

W tym rozdziale dowiemy się:

- jakie własności mechaniczne i technologiczne charakteryzują metale i stopy metali,
- jak otrzymuje się i klasyfikuje stopy żelaza z węglem,
- jakie własności i zastosowanie mają poszczególne rodzaje stali, staliw i żeliw,
- jakie są rodzaje najważniejszych metali nieżelaznych i ich stopów,
- na czym polega obróbka cieplna i cieplno-chemiczna,
- na które części pojazdów wykorzystuje się poszczególne rodzaje materiałów metalowych,
- jakie są rodzaje najważniejszych materiałów niemetalowych,
- na które części pojazdów samochodowych wykorzystuje się poszczególne rodzaje materiałów niemetalowych.

Właściwości metali i ich stopów

2.1

Występujące w przyrodzie pierwiastki dzieli się na metale i niemetale.

Metale mają następujące właściwości:

- dobrą przewodność elektryczną,
- dobre przewodnictwo cieplne,
- własności magnetyczne,
- plastyczność,
- charakterystyczny połysk,
- nieprzezroczystość.

Właściwości metali wynikają z ich budowy wewnętrznej – z wiązań między atomami tworzącymi ich strukturę. Metale najczęściej występują w przyrodzie jako składniki różnych minerałów lub rud. Rudy są naturalnymi skupieniami minerałów zawierających metale lub ich związki (np. siarczki, tlenki, węglany). Ze względu na niekorzystne własności wytrzymałościowe metale chemicznie czyste rzadko wykorzystuje się w technice. Do budowy maszyn najczęściej stosuje się stopy metali i niemetali.

Stopy metali są to substancje o własnościach metalicznych, otrzymywane przez stopienie i zmieszanie dwóch lub więcej metali albo metali z niemetalami. Stopy metali mają lepsze własności mechaniczne i technologiczne niż czyste metale. Korzystną własnością czystych metali jest ich większa odporność na niszczące działanie czynników chemicznych i elektrochemicznych, czyli na korozję.

Własności metali i ich stopów dzieli się na:

- chemiczne,

- fizyczne,
- mechaniczne,
- technologiczne.

Badaniem tych własności zajmuje się nauka zwana metaloznawstwem.

Do **własności chemicznych** metali i ich stopów zalicza się odporność na działanie środowiska zewnętrznego (kwasów, zasad, temperatury, gazów, wilgotności itp.), tj. na korozję. Metale o dużej odporności na korozję to platyna, złoto i srebro oraz stopy żelaza z chromem i niklem.

Własności fizyczne metali i ich stopów to gęstość, temperatura topnienia, temperatura wrzenia, ciepło właściwe, przewodnictwo cieplne, przewodność elektryczna, magnetyzm i rozszerzalność cieplna. Wybrane własności fizyczne metali i ich stopów zestawiono w tablicy 2-1.

Tabl. 2-1 | Przykładowe własności fizyczne metali i ich stopów

Własność	Definicja	Jednostka	Przykłady
Gęstość	Stosunek masy ciała jednorodnego do jego objętości	kg/m ³ , g/cm ³	Metale o małej gęstości (lekkie): aluminium, sód, magnez i ich stopy. Metale o dużej gęstości (ciężkie): żelazo, nikiel, miedź, platyna, ołów i ich stopy
Temperatura topnienia	Temperatura, w której następuje przemiana ze stanu stałego w stan ciekły	°C, K	Metale łatwo topliwe, których temperatura topnienia wynosi do 650°C: cynk, cyna, bizmut, kadm, magnez, ołów. Metale trudno topliwe, których temperatura topnienia wynosi 650–2000°C: chrom, kobalt, miedź, nikiel, platyna, żelazo. Metale bardzo trudno topliwe, których temperatura topnienia wynosi powyżej 2000°C: wolfram, molibden, tantal. Metale mają stałą temperaturę topnienia, natomiast stopy nie
Temperatura wrzenia	Temperatura, w której zachodzi przemiana ze stanu ciekłego w stan gazowy	°C, K	Łatwo wrzące metale: kadm i cynk, których temperatura wrzenia wynosi odpowiednio 767°C i 907°C. Trudno wrzące metale: srebro i żelazo, których temperatura wrzenia wynosi odpowiednio 2212°C i 2750°C
Ciepło właściwe	Ciepło niezbędne do zwiększenia temperatury ciała o masie 1 kg o 1 K	J/(kg·K)	Cyna 222 J/(kg·K). Cynk 389 J/(kg·K). Mosiądz 387 J/(kg·K). Żelazo 452 J/(kg·K). Platyna 136 J/(kg·K). Ciepło właściwe zależy od rodzaju substancji, temperatury i sposobu ogrzewania
Rozszerzalność cieplna (liniowa lub objętościowa)	Wzrost długości lub objętości ciała pod wpływem wzrostu temperatury	1/K	Największą liniową rozszerzalność cieplną wykazuje ołów ($\alpha = 29,3 \cdot 10^{-6}$ 1/K), a najmniejszą wolfram ($\alpha = 4,5 \cdot 10^{-6}$ 1/K). α – współczynnik rozszerzalności liniowej, β – współczynnik rozszerzalności objętościowej

Własność	Definicja	Jednostka	Przykłady
Przewodność elektryczna	Zdolność przewodzenia prądu elektrycznego (odwrotność oporu elektrycznego)	S (simens)	Największą przewodność elektryczną wśród metali mają srebro, miedź, złoto, aluminium. Przewodność maleje wraz ze wzrostem temperatury przewodnika

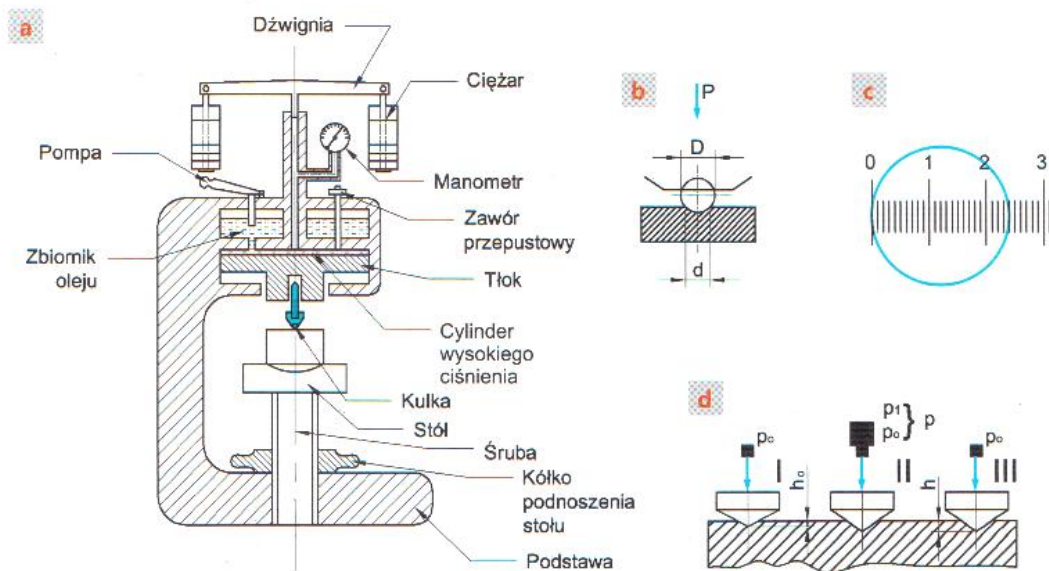
Własności mechaniczne stanowią zespół cech określających odporność metali i ich stopów na działanie sił zewnętrznych. Wpływają one na trwałość konstrukcji i warunkują wybór odpowiedniej metody obróbki materiału. Do własności mechanicznych zalicza się:

- wytrzymałość,
- twardość,
- uderność.

Wytrzymałość jest stosunkiem największej wartości obciążenia uzyskanego podczas próby wytrzymałościowej do pola powierzchni przekroju poprzecznego badanej próbki. W zależności od rodzaju obciążenia rozróżnia się wytrzymałość na: rozciąganie, ściskanie, skręcanie, zginanie, ścinanie i wyboczenie.

Twardość jest miarą odporności materiału na odkształcenie trwałe, powstałe w wyniku wciskania wań węgelnika. Najczęściej próby twardości wykonuje się metodami Brinella, Rockwella i Vickersa na prasach zwanych twardościomierzami, zgodnie z odpowiednimi normami.

Pomiar twardości metodą Brinella polega na wciskaniu w powierzchnię badanego materiału stalowej kulki. W zależności od rodzaju i grubości materiału stosuje się kulki



Rys. 2.1 Twardościomierz i schematy pomiaru twardości

a – schemat przyrządu, *b* – zasada pomiaru metodą Brinella, *c* – schemat pomiaru średnicy odcisku, *d* – zasada pomiaru metodą Rockwella

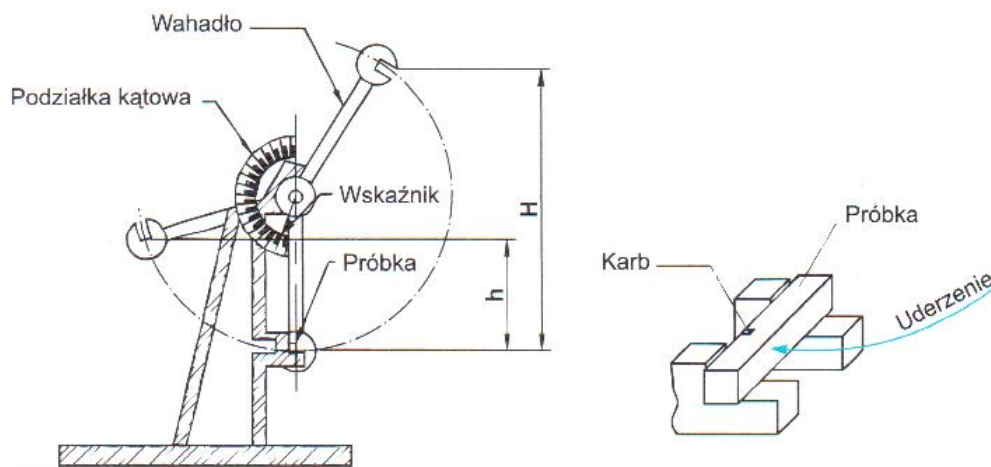
o różnych średnicach: 1; 2,5; 5 i 10 mm oraz siłę nacisku od 10 do 30 000 N. Wskutek wciskania kulki na badanej powierzchni powstaje kulisty odcisk, którego średnicę mierzy się za pomocą specjalnej lupy z podziałką. Następnie z odpowiednich tabel odczytuje się twardość Brinella, oznaczaną jako HB. Metodą Brinella bada się metale i stopy metali nieżelaznych, żeliwa i stale nieutwardzone. Sposób przeprowadzenia badania oraz tabele do odczytu twardości ujęto w odpowiednich normach. Budowę twardościomierza i schemat pomiaru twardości przedstawiono na rysunku 2.1a-c.

Pomiar twardości metodą Rockwella polega na wciskaniu w powierzchnię metalu diamentowego stożka o kącie rozwarcia 120° lub stalowej kulki o średnicy 1,588 mm. W celu zmniejszenia błędów pomiaru stosuje się obciążenie dwustopniowe. Miarą twardości w tej metodzie jest głębokość wnikięcia stożka lub kulki w badany materiał. Twardość odczytuje się bezpośrednio na podziałce czujnika twardościomierza. Jeżeli pomiar był wykonywany za pomocą kulki, twardość oznacza się symbolem HRB, jeśli zaś za pomocą stożka – symbolem HRC. Zasadę pomiaru twardości metodą Rockwella przedstawiono na rysunku 2.1d. Metodę Rockwella stosuje się do twardych metali i ich stopów. Sposób prowadzenia badań również jest znormalizowany.

Pomiar twardości metodą Vickersa polega na wciskaniu w materiał diamentowego ostrosłupa o podstawie kwadratowej (piramidy) i kącie wierzchołkowym 136° . W wyniku badania otrzymuje się odcisk o kształcie kwadratu, którego przekątną mierzy się mikroskopem pomiarowym. Na podstawie długości tej przekątnej z tabeli odczytuje się twardość, którą oznacza się symbolem HV. Metodę Vickersa stosuje się do badania twardości bardzo cienkich materiałów, a także bardzo cienkich warstw powierzchniowych. Pomiar twardości metodą Vickersa także jest znormalizowany.

Udarność jest to odporność materiałów na uderzenia, która informuje o tym, jak zachowa się materiał pod wpływem narastającego gwałtownie obciążenia. Do badania udarności stosuje się najczęściej młot udarnościowy Charpy'ego. Zasadę jego działania przedstawiono na rysunku 2.2.

Specjalnie przygotowaną próbkę o określonych wymiarach i kształcie (z karbem) układa się na podporach młota wahadłowego. Młot, spadając z wysokości H , łamie próbkę i wznosi się na wysokość h . Miarą udarności jest stosunek pracy zużytej na złamanie próbki do pola jej przekroju poprzecznego.



Rys. 2.2 Młot udarnościowy Charpy'ego

Własności technologiczne określają podatność metalu lub stopu metali na różne zabiegi technologiczne, wykonywane w celu otrzymania gotowego wyrobu. Ponieważ wyroby metalowe wytwarza się za pomocą skrawania, odlewania, kucia, tłoczenia itp., do właściwości tych zalicza się:

- skrawalność,
- lejność,
- plastyczność.

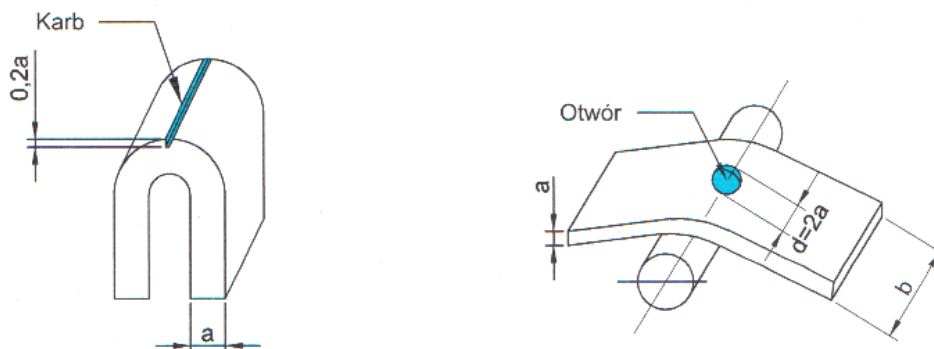
Skrawalność jest to podatność materiału na obróbkę skrawaniem. Zależy ona od twardości i budowy wewnętrznej materiału. Materiały twarde i kruche skrawają się trudniej niż miękkie i plastyczne. Jednak materiały zbyt miękkie także nie mają dobrej skrawalności, ponieważ zalepiają ostrza narzędzi skrawających.

Skrawalność materiałów określa się na podstawie prób, podczas których bada się rodzaj wiórów i powierzchnię skrawania.

Lejność jest to zdolność ciekłego metalu lub stopu metali do wypełnienia formy odlewniczej. Zależy ona od składu chemicznego, budowy wewnętrznej i temperatury ciekłego metalu. Miarą lejności jest odległość, na którą dopłynie ciekły metal w znormalizowanej formie o kształcie spirali. Im większa jest lejność badanego materiału, tym dłuższy odcinek spirali zostanie wypełniony podczas odlewania.

Plastyczność jest to zdolność ciał stałych do osiągania znacznych odkształceń trwałych pod działaniem sił zewnętrznych, ale bez naruszania ciągłości ich struktury. Badanie plastyczności umożliwia sprawdzenie zdolności materiału do obróbki plastycznej, czyli np. walcowania, kucia lub tłoczenia. Jedną z prób badania własności plastycznych materiału jest próba technologicznego zginania. Zginaniu poddaje się płaskownik z naciętym karbem lub wywierconym otworem o średnicy równej podwójnej grubości próbki (rys. 2.3). W próbie technologicznego zginania miarą plastyczności jest wartość kąta, o który można zgiąć próbkę bez spowodowania jej pęknięcia.

Przydatność blach do tłoczenia określa się w próbie tłoczności metodą Erichsena. Polega ona na powolnym wtlaczaniu kulisto zakończonych stempla stalowego lub kulki w próbkę blachy umocowaną w matrycy. Stempel lub kulkę wtlacza się za pomocą koła dociskowego. Próba trwa do pojawienia się pęknięć obserwowanych w lusterku maszyny (rys. 2.4). Miarą tłoczności blachy jest głębokość wyciśniętego wgłębienia.



Rys. 2.3 Obostrzona próba zginania



Rys. 2.4 Maszyna do badania tężności blachy metodą Erichsena

2.2 Metale żelazne i ich stopy

2.2.1 Klasyfikacja i otrzymywanie stopów żelaza z węglem

Z technicznego punktu widzenia najważniejszym metalem jest żelazo (symbol chemiczny Fe), będące głównym składnikiem stali, która stanowi stop żelaza z węglem. Stopy żelaza z węglem dzieli się na cztery rodzaje (rys. 2.5).

Produktami wyjściowymi do otrzymywania stopów żelaza są surówki żelaza. Wytwarza się je z rud żelaza w tzw. wielkich piecach hutniczych. Wysokość tych pieców może dochodzić do 30 m, a średnica do 8 m (rys. 2.6).

Pojemność użyteczna wielkiego pieca, czyli jego objętość wypełniona materiałem do wytopu, może wynosić do 1500 m³. Wewnętrzne ściany wielkiego pieca buduje się z materiałów ogniotrwałych, z zewnątrz zaś pokrywa się je grubą stalową blachą. Górna, cylindryczna część pieca to gardziel. Poniżej niej znajduje się szyb o kształcie stożka ściętego, którego najszersza część to przestron. Od przestronu w dół piec się zwęża, tworząc spadki, które przechodzą w część najniższą – gara, w którym panuje temperatura około 1900°C. W dolnej części gara znajduje się otwór do spuszczenia surówki.

Proces wielkopiecowy to zespół zjawisk fizycznych i reakcji chemicznych zachodzących w wielkim piecu w celu uzyskania surówki. Wsadem do wielkiego pieca są rudy żelaza, różniące się zawartością żelaza: hematyt, limonit, syderyt i magnetyt, oraz koks i topniki, ładowane na przemian, warstwami, od góry przez gardziel. Do gara pod ciśnieniem doprowadza się gorące powietrze. Produktami wielkiego pieca są: surówka biała, stosowana do dalszej przeróbki na stal, i surówka szara, z której otrzymuje się żeliwo. Podczas wytopu surówki powstają także gazy wielkopiecowe, używane do ogrzewania nagrzewnic powietrza dostarczanego do pieca, oraz żużel, wykorzystywany do wyrobu cegły i żużlobetonu. Wydajność wielkich pieców wynosi 250–2000 ton surówki na dobę. Piece te pracują w produkcji ciągłej około 2–3 lata, a następnie są remontowane.



Rys. 2.5 Podział stopów żelaza

Stale

2.2.2

Otrzymywanie stali

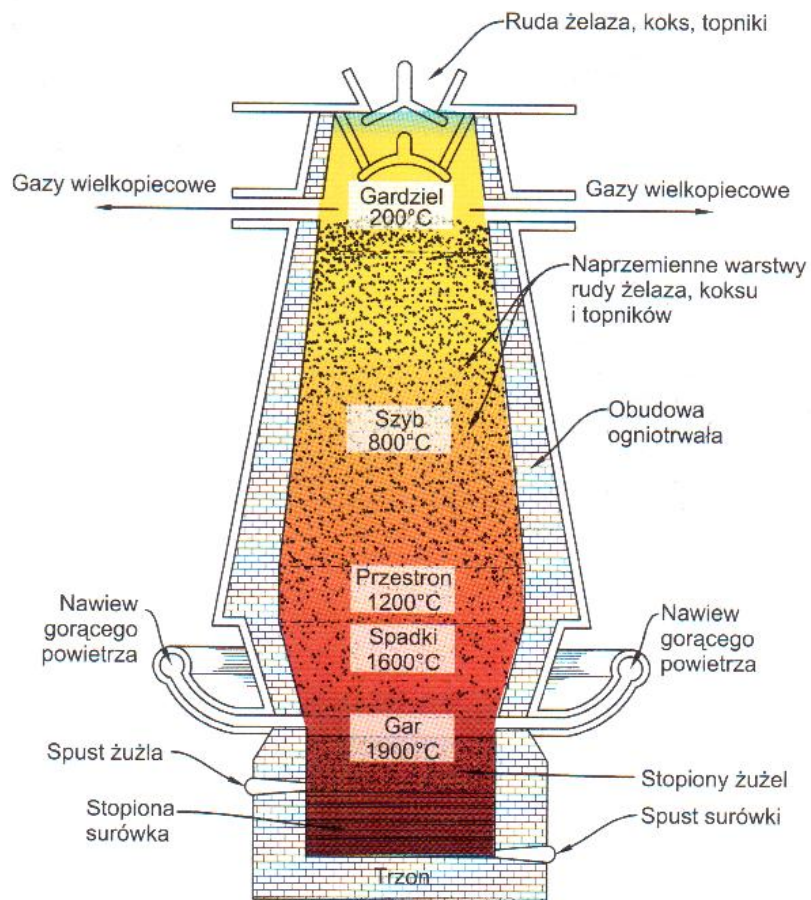
Stal jest to stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, zawierający do ok. 2% węgla, przerobiony plastycznie i obrobiony cieplnie.

Stal otrzymuje się w wyniku przeróbki surówki białej, jednego z produktów wielkiego pieca (patrz rys. 2.6). W surówce białej węgiel występuje w postaci węgliku żelaza (cementytu). Nazwa „surówka biała” pochodzi od bardzo jasnego przełomu. Surówka zawiera 2,5–4,5% węgla, więc proces otrzymywania stali polega na odwęglaniu surówki. Podczas przeróbki na stal węgiel oraz inne domieszki i zanieczyszczenia ulegają częściowemu wypaleniu. Stal można otrzymać metodą:

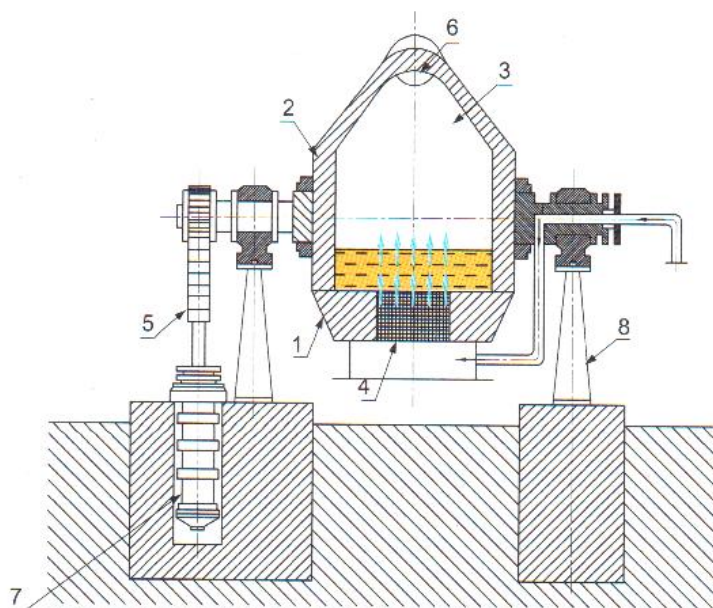
- konwertorową,
- martenowską,
- elektryczną.

Wytapianie stali metodą konwertorową polega na przedmuchiwaniu sprężonym powietrzem (lub tlenem) roztopionej surówki (rys. 2.7). Następuje wówczas utlenienie węgla i domieszek (krzemu, manganu, siarki, fosforu), które w postaci żużła lub gazu opuszczają piec konwertorowy (konwertor). W skład konwertora wchodzi podłużny zbiornik stalowy, wyłożony ogniotrwałym materiałem ceramicznym o charakterze kwaśnym lub zasadowym. Zbiornik może obracać się dookoła osi. Składa się z dwóch komór: większej (roboczej), w której odbywa się proces wytopu, i mniejszej (powietrznej), do której doprowadza się powietrze lub tlen pod ciśnieniem. Obie komory są oddzielone ścianą z otworami, przez które włącza się powietrze lub tlen. Powietrze (tlen) przechodzące przez ciekłą surówkę wypala zawarty w niej węgiel i domieszki, w wyniku czego otrzymuje się stal.

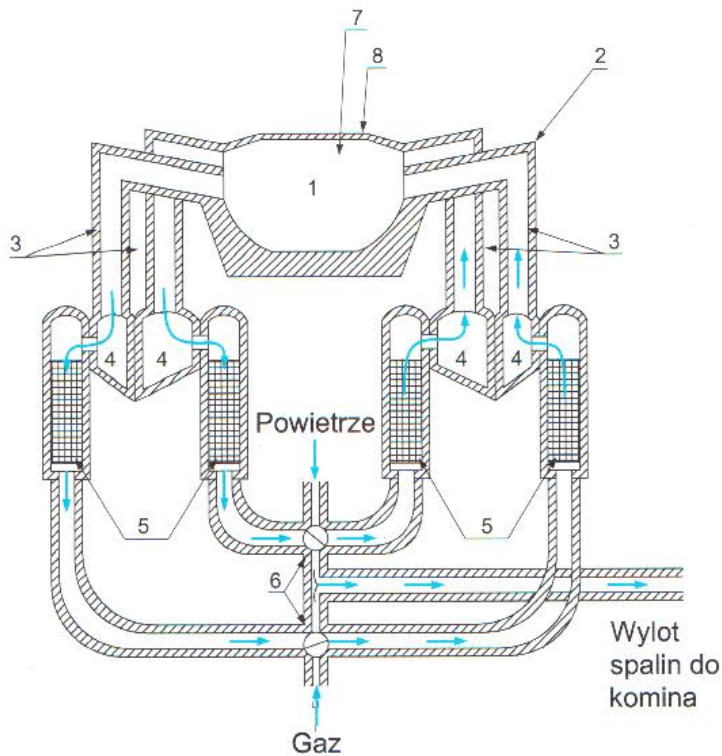
Metodą martenowską (Siemensa-Martina) stal otrzymuje się, wytapiając surówkę ze złomem żelaznym i topnikami w piecu wannowym opalanym gazem. Piec martenowski



Rys. 2.6 Schemat wielkiego pieca



Rys. 2.7 Schemat pieca konwertorowego
 1 - zbiornik stalowy,
 2 - warstwa materiału ceramicznego,
 3 - komora robocza,
 4 - komora powietrzna,
 5 - mechanizm obracania konwertora,
 6 - otwór do wlewania ciekłej surówki,
 7 - siłownik hydrauliczny,
 8 - podstawa



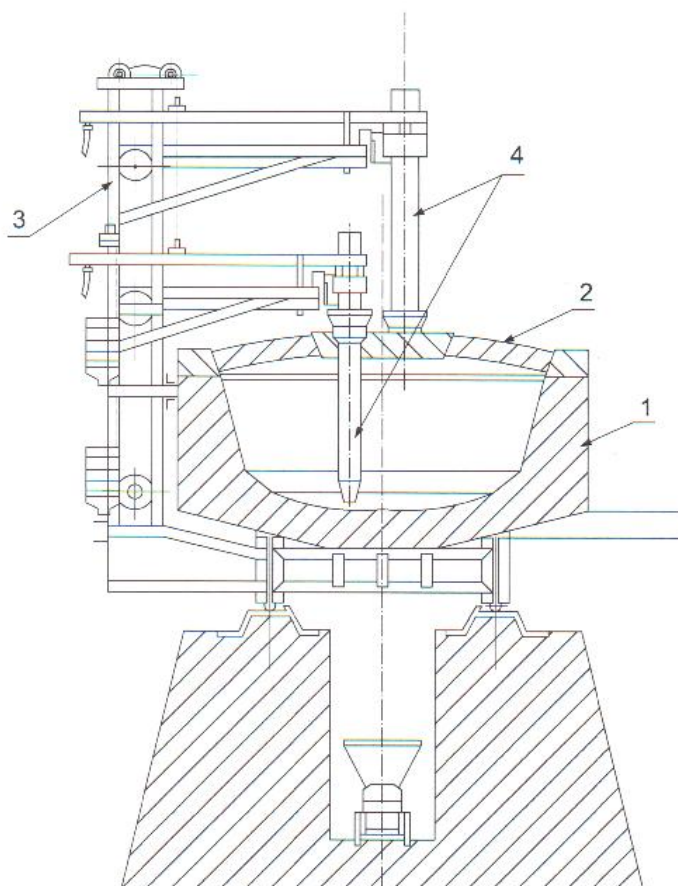
Rys. 2.8 Schemat pieca martenowskiego
 1 – przestrzeń robocza pieca (topnisko), 2 – głowica,
 3 – kanały doprowadzające powietrze i gaz oraz odprowadzające spaliny,
 4 – kanały żużlowe,
 5 – regeneratory, 6 – zawory,
 7 – trzon pieca,
 8 – sklepienie pieca

(rys. 2.8) zawiera przestrzeń roboczą (tzw. topnisko) z oknami wsadowymi i otworem spustowym, głowice (doprowadzające paliwo i powietrze oraz odprowadzające spaliny), kanały, komory żużlowe, regeneratory i zawory rozrządcze. Regeneratory pieca martenowskiego umożliwiają odzyskiwanie dla procesu martenowskiego części ciepła zawartego w uchodzących spalinach.

Odzyskiwanie ciepła (nagrzewanie powietrza i gazu) polega na okresowej zmianie kierunku wlotu do pieca martenowskiego powietrza i gazu oraz uchodzenia spalin dzięki odpowiedniemu ustawieniu zaworów rozrządczych. Odzyskanie w regeneratorach pewnej ilości ciepła umożliwia uzyskiwanie w piecu martenowskim bardzo wysokiej temperatury (ok. 1750°C) oraz utrzymywanie stali w stanie ciekłym. Stal otrzymywana w piecu martenowskim ma lepszą jakość niż otrzymywana w konwertorach, gdyż zawiera mniej fosforu i siarki. Mimo to martenowskiej metody otrzymywania stali prawie wcale nie wykorzystuje się na skalę przemysłową.

Metody elektryczne służą najczęściej do dalszego oczyszczania stali otrzymanej w piecu martenowskim. Rozróżnia się piece elektrodowe i indukcyjne, służące do rafinacji, czyli oczyszczania i uszlachetniania stali (rys. 2.9). **Piece elektrodowe** typu Heroult są zasilane prądem przemiennym trójfazowym i mają trzy elektrody wprowadzone do przestrzeni roboczej pieca przez jego sklepienie. Piec może być wyłożony warstwą kwaśną (krzemionkową) lub zasadową (dolomitową). Topienie odbywa się dzięki wytwarzaniu łuku elektrycznego między elektrodami a wsadem.

Cały piec może być pochylany w celu wylania stali przez otwór spustowy. Aby wyregulować łuk elektryczny, elektrody można podnosić i obniżać, ponieważ w czasie pracy pieca ulegają one zużyciu. Sklepienie pieca może być obracane na bok, aby umożliwić jego załadowanie.



Rys. 2.9 Schemat pieca elektrycznego
 1 – trzon pieca,
 2 – ruchome sklepienie pieca,
 3 – mechanizmy do ustawienia elektrod, 4 – elektrody

Piece indukcyjne mają tygiel wykonany z materiałów ogniotrwałych, otoczony cewką indukcyjną, przez którą płynie prąd dużej częstotliwości, wzbudzający wewnątrz cewki i tygla szybkozmienne pole magnetyczne. To zmienne pole magnetyczne powoduje powstanie indukowanych prądów wirowych wewnątrz metalu stanowiącego wsad pieca. Powstające prądy wirowe nagrzewają i topią wsad. Stal wytworzona w piecach elektrycznych nazywa się stalą szlachetną ze względu na jej dużą czystość, gwarantującą dobre właściwości użytkowe. Po rafinacji stali w piecach elektrycznych zawartość szkodliwych dodatków fosforu i siarki jest mniejsza niż 0,03%. Piece elektryczne mogą służyć także do wytopu stali, jednak ze względu na wysoki koszt energii elektrycznej najczęściej wykorzystuje się je tylko do rafinacji stali.

Podział i zastosowanie stali

Stale, czyli stopy żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, są podstawowymi stopami metali od dawna stosowanymi w technice. Ze względu na wielką różnorodność stopów istnieją różne **kryteria podziału stali**.

Z punktu widzenia składu chemicznego stale dzieli się na:

- niestopowe (węglowe),
- odporne na korozję,
- inne stopowe.

Ze względu na podstawowe zastosowanie rozróżnia się stale:

- konstrukcyjne,
- maszynowe,
- narzędziowe,
- o specjalnych własnościach.

W zależności od sposobu wytwarzania można wyodrębnić stale:

- martenowskie,
- konwertorowe,
- elektryczne,
- inne.

Przyjmując za kryterium podziału jakość, można rozróżnić stale:

- jakościowe,
- specjalne.

Według rodzaju produktów (asortymentu) wyodrębnia się:

- blachy,
- pręty,
- rury,
- kształtowniki.

Najważniejszym kryterium podziału jest skład chemiczny, ponieważ decyduje on o własnościach, a własności o zastosowaniu stali.

Klasyfikację stali prowadzi się według odpowiednich norm. Wcześniej prowadzono klasyfikację według Polskich Norm (PN). Wejście Polski do Unii Europejskiej spowodowało konieczność dostosowania norm PN do systemu europejskiego (normy PN-EN oraz PN-ISO). Zgodny z odpowiednią normą podział stali ze względu na skład chemiczny przedstawiono w tablicy 2-2.

Tabl. 2-2 Ogólny podział stali ze względu na skład chemiczny

Stale niestopowe	Stale odporne na korozję $Cr \geq 10,5\%$, $C \leq 1,2\%$	Inne stale stopowe
A. jakościowe	charakterystyczne ze względu na zawartość niklu	A. jakościowe
B. specjalne	charakterystyczne ze względu na własności	B. specjalne

Stale niestopowe to stopy żelaza z węglem i innymi pierwiastkami w postaci zanieczyszczeń o zawartości mniejszej od wartości granicznej. Wartości graniczne (w procentach masowych) dla pierwiastków: Al, B, Bi, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Nb, Pb, Se, Si, Te, Ti, V, W, Zr, lantanowców i innych (z wyjątkiem C, P, S, N) podano w normie dotyczącej klasyfikacji stali. Stale stopowe to stopy żelaza z węglem, które zawierają celowo wprowadzone – w ilości równej lub powyżej określonej granicy – dodatki stopowe.

Pierwiastki, które najczęściej stanowią dodatki stopowe, to:

- chrom (Cr), zwiększający wytrzymałość i twardość oraz odporność na ścieranie i korozję;
- krzem (Si), zwiększający sprężystość i wytrzymałość;
- mangan (Mn), zwiększający wytrzymałość i sprzyjający głębokiemu hartowaniu (stale manganowe są odporne na uderzenia i ścieranie);

- molibden (Mo), zwiększający hartowność i wytrzymałość w podwyższonych temperaturach;
- wolfram (W), zwiększający hartowność, twardość i odporność na ścieranie oraz sprzyjający powstawaniu drobnoziarnistej struktury;
- wanad (V), zwiększający hartowność i drobnoziarnistość struktury.

Stale niestopowe jakościowe dzieli się ze względu na zastosowanie na stale:

- o wymaganych minimalnych własnościach wytrzymałościowych:
 - konstrukcyjne i przeznaczone na zbiorniki,
 - do zbrojenia betonu,
 - szynowe;
- o ograniczonych maksymalnych własnościach mechanicznych, używane na wyroby płaskie do kształtowania na zimno;
- o określonej zawartości węgla:
 - automatowe,
 - do ciągnięcia drutu,
 - do ulepszania cieplnego,
 - sprężynowe,
 - narzędziowe;
- o wymaganych właściwościach magnetycznych lub elektrycznych;
- do określonego zastosowania:
 - do produkcji opakowań,
 - do produkcji elektrod.

Stale niestopowe specjalne mają większy stopień czystości niż stale niestopowe jakościowe. Ze względu na zastosowanie dzieli się je na stale:

- o wymaganych minimalnych własnościach wytrzymałościowych:
 - konstrukcyjne i przeznaczone na zbiorniki ciśnieniowe,
 - do sprężania betonu;
- o określonej zawartości węgla:
 - do ciągnięcia drutu,
 - do nawęglania,
 - do ulepszania cieplnego,
 - narzędziowe,
 - sprężynowe,
 - o wymaganych właściwościach magnetycznych lub elektrycznych;
 - do określonego zastosowania.

Stale odporne na korozję (muszą zawierać co najmniej 10,5% chromu i maksymalnie 1,2% węgla) ze względu na **zawartość niklu** dzieli się na zawierające mniej niż 2,5% niklu oraz zawierające 2,5% niklu i więcej (tabl. 2-2). Drugim kryterium są **własności stali**, tworzące podział stali odpornych na korozję na:

- żaroodporne,
- żarowytrzymałe,
- nierdzewne.

Stale stopowe jakościowe według zastosowania dzieli się na:

- konstrukcyjne drobnoziarniste, spawalne;
- przeznaczone do produkcji szyn i kształtowników na obudowy górnicze;
- przeznaczone do produkcji wyrobów płaskich walcowanych na gorąco lub zimno;

- elektrotechniczne (ich główne dodatki stopowe to krzem i aluminium);
- z miedzią jako głównym dodatkiem stopowym.

Stale stopowe specjalne mają własności podwyższone przez precyzyjnie dobrany skład chemiczny i specjalnie określone warunki wytwarzania. Ze względu na zastosowanie dzieli się je na:

- przeznaczone do budowy maszyn (niklowe, chromowe, manganowe, molibdenowe, krzemowe);
- narzędziowe:
 - do pracy na zimno,
 - do pracy na gorąco,
 - szybko tnące;
- przeznaczone na łożyska toczne;
- konstrukcyjne;
- odporne na korozję atmosferyczną;
- o szczególnych właściwościach fizycznych (magnetyczne, niemagnetyczne i oporowe o określonym współczynniku rozszerzalności cieplnej).

Oznaczenie stali

W obowiązujących normach europejskich określono dwa systemy oznaczania stali:

- symbolowy,
- cyfrowy.

Klasyfikację oznaczeń stali w systemie symbolowym można podzielić na dwie grupy – według znaków wskazujących na:

- zastosowanie oraz mechaniczne lub fizyczne własności stali,
- skład chemiczny stali.

Oznaczenie stali z uwagi na zastosowanie oraz własności składa się z ciągu liter i cyfr. Pierwszym symbolem jest litera wskazująca na przeznaczenie, a drugim liczba określająca mechaniczne własności stali (tabl. 2-3).

Tabl. 2-3 Znaki przedstawiające przeznaczenie oraz mechaniczne własności stali

Symbole główne	Oznaczenie cyfrowe (wartość w MPa)
S – stale konstrukcyjne	Liczba równa minimalnej granicy plastyczności dla najmniejszej grubości wyrobu
E – stale maszynowe	
P – stale pracujące pod ciśnieniem	
L – stal na rury przewodowe	
R – stal na szyny lub w postaci szyn	Minimalna wytrzymałość na rozciąganie
B – stale do zbrojenia betonu	Charakterystyczna granica plastyczności
Y – stale do betonu sprężonego	Minimalna wytrzymałość na rozciąganie
H – wyroby płaskie walcowane na zimno ze stali o podwyższonej wytrzymałości do kształtowania na zimno	Minimalna granica plastyczności
T – stal na wyroby walcowane, taśmy i blachy opakowaniowe	Minimalna wytrzymałość na rozciąganie

Tabl. 2-3 cd.

Symbole główne	Oznaczenie cyfrowe (wartość w MPa)
M – stale elektrotechniczne	
D – wyroby ze stali miękkich do kształtowania na zimno (poza tymi ze znakiem H)	

Przykładowe oznaczenia stali: L355, S235, E410, B500.

Oznaczenia stali według składu chemicznego przedstawiono poniżej.

A. Stale niestopowe (z wyłączeniem stali automatowej) o zawartości manganu (Mn) mniejszej niż 1%; np. C40 – liczba oznacza średnią zawartość węgla w procentach pomnożoną przez 100 (w tym przypadku zawartość węgla jest równa 0,4%), C35, C50.

B. Stale niestopowe o zawartości manganu równej 1% lub większej i stale stopowe (z wyłączeniem szybkotnących) o zawartości każdego pierwiastka stopowego mniejszej niż 5%; symbol **LPPz-z**, gdzie:

- **L** jest liczbą określającą średnią zawartość procentową węgla pomnożoną przez 100;
- **P** określa symbole pierwiastków chemicznych będących składnikami stopowymi stali, uporządkowane według malejącej ilości, przy czym jeśli dwóch pierwiastków jest procentowo tyle samo, to wpisuje się je w kolejności alfabetycznej;
- **z-z** są to liczby odpowiadające średniej zawartości procentowej poszczególnych pierwiastków stopowych, pomnożone przez określone współczynniki oddzielone od siebie kreską poziomą, przy czym wynik działania jest zaokrąglany do najbliższej liczby całkowitej; współczynniki do ustalania symboli liczbowych pierwiastków stopowych, przez które należy pomnożyć zawartość procentową danego pierwiastka w stali, to:
 - 4 dla **Cr, Co, Mn, Ni, Si, W**;
 - 10 dla **Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr**;
 - 100 dla **Ce, N, P, S**;
 - 1000 dla **B**.

Na przykład według nowej normy oznaczenie stali dawniej oznaczanej jako 09G2Cu (o maks. zawartości C 0,12%; Mn 1,2–1,8%; Cu poniżej 1%) to 9MnCu6-10. Inne przykłady oznaczeń stali z tej grupy to 13MnNi6-3, 13CrMo4-5, 27MnCrB5-2.

C. Stale stopowe (z wyłączeniem szybkotnących) zawierające co najmniej jeden pierwiastek stopowy w ilości równej 5% lub większej; symbol **XLPPz-z**, gdzie:

- **X** jest to symbol grupy stali;
- **L** jest to liczba określająca średnią zawartość procentową węgla pomnożoną przez 100;
- **P** określa symbole pierwiastków chemicznych będących składnikami stopowymi stali, uporządkowane według malejącej zawartości w stali, przy czym jeżeli dwóch pierwiastków jest taka sama ilość, to wpisuje się je według kolejności alfabetycznej;
- **z-z** są to liczby odpowiadające średniej zawartości procentowej poszczególnych pierwiastków stopowych, pomnożonej przez wyżej wymienione współczynniki, przy czym wyniki są zaokrąglane do najbliższej liczby całkowitej.

Na przykład według nowej normy oznaczenie stali dawniej oznaczanej jako X7Ni9, o zawartości węgla średnio 0,07% (maks. 0,1%) i niklu średnio 9%, to X7Ni36. Inne przykłady oznaczeń stali stopowych z tej grupy to X6CrMoNb17-1, X38CrMoNb16, X5CrNiCuNb16-4.

D. Stale szybkołnące; znak stali składa się z liter HS i liczb oznaczających procentowe zawartości składników stopowych w następującej kolejności: wolfram, molibden, wanad, kobalt (W-Mo-V-Co), przy czym liczby oddziela się poziomymi kreskami.

Przykładowe oznaczenia: HS6-5-2-5, HS2-9-1-8.

Gdy wymienione symbole główne nie wystarczają do pełnej identyfikacji stali, dodaje się symbole dodatkowe. Wskazują one na gatunki stali i cechy wyrobów stalowych.

System cyfrowy oznaczania stali jest bardziej przydatny do przetwarzania danych. Został on skonstruowany tak, aby można go było wykorzystać do oznaczania nie tylko stali, lecz także innych materiałów. Każdą stal można jednoznacznie określić za pomocą pięciu cyfr (w przyszłości siedmiu): X.XXXX. Pierwsza cyfra oznacza numer grupy materiału (1 to stal, a pozostałe, od 2 do 9, są przygotowane do oznaczania innych materiałów). Dwie następne cyfry oznaczają numer grupy stali (stal niestopowa jakościowa, specjalna, stopowa konstrukcyjna, odporna na korozję). Każda grupa ma swój kod. Czwarta i piąta cyfra oznaczają kolejny numer w danej grupie stali. Na przykład występujące w systemie cyfrowym oznaczenie stali 1.3555 odpowiada występującemu w dawniej obowiązującej normie oznaczeniu stali szybkołnącej – SW18.

Przedstawione systemy oznaczeń stali opracowano według nowych norm, dostosowanych do wymagań europejskich (PN-EN). W wielu podręcznikach, tablicach i poradnikach, wydawanych przed opracowaniem nowych norm, opisano stary podział i oznakowanie stali według polskich norm (PN). Aktualność norm zawsze należy sprawdzić przed ich zastosowaniem.

Staliwa

2.2.3

Staliwo jest to stop żelaza z węglem, zawierający do ok. 2,0% węgla, przeznaczony na odlewy i niepoddawany obróbce plastycznej.

Staliwo, podobnie jak stal, otrzymuje się w piecach konwertorowych oraz elektrycznych. Ma ono najlepsze własności mechaniczne spośród odlewniczych stopów żelaza. Po odpowiedniej obróbce cieplnej własności staliwa są zbliżone do własności stali o takim samym składzie chemicznym, są jednak od nich gorsze. Dobre własności mechaniczne staliwa spowodowały, że stosuje się je do produkcji silnie obciążonych odlewów o skomplikowanych kształtach, które trudno byłoby wykonać przez kucie lub inny rodzaj obróbki plastycznej. Wadą staliwa jest duży (ok. 2%) skurcz odlewniczy, prawie dwukrotnie większy niż w przypadku żeliwa, co utrudnia konstruowanie odlewów.

Staliwa można podzielić na:

- węglowe (niestopowe),
- stopowe.

Staliwo węglowe według obowiązującej normy występuje w postaci ośmiu gatunków staliw węglowych konstrukcyjnych ogólnego przeznaczenia.

Staliwa oznacza się dwiema liczbami trzycyfrowymi lub dwiema liczbami trzycyfrowymi i literą W (gdy jest określona maksymalna zawartość poszczególnych pierwiastków). Pierwsza liczba określa minimalną wartość granicy plastyczności w megapaskalach, a druga – minimalną wytrzymałość na rozciąganie, także wyrażoną w megapaskalach.

Przykłady oznaczeń staliwa niestopowego: 230-450, 230-450W, 200-400.

W zależności od wytrzymałości i zawartości poszczególnych pierwiastków staliwa podzielono na dwie grupy:

- I (zwykłej jakości),
- II (wyższej jakości).

Przykłady oznakowania staliwa węglowego to LI400, LII450, LII500, gdzie symbol L oznacza stal laną (staliwo), liczba rzymska I lub II określa jakość, a liczba trzycyfrowa stanowi minimalną wytrzymałość na rozciąganie R_m (w MPa).

Staliwa węglowe wykorzystuje się np. do produkcji maszyn energetycznych, górniczych i rolniczych, taboru kolejowego oraz obudów łożysk ślizgowych.

Staliwa stopowe, tak jak stale, zawierają dodatki stopowe wprowadzone specjalnie w celu uzyskania założonych własności. Oznakowanie i podział staliwa stopowego również znormalizowano. Znak staliwa składa się z litery L, a następnie – podobnie jak przy oznakowaniu stali – liczby określającej średnią procentową zawartość węgla pomnożoną przez 100 oraz kolejno umieszczonych symboli oznaczających dodane pierwiastki stopowe według malejących zawartości procentowych składnika. Symbole oznaczające poszczególne pierwiastki to np. G – mangan, S – krzem, H – chrom, M – molibden, T – tytan, F (V) – wanad, J – aluminium. Jeśli danego pierwiastka jest mniej niż 2%, podaje się tylko symbol, bez liczby określającej zawartość procentową.

Przykłady oznakowania staliwa stopowego: L20G – staliwo manganowe o zawartości 0,2% węgla, L30GS – staliwo manganowo-krzemowe o zawartości 0,3% węgla.

Ze względu na zastosowanie staliwa stopowe dzieli się na:

- konstrukcyjne,
- do pracy w podwyższonych temperaturach,
- odporne na korozję,
- żaroodporne i żarowytrzymałe,
- odporne na ścieranie,
- narzędziowe.

Staliwa stopowe wykorzystuje się głównie na części maszyn budowlanych, koła zębate, szczęki do kruszarek, koła jezdne do suwnic, korpusy sprzęgieł i elementy pomp.

Ogólnie staliwa mają własności mechaniczne zależne głównie od zawartości węgla. Można więc je podzielić na:

- **niskowęglowe**, o zawartości węgla 0,1–0,25%, złych własnościach odlewniczych i skłonności do pęknięcia, stosowane na części maszyn przenoszące niewielkie obciążenia, np. części samochodowe lub korpusy silników elektrycznych;
- **średniowęglowe**, o zawartości węgla 0,2–0,4%, wykorzystywane np. na części maszyn bardziej obciążone niż wykonywane ze staliw niskowęglowych, jak koła zębate, podstawy maszyn, korpusy pras i młotów oraz cienkościennie odlewy kształtowe;
- **wysokowęglowe**, o zawartości węgla 0,4–0,6%, stosowane na części maszyn bardzo silnie obciążone i narażone na ścieranie, np. koła zębate napędów walcowniczych.

Obecnie ogranicza się wykorzystanie staliwa w budowie samochodów na rzecz żeliwa sferoidalnego, którego własności mechaniczne są zbliżone do własności staliwa, a skurcz odlewniczy jest dwukrotnie mniejszy. Staliwo jest stosowane na elementy podwozi samochodów ciężarowych (wsporniki, dźwignie, obudowy przekładni głównej, pochwy mostów, elementy sprzęgające ciągników siodłowych).

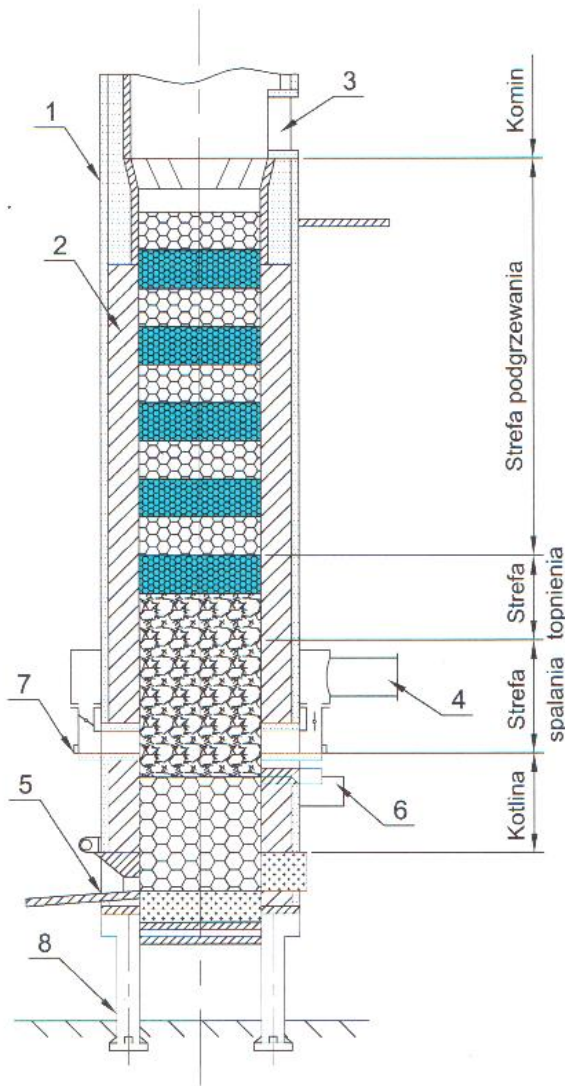
Żeliwa

2.2.4

Żeliwo jest to stop żelaza z węglem, zawierający ponad 2% węgla oraz inne domieszki, takie jak krzem, mangan, fosfor i siarka. W żeliwach stopowych występują ponadto specjalnie wprowadzane dodatki stopowe zmieniające własności żeliwa, podobnie jak w przypadku omawianej wcześniej stali stopowej, np. chrom, nikiel, molibden, tytan.

Żeliwo otrzymuje się, przetapiając surówkę szarą w piecu zwanym żeliwiakiem, którego schemat przedstawiono na rysunku 2.10.

Piec jest zbudowany z blachy stalowej i wyłożony wewnątrz materiałem ogniotrwałym. Przez okno wsadowe, umieszczone w górnej części pieca, wprowadza się do niego metale przeznaczone do topienia (surówkę, złom żeliwny, złom stalowy) na przemian z koksem i topnikami. Za pomocą dyszy podaje się powietrze niezbędne do spalania koksu. Żeliwo spływa do dolnej części trzonu pieca, skąd jest okresowo spuszczone przez otwór spustowy. W dolnej części pieca znajduje się także otwór do spuszczenia żużła.



Rys. 2.10 Schemat pieca żeliwiaka

- 1 - obudowa,
- 2 - materiał ogniotrwały,
- 3 - okno wsadowe,
- 4 - przewód powietrza,
- 5 - otwór spustowy żeliwa,
- 6 - otwór spustowy żużła,
- 7 - wziernik,
- 8 - podstawy

Żeliwo charakteryzuje się dobrymi własnościami odlewniczymi i dlatego jest wykorzystywane do wytwarzania odlewanych części maszyn oraz pojazdów. Węgiel w żelwie może się wydzielić w postaci:

- cementytu (węglika żelaza o charakterystycznym połysku), tworząc żeliwo białe;
- grafitu, tworząc żeliwo szare.



Rys. 2.11 Podział żeliw

Podział żeliw przedstawiono na rysunku 2.11.

Żeliwo białe to materiał bardzo twardy i kruchy, który nie nadaje się do obróbki skrawaniem. Dlatego ma ono ograniczone zastosowanie i nie stosuje się go na części konstrukcyjne. Ze względu na dobrą odporność na ścieranie żeliwo białe jest wykorzystywane na kule do młynów, ślimaki mieszalników, walce drogowe i przenośniki materiałów sypkich. Częściej stosuje się **żeliwo zabielańce**, w którego strukturze na powierzchni występuje twarda powłoka z cementytu, a wewnątrz węgiel w postaci grafitu. Wyrabia się z niego dźwignie zaworów i popychacze. Odlewy z żeliwa białego stanowią przede wszystkim produkt wyjściowy do produkcji żeliwa ciągliwego.

Żeliwo szare jest materiałem o dobrych własnościach odlewniczych, dobrej obrabialności, małej uduarności i dużym współczynniku tłumienia drgań. Jego wytrzymałość na rozciąganie wynosi 100–350 MPa, a wytrzymałość na ściskanie jest około 3,5 razy większa od wytrzymałości na rozciąganie. Własności mechaniczne żeliwa szarego zależą od struktury osnowy metalicznej. Wytrzymałość żeliwa zależy także od postaci i wielkości wydzieleni grafitu, który może mieć postać płatkową, kulistą (sferoidalną), wermikularną (struktura pośrednia między grafitem płatkowym a sferoidalnym) i żarzenia. Żeliwo szare dzieli się na:

- zwykłe,
- wysokojakościowe sferoidalne,
- wysokojakościowe modyfikowane.

Żeliwo szare zwykłe ze względu na swoje własności (dobra skrawalność, duża odporność na zużycie, duży współczynnik tłumienia drgań) jest szeroko wykorzystywane jako materiał na kadłuby, tuleje i głowice cylindrów, kadłuby pomp cieczy chłodzącej, koła zamachowe, obudowy sprzęgieł, tarcze dociskowe sprzęgieł, bębny hamulcowe i rury dolotowe.

Żeliwo sferoidalne ma dobre własności wytrzymałościowe i plastyczne oraz dużą odporność na ścieranie, dzięki czemu znalazło szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach, takich jak przemysł maszynowy, górnictwo, kolejnictwo i motoryzacja. Z żeliwa

sferoidalnego wykonuje się koła zębate, wrzeciona obrabiarek, wały rozrządu, wały korbowe, pierścienie tłokowe i zawory.

Żeliwo modyfikowane otrzymuje się, dodając do ciekłego żeliwa modyfikatory, np. stop krzemu z wapniem, żelazokrzem lub magnez. Modyfikowanie zdecydowanie zwiększa własności mechaniczne żeliwa – jego wytrzymałość na rozciąganie dochodzi wówczas do 450 MPa, a po obróbce cieplnej do 600 MPa. Z żeliwa modyfikowanego wykonuje się tarcze dociskowe sprzęgieł, koła zębate, tuleje cylindrów i wały korbowe. W wyniku długotrwałego wyżarzania żeliwa białego (przez kilkadziesiąt godzin) otrzymuje się **żeliwo ciągliwe** o bardzo dobrych własnościach mechanicznych i dobrej plastyczności. Z żeliwa ciągliwego wykonuje się obudowy tylnego mostu i przekładni kierowniczej, piasty kół, wsporniki, tuleje i łączniki rur.

Żeliwa stopowe są również często wykorzystywane w budowie maszyn. Dzięki zastosowaniu odpowiednich dodatków stopowych charakteryzują się one zwiększoną odpornością na korozję, wysoką temperaturę, działanie substancji chemicznych i ścieranie. Najczęściej stosuje się żeliwa:

- **krzemowe** (odlewy odporne na działanie kwasów, korozję i temperaturę);
- **chromowe** (odlewy żaroodporne, odporne na korozję i ścieranie);
- **alumińowe** (odlewy ognioodporne, żaroodporne, odporne na działanie środowiska gazowego tlenu, węgla i siarki);
- **niklowe** (odlewy odporne na korozję i ścieranie).

Oznaczanie żeliw określono w odpowiedniej normie. Istnieją dwa systemy oznaczania, tak jak w przypadku stali – symbolowy i cyfrowy.

W systemie symbolowym przewidziano sześć pozycji, określających odpowiednio:

- I EN (materiały znormalizowane);
- II GJ (G – materiał odlewany, J – żeliwo);
- III symbol postaci grafitu (L – grafit płatkowy, S – kulkowy, M – żarzenia, V – wernikularny, N – struktura niezawierająca grafitu, Y – struktura specjalna);
- IV symbol mikrostruktury osnowy (A – austenit, B – przełom czarny, F – ferryt, L – ledeburyt, M – martensyt, P – perlit, Q – stan po hartowaniu, T – stan po hartowaniu i odpuszczaniu, W – przełom biały);
- V symbol klasyfikacji według:
 - właściwości mechanicznych podawanych za pomocą liczb, a także liter określających metody wykonania wlewka próbnego (C – wzięty z odlewu, S – odlewany oddzielnie, U – przylany), przy czym liczby mogą przedstawiać:
 - minimalną wytrzymałość na rozciąganie [MPa], np. EN-GJL-150 (żeliwo szare, $R_{m\ min} = 150$ MPa),
 - minimalną wytrzymałość na rozciąganie [MPa] oraz minimalną wartość wydłużenia [%], oddzielone kreskami, np. EN-GJMW-350-4 (żeliwo ciągliwe białe, $R_{m\ min} = 350$ MPa, wydłużenie 4%),
 - wytrzymałość na rozciąganie, wydłużenie i udarność (należy podać za pomocą symboli temperaturę, w której badano udarność, tj. RT – temperatura pokojowa, RL – temperatura niska),
 - twardość podaną za pomocą symboli określających metodę pomiaru (HB – Brinella, HR – Rockwella, HV – Vickersa) i odpowiedniej wartości liczbowej, np.: EN-GJL-HB155, EN-GJN-HV350;

- składu chemicznego podawanego za pomocą symbolu X, a następnie kolejnych symboli i liczb, odpowiadający dwóm rodzajom klasyfikacji:
 - z określeniem zawartości węgla – po znaku X podaje się zawartość węgla pomnożoną przez 100, następnie symbole i liczby odpowiadające zawartościom poszczególnych pierwiastków (podobnie jak w oznakowaniu stali), np. EN-GJN-X300CrNiSi9-5-2,
 - bez określenia zawartości węgla – po znaku X podaje się symbole chemiczne pierwiastków stopowych w kolejności malejących ich zawartości w stopie oraz ich zawartości procentowe zaokrąglone do liczb całkowitych, np. EN-GJL-XNiMn13-7;
- VI symbol wymagań dodatkowych, np. D – odlew surowy, H – odlew po obróbce cieplnej, Z – wymagania dodatkowe.

Uwaga. Oznaczenie żeliw według systemu symbolowego nie musi zawierać wszystkich sześciu symboli.

W systemie cyfrowym oznaczenie obejmuje dziewięć następujących znaków:

- znaki od 1 do 3 – EN oznacza materiały znormalizowane;
 - znak 4 – J oznacza żeliwo;
 - znak 5 to litera charakteryzująca strukturę grafitu (jak w oznaczeniu na podstawie symboli);
 - znak 6 charakteryzuje podstawowe właściwości żeliwa, np. wytrzymałość na rozciąganie, twardość, skład chemiczny;
 - znaki od 7 do 8 – od „00” do „99” charakteryzuje materiał;
 - znak 9 charakteryzuje wymagania specjalne materiału;
- np. EN-JL1020 (żeliwo szare), EN-JM1010 (żeliwo ciągliwe białe).

2.3 Metale nieżelazne i ich stopy

2.3.1 Klasyfikacja i ogólna charakterystyka stopów metali nieżelaznych

Do metali nieżelaznych zalicza się wszystkie metale z wyjątkiem żelaza. Metale nieżelazne, a zwłaszcza ich stopy, są szeroko stosowane w przemyśle ze względu na swoje własności fizyczne, chemiczne, mechaniczne i technologiczne. Stopy metali mają niższą temperaturę topnienia w porównaniu z czystymi metalami oraz wyższą wytrzymałość i twardość, dobrą plastyczność i dużą odporność na korozję. Metale nieżelazne można podzielić według:

- gęstości na:
 - lekkie (aluminium, magnez, tytan),
 - ciężkie (miedź, nikiel, wolfram, platyna);
- temperatury topnienia na:
 - łatwo topliwe (cynk, cyna, kadm, magnez, ołów),
 - trudno topliwe (chrom, kobalt, miedź, nikiel, platyna, złoto),
 - bardzo trudno topliwe (wolfram, molibden, tantal), co przedstawiono w tabelicy 2-1.

W tym punkcie zostaną omówione metale nieżelazne i ich stopy stosowane w produkcji pojazdów samochodowych. Podstawowe własności wybranych metali nieżelaznych zawarto w tabelicy 2-4.

Tabl. 2-4 Własności wybranych metali nieżelaznych

Własności	Miedź Cu	Nikiel Ni	Cynk Zn	Cyna Sn	Ołów Pb	Aluminium Al	Magnez Mg
Gęstość [g/cm ³]	8,96	8,90	7,13	7,30	11,34	2,70	1,74
Temperatura topnienia [°C]	1083	1453	419	232	327	660	649
Ciepło właściwe w temperaturze 20°C [J/(kg · K)]	386	441	384	226	130	900	1000
Współczynnik rozszerzalności liniowej w zakresie 20–100°C [1/K]	16,5·10 ⁻⁶	13,7·10 ⁻⁶	39,7·10 ⁻⁶	23,0·10 ⁻⁶	29,3·10 ⁻⁶	23,8·10 ⁻⁶	26,0·10 ⁻⁶
Rezystywność w temperaturze 20°C [μΩ·m]	0,0167	0,068	0,059	0,115	0,206	0,027	0,042
Wytrzymałość na rozciąganie R_m [MPa]:							
– w stanie lanym lub miękkim	210–240	350–550	30–60	25–40	11–15	70–110	130–250
– w stanie prasowanym lub walcowanym	400–500	700–800	120–150	–	–	150–250	–
Wydłużenie A_{10} [%]:							
– w stanie lanym lub miękkim	38–50	40–15	0,5–0,3	40	73–21	40–30	7–10
– w stanie prasowanym lub walcowanym	8–6	30–6	60–40	–	–	8–4	–
Twardość HB w stanie miękkim	40–50	80–90	32–40	ok. 5	3,0–4,5	15–25	ok. 25
Skurcz odlewniczy [%]	ok. 2,1	ok. 2,2	ok. 1,6	ok. 2,8	–	ok. 1,7	–

Aluminium i jego stopy

2.3.2

Aluminium (Al) jest metalem o barwie srebrnobiałej, odpornym na korozję, dobrze przewodzącym ciepło i elektryczność, dającym się dobrze kuć, przeciągać i walcować, mającym dobrą lejność, lecz duży skurcz i małą wytrzymałość mechaniczną (wytrzymałość na rozciąganie wynosi ok. 60 MPa). Podstawowym surowcem do produkcji aluminium jest ruda zwana boksytem, zawierająca 55–65% tlenku glinu Al₂O₃. Aluminium otrzymuje się

w wyniku dwóch procesów: w pierwszym uzyskuje się czysty tlenek Al_2O_3 , w drugim – metodą elektrolityczną – aluminium. Według obowiązujących norm wytwarza się różne gatunki aluminium, różniące się stopniem czystości – od 99,00% do 99,99% zawartości czystego aluminium.

Symbolowy system oznaczania aluminium składa się z liter oraz liczb, np. ENAW-Al99,6Ti, gdzie:

- EN to norma europejska (kodowanie na podstawie symboli chemicznych),
- A to aluminium,
- W to wyroby oraz wlewki do obróbki plastycznej (półwyroby),
- Al 99,6 to zawartość procentowa czystego aluminium,
- Ti to symbol chemiczny pierwiastka stanowiącego główną domieszkę (tu: tytan).

Czyste aluminium stosuje się do produkcji przewodów elektrycznych, aparatury chemicznej, wyrobów elektronicznych i elektrotechnicznych, folii, farb i proszków do platerowania naczyń. Ze względu na małą wytrzymałość zastosowanie czystego aluminium w budowie samochodów jest niewielkie i ogranicza się do tłoczonych pokryw i ekranów, elementów elektrotechnicznych oraz powłok platerowanych w celu zwiększenia odporności na korozję.

Zdecydowanie większe zastosowanie mają **stopy aluminium**, które ze względu na małą gęstość zalicza się do stopów lekkich. Najczęściej stosowane dodatki stopowe to:

- krzem,
- miedź,
- magnez,
- mangan,
- nikiel,
- cynk.

Pierwiastki te wpływają na polepszenie wytrzymałości i obrabialności. Stopy aluminium dzieli się na:

- odlewnicze,
- do obróbki plastycznej.

Stopy odlewnicze aluminium zawierają w swoim składzie od 5% do 25% dodatków. Główne pierwiastki dodawane do tych stopów to krzem, miedź, magnez, mangan, nikiel, tytan.

Największe zastosowanie mają odlewnicze stopy aluminium z krzemem, który może występować w ilości 0,8–23%. Stopy aluminium zawierające do 13% krzemu to siluminy. Charakteryzują się odpornością na korozję oraz dobrymi własnościami wytrzymałościowymi i odlewniczymi, dlatego są stosowane na odlewy części maszyn o skomplikowanych kształtach i zróżnicowanej grubości ścianek.

Stopy aluminium zawierające od 4% do 8% miedzi charakteryzują się dobrymi własnościami odlewniczymi i plastycznymi oraz odpornością na korozję, ale wykazują skłonność do pęknięć na gorąco. Stosowane są na średnio i wysoko obciążone odlewy części maszyn oraz do wyrobu galanterii stołowej.

Odlewnicze stopy aluminium również są znormalizowane.

Oznaczenie stopu składa się z liter i liczb, np. ENAC-ALSi12, gdzie:

- EN to norma europejska (kodowanie na podstawie symboli chemicznych),
- A to aluminium,
- C to stopy odlewnicze,

- Al to stop aluminium,
- Si oznacza, że głównym pierwiastkiem stopowym jest krzem, a jego średnia zawartość zaokrąglona do najbliższej liczby całkowitej wynosi 12%.

W przypadku kilku dodatków stopowych ich symbole umieszcza się w kolejności zmniejszającej się zawartości pierwiastków.

Przykładami stopów odlewniczych aluminium wykorzystywanych do produkcji elementów samochodów są:

- ENAC- AlSi12 – na obudowy skrzynek biegów i skrzyń korbowych;
- ENAC- Al Si10Mg – na głowice i kadłuby silników;
- ENAC- AlSi6Cu4 – na przewody dolotowe, pokrywy kadłubów, głowic cylindrów i misek olejowych;
- ENAC- AlCu4Ti – na części przenoszące duże obciążenia.

Stopy aluminium do obróbki plastycznej mają mniejszą zawartość procentową dodatków stopowych niż stopy odlewnicze, ponieważ duże ilości dodatków stopowych pogarszają własności plastyczne. Główne pierwiastki dodawane do tych stopów to:

- magnez,
- miedź,
- krzem,
- mangan,
- chrom,
- nikiel,
- cynk.

Stopy z magnezem charakteryzują się odpornością na korozję i dobrymi własnościami plastycznymi, dlatego stosuje się je na elementy tłoczone i kute w urządzeniach wykorzystywanych w przemyśle spożywczym i chemicznym. Stopy z magnezem i krzemem to awiale. Wykorzystuje się je w motoryzacji i lotnictwie na średnio obciążone elementy o skomplikowanych kształtach. Durale to stopy wieloskładnikowe mające w swym składzie miedź i magnez, stosowane na konstrukcyjne elementy budowlane, lotnicze i samochodowe.

Stopy aluminium do obróbki plastycznej także znormalizowano.

Oznaczenie stopu składa się, tak jak w omawianym wcześniej przykładzie, z liter i liczb, np. ENAW- AlCu4Mg2 , gdzie:

- EN to norma europejska (kodowanie na podstawie symboli chemicznych);
- A to aluminium;
- W to stop do przeróbki plastycznej;
- Al to stop aluminium;
- Cu to główny pierwiastek stopowy, którego zawartość procentowa – zaokrąglona do najbliższej liczby całkowitej – wynosi 4%;
- Mg to kolejny pierwiastek, którego zawartość procentowa – zaokrąglona do najbliższej liczby całkowitej – wynosi 2%.

Przykładami stopów aluminium do obróbki plastycznej stosowanych do produkcji podzespołów samochodów są:

- ENAW- AlMn1 – na chłodnice, blachy samochodowe i wyciskane profile do budowy nadwozi;
- ENAW- AlMgSi – na profile do budowy nadwozi i obręczy kół;
- ENAW- AlCu4Mg1 – na wahacze podłużne, poprzeczne i piasty hamulcowe.

Istnieje także **numeryczny system oznaczeń aluminium i jego stopów**, również znormalizowany. Składa się on z czterocyfrowego kodu następującego po wcześniej omówionym oznaczeniu ENAW:

- cyfra pierwsza oznacza aluminium niestopowe, a w przypadku stopów – główny pierwiastek stopowy o największej zawartości procentowej, gdzie:
 - 1 – aluminium niestopowe,
 - 2 – miedź,
 - 3 – mangan,
 - 4 – krzem,
 - 5 – magnez,
 - 6 – magnez i krzem,
 - 7 – cynk,
 - 8 – inne pierwiastki,
 - 9 – na razie nieużywana;
- cyfra druga określa modyfikacje aluminium (0 – brak modyfikacji, 1 do 9 – modyfikacja według ograniczeń średniej arytmetycznej zawartości składników w czystym aluminium);
- cyfry trzecia i czwarta oznaczają zawartość procentową czystego aluminium.

Na przykład stop o oznaczeniu ENAW-1070 to aluminium niestopowe, ponieważ pierwsza cyfra to 1, bez modyfikacji, ponieważ druga cyfra to 0, o zawartości czystego aluminium 99,70%, ponieważ cyfry trzecia i czwarta to 7 i 0.

2.3.3 Miedź i jej stopy

Miedź (Cu) jest metalem barwy czerwonożółtej, miękkim, plastycznym i odpornym na korozję oraz bardzo dobrym przewodnikiem elektryczności i ciepła. Występuje w przyrodzie najczęściej w postaci rud siarczkowych (Cu_2S , CuFeS_2) oraz tlenowych (CuO), a także jako miedź rodzima. Do celów przemysłowych miedź wytwarza się przez prażenie i wytopianie lub metodą elektrolityczną. Wykonuje się z niej przewody elektryczne oraz elementy urządzeń w przemyśle chemicznym i spożywczym. W celu polepszenia własności wytrzymałościowych czystej miedzi zaczęto wprowadzać do niej składniki stopowe w ilościach nieprzekraczających 3%. W ten sposób powstała miedź stopowa, której nazwa pochodzi od głównego dodatku stopowego:

- chromowa (do produkcji elektrod do zgrzewarek),
- kadmowa (do produkcji przewodów elektrycznych),
- arsenowa (do produkcji aparatury chemicznej).

Oznaczenie miedzi stopowej składa się z symbolu chemicznego miedzi (Cu) oraz symbolu chemicznego głównego składnika stopowego i liczby określającej jego zawartość procentową, np. CuCd1 to miedź kadmowa o zawartości kadmu równej 1%.

W przemyśle największe zastosowanie znalazły **stopy miedzi**, czyli mosiądze i brązy.

Mosiądze są to stopy miedzi z cynkiem (o zawartości do ok. 40% cynku) oraz innymi metalami. Charakteryzują się dobrą skrawalnością, odpornością na korozję oraz dobrymi własnościami plastycznymi i odlewniczymi. Mosiądze stosuje się w budowie części maszyn, układów zasilania i chłodzenia, instrumentów muzycznych, dzwonów, pomników, śrub okrętowych i elementów ozdobnych (m.in. klamek, okuć, świeczników, pucharów, biżuterii). W konstrukcjach samochodowych są wykorzystywane w postaci

półwyrobów przerabianych plastycznie (prętów, blach, taśm, rur), a także jako mosiądze wysokoniklowe, z których wykonuje się elementy sprężyste regulatorów, przekazy i urządzeń elektrotechnicznych. Własności mechaniczne mosiądzów zależą od zawartości cynku. Największą wytrzymałość (ok. 420 MPa) ma mosiądz o zawartości 45% cynku, a największą plastyczność – mosiądz o zawartości 30% cynku. Mosiądze dzieli się na:

- odlewnicze,
- do obróbki plastycznej.

Mosiądze odlewnicze są to stopy wieloskładnikowe, które zawierają pierwiastki modyfikujące ich własności: mangan i ołów (do 4%), aluminium (do 3%), żelazo (do 1,5%) i krzem (do 4,5%). Stosuje się je na odlewy części maszyn, łożysk i armatury.

Mosiądze do obróbki plastycznej mają mniejszą zawartość dodatków stopowych (aby polepszyć ich własności plastyczne). Stosuje się je w postaci odkuwek, prętów, blach i rur w przemyśle elektromaszynowym, samochodowym i okrętowym.

Brązy to stopy miedzi z cyną i innymi metalami. Charakteryzują się dobrymi właściwościami ślizgowymi, dużą odpornością na korozję i dobrą lejnością. Nazwy brązów pochodzą od głównego składnika stopowego; rozróżnia się np. brązy aluminiowe, ołowiowe, cynowe, krzemowe i manganowe. Ich własności i zastosowanie zależą od rodzaju i ilości dodatków stopowych. Brązy można podzielić, podobnie jak mosiądze, na:

- odlewnicze,
- do obróbki plastycznej.

Brązy odlewnicze są to stopy wieloskładnikowe, które zawierają następujące pierwiastki: cynę i aluminium (do 11%), ołów (do 33%), cynk (do 7%), żelazo i nikiel (do 5,5%), krzem (do 4,5%), mangan (do 2%) oraz fosfor (do 1,5%). Są stosowane jako części maszyn narażone na korozję, zużycie i obciążenia mechaniczne w przemyśle maszynowym, lotniczym, okrętowym, górniczym i chemicznym (np. na łożyska, panewki, elementy napędowe i aparatury chemicznej).

Brązy do obróbki plastycznej mają mniejsze ilości dodatków stopowych niż odlewnicze, podobnie jak mosiądze. Do obróbki plastycznej najczęściej stosuje się brązy:

- cynowe, o dużej wytrzymałości, dobrej skrawalności i plastyczności, odporne na ścieranie i korozję, przeznaczone na łożyska, sprężyny, membrany i tulejki korbowodów;
- aluminiowe, o dobrych własnościach mechanicznych, odporne na ścieranie i korozję oraz obciążenia przemienne, wykorzystywane na łożyska przenoszące duże naciski i małe prędkości (np. tulejki i ślimacznice);
- berylowe, o dużej wytrzymałości, odporne na zużycie, o dobrej przewodności elektrycznej i cieplnej; ponieważ nie iskrzą przy uderzeniach, służą do wyrobu narzędzi pracujących w ośrodkach zagrożonych wybuchami (np. kopalnie podziemne oraz zakłady wydobywania ropy naftowej i gazu ziemnego);
- krzemowe, o dobrych własnościach wytrzymałościowych i dobrej spawalności, odporne na korozję, wykorzystywane na tuleje kół i sprężyny.

Znormalizowane wg PN-EN symbolowe **oznaczenie stopów miedzi** rozpoczyna się od symbolu Cu, a następnie podaje się symbol głównego dodatku stopowego i liczbę całkowitą odpowiadającą zawartości procentowej tego pierwiastka. Dalej oznaczenie zawiera symbole chemiczne pierwiastków i liczby odpowiadające ich zawartościom procentowym

– w kolejności malejącej zawartości. Jeśli zawartość pierwiastka jest mniejsza niż 1%, cyfrę się opuszcza, np.:

- CuMn12Ni3 – brąz manganowy o zawartości 12% manganu i 3% niklu;
- CuBe2NiCo – brąz berylowy o zawartości 2% berylu oraz niklu i kobaltu poniżej 1%.

Dodatkowo w oznakowaniu stopów miedzi mogą pojawić się symbole na końcu znaku (np. CuZn15As-C), przy czym:

- C jest to stop odlewniczy,
- B jest dostarczony w postaci gąsek,
- GS jest odlewany do form odlewniczych,
- GM to odlew kokilowy,
- GZ to odlew odśrodkowy,
- GC to odlew ciągły,
- GP to odlew ciśnieniowy.

Ponadto po znaku stopu dopuszcza się podanie wartości minimalnej wytrzymałości na rozciąganie, wyrażonej w megapaskalach.

Przykładowymi stopami miedzi używanymi do budowy samochodów (według oznakowań) są:

- CuPb17Sn5 – przeznaczony na odlewy warstwowe i łożysk silników spalinowych,
- CuSn7ZnPb – służący do wyrobu panewek i tulei łożysk ślizgowych oraz tulei sworzni tłokowych,
- CuAl11Ni – wykorzystywany na koła zębate śrubowe i łożyska ślizgowe silnie obciążone dynamicznie,
- CuZn37Pb – stosowany na części odlewane ciśnieniowo z zakresu elektrotechniki i mechaniki precyzyjnej.

2.3.4 Cynk i jego stopy

Cynk (Zn) jest metalem o barwie szarobiałej, o małej wytrzymałości i twardości, odpornym na korozję, o niskiej temperaturze topnienia oraz dużej rozszerzalności cieplnej. Jest on plastyczny i ma dobre własności odlewnicze. Otrzymuje się go z rud siarczkowych (ZnS), tzw. blend, oraz z rud węglanowych (ZnCO₃). Rudy te zawierają niewiele cynku, dlatego najpierw wzbogaca się je przez prażenie, a następnie przerabia na cynk metodą ogniową lub elektrolityczną. Cynk jest stosowany na powłoki ochronne stalowych blach i drutów, na rynny dachowe i na odlewy ciśnieniowe, jako składnik stopów i lutów oraz do wytwarzania baterii elektrycznych.

W pojazdach samochodowych czysty cynk jest stosowany tylko na pokrycia antykorozyjne elementów stalowych.

Stopy cynku zawierają:

- aluminium (główny składnik stopów cynku występujących pod nazwą znal),
- mangan,
- miedź,
- magnez.

Mogą to być stopy odlewnicze i do obróbki plastycznej. Znale mają dobrą lejność, skrawalność i plastyczność oraz można je łatwo spawać. Znalazły zastosowanie w prze-

myśle maszynowym. Wykonuje się z nich armaturę, obudowy, korpusy, części maszyn drukarskich i przyrządów pomiarowych.

Oznaczenie stopów cynku jest podobne jak pozostałych stopów metali nieżelaznych, czyli zawiera symbol cynku Zn, a następnie symbol głównego dodatku stopowego i liczbę odpowiadającą jego zawartości procentowej w stopie. Kolejno podaje się symbole dodatków stopowych i liczby odpowiadające ich zawartości procentowej w kolejności malejącej, np. ZnCu1CrTi, ZnAl11Cu1. Własności odlewnicze stopów cynku i ich skład chemiczny są znormalizowane.

Zastosowanie przykładowych odlewniczych stopów cynku (według oznakowań) jest następujące:

- ZnAl4Cu3 – do produkcji odlewów ciśnieniowych o dużej dokładności wymiarowej, na korpusy i komory pływakowe gaźników;
 - ZnAl10Cu5 – na łożyska pracujące z małymi i średnimi prędkościami.
- Przykłady stopów cynku do przeróbki plastycznej i ich zastosowanie są następujące:
- ZnAl4 – do produkcji elektrotechnicznego osprzętu motoryzacyjnego,
 - ZnAl4Cu1 – do produkcji elementów wytłaczanych osprzętu elektrycznego.

Magnez i jego stopy

2.3.5

Magnez (Mg) jest metalem srebrzystobiałym, bardzo lekkim, o małej wytrzymałości. Jest on kowalny i ciągliwy oraz ma dużą aktywność chemiczną. Otrzymuje się go z minerału zwanego karnalitem ($\text{KClMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), magnezytu (MgCO_3) i dolomitu $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ w dwóch etapach – najpierw uzyskuje się czysty chlorek magnezu, a następnie, na drodze elektrolizy, magnez. Zastosowanie czystego magnezu jest niewielkie. Używa się go w pirotechnice oraz w przemyśle chemicznym i metalurgicznym.

W zastosowaniach przemysłowych często wykorzystuje się **stopy magnezu**. Głównymi dodatkami tych stopów są aluminium i cynk, które zapewniają poprawę własności wytrzymałościowych i plastycznych, co wobec małej gęstości umożliwia wykorzystanie ich na odlewy stosowane w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym. Stopy te występują pod nazwą elektronów. Podobnie jak stopy pozostałych metali nieżelaznych, stopy magnezu dzieli się na:

- odlewnicze,
- do obróbki plastycznej.

Odlewnicze stopy magnezu są stosowane na odlewy dla przemysłu lotniczego, motoryzacyjnego i maszynowego, na korpusy pomp, armaturę, obudowy i części silników oraz bardzo obciążone odlewy części lotniczych.

Stopy magnezu do obróbki plastycznej wykorzystuje się także w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym, na poszycia samolotów i śmigłowców oraz na średnio i bardzo obciążone elementy konstrukcji lotniczych i samochodowych.

Oznakowanie stopów magnezu opiera się na takiej samej zasadzie jak wcześniej omówionych stopów metali nieżelaznych. Najpierw podaje się symbol magnezu (Mg), a następnie symbole pozostałych pierwiastków i liczby odpowiadające ich zawartości procentowej w kolejności malejącej, np. MgZn3Cr.

W znormalizowanym oznakowaniu odlewniczych stopów magnezu, oprócz wymienionych symboli na początku znaku, pojawiają się litery MC, oznaczające stopy odlewnicze, np. MCMgAl6Mn.

Zastosowanie przykładowych odlewniczych stopów magnezu i ich oznakowanie jest następujące:

- MgZn5Zr do produkcji skomplikowanych odlewów, na koła samochodów wyścigowych;
 - MgAl16Zn3Mn na elementy silników pracujących w temperaturze do 120°C;
 - MgAl7Mn do wyrobu korpusów skrzyń biegów i silników.
- Przykładowymi stopami magnezu do obróbki plastycznej są:
- MgMn2 wykorzystywany do produkcji zbiorników paliwa i osłon,
 - MgAl13Zn służący do wyrobu części podlegających średnim obciążeniom i o umiarkowanej odporności na korozję,
 - MgAl18Zn stosowany na części podlegające dużym obciążeniom.

2.3.6 Nikiel i jego stopy

Nikiel (Ni) jest metalem o barwie srebrzystobiałej, miękkim, kowalnym, ciągliwym, skrawalnym, odpornym na korozję i żarowytrzymałym. Daje on się łatwo spawać i lutować. Nikiel otrzymuje się z rud siarczkowych przerabianych na tzw. kamień nikłowy, z którego uzyskuje się tlenek nikłowy, a z niego – poprzez redukcję węglem – czysty nikiel. Nikiel można otrzymać również innymi metodami. Stosuje się go w elektronice na katody i anody oraz inne elementy konstrukcyjne lamp elektronowych, w przemyśle chemicznym, do uzyskiwania powłok antykorozyjnych na częściach stalowych oraz – najczęściej – jako składnik stopowy.

Stopy niklu odznaczają się dobrymi własnościami mechanicznymi nawet w bardzo wysokich temperaturach, mają mały współczynnik rozszerzalności cieplnej oraz są odporne na korozję i działanie substancji chemicznych. Ze względu na swe własności stopy niklu znalazły zastosowanie:

- w przemyśle chemicznym i petrochemicznym (np. na urządzenia do wydobycia i oczyszczania ropy oraz urządzenia do odsalania wody morskiej);
- w przemyśle lotniczym (np. na łopatki turbin);
- w przemyśle motoryzacyjnym (na elektrody świec zapłonowych i elementy kompensacji temperaturowej przyrządów pomiarowych);
- w przemyśle stoczniowym (do budowy rurociągów i platform przybrzeżnych);
- w przemyśle termoelektrycznym (na termoelementy, przewody kompensacyjne i podgrzewacze wody);
- w medycynie (jako tzw. stopy z pamięcią kształtu, niklowo-tytanowe, na implanty, gwoździe kostne i płytki do zespożeń).

Oznakowanie stopów niklu jest podobne do wcześniej opisanych stopów metali nieżelaznych.

Stopy niklu można podzielić na poddawane obróbce plastycznej i odlewnicze. Przykładowe stopy niklu do obróbki plastycznej są następujące:

- NiFe48MnSi – na elektrody do spawania żeliwa,
 - NiAl2MnSi1 – na termoelementy i przewody kompensacyjne.
- Przykładami odlewniczych stopów niklu są:
- NiCu30FeMn (stop Monela) – do produkcji łopatek turbin, części pomp;
 - NiCr15Fe5 (stop inconel) – do produkcji części pieców metalurgicznych.

Wolfram i jego stopy

2.3.7

Wolfram (W) jest metalem srebrzystobiałym, bardzo twardym, trudno topliwym. Ma on dużą wytrzymałość w wysokich temperaturach oraz jest odporny na działanie kwasów i zasad. Z rud wolframu, z których najważniejsze to wolframit i szelit, otrzymuje się trójtlenek wolframu (WO_3), a z niego, przez redukcję wodorem – wolfram. Z wolframu wykonuje się włókna lamp oświetleniowych i elektronowych, antykatody lamp rentgenowskich, elementy grzewcze pieców i dysze silników odrzutowych. Wolfram jest najczęściej wykorzystywany jako składnik stopów.

Stopy wolframu są żaroodporne, twarde, trudno topliwe, wytrzymałe i odporne na korozję. Wysokotopliwe stopy wolframu, mające w swoim składzie niob (Nb), tantal (Ta) i molibden (Mo), wykorzystuje się do produkcji łopatek turbin i części dysz. Żaroodporne stopy wolframu, zawierające nikiel (Ni), kobalt (Co), żelazo (Fe) i chrom (Cr), są stosowane do produkcji narzędzi skrawających. Stopy wolframu mogą służyć również do produkcji styków elektrycznych, na obudowy półprzewodników i dysze raket. Wolframu używa się także do wytwarzania proszków węgla wolframu, który przetwarza się za pomocą technologii metalurgii proszków i wykorzystuje do produkcji narzędzi szybkoobrotowych, służących do obróbki skrawaniem.

Tytan i jego stopy

2.3.8

Tytan (Ti) jest metalem srebrzystobiałym, lekkim, plastycznym, o dużej wytrzymałości mechanicznej, odpornym na korozję, żaroodpornym i trudno topliwym. Otrzymuje się go różnymi metodami z rud tytanowych, takich jak rutil i tytanit. Jedną z metod polega na redukcji czterochloru tytanu za pomocą magnezu. Tytan wykorzystuje się przede wszystkim jako składnik stopów.

Stopy tytanowe są wytrzymałe, odporne na korozję, żaroodporne, skrawalne, plastyczne i spawalne. Można je lutować i kleić. Są wykorzystywane w budowie samolotów, silników odrzutowych, raket, kadłubów okrętów, w technice medycznej do produkcji narzędzi chirurgicznych, w przemyśle chemicznym do produkcji aparatury i zbiorników kwasu azotowego oraz w motoryzacji do budowy silników i części układu jezdnego samochodów wyścigowych. Tytan jest też składnikiem węglików spiekanych.

Przykładowe oznaczenia stopów tytanu to $TiAl6V4$, $TiAl6V6Sn2$, $TiAl4Mo4Sn2$.

Klasyfikacja i charakterystyka wybranych materiałów niemetalowych

Do materiałów niemetalowych wykorzystywanych we wszystkich gałęziach przemysłu należą przede wszystkim:

- tworzywa sztuczne,
- szkło,
- tworzywa ceramiczne,
- materiały uszczelniające.

Najszerze zastosowanie w budowie maszyn mają tworzywa sztuczne.

Tworzywa sztuczne są to wielkocząsteczkowe związki organiczne otrzymywane przez chemiczną przeróbkę surowców pochodzenia naturalnego (roślinnego lub zwierzęcego) oraz metodą syntezy z produktów przeróbki węgla, ropy naftowej i gazu ziemnego. W procesie produkcyjnym otrzymywania tworzyw sztucznych wprowadza się wiele substancji pomocniczych, np. barwniki, katalizatory, utwardzacze, napelniacze i antyutleniające, które modyfikują własności materiałów. Tworzywa sztuczne coraz częściej zastępują inne materiały konstrukcyjne, nie powodując obniżenia jakości gotowych wyrobów, a nawet ją podwyższając.

Zalety tworzyw sztucznych to:

- odporność na działanie czynników atmosferycznych i chemicznych;
- mała gęstość;
- dobre własności mechaniczne;
- dobre własności izolacyjne;
- łatwość obróbki przez tłoczenie, walcowanie, odlewanie (możliwość otrzymania wyrobów o skomplikowanych kształtach i zachowania niskich kosztów);
- możliwość występowania w różnych postaciach: jako materiały konstrukcyjne, włókna, kleje, materiały powłokowe;
- możliwość otrzymywania wyrobów o różnych barwach (nawet przezroczystych).

Do głównych wad tworzyw sztucznych zalicza się:

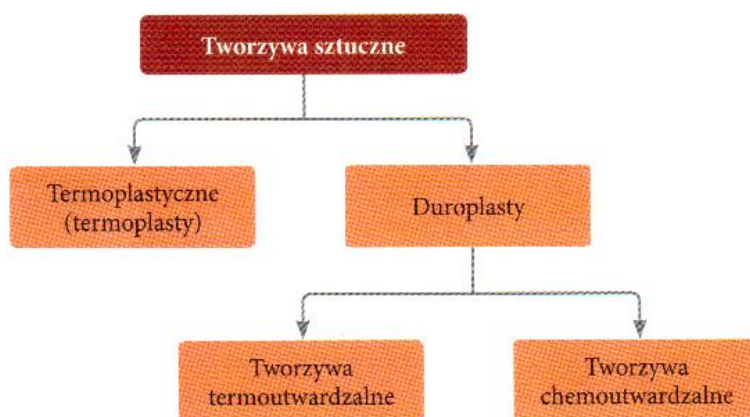
- małą odporność na działanie podwyższonej temperatury;
- łatwopalność;
- gorsze własności mechaniczne (twardość, wytrzymałość) niż w przypadku metali;
- trudności z recyklingiem.

Tworzywa sztuczne stanowią bardzo liczną grupę materiałów (zaczęto je produkować na początku XX wieku), dlatego można je klasyfikować ze względu na różne kryteria, np. budowę, sposób powstawania, strukturę, zastosowanie lub własności.

Dalej przedstawiono najczęściej stosowany podział tworzyw sztucznych ze względu na własności fizyczne i technologiczne. Według tego kryterium tworzywa sztuczne dzieli się na:

- tworzywa termoplastyczne,
- duroplasty.

Podział tworzyw sztucznych przedstawiono na rysunku 2.18.



Rys. 2.18 Podział tworzyw sztucznych

Tworzywa termoplastyczne (termoplasty) są plastyczne w podwyższonej temperaturze, a twardnieją po obniżeniu temperatury. Proces ten jest odwracalny, co umożliwia ich wielokrotną przeróbkę. Na rynku występuje wiele tworzyw termoplastycznych, a ich liczba ciągle rośnie. Mogą one występować pod pełną nazwą, skrótowym oznaczeniem lub nazwą handlową producenta, np. polichlorek winylu, PCW lub winidur. Do najważniejszych tworzyw termoplastycznych należą:

- polistyren,
- polichlorek winylu,

- polipropylen,
- polietylen,
- poliamidy,
- polimetakrylan metylu.

Polistyren jest odporny na działanie olejów, alkoholi, wody, kwasów i zasad. Ma on małą gęstość i małą odporność cieplną. Może być stosowany w temperaturze od -40 do $+75^{\circ}\text{C}$. Stanowi on dobry dielektryk, jest palny, ma małą udurowienie i twardość. Stosuje się go m.in. w przemyśle maszynowym, samochodowym, elektromaszynowym i radio-telewizyjnym. Wykorzystuje się go także do produkcji folii spożywczych i wyrobu przedmiotów użytkowych.

Polichlorek winylu jest odporny na działanie olejów, kwasów, zasad, wody i alkoholi. Jest on niepalny, ma dobre własności mechaniczne i elektroizolacyjne, może być stosowany w temperaturze od -30 do $+100^{\circ}\text{C}$. Wykorzystuje się go w przemyśle elektromaszynowym, samochodowym i budownictwie oraz do wyrobu przedmiotów użytkowych (np. węży i namiotów ogrodniczych, siedzeń i oparcí foteli).

Polipropylen jest odporny na działanie czynników chemicznych, ma dobrą udurowienie i własności dielektryczne oraz małą gęstość. Może być stosowany w temperaturze od -5 do $+100^{\circ}\text{C}$. Jest wykorzystywany w przemyśle maszynowym i samochodowym oraz włókienniczym – do produkcji włókien na tkaniny przemysłowe.

Polietylen jest odporny na działanie czynników chemicznych i wody. Ma on małą gęstość, dobre własności elektroizolacyjne, dobrą udurowienie. Łatwo się barwi, jest palny, może być stosowany w temperaturze od -70 do $+70^{\circ}\text{C}$. Wykorzystuje się go w przemyśle elektrotechnicznym (np. do powlekania kabli) i do wyrobu przedmiotów użytkowych (np. artykułów gospodarstwa domowego, zabawek, opakowań).

Poliamidy mają dobre własności mechaniczne, dużą wytrzymałość, udurowienie, twardość i odporność na ścieranie oraz dobrą odporność chemiczną na działanie produktów naftowych, agresywnych płynów i gazów. Mogą być stosowane w temperaturze od -40 do $+100^{\circ}\text{C}$. Są wykorzystywane w przemyśle maszynowym (np. do wyrobu łożysk i kół zębatych), włókienniczym – do wyrobu włókien i tkanin (np. obić tapicerskich, tkanin do filtrowania cieczy, pasów transmisyjnych) i motoryzacyjnym.

Polimetakrylan metylu jest przezroczysty, dobrze przepuszcza światło i łatwo daje się barwić. Ma on dobre własności mechaniczne, jest odporny na czynniki chemiczne i atmosferyczne. Może być stosowany w temperaturze od -70 do $+100^{\circ}\text{C}$. Jest wykorzystywany do produkcji szyb przeciwoodblaskowych, kloszy lamp, szyb, przyrządów kontrolnych i elementów aparatury optycznej.

Duroplasty dzieli się na tworzywa:

- termoutwardzalne,
- chemoutwardzalne.

Tworzywa termoutwardzalne podczas ogrzewania początkowo mięknią, a przetrzymane w podwyższonej temperaturze twardnieją nieodwracalnie, dlatego niemożliwa jest ich powtórna przeróbka. Do najważniejszych tworzyw termoutwardzalnych należą:

- fenoplasty,
- aminoplasty.

Fenoplasty mają własności i zastosowanie zależne od ilości i rodzaju dodatków stosowanych w procesach otrzymywania tych tworzyw. Fenoplasty (żywice fenolowe) wykorzystuje się do wyrobu tłoczyw. Produkty otrzymywane metodą tłoczenia i pra-

sowania mają dobre własności mechaniczne i cieplne, dobrą odporność chemiczną i odporność na działanie temperatury oraz są trudno palne. Wykorzystuje się je w przemyśle maszynowym, elektrochemicznym, do wyrobu lakierów i emalii. Żywice modyfikowane służą do wyrobów laminatów, do powlekania tkanin lub papieru, a także do otrzymywania płyt izolacyjnych, kształtek lub rur, które stosuje się w przemyśle maszynowym i elektrotechnice. Żywice impregnacyjne służą do produkcji klejów, kitów i spoiw.

Aminoplasty (żywice aminowe) to tworzywa termoutwardzalne, których własności i zastosowanie zależą, podobnie jak w przypadku fenoplastów, od ilości oraz rodzaju dodatków wprowadzonych podczas ich otrzymywania. Żywice aminowe również są stosowane do wyrobu tłoczyw (produktów otrzymywanych metodą tłoczenia, o dobrych własnościach izolacyjnych i mechanicznych). Wykorzystuje się je w przemyśle elektrotechnicznym, do produkcji klejów, kitów i spoiw, do wyrobu laminatów, do powlekania papieru, na wykładziny ścian i mebli, do wyrobu materiałów termoizolacyjnych, dźwiękochłonnych i tworzyw piankowych, a także do powlekania włókien szklanych w celu wykorzystania jako elementy elektroizolacyjne.

Tworzywa chemoutwardzalne twardnieją już w temperaturze pokojowej pod wpływem czynników chemicznych (utwardzaczy) dodanych do tworzywa. Najważniejsze tworzywa chemoutwardzalne to:

- żywice poliestrowe,
- żywice epoksydowe.

Żywice poliestrowe twardnieją w reakcji ze styrenem po dodaniu inicjatora, w temperaturze otoczenia. Są średnio odporne na działanie kwasów i alkoholi oraz wykazują duży skurcz objętościowy. Bardzo często stosuje się je do wyrobu laminatów – żywicą zalewa się włókna szklane w postaci mat, tkanin lub ciętych włókien. Materiały tak wykonane mają dobre własności mechaniczne, antykorozyjne i izolacyjne. Wykorzystuje się je w przemyśle elektromaszynowym, lotniczym i samochodowym. Żywice poliestrowe stosuje się często do wyrobu tłoczyw. Produkty otrzymywane metodą tłoczenia mają dobre własności mechaniczne i izolacyjne, odznaczają się stabilnością kształtu, są wykorzystywane w przemyśle maszynowym i motoryzacyjnym.

Żywice epoksydowe są utwardzane na zimno lub na gorąco – w zależności od dodanego utwardzacza. Charakteryzują się odpornością na działanie czynników atmosferycznych i chemicznych, mają dobre własności mechaniczne i dielektryczne. Żywice epoksydowe stosuje się do produkcji klejów, lakierów, kitów i do wyrobu laminatów (żywicą zalewa się włókna szklane, papier lub tkaniny bawełniane). Laminaty epoksydowo-szklane wykorzystuje się w przemyśle motoryzacyjnym, a bawełniano-epoksydowe w przemyśle maszynowym. Produkty otrzymane metodą tłoczenia z tłoczywa uzyskanego z żywic epoksydowych mają dobrą udarność oraz własności izolacyjne, dlatego są stosowane w przemyśle elektrotechnicznym i elektronicznym. Produkty z żywic epoksydowych otrzymane metodą odlewania mają dobre własności izolacyjne i odporność chemiczną. Stosuje się je w przemyśle elektrotechnicznym i chemicznym.

Szkło otrzymuje się przez ochłodzenie stopionych tlenków: krzemu, wapnia, sodu, potasu i innych substancji. W zależności od dodawanych do krzemionki (SiO_2) składników otrzymywane szkło nosi odpowiednio nazwę: ołowiowe, kobaltowe, sodowe, boranowe, cyrkonowe.

Szkło jest przezroczyste, gładkie i niepalne, odporne na działanie czynników atmosferycznych i rozcieńczonych kwasów (z wyjątkiem fluorowodorowego) oraz zasad. Łatwo kształtuje się w stanie plastycznym, ma małą przewodność cieplną i elektryczną. Jest ono nieprzenikliwe dla cieczy i gazów, zwykle nie przepuszcza promieni nadfioletowych (jedynie szkło kwarcowe stosowane w autobusach przepuszcza te promienie) i jest tanie w produkcji. Wadami szkła są kruchość i wrażliwość na szybkie zmiany temperatury. Istnieje wiele kryteriów, według których można podzielić szkła, np. wcześniej wymieniony podział został dokonany ze względu na skład chemiczny. Szkło można podzielić także ze względu na wygląd – na przezroczyste (bezbarwne, barwne) oraz zamącone (mleczne, barwione). Najczęściej stosuje się podział ze względu na przeznaczenie i według tego kryterium rozróżnia się szkło:

- **budowlane** (okienne, zbrojone siatką metalową, na luksfery, piankowe – stosowane jako materiał izolujący cieplnie i akustycznie);
- **techniczne** (laboratoryjne, optyczne, elektrotechniczne, włókna szklane, które mogą być produkowane w postaci tkanin, mat lub włókna ciętego, a zalane żywicami tworzą materiały kompozytowe);
- **gospodarcze** (wyroby gospodarstwa domowego, przedmioty ozdobne);
- **na opakowania** (dla przemysłu spożywczego, farmaceutycznego, chemicznego, kosmetycznego);
- **bezpieczne** (o dobrych własnościach wytrzymałościowych, trudno tłukące się, które może być otrzymywane przez hartowanie, zbrojenie siatką metalową lub przez sklejenie kilku warstw szkła z powłokami z tworzyw sztucznych, wykorzystywane w motoryzacji i budownictwie).

Tworzywa ceramiczne są to wyroby konstrukcyjne uformowane z surowców ceramicznych, jak np. glina zwykła, glina iłowa, kaolin, kwarc, mika itp., a następnie wypalane lub spiekane w wysokich temperaturach. Materiały ceramiczne mają dużą odporność chemiczną i cierną, dużą twardość i odporność na ścieranie oraz bardzo małą przewodność elektryczną. Najczęściej stosowane tworzywa ceramiczne to:

- **porcelana**, używana do produkcji izolatorów w przemyśle elektrotechnicznym, rur, wirników pomp wirnikowych i walców używanych w różnych gałęziach przemysłu, a także do produkcji wyrobów stołowych i artystycznych;
- **kamionka**, wykorzystywana do produkcji rur kanalizacyjnych, zbiorników, części aparatury chemicznej oraz izolatorów w przemyśle elektrotechnicznym;
- **klinkier**, z którego wytwarza się cegłę klinkierową, płytki podłogowe, kostkę nawierzchniową oraz okładziny powierzchni urządzeń narażonych na działanie niszczących czynników atmosferycznych i chemicznych.

Osobną grupę tworzyw ceramicznych tworzą cermetale, czyli materiały otrzymywane w wyniku zmieszania proszków metali z niemetalami i prasowania ich pod wysokim ciśnieniem, a następnie spiekania w wysokiej temperaturze. Cermetale są twarde, odporne na ścieranie i żaroodporne. Odznaczają się one także odpornością na gwałtowne zmiany temperatury. Materiały te stosuje się na części robocze narzędzi skrawających, części samolotów i samochodów (łopatki turbin gazowych samolotów, tłoki silników) oraz elementy aparatury elektrotechnicznej. Najczęściej używany składnik cermetali to trójtlenek glinu (Al_2O_3) z domieszkami korundu, chromu, magnezu i aluminium.

Materiały uszczelniające służą do wykonywania elementów zapewniających szczelność połączeń między poszczególnymi częściami maszyn i urządzeń.

Niemetalowe materiały uszczelniające wytwarza się najczęściej z gumy i tworzyw sztucznych.

Gumę uzyskuje się przez przeróbkę kauczuku naturalnego lub syntetycznego z udziałem substancji nadających jej określone własności. Charakterystyczne cechy gumy to odporność na działanie substancji chemicznych, duża elastyczność w szerokim zakresie temperatury, odporność na ścieranie, własności amortyzacyjne, odporność na trwałe odkształcenia przy ściskaniu oraz mała przepuszczalność gazu i wody. Guma jest stosowana powszechnie w motoryzacji i w kolejnictwie oraz w maszynach i urządzeniach dla wszystkich gałęzi przemysłu.

Z **tworzyw sztucznych**, których własności przedstawiono wcześniej, największe zastosowanie jako materiały uszczelniające i izolacyjne mają polichlorek winylu, polietylen, poliamid, polipropylen i silikon. Mogą one występować w postaci mas uszczelniających – kitów (w postaci pasków lub wałków) i szczeliw rozprężnych (szczeliwo wprowadzane pomiędzy uszczelniane elementy utwardza się i zwiększa swoją objętość) oraz płyt wielowarstwowych (warstwy włókien impregnowanych żywicami).

Jako niemetalowe materiały uszczelniające można stosować także korek, tekturę, filc, skórę i włókna bawełniane lub konopne.

Omawiając materiały stosowane w przemyśle, nie można pominąć osobnej grupy nowoczesnych materiałów kompozytowych.

Materiały kompozytowe składają się z dwóch lub więcej komponentów o różnych własnościach. Właściwości nowo powstałego materiału są inne – zwykle lepsze – niż składników wyjściowych. Z reguły jeden ze składników jest lepszemu odpowiedzialnym za spójność materiału, jego twardość i odporność na ściskanie, a drugi – komponentem konstrukcyjnym, odpowiadającym za własności mechaniczne kompozytu.

Najczęściej stosowanym lepszem są żywice syntetyczne – poliestrowe, poliamidowe, epoksydowe, silikonowe lub poliuretanowe – których opis i własności przedstawiono wcześniej.

Elementem konstrukcyjnym w materiałach kompozytowych najczęściej są włókna – szklane, węglowe, borowe i korundowe – kwarc lub azbest, a także kevlar. Włókna zapewniają bardzo dobre własności wytrzymałościowe kompozytów. Elementy konstrukcyjne mogą być wprowadzane do kompozytu nie tylko w postaci włókien ciągłych i tkanin, ale także cząstek, płatków lub warstw.

Trudno ogólnie przedstawić określone własności materiałów kompozytowych ze względu na ich wielką różnorodność, zależną od zastosowanych materiałów wyjściowych. Zasadniczo są to materiały lekkie, o dużej wytrzymałości mechanicznej, coraz szerzej wykorzystywane w różnych gałęziach przemysłu. Są one stosowane np.:

- w sporcie (na kadłuby i maszty łodzi, kajaki, tyczki, narty, kije narciarskie i golfowe, rakietki tenisowe oraz wędki);
- w lotnictwie (na śmigła samolotów, osłony silników odrzutowych, wnętrza samolotów i kadłuby samolotów);
- w motoryzacji (na elementy nadwozi samochodów wyścigowych i ciężarowych, autobusów i przyczep kempingowych, na zbiorniki paliwa, tablice rozdzielcze, nadkola i zderzaki);
- w medycynie (na różnego rodzaju implanty).

Składnikami kompozytów mogą być również materiały metalowe. Przewiduje się, że w przyszłych konstrukcjach udział kompozytów będzie ciągle wzrastał.

- **Materiałami eksploatacyjnymi** określa się głównie płyny wpływające na funkcjonowanie maszyn i urządzeń. Zwykle pełnią one jednocześnie kilka funkcji. Są źródłami energii (paliwa), zmniejszają tarcie i zużycie się części (np. smary, oleje przekładniowe), chłodzą i chronią przed przegrzaniem się części (np. płyny chłodzące), przenoszą ciśnienie hydrauliczne (np. płyny hamulcowe).
- Najpowszechniejszą metodą przeróbki ropy naftowej jest **destylacja frakcyjna (rektyfikacja)**, czyli wielokrotne odparowanie składników cieczy, oziębienie ich i skroplenie w celu rozdzielenia substancji o różnej temperaturze wrzenia. Zwykle stosuje się również procesy destruktywne ropy naftowej, takie jak **kraking** i **reforming**.
- **Paliwa** służą m.in. do napędu silnika spalinowego pojazdu samochodowego. Mogą być **stałe** (obecnie niestosowane), **płynne** (**benzyny** – w silnikach z zapłonem iskrowym, **oleje napędowe** – w silnikach z zapłonem samoczynnym, **biopaliwa: bioetanol** jako dodatek do benzyn, **biodiesel** – do olejów napędowych) i **gazowe** (**LPG** – mieszanina butanu i propanu, **CNG** – sprężony gaz ziemny, **LNG** – skroplony gaz ziemny).
- Podstawową wielkością charakteryzującą benzynę jest **liczba oktanowa (LO)**, określająca odporność tego paliwa na spalanie stukowe, natomiast kluczową wielkością dla oleju napędowego jest **liczba cetanowa (LC)**, określająca jego zdolność do samozapłonu.
- **Oleje silnikowe i przekładniowe** składają się z bazy olejowej (mineralnej, syntetycznej lub półsyntetycznej) oraz dodatków uszlachetniających. Baza olejowa zmniejsza tarcie i zużycie części maszyn, natomiast dodatki uszlachetniające działają np. antykorozyjnie i przeciwutleniająco.
- **Smary** oprócz bazy olejowej i dodatków uszlachetniających mają zagęszczacz, który nadaje im odpowiednią konsystencję.
- **Płyny chłodzące** są dostępne jako gotowe roztwory wodne lub koncentraty do rozcieńczenia (np. wodą destylowaną). Wytwarza się je na bazie glikolu etylenowego lub propylenowego. Płyn chłodzący powinno się wymieniać w samochodzie co dwa lata.