

Techniki wytwarzania (3.01.2022 r.) – Marek Krukowski

Temat: Kryteria wyboru materiałów konstrukcyjnych

Proszę o zapoznanie się z poniższą literaturą.

2.1

Klasyfikacja materiałów konstrukcyjnych

W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:

- czym należy się kierować podczas doboru materiału na daną konstrukcję
- jakie są stopy metali żelaznych i nieżelaznych
- jakie są gatunki stali i ich oznaczenia
- co to są dodatki stopowe do stali i jakie mają znaczenie
- jakie materiały oprócz stali można stosować do produkcji elementów maszyn

2.1.1. Kryteria wyboru materiałów konstrukcyjnych

W procesie konstruowania maszyn wybór materiału jest bardzo ważny, ponieważ każdy, nawet najmniejszy element konstrukcji musi spełniać określone właściwości wytrzymałościowe. Współczesna inżynieria materiałowa udostępnia bogaty asortyment materiałów, począwszy od tradycyjnych stali, poprzez ich odmiany stopowe, żeliwa, tworzywa sztuczne, skończywszy na kompozytach. Dodatkowe możliwości stwarza inżynieria powierzchni, która pozwala modyfikować wybrane właściwości tych materiałów. Zwiększa to trwałość i niezawodność elementów oraz zapewnia większy dobór materiałów.

Do określenia rodzaju materiału potrzebna jest znajomość wymagań, jakim musi sprostać element w czasie eksploatacji (środowisko pracy i oddziaływania zewnętrzne). Wymagania te zestawione z właściwościami użytkowymi materiałów umożliwiają dokonanie wyboru. Ponadto przy wyborze są uwzględniane inne kryteria, np. ekonomiczne i ekologiczne.

Ewentualne trudności przy wyborze materiału wynikają z konieczności uwzględnienia różnych wymagań, które dotyczą cech użytkowych poszczególnych części maszyn. Zdarza się, że materiał wybierany przez konstruktora nie spełnia oczekiwań, np. materiał korzystny ze względów technologicznych i ekonomicznych nie spełnia warunków wytrzymałościowych.

Dobry materiał powinien zapewniać:

- możliwie lekką konstrukcję,
- pełne wykorzystanie jego właściwości,
- minimalny koszt wytworzenia uwzględniający zarówno koszt materiału, jak i pracochłonność procesów produkcyjnych.

Materiał przeznaczony do wyprodukowania z niego części maszyn, które będą znacznie obciążone, należy dobrać z uwzględnieniem badania tych części w warunkach eksploatacyjnych. Możemy również wzorować się na materiałach stosowanych w już istniejących konstrukcjach, jeżeli projektujemy elementy mniej ważne lub powtarzalne (takie, które spełniają podobne funkcje lub mają zbliżony kształt). Na części maszyn możemy stosować stopy metali żelaznych, stopy metali nieżelaznych i materiały niemetalowe. Do stopów metali żelaznych należą: stal, staliwo i żeliwo.

2.1.2. Stal

Stal to stop żelaza i węgla o zawartości węgla 0,2–2%. Do budowy maszyn i urządzeń stosuje się stale konstrukcyjne stopowe lub niestopowe. Stale konstrukcyjne niestopowe to stale zwykłej i wyższej jakości ogólnego przeznaczenia oraz stale do ulepszania cieplnego i utwardzania powierzchniowego.

Zgodnie z normami europejskimi obowiązują dwa systemy oznaczania stali:

- symbolowy (według PN-EN 10027-1:1994); znak stali składa się z symboli literowych i cyfr;
- cyfrowy (według PN-EN 10027-2:1994); znak stali składa się tylko z cyfr.

Każdy gatunek stali ma nadany symbol i numer jednoznacznie go identyfikujący. Symbole są tak dobrane, że wskazują główne cechy stali, np. zastosowanie, właściwości mechaniczne lub właściwości fizyczne bądź skład chemiczny, co ułatwia przybliżoną identyfikację gatunku stali. Numer stali, który możemy podawać zamiast symbolu, jest łatwiejszy do elektronicznego przetwarzania danych, gdyż składa się tylko z pięciu cyfr.

Podstawą klasyfikacji **stali konstrukcyjnych niestopowych zwykłej jakości ogólnego przeznaczenia** jest minimalna granica plastyczności R_e , natomiast skład chemiczny stanowi dodatkowy przedmiot ich odbioru. Oznaczenie takich stali składa się z litery **S** oraz liczby odpowiadającej minimalnej granicy plastyczności w MPa, np. **S235**. Kolejne litery po cyfrze określają różne wymagania jakościowe, dotyczące wartości próby łamania lub niektórych właściwości technologicznych, m.in. przydatności do kształtowania na zimno lub spawalności. Oznaczenie stali maszynowych składa się z litery **E** oraz liczby odpowiadającej minimalnej granicy plastyczności w MPa, np. **E360**.

Z niektórych stali konstrukcyjnych niestopowych wykonuje się kształtowniki zamknięte okrągłe, kwadratowe lub prostokątne o grubości ścianki do 65 mm, wytwarzane zarówno bez szwu, jak i ze szwem. Stale te są objęte normami PN-EN10210-1:2000 i PN-EN 10219-1:2000, a ich oznaczenie jest zakończone literą **H**, np. **S355J0H**. Każda ze stali konstrukcyjnych może być kształtowana na zimno i wtedy jej symbol jest uzupełniony literą **C**, np. **S235JRC**. Z takich stali wykonuje się m.in. grodzice (według PN-EN 10249-1:2000) stosowane w budownictwie i przy zabezpieczaniu robot ziemnych. Podobne grodzice kształtowane przez walcowanie na gorąco są wykonywane ze stali konstrukcyjnych ujętych w PN-EN 10248-1:1999. Stale należące do klasy stali jakościowych mają minimalną granicę plastyczności od 240 do 430 MPa, a na końcu symbolu litery **GP**, np. **S390GP**.

Oznaczenie **stali konstrukcyjnych niestopowych wyższej jakości ogólnego przeznaczenia** składa się z symbolu głównego oraz symboli dodatkowych, opisujących inne cechy wyróżniające tę stal lub wykonany z niej produkt hutniczy. Zgodnie z normą PN-EN 10027-2:1994 każdy gatunek stali jest oznaczony także numerem, który można podać zamiast symbolu stali. Numer stali zawiera pięć cyfr: **1.xxnn**, gdzie **1** oznacza stal (ogólniej stop żelaza), **xx** – dwie cyfry oznaczają grupę stali, **nn** – dwie cyfry wyróżniają konkretny gatunek w grupie, np. **1.4507**. Grupy stali ustalono według składu chemicznego, właściwości mechanicznych i technologicznych, właściwości fizycznych i zastosowania.

Przykładowo stale niestopowe jakościowe mają numery grup 01 do 07 oraz 91 do 97, stale niestopowe specjalne – 10 do 18, stale stopowe odporne na korozję i żaroodporne – 40 do 49, stale stopowe konstrukcyjne, maszynowe i na zbiorniki ciśnieniowe – 50 do 89.

Tabela 2.1. Orientacyjne właściwości wytrzymałościowe wybranych gatunków stali: R_m i R_e oraz naprężenia dopuszczalne obliczone z zastosowaniem współczynników bezpieczeństwa

Materiał	Znak stali nowy/stary	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}
konstrukcyjna ogólnego przeznaczenia (PN-EN10025:2007)	S185/St05		320	185	100	55	30	120	65	40	65	44	23
	S235JR/St35 -/St3N ⁴		380	235	120	65	35	145	75	50	75	50	27
	S275JR/St45 -/St4N ⁴		440	275	130	70	40	155	85	55	85	60	30
	E295/St5		490	295	145	80	45	170	95	60	90	65	35
	E335/St6		590	335	160	95	55	195	115	75	105	75	40
	E360/St7		690	360	175	110	60	210	130	85	115	85	45
powierzchniowego i ulepszenia cieplnego (PN-EN 10083-1+A1:1999 i PN-EN 10083-2+A1:1999)	C10E/10		335	205	105	55	30	125	70	45	65	45	24
	C15E/15		375	225	115	65	35	140	75	50	75	50	27
	C22/20		410	245	125	70	40	150	85	55	80	60	30
	C25/25		450	275	140	80	45	170	90	60	100	70	33
	C35/35		530	315	155	85	50	185	100	65	100	70	36
	C45/45		600	355	170	95	55	205	115	75	110	80	40
	C55/55		750	380	185	105	60	225	125	80	120	85	45
	C10E/10	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
	C22/20	H	540	355	180	95	50	215	110	70	115	75	40
	C25/25	T ²⁾	500	320	150	85	45	180	100	65	95	70	35
	C35/35	T	600	380	180	95	50	215	110	70	115	75	40
	C45/45	T	650	430	200	105	60	240	125	80	130	85	45
	C55/55	T	750	490	225	120	65	270	140	90	145	95	50
konstrukcyjna do nawęglania (PN- EN10084:2002)	17Cr3/15H	H	690	490	250	120	60	300	140	90	160	95	50
	20Cr4/20H	H	780	640	325	135	75	390	160	105	210	110	55
	20MnCr5/20HG	H	1080	740	375	185	105	450	220	140	240	150	80
	20NiCrMo2-2/ 15HGM	H	930	780	400	160	90	480	190	120	255	130	70
do ulepszenia cieplnego i hartowania powierzchniowego (PN-EN10083-1:2008)	28Mn6/30G2	N	650	390	190	105	60	230	125	80	120	85	45
	44SMn28/45G2	N	740	480	235	120	65	280	140	90	150	95	50
	28Mn6/30G2	T	780	540	260	130	70	315	150	95	170	105	55
	44SMn28/45G2	T	880	690	335	145	80	400	170	110	215	115	60
	34Cr4/30H	T	880	740	335	145	80	430	170	110	230	115	60
	41Cr4/40H	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
	42CrMo4/40HM	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

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

I – nawęglanie i hartowanie

– ulepszenie cieplne (hartowanie i wysokie odpuszczanie)

I – normalizowanie

Wale do wytwarzania nitów; ich właściwości wytrzymałościowe możemy przyjąć takie, jak właściwości odpowiednich stali niestopowych konstrukcyjnych ogólnego przeznaczenia wg PN-EN 10025:2002. Wartości nacisków dopuszczalnych k_0 przyjmujemy według odrębnych tablic. W elementach maszyn natomiast: $\gamma \approx 0,8k_c$; $k_{0j} \approx k_{cj}$; $k_{00} \approx 0,4k_{cj}$.

Źródło: A. Rutkowski, *Części maszyn*, WSiP, Warszawa 2007

Podstawą klasyfikacji **stali niestopowych do ulepszania cieplnego** (PN-EN 10083-1+A1:1999 i PN-EN 10083-2+A1:1999) jest ich skład chemiczny, szczególnie stężenie węgla. Oznaczenie (symbol) stali składa się z litery **C** i liczby równej średniemu stężeniu węgla w stali w setnych częściach (%). Dodatkowa litera **E** oznacza stal z wymaganym maksymalnym stężeniem siarki, natomiast litera **R** – stal z wymaganym zakresem stężenia siarki dodawanej w celu zwiększenia jej skrawalności. Stale o średnim stężeniu Mn $\geq 1\%$ są oznaczone liczbą równą średniemu stężeniu węgla w stali w setnych częściach (%), symbolem **Mn** i liczbą podającą średnie stężenie tego pierwiastka pomnożone przez 4 – dla stali od C35 do 28Mn6.

Symbol główny stali można uzupełnić literami oznaczającymi: wymaganą hartowność, np. symbol **C50E+H+A** oznacza stal niestopową do ulepszania cieplnego (**C**), zawierającą średnio 0,50%C (**50**), mającą określone maksymalne stężenie siarki (**E**), o wymaganej hartowności (**+H**) oraz dostarczoną w stanie wyżarzonym zmiękczająco (**A**). Stale te są przeznaczone głównie do produkcji elementów maszyn. Orientacyjne właściwości wytrzymałościowe wybranych gatunków stali podano w tabeli 2.1.

Stale konstrukcyjne trudno rdzewiejące (PN-EN 10155:1997) należą do stali stopowych specjalnych i są przeznaczone na elementy konstrukcyjne (spawane, zgrzewane, nitowane lub łączone śrubami) stosowane w temperaturze otoczenia. Stale konstrukcyjne trudno rdzewiejące to stale niestopowe zawierające do 0,16% C oraz dodatki do 1,25% Cr i do 0,55% Cu. Dodatki te powodują powstanie na powierzchni warstwy ochronnej złożonej z tlenków chromu lub miedzi oraz siarczanów i węglanów miedzi. Do niektórych z tych stali są wprowadzane także w niewielkim stężeniu takie pierwiastki, jak P, Al i Ni oraz mikrododatki V, Nb lub Ti.

Podstawą klasyfikacji tych stali jest wartość granicy plastyczności i skład chemiczny. Znak gatunku stali składa się z litery **S** i po niej liczby oznaczającej wartość minimalnej granicy plastyczności (w MPa), następnie znaków grupy i odmiany jakości (o różnej spawalności i wartości próby łamania) oraz litery **W** oznaczającej odporność na korozję atmosferyczną. Symbol stali jest uzupełniany literą **P** (jeśli stal zawiera podwyższone stężenie fosforu) oraz znakiem **+N** (jeśli ma być dostarczona w stanie wyżarzonym normalizująco). Większość stali do ulepszania cieplnego jest niskostopowa, o łącznym stężeniu pierwiastków stopowych nieprzekraczającym 3%. Istnieją również stale średniostopowe o łącznym stężeniu dodatków stopowych 3–5% oraz nieliczne o stężeniu pierwiastków stopowych przekraczającym 5%. Najtańsze stale z tej grupy, jako główny pierwiastek zwiększający hartowność, zawierają mangan (Mn), który jednak sprzyja rozrostowi ziaren austenitu podczas hartowania i związanemu z tym obniżeniu ciągliwości stali, zwłaszcza przy stężeniu większym od 1,8%. **Mangan** może być częściowo zastąpiony **krzemem**, który sprzyjając drobnoziarnistości, wpływa na zwiększenie granicy sprężystości. Ze stali manganowych wykonuje się wały, osie i śruby, a z manganowo-krzemowych – elementy narażone na ścieranie. Głównym dodatkiem stopowym w stalach maszynowych i konstrukcyjnych do ulepszania cieplnego jest **chrom**. Zapewnia on dużą wytrzymałość i ciągliwość stali. Stale chromowe są stosowane w wytwarzaniu bardzo obciążonych wałów, osi, korbowodów, przekładni zębatych, śrub i innych elementów maszyn o niedużych przekrojach. **Nikiel** również w dużym stopniu zwiększa hartowność stali konstrukcyjnych do ulepszania cieplnego, obniżając jednocześnie temperaturę przejścia w stan kruchy, i poprawia ciągliwość. Stale chromowo-niklowe w stanie ulepszonym cieplnie cechują się wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi oraz dużą udurowalnością i plastycznością. W celu przeciw-

działania temu zjawisku do stali chromowych i chromowo-niklowych dodaje się ok. 0,2% **molibdenu** (Mo), który zwiększa hartowność stali. Stale z dodatkiem Mo są przeznaczone do produkcji elementów maszyn o dużym przekroju, np. wałów korbowych silników lotniczych lub wałów napędowych.

Sprężyny i resory najczęściej są wykonywane ze **stali sprężynowych** (PN-EN 10132-4:2002U). Materiał używany do wytwarzania elementów sprężystych wyróżnia się dużą sprężystością i wysoką wytrzymałością na zmęczenie przy ograniczonych wymaganiach dotyczących właściwości plastycznych. Stale sprężynowe zawierają 0,5–1,25% C (najczęściej 0,5–0,8% C), od którego przede wszystkim zależą właściwości wytrzymałościowe i granica sprężystości.

Stale stopowe maszynowe do nawęglania cechuje dobra skrawalność, odporność na przegrzanie, mała skłonność do odkształceń podczas obróbki cieplnej, hartowność dostosowana do przekroju, obciążeń i cech geometrycznych wykonanych z nich elementów maszyn oraz bardzo dobre właściwości wytrzymałościowe nawęglonej powierzchni i duża ciągliwość rdzenia.

Stale łożyskowe, stosowane do wytwarzania elementów łożysk tocznych, powinna cechować bardzo duża twardość, jednorodność struktury, wysoki stopień czystości. Stale te w stanie obrobionym cieplnie są odporne na ścieranie, wykazują dużą wytrzymałość zmęczeniową i statyczną oraz odpowiednią ciągliwość. Właściwości wymagane w przypadku elementów łożysk tocznych można także osiągnąć przez utwardzanie warstwy wierzchniej w wyniku nawęglania lub hartowania powierzchniowego.

Stale stopowe narzędziowe stanowią liczną grupę materiałów. Dobra jakość narzędzi gwarantuje rzadką ich wymianę w agregatach obróbczych i zapewnia wymaganą jakość wytwarzanych elementów.

W grupie **stali i stopów specjalnych** wyróżnia się m.in. **stale żaroodporne, żarowytrzymałe, zaworowe i odporne na korozję**. Stale i stopy pracujące w wysokiej temperaturze – w zakresie powyżej 550°C – muszą cechować się dużą żaroodpornością i żarowytrzymałością. **Żaroodporność** to odporność stopu na działanie czynników chemicznych, głównie powietrza oraz spalin i ich agresywnych składników w temperaturze przekraczającej 550°C. Chrom jest podstawowym pierwiastkiem zwiększającym żaroodporność stali. **Żarowytrzymałość** to odporność stopu na odkształcenia – wiąże się z tym zdolność do przenoszenia obciążeń mechanicznych w wysokiej temperaturze (powyżej 550°C). Nikiel przy stężeniu 9%, w obecności ok. 18% Cr, powoduje tworzenie trwałej struktury austenitycznej, co decyduje o zwiększeniu żarowytrzymałości stali. Żarowytrzymałość podwyższają pierwiastki stopowe – molibden, wolfram, wanad, kobalt, a także tytan, chrom i krzem – które wpływają na wzrost temperatury topnienia i rekrytalizacji. Stężenie węgla w tych stalach – ze względu na zapewnienie odpowiedniej spawalności – jest ograniczone do ok. 0,25%.

Szczególną grupę stali żarowytrzymałych, używanych na zawory w silnikach spalinowych, stanowią **stale zaworowe** (PN-EN 10090:2001). Są one odporne na korozję w atmosferze spalin w temperaturze do ok. 750°C. Tę odporność zapewniają przede wszystkim dodatki krzemu i chromu, stąd nazwa tego typu stali – **silchromy**. Duża twardość i odporność na ścieranie jest osiągana dzięki stężeniu węgla 0,4–0,6%.

Stal odporna na ścieranie, nazywana stalą Hadfielda – **X120Mn13** – zawiera 1,1–1,3% C oraz 12–13% Mn. Znajduje zastosowanie w produkcji elementów narażonych na ścieranie przy dużych i dynamicznych naciskach powierzchniowych, np. koszy koparek, gąsienic do ciągników, rozjazdów kolejowych, łamaczy kamieni i młynów kulowych.

Grupę stali typu **maraging** stanowią niskowęglowe stopy żelazowo-niklowe, które cechują znaczna wytrzymałość i plastyczność. Głównym pierwiastkiem stopowym w stalach tego typu jest nikiel o stężeniu 8–25%, który zwiększa odporność stali na kruche pękanie. Stale typu maraging są wykorzystywane do wytwarzania elementów pracujących w szerokim zakresie temperatury – od ok. –200°C do ok. 600°C, w szczególnie trudnych warunkach obciążeń mechanicznych. Znajdują zastosowanie najczęściej w technice lotniczej i raketowej, w przemyśle zbrojeniowym oraz chemicznym i naftowym na zbiorniki wysokociśnieniowe, w budowie okrętów, do wyrobu sprężyn.

Ważnym materiałem konstrukcyjnym, używanym w formie odlewów, jest **staliwo niestopowe** (PN-ISO 3755:1994). Jest ono otrzymywane w wyniku odlewania do form, w których krzepnie i uzyskuje wymagany kształt użytkowy. Staliwa niestopowe (węglowe) dzieli się na dwie grupy: ze względu na właściwości mechaniczne oraz na właściwości mechaniczne i skład chemiczny. Znak staliwa składa się z dwóch liczb, które określają wyrażone w MPa wartości: minimalnej granicy plastyczności R_e oraz minimalnej wytrzymałości na rozciąganie R_m (np. **200–400**). Staliwa węglowe, które podlegają odbiorowi także na podstawie składu chemicznego, są dodatkowo oznaczone literą **W** (np. **270–480W**).

Staliwa stopowe zawierają dodatki stopowe o stężeniu przekraczającym wartości graniczne takie, jak dla stali stopowych. Ze względu na zastosowanie rozróżniamy staliwa stopowe: konstrukcyjne, odporne na ścieranie, odporne na korozję, żaroodporne i żarowytrzymałe oraz narzędziowe. Gdy łączne stężenie dodatków stopowych nie przekracza 2,5%, staliwo to określa się jako niskostopowe, gdy jest zawarte w przedziale 2,5–5% – średniostopowe, przy stężeniu większym niż 5% – wysokostopowe. Oznaczenie staliw stopowych rozpoczyna się od litery **G** (według PN-EN 10027-1:1994) lub **L** (według dotychczasowych norm PN), a następujący po nich symbol jest zgodny z systemem oznaczania odpowiedniej grupy stali, np. **G15MoMn4** (lub **L15GM**).

Do materiałów odlewniczych, stosowanych w budowie maszyn, należy **żeliwo**. Decydują o tym m.in. stosunkowo niski koszt produktów, niska temperatura topnienia, dobre właściwości wytrzymałościowe i dobra skrawalność. Żeliwo zawiera 2–4% węgla. W zależności od postaci, w jakiej występuje węgiel, rozróżniamy **żeliwo: szare**, w którym węgiel występuje w postaci grafitu, oraz **białe**, w którym węgiel jest związany w cementycie. Żeliwa szare cechuje dobra zdolność do tłumienia drgań. Żeliwa, zgodnie z PN-EN 1560:2001, są oznaczane za pomocą symboli lub cyfr. Symbol żeliwa składa się z liter **EN–GJ** oraz dodatkowej litery, która określa postać grafitu lub cementytu. Jeśli to konieczne, należy podać następną literę identyfikującą mikro- lub makrostrukturę. Następne części symbolu klasyfikują żeliwo według właściwości lub składu chemicznego i podają ewentualne wymagania dodatkowe. Jednoznacznie dany gatunek żeliwa określa też symbol, który zawiera numer. Zaczyna się on od liter **EN–J**, następnie występuje litera określająca strukturę (zwłaszcza postać grafitu) oraz czterocyfrowy numer, np. **EN–JS1131**.

Żeliwo szare niestopowe (węglowe) występuje w trzech grupach:

- zwykłe,
- modyfikowane,
- sferoidalne.

Klasyfikacja żeliwa szarego zwykłego (według PN-EN 1561:2000) odbywa się ze względu na wytrzymałość na rozciąganie lub twardość. Oznacza się je literami **EN–GJL**, następnie po znaku pauzy jest wstawiana liczba podająca minimalną wytrzymałość na rozciąganie w MPa (np. **EN–GJL–100**) lub po znaku pauzy litery **HB** i liczba podająca maksymalną wartość twardości Brinella (np. **EN–GJL–HB155**).

Żeliwa szare sferoidalne (według PN-EN 1563:2000) są oznaczane literami **EN-GJS**, następnie po znaku pauzy występuje liczba odpowiadająca minimalnej wytrzymałości na rozciąganie w MPa i po kolejnej pauzie – liczba, która wskazuje minimalne wydłużenie A w % (np. **EN-GJS-350-22**). Żeliwo to znajduje zastosowanie do produkcji odlewów elementów maszyn i urządzeń odpornych na ścieranie, elementów silników, pomp i sprężarek, kół zębatach, niektórych narzędzi (np. matryc, bębnow i klocków hamulcowych, odlewów silnie obciążonych elementów maszyn, które muszą być bardziej odporne na ścieranie, części turbin, pomp i sprężarek, wałów korbowych odlewów o dużej twardości i odporności na ścieranie, elementów urządzeń w przemyśle energetycznym, w transporcie pneumatycznym, części pomp szlamowych i czyszczarek śrutowych, odlewów elementów maszyn o wysokiej odporności na ścieranie w temperaturze pokojowej i podwyższonej, łopatek rzutowych śrutownic, kolan rurociągów szlamowych, elementów młynów węglowych, odlewów odpornych na ścieranie w warunkach obciążeń uderowych, wlewnic, walców). Orientacyjne właściwości wytrzymałościowe wybranych gatunków stali i żeliw przedstawiono w tabeli 2.2.

Tabela 2.2. Orientacyjne właściwości wytrzymałościowe wybranych gatunków stali i żeliw: R_m , R_e , R_g oraz naprężenia dopuszczalne obliczone z zastosowaniem współczynników bezpieczeństwa

Materiał	Gatunek / oznaczenie	R_m MPa	$R_{e \min}$ MPa	R_{gsr} 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 niestopowe konstrukcyjne PN-ISO 3355:1994	200-400	400-550	200		125	65	38	150	80	50	80	55	29	125	65
	230-450	450-600	230		130	75	42	155	90	58	83	62	32	130	75
	270-480	480-630	270		150	80	45	185	95	61	95	65	34	150	80
	340-550	550-700	340		170	95	55	205	115	75	110	80	40	170	95
	340-550W ¹⁾	550-700	340		180	105	60	215	125	80	115	85	45	180	105
Żeliwa szare PN-EN 1561:2000	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_{rj} ; $k_t \approx k_s$; $k_{tj} \approx k_{sj}$; $k_{to} \approx k_{so}$. Wartości nacisków dopuszczalnych k_o przyjmujemy na podstawie odrębnych tabel. W elementach maszyn są to: $k_o \approx 0,8k_c$; $k_{oj} \approx k_{cj}$; $k_{oo} \approx 0,4k_{cj}$.

¹⁾ Gatunek z literą W ma ograniczony skład i może być zamawiany, jeżeli jest wymagana jednolita spawalność. Każdy gatunek staliwa niestopowego konstrukcyjnego podajemy symbolem liczbowym określającym $R_{e \min}$ i $R_{m \min}$.

Źródło: A. Rutkowski, *Części maszyn*, WSiP, Warszawa 2007