

Zastosowanie metali i stopów w okrętownictwie

Metale i stopy stosowane do budowy kadłubów statków

- Do budowy kadłubów statków stosowane są :
 1. Stale stopowe,
 2. Stopy aluminium.
-

Stal okrętowa - definicja

- Stal okrętowa to taka stal, która stosowana jest na elementy konstrukcyjne kadłubów statków podlegających nadzorowi towarzystw klasyfikacyjnych. Stale te są wytwarzane zgodnie z wymaganiami tych towarzystw i pod ich nadzorem.
-

Charakterystyka stali stosowanych na kadłuby okrętowe

- Obecnie wymaga się aby stale kadłubowe miały jednocześnie wiele cech wytrzymałościowych i technologicznych
 - 1. Gwarantowane własności wytrzymałościowe charakteryzujące się granica plastyczności **Re** w przedziale **235-390 MPa**, w pewnych przypadkach nawet **690 MPa**,
 - 2. Gwarantowana duża **odporność na kruche pękanie w temp. 0°C**, a dla pewnych kategorii stali, także w temp. ujemnych,
-

Charakterystyka stali stosowanych na kadłuby okrętowe c.d.

3. Dobra spawalność umożliwiająca uzyskanie złączy spawanych bez pęknięć przy spawaniu różnymi technologiami, bez podgrzewania wstępnego przy różnych temperaturach otoczenia,
 4. Zdolność do przeróbki plastycznej na zimno, bez znacznego pogorszenia własności eksploatacyjnych po odkształceniu, nie wymagające obróbki cieplnej odprężającej (rekrytalizacyjnej),
-

Charakterystyka stali stosowanych na kadłuby okrętowe c.d.

5. Odporność na korozję w środowisku wody morskiej, a w pewnych przypadkach przewożonego ładunku,
 6. Wytrzymałość na zmęczenie w środowisku korozyjnym, szczególnie niskocykliczne zmęczenie złącz spawanych,
 7. Możliwie niska cena.
-

Rodzaje stali do budowy kadłubów

- ❑ Stale kadłubowe o zwykłej wytrzymałości (**ZW**),
 - ❑ Stale kadłubowe o podwyższonej wytrzymałości (**PW**),
 - ❑ Stale konstrukcyjne o wysokiej wytrzymałości ulepszone cieplnie (**WW**),
 - ❑ Stale o gwarantowanych właściwościach w kierunku grubości (**Z**),
 - ❑ Stale do pracy w niskich temperaturach,
-

Stale kadłubowe o zwykłej wytrzymałości (**ZW**)

- ❑ Stale ZW muszą mieć minimalną granicę plastyczności **Re = 235 MPa** i wytrzymałości na rozciąganie **R_m = 400-490 MPa**.
 - ❑ Stale te dzielą się na cztery kategorie: **A, B, D, E**, różniące się między sobą składem chemicznym, sposobem odtleniania, stanem dostawy, a przede wszystkim kryterium, odporności na kruche pękanie, które jest oparte na próbach udarności Charpy V i wynosi 27 J na próbkach wzdłużnych, przy różnych temperaturach badania.
 - ❑ Stale kategorii **A i B – kadłuby statków**,
 - ❑ Stale kategorii **D i E – najbardziej odpowiedzialne, wysoko obciążone elementy konstrukcyjne w środkowej części kadłuba**.
 - ❑ Równoważnik węgla **CEV = $C + \frac{Mn}{6} \%$**
 - ❑ **CEV nie powinien przekroczyć 0,40% dla stali o zwykłej wytrzymałości**
-

Skład chemiczny stali kadłubowych o zwykłej wytrzymałości

Kategoria stali	A	B	D	E
Sposób odtleniania	Każda metoda, z wyjątkiem stali nieuspokojonej	Każda metoda, z wyjątkiem stali nieuspokojonej	Dla g=25 mm, stal uspokojpna, dla g>25 mm, stal w pełni uspokojpna drobnoziarnista	Stal w pełni uspokojpna, drobnoziarnista
Skład chemiczny [%]				
C _{max.}	0,23	0,21	0,21	0,18
Mn _{max}	2,5	0,80	0,60	0,70
Si max	0,50	0,35	0,35	0,35
P max	0,040	0,040	0,040	0,040
S max	0,040	0,040	0,040	0,040
Al min.				
(rozpuszczalne w kwasach)	-	-	0,015	0,015

Własności mechaniczne stali kadłubowych o zwykłej wytrzymałości

Kategoria stali	Re [MPa]	Rm [MPa]	A ₅ [%] wydłużenie	Próba udarności (zginania)		
				Temp. badania [°C]	Średnia energia min. [J]	
					Próbki wzdłużne	Próbki poprzeczne
A	235	400-490	22	-	-	-
B				0	27	20
D				-20	27	20
E				-40	27	20

Próba udarności Charpiego V jest jedynym kryterium oceny odporności na kruche pękanie. Kruche pękanie rozwija się w materiale praktycznie bez odkształceń plastycznych z bardzo dużymi prędkościami, ok. 1800 m/s

Stale kadłubowe o podwyższonej wytrzymałości (**PW**),

- ❑ W stalach tych **Re** wynosi od **265 – 400 MPa**.
- ❑ Stale te dzielimy na trzy klasy wytrzymałościowe wystarczające do budowy wszystkich statków handlowych, rybackich i specjalnych z **Re min = 315 MPa**, **Re min=355 MPa**, **Re min=390 MPa**
- ❑ Każda klasa wytrzymałościowa dzieli się na trzy kategorie: **A,D,E**, zależnie od stanu dostawy oraz odporności na kruche pękanie na podstawie próby udarności.

❑ **CEV ≤ 0,45%**

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \%$$

Skład chemiczny stali kadłubowych o podwyższonej wytrzymałości

Kategoria stali	A 32	D 32	E 32	A 36	D 36	E 36
Sposób odtleniania	W pełni uspokojona, drobnoziarnista					
Skład chemiczny (analiza wytopowa [%])						
C max.	0,18					
Mn	0,90-1,60					
Si max.	0,50					
P max.	0,040					
S max.	0,040					
Al. min	0,015					
(rozpuszczone w kwasach)						
Nb	0,02-0,05					
V	0,05-0,10					
Ti max.	0,02					
Cu max.	0,35					
Cr max	0,20					
Ni max	0,40					
Mo max	0,08					

Własności mechaniczne stali kadłubowych o podwyższonej wytrzymałości

Kategoria stali	Re [MPa]	Rm [MPa]	A ₅ [%] wydłużenie	Próba udarności (zginania)		
				Temp. badania [°C]	Średnia energia min. [J]	
					Próbki wzdłużne	Próbki poprzeczne
A32	315	440-590	22	0	31	22
D32				-20	31	22
E32				-40	31	22
A36	355	490-620	21	0	34	24
D36				-20	34	24
E36				-40	34	24

Własności wytrzymałościowe

- Stale PW mają zwiększone własności wytrzymałościowe dzięki: składnikom stopowym, mikrostopowym, obróbce cieplnej, a także specjalnej technologii walcowania.
 - Wzrost własności wytrzymałościowych uzyskujemy w następujący sposób:
 1. Umocnienie ferrytu przez dodatki stopowe (np. mangan) wchodzące do roztworu stałego żelaza, zwiększenie zawartości Mn polepsza własności wytrzymałościowe a jego wpływ na spawalność jest kilkakrotnie mniejszy niż węgla do zawartości Mn 1,6%
 2. Rozdrobnienie ziaren ferrytu za pomocą obróbki cieplnej (normalizowanie) lub walcowaniem cieplno-mechanicznym, - niektóre stale po walcowaniu c- mech. Maja granicę plastyczności do 335 MPa uzyskana bez żadnych dodatków stopowych, przy składzie chemicznym stali o zwykłej wytrzymałości,
-

Własności wytrzymałościowe c.d.

- 3. Umocnienie ferrytu oraz rozdrobnienie ziaren za pomocą mikrowydzieleń węglików, azotków lub węglikoazotków takich pierwiastków jak: Al., Nb, V, Ti. Stale zawierające te pierwiastki noszą nazwę stali mikrostopowych. Dodatki te umożliwiają uzyskanie stali o $R_e = 335\text{MPa}$ do 390MPa .
 - Najbardziej popularne są stale mikrostopowe z zawartością niobu (zwykle do $0,05\%$). Charakteryzują się najlepszymi relacjami własności wytrzymałościowych i ciągliwości, z zapewnieniem dobrej spawalności.
-

Stale o wysokiej wytrzymałości ulepszone cieplnie

- ❑ W stalach tych **Re** wynosi od **420 do 690 MPa**.
 - ❑ W stalach tych wyróżniamy sześć klas wytrzymałościowych, a w każdej klasie wyróżniamy trzy kategorie **D, E, F**, różniące się między sobą temperaturą badania udarności.
 - ❑ Stale te stosowane są:
 1. głównie na bardzo odpowiedzialne elementy konstrukcyjne jednostek wiertniczych i wydobywczych na elementy nośne podpór
 2. W obiektach podwodnych na kadłub wytrzymałościowy,
 3. W statkach nawodnych, o dużym otwarciu pokładu, na mocnice i pokład,
 4. W statkach do przewozu gazów skroplonych (LPG) na zbiorniki ładunkowe, bariery wtórne
 5. W jednostkach specjalnych
-

Skład chemiczny stali konstrukcyjnej o wysokiej wytrzymałości ulepszonej cieplnie

Granica plastyczności	Kategoria stali	Maksymalna zawartość pierwiastków [%]				
		C	Si	Mn	P	S
Od 420 MPa do 690 MPa	D E	0,20	0,55	1,70	0,035	0,035
	F	0,18	0,55	1,60	0,025	0,025

Oprocz pięciu składników C, Mn, Si, P i S stale te zawierają niewielkie dodatki (0,5-1%) innych pierwiastków

Fosfor i siarka wpływają niekorzystnie na własności stali i traktuje się je jako zanieczyszczenia.

Nikiel zmniejsza granice plastyczności, ale znacznie przesuwa temperaturę przejścia w stan kruchy w kierunku niższych temperatur.

Chrom zwiększa granicę plastyczności i wytrzymałość na rozciąganie oraz łącznie z molibdenem i manganem zwiększa hartowność.

Molibden zwiększa hartowność oraz wyraźnie poprawia własności wytrzymałościowe po hartowaniu i odpuszczaniu.

Miedź zwiększa odporność stali na korozję atmosferyczną,

Al, Nb, Ti i cyrkon wpływają na drobnoziarnistość stali.

Własności mechaniczne stali WW

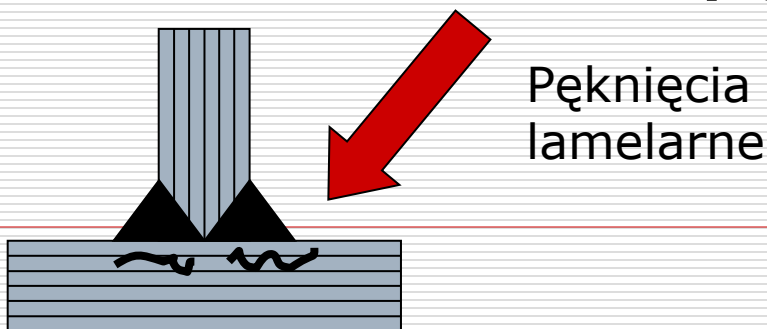
Kategorie stali	Własności mechaniczne			Próba udarności	
	Re min [MPa]	Rm [MPa}	A min [%]	Temp. próby	Śr. energia z 3 próbek [J]
D420 E420 F420	420	530-680	18	-20 -40 -60	41 W 27 P W -próbki pobrane wzdłuż kierunku walcowania, P - w poprzek kierunku walcowania
D460 E460 F460	460	570-720	17		
D500 E500 F500	500	610-770	16		
D550 E550 F550	550	670-830	16		
D620 E620 F620	620	720-890	15		
D690 E690 F690	690	770-940	14		

Stale o gwarantowanych własnościach w kierunku grubości (**Z**),

- Aby uniknąć ryzyka pęknięć lamelarnych, zostały opracowane specjalne stale o gwarantowanych własnościach w kierunku grubości materiału (stale Z)
 - Opracowane stale kategorii Z stanowią stale kadmowe o zwykłej i podwyższonej wytrzymałości, które oprócz R_e , R_m , A , KV , mają dodatkowo kontrolowaną ciągłość w kierunku grubości materiału.
 - Stale te dzielimy na trzy klasy w zależności od wielkości przewężenia: **Z15, Z25, Z35.**
-

Pęknięcia lamelarne

- ❑ Wszystkie materiały walcowane mają z reguły dużo gorsze własności wytrzymałościowe (szczególnie ciągliwość w kierunku grubości (prostopadłym do powierzchni) niż w kierunku równoległym i poprzecznym do kierunku walcowania.
- ❑ Zjawisko to jest bardzo niekorzystne dla konstrukcji, w których elementy obciążone są siłami działającymi w kierunku grubości materiału.
- ❑ Pod wpływem tych sił powstają w materiale rozwarstwienia w przybliżeniu równoległe do powierzchni blach, zwane **pęknięciami lamelarnymi**



Pęknięcia lamelarne c.d.

- Najczęściej spotykamy je w **sztywnych węzłach konstrukcyjnych wysoko obciążonych** – połączenia grodzi z pokładem w zbiornikowcach, połączenia wzdłużników z pokładem w narożach wielkich otworów statków, połączenia mocnicy burtowej z pokładem, elementy podpierające grodzie, płyty fundamentowe pod silniki itp.
 - Główną przyczyną powstawania tych pęknięć są wtrącenia niemetaliczne oraz zawartość siarki (max 0,015%).
-

Wymagane minimalne wartości przewężenia dla poszczególnych klas stali Z

Klasa stali	Minimalna wartość przewężenia Z [%]	
	Średnia z trzech próbek	Jednej próbki
Z15	15	10
Z25	25	20
Z35	35	25

Stale do pracy w niskich temperaturach

- ❑ Są to stale z gwarantowanym kryterium **udarności w temperaturach poniżej -40°C .**
- ❑ Stanowią one grupę **stali węglowo-manganowych** o dużym stopniu czystości, niekiedy z dodatkiem składników stopowych (zwykle niklu do 1%).
- ❑ Mają praktyczne zastosowanie w odpowiedzialnych elementach konstrukcyjnych statków przebywających długie okresy w rejonach arktycznych, w ładowniach chłodzonych do temp. poniżej -30°C , w odpowiedzialnych elementach konstrukcyjnych jednostek wiertniczych pracujących w Arktyce, w zbiornikowcach przewożących gazy skroplone.