

ANALIZA NOŚNOŚCI GRANICZNEJ PŁASKICH ELEMENTÓW O DOWOLNEJ GRUBOŚCI OSŁABIONYCH OKRĄGLYMI KARBAMI O RÓŻNEJ OSTROŚCI

JÓZEF M I A S T K O W S K I (WARSZAWA)

Na podstawie doświadczalnych badań nośności granicznej prętów osłabionych nacięciami okrągłymi przeprowadzono w pracy analizę wpływu ostrości karbu i rodzaju materiału na graniczną wartość grubości, przy której w elemencie pojawia się płaski stan odkształcenia. Stwierdzono, że dla karbu okrągłego ta graniczna wartość grubości może być od 2 do 7,5 raza większa od szerokości pręta w miejscu osłabienia.

1. WPROWADZENIE

Znaczna liczba części maszyn i konstrukcji wykonana jest w formie płaskich elementów osłabionych różnymi otworami i nacięciami. Osłabienia te i związane z nimi nagłe zmiany przekroju poprzecznego są przyczyną nierównomiernego rozkładu naprężeń w elemencie. Maksymalne naprężenia w miejscach koncentracji mogą znacznie przewyższać średnią wartość naprężeń obliczonych jako iloraz siły przez pole przekroju.

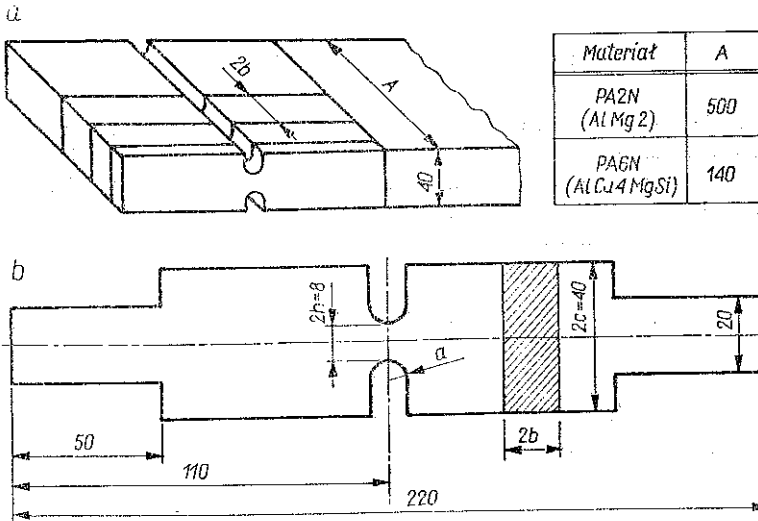
Przy obciążeniach *quasi*-statycznych, określenie rozkładu naprężeń i teoretycznej nośności granicznej płaskich elementów osłabionych koncentratorami naprężeń różnej postaci jest możliwe w dwóch skrajnych przypadkach, mianowicie dla płaskiego stanu odkształcenia oraz dla płaskiego stanu naprężenia.

Do warunków płaskiego stanu odkształcenia zbliżamy się, gdy grubość elementu $2b$ (rys. 1) jest dostatecznie duża w porównaniu z wymiarem $2h$. Przeciwnie, gdy grubość $2b$ jest mała, w elemencie występują warunki płaskiego stanu naprężenia.

Kompletne rozwiązanie dla płaskiego stanu odkształcenia jest możliwe, o ile stosunek części *ch* wytowej (poza karbem) do przewężenia c/h (rys. 1b) jest tak duży, że pole linii poślizgu leży całkowicie wewnątrz konturu pręta [1 i 2]. Jeżeli jednak wartość parametru $\kappa = c/h$ jest mniejsza od wartości wynikającej z przedłużenia w obszar sztywny siatki linii poślizgu, to rozwiązanie kompletne jest nadal nieznanne i wówczas możliwe jest jedynie określenie górnej i dolnej oceny nośności granicznej.

W wielu rzeczywistych elementach konstrukcji wymiar $2b$ nie jest ani na tyle mały, aby powstał płaski stan naprężenia, ani na tyle duży, aby wytworzył się płaski stan odkształcenia. Niestety, obecnie teoria nie jest w stanie dać odpowiedzi, jaka będzie nośność graniczna elementu przy takich pośrednich jego grubościach. Powstaje wobec tego ważny problem, kiedy teoretyczne schematy płaskiego stanu

naprężenia i płaskiego stanu odkształcenia mogą stanowić dobre przybliżenie rzeczywistych warunków. Próbę teoretycznej analizy tego zagadnienia podjął D. C. DRUCKER [3] opierając się na granicznym twierdzeniu teorii plastyczności. Analiza taka, polegająca na doborze odpowiednich pól kinematycznie lub statycznie dopuszczalnych, może dać jedynie przybliżoną ocenę wielkości $2b$, niezbędnej dla powstania stanu zbliżonego do płaskiego stanu odkształcenia. Tak więc całkowicie pewne informacje mogą być uzyskane jedynie w sposób doświadczalny.



Rys. 1

W. S. ŻUKOWSKI [4, 5 i 6] badał wpływ grubości $2b$ na nośność stalowych prętów osłabionych korbami kątowymi i wykazał, że dla stosunku $b/h > 4$, zarówno wielkość jednostkowej siły zrywającej jak i wartość naprężeń umownej granicy plastyczności praktycznie nie ulega zmianie.

W pracy W. SZCZEPIŃSKIEGO i J. MIĄSTKOWSKIEGO [7] badano stalowe płaskie pręty z korbami prostokątnymi o zaokrąglonych narożach i stwierdzono, że dla stosunku $b/h > 2$ praktycznie realizuje się płaski stan odkształcenia. Wystarczającą wartość stosunku $b/h = 7$ dla płaskich prętów aluminiowych oraz $b/h = 4$ dla próbek ze stali wyzarzonej otrzymano na podstawie badań przeprowadzonych w pracy W. N. FINDLEYA i D. C. DRUCKERA [8], w której badane elementy osłabione zostały korbami kątowymi oraz prostokątnymi nacięciami o zaokrąglonych narożach.

W pracy autora [10] przeprowadzona została teoretyczna i doświadczalna analiza nośności granicznej rozciąganych płaskich elementów, wykonanych z różnych stopów aluminium do obróbki plastycznej, osłabionych korbami kątowymi, o dowolnej grubości $2b$ i zmiennej szerokości części nad korbami $2c$. Stwierdzono, że dla $b/h > 3$ zarówno przyrost granicy plastyczności jak i maksymalnej jednostkowej siły zrywającej jest minimalny. Oznacza to, że dla $b/h > 3$ w badanych elementach realizuje się stan odkształcenia zbliżony do płaskiego.

Obszerny przegląd prac doświadczalnych i teoretycznych dotyczących nośności granicznej rozciąganych płaskich i osiowo-symetrycznych prętów z korbami można znaleźć w pracach [2 i 11].

Z przytoczonego przeglądu prac wynika duża różnorodność ocen wartości granicznej parametru $\lambda=b/h$, którą można przyjmować dla celów praktycznych za początek realizacji w prętach z korbami płaskiego stanu odkształcenia. Łatwo jednak zauważyć, że ta różnorodność ocen dotyczy elementów wykonanych z różnych materiałów i osłabionych korbami o odmiennych konfiguracjach. Mając to na uwadze, w przedstawionej pracy, na przykładzie elementów osłabionych okrągłymi nacięciami (rys. 1), podjęto próbę wyjaśnienia wpływu, jaki na powstanie w elemencie warunków płaskiego stanu odkształcenia może mieć rodzaj materiału oraz ostrość korbów, jakimi te elementy konstrukcji zostały osłabione. Natomiast wpływ konfiguracji karbu na rozpatrywane zagadnienie będzie tematem odrębnego opracowania.

2. ROZWIĄZANIA SZTYWNO-PLASTYCZNE DLA PŁASKIEGO STANU ODKSZTAŁCENIA

Wyznaczenie obciążenia granicznego elementów osłabionych symetrycznymi nacięciami o dowolnym kształcie oparte jest na założeniu, że przy dostatecznej głębokości nacięć cały najwęższy przekrój ulegnie uplastycznieniu. Można wtedy wyznaczyć rozkład naprężeń wykorzystując teorię płaskiego stanu odkształcenia ciała sztywno-plastycznego. Jak wiadomo w stanie plastycznym stan naprężenia w sąsiedztwie brzegu jest zależny jedynie od istniejących na nim warunków. Kontur karbu jest brzegiem swobodnym, a więc warunki brzegowe są na nim jednoznacznie określone. Rozwiązując zagadnienie brzegowe typu Cauchy'ego można wyznaczyć z obu stron symetryczne siatki linii poślizgu aż do spotkania na osi pręta. Metoda podana przez R. HILLA [12] pozwala obliczyć w sposób numeryczny rozkład naprężeń i nośność graniczną dla dowolnego kształtu karbu. Przykłady rozwiązań dla symetrycznych nacięć o różnej konfiguracji podane zostały w pracy [2].

Jeżeli zarys karbu utworzony jest z dwu prostych połączonych na dnie łukiem koła, to nośność graniczna może być prosto określona w postaci zamkniętej [7]. W przypadku nacięć kołowych (rys. 1) wzór na siłę graniczną ma postać [2 i 11]

$$P=4kh\left(1+\frac{a}{h}\right)\ln\left(1+\frac{h}{a}\right) \quad \text{dla} \quad \frac{a}{h}>0,2624.$$

Siła ta jest większa od odpowiedniej siły $P_0=4kh$ dla pręta bez karbu o szerokości $2h$. Współczynnik zwiększenia siły dla pręta z korbem wynosi

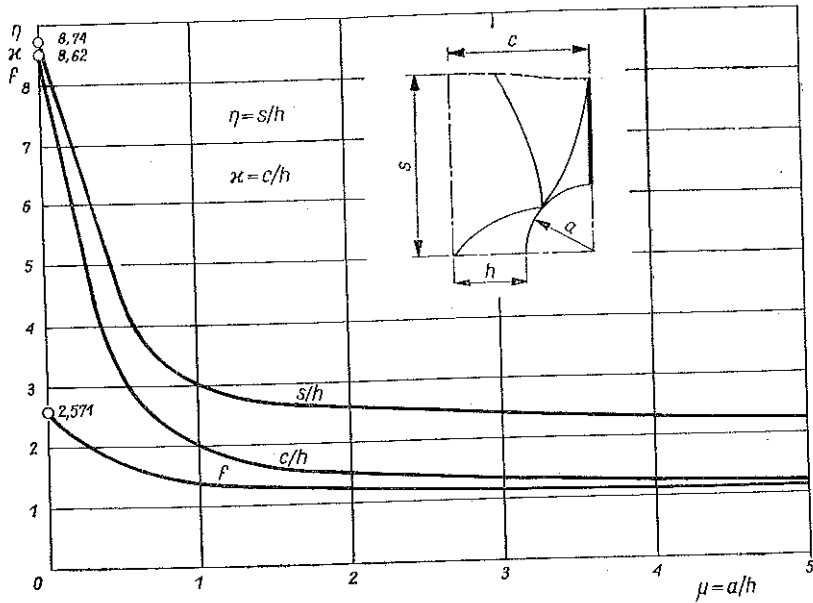
$$f=\frac{P}{P_0}=\left(1+\frac{a}{h}\right)\ln\left(1+\frac{h}{a}\right).$$

Dla $a/h\leq 0,2624$ współczynnik zwiększenia nośności granicznej wynosi

$$f=\left(1+\frac{\pi}{2}\right)-\frac{a}{h}\left(e^{\pi/2}-1-\frac{\pi}{2}\right).$$

W skrajnym przypadku, gdy promień a dąży do zera, współczynnik zwiększenia nośności granicznej f osiąga największą możliwą wartość $f_{\max}=2,571$ dla karbu szczelinowego. Jest to maksymalna wartość współczynnika f możliwa do uzyskania w warunkach płaskiego stanu odkształcenia [2 i 11].

Wykres współczynnika f jako funkcji parametru $\mu=a/h$ charakteryzującego ostrość karbu przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2

2.1. Przedłużenie siatki linii poślizgu w obszar sztywny

Jednym z parametrów mówiących o kształcie karbu jest jego głębokość. Jako miarę głębokości karbu w przypadku płaskich elementów przyjmujemy stosunek szerokości szerszej do najwęższej części elementu c/h [2 i 11]. Okazuje się, że istnieje pewna graniczna głębokość, po przekroczeniu której dalsze powiększanie głębokości nie wpływa już na nośność graniczną elementu. Taką bezpieczną szerokość $2c$ części chwytowych elementu można uzyskać budując przedłużenie stanu naprężenia w karbie na przylegające do niego obszary. Uzyskujemy wówczas pewność, że maksymalna siła, określona nośnością graniczną karbu, może być przeniesiona przez element bez przekroczenia warunku plastyczności w żadnym jego przekroju. Gdyby bowiem warunek plastyczności został w którymkolwiek punkcie przekroczony, znaczyłoby to, że materiał później osiągnie stan plastyczny w karbie niż w jego sąsiedztwie, a więc nośność graniczną całości określałaby nośność najsłabszego miejsca poza karbem.

Sposób zbudowania przedłużenia siatki linii poślizgu podał J. F. W. BISHOP [1]. Określone na tej podstawie bezpieczne szerokości części chwytowych dla elementów

osłabionych karami kątowymi, okrągłymi i prostokątnymi przedstawione zostały w opracowaniu [2]. Dla rozpatrywanego w pracy przypadku elementu osłabionego okrągłymi nacięciami wykres bezpiecznej szerokości części poza karbem c/h jako funkcji ostrości karbu a/h podano na rys. 2.

Drugą charakterystyczną wielkością przedłużonej siatki jest wymiar s . Wymiar ten ma duże znaczenie praktyczne, zwłaszcza przy analizie nośności elementów z wieloma nacięciami. Wykres s/h jako funkcji a/h podano również na rys. 2.

3. DOŚWIADCZALNA ANALIZA WARUNKÓW PŁASKIEGO STANU ODKSZTAŁCENIA

3.1. Opis przebiegu badań

Badania przeprowadzono na próbkach wykonanych z dwóch różnych stopów aluminium do obróbki plastycznej: PA2N i PA6N. Kształt karbu oraz wymiary próbek podano na rys. 1b oraz w tablicy 1. Łącznie z próbkami bez karbu poddano badaniu 148 próbek. Stałą wartość we wszystkich próbkach miały wymiary $2h$ i $2c$. Szerokość części chwytowej była tak określona, aby w żadnym z rozpatrywanych przypadków nie była mniejsza od wynikającej z przedłużenia linii poślizgu w obszar sztywny (rys. 2). Końce próbek, przeznaczone do mocowania w uchwytach zrywarki, mają mniejszą szerokość, co pozwoliło na osiowe przykładanie siły i uniknięcie możliwości zginania próbki w procesie rozciągania.

Warto podkreślić, że wszystkie próbki, zarówno te z karami jak i bez karbu, były wycinane z płyt w jednym określonym kierunku (rys. 1a).

Zgodnie z układem tablicy 1 w poszczególnych rzędach próbki różnią się ostrością karbu, natomiast w kolumnach mają one różną grubość. Dla zwiększenia dokładności otrzymanych wyników w trzech kolumnach próbki wykonano podwójne.

Odkształcenia mierzono z dokładnością do 0,01 mm za pomocą dwóch tensometrów mechanicznych umieszczonych po obu stronach próbki na bazie pomiarowej 60 mm. Wydłużenie określano jako średnią wartość wskazań obu czujników. Pomiar odkształceń na dwóch przeciwległych powierzchniach próbki $\pm b$ pozwalał sprowadzić do minimum błędy pomiaru powstające w wyniku ewentualnego zginania próbki.

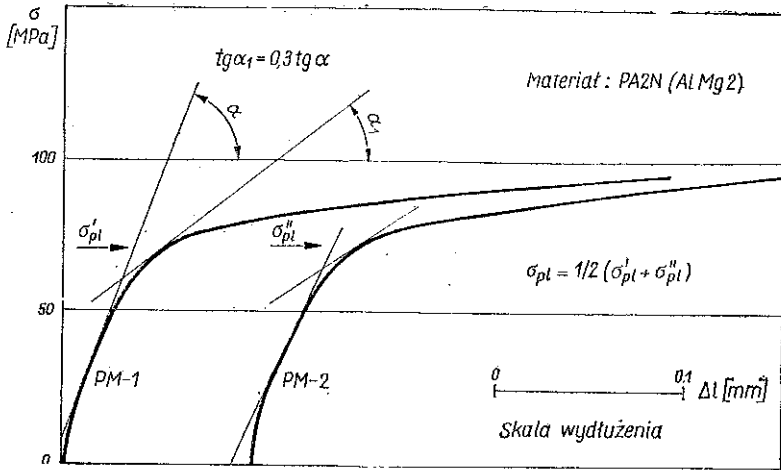
Stwierdzono, że powyższa metoda badań zapewniała otrzymywanie dobrych wyników doświadczeń. Wykresy krzywych obciążenie-wydłużenie cechowała duża regularność przebiegu.

W zależności od kształtu próbki i rodzaju materiału wykresy obciążenie-wydłużenie mają odmienny przebieg. Typowe krzywe otrzymywane w omawianej pracy dla próbek gładkich bez karbu i z karami pokazano odpowiednio na rys. 3 i 4.

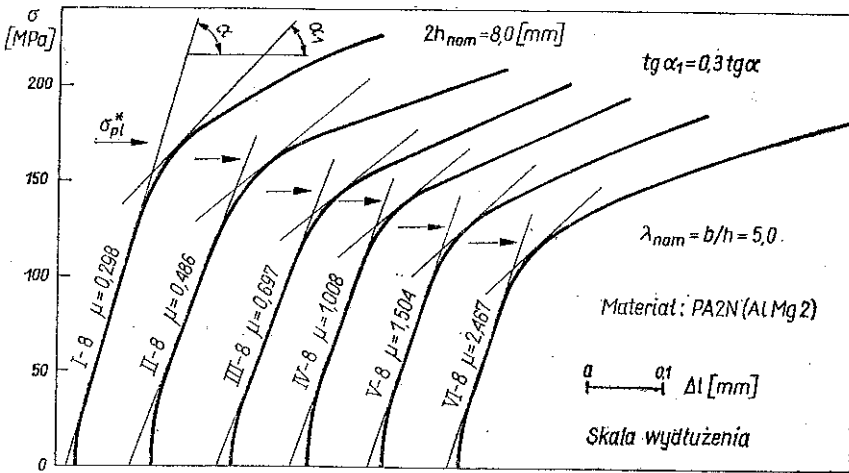
Wobec braku na krzywych wyraźnego momentu pełnego uplastycznienia przekroju w pracy określano umowną granicę plastyczności. Utożsamiano ją z punktem, w którym moduł stycznej osiągał wartość $0,3 \text{ tg } \alpha$. Przez α oznaczono kąt, jaki tworzy początkowa prostoliniowa część wykresu z osią wydłużeń (rys. 3 i 4). Określone w powyższy sposób umowne granice plastyczności były podstawą do określenia

Tablica 1. Oznaczenia i wymiary próbek

a [mm]	Materiał	2b _{nom} [mm]											
		4,0		8,0		12,0	16,0		20,0	24,0		32,0	40,0
1,2	PA2N	I-1	I-2	I-21	I-3	I-4	I-41	I-5	I-6	I-61	I-7	I-8	I-9
	PA6N	DI-1	DI-2	DI-21	DI-3	DI-4	DI-41	DI-5	DI-6	DI-61	DI-7	DI-8	DI-9
	PA2N	II-1	II-2	II-21	II-3	II-4	II-41	II-5	II-6	II-61	II-7	II-8	II-9
2,0	PA6N	DII-1	DII-2	DII-21	DII-3	DII-4	DII-41	DII-5	DII-6	DII-61	DII-7	DII-8	DII-9
	PA2N	III-1	III-2	III-21	III-3	III-4	III-41	III-5	III-6	III-61	III-7	III-8	III-9
	PA6N	DIII-1	DIII-2	DIII-21	DIII-3	DIII-4	DIII-41	DIII-5	DIII-6	DIII-61	DIII-7	DIII-8	DIII-9
4,0	PA2N	IV-1	IV-2	IV-21	IV-3	IV-4	IV-41	IV-5	IV-6	IV-61	IV-7	IV-8	IV-9
	PA6N	DIV-1	DIV-2	DIV-21	DIV-3	DIV-4	DIV-41	DIV-5	DIV-6	DIV-61	DIV-7	DIV-8	DIV-9
	PA2N	V-1	V-2	V-21	V-3	V-4	D-41	V-5	V-6	V-61	V-7	V-8	V-9
6,0	PA6N	DV-1	DV-2	DV-21	DV-3	DV-4	DV-41	DV-5	DV-6	DV-61	DV-7	DV-8	DV-9
	PA2N	VI-1	VI-2	VI-21	VI-3	VI-4	VI-41	VI-5	VI-6	VI-61	VI-7	VI-8	VI-9
	PA6N	DVI-1	DVI-2	DVI-21	DVI-3	DVI-4	DVI-41	DVI-5	DVI-6	DVI-61	DVI-7	DVI-8	DVI-9



Rys. 3



Rys. 4

współczynnika zwiększenia nośności granicznej f oraz do przeprowadzenia analizy warunków niezbędnych dla realizacji w elementach konstrukcji z korbami płaskiego stanu odkształcenia.

Współczynnik zwiększenia nośności granicznej f określano ze wzoru

$$f = \frac{\sigma_{pl}^*}{\sigma_{pl}}$$

gdzie, zgodnie z oznaczeniami na rys. 3 i 4, σ_{pl}^* jest granicą plastyczności próbek z korbami, natomiast σ_{pl} jest granicą plastyczności materiału, określoną na próbkach gładkich.

3.2. Wyniki badań próbek ze stopu aluminium PA2N

Materiał PA2N jest bardzo podatny do obróbki plastycznej na gorąco i na zimno. Stosowany jest do wyrobu średnio obciążonych elementów konstrukcji lotniczych, okrętowych, budowlanych i pojazdów mechanicznych, a także urządzeń przemysłu chemicznego i spożywczego. Umowna granica plastyczności, określona metodą styczną (rys. 3), $\sigma_{pl}=71$ MPa, wytrzymałość na rozciąganie $\sigma_m=184,07$ MPa.

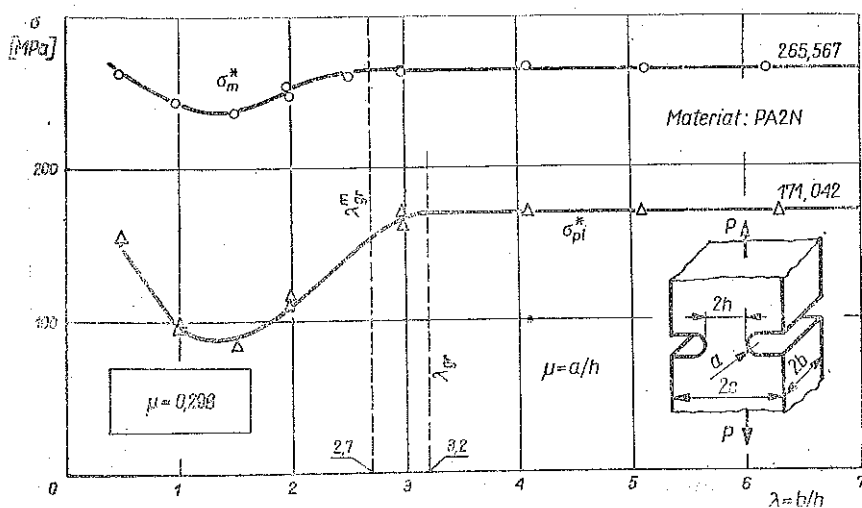
Na podstawie wyników badań sporządzono wykresy σ_{pl}^* i σ_m^* jako funkcje parametru $\lambda=b/h$ charakteryzującego grubość próbki. Na rys. 5 pokazano przykładowo takie wykresy dla $\mu=0,298$. Sporządzono je również dla pozostałych wartości parametru $\mu=a/h$ określającego ostrość karbu (tablica 1).

Punkty σ_m^* odpowiadają wytrzymałości na rozciąganie. Określono je ze wzoru

$$\sigma_m^* = \frac{P_{\max}^*}{F_0}$$

gdzie P_{\max}^* jest największą siłą rozciągającą działającą na próbkę z karbem, a F_0 powierzchnią osłabionego przekroju poprzecznego próbki w stanie wyjściowym (przed próbą rozciągania).

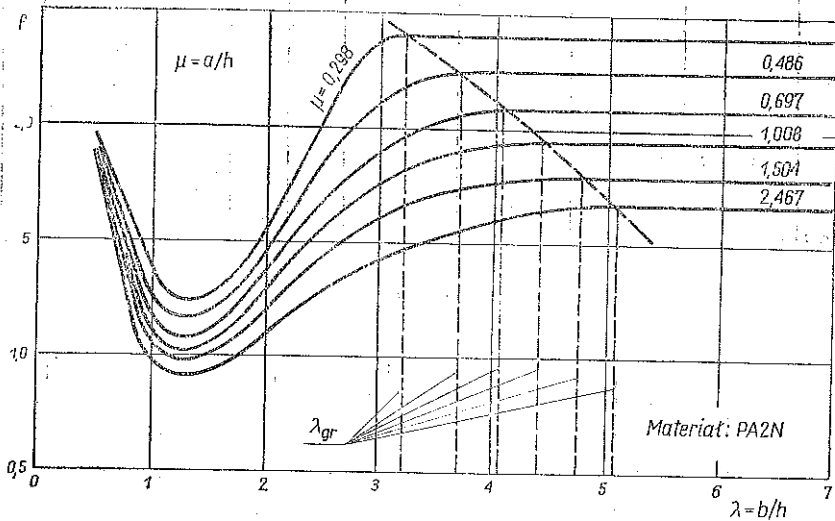
Obserwując wykres σ_{pl}^* na rys. 5 widzimy, że początkowo ma on przebieg krzywoliniowy, następnie przechodzi w prostoliniową fazę ustabilizowaną. Można więc



Rys. 5

przyjąć, że od wartości $\lambda=3,2$ przyrost grubości próbki nie ma wpływu na wielkość granicy plastyczności. Wobec tego można uważać, że w rozpatrywanym przypadku dla $\lambda \geq 3,2$ w elementach realizuje się płaski stan odkształcenia. Tę wartość parametru λ oznaczono przez λ_{gr} (rys. 5). Przez λ_{gr}^m oznaczono początek stabilizacji wykresu odpowiadającego wytrzymałości na rozciąganie. Dla pozostałych przypadków, gdzie elementy osłabione zostały karbami o innej ostrości, wartości para-

metru λ_{gr} określono w taki sam sposób jak na rys. 5. Mają one różną wielkość. Zostało to pokazane na wykresach współczynnika zwiększenia nośności granicznej f jako funkcji zmiany grubości λ (rys. 6). Na rys. 6 widać wyraźnie, że najszybciej stabilizuje się wykres odpowiadający karbowi o największej ostrości. W elementach osłabionych nacięciami łagodnymi, płaski stan odkształcenia pojawia się znacznie później, a więc dla większych grubości.



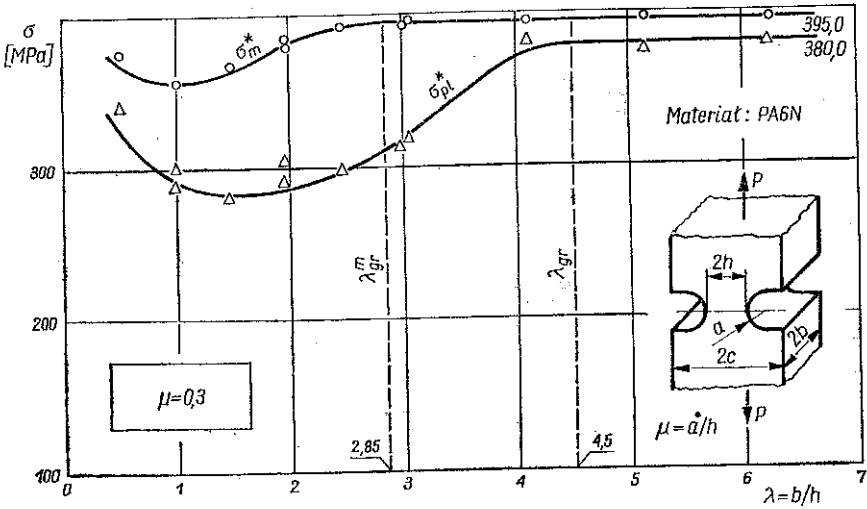
Rys. 6

Dodatkowego omówienia wymagają wykresy dla $\lambda < \lambda_{gr}$ (rys. 5 i 6). Jest oczywiste, że początkowy spadek tych krzywych wiąże się z coraz większym udziałem względnym odkształceń czołowych powierzchni elementu. Dla $\lambda \approx 1$ w prętach, zwłaszcza osłabionych łagodnymi nacięciami, zachodzi niemalże równomierne odkształcenie w płaszczyźnie przekroju poprzecznego próbki. Dla $\lambda < 1$ widoczny jest wzrost krzywych, który związany jest ze zmianą kinematyki odkształcenia.

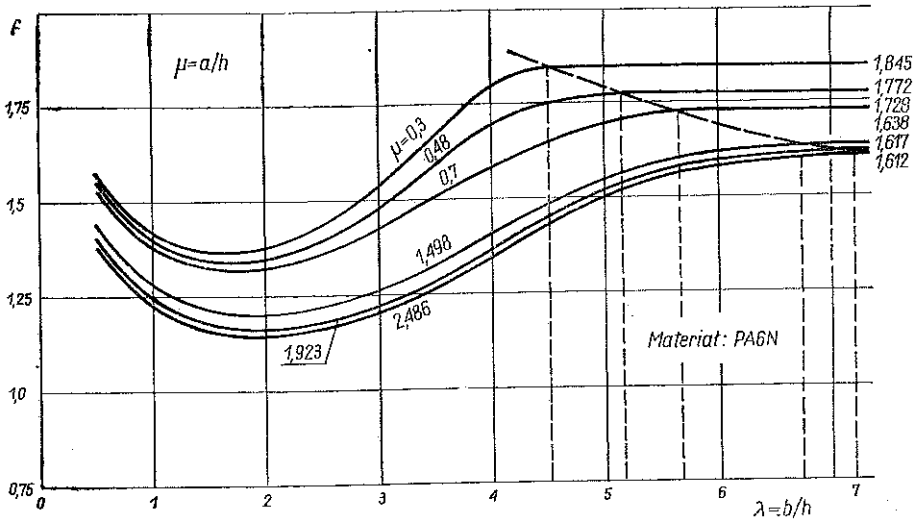
3.3. Wyniki badań próbek ze stopu aluminium PA6N

Materiał PA6N, w odróżnieniu od omówionego poprzednio, ma duży opór plastyczny przy obróbce plastycznej na zimno i na gorąco. Dlatego też stosowany jest do wyrobu obciążonych elementów konstrukcji lotniczych, budowlanych i pojazdów mechanicznych, a także środków transportu i maszyn. Umowna granica plastyczności, określona tak jak w p. 3.2, $\sigma_{pl} = 206$ MPa, wytrzymałość na rozciąganie $\sigma_m = 293,402$ MPa.

Podobnie jak to uczyniono w p. 3.2 na podstawie przeprowadzonych prób rozciągania sporządzono wykresy σ_{pl}^* i σ_m^* jako funkcje parametru λ (rys. 7). Wykresy takie zbudowano dla wszystkich wartości promienia a (poszczególne rzędy w tablicy 1). Wykres krzywych odpowiadających granicy plastyczności przedstawiono w postaci wykresów współczynnika zwiększenia nośności granicznej f jako funkcji



Rys. 7

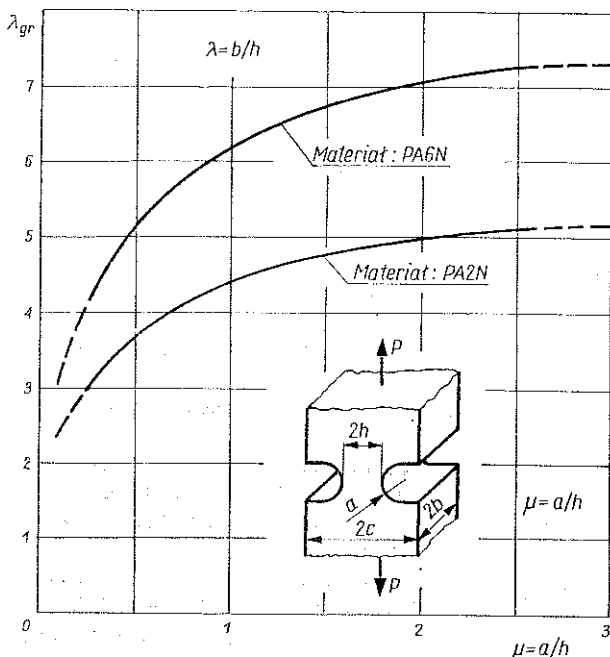


Rys. 8

parametru λ (rys. 8). Tak jak to miało miejsce w p. 3.2, stabilizacja wykresów następuje szybciej (dla mniejszych grubości) w prętach osłabionych korbami ostrymi, niż to ma miejsce przy korbach łagodnych, gdzie stabilizacja zachodzi dla znacznie większych grubości.

3.4. Podsumowanie wyników badań

Na rys. 9 podano wykresy parametru λ_{gr} , charakteryzującego grubość graniczną elementu jako funkcji ostrości karbu $\mu = a/h$ dla obu badanych materiałów. Wykres krzywych wskazuje, że w elementach osłabionych korbami ostrymi płaski stan



Rys. 9

odkształcenia realizuje się przy mniejszych grubościach niż ma to miejsce w prętach z korbami o dużym promieniu a . Dla obu badanych materiałów charakter krzywych jest podobny, chociaż w elementach wykonanych z materiału o większym oporze do odkształceń plastycznych (PA6N), dla wystąpienia warunków płaskiego stanu odkształcenia wymagane są większe grubości niż w przypadku elementów wykonanych z materiału wykazującego bardzo dobre własności plastyczne (PA2N).

4. WNIOSKI

Na podstawie przedstawionych wyników badań można stwierdzić, że rodzaj materiału i ostrość karbu są istotnymi czynnikami warunkującymi powstanie w elementach z korbami płaskiego stanu odkształcenia.

Niezależnie od rodzaju badanych materiałów, w elementach osłabionych nacięciami ostrymi płaski stan odkształcenia pojawia się szybciej (przy mniejszej grubości) niż w prętach z korbami łagodnymi o dużych promieniach zaokrąglenia a (rys. 9).

W całym zakresie ostrości karbu w elementach wykonanych z materiału miękkiego i niskiej wytrzymałości (PA2N) płaski stan odkształcenia pojawia się przy mniejszych wartościach parametru $\lambda_{gr} = b/h$, niż w przypadku prętów wykonanych z materiału o wyższej wytrzymałości (PA6N).

W zależności od ostrości karbów i rodzaju badanych materiałów, płaski stan odkształcenia pojawiał się w elementach przy wartościach λ_{gr} zawartych w przedziale od 2 w przybliżeniu do 7,5.

LITERATURA CYTOWANA W TEKŚCIE

1. J. F. W. BISHOP, *On the complete solution to problems of deformation of a plastic rigid material*, J. Mech. Phys. Solids, 2, 43—53, 1953.
2. L. DIETRICH, J. MIASTKOWSKI, W. SZCZEPIŃSKI, *Nośność graniczna elementów konstrukcji*, PWN, Warszawa 1970.
3. D. C. DRUCKER, *On obtaining plane strain or plane stress conditions in plasticity*, Proc. 2nd U.S. Nat. Congr. Appl. Mech., 485—488, 1954.
4. В. С. Жуковский, *Распределение деформаций и напряжений в плоских надрезанных стержнях в связи с объемностью и напряженного состояния*, Проблемы прочности в машиностроении, Вып. 2, Изд. АН СССР, Москва 1959.
5. В. С. Жуковский, *О коэффициенте усиления и характере распространения пластических зон в надрезанных стержнях*, Изв. АН СССР, ОТН, 5, 116—119, 1958.
6. В. С. Жуковский, *Деформированное состояние и прочность плоских надрезанных стержней произвольной толщины*, Расчеты на прочность, сборник статей, вып. 9, Машгиз., Москва, 231—252, 1963.
7. W. SZCZEPIŃSKI, J. MIASTKOWSKI, *Doświadczalna analiza nośności granicznej rozciąganych płaskich prętów z karbem*, Rozpr. Inżyn., 13, 3, 637—652, 1965.
8. W. N. FINDLEY, D. C. DRUCKER, *An experimental study of plane plastic straining of notched bars*, J. Appl. Mech., 32, 493—503, 1965.
9. W. SZCZEPIŃSKI, J. MIASTKOWSKI, *Plastic straining of notched bars with intermediate thickness and small shoulder ratio*, Int. J. Non Linear Mech., 3, 83—97, 1967.
10. J. MIASTKOWSKI, *Nośność graniczna rozciąganych prętów z karbem kątowym o dowolnych wymiarach części nad karbami*, Mech. Teoret. Stos., 7, 1, 81—98, 1969.
11. W. SZCZEPIŃSKI, *Przegląd prac dotyczących nośności granicznej rozciąganych prętów z karbem*, Mech. Teoret. Stos., 3, 3, 51—78, 1965.
12. R. HILL, *The plastic yielding of notched bars under tension*, Quart. J. Mech. Appl. Math., 2, 40, 1949.

Резюме

АНАЛИЗ ПРЕДЕЛЬНОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЛОСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
ПРОИЗВОЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ ОСЛАБЛЕННЫХ КРУГЛЫМИ ЗАРУБКАМИ С РАЗНОЙ
ОСТРОТОЙ

На основе экспериментальных исследований предельной несущей способности стержней, ослабленных круглыми надрезами, в работе проведен анализ влияния остроты зарубки и рода материала на предельное значение толщины, при которой в элементе появляется плоское деформационное состояние. Констатировано, что для круглой зарубки это предельное значение толщины может быть от 2 до 7,5 раза больше от ширины стержня в месте ослабления.

SUMMARY

ANALYSIS OF THE LOAD CARRYING CAPACITY OF FLAT ELEMENTS OF
ARBITRARY THICKNESS WEAKEND BY CIRCULAR NOTCHES

Experimental investigations of the load carrying capacity of rods weakened by circular notches are used to analyze the effects of the notch sharpness and of the material properties on the limiting rod thickness, at which the plane state of strain appears in the element. It is found that for a circular notch the limiting thickness may be 2 to 7.5 times greater than the rod thickness at the notch.

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI

Praca została złożona w Redakcji dnia 22 września 1983 r.