (dwa wałeczki)		Stempel (w postaci klina)		Nacisk powierzchniowy [MPa]		Siła nacisku na stempel [kN]		Prędkość przeprowadzania procesu [mm/s]	
Wymiary narzędzia				Warunki wytłaczania					
V _k = [mm]		L _s = [mm]		K =		P =		V =	
S _k = [mm]		r _s = [mm]							
h _k = [mm]		S _s = [mm]							
		α _s =							
Pomiary i obliczenia względnej szerokości pola zatarcia									
Droga tarcia L = % L _t		10	20	40	60	80	100		
s [mm]									
s _c [mm]									
$R = \frac{s}{s_c} \cdot 100\%$									
Pomiar i obliczenia do wyznaczenia wskaźników na zatarcie									
Nr próbki	S [mm ²]	S _c [mm ²]	$T = \frac{S}{S_c}$	R _{ao} [m]	R _{at} [m]	W _R	g ₀ [mm]	g ₁ [mm]	$\varepsilon = \frac{\ln g_1}{g_0}$
1									
2									
3									
4									
5									
6									
wartość średnia									
V _k - promień krążka, S _k - szerokość krążka, h _k - wysokość krążka, L _s - długość stempla, r _s - promień stempla, α _s - kąt stempla.									

Literatura

[26,35,40]

LITERATURA

Część I - Odlewnictwo

- [1] Błaszczkowski K.: Technologia formy i rdzenia. Warszawa: WSiP 1979.
- [2] Chudzikiewicz R., Briks W.: Podstawy metalurgii i odlewnictwa. Warszawa: PWN 1977.
- [3] Górny Z., Lech Z.: Odlewanie kokilowe stopów metali nieżelaznych. Warszawa: WNT 1975.
- [4] Jopkiewicz A., Pawlak M., Paczyniak T., Żakowski C., Kaczorowski R.: Odlewnictwo. Laboratorium. Łódź: Wyd. Politechniki Łódzkiej 2001
- [5] Kosowski A.: Zarys odlewnictwa i wytapianie stopów. Kraków: Wyd. AGH 2001
- [6] Lewandowski L.: Materiały formierskie. Laboratorium. Kraków: Wyd. AGH 1997.
- [7] Longa W.: Krzepnięcie odlewów w formach piaskowych. Katowice: Śląsk 1973.
- [8] Murza - Mucha P.: Techniki wytwarzania - odlewnictwo. Warszawa: PWN 1978.
- [9] Perzyk M., Błaszczkowski K., Haratym R., Szczepanik., Waszkiewicz S. Materiały do projektowania procesów odlewniczych. Warszawa: Wyd. Politechniki Warszawskiej 1981.
- [10] Perzyk M., Waszkiewicz S., Kaczorowski M., Jopkiewicz A.: Odlewnictwo. Warszawa WNT 2000
- [11] Poradnik inżyniera. Odlewnictwo. Warszawa: WNT 1986.
- [12] Praca zbiorowa. Wybrane zagadnienia z technologii odlewnictwa. Warszawa: Wyd. Politechniki Warszawskiej 1982.
- [13] Praca zbiorowa: Podstawy odlewnictwa - ćwiczenia laboratoryjne. Poznań: Wyd. Politechniki Poznańskiej 1993.
- [14] Praca zbiorowa. Ćwiczenia laboratoryjne i projektowe z odlewnictwa. Warszawa: Wyd. Politechniki Warszawskiej 1978.
- [15] Praca zbiorowa. Odlewnictwo. Ćwiczenia laboratoryjne z technologii formowania, topienia i odlewania metali. Gliwice: Wyd. Politechniki Śląskiej 1993.
- [16] Materiały do ćwiczeń laboratoryjnych z technik wytwarzania. Odlewnictwo i obróbka plastyczna (Red. S. Butnicki). Gdańsk: Wyd. Politechniki Gdańskiej 1984.
- [17] Rączka J., Tabor A.: Technologia Odlewnictwa. Projektowanie. Kraków: Wyd. Politechniki Krakowskiej 1994.
- [18] Rączka J., Stryjski J., Tabor A.: Technologia Odlewnictwa. Projektowanie nowoczesnych metod wykonywania odlewów. Kraków: Wyd. Politechniki Krakowskiej 1994.
- [19] Skarbiński M.: Technologiczność konstrukcji maszyn. Warszawa: WNT 1977.
- [20] Skoblik R., Wilczewski L.: Odlewnictwo i obróbka plastyczna. Laboratorium. Gdańsk: Wyd. Politechniki Gdańskiej 1997
- [21] Tabor A.: Wybrane zagadnienia z odlewnictwa. Kraków: Wyd. Politechniki Krakowskiej 1998
- [22] Szweycer M., Nadolska D.: Metalurgia i odlewnictwo. Poznań: Wyd. Politechniki Poznańskiej 2002

Część II - Obróbka plastyczna

- [23] Dobrucki W.: Zarys obróbki plastycznej metali. Katowice: Śląsk 1975.
- [24] Erbel S., Kuczyński K., Marciniak Z.: Obróbka plastyczna. Warszawa: PWN 1986.
- [25] Dobrzański L.A., Nowosielski R.: Metody badań metali i stopów. Badania własności fizycznych. Warszawa: WNT 1987.
- [26] Gierzyńska M.: Tarcie, zużycie i smarowanie w obróbce plastycznej metali. Warszawa: WNT 1983.

- [27] Jaglarz Z., Leskiewicz W., Morawiecki M.: Technologia i urządzenia walcownicze. Katowice: Śląsk 1977.
- [28] Katarzyński S., Kocańda S., Zakrzewski M.: Badania własności mechanicznych metali. Warszawa: WNT 1968.
- [29] Kuczyński K., Erbel S.: Obróbka plastyczna. Laboratorium. Warszawa: Wyd. Politechniki Warszawskiej 1984.
- [30] Łuksza J.: Elementy ciągarstwa. Kraków: Wyd. AGH 2001
- [31] Marciniak Z.: Mechanika procesów tłoczenia blach. Warszawa: WNT 1961.
- [32] Marciniak Z.: Odkształcenia graniczne przy tłoczeniu blach. Warszawa: WNT 1971.
- [33] Marciniak Z., Kołodziejcki J.: Teoria procesów obróbki plastycznej. cz.II. Tłoczenie blach. Warszawa: Wyd. Politechniki Warszawskiej 1983.
- [34] Morawiecki M., Sadok L., Wosiek E.: Przeróbka plastyczna, podstawy teoretyczne. Katowice: Śląsk 1986.
- [35] Praca zbiorowa. Ocena materiałów hutniczych z punktu widzenia wymagań obróbki plastycznej na zimno - Część I. Pręty. Część II. Blachy. Poznań: Instytut Obróbki Plastycznej 1981.
- [36] Praca zbiorowa. Ćwiczenia laboratoryjne z budowy maszyn. Część II. Obróbka plastyczna. Wrocław: Wyd. Politechniki Wrocławskiej 1981.
- [37] Praca zbiorowa. Materiały do ćwiczeń laboratoryjnych z technik wytwarzania. Odlewnictwo i obróbka plastyczna. Gdańsk: Wyd. Politechniki Gdańskiej 1984.
- [38] Praca zbiorowa pod redakcją Sińczaka J.: Procesy przeróbki plastycznej – ćwiczenia laboratoryjne. Podstawy teoretyczne i wykonawstwo ćwiczeń. Kraków: Wydawnictwa Naukowe AKAPIT 2001
- [39] Romanowski W.P.: Poradnik obróbki plastycznej na zimno. Warszawa: WNT 1976.
- [40] Skoblik R., Wilczewski L.: Odlewnictwo i obróbka plastyczna. Laboratorium. Gdańsk: Wyd. Politechniki Gdańskiej 1997
- [41] Stachowicz F.: Obróbka plastyczna. Laboratorium. Rzeszów: Wyd. Politechniki Rzeszowskiej 1993.
- [42] Wasiunyk P.: Kucie matrycowe. Warszawa: WNT 1987.
- [43] Wasiunyk P.: Teoria procesów kucia i prasowania. Warszawa: WNT 1991.