

JANUSZ KLEPACZKO I JACEK LITOŃSKI

WŁASNOŚCI MATERIAŁÓW PRZY GIĘCIU WALCOWYM

ROZPRAWY
INŻYNIERSKIE
CCXIII

TOM IX • ZESZYT 4 • ROK 1961

Przy wyznaczaniu zasadniczych parametrów procesów technologicznych gięcia bardzo wygodne jest posługiwanie się znaną doświadczalnie zależnością pomiędzy momentem zginającym M a krzywizną $1/\rho$. Krzywą tego rodzaju (dla uniezależnienia się od wymiarów giętego przedmiotu) buduje się we współrzędnych M/W i $g/2\rho$, gdzie W jest wskaźnikiem przekroju poprzecznego, ρ promieniem krzywizny warstwy środkowej materiału, a g grubością przekroju poprzecznego.

Według pracy [1] wykres taki, uzyskany dla danego kształtu przekroju poprzecznego, pozwala na znalezienie momentów, sił, pracy, powrotnych odkształceń sprężystych i innych wielkości przy zginaniu elementów o geometrycznie podobnych przekrojach.

Dla wygody w zastosowaniu wprowadza się jeszcze współczynnik λ , którego wykres $\lambda = \psi(g/2\rho)$ razem z krzywą $M/W = f(g/2\rho)$ jako tzw. krzywe gięcia, stanowią podstawową charakterystykę materiału użytego do zginania. Współczynnik ten definiuje się jako stosunek pola wykresu M/W do pola prostokąta opisanego na tym wykresie. Ponieważ odcięte $g/2\rho$ tego wykresu są proporcjonalne do kąta zakrzywienia α pewnego odcinka materiału o długości l [zachodzi bowiem $g/2\rho = (g/2l)\alpha$], a rzędne do momentu M , przeto pole pod krzywą M/W jest proporcjonalne do pracy gięcia $L = \int_0^\varphi M(\alpha) d\alpha$. Korzystając z definicji współczynnika λ otrzymujemy

$$\lambda(\varphi) = \frac{\int_0^\varphi M(\alpha) d\alpha}{M(\varphi)\varphi},$$

skąd wynika wzór

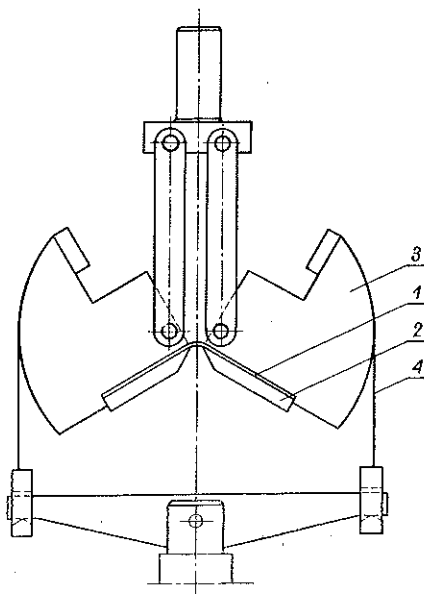
$$(1) \quad L = M(\varphi)\lambda(\varphi)\varphi$$

na pracę wykonaną przy zginaniu za pomocą momentu początkowo prostego elementu do postaci łuku o kącie środkowym φ .

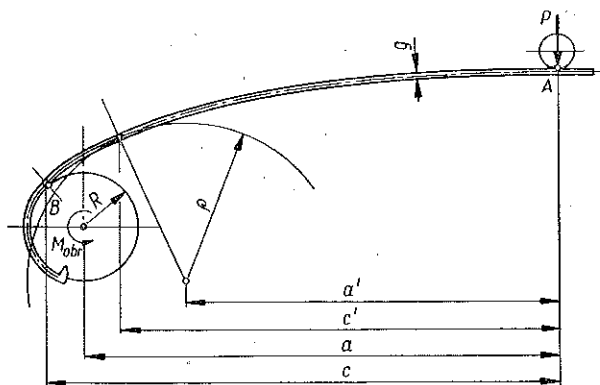
Przykłady zastosowań krzywych M/W i λ do wyznaczania parametrów różnych procesów gięcia omawia cytowana wyżej praca [1].

Celem niniejszej pracy było uzyskanie krzywych gięcia dla blach z różnych materiałów. Krzywe wyznaczono posługując się dwiema różnymi metodami. W pierwszej z nich próbka wycięta z blachy była zginana momentem, w drugiej owijana na wzorniku. Przyrząd stosowany w metodzie pierwszej pokazany jest na rys. 1. Próbka 1 umieszczona jest pomiędzy szczękami 2 i segmentami łukowymi 3

w ten sposób, by długość jej części zginanej wynosiła około 10 mm. Przyrząd zamocowuje się w uchwytach zrywarki i poddaje obciążeniu rozciągającemu. Jednocześnie układ piszący maszyny kreśli wykres siły obciążającej w zależności od przesunięcia uchwytów.



Rys. 1. Schemat przyrządu do zginania
1-zginana próbka, 2-szczęki zaciskające próbkę,
3-segmenty łukowe, 4-ciężna



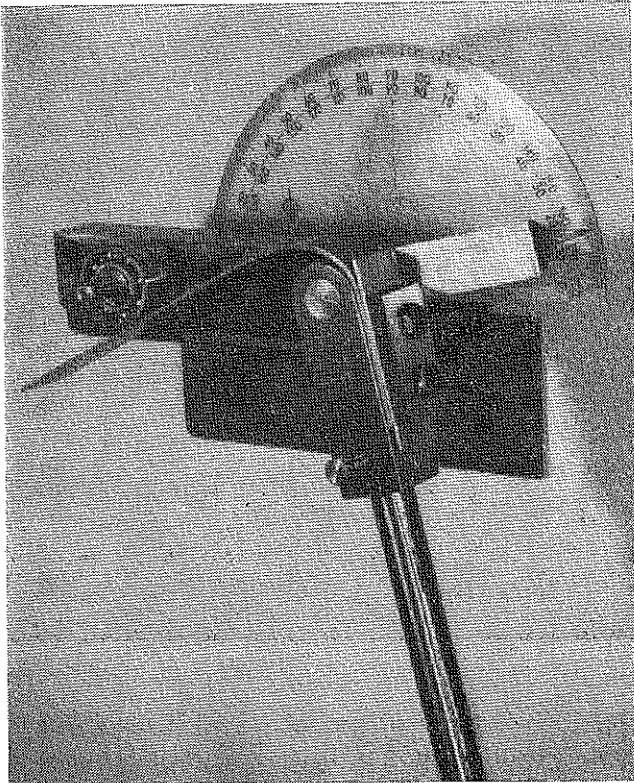
Rys. 2. Schemat owijania taśmy na
wzorniku

Krzywą M/W wyznaczono z wykresu otrzymanego ze zrywarki wykorzystującą, zachodzącą proporcjonalność pomiędzy siłą obciążającą a momentem zginającym działającym na próbkę, oraz między przesunięciem uchwytów (zmniejszonym

o odkształcenia sprężyste cięgien) a wielkością $g/2\varrho$. Krzywą λ otrzymano planimetrując wykres M/W .

W drugiej metodzie punkty obydwu wykresów znajdowano na podstawie znajomości kształtu, jaki przybiera próbka mająca postać taśmy, owijana na wzorniku. Zasada tej metody jest następująca.

Rozważmy (rys. 2.) taśmę owiniętą na wzorniku o promieniu R , dociskaną prostopadle siłą P przez rolkę w punkcie A . Z warunku równowagi wynika, że na wzornik musi działać przy tym moment obrotowy $M_{obr} = Pa$. W przekroju prostopadłym do taśmy, w krańcowym punkcie styku z wzornikiem (punkt B) działa



Rys. 3. Przyrząd do wyznaczania krzywych gięcia na podstawie kształtu owiniętej taśmy

moment zginający $M_g = Pc$. Załóżmy, że wzornik obrócił się o kąt φ . Dla wykonania tego obrotu włożono pracę $M_{obr}\varphi$, równą pracy użytej na zagięcie początkowo prostego odcinka taśmy o długości $(R+g/2)\varphi$ w łuk o promieniu środkowym $R+g/2$. Pomijając wpływ sił poprzecznej i osiowej możemy uważać, że praca użyta na zagięcie była wykonana przez moment wzrastający od 0 do wartości $M_g = Pc$.

Według wzoru (1) praca ta jest równa $\lambda M_g \varphi$. Porównując pracę włożoną z pracą użytą na zagięciu otrzymujemy

$$(2) \quad M_{obr} = \lambda M_g.$$

Ponieważ

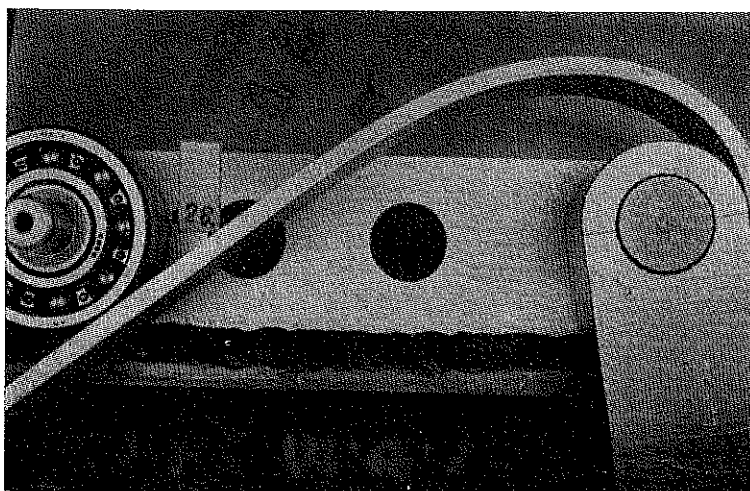
$$(3) \quad M_{obr} = M_g \frac{a}{c},$$

to otrzymujemy ostatecznie

$$(4) \quad \lambda = \frac{a}{c}.$$

Wzór (4) był wyprowadzany w pracy [1] na innej drodze.

Wpisując koła krzywizny w punktach pośrednich między A i B oraz wyznaczając w tych punktach odległości a' i c' , korzystając z (4) możemy otrzymać zależność $\lambda = \Psi(g/2\varrho)$. Znając zaś M_{obr} można obliczyć siłę P i moment gnący w przekrojach taśmy na łuku AB i otrzymać stąd wykres $\sigma_g = f(g/2\varrho)$.

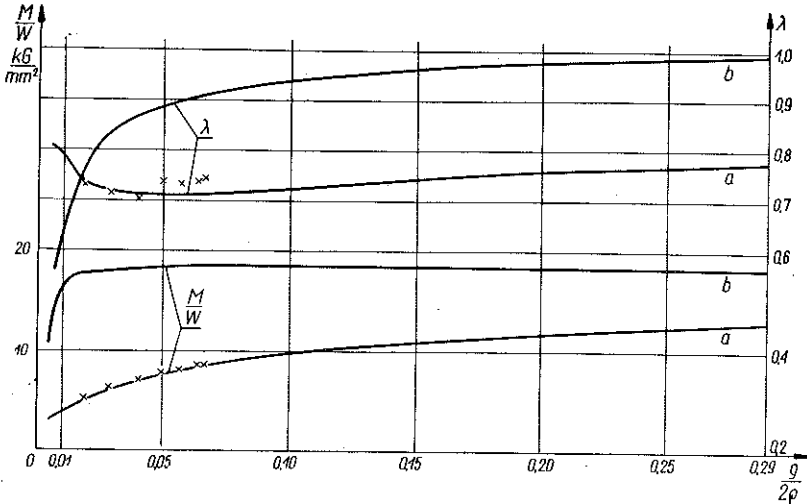


Rys. 4. Taśma aluminiowa po zagięciu na wzorniku

Rysunek 3 przedstawia przyrząd służący do wyznaczania punktów krzywych gięcia podanym wyżej sposobem. Zginana taśma jest mocowana na wahadle będącym jednocześnie wzornikiem. Przy opuszczaniu się wahadła w dół taśma owija się na wzorniku. W pewnym położeniu wahadła ustala się stan równowagi. Odczytując w tym położeniu kąt odchylenia od pionu wahadła o znanym położeniu środka ciężkości i ciężarze oraz znając kierunek normalnej do taśmy w punkcie styku z rolką możemy obliczyć siłę zginającą. Kierunek normalnej, jak również rozkład krzywizn wzdłuż zagiętej taśmy znajdowano na podstawie fotografii (rys. 4) wykonanej w położeniu równowagi aparatem, ustawionym prostopadłe do płaszczyzny obciążenia. Zastępując fotografowaną krzywą odcinkami parabol o znanych równaniach (a tym samym i krzywiznach) znajdowano odległości a' i c' w posz-

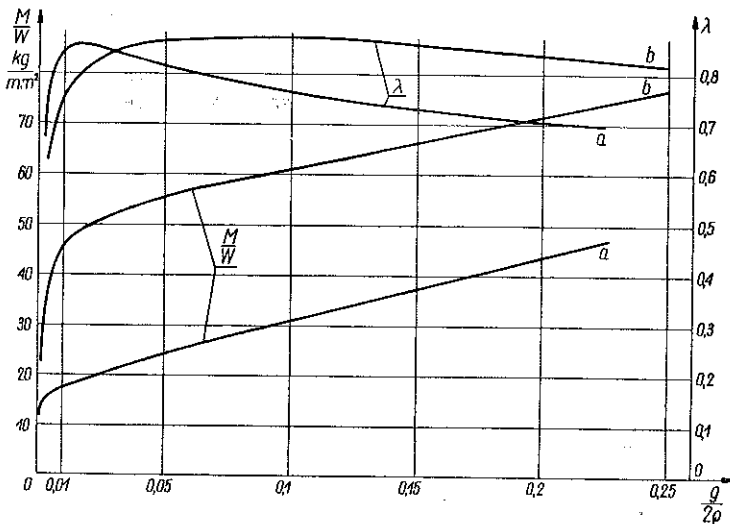
czególnych punktach taśmy, co przy znajomości siły zginającej pozwalało na otrzymanie obydwu krzywych gięcia.

Zaletą drugiej metody jest możliwość bezpośredniego uzyskania wartości λ niezależnie od znajomości krzywej M/W . Wadą jej jest większy niż w pierwszej metodzie błąd wielkości M/W i λ , wynikający z niezbyt dokładnego pomiaru krzy-



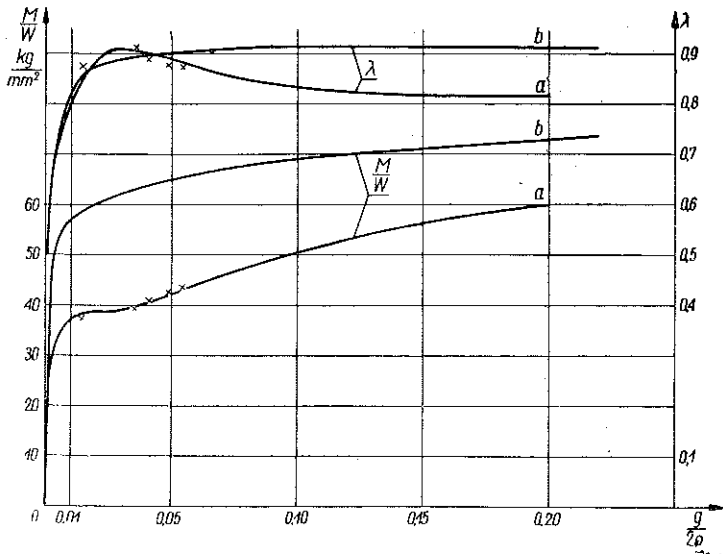
Rys. 5. Krzywe gięcia dla blachy aluminiowej Al 99,5, b/g-14

Krzywe a: materiał wyżarzony przez 0,5 godziny w 450°C, $R_{p10,2}=2\text{ kG/mm}^2$, $R_r=5,5\text{ kG/mm}^2$, $a'=39,5\%$. Krzywe b: materiał niewyżarzony, $R_{p10,2}=10,5\text{ kG/mm}^2$, $R_r=11,5\text{ kG/mm}^2$, $a'=1,5\%$.

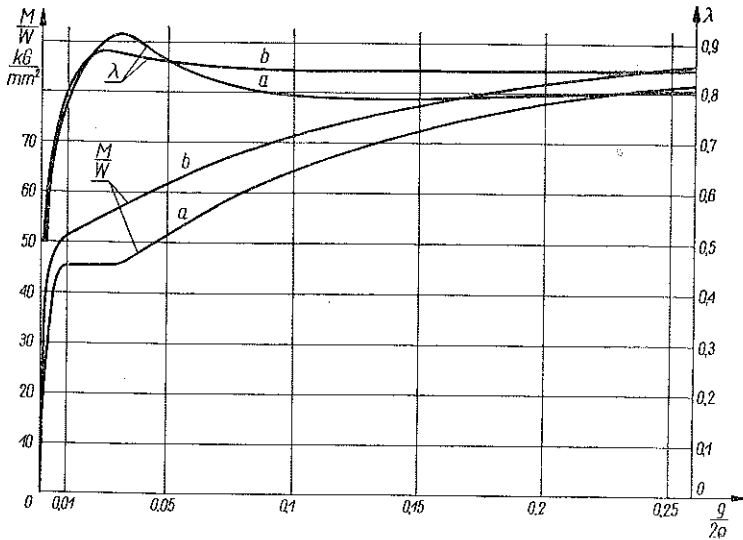


Rys. 6. Krzywe gięcia dla blachy mosiężnej CuZn37, b/g-30

Krzywe a: materiał wyżarzony przez 2,5 godz. w 700°C, $R_{p10,2}=10,5\text{ kG/mm}^2$, $R_r=35\text{ kG/mm}^2$, $a'=55\%$. Krzywe b: materiał niewyżarzony $R_{p10,2}=27,5\text{ kG/mm}^2$, $R_r=42\text{ kG/mm}^2$, $a'=28,5\%$.



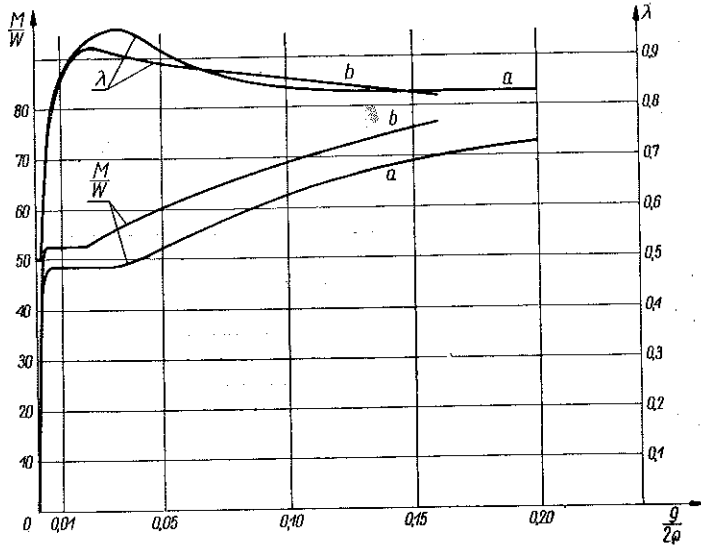
Rys. 7. Krzywe gięcia dla blachy stalowej 0,19%C, $b/g=30$
 Krzywe a: materiał wyżarzony przez 1,5 godz. w 700°C, $R_{pl}=25,5$ kG/mm²,
 $R_p=34,5$ kG/mm², $a'=18\%$. Krzywe b: materiał niewyżarzony, $R_{pl}=33$ kG/mm²
 $R_p=40$ kG/mm², $a'=9\%$



Rys. 8. Krzywe gięcia dla blachy stalowej 0,42%C
 Krzywe a: $b/g=4$, materiał wyżarzony przez 1 godz. w 700°C, $R_{pl}=30$ kG/mm²,
 $R_p=45$ kG/mm², $a'=20\%$. Krzywe b: $b/g=5$, materiał niewyżarzony $R_{pl}=34,5$ kG/mm²,
 $R_p=52$ kG/mm², $a'=15,5\%$

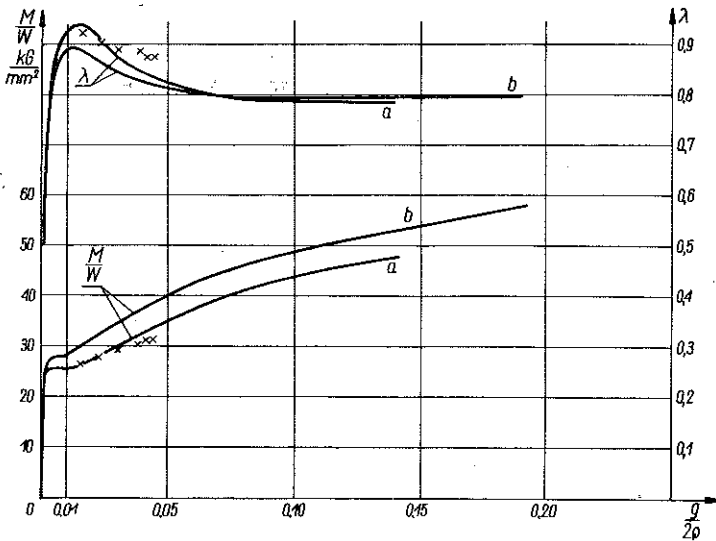
wizny oraz niemożności ścisłego obliczenia siły zginającej wskutek tarcia, występującego na czopie wzornika. Oprócz tego w tej metodzie nie można było uzyskać wartości M/W i λ dla dużych $g/2\rho$.

Ze względu na wspomniane trudności punkty obydwu wykresów, otrzymane na podstawie znajomości kształtu owiniętej taśmy (oznaczone na wykresach krzyżkami), są traktowane jako sprawdzenie krzywych uzyskanych na podstawie dokładniejszej metody pierwszej. Wobec dobrej zgodności wyników obydwu metod (rys. 5, 7, 10, 11) część wykresów wykonano tylko pierwszą metodą.



Rys. 9. Krzywe gięcia dla blachy stalowej 0,25%C, b/g-19

Krzywe a: materiał wyżarzony przez 1,5 godziny w 700°C, $R_{pl}=31 \text{ kG/mm}^2$, $R_T=1 \text{ kG/mm}^2$, $a'=23\%$. Krzywe b: materiał niewyżarzony o tych samych własnościach

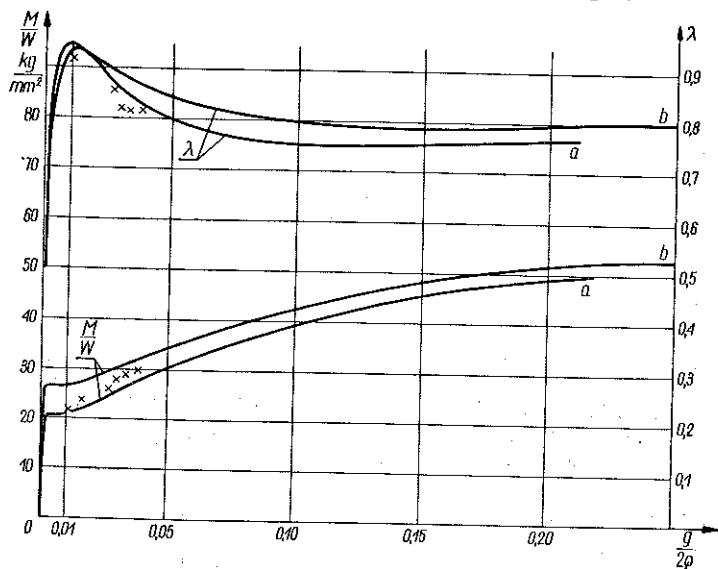


Rys. 10. Krzywe gięcia dla blachy stalowej 0,22%C, b/g-35

Krzywe a: materiał wyżarzony przez 1 godz. w 650°C, $R_{pl}=21 \text{ kG/mm}^2$, $R_T=33 \text{ kG/mm}^2$, $a'=25\%$. Krzywe b: materiał niewyżarzony o tych samych własnościach

Na rysunkach 5-11 przedstawione są krzywe gięcia uzyskane dla blach z aluminium, miedzi i kilku stali. Materiały użyte do badań były wyżarzone rekrytalizująco (krzywe *a*) i w stanie niewyżarzonej (krzywe *b*). Takie dane tych materiałów jak temperatura i czas wyżarzania, granica plastyczności, wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie równomierne zamieszczone są przy wykresach.

Przy wykresach podano również stosunek szerokości zginanej blachy do jej grubości b/g , gdyż dla danego materiału różne wartości tego stosunku zmieniają kształt krzywych. Wpływ ten jest wynikiem istnienia odmiennych stanów naprężenia i odkształcenia w zginanych elementach o różnych stosunkach b/g . I tak dla dużych wartości tego stosunku skutek istnienia w materiale w przybliżeniu płaskiego



Rys. 11. Krzywe gięcia dla blachy stalowej 0,28%C, $b/g=31$
 Krzywe *a*: materiał wyżarzony przez 1 godz. w 650°C, $R_{p1} = 19 \text{ kg/mm}^2$,
 $R_p = 28,5 \text{ kg/mm}^2$, $a' = 27\%$. Krzywe *b*: materiał niewyżarzony o tych samych
 własnościach

stanu odkształcenia krzywa M/W biegnie początkowo bardziej stromo i nieco wyżej niż krzywa dla małych b/g . Natomiast w zakresie większych wartości $g/2\rho$ bardziej stromo biegnie krzywa dla giętego materiału o małym stosunku szerokości do grubości. Wtedy bowiem wskutek występowania trójosiowego stanu odkształcenia zachodzi w materiale zmiana kształtu przekroju poprzecznego i wzrost jego wskaźnika zwiększający moment potrzebny do zginania.

Wykonane doświadczenia nie pozwalają jeszcze na podanie ilościowej różnicy pomiędzy krzywymi M/W dla zginanej blachy o bardzo dużym i bardzo małym stosunku b/g .

Literatura cytowana w tekście

[1] Z. MARCINIAK, *O uwzględnieniu własności materiału przy gięciu blach*, Obróbka Plastyczna Tom 1, z. 2.

Резюме

СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ

Приводятся, полученные экспериментально кривые изгиба листов из алюминия, латуни и нескольких сортов сталей. Знание этого рода кривых дает возможность легко определить силы, моменты, работу деформации, форму изгибаемого предмета и другие величины, связанные с технологическими процессами изгиба.

Для данного материала эти кривые представляют зависимость между отношением изгибаемого предмета к показателю сечения и отношением половины толщины листа к радиусу кривизны, а также зависимость между частным полем заключающегося под этой кривой и поля описанного на кривой и частным половиной толщины и радиуса кривизны.

При исследованиях применяются два различных метода. При использовании первого метода образец листа был нагружен изгибающим моментом на специальном приборе, а при использовании второго — образец был изогнут на эталоне. Кривые прогиба полученные с помощью обоих методов совпадают с собой в пределах погрешности измерения.

Summary

THE PROPERTIES OF MATERIALS UNDER THE CONDITIONS OF CYLINDRICAL BENDING

Experimental curves are presented for bending of sheet aluminium, brass and steel of several types. The knowledge of these curves enables a simple determination of forces, moments and strain work and also the form of the bent element and other quantities connected with bending processes, [1].

For a given material, these curves represent the relation between the ratio of the bending moment to the section index and the ratio of the half-thickness of the sheet metal to the curvature radius and the relation between the ratio of the area below this curve to the area of the rectangle with sides M/W and g/ρ , where M denotes the bending moment, w the section modulus, g the thickness, ρ radius of curvature and the ratio of the half-thickness to the curvature radius. Two test methods were used. In the first, the test-piece (of sheet metal) was loaded with the bending moment in a special device, in the second — it was bent on about a form block. The bending curves obtained by the first and the second method coincide within the limits of the measurement error.

ZAKŁAD MECHANIKI OŚRODKÓW CIĄGLYCH
IPPT PAN

Praca została złożona w Redakcji 20 czerwca 1961 r.