



STAŁE STOPOWE KONSTRUKCYJNE



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



*Publikacja współfinansowana
ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego*

STALE STOPOWE KONSTRUKCYJNE

Ważniejsze grupy stali:

- stale spawalne o podwyższonej wytrzymałości
- stale do ulepszania cieplnego (na elementy maszyn)
- stale do azotowania (w temacie obróbka cieplno-chemiczna stali)
- stale do nawęglania (w temacie obróbka cieplno-chemiczna stali)
- stale sprężynowe
- stale na łożyska toczne

Stale spawalne o podwyższonej wytrzymałości

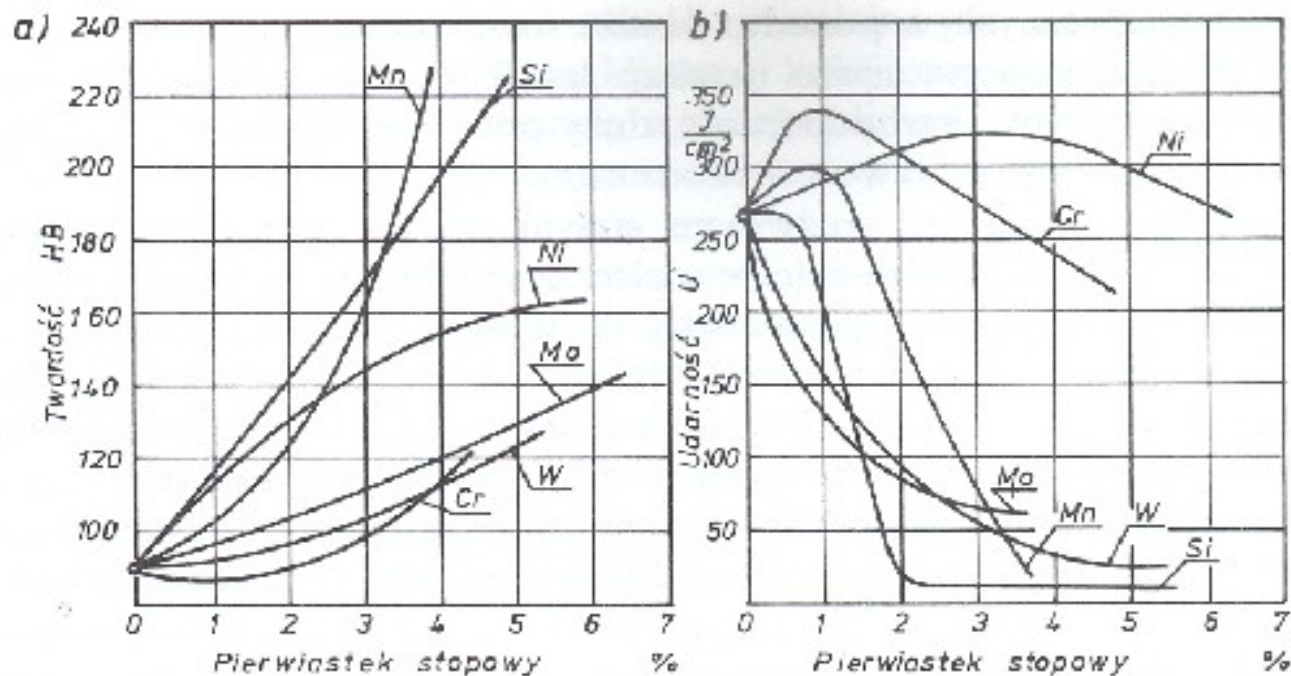
- Przeznaczone na duże konstrukcje przemysłowe: mosty, zbiorniki, statki, rurociągi, których głównym procesem wytwarzania jest spawanie. Spawanie — metoda spajania, w której łączone brzegi oraz spoiwo ulegają stopieniu.
- Spawalność — podatność metalu do tworzenia złączy spawanych o właściwościach zbliżonych do metalu rodzimego. Równoważnik węgla C_E charakteryzuje spawalność stali; odzwierciedla w postaci liczby wpływ węgla i innych pierwiastków na hartowność stali. Najczęściej stosowany jest wzór zalecany przez towarzystwo klasyfikujące budowę statków Lloyds Register of Shipping:

$$C_E = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$$

Jeżeli $C_E < 0,4\%$, stal jest dobrze spawalna w warunkach ogólnie stosowanej technologii spawania. Przy wyższych wartościach C_E , powinny być stosowane specjalne technologie spawania (podgrzewanie przed spawaniem, regulowane chłodzenie, wyżarzanie po spawaniu) ze względu na zwiększoną hartowność stali i skłonność do pęknięcia przy spawaniu.

Ze względu na spawalność, stale mają ograniczoną zawartość węgla do 0,20%. Przy tak niskiej zawartości węgla, **podwyższoną wytrzymałość** otrzymuje się poprzez równoczesne działanie następujących **czynników**:

- umocnienie roztworowe ferrytu manganem (do ok. 2%) i krzemem (do ok. 0,6%)



Wpływ pierwiastków stopowych na twardość (a) i udarność ferrytu (b)

- rozdrobnienie ziarna poprzez wprowadzenie mikrodotyków (Al, Nb, V, Zr, Ti, N) hamujących rozrost ziarna;
- utwardzenie wydzieleniowe węglkami i węglikoazotkami;
- rozdrobnienie ziarna przez stosowanie zabiegów regulowanego walcowania, w dwóch zakresach temperatury: wstępne walcowanie — w temperaturze wyższej, wykańczające — w niższej przy niewielkim gnioście i przyspieszonym chłodzeniu w warunkach zapewniających intensywne wydzielenie węglikoazotków i azotków;
- dodatki Cr, Ni, Mo (0,5-0,8 %) oraz mikrodotybek B poprawiające hartowność stali ulepszanych cieplnie;

Podział stali spawalnych o podwyższonej wytrzymałości ze względu na **skład chemiczny i strukturę:**

- stale zawierające Mn i mikrodotatki Al, Nb, V, Ti, Zr, N o strukturze ferrytyczno-perlitycznej (normalizowane);
- stale zawierające Mn i Mo z mikrodotatkiem B o strukturze bainitycznej (chłodzone na powietrzu, bezpośrednio z temperatury końca walcowania);
- stale zawierające Mn, Ni, Cr, Mo i mikrodotatki V, Zr, B o strukturze sorbitu (ulepszone cieplnie).

Przykłady oznaczeń i uproszczone dane o składzie chemicznym niektórych gatunków spawalnych drobnoziarnistych stali konstrukcyjnych (normalizowanych, o strukturze ferrytyczno-perlitycznej) wg PN-EN 10113-2

Znak stali	Maksymalna zawartość pierwiastków, % masy										
	C	Si	Mn	Nb	V	Al	Ti	Cr	Ni	Cu	N
S275N	0,18	0,40	0,50-1,40	0,05	0,05	0,02	0,03	0,30	0,30	0,35	0,015
S275NL	0,16										
S420N	0,20	0,60	1,00-1,70	0,05	0,20	0,02	0,03	0,30	0,80	0,70	0,025
S420NL	0,20										

P = 0,035% max, S = 0,030% max. dla gatunków S275N, S420N

P = 0,030% max, S = 0,025% max. dla gatunków S275NL, S420NL

Przykłady właściwości mechanicznych spawalnych drobnoziarnistych stali konstrukcyjnych w stanie ulepszonym cieplnie, temperatura otoczenia

Znak stali	R_m wyrobów o grubości ≤ 100 mm N/mm ²	R_e wyrobów o grubości $> 80 \leq 100$ mm N/mm ²	A %	Praca łamania w 20°C J
S275N	370-510	235 min.	24 min.	55 min.
S275NL				63 min.
S420N	520-680	360 min.	19 min.	55 min.
S420NL				63 min.

Stale do ulepszania cieplnego (PN-EN 100083)

- Przeznaczone do wytwarzania części maszyn ulepszanych cieplnie, hartowanych płomieniowo lub indukcyjnie, podlegających w czasie eksploatacji dużym obciążeniom mechanicznym: wały, koła zębate, sworznie, korbowody, śruby.
- Węgiel: 0,25-0,50%, pierwiastki stopowe: Cr do 2%, Mo do 0,5%, Mn do 1,5%, Ni do 4%, V ~0,2%, B 0,0008 do 0,0050%.
- Rola pierwiastków stopowych: zwiększenie hartowności, a przez to uzyskanie wysokich właściwości mechanicznych w dużych przekrojach.
- Stale cechuje średnia lub duża hartowność wyrażona średnicą krytyczną (po hartowaniu w wodzie) od ok. 30 do 80 mm.
- Rola molibdenu: zapobieganie kruchości odpuszczania, tj. spadkowi udarności po odpuszczaniu w wyniku dyfuzji atomów pierwiastków domieszkowych i zanieczyszczeń rozpuszczonych w ferrycie do granic ziaren, co osłabia wiązanie metaliczne na granicach. Molibden rozpuszczając się w ferrycie, zajmuje w pierwszej kolejności miejsca w pobliżu granic ziaren.
- Obróbka cieplna: hartowanie i wysokie odpuszczanie.

Przykłady oznaczeń i orientacyjny skład chemiczny niektórych gatunków stali do ulepszania cieplnego

Znak	% masy					
	C	Mn	Cr	Mo	Ni	B
38Cr2	0,35-0,42	0,50-0,80	0,40-0,60	-	-	-
50CrMo4	0,46-0,54	0,50-0,80	0,90-1,20	0,15-0,30	8,5-11,5	-
34CrNiMo6	0,30-0,38	0,50-0,80	1,60-2,00	0,25-0,45	3,6-4,1	-
30MnB5	0,27-0,33	1,15-1,45	-	-	-	0,0008 - 0,0050

Obróbka cieplna stali do ulepszania cieplnego

	Hartowanie °C	Środek hartowniczy	Odpuszczanie °C
38Cr2	830–870	Olej lub woda	540–680
50CrMo4	820–870	Olej	540–680
34CrNiMo6	830–860	Olej lub woda	540–680
30MnB5	860–900	Woda	400–600

Przykłady właściwości mechanicznych stali w stanie ulepszonym cieplnie, temperatura otoczenia

Znak stali	Właściwości dla przekrojów miarodajnych dla wyrobów o średnicy d : $16 \text{ mm} < d \leq 40 \text{ mm}$ lub wyrobów płaskich o grubości t : $8 \text{ mm} < t \leq 20 \text{ mm}$				
	R_e min. N/mm ²	R_m N/mm ²	A min. %	Z min. %	KV min. J
38Cr2	450	700–850	15	40	35
50CrMo4	780	1000–1200	10	45	30
34CrNiMo6	900	1100–1300	10	45	45
30MnB5	650	800–950	13	50	60

Stale sprężynowe PN-74/H-84032

- Stale są przeznaczone na sprężyny spiralne i płaskie (resory).
- Stosowane są stale niestopowe o zawartości węgla 0,6-0,8% i stopowe zawierające 0,3-0,7% węgla.
- Podstawowym pierwiastkiem stopowym jest krzem, w ilości ~0,3-2%. Dodatek krzemu podwyższa granicę sprężystości. Poza stalami krzemowymi (Si) stosowane są stale typu Mn, Si-Mn, Si-Mn-Cr, Cr-Mn, Cr-Si, Cr-W. Dodatki Cr, Mn i W zwiększają hartowność stali, co pozwala na uzyskanie dobrych właściwości mechanicznych w dużych przekrojach).
- Obróbka cieplna: hartowanie z temperatury 800-870°C z chłodzeniem w wodzie lub oleju i średnie odpuszczanie w 380-520°C (temperatury zależne od gatunku stali); ważne jest, aby powierzchnia wyrobu nie została odwęglona i była wolna od wad powierzchniowych.
- Właściwości stali: wysoka granica sprężystości oraz duża wartość stosunków tej wielkości do granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie, duża wytrzymałość na zmęczenie, zwłaszcza przy zmiennych obciążeniach o dużej częstotliwości.

Przykłady oznaczeń i orientacyjny skład chemiczny niektórych gatunków stali sprężynowych

Grupa stali	Znak	% masy			
		C	Cr	Mn	Si
Krzemowe	45S	0,40–0,50	0,30 max	0,60–0,90	1,00–1,30
Krzemowo- manganowe	60SG	0,56–0,64	0,30 max	0,80–1,10	1,30–1,80
Krzemowo- manganowo- chromowe	60SGH	0,55–0,65	0,40–0,60	0,90–1,10	1,00–1,30
Chromowo-krzemowe	50HS	0,45–0,55	0,90–1,20	0,30–0,60	0,80–1,20

Przykłady właściwości mechanicznych stali sprężynowych
po hartowaniu i średnim odpuszczaniu, temperatura
otoczenia

Znak stali	Minimalne właściwości mechaniczne		
	R_m N/mm ²	R_e N/mm ²	A_5 %
45S	1176	980	6
60SG	1568	1372	6
60SGH	1372	1227	7
50HS	1324	1176	6

a)



miejsce
pęknięcia

b)



sorbit +
ferryt

sorbit

200 μm

Pęknięcie sprężyny, zainicjowane odwęglaniem warstwy wierzchniej stali:
a) obraz uszkodzonej sprężyny,

b) odwęglona warstwa wierzchnia o strukturze sorbitu z ferrytem. Zgład trawiony 4 % roztworem HNO_3 , mikroskop świetlny

Stale na łożyska kulkowe i wałeczkowe (PN-EN ISO 683-17:2004)

- Stale są przeznaczone na części składowe łożysk tocznych: kulki, wałeczki, pierścienie wewnętrzne i zewnętrzne.
- Skład chemiczny: C do ok. 1% (nadaje dużą twardość i odporność na ścieranie), Cr ~1,5% (nadaje wymaganą hartowność elementom tocznym).
- Wysoka czystość metalurgiczna w celu uzyskania dużej jednorodności struktury i właściwości mechanicznych.
- Wytwarzanie elementów łożysk: w specjalistycznych zakładach, z półwyrobów hutniczych wyżarzonych sferoidyzująco, o jednorodnej strukturze drobnych sferoidalnych węglików stopowych w osnowie ferrytu stopowego.

Obróbka cieplna: hartowanie w oleju z temperatury 820-840°C i odpuszczanie niskie w 180°C.

- Struktura po obróbce cieplnej: drobnolistwowy martenzyt niskoodpuszczony + drobne węgliki.
- Właściwości: duża twardość > 62 HRC i odporność na ścieranie oraz działanie zmiennych obciążeń.

Oznaczenia i orientacyjny skład chemiczny gatunków stali na łożyska kulkowe i wałeczkowe

Znak stali	% masy					
	C	Si	Mn	Cr	P max	S max
100Cr6	0,93-1,05	0,15-0,35	0,25-0,45	1,35-1,60	0,025	0,015
100CrMnSi6-4	0,93-1,05	0,45-0,75	1,00-1,20	1,40-1,65	0,025	0,015