

Wstęp

Skrypt przeznaczony jest dla studentów kierunków automatyka i robotyka, mechatronika lub inżynieria produkcji. Ma stanowić pomoc do ćwiczeń z przedmiotu podstawy konstrukcji maszyn oraz może być wykorzystany przy wykonywaniu zadań projektowo-konstrukcyjnych. Przy opracowywaniu skryptu założono, że materiał dotyczący poszczególnych zagadnień jest studiującym znany z wykładów z przedmiotu podstawy konstrukcji maszyn lub ze wskazanej literatury.

Skrypt zawiera niezbędne informacje potrzebne do wykonywania podstawowych obliczeń konstrukcyjnych, dotyczących połączeń nierozbieralnych i rozbieralnych, doboru łożysk tocznych, połączeń czopowych i weryfikacji zmęczeniowej elementów maszyn.

Zawarte w skrypcie informacje, zaczerpnięte z szeregu książek, norm technicznych oraz katalogów elementów maszyn w postaci wzorów, tablic i wykresów, umożliwiają wykonanie przedstawionych w skrypcie przykładów obliczeń konstrukcyjnych bez konieczności korzystania z innych źródeł.

W przykładach obliczeń konsekwentnie stosowano jednostki układu SI. Rysunki zamieszczone w skrypcie nie stanowią dokumentacji projektowej, ale mają charakter poglądowy. W wielu przypadkach zasady rysunku technicznego nie zostały zachowane, ponieważ głównym celem było przekazanie niezbędnych informacji dotyczących wykonywanych obliczeń.

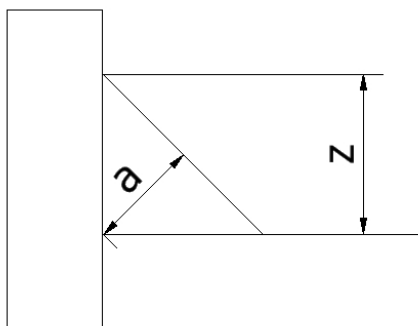
1. Weryfikacja spoin

1.1. Zalecenia konstrukcyjne

Połączenia spawane są najczęściej stosowanymi połączeniami nierozłącznymi charakteryzującymi się dużą wytrzymałością. W rozdziale opisano weryfikację wytrzymałościową spoin z zastosowaniem metody stanów granicznych, zgodnie z zaleceniami zawartymi w PN-90/B-03200 „Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie” [21]. Obliczenia wytrzymałościowe połączeń spawanych można również przeprowadzić w oparciu o metodę naprężeń dopuszczalnych [4, 10].

Podstawowymi wymiarami spoiny ze względu na jej wytrzymałość jest grubość obliczeniowa spoiny a oraz długość obliczeniowa spoiny l .

Grubość obliczeniowa spoiny czołowej łączącej dwie części o tej samej grubości jest równa grubości tych części. Gdy łączone są części o różnej grubości do obliczeń przyjmowana jest grubość cieńszej części. W dokumentacji technicznej grubość spoin czołowych podawana jest bezpośrednio w oznaczeniu spoiny na rysunkach wykonawczych elementów spawanych. Typ zastosowanej spoiny czołowej i związane z nim przygotowanie brzegów zależą od grubości łączonych elementów i są określone w odpowiednich normach [17, 22].



Rys. 1.1. Wymiarowanie grubości spoin pachwinowych

W przypadku spoin pachwinowych grubość obliczeniowa spoiny a jest równa wyprowadzonej z grani spoiny wysokości trójkąta wpisanego w przekrój spoiny (rysunek 1.1). Na rysunkach technicznych w oznaczeniach spoin pachwinowych

najczęściej podawana jest grubość a spoiny, przed znakiem opisującym rodzaj spoiny. Wielkość spoiny może być również podana z zastosowaniem wielkości z przedstawionej na rysunku 1.1.

Podczas weryfikacji grubość obliczeniową spoiny wyrażoną w milimetrach zaokrągla się do wartości całkowitej. Wyjątkowo w obliczeniach uwzględnia się grubości obliczeniowe spoin o wartościach 2,5 i 3,5 milimetra.

W przypadku nie stosowania specjalnych zabiegów technologicznych podczas wykonywania spoin pachwinowych grubość obliczeniowa a powinna spełniać następujące warunki:

- wymiar a nie powinien przekraczać 0,7 grubości cieńszej części (blachy) w połączeniu,
- wymiar a nie powinien być mniejszy od 0,2 grubości grubszej części w połączeniu.
- grubość a nie powinna być mniejsza niż 2,5 mm i nie większa od 16 mm.

Długość obliczeniowa l spoiny jest równa długości łączonych brzegów części b , gdy w procesie spawania zastosowano płytki wybiegowe na początku i końcu złącza, które po zakończeniu spawania są odcinane. Gdy spoina wykonywana jest bez płytek wybiegowych przyjmuje się, że długość obliczeniowa spoiny jest pomniejszona o kraterę wyjściową i jest równa $l = b - 2a$.

W przypadku stosowania spoin przerywanych w obliczeniach można uwzględnić odcinki spoin, które spełniają warunki:

$$10 \cdot a \leq l \leq 100 \cdot a \quad \text{oraz} \quad l \geq 40 \text{ mm} .$$

1.2. Weryfikacja wytrzymałościowa spoin

Elementy spawane należy wykonywać ze stali spawalnych o niskiej zawartości węgla i składników stopowych. Podczas sprawdzania wytrzymałości spoin według metody stanów granicznych naprężenia panujące w spoinie są porównywane z wytrzymałością obliczeniową f_d materiału łączonych części. W przypadku łączenia części ze stali różnych gatunków do obliczeń należy przyjmować f_d stali o mniejszej wartości wytrzymałości. Zgodnie z [21] wytrzymałość obliczeniową stali wyznaczamy ze wzoru

$$f_d = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (1.1)$$

gdzie f_{yk} jest wytrzymałością charakterystyczną stali a γ_s współczynnikiem materiałowym.

W przypadku, gdy nie prowadzono odpowiednich badań stali, wytrzymałość charakterystyczna stali f_{yk} przyjmuje wartość granicy plastyczności R_e . Współczynnik materiałowy γ_s , spełniający rolę współczynnika bezpieczeństwa, przyjmuje wartości w zależności od granicy plastyczności stali odpowiednio:

$$\begin{aligned} \gamma_s &= 1,15 && \text{dla stali } R_e \leq 355 \text{ MPa}, \\ \gamma_s &= 1,20 && \text{dla stali } 355 < R_e \leq 460 \text{ MPa}, \\ \gamma_s &= 1,25 && \text{dla stali } 460 < R_e \leq 590 \text{ MPa}. \end{aligned}$$

Dla najczęściej stosowanych gatunków stali podstawowe informacje o ich własnościach wytrzymałościowych podano w normie [21]. Uwzględniając obecnie obowiązujące oznaczenia stali informacje te przedstawiono w tabeli 1.1.

Tabela 1.1. Własności wytrzymałościowe wybranych stali spawalnych

Oznaczenie stali ISO-PN	Poprzednie oznaczenie stali PN	Grubość wyrobu t [mm]	$R_{e \min}$ [MPa]	f_d [MPa]
S185	St0S	$t \leq 16$	195	175
		$16 < t \leq 40$	185	165
S235JR, S235JRG1, S235JRG2, S235JO	St3S, St3SX, St3SV, St3W	$t \leq 16$	235	215
		$16 < t \leq 40$	225	205
18G2, 18G2A		$t \leq 16$	355	305
		$16 < t \leq 30$	345	295
R35		rury walcowane	235	210

Spoiny czołowe

W przypadku spoin czołowych nośność połączenia należy sprawdzać zgodnie ze wzorem [21]

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\alpha_{\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\alpha_{\parallel}}\right)^2} \leq f_d \quad (1.2)$$

gdzie σ i τ są odpowiednio naprężeniami normalnymi i stycznymi w płaszczyźnie obliczeniowej spoiny oraz α_{\perp} , α_{\parallel} współczynnikami wytrzymałości spoin.

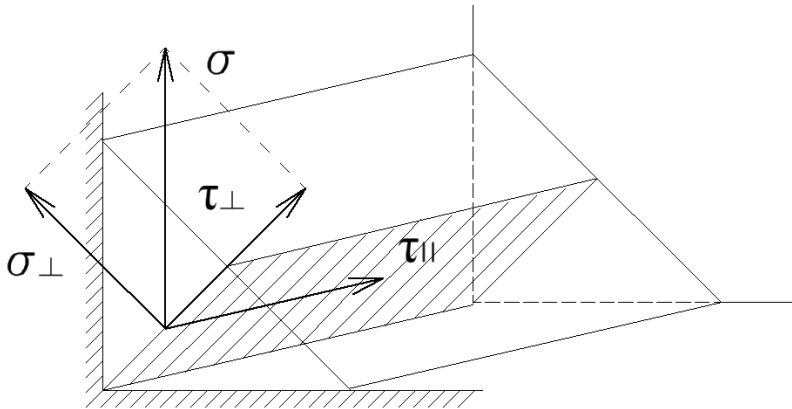
W przypadku spoin czołowych dla naprężeń ścinających $\alpha_{\parallel} = 0,6$. Dla spoin, w których występuje ściskanie i zginanie współczynniki wytrzymałości spoin przyjmują wartość $\alpha_{\perp} = 1$. Dla spoin czołowych normalnej jakości kontrolowanych zgrubnie, rozciąganych równomiernie lub mimośrodowo współczynnik α_{\perp} wyznaczamy z wzoru

$$\alpha_{\perp} = 1 - 0,15v. \quad (1.3)$$

gdzie v – stosunek naprężeń średnich do maksymalnych.

Dla spoin rozciąganych równomiernie $v = 1$ a w przypadku rozciąganych mimośrodowo należy go wyznaczyć. Gdy spoiny poddawane są kontroli defektoskopowej można przyjmować wartość $\alpha_{\perp} = 1$.

Spoiny pachwinowe



Rys.1.2. Składowe naprężeń w spoinie pachwinowej

W przypadku spoin pachwinowych weryfikację naprężeń przeprowadza się w płaszczyźnie obliczeniowej przedstawionej na rysunku 1.2., która jest położona pod kątem 45 stopni do płaszczyzn łączonych elementów [21]. Warunek wytrzymałości dla spoin pachwinowych w złożonym stanie naprężeń określony jest zależnością

$$\kappa \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} \leq f_d \quad (1.4)$$