

Tablica 1.4

Orientacyjne własności wytrzymałościowe niektórych gatunków staliw i żeliw: R_m , R_e , R_g – wg PN, naprężenia dopuszczalne – na podstawie tablic 1.1 i 1.2

Material	Gatunek	R_m MPa	$R_{e\min}$ MPa	$R_{g\text{sr}}$ MPa	Naprężenia dopuszczalne w MPa											
					k_r	k_{rj}	k_{rc}	k_g	k_{gj}	k_{go}	k_s	k_{sj}	k_{so}	k_c	k_{cj}	
Staliwo węglowe konstrukcyjne. Gatunki PN-ISO 3755:1994	200÷400	400÷550	200		125	65	38	150	80	50	80	55	29			
	230÷450	450÷600	230		130	75	42	155	90	58	83	62	32			
	270÷480	480÷630	270		150	80	45	185	95	61	95	65	34			$= k_{rj}$
	340÷550	550÷700	340		170	95	55	205	115	75	110	80	40			$= k_r$
	340÷550W ¹⁾	550÷700	340		180	105	60	215	125	80	115	85	45			
Żeliwo szare PN-EN 1561:2000	Znak															
	EN-GJL-150	150		300	45	20	15	70	30	20	55	25	15	145	70	
	EN-GJL-200	200		360	55	30	20	85	40	25	70	30	20	195	95	
	EN-GJL-250	250		420	70	35	25	115	50	35	90	40	25	245	120	
	EN-GJL-300	300		480	85	45	30	130	60	40	105	50	30	290	145	
EN-GJL-350	350		540	100	50	35	145	70	45	115	55	35	340	165		

$k_t \approx k_s$; $k_{rj} \approx k_{sj}$; $k_{ro} \approx k_{so}$. Wartość nacisków dopuszczalnych k_o przyjmuje się wg odrębnych tablic.

W pozostałych elementach maszyn $k_o \approx 0,8k_c$; $k_{rj} \approx 0,8k_{cj}$; $k_{so} \approx 0,4k_{cj}$.

¹⁾ Gatunek W ma ograniczony skład chemiczny i może być zamawiany, jeśli jest wymagana jednolita spawalność. Każdy gatunek staliwa określono symbolem liczbowym dwuwartościowym $R_{e\min} \div R_{m\min}$, np. 200 ÷ 400, 340 ÷ 550.

Tablica 1.3

Orientacyjne własności wytrzymałościowe niektórych gatunków stali: R_m i R_e wg PN oraz naprężenia dopuszczalne obliczone z zastosowaniem współczynników bezpieczeństwa podanych w tablicach 1.1 i 1.2

Materiał	Znak stali stary/nowy	Stan obróbki cieplnej	R_m min. MPa	R_e min. MPa	Naprężenia dopuszczalne w MPa								
					k_r	k_{rj}	k_{rc}	k_g	k_{gj}	k_{go}	k_s	k_{sj}	k_{so}
Stal niestopowa konstrukcyjna ogólnego przeznaczenia. Gatunki PN-EN 10025:2005 (U)	St0S/S185		320	195	100	55	30	120	65	40	65	44	23
	St3S/~S235JR		380	235	120	65	35	145	75	50	75	50	27
	(St3N ²)/—												
	St4S/S235		440	275	130	70	40	155	85	55	85	60	30
	(St4N ⁴)/—												
	St5/E295		490	295	145	80	45	170	95	60	90	65	35
	St6/E335		590	335	160	95	55	195	115	75	105	75	40
St7/E360		690	365	175	110	60	210	130	85	115	85	45	
Stal niestopowa do utwardzania powierzchniowego i ulepszenia cieplnego. Gatunki PN-H-84019:1993	10/C10E	N ³)	335	205	105	55	30	125	70	45	65	45	24
	15/C15E		375	225	115	65	35	140	75	50	75	50	27
	20/C22		410	245	125	70	40	150	85	55	80	60	30
	25/C25		450	275	140	80	45	170	90	60	90	65	33
	35/C35		530	315	155	85	50	185	100	65	100	70	36
	45/C45		600	355	170	95	55	205	115	75	110	80	40
	55/C55		650	380	185	105	60	225	125	80	120	85	45
	10/C10E	H ¹)	410	245	125	70	40	150	85	55	80	60	30
	15/—	H	490	295	150	85	45	180	100	65	95	70	35
	20/C22	H	540	355	180	95	50	215	110	70	115	75	40
	25/C25	T ²)	500	320	150	85	45	180	100	65	95	70	35
	35/C35	T	600	380	180	95	50	215	110	70	115	75	40
	45/C45	T	650	430	200	105	60	240	125	80	130	85	45
	55/C55	T	750	490	225	120	65	270	140	90	145	95	50
Stal stopowa konstrukcyjna do nawęglania. Gatunki PN-EN 10084:2002	15H/~17Cr3	H	690	490	250	120	65	300	140	90	160	95	50
	20H/~20Cr4	H	780	640	325	135	75	390	160	105	210	110	55
	20HG/~20MNCr5	H	1080	740	375	185	105	450	220	140	240	150	80
	15HGM/ /~20NiCrMo2-2	H	930	780	400	160	90	480	190	120	255	130	70
Stal stopowa konstrukcyjna do ulepszenia cieplnego i hartowania powierzchniowego. Gatunki PN-EN 10083-1:2006 (U)	30G2/~28Mn6	N	650	390	190	105	60	230	125	80	120	85	45
	45G2/~44SMn28	N	740	480	235	120	65	280	140	90	150	95	50
	30G2/~28Mn6	T	780	540	260	130	70	315	150	95	170	105	55
	45G2/~44SMn28	T	880	690	335	145	80	400	170	110	215	115	60
	30H/~34Cr4	T	880	740	355	145	80	430	170	110	230	115	60
	40H/~41Cr4	T	980	780	380	160	90	455	190	120	245	130	65
	50H/—	T	1080	930	450	175	100	545	210	135	290	145	75
	40HM/~42CrMo4	T	1030	880	430	165	95	515	200	130	275	135	70
	35HGS/—	T	1620	1280	620	265	145	745	310	200	395	215	110

$k_c = k_r; k_{cj} = k_{rj}; k_t \approx k_s; k_{tj} \approx k_{sj}; k_{to} \approx k_{so}$

¹) H — nawęglanie i hartowanie.
²) T — ulepszenie cieplne (hartowanie i wysokie odpuszczanie).
³) N — normalizowanie.
⁴) Stale do wytwarzania nitów; ich własności wytrzymałościowe są w przybliżeniu takie same jak własności odpowiednich stali niestopowych konstrukcyjnych ogólnego przeznaczenia wg PN-EN 10025:2002.
⁵) Wartości nacisków dopuszczalnych k_o przyjmuje się wg odrębnych tablic. W pozostałych elementach maszyn $k_o \approx 0,8k_c; k_{oj} \approx k_{cj}; k_{oo} \approx 0,4k_{cj}$.

Naprężenia dopuszczalne przy obciążeniach zmiennych. Części maszyn poddane obciążeniom zmiennym (tętniącym, wahadłowym lub o nieustalonym przebiegu) wykazują znacznie niższą wytrzymałość niż przy obciążeniach stałych. Proces zmian występujący w materiale pod wpływem zmiennych obciążeń i wywołanych nimi zmiennych naprężeń nosi nazwę zmęczenia materiału. W przypadku obciążeń okresowo zmiennych dla każdego materiału można ustalić doświadczalnie wartość największych naprężeń, przy których badane próbki nie ulegają zniszczeniu w ciągu określonej liczby zmian obciążenia (i wywołanych nimi naprężeń). Wartość tych naprężeń nazywa się ogólnie granicą zmęczenia lub wytrzymałością zmęczeniową i — w zależności od rodzaju obciążenia — oznacza się następująco:

Z_{go}, Z_{rc}, Z_{so} — przy obciążeniach działających w cyklu wahadłowym,

$Z_{gj}, Z_{rj}, Z_{cj}, Z_{sj}$ — przy obciążeniach działających w cyklu tętniącym odzerowo,

Z_g, Z_r, Z_c, Z_s — przy obciążeniach działających w dowolnym, jednoznacznie określonym cyklu niesymetrycznym.

Zależności umożliwiające wyznaczenie wytrzymałości na zmęczenie w przypadku obciążeń okresowo zmiennych są podane w tabl. 1.2.

Tablica 1.2

Zależności umożliwiające określanie wytrzymałości zmęczeniowej podstawowych materiałów konstrukcyjnych (zebrane z literatury [3, 19])

Rodzaj obciążenia	Sym-bol	Stale staliwa	Żeliwa szare	Stopy miedzi	Stopy aluminium
Rozciąganie i ściskanie	Z_{rj}	$(0,55 \div 0,63)R_m$ śr. 0,59 R_m	$\sim 1,5Z_{rc}$	śr. 0,50 R_m	śr. 0,48 R_m
	Z_{rc}	$(0,28 \div 0,4)R_m$ śr. 0,33 R_m	śr. 0,7 Z_{go}	śr. 0,28 R_m	$0,7Z_{go} \approx 0,25R_m$
	Z_{cj}	Z_{rj}	$(3,4 \div 4)Z_{rj}$	Z_{rj}	Z_{rj}
Zginanie	Z_{gj}	$(0,66 \div 0,75)R_m$ śr. 0,7 R_m	$\sim 1,5Z_{go}$	$\sim 1,8Z_{go}$	$\sim 1,8Z_{go}$
	Z_{go}	śr. 0,45 R_m	śr. 0,4 R_m	śr. 0,35 R_m	śr. 0,35 R_m
Skręcanie i ścinanie	Z_{sj}	$(0,46 \div 0,5)R_m$ śr. 0,48 R_m	$\sim 1,5Z_{so}$	$\sim 1,7Z_{so}$	$\sim 1,7Z_{so}$
	Z_{so}	$(0,22 \div 0,25)R_m$ śr. 0,25 R_m	$\sim 0,8Z_{go}$	$\sim 0,58Z_{go}$	$\sim 0,56Z_{go}$

Przyjmując jako podstawę odpowiednią wytrzymałość zmęczeniową, wartość naprężeń dopuszczalnych w przypadku obciążeń okresowo zmiennych wyznacza się wg wzoru

$$k = \frac{Z}{x_z} \quad (1.5)$$

w którym:

x_z — współczynnik bezpieczeństwa przy obciążeniach zmiennych (patrz tabl. 1.1).

Naprężenia dopuszczalne przy obciążeniach stałych. Naprężenia, które mogą wystąpić w materiale bez obawy naruszenia warunku wytrzymałości i warunku sztywności, nazywa się naprężeniami dopuszczalnymi.

Przyjęcie odpowiednich naprężeń dopuszczalnych jest jednym z ważniejszych zagadnień w obliczeniach wytrzymałościowych. Nieprawidłowe ustalenie naprężeń dopuszczalnych może stać się przyczyną zniszczenia elementów (np. złamania, trwałego odkształcenia) lub marnotrawstwa surowca wskutek nadmiernego zwiększenia wymiarów (i masy) zarówno elementów, jak i konstruowanej maszyny lub urządzenia.

Wartości naprężeń dopuszczalnych ustala się głównie w zależności od własności materiałów i charakteru obciążenia. Ogólnie rozróżnia się materiały plastyczne i kruche.

Dla większości materiałów w normach PN, PN-EN i PN-ISO jako podstawowe własności wytrzymałościowe są podawane: minimalna wytrzymałość na rozciąganie — tzw. wytrzymałość doraźna — $R_{m \min}$ (dla materiałów kruchych i plastycznych) oraz granica plastyczności — $R_{e \min}$ (tylko dla materiałów plastycznych).

Jako podstawę doboru naprężeń dopuszczalnych przy obciążeniach stałych przyjmuje się: R_e — dla materiałów plastycznych (np. stali) oraz R_m — dla materiałów kruchych (np. żeliwa). Przy poszczególnych rodzajach obciążeń podstawą doboru naprężeń dopuszczalnych mogą być odpowiednie specyficzne własności, np. wytrzymałość (doraźna) przy ścinaniu — R_t , granica plastyczności przy zginaniu — R_{eg} itd. W celu uzyskania określonego stopnia pewności, że dana część nie ulegnie zniszczeniu lub trwałemu odkształceniu, wprowadza się współczynniki bezpieczeństwa, w związku z czym naprężenia dopuszczalne wyznacza się wg wzorów

$$k = \frac{R_e}{x_e} \quad \text{lub} \quad k = \frac{R_m}{x_m} \quad (1.4)$$

w których:

x_e — współczynnik bezpieczeństwa dla materiałów plastycznych,

x_m — współczynnik bezpieczeństwa dla materiałów kruchych.

Wartości przyjmowanych współczynników uzależnia się od przeznaczenia konstrukcji lub urządzenia (możliwość wystąpienia nieprzewidzianego wzrostu obciążenia części, stopień „odpowiedzialności” konstrukcji lub urządzenia). Przeciętne wartości współczynników bezpieczeństwa — w tym współczynnika przy obciążeniach zmiennych x_z — podano w tabl. 1.1.

Tablica 1.1

Przeciętne wartości współczynników bezpieczeństwa

Materiał	x_e	x_m	x_z
Stale, staliwa, żeliwo ciągliwe	2÷2,3	—	3,5÷4
Żeliwa szare	—	3,5	3
Stopy miedzi	3÷4	—	4,5÷6
Stopy aluminium	3,5÷4	—	5÷7