

## Ważniejsze właściwości użytkowe materiałów

### Zasady doboru materiałów

Materiały techniczne są wytwarzane w wielu gatunkach, których właściwości i składy są znormalizowane. Dobór odpowiednich materiałów na elementy urządzeń sprawia niekiedy trudności nawet konstruktorom o pewnym doświadczeniu zawodowym. W rozwiązywaniu tych trudności są pomocne, oprócz ogólnej znajomości właściwości materiałów, informacje szczegółowe zawarte w normach, katalogach, poradnikach i podręcznikach. Zakres niniejszego podręcznika nie pozwala na wyczerpujące omówienie tych zagadnień, a jedynie na zasygnalizowanie ogólnych zasad doboru materiałów i przedstawienie podstawowych gatunków wykorzystywanych przez elektryka w praktyce, podczas wykonywania elementów mechanicznych, przewodzących, magnetycznych i izolacyjnych.

### Materiały metalowe

Jako materiały konstrukcyjne najczęściej są stosowane stopy metali: żelaznych, kolorowych – stopy miedzi oraz lekkich – stopy aluminium. Są one używane również jako materiały przewodzące oraz magnetyczne (stopy żelaza). Takie metale, jak: nikiel, cynk, cyna, ołów, metale szlachetne, jako materiały kon-

strukcyjne mają ograniczone zastosowanie. O przydatności materiału do określonego zastosowania decyduje wiele czynników natury mechanicznej, elektrycznej, chemicznej, biologicznej, estetycznej, technologicznej. Przy doborze materiału na dany element jest przydatna ogólna znajomość właściwości podstawowych rodzajów materiałów zawartych w tabl. 5.2. Indywidualne cechy poszczególnych gatunków mogą różnić się znacznie.

Tablica 5.2

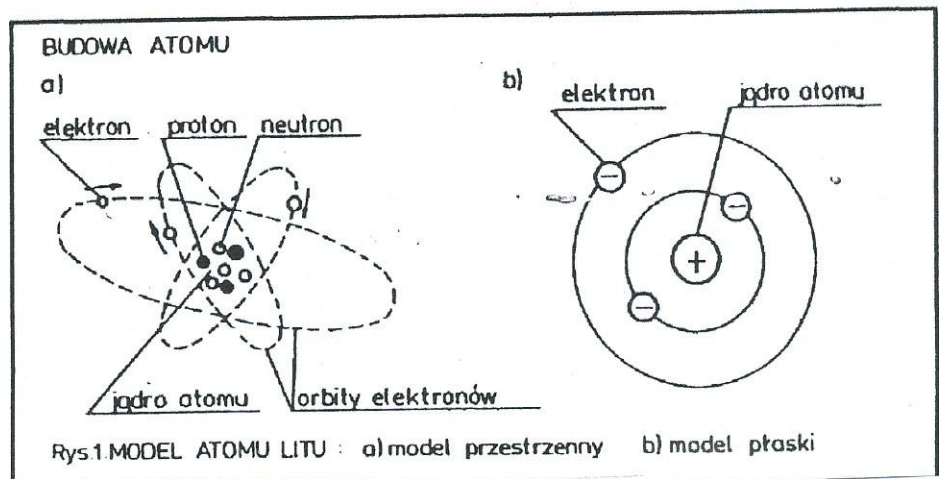
Właściwości materiałów

Stopy	Żelaza	Miedzi	Aluminium
Gęstość g/cm <sup>3</sup>	8	9	3
Wytrzymałość (R <sub>m</sub> ) MPa	300-1600	220-740	120-350
Temperatura topnienia °C	1200-1600	800-1000	550-660
Odporność na korozję	zła	dobra	średnia
Przewodność elektryczna – S/m	7 · 10 <sup>6</sup>	58 · 10 <sup>6</sup>	36 · 10 <sup>6</sup>
Cena względna (jedn. masy)	1	5	5

Znormalizowane gatunki materiałów są oznaczane symbolami składającymi się z liter i cyfr. Znaczenie najczęściej spotykanych oznaczeń literowych podano w tabl. 5.3. Cyfry zazwyczaj określają zawartość poszczególnych składników, rzadziej inne cechy. Znajomość tych symboli oraz wpływu poszczególnych składników na właściwości stopów pozwala na dokonanie przybliżonej oceny przydatności danego materiału do określonego zastosowania

## Właściwości elektryczne

### BUDOWA I WŁASNOŚCI ELEKTRYCZNE MATERII

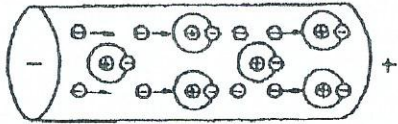


# ZJAWISKO PRĄDU ELEKTRYCZNEGO

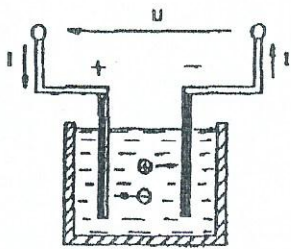
## PRĄD ELEKTRYCZNY

Niektóre elektrony walencyjne tracą związek z jądrem stając się elektronami swobodnymi. Poruszają się one w sposób bezładny. Ruch elektronów swobodnych może być uporządkowany pod wpływem pola elektrycznego.

Prądem elektrycznym nazywamy uporządkowany ruch ładunków elektrycznych przez badany przekrój poprzeczny ciała przewodzącego pod działaniem pola elektrycznego.



Rys.1 Ruch elektronów swobodnych w przewodniku



Rys.2 Przepływ prądu elektrycznego w elektrolicie

### RODZAJE PRZEWODNIKÓW ELEKTRYCZNYCH

Przewodniki pierwszego rodzaju

Metale, stopy metali, węgiel

Prąd elektryczny polega na ruchu elektronów swobodnych

Przewodniki drugiego rodzaju

Roztwory kwasów, zasad, soli

Prąd elektryczny polega na ruchu jonów dodatnich (kationów) oraz jonów ujemnych (anionów)

Pod względem właściwości elektrycznych materiały dzieli się na **przewodniki**, **półprzewodniki** i **dielektryki** (izolatory). Za przewodniki przyjęto uważać materiały, które w temperaturze 20°C mają rezystywność  $\rho \leq 10^{-6} \Omega \cdot m$  (konduktywność  $\gamma \geq 10^6 S/m$ ), za półprzewodniki materiały, których rezystywność  $10^{-4} \leq \rho \leq 10^6 \Omega \cdot m$  (konduktywność  $10^{-6} \leq \gamma \leq 10^4 S/m$ ), a za dielektryki materiały, których rezystywność  $\rho \geq 10^{10} \Omega \cdot m$  (konduktywność  $\gamma \leq 10^{-10} S/m$ ). Wartości liczbowe tych parametrów dla niektórych materiałów obrazuje wykres na rys. 5.23.

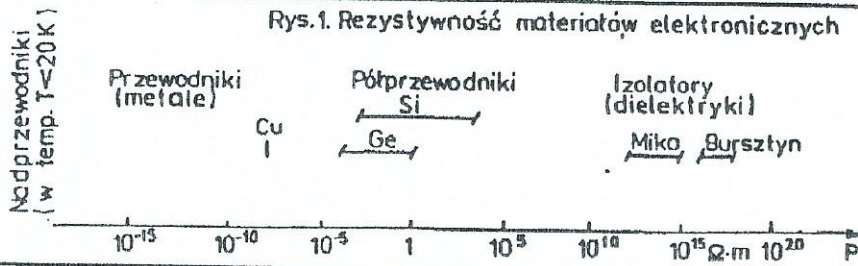
Warunkiem przewodzenia prądu jest istnienie swobodnych ładunków elektrycznych, jonów lub elektronów. Jony mogą się swobodnie poruszać jedynie w cieczach, roztworach wodnych (elektrolitach) lub stopionych solach. W ciałach stałych prąd powstaje tylko wskutek ruchu elektronów.

Niektóre metale w temperaturze bliskiej zera bezwzględnej wykazują spadek rezystywności do zera. Zjawisko to zwane **nadprzewodnictwem** (odkryte w 1911 r.) stanowi obecnie przedmiot intensywnej badań, pomyslnie rezultaty umożliwiłyby istotną oszczędność energii. Poszukuje się materiałów wykazujących właściwości nadprzewodnictwa w łatwo osiągalnej technicznie temperaturze – od kilkudziesięciu do 100 K.

Właściwości półprzewodzące wykazują niektóre pierwiastki oraz związki chemiczne. Należą do nich: krzem, german, selen, tellur oraz tlenki i siarczki metali ( $CuO_2$ ,  $PbS$ ,  $ZnS$ ,  $CdS$ ), jak również związki selenu, telluru, fosforu, arsenu z metalami. Największe zastosowanie jako półprzewodniki mają pierwiastki IV grupy – krzem i german. W sieciach krystalicznych tych pierwiastków każdy atom sąsiaduje z czterema innymi znajdującymi się w przestrzeni w równej odległości.

## PRĄD ELEKTRYCZNY W PÓŁPRZEWODNIKACH

Rys.1. Rezystywność materiałów elektronicznych



rys 5.23

## Materiały przewodzące

Cechą charakterystyczną materiałów przewodzących jest ich duża **konduktywność** (przewodność elektryczna właściwa  $\gamma$ ), określająca zdolność do przenoszenia ładunków elektrycznych. Równie często porównujemy materiały przewodzące korzystając z innej wielkości – rezystywności (oporu właściwego  $\rho$ ), będącej odwrotnością konduktywności

$$\rho = \frac{1}{\gamma} \quad (3.1)$$

Jednostką rezystywności w układzie SI jest omometr ( $1 \Omega \cdot m$ ).

Im mniejsza jest rezystywność materiału, tym lepszym jest on przewodnikiem elektrycznym.

Spośród metali jako materiały przewodzące są stosowane tylko te o najmniejszej rezystywności (tabl. 3.1).

Tablica 3.1

Rezystywność, konduktywność i współczynnik temperaturowy rezystancji niektórych przewodników

( $\rho_{20}$ ,  $\gamma_{20}$ ,  $\alpha_{20}$  – oznacza, że wartości wyznaczono przy temperaturze  $20^\circ C$ )

Nazwa przewodnika	Rezystywność $\rho_{20}$		Konduktywność $\gamma_{20}$	Współczynnik temperaturowy rezystancji $\alpha_{20}$	Zakres zastosowania
	$\Omega m$	$\frac{\Omega mm^2}{m}$	$\frac{Sm}{mm^2}$	$\frac{1}{K}$	
Srebro	$1,62 \cdot 10^{-8}$	0,0162	61,8	0,004	styki bezpieczniki
Miedź	$1,75 \cdot 10^{-8}$	0,0175	57	0,00393	przewody kable
Aluminium	$2,78 \cdot 10^{-8}$	0,0278	34,8	0,004	przewody kable
Węgiel elektro-techniczny	$(0,1 \div 1) \cdot 10^{-4}$	10 ÷ 100	0,1 ÷ 0,01	-0,0003	szczotki elektrody

W maszynach elektrycznych z materiałów przewodzących wykonuje się **uzwojenia z drutu lub prętów**. Wielkością charakterystyczną drutów nawojowych jest ich średnica podawana w mm (w odróżnieniu od przewodów instalacyjnych, dla których podaje się pole przekroju w  $mm^2$ ). Najczęściej stosuje się **miedź i aluminium**.

**Miedź** charakteryzuje się dużą konduktywnością, bardzo dobrymi właściwościami plastycznymi, dobrą odpornością na korozję atmosferyczną oraz lepszymi niż aluminium właściwościami wytrzymałościowymi. Z miedzi wykonuje się żyły przewodów nawojowych, przy czym musi to być miedź w gatunku co najmniej M1E wg PN-77/M-82120. Druty o średnicach do 0,14 mm wykonuje się w stanie twardym, a druty o średnicach większych niż 0,14 mm – w stanie miękkim (wyżarzone).

**Aluminium** jest wykorzystywane jako materiał przewodzący wszędzie tam, gdzie chodzi o zmniejszenie masy przewodów. Dzięki mniejszej masie właściwej ( $2,7 \text{ g/cm}^3$  dla aluminium,  $8,9 \text{ g/cm}^3$  dla miedzi) masa przewodów aluminiowych o takiej samej rezystancji jest około dwa razy mniejsza niż odpowiadających im przewodów miedzianych. Jako materiał przewodowy jest stosowane aluminium

Do budowy maszyn elektrycznych jako materiały przewodzące o zwiększonej wytrzymałości mechanicznej i przy dużej konduktywności są używane **stopy miedzi**. Odznaczają się one wieloma korzystnymi właściwościami. Dobierając odpowiednio składniki stopowe oraz rodzaj obróbki, można uzyskać materiały charakteryzujące się:

- względnie dużą konduktywnością elektryczną i przewodnością cieplną,
- dużą wytrzymałością i sprężystością,
- odpornością na ścieranie,
- odpornością na korozję atmosferyczną,
- dobrymi właściwościami technologicznymi, m.in. łatwością kształtowania różnymi metodami.

Stopy miedzi, w których jedynym lub głównym składnikiem stopowym jest cynk, są nazywane **mosiądzami**. Wszystkie inne stopy miedzi – z takimi pierwiastkami, jak: cyna, krzem, ołów, czy aluminium – nazywa się **brązami**. Rozróżnia się brązy cynowe, krzemowe, ołowiowe, aluminiowe (**brązale**) itp.

W celu osiągnięcia najbardziej korzystnych właściwości obok dwuskładnikowych stopów miedzi w dużym stopniu wykorzystuje się **stopy wieloskładnikowe**. Zaliczanie ich do mosiądzów lub brązów jest sprawą umowną.

**Stopy miedzi z dodatkiem kadmu**, charakteryzujące się dużą wytrzymałością mechaniczną i wytrzymałością na ścieranie, wykorzystuje się do budowy komutatorów.

Mosiądz i brąz są wykorzystywane do wykonywania pierścieni ślizgowych oraz w formie prętów ciągnionych o przekroju kołowym lub prostokątnym do wykonywania uzwojeń wirników klatkowych maszyn indukcyjnych o mocach 70÷100 kW.

**Węgiel** w stanie wolnym występuje w dwóch odmianach krystalicznych – jako **diamént**, który jest izolatorem, lub jako **grafit** o wyraźnych właściwościach przewodzących. Można tu także wymienić **sadzę**, tzw. **węgiel bezpostaciowy**. W elektrotechnice grafit jest ważnym składnikiem materiałów rezystancyjnych oraz materiałem na styki ślizgowe, np. szczotki w maszynach elektrycznych, służące do połączeń elementów wirujących z elementami nieruchomymi maszyny.

- **Materiały metalowo-grafitowe**, zawierające miedź lub miedź i ołów oraz od 0 do 15% grafitu. Dzięki metalom kompozyt ma dobrą konduktywność i przewodność cieplną, a dzięki grafitowi, którego warstwowa struktura o słabo związanych warstwach nadaje mu właściwości smarne, zmniejsza się współczynnik tarcia i zużycie ściernie kompozytu, co zapobiega przywieraniu styków. Szczotki takie są stosowane w niskonapięciowych maszynach elektrycznych (np. rozrusznikach samochodowych).
- **Materiały grafitowo-metalowe** mogą zawierać węgiel retortowy, sadzę, grafit, węgiel grafitowy oraz takie metale, jak: miedź, srebro, ind, cynk, cyna. Składniki te po zmieleniu i zmieszaniu ze specjalnymi lepiszczami prasuje się i spieka. Z materiałów tych następnie wykonuje się szczotki. Najczęściej stosowaną metodą obróbki jest wyciskanie, ponieważ kierunkowy charakter struktury (pasmowość ułożenia grafitu), jaka przy tym powstaje, jest korzystny dla właściwości styków.
- **Materiały węglowo-grafitowe** są wytwarzane z grafitu, sadzy i koks w różnych proporcjach. Proszki zmieszane z lepiszczem są prasowane i spiekane w temperaturze 1000°C. Z materiałów tych wykonuje się szczotki do prądnic prądu stałego małej mocy oraz silników prądu stałego małej i średniej mocy.
- **Materiały grafitowe** wytwarza się z proszku grafitu lub z mieszanin węglowo-grafitowych i poddaje dodatkowo grafityzacji w podwyższonej temperaturze. Z materiałów tych wykonuje się szczotki maszyn, w których występują duże prędkości przesuwu szczotek względem powierzchni współpracujących pierścieni metalowych.

Straty powstające w uzwojeniach są wprost proporcjonalne do rezystancji uzwojenia  $\Delta P_{Cu} = RI^2$  (p. 2.4), dlatego też – aby je ograniczyć – stale poszukuje się materiałów przewodzących o jak najmniejszej rezystywności.

## Właściwości magnetyczne

Każdemu przepływowi prądu – ruchowi ładunków – towarzyszy powstawanie pola magnetycznego. Ruch elektronów po orbitach i wokół własnych osi wywołuje w atomach powstawanie momentów magnetycznych orbitalnego i spinowego, które dodając się wektorowo, tworzą wypadkowy moment magnetyczny atomu. Momenty magnetyczne atomów w cząsteczkach również się sumują, co powoduje powstawanie wypadkowych momentów magnetycznych cząsteczek.

Materiały magnetycznie twarde mają szeroką pętlę histerezy. Przy zaniku pola zewnętrznego znaczna część domen pozostaje w nich w stanie uporządkowanym.

Materiały magnetycznie miękkie stosuje się na obwody magnetyczne pracujące w zmiennym polu magnetycznym, a magnetycznie twarde – na magnesy trwałe. Materiały pracujące w szybkozmiennych polach powinny mieć dużą rezystywność, co zmniejsza straty na prądy wirowe.

## Właściwości mechaniczne

Do właściwości mechanicznych należą właściwości wytrzymałościowe (omówione w rozdz. 1) oraz właściwości technologiczne, które odgrywają dużą rolę podczas doboru materiałów na elementy konstrukcyjne, ponieważ łatwość wykonania elementów tanimi metodami ma duże znaczenie ekonomiczne.

Do właściwości technologicznych zalicza się:

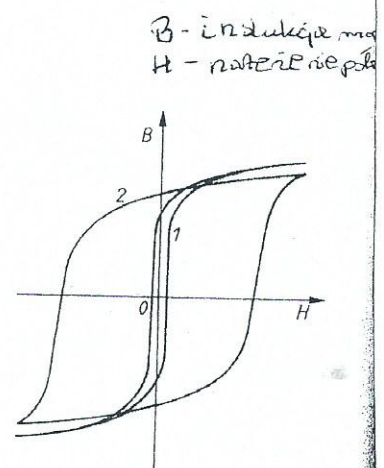
- właściwości odlewnicze:
  - lejność, czyli płynność materiału w temperaturze zalewania formy,

## Materiały magnetyczne

Obwody magnetyczne maszyn elektrycznych wykonuje się z materiałów zapewniających uzyskanie możliwie małej reluktancji na drodze strumienia magnetycznego. Materiałami spełniającymi te wymagania są ferromagnetyki (patrz [2]). Gdy mówi się o materiałach magnetycznych w technice, należy przez to rozumieć ferromagnetyki.

Materiały magnetyczne dzieli się na dwie zasadnicze grupy (rys. 3.1 i 3.2):

- **materiały magnetycznie miękkie** łatwo ulegają namagnesowaniu i wykazują małe straty energii przy przemagnesowywaniu. Charakteryzują się dużą przenikalnością magnetyczną, smukłą pętlą histerezy, małym natężeniem koercji  $H_c$  ( $< 150$  A/m) i małą indukcją remanencji  $B_r$ .
- **materiały magnetycznie twarde** utrzymują po namagnesowaniu i usunięciu pola magnetycznego znaczną część indukcji nasycenia wytworzonej kosztem zużycia dużej energii.



Rys. 3.2. Przykładowe krzywe magnesowania ferromagnetyka: 1 – miękkiego i 2 – twardego

od której zależą wypełnienie formy oraz struktura odlewu,

- skurcz odlewniczy wpływający na powstawanie w odlewie naprężeń,
- jednorodność składu, od której zależą właściwości wytrzymałościowe odlewów;

- skrawalność (jako podatność materiału na obróbkę skrawaniem) wpływającą na:

- trwałość ostrza skrawającego,
- opór skrawania,
- jakość powierzchni,
- postać wióra;

- właściwości plastyczne (podatność materiału na odkształcenia plastyczne bez pęknięć), określane na podstawie:

- próby zginania pręta (okrągłego lub prostokątnego, z karbem lub bez) wokół okrągłego trzpienia o określonej średnicy. Miarą podatności na zginanie jest kąt, o jaki można zgiąć próbkę bez pęknięć;

- próby nawijania drutu (podobnego jak w próbie zginania) na trzpień o określonej średnicy. Próba ta, oprócz określenia właściwości plastycznych umożliwia wykrywanie niejednorodności materiału,

- próby kucia polegającej na spęczaniu lub rozklepywaniu materiału. Miarą plastyczności jest tu stopień odkształcenia materiału uzyskany do chwili pojawienia się pęknięć,
- próby tłoczenia polegającej na wtlaczaniu kuliście zakończonego trzpienia w blachę opartą w odpowiedniej matrycy. Miarą tłoczności jest zagłębienie trzpienia do chwili pojawienia się pęknięć;

## Materiały stykowe

Dowolne połączenie w torze prądowym nazywa się *zestykiem*. Część zestyku należąca do jednego toru nazywa się *stykiem*.

Ze względu na sposób pracy rozróżnia się następujące zestyki:

- nierozłączne nieruchome, w których miejsca styczności obu styków nie zmieniają wzajemnego położenia w czasie pracy; zapewnione jest to np. przez skręcenie śrubami, zespawanie lub sprasowanie;
- nierozłączne ruchome (ślizgowe), w których miejsca styczności obu styków mogą zmieniać wzajemne położenie bez ograniczenia wartości przewodzonego prądu;
- rozłączne bezłukowe, które przewodzą prąd w stanie zamknięcia oraz mogą być rozłączane w czasie, kiedy prąd nie płynie, a więc kiedy nie występuje łuk elektryczny;
- rozłączne łukowe, które przewodzą prąd w stanie zamknięcia oraz mogą być rozłączane w czasie przepływu prądu, a więc kiedy występuje łuk elektryczny.

Warunki mechaniczne pracy zestyków rozłącznych powinny zapewniać poprawny stan styków przy pracy urządzenia w ciągu co najmniej 10÷25 lat. Okres trwałości urządzeń elektronicznych przyjmuje się 12÷15 lat, przy czasie efektywnej pracy urządzenia do 10 000 h.

Tablica 5.8. Charakterystyka niektórych materiałów stykowych, wg [5.2; 5.3; 5.18; 5.22 i 5.33]

Materiał	Właściwości	Przykłady zastosowania
Miedź	metal tani, skłonny do tworzenia warstwy tlenków i siarczków; wymagany silny docisk	łączniki wysokiego napięcia; wyłączniki olejowe
Srebro	metal szlachetny; wrażliwy na działanie siarki i siarczków; dość podatny na wędrowkę materiału; łatwy do spawania; niska temperatura topnienia; dość łatwy do obróbki	posrebrzanie styków do obwodów wielkiej częstotliwości; nie nadaje się na styki podlegające ścieraniu; teletechniczne styki dociskowe i wtykowe; nie nadaje się przy dużych prądach; styki przekaźnikowe
Złoto	chemicznie odporne, przede wszystkim na utlenianie i tworzenie siarczków; mała rezystancja przejścia; skłonne do upalania, zespawania styków i wędrowki materiału; niewielka twardość; duża ścieralność; duża stabilność rezystancji przejścia	pokrycia galwaniczne; pozłacanie wtyczek, wybieraków, styków nitowych w przekaźnikach teletechnicznych
Platyna	odporna na zużycie mechaniczne i elektryczne; mała przewodność elektryczna; podatna na wędrowkę materiału; odporna na upalenie i korozję; nie tworzy siarczków; bardzo droga	styki o dużej niezawodności działania; styki przekaźników teletechnicznych
Pallad	bardzo twardy i odporny na upalenie; podatny na formowanie (platerowanie); tańszy niż platyna	styki teletechniczne; przekaźniki, styki do migaczy; pokrycia galwaniczne
Nikiel	odporny na tworzenie się warstw nalotowych tlenkowych i siarczkowych	styki urządzeń niskonapięciowych i wysokonapięciowych
Wolfram	bardzo wysoka temperatura topnienia; największa odporność na upalenie styków i spawanie; duża trwałość; duże utlenianie przy łączeniach, ale dopiero po przekroczeniu temperatury 350°C; wymagana duża siła docisku	styki zapłonowe w silnikach spalinyowych; styki impulsowe w wybierakach; styki opalne w wyłącznikach; styczniki
Molibden	skłonny do utleniania bardziej niż wolfram; skłonny do upalania mniej niż wolfram	wyłączniki wysokiego napięcia
Srebro-miedź (stop)	materiał twardszy niż srebro; mniej skłonny do upalania niż srebro, mniej łatwy do spawania; rezystancja przejścia większa niż srebra	łączniki krzywkowe; pierścienie ślizgowe; styki przekaźników przy średnich obciążeniach; stosowane przy większych narażeniach mechanicznych niż srebro w stycznikach
Srebro-kadm (spiek)	mniej skłonny do szepiania niż srebro; sprzyja gaszeniu łuku; odporny na wędrowkę materiału; wrażliwy na działanie siarki i związków siarki	łączniki krzywkowe; styczniki silnie obciążone prądowo; przekaźniki prądu stałego
Srebro-pallad (spiek)	materiał twardy, odporny na upalenie; powyżej zawartości 30% Pd bardzo odporny na działanie siarki; mniej skłonny do wędrowki materiału niż srebro; tańszy niż Pt i Pd	przekaźniki, wybieraki, styki bimetaliczne, potencjometry precyzyjne; aparatura do pracy w wilgoci i atmosferach

## Ceramika

Wyroby ceramiczne są wytwarzane z drobnoziarnistych surowców mineralnych, przede wszystkim z glin, które zwilżone wodą wykazują właściwości plastyczne. Surowcami na wyroby ceramiczne są: tlenki, węgliki, borki, azotki, krzemki, siarczki itp. różnych pierwiastków, np. glinu, cyrkonu, żelaza, niklu, chromu, krzemu. Z surowców w postaci proszków kształtuje się na mokro wyroby, które następnie suszy się i spieka. W czasie spiekania składniki mogą reagować chemicznie, mogą się również stapiać.

Struktura materiałów ceramicznych może być spieczona, charakteryzująca się nasiąkliwością wody do 5%, lub porowata do 25%. Powierzchnia wyrobów ceramicznych może być szkliwiona, tzn. pokryta warstwą stopionego materiału. Szkliwienie utrudnia osadzanie się na powierzchni zanieczyszczeń, przez co zwiększa odporność na oddziaływanie środowiska.

Wyroby ceramiczne mają różnorodne zastosowanie. Rozróżnia się ceramikę:

- budowlaną (cegła, dachówka, kafle, płytki ścienne i podłogowe, kamionka kanalizacyjna, porcelana sanitarna);
- materiałów ogniotrwałych (szamotowe, krzemionkowe, karborundowe, forsterytowe, węglowe i inne);
- materiałów odpornych chemicznie (kamionka kwasoodporna, aparatura laboratoryjna);
- przedmiotów użytku domowego i artystycznych;
- elektrotechniczną.

Do ważniejszych materiałów ceramicznych, elektrotechnicznych należą:

- porcelana radiotechniczna – na izolatory niskiego napięcia;
- wyroby kamionkowe – na izolatory wysokiego napięcia;
- ceramika steatytowa z talku naturalnego i glinki – w obwodach wielkiej i małej częstotliwości na izolatory wysokiego napięcia oraz w urządzeniach próżniowych. Zachowuje dokładne wymiary i jest odporna na zmiany temperatury;
- ceramika forsterytowa z magnezytu  $MgCO_3$  i kwarcytu  $SiO_2$  – na elementy lamp elektronowych. Jest mniej odporna na nagłe zmiany temperatury niż steatytowa z powodu większej wartości współczynnika rozszerzalności cieplnej;
- ceramika glinokrzemianowa z glin ogniotrwałych zawierających  $SiO_2$  i  $Al_2O_3$  (szamotowych) oraz alundowa złożona głównie z korundu  $Al_2O_3$  – na kształtki nośne mocno obciążonych rezystorów i grzejników. Charakteryzuje się dużą odpornością na wysoką temperaturę;

## Elektroizolacyjne materiały

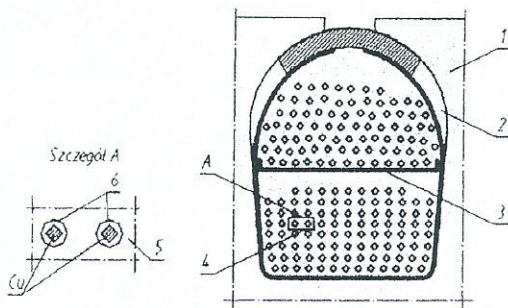
**Elektroizolacyjne materiały to tworzywa nie przewodzące prądu elektrycznego w normalnych warunkach, służące do izolowania przewodów elektrycznych oraz elementów urządzeń i aparatów elektrycznych. Ogólnie dzielą się na:**

- mineralne (np. azbest, mika, steatyt)
- ceramiczne (np. szkło, porcelana, kamionka)
- tworzywa sztuczne (np. elastomery)
- materiały włókniste (np. materiały lniane, bawełniane, papier, drewno itp.)
- ciekłe (głównie oleje)
- gazowe (przede wszystkim powietrze)

Poza tą klasyfikacją znajdują się lakiery powłokowe, stosowane do izolowania przewodów nawojowych, blach na rdzenie magnetyczne oraz korpusów urządzeń elektrycznych. O możliwościach zastosowań decydują:

- opór właściwy (im mniejszy, tym mniejszy prąd upływowy)
- wytrzymałość elektryczna (inaczej odporność na przebicie - im wyższa, tym cieńsza może być warstwa izolacyjna)
- współczynnik strat dielektrycznych (im mniejszy, tym mniej się nagrzewa, a tym samym wolniej zużywa się izolacja w warunkach szybkozmiennych pól elektrycznych)

Istotne są także właściwości mechaniczne, chemiczne i cieplne materiałów elektroizolacyjnych. Tworzywa sztuczne oparte o wielkocząsteczkowe związki organiczne się obecnie podstawowymi materiałami elektroizolacyjnymi i wypierają materiały elektroizolacyjne wytwarzane z tworzyw naturalnych.



Rys. 3.3. Przykład izolacji głównej i zwojowej  
 1 — pakiet wirnika (Fe), 2 — izolacja główna, 3 — izolacja zwojowa (przekładka międzywarstwowa),  
 4 — izolacja między zwojami tej samej cewki, 5 — lakier impregacyjny, 6 — emalia

Tablica 3.2

Klasy materiałów izolacyjnych

Symbol klasy izolacji	Temperatura maksymalna trwale dopuszczalna [°C]
z	60
X	75
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	ponad 180

- gazy
  - gazy szlachetne
  - nieszlachetne składniki powietrza
  - gazy nie występujące w powietrzu (np. sześciofluorek siarki)
- dielektryki ciekłe
  - substancje używane jako ciecze lub pary (np. czterochlorek węgla, ciecze fluoororganiczne)
  - ciecze izolacyjne (np. oleje mineralne i syntetyczne - olej transformatorowy, produkty chlorowania benzenu i bifenyłu - polichlorowane bifenyły, oleje silikonowe)
  - rozpuszczalniki dielektryczne
- materiały elektroizolacyjne stałe organiczne
  - łatwopaliwe (np. parafina, cerezyzna, wosk karnauba, kalafonia, szelak, asfalty)
  - dielektryki wielkocząsteczkowe nieobrabialne cieplnie (np. celuloza, papier, drewno, octan celulozy)
  - elastomery (np. kauczuk naturalny, gumy naturalne, ebonit, elastomery butadienowo-styrenowe)
  - termoplasty (np. polietylen, polipropylen, polistyren, poliwęglany i inne poliestry, polichlorek winylu, teflon (policzterofluoroetylen) itp)
  - duroplasty (np. bakelit i inne żywice fenolowo-formaldehydowe, żywice epoksydowe, utwardzane żywice silikonowe)
- materiały elektroizolacyjne stałe nieorganiczne
  - nietopliwe (np. mika, azbest)
  - stapiane (liczne szkła izolacyjne)
  - wypalane (np. porcelana, kamionka, tlenki ogniotrwałe, liczne ceramiki specjalne)
- dielektryki stałe o polaryzowalności specjalnej
  - ferroelektryki
  - elektrety
  - piezoelektryki
  - piroelektryki