

1. Materiały konstrukcyjne

1.1. Właściwości metali i ich stopów

Występujące w przyrodzie pierwiastki można podzielić na metale i niemetale.

Metale mają następujące cechy różniące je od niemetali:

- dobrą przewodność elektryczną,
- przewodnictwo cieplne,
- własności magnetyczne,
- plastyczność,
- charakterystyczny połysk (metaliczny),
- nieprzezroczystość.

Własności te wynikają z budowy wewnętrznej metali – z wiązań pomiędzy atomami tworzącymi ich strukturę. Metale najczęściej występują w przyrodzie jako składniki różnych minerałów lub rud. Rudy są to naturalne skupienia minerałów, zawierających metale lub ich związki (np. siarczki, tlenki, węglany). Ze względu na niekorzystne własności wytrzymałościowe metale chemicznie czyste stosuje się w technice rzadko. Do budowy maszyn stosuje się najczęściej 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. Własności fizyczne zestawiono w tablicy 1-1.

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 od 650°C do 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 następuje 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
Ciepło właściwe	Ciepło potrzebne do zwiększenia temperatury ciała o masie 1 kg o 1 stopień	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	Wzrost objętości lub długości ciała pod wpływem wzrostu temperatury	1/K	Największą rozszerzalność cieplną wykazuje kadm, a najmniejszą wolfram α – współczynnik rozszerzalności liniowej, β – współczynnik rozszerzalności objętościowej
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 stopów na działanie sił zewnętrznych. Wpływają one na trwałość konstrukcji i warunkują wybór odpowiedniej metody obróbki materiału. Do własności mechanicznych zalicza się:

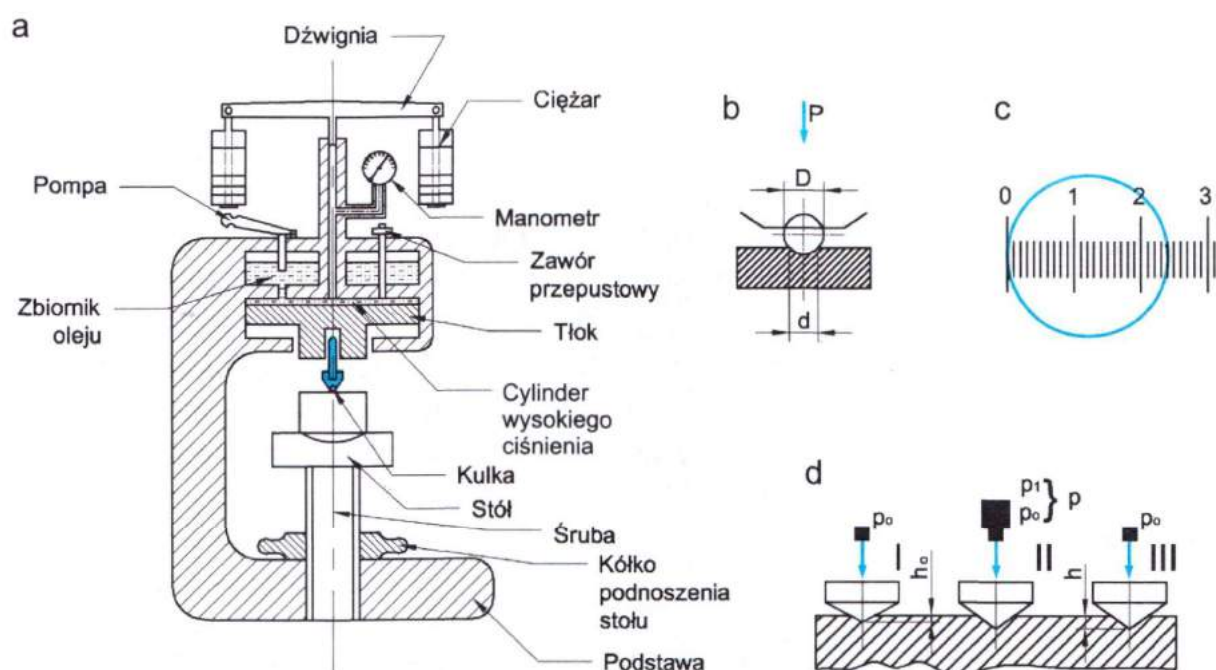
- wytrzymałość,
- twardość,
- udarność.

Wytrzymałość jest to stosunek największej wartości obciążenia w czasie próby wytrzymałościowej do pola powierzchni przekroju poprzecznego badanej próbki. W zależności od rodzaju obciążeń można rozróżnić wytrzymałość na roz-

ciąganie, ściskanie, skręcanie, zginanie, ścinanie i wyboczenie. Opisy tych parametrów i metod ich pomiaru są zawarte w pierwszej części podręcznika „Podstawy konstrukcji maszyn”, w rozdziale 5. „Podstawy wytrzymałości materiałów”.

Twardość jest to odporność materiału na odkształcenia trwałe, powstające wskutek wciskania weń węgelnika. Najczęściej próby twardości wykonuje się metodami Brinnella, Rockwella i Vickersa na prasach zwanych twardościomierzami, zgodnie z odpowiednimi normami. Pomiar twardości metodą Brinnella polega na wciskaniu w powierzchnię badanego materiału stalowej kulki. W zależności od rodzaju i grubości materiału stosuje się kulki o różnych średnicach: 1; 2,5; 5 i 10 mm i siłę nacisku od 10 do 30 000 N. Wskutek działania siły kulka tworzy na badanej powierzchni kulisty odcisk, którego średnicę mierzy się za pomocą specjalnej lupy z podziałką. Następnie z odpowiednich tabel odczytuje się twardość Brinnella, oznaczaną jako HB. Metodą tą bada się metale i stopy metali nieżelaznych, żeliwa i stali nieutwardzonej. Sposób przeprowadzenia badania oraz tabele do odczytu twardości zawarto w normie PN-EN ISO 6506-4:2008. Budowę twardościomierza i schemat pomiaru twardości przedstawiono na rysunku 1.1.

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 wnikania stożka lub kulki w badany materiał. Twardość odczytuje się bezpośrednio na podziałce czujnika twardościomierza. Jeżeli pomiar był wykonywany za pomocą kulki, oznacza się go symbolem HRB, jeśli zaś za pomocą stożka – symbolem HRC. Zasadę pomiaru twardości metodą Rockwella przedstawiono na rysunku 1.1d.

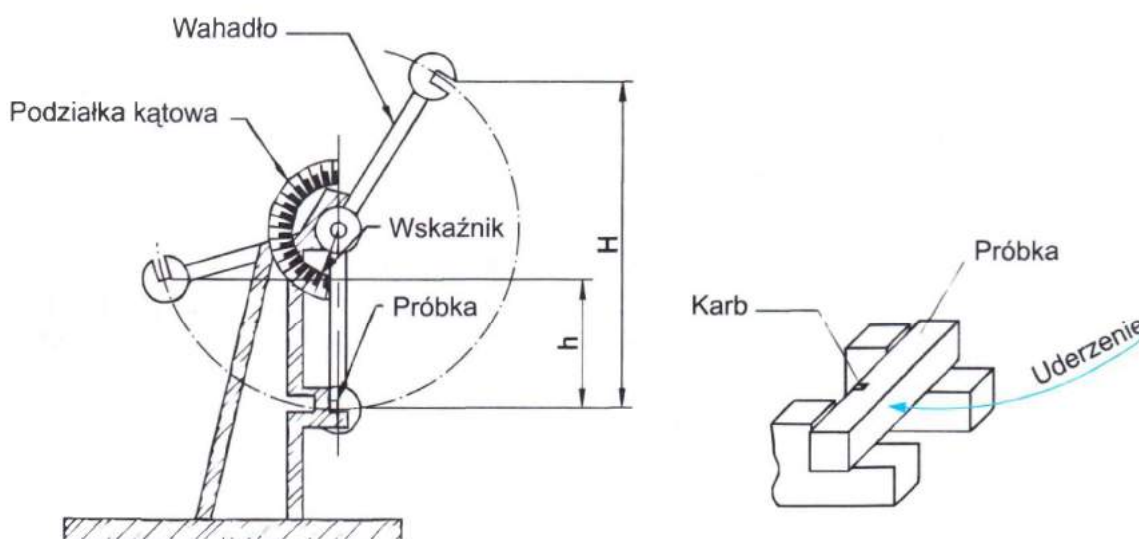


Rys. 1.1. Twardościomierz i schematy pomiaru twardości
 a – schemat przyrządu, b – zasada pomiaru wg Brinnella, c – schemat pomiaru średnicy odcisku, d – zasada pomiaru wg Rockwella

Metodę tę stosuje się do twardych metali i ich stopów, a sposób prowadzenia badań przedstawiono w normie PN-EN ISO 6508-1:2007.

Pomiar twardości metodą Vickersa polega na wciskaniu w materiał diamentowego ostrosłupa o podstawie kwadratowej i kącie wierzchołkowym (piramidy) 136° . W wyniku badania otrzymuje się odcisk w kształcie kwadratu, którego przekątną mierzy się za pomocą mikroskopu pomiarowego. Następnie na podstawie długości przekątnej z tabeli odczytuje się twardość, oznaczaną symbolem HV. Metodę Vickersa stosuje się do badania twardości bardzo cienkich materiałów, a także bardzo cienkich warstw powierzchniowych według normy PN-EN ISO 6507-1:2007.

Udarność jest to odporność materiałów na uderzenia, dająca informację 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 1.2.



Rys. 1.2. Młot udarnościowy Charpy'ego

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.

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:

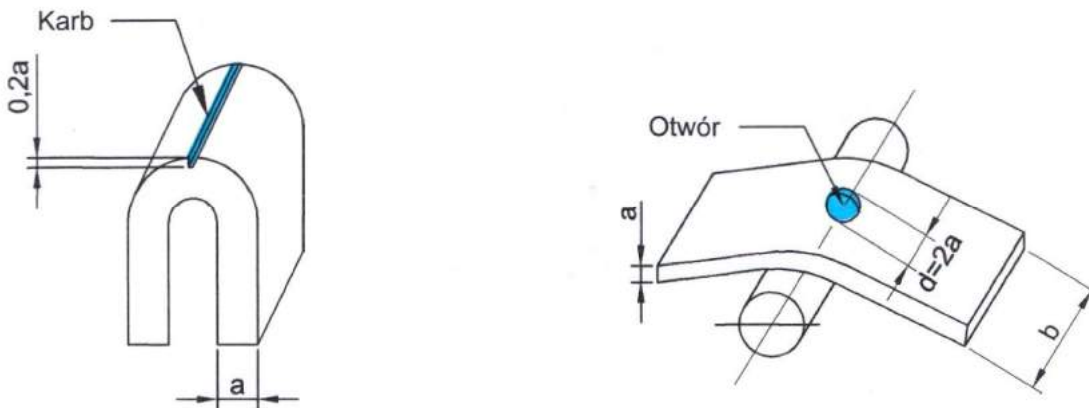
- skrawalność,
- lejność,
- plastyczność.

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 zalepią ostrza narzędzi skrawających.

Skrawalność materiałów określa się drogą 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 jaką 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 osiągnięcia znacznych odkształceń trwałych pod działaniem sił zewnętrznych, ale bez naruszania sił spójności. Przez badanie plastyczności sprawdza się zdolność materiału do obróbki plastycznej, czyli np. walcowania, kucia lub tłoczenia. Jedną z prób badania własności plastycznych materiału jest próba zginania. Zginaniu poddaje się płaskownik z naciętym karbem lub wywierconym otworem o średnicy równej podwójnej grubości próbki (rys. 1.3). W próbie zginania miarą plastyczności jest wartość kąta, o jaki można zgiąć próbkę bez spowodowania jej pęknięcia.



Rys. 1.3. Obostrzona próba zginania

Przydatność blach do tłoczenia określa się w próbie tłoczności metodą Erichsena.

Polega ona na powolnym wtłaczaniu kulisto zakończonych stempla stalowego lub kulki w próbkę blachy umocowaną w matrycy. Stempel lub kulkę wtłacza się za pomocą koła dociskowego. Próba trwa do pojawienia się pęknięć obserwowanych w lusterku maszyny (rys. 1.4). Miarą tłoczności blachy jest głębokość wyciśniętego wgłębienia.



Rys. 1.4. Maszyna do badania tłoczności blachy metodą Erichsena

1.2. Metale żelazne i ich stopy

1.2.1. Klasyfikacja i otrzymywanie stopów żelaza z węglem

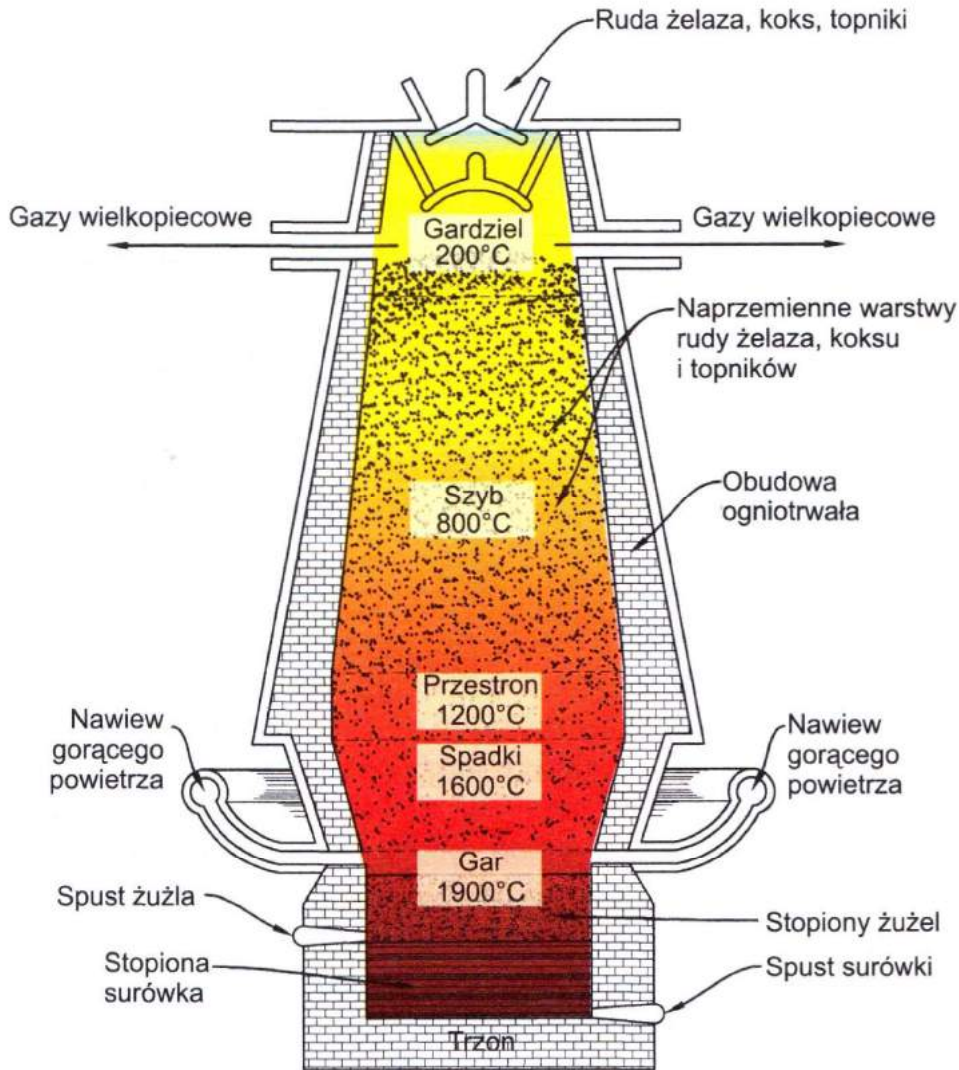
Z technicznego punktu widzenia najważniejszy metal to żelazo (symbol chemiczny Fe), będące głównym składnikiem stali, która jest stopem żelaza z węglem. Stopy żelaza z węglem można podzielić według schematu przedstawionego na rysunku 1.5.



Rys. 1.5. Podział stopów żelaza

Produktami wyjściowymi do otrzymywania stopów żelaza są surówki żelaza, wytwarzane z rud żelaza w tzw. wielkich piecach hutniczych. Wysokość tych pieców może dochodzić do 30 m, a średnica do 8 m (rys. 1.6).

Pojemność użyteczna wielkiego pieca, czyli jego objętość wypełniona materiałem do wytopu wynosi do 1500 m³. Wewnętrzne ściany wielkiego pieca są zbudowane z materiałów ogniotrwałych, z zewnątrz zaś pokryte 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 zwęża się, tworząc spadki, które przechodzą w część najniższą – gar, gdzie 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 jest pod ciśnieniem doprowadzane gorące powietrze. Produkty wielkiego pieca to surówka biała, stosowana do dalszej przeróbki na stal, i surówka szara, z której otrzymuje się żeliwo. Podczas wytopu surówki powstają także gazy wielkopiecowe, uży-



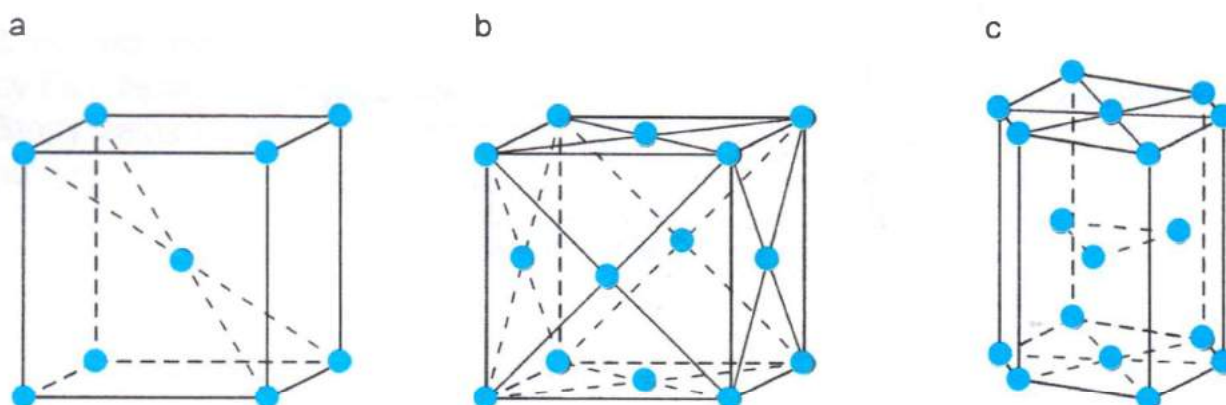
Rys. 1.6. Schemat wielkiego pieca

wane 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.

1.2.2. Wykres żelazo-węgiel

Wszystkie metale w stanie stałym mają budowę krystaliczną, czyli charakteryzują się uporządkowanym, regularnym rozmieszczeniem atomów tworzących przestrzenną, krystaliczną siatkę. Siatka składa się z płaszczyzn krystalograficznych, oddalonych od siebie na pewną odległość. W węzłach siatki są rozmieszczone atomy. Rodzaj budowy krystalicznej ma wpływ na własności chemiczne, fizyczne i mechaniczne metalu. Większość metali i stopów metali krystalizuje się (krystalizacja to przejście ze stanu ciekłego w stan stały) w trzech podstawowych typach siatek przestrzennych (rys. 1.7):

- regularnej przestrzennie centrycznej,
- regularnej płasko centrycznej,
- heksagonalnej.



Rys. 1.7. Rozmieszczenie atomów w siatkach krystalicznych
a – siatka regularna przestrzennie centryczna, *b* – siatka regularna płasko centryczna, *c* – siatka heksagonalna

Metale takie jak chrom, wanad, wolfram i molibden mają siatkę krystaliczną regularną przestrzennie centryczną. Aluminium, miedź, ołów, nikiel i srebro mają siatkę regularną płasko centryczną. Cynk, tytan i mangan mają siatkę heksagonalną. Niektóre metale mogą w zależności od warunków (np. temperatury) zmieniać swoją siatkę przestrzenną. Powstają wówczas odmiany alotropowe danego metalu, różniące się budową oraz właściwościami fizycznymi, chemicznymi i mechanicznymi. Zjawisko alotropii jest wykorzystywane w obróbce cieplnej metali. W odmianach alotropowych występuje żelazo, kobalt, cyna, mangan i tytan. Żelazo występuje w dwóch odmianach alotropowych, oznaczonych greckimi literami α oraz γ , zależnie od zakresu temperatury, w którym dana odmiana może istnieć. Odmiana α ma siatkę krystaliczną regularną przestrzennie centryczną, a odmiana γ – siatkę regularną płasko centryczną (rys. 1.7). Odmiana α istnieje do temperatury 910°C , a potem przechodzi w odmianę γ , występującą do temperatury 1390°C , powyżej której następuje ponowna przemiana w żelazo α .

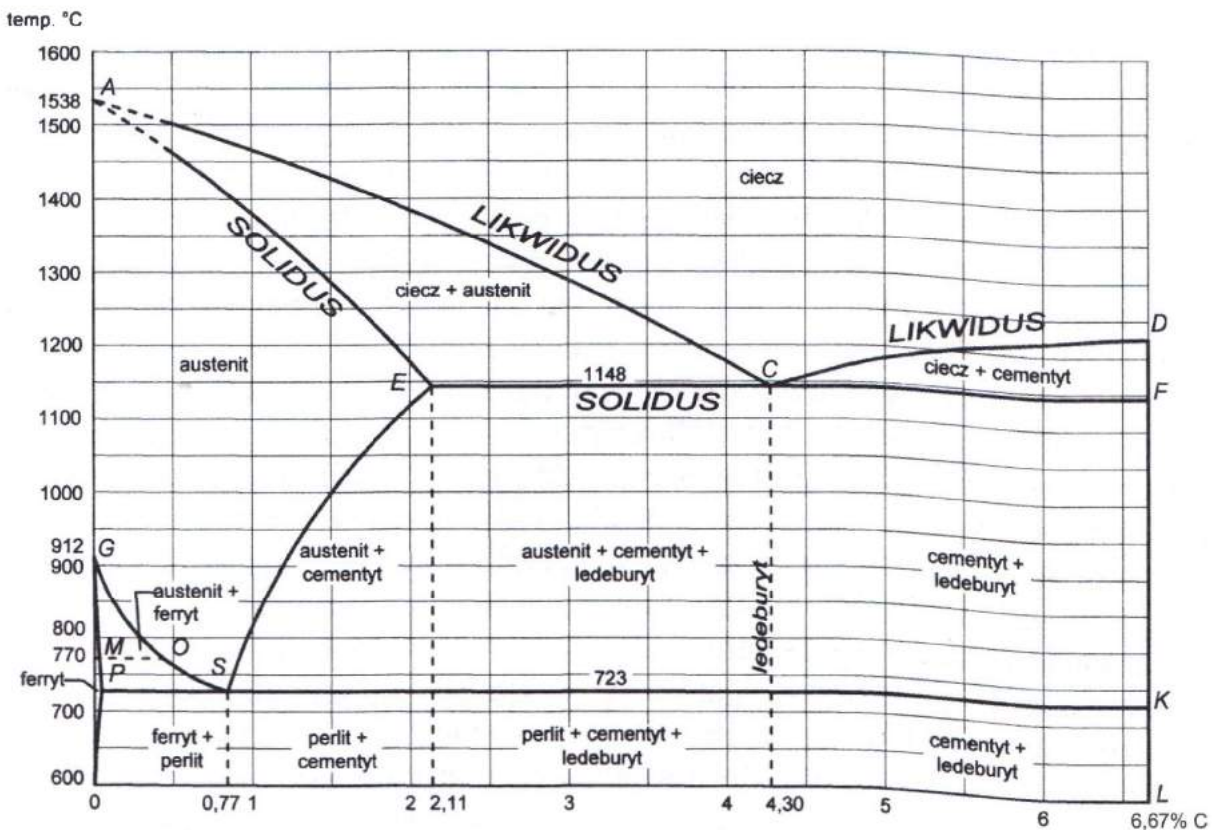


Metale czyste krzepną (przechodzą ze stanu ciekłego w stan stały) w stałej, ściśle określonej temperaturze. Stopy metali, które w stanie ciekłym stanowią roztwór jednorodny (o jednakowych własnościach), podczas przechodzenia ze stanu ciekłego w stan stały mogą tworzyć mieszaniny, związki chemiczne lub roztwory stałe. Mieszaniny to stopy, których składniki rozpuszczają się w sobie w stanie ciekłym, a nie rozpuszczają się w sobie w stanie stałym, utrzymując swoje odrębne siatki krystaliczne. Podczas tworzenia związków chemicznych tworzy się nowa siatka krystaliczna, różna od siatek składników stopu. Kryształy roztworu stałego różnią się od mieszaniny tym, że zostaje w nich zachowana siatka krystaliczna, w której obok atomów rozpuszczalnika znajdują się atomy składników stopu (atomy rozpuszczonego składnika zamieniają sobą atomy roz-

puszczalnika albo umieszczają się między nimi). W budowie pojazdów samochodowych najszersze zastosowanie ma stop żelaza z węglem. Uproszczony układ podwójny stopów żelazo-węgiel przedstawiono na rysunku 1.8.

Na podstawie tego wykresu można określić przebieg krzepnięcia stopów żelaza z węglem, zmiany zachodzące w stopach w stanie stałym podczas powolnego studzenia oraz strukturę tych stopów po ostudzeniu. Znając zmiany w strukturze stopów, można z kolei określić ich własności. Wykres obejmuje stopy żelaza z węglem o zawartości węgla od 0 do 6,67%C (oś pozioma) i zakres temperatur od 600 do 1600°C (oś pionowa). Każdy punkt wykresu odpowiada określonemu stopowi o określonym składzie chemicznym w określonej temperaturze. Składniki strukturalne stopów żelazo-węgiel, występujące na wykresie na rysunku 1.8, to:

- ferryt, prawie czyste żelazo o niedużej twardości (od 50 do 70 HB), a bardzo dużej plastyczności; jest to roztwór stały węgla w żelazie α , rozpuszczalność węgla jest w nim bardzo mała i wynosi do 0,02%;
- cementyt, węgiel żelaza (Fe_3C) o zawartości węgla 6,67%, bardzo twardy (ok. 800 HB) i kruchy, podczas nagrzewania do wysokich temperatur rozkłada się na ferryt i węgiel;
- austenit, roztwór stały węgla w żelazie γ o zawartości węgla do 2%, o dużej plastyczności; podczas powolnego chłodzenia poniżej temperatury 723°C rozkłada się na ferryt, cementyt i perlit;



Rys. 1.8. Uproszczony układ podwójny stopów żelazo-węgiel

- perlit, mieszanina ferrytu i cementytu, może występować w dwóch rodzajach, jako płytkowy i ziarnisty; podczas ogrzewania można zmienić budowę perlitu płytkowego na ziarnisty, który ma lepsze własności mechaniczne niż płytkowy;
- stal o zawartości węgla 0,8% ma czystą strukturę perlityczną;
- ledeburyt, eutektyczna mieszanina austenitu i cementytu o zawartości węgla 4,3% (eutektyka to struktura stopu będącego mieszaniną dwóch składników o określonym składzie procentowym, nierozpuszczających się wzajemnie; stop taki, tak jak czyste metale, krzepnie w stałej temperaturze, która jest najniższa spośród wszystkich stopów obu metali; po zakrzepnięciu stop ten jest mieszaniną bardzo drobnych kryształów obu metali); ledeburyt jest kruchy i ma znaczną twardość (wynoszącą od 440 do 510 HB).

Własności stali zależą od zawartości poszczególnych składników strukturalnych. Stale o małej zawartości węgla (poniżej 0,3%) są plastyczne na zimno i na gorąco. Stale o zawartości węgla powyżej 0,8% są twarde i mało plastyczne, ponieważ występuje w nich cementyt. Własności stali zależą także od szybkości chłodzenia. Przy zwiększonej szybkości chłodzenia strukturę perlitu tworzą coraz drobniejsze i gęściej ułożone pasemka cementytu. Twardość takiej struktury wzrasta. Podczas bardzo szybkiego chłodzenia stali, np. w zimnej wodzie, powstaje martenzyt w postaci bardzo twardej igieł. Na wykresie żelazo-węgiel (rys. 1.8) przedstawiono charakterystyczną linię łączącą punkty ACD, tzw. linię likwidusu, łączącą punkty początku krzepnięcia; jej nazwa pochodzi od łacińskiego słowa *liquidus* – płynny. Powyżej tej linii wszystkie stopy znajdują się w stanie ciekłym. Czyste żelazo topi się w temperaturze 1538°C (punkt A). Stopy żelaza z węglem topnieją w pewnych zakresach temperatur. Wzdłuż linii likwidusu na odcinku AC zaczyna się wydzielanie kryształów austenitu. Powyżej linii AC znajduje się ciecz, a poniżej niej ciecz i kryształy austenitu. Wzdłuż linii likwidusu na odcinku CD zaczynają się wydzielać kryształy cementytu, powyżej linii CD znajduje się ciecz, a poniżej niej ciecz i kryształy cementytu. Stop zawierający 4,3% węgla krzepnie całkowicie w punkcie C w temperaturze 1130°C, wydzielając równocześnie kryształki austenitu i cementytu, w wyniku czego powstaje eutektyka nazywana ledeburytem. Na linii AECF kończy się proces krystalizacji. Jest to linia solidusu łącząca punkty końców krzepnięcia, jej nazwa pochodzi od łacińskiego słowa *solidus* – stały. Poniżej linii solidusu wszystkie stopy znajdują się w stanie stałym. Stopy poniżej linii solidusu w obszarze ograniczonym liniami ES, AE i SG mają jednorodną strukturę austenityczną. Wzdłuż linii ES z austenitu zaczyna się wydzielać cementyt. Na linii PSK austenit podczas chłodzenia rozpada się na ferryt, perlit i cementyt. W punkcie S, który odpowiada zawartości 0,77% węgla, austenit rozpada się na ferryt i cementyt, tworząc mieszaninę zwaną perlitem. Stop ten nazywa się eutektoidalnym. Stale o zawartości węgla mniejszej niż 0,77% to stale podeutektoidalne, w których strukturze obok ziaren ferrytu występują ziarna perlitu. Stale o zawartości węgla większej niż 0,77% to stale nadeutektoidalne, w których strukturze występują ziarna cementytu i perlitu. Stal o zawartości węgla równej 0,77% to stal eutektoidalna, a jej struktura składa się z ziaren perlitu. Surówki o zawartości węgla

od 2 do 4,3% to surówki podeutektyczne, o zawartości węgla równej 4,3% – eutektyczne, a o zawartości węgla od 4,3 do 6,67% – nadeutektyczne. Jak wynika z analizy wykresu żelazo-węgiel, dla określonego składu chemicznego można otrzymać różne struktury, a zarazem różne własności materiałów, w zależności od przeprowadzonych procesów nagrzewania i chłodzenia, czyli obróbki cieplnej.

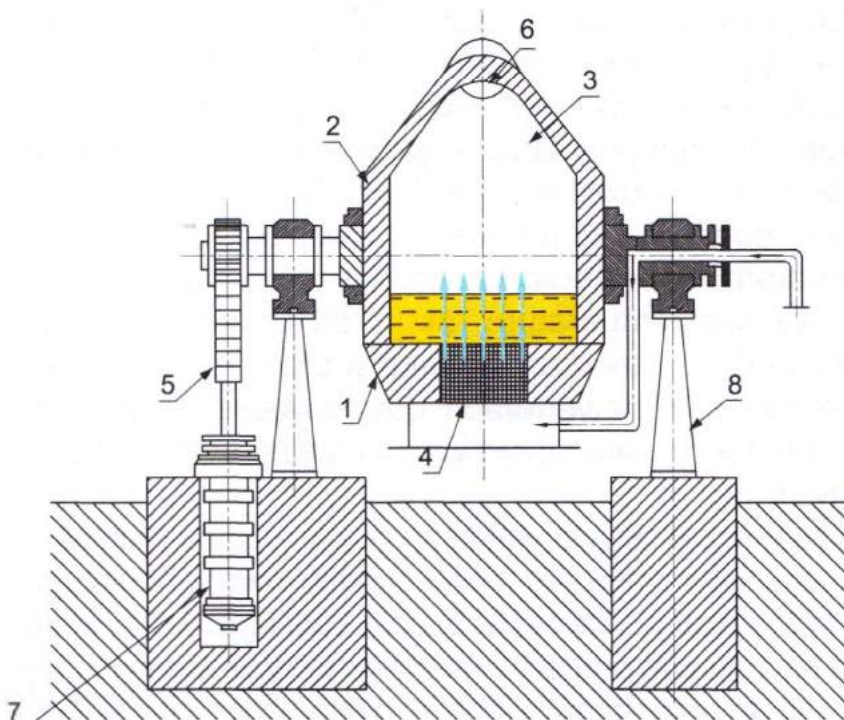
1.2.3. Stale

Otrzymywanie stali

Stal jest to stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, zawierający maksymalnie do 2% węgla, przerobiony plastycznie i obrobiony cieplnie. Otrzymuje się ją w wyniku przeróbki surówki białej, jednego z produktów wielkiego pieca (patrz rys. 1.6). W surówce białej węgiel występuje w postaci węgla żelaza (cementytu). Nazwa „surówka biała” pochodzi od bardzo jasnego przełomu. Surówka zawiera od 3,2% do 4,3% węgla, więc proces otrzymywania stali polega na odwęglaniu surówki. Podczas przeróbki na stal węgiel, inne domieszki i zanieczyszczenia ulegają częściowemu wypaleniu. Stal można otrzymać metodą:

- konwertorową,
- martenowską,
- elektryczną.

Wytapianie stali metodą konwertorową polega na przedmuchiwaniu sprężonego powietrza (lub tlenu) przez roztopioną surówkę (rys. 1.9). Następuje wówczas utlenienie węgla i domieszek (krzemu, manganu, siarki, fosforu), które w postaci żużla lub gazu opuszczają piec konwertorowy (konwertor). W skład



Rys. 1.9. 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

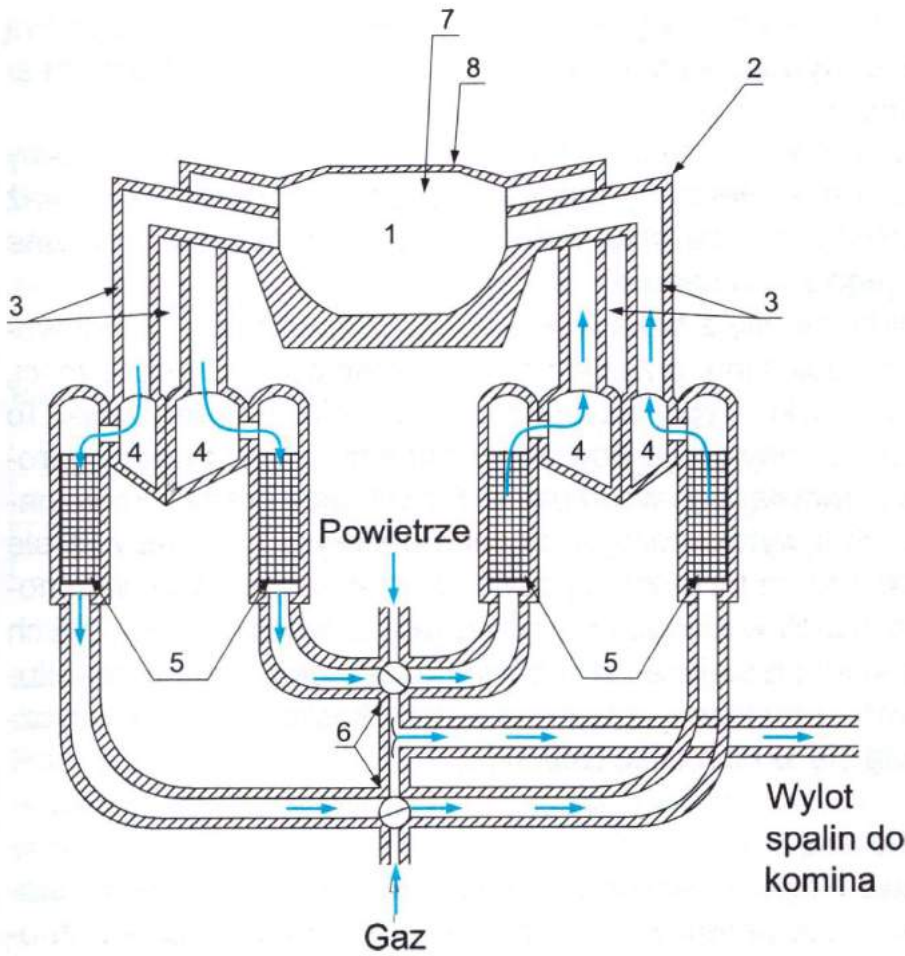
konwertora wchodzi podłużny zbiornik stalowy, wyłożony ogniotrwałym materiałem ceramicznym o charakterze kwaśnym lub zasadowym. Zbiornik może się obracać dookoła osi. Składa się z dwóch komór: większej (roboczej), w której odbywa się proces wytopu, i mniejszej (powietrznej), do której doprowadza się powietrze lub tlen pod ciśnieniem. Obydwie komory są przedzielone ścianą z otworami, przez które jest włączane powietrze lub tlen. Powietrze (tlen) przechodzące przez ciekłą surówkę wypala zawarty w niej węgiel i domieszki, w wyniku czego otrzymuje się stal.

Rozróżnia się trzy rodzaje procesów konwertorowych: Bessemera, Thomasa i LD (tlenowy). **Proces besemerowski** (opracowany w 1856 r.) polega na otrzymywaniu stali w piecach konwertorowych wyłożonych materiałem ogniotrwałym kwaśnym (krzemionkowym). Metoda ta uniemożliwia przeróbkę surówek zawierających fosfor, który, pozostając w stali, powoduje jej kruchość. **Proces tomassowski** (wprowadzony w 1878 r.) polega na otrzymywaniu stali w piecach konwertorowych wyłożonych materiałem ogniotrwałym zasadowym (dolomitowym), co umożliwia przeróbkę surówki zawierającej fosfor. Wadą obu wymienionych metod jest wprowadzenie do stali azotu z powietrza. Aby wyeliminować to zjawisko, stosuje się powietrze wzbogacone w tlen przy bocznym nadmuchu komory. **Proces LD** (opracowany w 1949 r.) polega na otrzymywaniu stali z surówki przez wdmuchiwanie czystego tlenu do górnej części pionowo ustawionego konwertora wyłożonego materiałem ogniotrwałym zasadowym. Metoda LD pozwala na otrzymywanie stali z surówki o dowolnym składzie chemicznym i nie powoduje naazotowania stali.

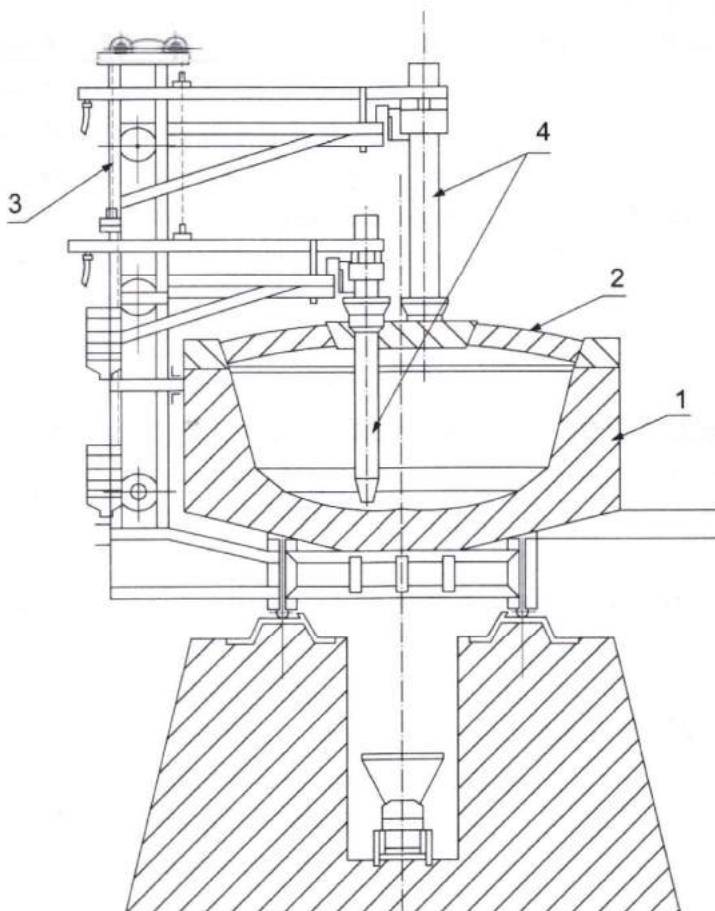
Metodą martenowską (Siemensa-Martina) stal otrzymuje się przez wytopienie surówki ze złomem żelaznym i topnikami w piecu wannowym opalanym gazem. Piec martenowski (rys. 1.10) składa się z przestrzeni roboczej (tzw. topniska) z oknami wsadowymi i otworem spustowym, głowic (doprowadzających paliwo i powietrze oraz odprowadzających spaliny), kanałów, komór żużlowych, regeneratorów i zaworów rozrządczych. Regeneratory pieca martenowskiego służą do odzyskiwania 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, uzyskiwanej przez odpowiednie ustawienie zaworów rozrządczych. Dzięki odzyskaniu w regeneratorach pewnej ilości ciepła, w piecu martenowskim można uzyskiwać bardzo wysoką temperaturę (ok. 1750°C), umożliwiającą utrzymywanie stali w stanie ciekłym. Stal otrzymywana w piecu martenowskim ma lepszą jakość niż otrzymywana w konwertorach, gdyż zawiera mniej fosforu i siarki. Pomimo to metody martenowskiej otrzymywania stali prawie wcale nie stosuje 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. 1.11). **Piece elektrodowe** typu Heroulta są zasilane prądem przemiennym trójfazowym i mają trzy elektrody wprowadzone do przestrzeni roboczej pieca przez jego sklepie-



Rys. 1.10. Schemat pieca martenowskiego
 1 – przestrzeń robocza pieca (topnisko),
 2 – głowica,
 3 – kanały doprowadzające powietrze i gaz oraz odprowadzające spaliny,
 4 – kanały żuźlowe,
 5 – regeneratory,
 6 – zawory,
 7 – trzon pieca,
 8 – sklepienie pieca



Rys. 1.11. Schemat pieca elektrycznego
 1 – trzon pieca,
 2 – ruchome sklepienie pieca,
 3 – mechanizmy do ustawienia elektrod,
 4 – elektrody

nie. Piec może być wyłożony warstwą kwaśną (krzemionkową) lub zasadową (dolomitową). Topienie odbywa się przez wytwarzanie 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.

Piece indukcyjne składają się z tygla wykonanego z materiałów ogniotrwałych, otoczonego cewką indukcyjną, przez którą płynie prąd dużej częstotliwości, wzbudzający wewnątrz cewki i tygla szybkozmiennie 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 własności 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 wykonuje się w nich tylko rafinację.

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 i in.

Przyjmując za kryterium podziału jakość, można rozróżnić stale:

- jakościowe,
- specjalne.

Według rodzaju produktów wyodrębnia się:

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

Najważniejsze kryterium podziału to skład chemiczny, ponieważ decyduje on o własnościach, a własności o zastosowaniu stali.

Klasyfikacja stali jest prowadzona według odpowiednich norm. Dotychczas prowadzono klasyfikację według Polskich Norm (PN), ale wejście Polski do Unii Europejskiej spowodowało konieczność ich dostosowania do systemu europejskiego (PN-EN oraz PN-ISO). Zgodny z normą PN-EN10020:2003 podział stali ze względu na skład chemiczny przedstawiono w tablicy 1-2.

Tablica 1-2

Podział ogólny 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 wyżej wymienionej normie. 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 w porównaniu ze stalami niestopowymi jakościowymi większy stopień czystości. 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) według normy PN-EN 10020:2003 dzieli się ze względu na **zawartość niklu** na zawierające mniej niż 2,5% niklu oraz zawierające 2,5% niklu i więcej (tabl. 1–2). 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;
- stale stopowe 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 odporowe o określonym współczynniku rozszerzalności cieplnej).

Oznaczenie stali

Norma PN-EN 10027 określa dwa systemy oznaczania stali:

- symbolowy, wg PN-EN 10027-1,
- cyfrowy, wg PN-EN 10027-2.

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

- na zastosowanie oraz mechaniczne lub fizyczne własności stali,
- na 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. 1-3).

Tablica 1-3

Znaki przedstawiające przeznaczenie oraz mechaniczne własności stali

Symbole główne	Oznaczenie cyfrowe (wartość w MPa)
S – stale konstrukcyjne E – stale maszynowe P – stale pracujące pod ciśnieniem L – stal na rury przewodowe	Liczba równa min. granicy plastyczności dla najmniejszej grubości wyrobu
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
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 są następujące.

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 szybko tnących) o zawartości każdego pierwiastka stopowego mniejszej niż 5%; symbol – **LPPz-z**, gdzie:

- **L** jest to liczba określająca 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 szybkoitnych) 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 szybkoitne; 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 tak skonstruowany, aby można go było wykorzystać do ozna-

czenia nie tylko stali, ale i 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 PN oznaczeniu stali szybkoobrotowej – SW18.

Przedstawione systemy oznaczeń stali zostały opracowane 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.

1.2.4. Staliwa

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

Staliwo otrzymuje się, podobnie jak stal, 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, jednak od nich gorsze. Dobre własności mechaniczne staliwa spowodowały, że stosuje się je w 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 żelaza, co utrudnia konstruowanie odlewów.

Staliwa można podzielić na:

- węglowe (niestopowe),
- stopowe.

Staliwo niestopowe według normy PN-ISO 3755:1994 występuje w postaci ośmiu gatunków staliw węglowych konstrukcyjnych ogólnego przeznaczenia.

Staliwa są oznaczane 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: 230-450, 230-450W, 200-400.

Norma ta dzieli staliwa na dwie grupy – w zależności od wytrzymałości i od zawartości poszczególnych pierwiastków:

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

Przykłady oznakowania staliwa węglowego to LI400, LII450, LII500, gdzie symbol L oznacza stal laną, liczba rzymska I lub II oznacza jakość, a liczba trzy-cyfrowa określa minimalną wytrzymałość na rozciąganie R_m .

Staliwa węglowe znajdują zastosowanie np. w 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 określa norma PN-H/83156: 1997. Znak staliwa składa się z litery L, a następnie – podobnie jak przy oznakowaniu stali – liczby określającej średnią zawartość procentową 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.

Główne zastosowanie staliw stopowych to budowa części maszyn budowlanych, kół zębatach, szczęk do kruszarek, kół jezdnych do suwnic, korpusów sprzęgieł i elementów czepaków.

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

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

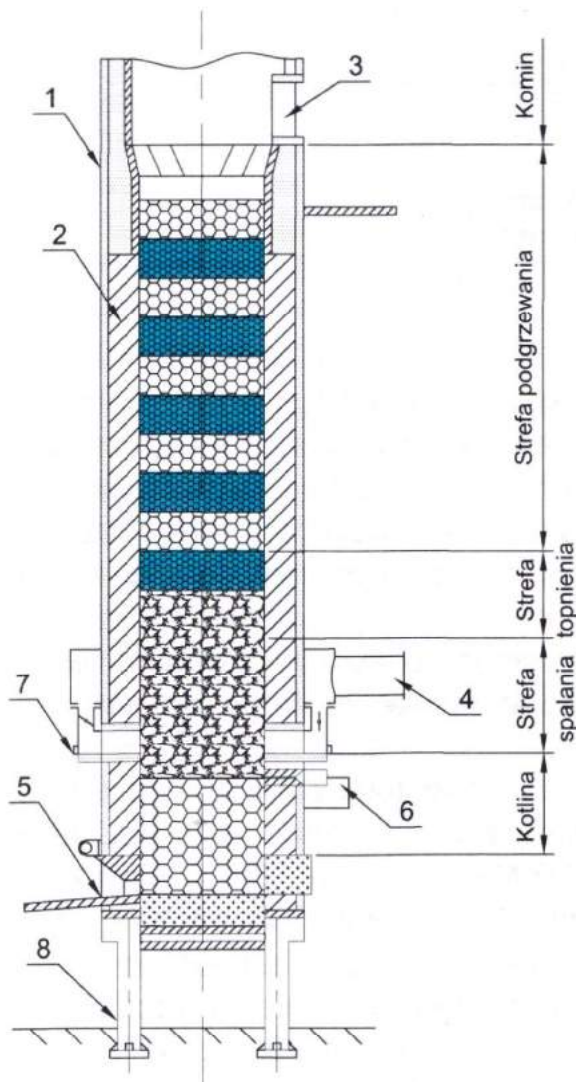
Obecnie ogranicza się wykorzystanie staliwa w budowie samochodów na rzecz żeliwa sferoidalnego, którego własności mechaniczne są zbliżone do własności staliwa, a skurcz odlewniczy jest dwukrotnie mniejszy. Staliwo jest

stosowane na elementy podwozi samochodów ciężarowych (wsporniki, dźwignie, obudowy przekładni głównej, pochwy mostów, elementy sprzęgające ciągników siodłowych).

1.2.5. Żeliwa

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 budowy przedstawiono na rysunku 1.12.



Rys. 1.12. Schemat pieca żeliwiaka

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

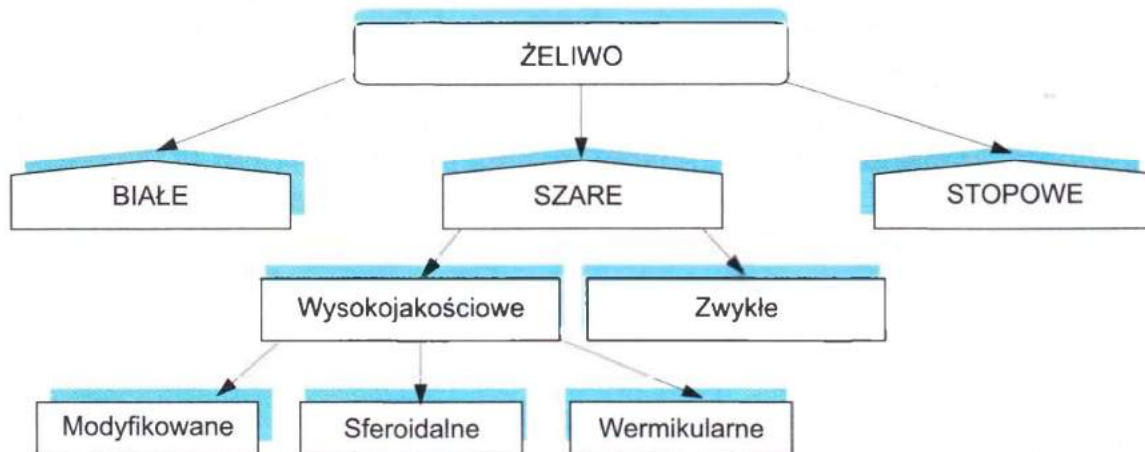
Piec jest zbudowany z blachy stalowej i wyłożony wewnątrz materiałem ogniotrwałym. Przez okno wsadowe, umieszczone w górnej części pieca, wprowadza się do niego metale przeznaczone do topienia (surówkę, złom żeliwny, złom stalowy) na przemian z koksem i topnikami. Za pomocą dyszy podaje się powietrze potrzebne 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 żużla.

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

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

Podział żeliw przedstawiono na rysunku 1.13.



Rys. 1.13. Podział żeliw

Żeliwo białe to materiał bardzo twardy i kruchy, nienadający się do obróbki skrawaniem, dlatego ma ograniczone zastosowanie i nie stosuje się go na części konstrukcyjne. Ze względu na dobrą odporność na ścieranie żeliwo białe jest stosowane na kule do młynów, ślimaki mieszalników, walce drogowe i przenośniki materiałów sypkich. Większe zastosowanie znajduje **żeliwo zabielenie**, w którego strukturze na powierzchni występuje twarda powłoka z cementytu, a wewnątrz węgiel w postaci grafitu. Stosuje się je do wyrobu dźwigni zaworowych i popychaczy. Odlewy z żeliwa białego stanowią przede wszystkim produkt wyjściowy do produkcji żeliwa ciągliwego.

Żeliwo szare jest materiałem o dobrych własnościach odlewniczych, dobrej obrabialności, małej udarności i dużym współczynniku tłumienia drgań. Jego wytrzymałość na rozciąganie wynosi od 100 MPa do 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, która może być ferrytyczna, perlityczna lub ferrytyczno-perlityczna. 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, dobra odporność na zużycie, duży współczynnik tłumienia drgań) znalazło szerokie zastosowanie jako materiał na kadłuby, tuleje i głowice cylindrów, kadłuby pomp wodnych, 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 przez dodanie do ciekłego żeliwa modyfikatorów, np. stopu krzemu z wapniem, żelazokrzemu lub magnezu. Modyfikowanie podwyższa zdecydowanie 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.

W przemyśle duże zastosowanie mają również **żeliwa stopowe**, które dzięki zastosowaniu odpowiednich dodatków stopowych charakteryzują się podwyższoną odpornością na korozję, wysoką temperaturę, działanie substancji chemicznych i ścieranie. Najczęściej stosuje się żeliwa:

- **krzemowe** (odlewy wykonane z tego żeliwa są odporne na działanie kwasów, korozję i temperaturę);
- **chromowe** (odlewy wykonane z tego żeliwa są żaroodporne, odporne na korozję i ścieranie);
- **aluminiowe** (odlewy wykonane z tego żeliwa są ognioodporne, żaroodporne, odporne na działanie środowiska gazowego tlenu, węgla i siarki);
- **niklowe** (odlewy wykonane z tego żeliwa są odporne na korozję i ścieranie).

Oznaczanie żeliw określa norma PN-EN 1560:2001 (*System oznaczania żeliwa. Symbole i numery materiału*), według której 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 – wermikularny, 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 – przyłany), 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 – Brinnella, 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:

- znak 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;
- znak 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).

1.3. Metale nieżelazne i ich stopy

1.3.1. Klasyfikacja i ogólna charakterystyka stopów metali nieżelaznych

Do metali nieżelaznych zalicza się wszystkie metale z wyjątkiem żelaza. Metale nieżelazne, a szczególnie ich stopy, znajdują szerokie zastosowanie 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 ze względu na:

– gęstość:

- lekkie (aluminium, magnez, tytan),
- ciężkie (miedź, nikiel, wolfram, platyna);

– temperaturę topnienia:

- 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 1-1.

W tym punkcie zostaną omówione metale nieżelazne i ich stopy stosowane w produkcji pojazdów samochodowych. Podstawowe własności tych metali zawarto w tabelicy 1-4.

Tablica 1-4

Własności metali nieżelaznych

Własności	Miedź Cu	Nikiel Ni	Cynk Zn	Cyna Sn	Ołów Pb	Alumi- nium 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
Współcz. rozszerz. liniowej w zakresie 20...100°C [1/°C]	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	–

1.3.2. Aluminium i jego stopy

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, ale duży skurcz i małą wytrzymałość mechaniczną (jego wytrzymałość na rozciąganie wynosi około 60 MPa). Podstawowym surowcem do produkcji aluminium jest ruda zwana boksytem, zawierająca od 55% do 65% tlenku glinowego Al_2O_3 . Aluminium otrzymuje się w wyniku dwóch procesów: w pierwszym uzyskuje się czysty tlenek Al_2O_3 , w drugim – metodą elektrolityczną – aluminium. Według obowiązujących norm PN-EN 573-3:2007 wytwarza się 17 gatunków aluminium, różniących się stopniem czystości – od 99,0 do 99,99% zawartości czystego aluminium.

Oznaczenie 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),
- liczba 99,6 to zawartość procentowa czystego aluminium,
- Ti to symbol chemiczny pierwiastka stanowiącego główną domieszkę.

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 są zaliczane 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 stopy odlewnicze aluminium z krzemem, który może występować w ilości od 0,8 do 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 różnych grubościach 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.

Norma PN-EN 1706:2001 dotyczy odlewniczych stopów aluminium.

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

Przykłady zastosowania stopów odlewniczych aluminium do produkcji samochodów są następujące:

- ENAC- AlSi12 – do produkcji obudowy skrzynek biegów i skrzyń korbowych;
- ENAC- AlSi10Mg – do produkcji głowic i bloków cylindrowych;
- ENAC- AlSi6Cu4 – do produkcji przewodów wlotowych, pokryw korpusów, głowic cylindrowych, misek olejowych;
- ENAC- AlCu4Ti – do produkcji części przenoszących 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 do przemysłu spożywczego i chemicznego. Stopy z magnezem i krzemem to awiale. Wykorzystuje się je w motoryzacji i lotnictwie na średnio obciążone elementy o skomplikowanych kształtach. Durable to stopy wieloskładnikowe mające w swym składzie miedź i magnez, stosowane na konstrukcyjne elementy budowlane, lotnicze i samochodowe.

Norma PN-EN 573-3: 2007 dotyczy stopów aluminium do obróbki plastycznej.

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%.

Przykłady zastosowania stopów aluminium do obróbki plastycznej w produkcji samochodów są następujące:

- ENAW-ALMn1 – do produkcji chłodnic, blach samochodowych i wyciskanych profili do budowy nadwozi;
- ENAW-ALMgSi – do produkcji profili do budowy nadwozi i obręczy kół;
- ENAW-ALCu4Mg1 – do produkcji wahaczy podłużnych, poprzecznych i piast hamulcowych.

Istnieje także **system cyfrowy oznaczania aluminium i jego stopów**, określony w normie PN-EN 573-1:2006. 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, przy czym:
 - 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 modyfikację 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 (np. ENAW-1070 to aluminium niestopowe, ponieważ pierwsza cyfra to 1, brak modyfikacji, ponieważ druga cyfra to 0, a zawartość czystego aluminium to 99,70%, ponieważ trzecia i czwarta cyfra to 7 i 0).

1.3.3. 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 wytapianie lub metodą elektrolityczną. Wy-

konuje 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 procentowej 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 z innymi metalami. Charakteryzują się dobrą skrawalnością, odpornością na korozję oraz dobrymi własnościami plastycznymi i odlewniczymi. Mosiądze mają zastosowanie 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 stosowane w postaci półwyrobów przerabianych plastycznie (prętów, blach, taśm, rur), a także jako mosiądze wysokoniklowe, z których wykonuje się elementy sprężyste regulatorów, przekładników 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 można podzielić na:

- odlewnicze,
- do obróbki plastycznej.

Mosiądze odlewnicze są to stopy wieloskładnikowe, które zawierają pierwiastki modyfikujące ich własności: mangan i ołów (do 4% zawartości), aluminium (do 3% zawartości), żelazo (do 1,5% zawartości) i krzem (do 4,5% zawartości). 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 w swoim składzie następujące pierwiastki: cynę i aluminium (do 11% zawartości), ołów (do 33% zawartości), cynk (do 7% zawartości), żelazo i nikiel (do 5,5% zawartości), krzem (do 4,5% zawartości), mangan (do 2% zawartości oraz fosfor (do 1,5% zawartości). 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 zawierają mniejsze ilości dodatków stopowych niż odlewnicze, podobnie jak mosiądze. Najczęściej stosowane do obróbki plastycznej są brązy:

- cynowe, o dużej wytrzymałości, dobrej skrawalności i plastyczności, odporne na ścieranie i korozję, stosowane na łożyska, sprężyny, membrany i tulejki korbowodów;
- aluminiowe, o dobrych własnościach mechanicznych, odporne na ścieranie i korozję oraz obciążenia przemienne, stosowane na łożyska o dużych naciskach i małych prędkościach, np. tulejki i ślimacznice;
- berylowe, o dużej wytrzymałości, odporne na zużycie, o dobrej przewodności elektrycznej i cieplnej; ponieważ nie iskrzą przy uderzeniach, są stosowane 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, stosowane na tuleje kół i sprężyny.

Według PN-EN **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 i zawartości niklu i kobaltu poniżej 1%.

Dodatkowo w oznakowaniu stopów miedzi według PN-EN 1982:2002 mogą pojawić się symbole na końcu znaku (np. CuZn15As-C), przy czym:

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

Norma PN-EN 1173:2008 dopuszcza podanie po znaku stopu wartości minimalnej wytrzymałości na rozciąganie, wyrażonej w megapaskalach.

Zastosowanie przykładowych stopów miedzi używanych w produkcji samochodów (według oznakowań) jest następujące:

- CuPb17Sn5 do produkcji materiałów na odlewy warstwowe i łożysk silników spalinowych,
- CuSn7ZnPb do produkcji panewek i tulei łożysk ślizgowych oraz tulei sworzni tłokowych,
- CuAl11Ni do produkcji kół zębatych śrubowych i łożysk ślizgowych silnie obciążonych dynamicznie,
- CuZn37Pb do produkcji części odlewanych ciśnieniowo z zakresu elektrotechniki i mechaniki precyzyjnej.

1.3.4. Cynk i jego stopy

Cynk (Zn) jest metalem o barwie szarobiałej, o małej wytrzymałości i twardości, odpornym na korozję, o niskiej temperaturze topnienia, a dużej rozszerzalności cieplnej, jest 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 jako składniki:

- 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 przemyśle 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 zawartościom procentowym w kolejności malejącej, np. ZnCu1CrTi, ZnAl11Cu1. Własności odlewnicze stopów cynku i ich skład chemiczny podaje norma PN-EN 12844:2001.

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.

Zastosowanie przykładowych stopów cynku do przeróbki plastycznej:

- ZnAl4 do produkcji elektrotechnicznego osprzętu motoryzacyjnego,
- ZnAl4Cu1 do produkcji elementów wytłaczanych osprzętu elektrycznego.

1.3.5. Magnez i jego stopy

Magnez (Mg) jest metalem srebrzystobiałym, bardzo lekkim, o małej wytrzymałości, jest kowalny i ciągliwy oraz ma dużą aktywność chemiczną. Otrzymuje się go z minerału zwanego karnalitem ($KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$), magnezytu ($MgCO_3$) i dolomitu $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ 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 przemyśle często stosuje 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.

Stopy odlewnicze są stosowane na odlewy dla przemysłu lotniczego, motoryzacyjnego i maszynowego, na korpusy pomp, armaturę, obudowy i części silników oraz silnie obciążone odlewy części lotniczych. **Stopy** magnezu do **obróbki plastycznej** także są wykorzystywane w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym, na poszycia samolotów i śmigłowców oraz na średnio i bardzo obciążone elementy konstrukcji lotniczych i samochodowych.

Zasada **oznakowania stopów magnezu** jest taka sama, jak dla wcześniej omówionych stopów metali nieżelaznych. Najpierw podaje się symbol magnezu (Mg), a następnie symbole pozostałych pierwiastków i liczby odpowiadające ich zawartościom procentowym w kolejności malejącej, np. MgZn3Cr.

Według normy PN-EN 1753:2001, określającej odlewnicze stopy magnezu, oprócz wymienionych symboli na początku znaku pojawiają się litery MC, oznaczające stopy odlewnicze, np. MCMgAl6Mn.

Zastosowanie przykładowych stopów odlewniczych magnezu i ich oznakowanie jest następujące:

- MgZn5Zr do produkcji skomplikowanych odlewów, na koła samochodów wyścigowych;
- MgAl16Zn3Mn do produkcji elementów silników pracujących w temperaturze do 120°C;
- MgAl7Mn do produkcji korpusów skrzyń biegów i silników.

Zastosowanie przykładowych stopów magnezu do obróbki plastycznej jest następujące:

- MgMn2 do produkcji zbiorników paliwa i osłon,

- MgAl13Zn do produkcji części podlegających średnim obciążeniom i o umiarkowanej odporności na korozję,
- MgAl18Zn do produkcji części podlegających dużym obciążeniom.

1.3.6. Nikiel i jego stopy

Nikiel (Ni) jest metalem o barwie srebrzystobiałej, miękkim, kowalnym, ciągliwym, skrawalnym, odpornym na korozję i żarowytrzymałym, daje 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 także innymi metodami. Stosuje się go w elektronice na katody i anody oraz inne elementy konstrukcyjne lamp elektronowych, w przemyśle chemicznym, do uzyskania 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 i 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, nikłowo-tytanowe, na implanty, gwoździe kostne i płytki do zespołań).

Sposób **oznakowania stopów niklu** jest taki sam jak wcześniej omawianych stopów metali nieżelaznych.

Stopy niklu można podzielić na poddawane obróbce plastycznej i odlewnicze.

Oznakowanie i zastosowanie przykładowych stopów niklu do obróbki plastycznej jest następujące:

- NiFe48MnSi do produkcji elektrod do spawania żeliwa,
- NiAl2MnSi1 do produkcji termoelementów i przewodów kompensacyjnych.

Oznakowanie i zastosowanie przykładowych stopów niklu do odlewania:

- NiCu30FeMn (stop Monela) do produkcji łopatek turbin, części pomp;
- NiCr15Fe5 (stop inconel) do produkcji części pieców metalurgicznych.

1.3.7. Wolfram i jego stopy

Wolfram (W) jest metalem srebrzystobiałym, bardzo twardym, trudno topliwym, ma dużą wytrzymałość w wysokich temperaturach, 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), są stosowane do produkcji łopatek turbin i części dysz. Żaroodporne stopy wolframu, mające w swoim składzie nikiel (Ni), kobalt (Co), żelazo (Fe) i chrom (Cr), są stosowane do produkcji narzędzi skrawających. Stopy wolframu mogą również być stosowane w produkcji styków elektrycznych, na obudowy półprzewodników i dysze rakiet. Wolframu używa się także do wytwarzania proszków węgliku wolframu, który przetwarza się za pomocą technologii metalurgii proszków i wykorzystuje do produkcji narzędzi szybkoobrotowych, służących do obróbki skrawaniem.

1.3.8. Tytan i jego stopy

Tytan (Ti) jest to metal srebrzystobiały, lekki, plastyczny, o dużej wytrzymałości mechanicznej, odporny na korozję, żaroodporny i trudno topliwy. Otrzymuje się go różnymi metodami z rud tytanowych, takich jak rutyl i tytanit. Jedną z metod polega na redukcji czterochlorku tytanu za pomocą magnezu. Tytan jest stosowany 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, rakiet, 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 jezdnych samochodów wyścigowych. Tytan jest też składnikiem węglików spiekanych.

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

1.4. Obróbka cieplna

Obróbka cieplna polega na zabiegach cieplnych, powodujących zmianę struktury materiału, a przez to zmianę jego własności mechanicznych (np. wytrzymałości, sprężystości, twardości), fizycznych, chemicznych lub technologicznych (np. skrawalności). Obróbce takiej poddaje się stale, żeliwa i stopy metali nieżelaznych w stanie stałym. Przebieg obróbki cieplnej zależy od odpowiednio dobranej temperatury nagrzania, szybkości nagrzewania i szybkości chłodzenia. Prawidłowo przeprowadzona obróbka cieplna o właściwie dobranych tych parametrach jest jedną z technologicznych metod zwiększenia trwałości eksploatacyjnej części pojazdów. W materiałach poddawanych obróbce cieplnej mogą

powstać dodatkowe naprężenia, będące przyczyną zniszczenia obrobionego przedmiotu pod wpływem nawet nieznacznego obciążenia, dlatego tak ważny jest dobór odpowiednich parametrów obróbki. Większość zabiegów obróbki cieplnej prowadzi się w temperaturach, w których występują przemiany strukturalne w stopach.

Podczas obróbki cieplnej występują:

- **operacje cieplne**, czyli części procesu technologicznego (np. hartowanie, wyżarzanie, odpuszczanie);
- **zabiegi**, czyli części operacji (np. nagrzewanie, chłodzenie, wygrzewanie).

Operacje obróbki cieplnej przedstawiono na rysunku 1.14. Zostaną one dalej omówione na przykładzie stali, ponieważ zmiany struktury tego materiału przedstawiono wcześniej w podrozdziale 1.2.



Rys. 1.14. Operacje obróbki cieplnej

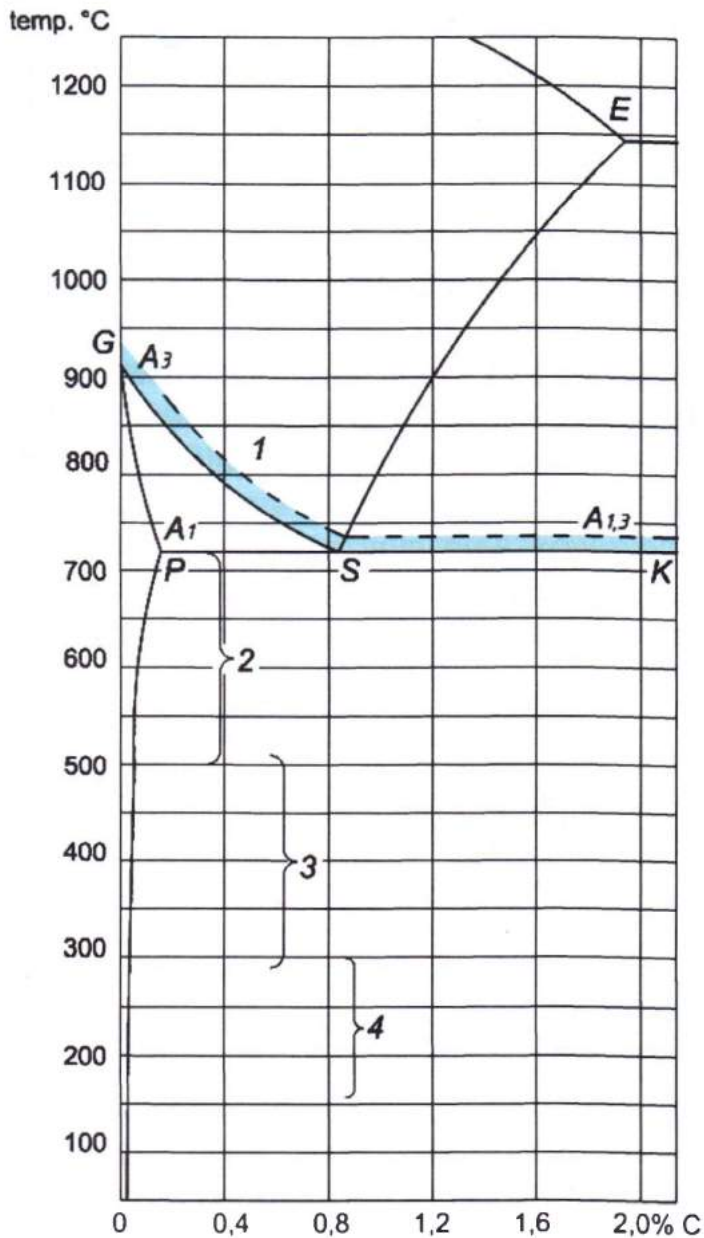
Jedną z podstawowych operacji obróbki cieplnej jest **hartowanie**. Polega ono na nagraniu metalu do określonej temperatury, zależnej od rodzaju materiału. Dla stali jest to temperatura około 30°C wyższa od temperatury przemiany A_3 . Zakres temperatur hartowania przedstawiono na rysunku 1.15 – jest to pas wzdłuż linii A_3 – $A_{1,3}$.

Następnie stal jest wygrzewana w tej temperaturze w celu uzyskania jednolitej temperatury w całym materiale oraz poddawana chłodzeniu. Celem hartowania jest zwiększenie twardości, wytrzymałości i granicy plastyczności stali. Zwiększenie twardości uzyskuje się przez utworzenie struktury martenzytycznej, czyli przesyconego roztworu węgla w żelazie α . Schemat operacji hartowania, składającej się z zabiegów nagrzewania, wygrzewania i chłodzenia, przedstawiono na rysunku 1.16.

W zależności od sposobu nagrzewania hartowanie można podzielić na:

- powierzchniowe,
- na wskroś.

Hartowanie powierzchniowe polega na bardzo szybkim ogrzaniu powierzchniowej warstwy materiału, a następnie szybkim chłodzeniu. Metoda ta pozwala



Rys. 1.15. Zakres temperatur hartowania i odpuszczania stali

- 1 – grzanie przed hartowaniem,
- 2 – odpuszczanie wysokie,
- 3 – odpuszczanie średnie,
- 4 – odpuszczanie niskie

części ze stali niestopowych oraz części ze stali stopowych. Po hartowaniu zwykłym stosuje się odpuszczanie, aby pozbyć się naprężeń hartowniczych.

Hartowanie stopniowe polega na nagrzaniu i wygrzaniu stali tak, jak w hartowaniu zwykłym, a następnie na stopniowym chłodze-

na uzyskanie twardej, odpornej na ścieranie powierzchni zewnętrznej oraz plastycznego rdzenia. W zależności od sposobu nagrzewania rozróżnia się hartowanie powierzchniowe:

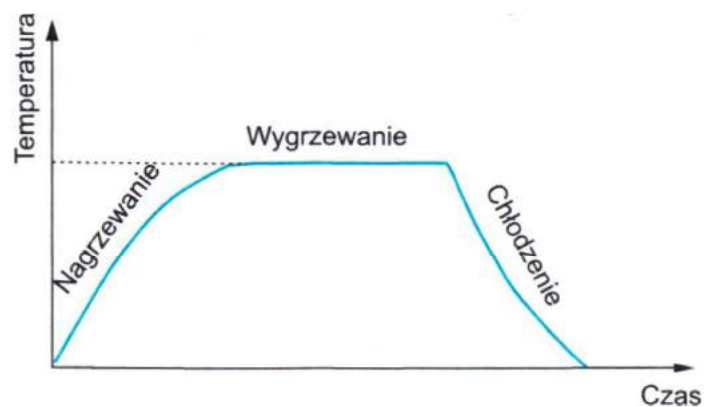
- indukcyjne (ogrzewanie przedmiotu prądami o wysokiej częstotliwości),
- płomieniowe (ogrzewanie przedmiotu za pomocą palnika gazowego),
- kąpielowe (ogrzewanie przedmiotu w gorącej kąpeli solnej).

Hartowanie powierzchniowe stosuje się do obróbki cieplnej kół zębatych, sworzni i czopów wałów korbowych.

Do **hartowania na wskroś** zalicza się, w zależności od sposobu chłodzenia, hartowanie:

- zwykłe,
- stopniowe,
- izotermiczne.

Hartowanie zwykłe polega na nagrzaniu materiału w odpowiedniej temperaturze i szybkim chłodzeniu. Czas wygrzewania wynosi od 25 do 50% czasu nagrzewania. Ten typ hartowania stosuje się do nieskomplikowanych



Rys. 1.16. Schemat procesu obróbki cieplnej – hartowania stali, składający się z procesów nagrzewania i chłodzenia

niu, najpierw w kąpielii solnej, a następnie w powietrzu, do temperatury otoczenia. Ten rodzaj hartowania nie powoduje powstawania tak dużych naprężeń, jak hartowanie zwykłe. Stosuje się go do hartowania części ze stali stopowych o skomplikowanych kształtach.

Hartowanie izotermiczne (z przemianą w stałej temperaturze) polega na nagraniu materiału tak, jak przy hartowaniu zwykłym, wygrzaniu w tej temperaturze, następnie chłodzeniu w kąpielii saletrzanej lub ołowiowej o temperaturze wyższej niż w hartowaniu stopniowym, a potem chłodzeniu w powietrzu. Zaletą tego sposobu hartowania jest powstawanie bardzo małych naprężeń wewnętrznych, dlatego po tej obróbce nie stosuje się odpuszczania. Hartowanie izotermiczne stosuje się do małych części ze stali niestopowych.

Odpuszczanie ma na celu usunięcie naprężeń wewnętrznych, powstałych w przedmiotach podczas hartowania, i poprawę własności plastycznych. Polega ono na nagraniu wcześniej zahartowanej stali do temperatury 723°C (niższej od temperatury A_1), wygrzaniu w tej temperaturze i powolnym studzeniu w powietrzu lub w oleju. W zależności od temperatury (patrz rys. 1.15) rozróżnia się odpuszczanie:

- niskie,
- średnie,
- wysokie.

Odpuszczanie niskie prowadzi się w temperaturze $150...250^{\circ}\text{C}$. Odpuszczanie takie usuwa naprężenia hartownicze, ale zachowuje dużą twardość stali; stosuje się je przy produkcji narzędzi i przyrządów pomiarowych oraz części maszyn ze stali niestopowych.

Odpuszczanie średnie, które prowadzi się w temperaturze $250...500^{\circ}\text{C}$, zwiększa sprężystość i wytrzymałość, a zmniejsza kruchość; stosuje się je do obróbki cieplnej sprężyn, resorów, matryc, młotów pneumatycznych i części samochodowych.

Odpuszczanie wysokie prowadzi się w temperaturze od 500°C do temperatury A_1 (patrz rys. 1.15). Zwiększa ono wytrzymałość oraz odporność na uderzenia i sprężystość. Stosuje się je do obróbki cieplnej części narażonych na uderzenia maszyn pracujących pod obciążeniem, jak np. osie, wały i korbowody.

Wyżarzanie jest to operacja obróbki cieplnej, która polega na nagraniu metalu do żądanej temperatury, wygrzaniu w tej temperaturze i powolnym chłodzeniu do temperatury otoczenia.

Można rozróżnić wyżarzanie:

- ujednorodniające,
- normalizujące,
- rekrytalizujące,
- zupełne,
- odprężające.

Zakres temperatur wyżarzania przedstawiono na rysunku 1.17.

Wyżarzanie ujednorodniające

stali stosuje się w celu uzyskania jednakowego składu chemicznego w całym materiale. Proces ten prowadzi się w temperaturze około 1000...1250°C przez 10...15 godzin.

Wyżarzanie normalizujące

umożliwia uzyskanie jednolitej struktury, polepszenie własności wytrzymałościowych i usunięcie naprężeń własnych. Proces ten polega na nagrzewaniu stali do temperatury 30...50°C powyżej linii GSE (rys. 1.17), wygrzaniu w tej temperaturze i chłodzeniu na powietrzu.

Wyżarzanie rekrytalizujące

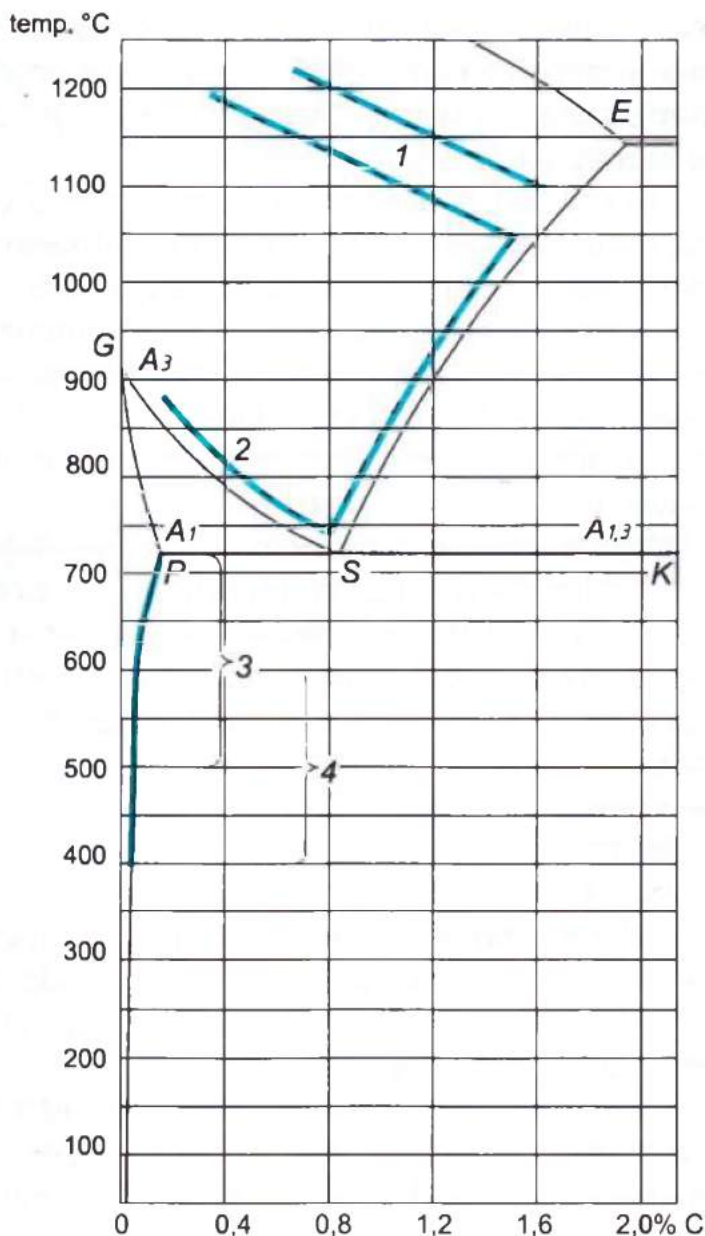
stosuje się w celu usunięcia zgniotu i przywrócenia stali (podanej wcześniej obróbce plastycznej na zimno) początkowej plastyczności. Prowadzi się je, nagrzewając materiał do temperatury 550...650°C, a następnie wygrzewając go w tej temperaturze i chłodząc na powietrzu.

Wyżarzanie zupełne ma na celu uzyskanie jednolitej, drobnoziarnistej struktury stali, jej dużej ciągliwości i małej twardości, a także usunięcie naprężeń własnych. Proces ten prowadzi się, nagrzewając materiał do temperatury 30...50°C powyżej linii GSK (rys. 1.17), wygrzaniu w tej temperaturze i powolnym chłodzeniu w wygaszonym piecu. Różnica między wyżarzaniem zupełnym a normalizującym polega na sposobie chłodzenia.

Wyżarzanie odprężające służy zlikwidowaniu naprężeń własnych w materiale. Proces ten prowadzi się, nagrzewając stal do temperatury nieprzekraczającej 550...650°C, wygrzewając ją w tej temperaturze i chłodząc.

Stabilizowanie (dawniej: sezonowanie) jest to operacja mająca na celu zmniejszenie naprężeń własnych i zapewnienie niezmienności wymiarów. Można rozróżnić stabilizowanie:

- naturalne,
- sztuczne.



Rys. 1.17. Zakres temperatur wyżarzania stali
1 – ujednorodniające, 2 – normalizujące,
3 – rekrytalizujące, 4 – odprężające

Stabilizowanie naturalne to długotrwałe (od kilku do kilkunastu miesięcy) przetrzymywanie wyrobów w zmiennych warunkach atmosferycznych.

Stabilizowanie sztuczne polega na nagrzewaniu stali do temperatury 160°C, wygrzewaniu jej w tej temperaturze od kilku do kilkudziesięciu godzin, a następnie chłodzeniu.

Przesycanie to operacja, którą stosuje się, żeby poprawić własności plastyczne stopów oraz zwiększyć ich odporność na korozję. Proces ten prowadzi się, nagrzewając stal do temperatury stanu austenicznego, wygrzewając w tej temperaturze, a następnie szybko ochładzając. Przesycaniu poddaje się stale kwasoodporne.

1.5. Obróbka cieplno-chemiczna

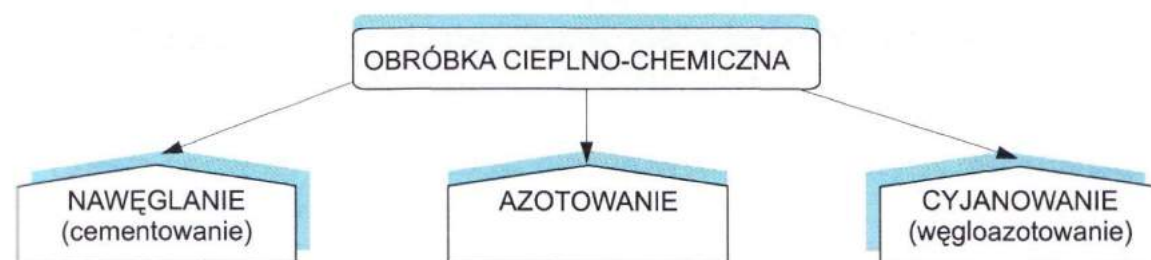
Obróbka cieplno-chemiczna polega na zabiegach cieplnych, które powodują zmianę składu chemicznego zewnętrznych warstw materiału i jego struktury na skutek aktywnego działania chemicznego ośrodka, w którym przedmiot się wygrzewa. Zmiana struktury materiału i związana z tym zmiana własności fizycznych i chemicznych następuje na skutek dyfuzji, czyli samorzutnego przemieszczania się atomów pierwiastka z ośrodka, w którym przeprowadza się obróbkę cieplno-chemiczną, w głąb materiału poddawanego obróbce. Szybkość dyfuzji zależy od czasu przeprowadzonej operacji i wzrasta wraz z podwyższeniem temperatury. W zależności od pierwiastka wprowadzanego do obrabianego materiału można rozróżnić:

- nawęglanie,
- azotowanie,
- cyjanowanie.

Operacje obróbki cieplno-chemicznej przedstawiono na rysunku 1.18.

Nawęglanie, inaczej cementowanie, polega na nasyceniu węglem zewnętrznej warstwy przedmiotu na głębokość 0,5...2,5 mm. Umożliwia to, po późniejszym zahartowaniu przedmiotu, uzyskanie twardej i odpornej na ścieranie warstwy zewnętrznej z zachowaniem miękkiego rdzenia. Ze względu na środowisko, w którym jest prowadzone, rozróżnia się nawęglanie:

- **w środowiskach stałych** (w proszkach), polegające na użyciu węgla drzewnego z dodatkiem węglanów, którymi zasypuje się obrabiany przedmiot, a następnie w specjalnej skrzynce wygrzewa się go w piecu;



Rys. 1.18. Operacje obróbki cieplno-chemicznej

- **w środowiskach gazowych**, polegające na doprowadzeniu do komory pieca, w której znajduje się przedmiot, gazu nawęglającego, np. gazu ziemnego z domieszką propanu;
- **w środowiskach ciekłych**, przeprowadzane w piecach wannowych, w których znajdują się sole nawęglające.

Proces nawęglania stosuje się do przedmiotów stalowych o zawartości węgla do 0,25%. Nawęglanie wykorzystuje się w produkcji wałów korbowych, wałów rozrzędu, osi, tulei i kół zębatych.

Azotowanie polega na nasyceniu azotem zewnętrznej warstwy przedmiotu w podwyższonej temperaturze, wynoszącej od 500 do 850°C. Warstwa zewnętrzna przedmiotu zostaje wówczas utwardzona (bez hartowania) oraz staje się odporna na korozję i ścieranie. Azotowanie w zależności od ośrodka można podzielić na:

- **gazowe**: do komory pieca, w której znajduje się przedmiot, doprowadza się amoniak, pod wpływem temperatury rozkładający się na azot i wodór;
- **ciekłe** (kąpielowe): wygrzewa się przedmiot w kąpielach stopionych soli zawierających związki cyjanowe, które pod wpływem temperatury rozkładają się z wydzielaniem azotu i węgla; to azotowanie jest stosowane do przedmiotów ze stali lub żeliwa, mających w swoim składzie związki aluminium, chromu lub molibdenu.

Azotowanie wykorzystuje się do produkcji części narażonych na ścieranie przy niedużych naciskach, np. wałów korbowych, ślimaków i tulei cylindrowych.

Cyjanowanie, inaczej węgloazotowanie, polega na nasyceniu powierzchni przedmiotów jednocześnie węglem i azotem w temperaturze 500...950°C. Warstwa zewnętrzna ma po hartowaniu większą odporność na ścieranie i twardość.

W zależności od ośrodka cyjanowanie można podzielić na:

- **gazowe**, polegające na wygrzewaniu przedmiotu w mieszaninie amoniaku i gazu nawęglającego;
- **ciekłe** (kąpielowe), polegające na wygrzewaniu przedmiotu w stopionych solach zawierających cyjanek sodu (NaCN jest substancją trującą!) i sól obojętną.

Ten rodzaj obróbki wykorzystuje się do produkcji stalowych części urządzeń pomiarowych i precyzyjnych, odpornych na ścieranie, narzędzi tnących, kół zębatych, sworzni tłokowych i części sprzęgła.

Nawęglanie, azotowanie i cyjanowanie to najczęściej stosowane w przemyśle maszynowym operacje obróbki cieplno-chemicznej. W zależności od pierwiastka wprowadzanego przez dyfuzję do warstwy powierzchniowej przedmiotu wyróżnia się także **inne, rzadziej stosowane rodzaje obróbki cieplno-chemicznej**, np.:

- **nachromowywanie**,
- **naborowywanie**,
- **nakrzemowywanie**,
- **nasiarczanie**.

1.6. Materiały metalowe w pojazdach samochodowych

Produkcja współczesnego samochodu wymaga zastosowania wielu materiałów. Podstawowymi materiałami wykorzystywanymi w przemyśle motoryzacyjnym są nadal metale (żelazne i nieżelazne) oraz ich stopy. Materiały metalowe stanowią znaczny procent masy pojazdu, jednak postęp w dziedzinie inżynierii materiałowej zmierza do redukcji masy elementów samochodu oraz zmniejszenia ich podatności na korozję bez zmiany parametrów wytrzymałościowych, a w konsekwencji również do uzyskania mniejszego zużycia paliwa i poprawy dynamiki jazdy.

Stale

W pojazdach samochodowych stosuje się następujące rodzaje stali: konstrukcyjną, sprężynową, zaworową, do nawęglania, do azotowania, do ulepszenia oraz nierdzewną. Elementy pojazdów samochodowych wykonywane ze stali to:

- miski olejowe,
- sworznie tłokowe,
- wały korbowe,
- korbowody,
- zawory dolotowe i wylotowe,
- wałki rozrzędu,
- koła zębate,
- wałki skrzyń biegów,
- wałki przegubowe,
- stożkowe koła napędowe i talerzowe,
- nadwozia samonośne,
- ramy,
- resory,
- osie,
- obręcze kół,
- zderzaki,
- elementy ozdobne.

Staliwa

W ostatnich latach raczej odchodzi się od stosowania staliw w pojazdach samochodowych. Elementy, które nadal wykonuje się ze staliwa (średnio- i wysokowęglowego), to:

- części podwozi samochodów ciężarowych (obudowy przekładni, wsporniki, pochwy mostów i dźwignie);
- elementy sprzęgające ciągników siodłowych;
- bębny, jarzma i tarcze hamulcowe.

Żeliwa

Żeliwa stosowane w pojazdach samochodowych to żeliwo szare oraz żeliwo z grafitem płatkowym i kulkowym (sferoidalne).

Elementami pojazdów samochodowych wykonywanymi z żeliwa są:

- bloki cylindrów,
- tuleje cylindrowe,
- pierścienie tłokowe,
- skrzynie korbowe,
- wały korbowe,
- korbowody,
- koła zębate,
- wałki rozrządu,
- widełki zmiany biegów,
- tarcze hamulcowe, bębny hamulcowe i siodła hamulcowe.

Aluminium

Aluminium w postaci stopów pozwala zastąpić elementy pojazdów wykonywane dotychczas głównie z blachy stalowej. Parametry stopów aluminium zapewniają znaczne zwiększenie odporności elementów na korozję (zmniejszenie zużycia eksploatacyjnego) oraz dużą redukcję masy całego pojazdu.

Ze stopów aluminium w pojazdach samochodowych są wykonane:

- nadwozia (struktura nośna, drzwi, błotniki, pokrywa silnika, pokrywa bagażnika);
- tłoki silników;
- kadłuby silników;
- wały napędowe, półosie, wahacze;
- łożyska korbowodowe;
- kolektory dolotowe i wylotowe, miski olejowe, głowice;
- obręcze kół;
- obudowy skrzyni biegów i urządzeń wspomagania układu kierowniczego;
- ramy zawieszń;
- kielichowe mocowania kolumn amortyzatorów;
- chłodnice, elementy układu klimatyzacji, wymienniki ciepła;
- elementy konstrukcyjne foteli;
- zaciski hamulcowe;
- dźwigienki zaworów.

Miedź

Miedź w pojazdach samochodowych stosuje się w postaci stopów. Podstawowe z nich to stopy z cyną (brązy), cynkiem (mosiądze), ołowiem, niklem, aluminium, krzemem i manganem.

Elementy, które wykonuje się ze stopów miedzi, to:

- tuleje korbowodowe;
- prowadnice i gniazda zaworów;
- przewody elektryczne;

- uzwojenia alternatorów, rozruszników, cewek zapłonowych i elektrycznych pomp paliwa;
- przewody paliwowe i olejowe, rurki skraplaczy i chłodnic;
- elementy sprężyste regulatorów, przekaźników i urządzeń elektrotechnicznych;
- złącza elektryczne;
- łożyska korbodowe, tuleje i panewki łożysk;
- sprężyny.

Cynk

Cynk w pojazdach samochodowych jest wykorzystywany na:

- powłoki antykorozyjne na elementach stalowych,
- styki osprzętu elektrotechnicznego.

Magnez

W pojazdach samochodowych wykorzystuje się stopy magnezu głównie z cynkiem i aluminium (tzw. stopy ultralekkie, np. elektron). Wykonuje się z nich:

- odlewy obręczy kół samochodów wyścigowych,
- korpusy skrzyń biegów i silników,
- obudowy wału kierownicy,
- zbiorniki paliwa,
- miski olejowe,
- skrzynie korbowe,
- pokrywy głowic i mechanizmu rozrządu,
- wsporniki tablic przyrządów.

Nikiel

W samochodach nikiel jest stosowany najczęściej jako składnik stopowy.

Elementy pojazdów samochodowych wykonywane ze stopów niklu to:

- elektrody świec zapłonowych,
- części (elementy) kompensacji temperaturowej przyrządów pomiarowych,
- powłoki antykorozyjne.

Wolfram

W pojazdach samochodowych wolfram jest wykorzystywany głównie na:

- włókna żarówek oświetleniowych,
 - styki elektryczne
- oraz jako dodatek do olejów smarowych.

Tytan

Tytan stosuje się przede wszystkim jako składnik stopów. Najczęściej jest używany do budowy elementów pojazdów narażonych na duże obciążenia mechaniczne, głównie w samochodach wyścigowych.

Z tytanu wykonuje się następujące elementy pojazdów samochodowych:

- pierścienie gniazd zaworów (jako składnik węglików spiekanych),

- sondy lambda,
- korpusy silników,
- elementy układu jezdnego.

Inne materiały metalowe stosowane w pojazdach samochodowych to:

- *itr*, *iryd* i *platyna* na elektrody i pokrycie elektrod świec zapłonowych;
- *rod*, *pallad*, *cyrkon* i *ruten* na katalizatory spalin i sondy lambda;
- *olów*, *lit*, *kadm* i *srebro* na elementy akumulatorów.

1.7. Materiały niemetalowe

1.7.1. Klasyfikacja i charakterystyka

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 antyutleniacze, 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 poprzez 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.

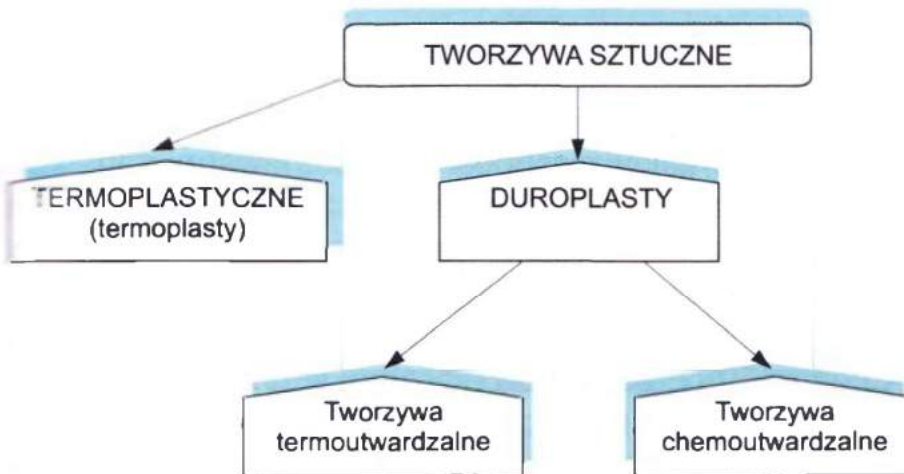
Tworzywa sztuczne stanowią dziś bardzo liczną grupę materiałów (zaczęto je produkować na początku XX wieku), dlatego można je klasyfikować ze względu na różne kryteria, np. budowę, sposób powstawania, strukturę, zastosowanie lub własności.

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 1.19.



Rys. 1.19. 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 jest dostępna cała gama 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 małą gęstość i małą odporność cieplną, może być stosowany w temperaturach od -40 do $+75^{\circ}\text{C}$, jest dobrym dielektrykiem, jest palny, ma małą udarność i twardość. Znajduje zastosowanie w przemyśle maszynowym, samochodowym,

elektromaszynowym i radiowo-telewizyjnym; wykorzystuje się go do produkcji folii spożywczych i do wyrobu przedmiotów użytkowych.

Polichlorek winylu jest odporny na działanie olejów, kwasów, zasad, wody i alkoholi, jest niepalny, ma dobre własności mechaniczne i elektroizolacyjne, może być stosowany w temperaturach od -30 do $+100^{\circ}\text{C}$. Jest wykorzystywany 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 udarność i własności dielektryczne oraz małą gęstość, może być stosowany w temperaturach 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 małą gęstość, dobre własności elektroizolacyjne, dobrą udarność, łatwo się barwi, jest palny, może być stosowany w temperaturach od -70 do $+70^{\circ}\text{C}$. Jest wykorzystywany 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, udarność, twardość i odporność na ścieranie oraz dobrą odporność chemiczną na działanie produktów naftowych, agresywnych płynów i gazów. Mogą być stosowane w temperaturach 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, łatwo daje się barwić, ma dobre własności mechaniczne, jest odporny na czynniki chemiczne i atmosferyczne, może być stosowany w temperaturach od -70 do $+100^{\circ}\text{C}$. Jest wykorzystywany do produkcji szyb przeciwoodblaskowych, kloszy lamp, szyb, przyrządów kontrolnych i elementów aparatury optycznej.

Do **duroplastów** zalicza się tworzywa:

- termoutwardzalne,
- chemoutwardzalne.

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

- fenoplasty,
- aminoplasty.

Własności fenoplastów i ich zastosowanie zależą od ilości i rodzaju dodatków stosowanych w procesach otrzymywania tych tworzyw. Fenoplasty (żywice fenolowe) są stosowane do wyrobu tłoczyw. Produkty otrzymywane metodą tłoczenia i prasowania mają dobre własności mechaniczne i cieplne, dobrą odporność

chemiczną i odporność na działanie temperatury oraz trudną palność, są wykorzystywane 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 wykorzystuje się w przemyśle maszynowym i elektrotechnice. Żywice impregnacyjne służą do produkcji klejów, kitów i spoiw.

Aminoplasty (żywice aminowe) to tworzywa termoutwardzalne, których właściwości 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 właściwościach 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 są tworzywami, które 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 właściwości mechaniczne, antykorozyjne i izolacyjne, są wykorzystywane w przemyśle elektromaszynowym, lotniczym i samochodowym. Żywice poliestrowe stosuje się często do wyrobu tłoczyw. Produkty otrzymywane metodą tłoczenia mają dobre właściwości 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 właściwości 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 właściwości izolacyjne, dlatego są stosowane w przemyśle elektrotechnicznym i elektronicznym. Produkty z żywic epoksydowych otrzymane metodą odlewania mają dobre właściwości izolacyjne i odporność chemiczną; są stosowane w przemyśle elektrotechnicznym i chemicznym.

Szkło jest to substancja otrzymywana 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 się kształtuje w stanie plastycznym, ma małą przewodność cieplną i elektryczną, jest 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 sklejanie 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 ilowa, 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**, stosowana 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 i izolatorów w przemyśle elektrotechnicznym;
- **klinkier**, stosowany do wyrobu cegły klinkierowej, płytek podłogowych, kostki nawierzchniowej oraz okładzin 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 to materiały twarde, odporne na ścieranie i żaroodporne, odznaczają się także odpornością na gwałtowne zmiany temperatury. Materiały te są stosowane na części robocze narzędzi skrawających, części samolotów i samochodów (łopatki turbin gazowych samolotów, tłoki silników) oraz elementy aparatury elektrotechnicznej. Najczęściej stosowany 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, teksturę, 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 właściwościach. Właściwości nowo powstałego materiału są inne – zwykle lepsze – niż składników wyjściowych. Z reguły jeden ze składników jest lepiszczem odpowiedzialnym za spójność materiału, jego twardość i odporność na ściskanie, a drugi – komponentem konstrukcyjnym, odpowiadającym za własności mechaniczne kompozytu.

Najczęściej stosowanym lepiszczem 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. Mają one zastosowanie np.:

- w sporcie (na kadłuby łodzi, maszty łodzi, kajaki, tyczki, narty, kije narciarskie i golfowe, rakietki tenisowe oraz wędkę);
- 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. Kompozyty to materiały z ogromną przyszłością.

1.7.2. Materiały niemetalowe w pojazdach samochodowych

Postęp w dziedzinie inżynierii materiałowej w ostatnich latach skutkuje coraz częstszym stosowaniem w pojazdach samochodowych materiałów innych niż metalowe. Geneza tego zjawiska tkwi w sporcie motorowym, który był i jest nadal swoistym poligonem doświadczalnym dla nowych technologii i materiałów pozwalających realizować dążenie do redukcji masy samochodu bez pogorszenia właściwości wytrzymałościowych w celu uzyskania lepszych wyników na zawodach sportowych. Materiały niemetalowe, wykorzystywane w ostatnich dekadach dwudziestego wieku głównie jako elementy wyposażenia wnętrza, izolacji instalacji elektrycznych i przewodów oraz jako uszczelnienia, są obecnie powszechnie stosowane w pojazdach samochodowych również w innych elementach, wykonywanych dotychczas z materiałów metalowych.

Tworzywa sztuczne

Z **termoplastów** wykonuje się:

- osłony, folie i izolacje nadbudówek (z polistyrenu, w tym pianki polistyrenowej);
- maty podłogowe, listwy ochronne drzwi, progów i krawędzi błotników, izolacje przewodów, węże, folie, okładziny tapicerskie kierownicy, dźwigni zmiany biegów, tablice rozdzielczej, foteli i ścian (z polichlorku winylu, w tym tzw. sztucznej skóry);
- korpusy, osłony, wirniki wentylatorów, zbiorniki (paliw, olejów, smarów i innych płynów eksploatacyjnych), podkładki, okładziny wnętrza (drzwi, ścian, tablice rozdzielczej), elementy tapicerskie oparcia i siedzeń (z polipropylenu i polietylenu miękkiego oraz twardego, w tym pianki);
- koła zębate, paski zębate, tuleje, pływaki gaźników i czujników poziomu paliwa, obudowy filtrów paliwa, przewody benzynowe, pancerze i osłony cięgien, wirniki wentylatorów, dolne i górne zbiorniki chłodnic, linki holownicze i podkłady lakiernicze (z poliamidów, w tym włókien poliamidowych);

- osłony świateł, soczewki, izolacje i podkłady lakiernicze (z polimetakrylanu metylu, tj. szkła akrylowego).

Z duroplastów, w tym chemo- i termoutwardzalnych, wykonuje się:

- elementy lub całość poszycia nadwozia, elementy jego wyposażenia (zderzaki, spoilery, klamki, kołpaki kół, obudowy lusterek), zbiorniki wysokociśnieniowe, obudowy filtrów powietrza oraz tłoczywa do wykonania innych elementów pojazdów (z żywic poliestrowych);
- spoiwo metali w elementach pojazdów i spoiwo okładzin hamulcowych (z żywic epoksydowych jako żywic klejowych);
- kolektory silnika (z zytelu – odmiany nylonu), elementy nadwozia (z żywicy melaminowej), elementy pojazdów wykonane ze zbrojonych włóknami tworzyw sztucznych (z żywicy lanej – fenolowej i silikonowej, stosowanej także jako składnik impregnacyny materiałów izolacyjnych), podkłady lakiernicze (z żywicy fenolowej i silikonowej), środki do pielęgnacji nadwozia (m. in. z żywicy silikonowej), tablice przyrządów, wtyczki, obudowy elektrycznych podzespołów, kształtki i części izolacyjne (tłoczywa), tablice sterownicze, obudowy, koła zębate (z materiałów laminowanych).

Szkło

Elementy pojazdów samochodowych wykonuje się głównie ze szkła bezpiecznego – hartowanego lub wielowarstwowego (laminowanego). Są to:

- szyby przednie (obligatoryjnie ze szkła wielowarstwowego),
- pozostałe szyby (ze szkła jednowarstwowego hartowanego),
- elementy żarówek,
- lusterka,
- osłony tylnych lamp pozycyjnych i kierunkowskazów (ze szkła akrylowego),
- elementy tablicy przyrządów (ze szkła akrylowego).

Tworzywa ceramiczne

Elementami wykonanymi z tworzyw ceramicznych (ceramiki i cermetali) są w pojazdach samochodowych:

- tarcze hamulcowe,
- wałki rozrządu,
- gniazda wtykowe,
- wkładki przełączników,
- wkładki ceramiczne sondy lambda,
- zawory dolotowe i wylotowe,
- łożyska ceramiczne,
- korbowody,
- turbosprężarki,
- części podzespołów elektronicznych.

Materiały uszczelniające i gumy

W pojazdach samochodowych materiały uszczelniające (kaczuk naturalny i syntetyczny oraz guma) są stosowane na:

- opony;
- dętki;
- przewody układu ogrzewania;
- elementy sprężyste amortyzatorów i wahaczy;
- elementy absorbujące energię drgań (łączniki płytkowe i tulejowe);
- elementy zawieszonych silników, skrzynek biegów, nadwozi, kabin kierowcy i wałów napędowych;
- paski klinowe i rozrządu;
- pokrycia izolacyjne przewodów elektrycznych;
- uszczelki nadwozia (szyb, drzwi oraz pokryw bagażnika i komory silnika);
- uszczelki połączeń części mechanicznych i hydraulicznych;
- masy uszczelniające wewnętrznych złączy nadwozia;
- masy wygłuszające elementów blaszanych;
- wielowarstwowe płyty dźwiękochłonne (izolacja podłóg, przegród czołowych i tylnych oraz osłon silników).

Materiały kompozytowe

Elementy pojazdów samochodowych wykonane z materiałów kompozytowych (węglowych, szklanych, kevlarowych) to:

- elementy konstrukcyjne nadwozi i podwozi;
- pokrywy komory silnika, bagażnika;
- gniazda osadzania lamp;
- obudowy skrzynek biegów;
- obudowy chłodnic;
- okładziny sprzęgieł;
- okładziny hamulców;
- zderzaki;
- nadkola;
- zbiorniki paliwa;
- tablice rozdzielcze;
- paski klinowe;
- obudowy części wyciszających;
- maty uszczelniające i wzmacniające wewnątrz nadwozia;
- elementy konstrukcyjne opon (włókna kevlarowe);
- uszczelki głowic.

1.8. Pytania kontrolne

1. Jakie znasz własności mechaniczne metali i stopów metali?
2. Co to jest twardość i jakie znasz metody pomiaru twardości?
3. Jakie znasz stopy żelaza?
4. Co to jest stal i jak się ją otrzymuje?
5. Jakie znasz kryteria podziału stali?