

# Stopy żelaza

Stale

Stal: plastycznie i cieplnie obrabialny stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, otrzymywany w procesach stalowniczych ze stanu ciekłego, zawierający do 2% C

**Tablica 6.1**

*Przykładowe kryteria klasyfikacji stali*

Kryterium podziału	Przykładowe rodzaje i grupy stali
Skład chemiczny	niestopowa (węglowa), stopowa
Podstawowe zastosowanie	konstrukcyjna, narzędziowa, o szczególnych własnościach
Jakość (m.in. stężenie S i P)	jakościowa, specjalna
Sposób wytwarzania	martenowska, elektryczna, konwertorowa i inne
Sposób odtleniania	uspokojona, półuspokojona, nieuspokojona
Rodzaj produktów	blachy, pręty, druty, rury, odkuwki, itp.
Postać	lana, kuta, walcowana na gorąco, walcowana na zimno, ciągniona
Stan kwalifikacyjny	surowy, wyżarzony normalizująco, ulepszony cieplnie i inne

# Klasyfikacja stali wg składu chemicznego

- Stale niestopowe o stężeniach każdego z pierwiastków mniejszych od granicznych
- Stale nierdzewne ( $>10,5\%$  Cr  $< 1,2\%$  C)
- Inne stale stopowe
  
- Stale stopowe: niskostopowe (stężenie jednego z pierwiastków do  $2\%$  i łączne do  $3,5\%$ ); średniostopowe ( $2-8\%$  oraz  $12\%$ ), wysokostopowe ( $>8\%$  oraz  $<55\%$ )

**Tablica 6.2**

Stężenie graniczne pierwiastków stopowych w stalach

Pierwiastek chemiczny	Stężenie graniczne masowe <sup>1)</sup> , %
Aluminium	0,3
Bor	0,0008
Bismut	0,1
Chrom	0,3
Cyrkon	0,05
Kobalt	0,3
Krzem	0,6
Lantanowce (każdy)	0,1
Mangan	1,65 <sup>2)</sup>
Miedź	0,4
Molibden	0,08
Nikiel	0,3
Niob	0,06
Ołów	0,4
Selen	0,1
Tellur	0,1
Tytan	0,05
Wanad	0,1
Wolfram	0,3
Inne (oprócz C, P, S, N) (każdy)	0,1

<sup>1)</sup> Wartości graniczne wykorzystuje się do klasyfikacji stali porównując je z wartością minimalną stężenia każdego pierwiastka podanego w normach szczegółowych, a jeśli podana jest tylko wartość maksymalna – do klasyfikacji (za wyjątkiem Mn) przyjmuje się wartość stanowiącą 70% tego stężenia maksymalnego.

<sup>2)</sup> Jeżeli wymagania dotyczące manganu obejmują wyłącznie stężenie maksymalne, dopuszcza się wówczas wartość 1,8%.

# Klasyfikacja stali stopowych w zależności od składu

- Manganowe
- Krzemowe
- Manganowo-krzemowe
- Niklowe
- Chromowe
- Chromowo-niklowe
- Chromowo-molibdenowe
- Chromowo-manganowo-krzemowe
- Chromowo-niklowo-molibdenowe
- Inne

# Klasyfikacja wg stopnia odtlenienia

- Nieuspokojone
- Półuspokojone
- Uspokojone

# Klasyfikacja stali niestopowych według jakości, własności i zastosowania

- Jakościowe (w tym uprzednio wyodrębniane podstawowe)
- Specjalne

# Stale niestopowe jakościowe

- Określa się tylko wymagania dotyczące niektórych własności, np. ciągłości, wielkości ziarna, podatności na obróbkę plastyczną, na poziomie niższym od stali specjalnych. Zalicza się także stale elektrotechniczne.
- Do stali niestopowych jakościowych zaliczane są wszystkie stale niestopowe, nie będące stalami specjalnymi



# Stale niestopowe specjalne

- Charakteryzują się wyższym stopniem czystości i mniejszym udziałem wtrąceń niemetalicznych niż stale jakościowe
- Zwykle do ulepszania cieplnego lub hartowania powierzchniowego
- Spełniają jeden z warunków: wymagana praca łamania w stanie ulepszonym cieplnie; głębokość utwardzenia powierzchniowego lub twardość powierzchni po hartowaniu; niski udział wtrąceń metalicznych; maksymalne stężenie fosforu i siarki; minimalna praca łamania w  $-50\text{ C}$ ; przewodność elektryczna

**Tablica 6.3**

Przykłady klasyfikacji stali niestopowych

Główne cechy	Dodatkowe cechy	Klasy jakości stali niestopowych	
		stale jakościowe	stale specjalne
$R_{p0.2}$ maks. $R_m$ maks. lub HB maks. (stale miękkie niskowęglowe)		stale miękkie na taśmy i blachy do obróbki plastycznej na zimno (ogólnego zastosowania, doczne, głębokotloczne): * walcowane na gorąco lub zimno * do ogniowego ocynkowania, ołowienia lub aluminowania	
$R_{p0.2}$ min. lub $R_m$ min.	stale konstrukcyjne łącznie ze stalami na zbiorniki ciśnieniowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>stale o stężeniu P i S <math>\leq 0,045\%</math>, np.:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>konstrukcyjne walcowane na gorąco</li> <li>o podwyższonej wytrzymałości</li> <li>spawalne drobnoziarniste konstrukcyjne</li> <li>kadłubowe do budowy statków</li> <li>na blachy i taśmy do ocynkowania ogniowego</li> <li>na spawane butle gazowe z blach i taśm</li> <li>na blachy i taśmy do pracy w podwyższonej temperaturze i pod ciśnieniem</li> </ul> </li> <li>stale na rury</li> <li>stale o specjalnych własnościach plastycznych, np. do ciągnięcia, gięcia na zimno</li> <li>stale z określonym minimalnym stężeniem miedzi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>stale z minimalną pracą łamania <math>KV \geq 27 J</math> w <math>-50^\circ C</math> (próbki wzdłużne)</li> <li>stale dla energetyki jądrowej (do reaktorów jądrowych)</li> </ul>
	stale do zbrojenia betonu	stale do zbrojenia betonu i betonu wstępnie sprężonego	stale do betonu wstępnie sprężonego
	stale szynowe	stale na szyny szerokostopowe i o specjalnym profilu – na rozjazdy i krzyżownice, nieobrabiane cieplnie	
Stężenie węgla	stale automatowe	stale automatowe: * nieprzeznaczone do obróbki cieplnej * do nawęglania * do ulepszenia cieplnego	
	stale do ciągnięcia	stale na walcówkę do ciągnięcia i/lub walcowania na zimno	<ul style="list-style-type: none"> <li>stale o szczególnie niskim udziale wtrąceń niemetalicznych</li> <li>stale na walcówkę do ciągnięcia i/lub walcowania na zimno, np. walcówka na sprężyny, drut do zbrojenia opon, spawalnicze materiały dodatkowe</li> </ul>
	stale do spęczania na zimno	stale do spęczania i wyciskania na zimno nieprzeznaczone do obróbki cieplnej	stale do spęczania i wyciskania na zimno i do obróbki cieplnej: * do nawęglania * do ulepszenia cieplnego
	stale do nawęglania		stale niestopowe maszynowe do nawęglania
	stale do ulepszenia cieplnego	stale niestopowe maszynowe	stale niestopowe maszynowe do ulepszenia cieplnego
	stale sprężynowe	stale na taśmy walcowane na zimno do produkcji sprężyn	stale na taśmy walcowane na zimno
	stale narzędziowe		stale narzędziowe
Własności magnetyczne lub elektryczne		<ul style="list-style-type: none"> <li>stale o wymaganiach dotyczących stratności i/lub własności magnetycznych</li> <li>stale o przewodności elektrycznej <math>\leq 9 S \cdot m/mm^2</math></li> </ul>	stale o przewodności elektrycznej $> 9 S \cdot m/mm^2$
	Zastosowanie	<ul style="list-style-type: none"> <li>stale na najcieńsze blachy: ocynkowane lub chromowane, na opakowania</li> <li>spawalnicze materiały dodatkowe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>stale na elektrody otulone i drut do spawania</li> <li>stale na elektrody otulone i drut do spawania, P i S <math>\leq 0,020\%</math></li> </ul>

# Klasyfikacja stali stopowych wg jakości, własności i zastosowania

- Jakościowe
- Specjalne
- Odrębna klasa obecnie: stale nierdzewne, które nie dzielą się na jakościowe i specjalne lecz kryteriami ich podziału są stężenie Ni lub główna własność stali

# Stale stopowe jakościowe: te same kryteria klasyfikacji jak dla niestopowych z uwzględnieniem dodatkowych wymagań dotyczących stężenia pierwiastków

**Tablica 6.4**

*Przykład klasyfikacji stali stopowych jakościowych*

Grupa stali	
konstrukcyjne	inne
<ul style="list-style-type: none"> <li>• spawalne drobnoziarniste o ograniczonej minimalnej granicy plastyczności i uderności</li> <li>• stale stopowe zawierające tylko miedź jako dodatek stopowy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stale stopowe na produkty płaskie do obróbki plastycznej na zimno</li> <li>• stale stopowe na szyny, grodzice, kształtowniki na obudowy górnicze</li> <li>• stale elektrotechniczne</li> </ul>

**Tablica 6.5**

*Stężenie graniczne pierwiastków w stalach stopowych drobnoziarnistych spawalnych, oddzielające stale jakościowe od specjalnych*

Pierwiastek chemiczny	Stężenie graniczne masowe <sup>1)</sup> , %
Chrom	0,5
Cyrkon	0,12
Mangan	1,8
Miedź	0,5
Molibden	0,1
Nikiel	0,5
Niob	0,08
Tytan	0,12
Wanad	0,12

<sup>1)</sup> Patrz odpowiednia uwaga w tablicy 6.2.

**Tablica 6.6**

Przykład klasyfikacji stali stopowych nierdzewnych i specjalnych

Zasadnicze podklasy	Podział według składu chemicznego, własności i zastosowania						
	stale nierdzewne <sup>1), 2)</sup>		stale stopowe specjalne				
			konstrukcyjne	maszynowe <sup>1)</sup>	na narzędzia <sup>1), 3)</sup>	na łożyska toczne <sup>1)</sup>	o szczególnych własnościach fizycznych
Stale odporne na korozję, żaroodporne i odporne na pęcznienie (żarowytrzymałe)	<sup>4)</sup> Ni <2,5%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cr</li> <li>• Cr-Ni (x)</li> <li>• Cr-Mo (x)</li> <li>• Cr-Co (x)</li> <li>• Cr-Al (x)</li> <li>• Cr-Si (x)</li> <li>• inne</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cr</li> <li>• Cr-Ni (x)</li> <li>• Cr-Mo (x)</li> <li>• inne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cr</li> <li>• Cr-Mo (x)</li> </ul>	stale odporne
	<sup>5)</sup> Ni ≥2,5%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cr-Ni</li> <li>• Cr-Ni-Mo</li> <li>• Cr-Ni+Ti lub Nb</li> <li>• Cr-Ni-Mo +Ti lub Nb</li> <li>• Cr-Ni-Mo +V, W, Co</li> <li>• Cr-Ni-Si</li> <li>• inne</li> </ul>					stale niemagnetyczne
Stale szybko tnące i stale łożyskowe					<ul style="list-style-type: none"> <li>• (W-Mo)-V-Co</li> <li>• (W-Mo)-V</li> <li>• (W-Mo)-Co (x)</li> <li>• (W-Mo)-V (x)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mo-Cr-V</li> <li>• W-Mo-Cr-V</li> <li>• W-Cr-V</li> </ul>	
Stale pozostałych grup	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cr-Al (x)</li> <li>• Cr-Si (x)</li> <li>• Cr-Si-Mo (x)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stale konstrukcyjne spawalne drobnoziarniste</li> <li>• stale odporne na korozję atmosferyczną (trudno rdzewiejące)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mn (x)</li> <li>• Cr (x)</li> <li>• Cr-Mo (x)</li> <li>• Cr-Ni-Mo (x)</li> <li>• Ni-Cr-Mo (x)</li> <li>• Ni (x)</li> <li>• inne: Mo (x), Si (x), itp.</li> <li>• B</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cr (x)</li> <li>• Ni (x)</li> <li>• Cr-Ni (x)</li> <li>• Mo (x)</li> <li>• Cr-Mo (x)</li> <li>• V (x)</li> <li>• Cr-V (x)</li> <li>• W (x)</li> <li>• Cr-W (x)</li> <li>• inne</li> </ul>	1C-1,5Cr	stale magnetyczne	
					stale do nawęglania	stale o określonym współczynniku rozszerzalności cieplnej	

<sup>1)</sup> (x) oznacza stal, która może zawierać dodatkowe składniki stopowe, lecz nie utworzono dla niej odrębnej grupy.

np. Cr (x) oznacza, że może to być zarówno stal Cr jak i Cr-V lub Cr-W-Mo.

<sup>2)</sup> Stale o stężeniu Cr ≥10,5% i C ≤1,2%.

<sup>3)</sup> (W-Mo) oznacza, że w stali występuje co najmniej jeden z dwóch podanych pierwiastków stopowych.

<sup>4)</sup> Grupa stali o strukturze ferrytycznej, ferrytyczno-martenzytycznej lub martenzytycznej.

<sup>5)</sup> Grupa stali o strukturze austenitycznej (wyjątkowo - częściowo austenitycznej).

# Stale stopowe nierdzewne

- Do 2,5% Ni lub ponad 2,5% Ni
- Odporne na korozję, żaroodporne i odporne na pełzanie (żarowytrzymałe)

Stale niestopowe

# Stale niestopowe konstrukcyjne i maszynowe

- Konstrukcyjne na mało odpowiedzialne elementy w budownictwie, w formie blach, prętów , kształtowników
- Maszynowe: na elementy maszyn



# Stale niestopowe spawalne drobnoziarniste

- Wyższe wymagania niż uprzednio
- Stale jakościowe jak poprzednio
- Na elementy konstrukcji spawanych bardzo obciążonych, jak mosty, zbiorniki i śluzy

# Stale niestopowe do ulepszania cieplnego

- Przeznaczone głównie do produkcji elementów maszyn w stanie ulepszonym cieplnie

# Stale niestopowe na urządzenia ciśnieniowe

**Tablica 6.13**

*Orientacyjny skład chemiczny i własności stali na zwykłe zbiorniki ciśnieniowe*

Znak stali	Stężenie pierwiastków <sup>1)</sup> , %					Minimalne własności mechaniczne				
	C	Mn	Si	P	S	$R_{eH} (R_{p0,2})$ <sup>2)</sup> , MPa	$R_m$ <sup>2)</sup> , MPa	$A$ <sup>3)</sup> , %	$KV$ <sup>4)</sup> , J	
									w -20°C	w -50°C
P235S	≤0,16	0,4÷1,2	≤0,35	≤0,035	≤0,03	235	360	26	28	-
P265S	≤0,2	0,5÷1,5	≤0,4	≤0,035	≤0,03	265	410	22	28	-
P275SL	≤0,16	0,5÷1,5	≤0,4	≤0,03	≤0,025	275	390	24	-	28

<sup>1)</sup> Al ≥0,02 (nie obowiązuje jeśli N jest związany z innymi pierwiastkami). Produkty o grubości: <sup>2)</sup> ≤16 mm, <sup>3)</sup> 3÷40 mm, <sup>4)</sup> ≥10 mm.

**Tablica 6.14**

*Orientacyjny skład chemiczny i własności stali na spawane butle gazowe*

Znak stali	Stężenie pierwiastków <sup>1)</sup> , %					Minimalne własności mechaniczne				Temperatura wyżarzania normalizującego, °C
	C	Mn	Si	Nb	Ti	$R_{eH} (R_{p0,2})$ , MPa	$R_m$ , MPa	$A_{80mm}$ <sup>2)</sup> , %	$A$ <sup>3)</sup> , %	
P245NB	≤0,16	≥0,3	≤0,25	≤0,05	≤0,03	245	360	26	34	900÷940
P265NB	≤0,19	≥0,4	≤0,25			265	410	24	32	890÷930
P310NB	≤0,2	≥0,7	≤0,5			310	460	21	28	890÷930
P355NB	≤0,2	≥0,7	≤0,5			355	510	19	24	880÷920

<sup>1)</sup> P ≤0,025, S ≤0,015, N ≤0,009, Al ≤0,02. Produkty o grubości: <sup>2)</sup> <3 mm, <sup>3)</sup> 3÷5 mm.

# Stale niestopowe do nawęglania

- Stale niestopowe specjalne o zawartości 0,1-0,16% C i 0,45-0,75% Mn

# Stale niestopowe automatowe: do obróbki skrawaniem

# O określonym przeznaczeniu

- Na druty patentowane
- Na druty do zbrojenia kabli ziemnych
- Na rury ogólnego przeznaczenia
- Do produkcji sprężyn
- Na łańcuchy techniczne i okrętowe
- Do zbrojenia betonu
- Do budowy mostów
- Stosowane w górnictwie
- Stosowane w kolejnictwie
- Na rury kotłowe

# Niestopowe narzędziowe: na narzędzia tnące do drewna, papieru, tworzy sztucznych, proste narzędzia rolnicze

**Tablica 6.28**

*Orientacyjny skład chemiczny, twardość i warunki obróbki cieplnej stali narzędziowych niestopowych*

Znak stali	Średnie stężenie pierwiastków <sup>1)</sup> , %			Twardość		Temperatura, °C	
	C	Mn	Si	po wyżarzaniu, HB	po hartowaniu i odpuszczaniu, HRC	hartowania	odpuszczania
C45U	0,45	0,7	0,28	≤207 <sup>2)</sup>	≥54	810	180
C70U	0,7	0,25	0,2	≤183	≥57	800	
C80U	0,8	0,25	0,2	≤192	≥58	790	
C90U	0,9	0,25	0,2	≤207	≥60	780	
C105U	1,05	0,25	0,2	≤212	≥61	780	
C120U	1,2	0,25	0,2	≤217	≥62	770	
<sup>1)</sup> P ≤0,03, S ≤0,03.				<sup>2)</sup> W stanie surowym.			

# Rola pierwiastków stopowych

- Spowodowanie określonych zmian strukturalnych
- Wzrost własności
- Wzrost hartowności
- Ułatwienie obróbki cieplnej
- Źródła: tworzenie roztworów stałych i faz międzymetalicznych oraz międzywęzłowych, zmiany krzywych CTP, zmiany punktów charakterystycznych wykresu Fe-C



## Stale stopowe konstrukcyjne, maszynowe i na urządzenia ciśnieniowe

- Stosowane w budownictwie przemysłowym i ogólnym oraz w budowie maszyn i urządzeń pracujących w zakresie 25-300 C, w środowiskach o niewielkim działaniu korozyjnym
- Kryteria doboru: najczęściej własności mechaniczne,  $R_e$ ,  $R_{sp}$ ,  $Z_g$

# Stale mikrostopowe

**Tablica 6.33**

*Skład chemiczny i własności stali mikrostopowych o podwyższonej granicy plastyczności, przeznaczonych do obróbki plastycznej na zimno*

Znak stali	Maksymalne stężenie pierwiastka <sup>1)</sup> , %							Własności mechaniczne		
	C	Si	Mn	P	S	Nb <sup>2)</sup>	Ti <sup>2)</sup>	$R_{eH} (R_{p0,2})$ , MPa	$R_m$ , MPa min.	$A_{80mm}$ , % min.
H240LA	0,1	0,5	0,6	0,025	0,025	0,09	0,15	240÷310	340	27
H280LA			0,8					280÷360	370	24
H320LA			1					320÷410	400	22
H360LA			1,2					360÷460	430	20
H400LA			1,4					400÷500	460	18

<sup>1)</sup> Stale powinny zawierać pierwiastki całkowicie wiążące azot, w tym Al  $\geq 0,015\%$ .

<sup>2)</sup> Można dodać także V, przy czym V + Nb + Ti  $\leq 0,22\%$ .

**Tablica 6.34**

*Skład chemiczny i własności stali mikrostopowych o podwyższonej granicy plastyczności, powlekanych ognio i przeznaczonych do obróbki plastycznej na zimno*

Znak stali	Maksymalne stężenie pierwiastka <sup>1)</sup> , %							Własności mechaniczne <sup>2)</sup>		
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Nb	$R_{p0,2} (R_{eL})$ , MPa	$R_m$ , MPa	$A_{80mm}$ , % min.
H180YD	0,01	0,1	0,7	0,06	0,025	0,12	-	180÷240	340÷400	34
H220YD			0,9	0,08				220÷280	340÷410	32
H260YD			1,6	0,1				260÷320	380÷440	30
H260LAD	0,1	0,5	0,6	0,025	0,025	0,15	0,09	260÷330	350÷430	26
H300LAD			1					300÷380	380÷480	23
H340LAD			1					340÷420	410÷510	21
H380LAD			1,4					380÷480	440÷560	19
H420LAD			1,4					420÷520	470÷590	17

<sup>1)</sup> Al  $\geq 0,2$  w stalach H...YD, Al  $\geq 0,015$  w stalach H...LAD.

<sup>2)</sup> Próbki poprzeczne.

# Niskostopowe stale konstrukcyjne i na urządzenia ciśnieniowe, spawalne, z mikrodotatkami

Ze względu na skład chemiczny i strukturę wyróżnia się trzy grupy:

- zawierające Mn i mikrodotatki Al., V, Ti, Nb, N ferrytyczno-perlityczne
- zawierające Mn i Mo z mikrodotatkiem B, o strukturze bainitycznej
- zawierające Mn, Ni, Cr, Mo i mikrodotatki V, Zr, B, N, o strukturze wysokoodpuszczonego martenzytu

## Stale spawalne drobnoziarniste: na elementy konstrukcji spawanych silnie obciążonych

**Tablica 6.37**

Orientacyjny skład chemiczny i własności stali spawalnych drobnoziarnistych

Znak stali	Maksymalne stężenie pierwiastków <sup>1)</sup> , %						CEV, % maks.	Minimalne własności <sup>2)</sup>				
	C	Si	Ni	Cu	V	N		$R_{eH} (R_{p0,2})$ , MPa	$R_m$ , MPa	A, %	KV, J	
											w -20°C	w -50°C
S420N S420NL	0,2	0,6	0,8	0,7	0,2	0,025	0,48	420	520	19	40	-
S420M S420ML	0,16	0,5	0,3	-	0,12	0,02	0,43		500		40	-
											47	27
S460N S460NL	0,2	0,6	0,8	0,7	0,2	0,025	-	460	550	17	40	-
S460M S460ML	0,16	0,6	0,45	-	0,12	0,025	0,45		530		40	-
											47	27

<sup>1)</sup> Mn ≤1,7, P ≤0,035, S ≤0,03, Al ≥0,02, Nb ≤0,05.

Stal ...L: P ≤0,03, S ≤0,025.

Stan N: Cr ≤0,3, Mo ≤0,1, Ti ≤0,03.

Stan M: Cr + Cu + Mo ≤0,6, Mo ≤0,2, Ti ≤0,05.

<sup>2)</sup> Produkty o grubości ≤16 mm.

Stale spawalne o podwyższonej  
wytrzymałości ulepszone cieplnie lub  
utwardzane wydzieleniowo

Na bardzo obciążone elementy konstrukcji  
spawanych (dźwigi, mosty, budynki,  
cysterny, zbiorniki wodne)

# Stale spawalne drobnoziarniste na urządzenia ciśnieniowe

**Tablica 6.40**

Orientacyjny skład chemiczny i własności stali spawalnych drobnoziarnistych wyżarzonych normalizująco, przeznaczonych na urządzenia ciśnieniowe

Znak stali	Stężenie pierwiastków <sup>1)</sup> , %							Minimalne własności <sup>2)</sup>				
	C	Mn	P	S	Cr	V	N	$R_e$ , MPa	$R_m$ , MPa	A, %	KV, J	
											w -20°C	w -50°C
P460N	≤0,2	1÷1,7	≤0,03	≤0,025	≤0,3	≤0,2	≤0,025	460	570	17	20	-
P460NH			≤0,03	≤0,02							27	16
P460NL1			≤0,025	≤0,015							40	27
P460NL2												

<sup>1)</sup> Si ≤0,6, Cu ≤0,7, Ni ≤0,8, Mo ≤0,1, Ti ≤0,05, Nb ≤0,05, Nb + Ti + V ≤0,22, Al ≥0,02 (nie obowiązuje jeśli N jest związany z innymi pierwiastkami).

<sup>2)</sup> Próbki poprzeczne z produktów o grubości ≤16 mm.

# Stale maszynowe z mikrodotatkami

**Tablica 6.43**

*Orientacyjny skład chemiczny i własności stali maszynowych utwardzonych wydzieleniowo z temperatury obróbki plastycznej na gorąco*

Znak stali	Stężenie pierwiastków, %			Minimalne własności <sup>1)</sup>			
	C	Mn	inne	$R_{eH} (R_{p0,2})$ , MPa	$R_m$ , MPa	A, %	Z, %
19MnVS6+P	0,15÷0,24	1,2÷1,6	P ≤0,025, S: 0,02÷0,06, Si: 0,15÷0,8, N: 0,01÷0,02, Cr ≤0,3, Mo ≤0,08, V: 0,08÷0,2 <sup>2)</sup>	390	600	16	32
30MnVS6+P	0,26÷0,33			450	700	14	30
38MnVS6+P	0,34÷0,41			520	800	12	25
46MnVS6+P	0,42÷0,49			580	900	10	20
46MnVS3+P	0,42÷0,49	0,6÷1		450	700	14	30

<sup>1)</sup> Pręty o wymiarach 30÷120 mm, w stanie utwardzonym wydzieleniowo (+P).

<sup>2)</sup> Po uzgodnieniu część lub całość V można zastąpić Nb.

# Stale konstrukcyjne trudno rdzewiejące

**Tablica 6.44** Orientacyjny skład chemiczny i własności stali konstrukcyjnych trudno rdzewiejących

Znak stali	Stężenie pierwiastków <sup>1)</sup> , %						Minimalne własności <sup>2)</sup>				
	C maks.	Si maks.	Mn	P	Cr	Cu	$R_{eH} (R_{p0,2})$ , MPa	$R_m$ , MPa	A, %	KV, J	
										w 0°C	w -20°C
S235J0W	0,13	0,4	0,2÷0,6	≤0,04	0,4÷0,8	0,25÷0,55	235	340	26	27	-
S235J2W										-	27
S355J0WP	0,12	0,75	≤1	0,06÷0,15	0,3÷1,25	0,25÷0,55	355	490	22	27	-
S355J2WP										-	27
S355J0W	0,16	0,5	0,5÷1,5	≤0,04	0,4÷0,8	0,25÷0,55	355	490	22	27	-
S355J2G1W				≤0,035						-	27
S355J2G2W				≤0,035						-	27
S355K2G1W				≤0,035						-	40
S355K2G2W											

<sup>1)</sup> Stal ...J0: S ≤0,04, N ≤0,009, Ni ≤0,65; stal ...J2 i ...K2: S ≤0,035, Ni ≤0,65 oraz jeden z: Al ≥0,02, Nb: 0,015÷0,06, V: 0,02÷0,12, Ti: 0,02÷0,1.

<sup>2)</sup> Produkty o grubości ≤16 mm.



# Stale stopowe konstrukcyjne i maszynowe do ulepszenia cieplnego

- Na elementy podlegające dużym obciążeniom mechanicznym: wały, koła zębate, sworznie, korbowody, śruby
- Podstawowy materiał konstrukcyjny w przemyśle maszynowym

# Stale stopowe sprężynowe

**Tablica 6.47**

*Orientacyjny skład chemiczny, warunki hartowania i niektóre własności stali stopowych sprężynowych*

Znak stali	Średnie stężenie pierwiastków <sup>1)</sup> , %					Temperatura hartowania <sup>2)</sup> , °C / ośrodek chłodzący	Wytrzymałość i twardość w stanie hartowanym i odpuszczonym (+QT)	
	C	Mn	Si	Cr	inne		$R_m$ , MPa	HV
48Si7	0,48	0,65	1,8	≤0,4	-	840÷870/w	1200÷1700	370÷520
56Si7	0,56	0,75	1,8	≤0,4	-	840÷870/o	1200÷1700	370÷520
51CrV4	0,51	0,9	0,25	1,05	V: 0,18	840÷870/o	1200÷1800	370÷550
80CrV2	0,8	0,4	0,25	0,5	V: 0,2	840÷870/o	1200÷1800	370÷550
75Ni8	0,75	0,4	0,25	≤0,15	Ni: 2	820÷850/o	1200÷1800	370÷550
125Cr2	1,25	0,3	0,25	0,5	-	820÷850/o	1300÷2100	405÷630
102Cr6	1,02	0,3	0,25	1,5	-	830÷860/o	1300÷2100	405÷630

<sup>1)</sup> P ≤0,025, S ≤0,025, Ni ≤0,4, Mo ≤0,1.

<sup>2)</sup> w, o - chłodzenie odpowiednio w wodzie lub oleju.

# Stale stopowe do nawęglania

**Tablica 6.48**

*Orientacyjny skład chemiczny i temperatura obróbki cieplnej stali stopowych do nawęglania*

Znak stali	Średnie stężenie pierwiastków <sup>1)</sup> , %					Orientacyjna temperatura
	C	Mn	Cr	Mo	Ni	
17Cr3, 17CrS3	0,17	0,75	0,85	-	-	nawęglania: 880÷890°C
28Cr4, 28CrS4	0,28	0,75	1,05	-	-	
16MnCr5, 16MnCrS5	0,16	1,15	0,95	-	-	
16MnCrB5	0,16	1,15	0,95	-	B: 0,003	
20MnCr5, 20MnCrS5	0,2	1,25	1,15	-	-	
18CrMo4, 18CrMoS4	0,18	0,75	1,05	0,2	-	
22CrMoS3-5	0,22	0,85	0,85	0,45	-	
20MoCr3, 20MoCrS3	0,2	0,75	0,55	0,35	-	
20MoCr4, 20MoCrS4	0,2	0,85	0,45	0,35	-	
16NiCr4, 16NiCrS4	0,16	0,85	0,8	-	0,95	hartowania właściwego dla warstwy nawęglonej: 780÷820°C
10NiCr5-4	0,1	0,75	1,05	-	1,35	
18NiCr5-4	0,18	0,75	1,05	-	1,35	
17CrNi6-6	0,17	0,7	1,55	-	1,55	
15NiCr13	0,15	0,55	0,75	-	3,25	
20NiCrMo2-2, 20NiCrMoS2-2	0,2	0,8	0,55	0,2	0,55	
17NiCrMo6-4, 17NiCrMoS6-4	0,17	0,75	0,95	0,2	1,35	
20NiCrMoS6-4	0,2	0,7	0,75	0,3	1,55	
18CrNiMo7-6	0,18	0,7	1,65	0,3	1,55	
14NiCrMo13-4	0,14	0,45	0,95	0,18	3,25	

<sup>1)</sup> Si ≤0,4, P ≤0,035, S ≤0,035 lub S: 0,02÷0,04 (gatunki z literą S w znaku).

# Stale stopowe do azotowania

**Tablica 6.49**

*Orientacyjny skład chemiczny, warunki obróbki cieplnej oraz własności stali stopowych do azotowania*

Znak stali	Średnie stężenie pierwiastków <sup>1)</sup> , %						Temperatura, °C		Minimalne własności mechaniczne rdzenia <sup>2)</sup>			
	C	Cr	Mo	V	Al	Ni	hartowania	odpuszczania	$R_m$ , MPa	$R_e (R_{p0,2})$ , MPa	A, %	KV, J
24CrMo13-6	0,24	3,3	0,6	-	-	-	870+970	580+700	1000	800	10	25
31CrMo12	0,31	3	0,4	-	-	-	870+930		1030	835	10	25
31CrMoV9	0,3	2,5	0,2	0,15	-	-	870+930		1100	900	9	25
33CrMoV12-9	0,33	3	0,85	0,2	-	-	870+970		1150	950	11	30
40CrMoV13-9	0,39	3,3	0,95	0,2	-	-	870+970		950	750	11	25
32CrAlMo7-10	0,32	1,7	0,3	-	1	-	870+930	580+700	1030	835	10	25
34CrAlMo5-10	0,34	1,2	0,2	-	1	-	870+930		800	600	14	35
34CrAlNi7-10	0,34	1,7	0,2	-	1	1	870+930		900	680	10	30
41CrAlMo7-10	0,41	1,7	0,28	-	1	-	870+930		950	750	11	25

<sup>1)</sup> P ≤0,025, S ≤0,035, Mn: 0,55, Si ≤0,4.

<sup>2)</sup> Produkty o średnicy ≤40 mm, w stanie ulepszonym cieplnie.

# Stale stopowe na elementy łożysk tocznych

Duża twardość, jednorodność struktury,  
wysoki stopień czystości, wysoka  
hartowność, odporność na ścieranie,  
wytrzymałość zmęczeniowa i statyczna,  
ciągliwość

# Stale stopowe na narzędzia

- Szybko tnące
- Do pracy na gorąco
- Do pracy na zimno

# Stale stopowe narzędziowe do pracy na gorąco: 250-700 C (narzędzia kuźnicze, noże do cięcia na gorąco)

**Tablica 6.53**

*Orientacyjny skład chemiczny, warunki obróbki cieplnej i twardość stali narzędziowych stopowych do pracy na gorąco*

Grupa stali	Znak stali	Średnie stężenie pierwiastków <sup>1)</sup> , %							Temperatura, °C		Minimalna twardość po obróbce cieplnej, HRC
		C	Mn	Si	Cr	Mo	V	inne	hartowania	odpuszczania	
Cr-Mo-V	32CrMoV12-28	0,32	0,3	0,25	3	2,8	0,55	-	1040	550	46
	X37CrMoV5-1	0,37	0,4	1	5,2	1,3	0,4	-	1020	550	48
	X40CrMoV5-1	0,4	0,4	1	5,2	1,4	1	-	1020	550	50
	X38CrMoV5-3	0,38	0,4	0,4	5	3	0,5	-	1040	550	50
	50CrMoV13-5	0,5	0,7	0,5	3,3	1,5	0,25	-	1010	510	56
Cr-W-V	X30WCrV9-3	0,3	0,3	0,25	2,8	-	0,4	W: 9	1150	600	48
Cr-Mo-W-V	X35CrWMoV5	0,35	0,35	1	5,1	1,4	0,35	W: 1,4	1020	550	48
Wieloskładnikowe	38CrCoWV18-17-17	0,38	0,35	0,35	4,4	0,4	1,9	W: 4,2 Co: 4,3	1120	600	48
Nisko-stopowe	55NiCrMoV7	0,55	0,75	0,25	1	0,45	0,1	Ni: 1,6	850	500	42

<sup>1)</sup> P ≤ 0,03, S ≤ 0,02.

# Stale stopowe narzędziowe do pracy na zimno: <200C

**Tablica 6.54**

Orientacyjny skład chemiczny, warunki obróbki cieplnej i twardość stali stopowych stosowanych na narzędzia do pracy na zimno

Grupa stali	Znak stali	Średnie stężenie pierwiastków <sup>1)</sup> , %							Temperatura, °C		Minimalna twardość po obróbce cieplnej, HRC
		C	Mn	Si	Cr	Mo	V	inne	hartowania	odpuszczania <sup>2)</sup>	
Niskostopowe, wysokowęglowe	105V	1,05	0,25	0,2	-	-	0,15	-	720	180	61
	102Cr6	1,02	0,35	0,25	1,5	-	-	-	840	180	50
	70MnMoCr8	0,7	2,2	0,3	1,1	1,2	-	-	835	180	58
	90MnCrV8	0,9	2	0,25	0,4	-	0,13	-	790	180	60
	95MnWCr5	0,95	1,2	0,25	0,5	-	0,13	W: 0,6	800	180	60
Wysokostopowe	X100CrMoV5	1	0,6	0,25	5,2	1,05	0,25	-	970	180	60
Wysokostopowe, ledeburytyczne	X153CrMoV12	1,53	0,4	0,35	12	0,85	0,85	-	1020	180	61
	X210Cr12	2,05	0,4	0,35	12	-	-	-	970	180	62
	X210CrW12	2,15	0,45	0,25	12	-	-	W: 0,7	970	180	62
Średniowęglowe	35CrMo7	0,35	0,8	0,5	1,8	0,45	-	-			3)
	40CrMnNiMo8-6-4	0,4	1,5	0,3	2	0,2	-	Ni: 1,1			3)
	45NiCrMo16	0,45	0,35	0,25	1,4	0,25	-	Ni: 4,1	850	180	52
	50WCrV8	0,5	0,3	0,85	1,1	-	0,15	W: 2	920	180	56
	60WCrV8	0,6	0,3	0,85	1,1	-	0,15	W: 2	910	180	58
Średniowęglowe, wysokochromowe	X40Cr14	0,39	0,8	0,8	13,5	-	-	-	1010	180	52
	X38CrMo16	0,39	1,2	0,8	16,5	1,05	-	Ni ≤ 1			3)
Do nawęglania	21MnCr5	0,21	1,25	0,25	1,2	-	-	-			60 <sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> P ≤ 0,03, S ≤ 0,03.

<sup>2)</sup> Stale średniowęglowe i wysokostopowe odpuszcza się także w temperaturze wyższej.

<sup>3)</sup> Zwykle o twardości ok. 300 HB po hartowaniu i odpuszczaniu.

<sup>4)</sup> Twardość po nawęglaniu, hartowaniu i niskim odpuszczaniu.



# Stale i stopy żelaza o szczególnych właściwościach

- Stale stopowe do pracy w podwyższonej temperaturze
- Stale żaroodporne i żarowytrzymałe
- Stale zaworowe
- Stale i stopy oporowe
- Nadstopy i stopy wysokożarowytrzymałe
- Stale odporne na korozję
- Stale do pracy w obniżonej temperaturze
- Stale odporne na ścieranie
- Stale o szczególnych właściwościach magnetycznych
- Stale wysokowytrzymałe niskowęglowe martenzytyczne utwardzane wydzieleniowo typu „maraging”