

Część II

Lutowanie twarde

Ten sposób łączenia metali polega na stosowaniu lutów o temperaturze topnienia powyżej 450°C. Otrzymane połączenia odznaczają się dużą wytrzymałością mechaniczną (w granicach 20–70 KG/mm²) oraz odpornością na pracę w podwyższonych temperaturach.

Trzeba pamiętać, że lutowanie lutami twardymi jest znacznie trudniejsze i wymaga kosztowniejszego oprzyrządowania, niż lutowanie lutami miękkimi. Również cena lutów twardych, w większości przypadków (luty na osnowie srebra, złota, palladu, niklu itd.) jest znacznie wyższa od ceny lutów miękkich. Aby wykonać lutowanie twarde potrzebne są:

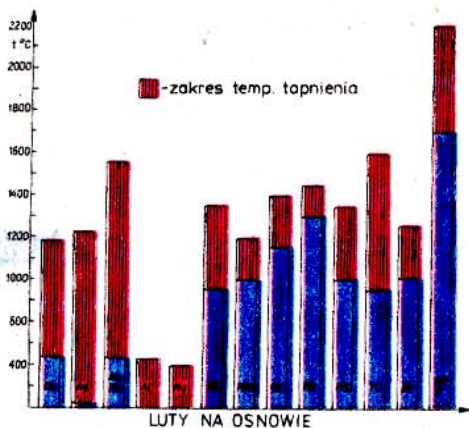
- lut twarde,
- topnik,
- źródło ciepła.

Luty twarde

Ze względu na skład chemiczny luty twarde można podzielić na następujące grupy: miedź i luty na osnowie miedzi, srebro i luty na osnowie srebra, złota, platyny, aluminium, magnezu, niklu, manganu, kobaltu, żelaza, palladu, tytanu, wanadu, cyrkonu i hafnu. Zakres temperatur topnienia lutów twardych poszczególnych grup podajemy na rys. 1.

Ponieważ w amatorskich warunkach praktyczne znaczenie mają tylko luty miedziane i srebrne, ograniczymy się więc do nieco bliższego omówienia tylko tych dwu grup.

Stosowanie czystej miedzi jako lutu twardego jest możliwe, ale bywa rzadko realizowane, bowiem konieczne jest utrzymanie podczas lutowania nie tylko wysokiej temperatury, ale i atmosfery gazowej silnie redukującej. Gdy warunek ten nie zostanie dotrzymany, miedź bardzo łatwo ulega utlenieniu, co uniemożliwia lutowanie. Ponadto czysta miedź nie najlepiej zwilża inne metale. Dlatego w praktyce do lutowania stosowane są stopy miedzi z cynkiem. Luty



Rys.1 Zakresy temperatur topnienia poszczególnych grup lutów twardych

miedź-cynk, czyli mosiężne, topnieją w przedziale temperatur 800–1020°C, przy czym zwiększanie zawartości cynku obniża temperaturę topnienia lutu.

Skład chemiczny lutów mosiężnych, oznaczanych symbolem LM oraz ich temperatura topnienia i zastosowanie, podano w tabeli 1.

Następnym, powszechnie używanym, lutem twardym jest stop srebra, głównie z miedzią. W zależności od składu chemicznego, temperatura topnienia takich lutów zawiera się w granicach 620–840°C. Skład chemiczny najbardziej typowych lutów srebrnych, oznaczanych symbolem LS, podano w tabeli 2, a zakres ich zastosowań i temperaturę topnienia w tabeli 3.

Topniki

Zadaniem topników stosowanych do lutowania twardego jest, tak jak i topników do lutowania miękkiego, usuwanie z powierzchni metali tlenków i obniżanie napięcia powierzchniowego stopionego lutu. Gdy te dwa warunki są spełnione, lut spaja łączone elementy metalowe.

Przy lutowaniu miękkim, a więc prowadzonym w temperaturze do 400°C, topniki z reguły rozтворяły tlenki metali. Natomiast przy lutowaniu twardym, topniki reagując z tlenkami, wiążą je w stopy.

Aby jednak takie stopy powstawały, musimy pamiętać o różnym charakterze chemicznym tlenków powstających na powierzchniach lutowanych metali. I tak mamy tlenki

o charakterze zasadowym, jak tlenki miedzi, cynku, żelaza i tlenki o charakterze kwaśnym, jak tlenki krzemu, siarki. Aby zapewnić skuteczność lutowania dla tlenków o charakterze zasadowym, konieczne są topniki kwaśne, i przeciwnie – topniki zasadowe muszą być użyte w przypadku tlenków kwaśnych.

Najbardziej rozpowszechnionymi topnikami typu kwaśnego, stosowanymi do lutowania twardego, są boraks i kwas borowy oraz ich mieszaniny.

Boraks, czteroboran sodu, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ stosuje się do lutowania prawie wszystkich metali, których temperatura topnienia jest wyższa od 741°C, tj. od temperatury topnienia boraksu. Boraks zawierający wodę krystaliczną, używany jest zazwyczaj w postaci proszku otrzymanego przez zmielenie boraksu krystalicznego. W początkowym okresie topnienia sproszkowa-

Tabela 1
Skład chemiczny, temperatura topnienia i główne zastosowania spoiw (lutów) mosiężnych

Cecha	%		Orientacyjna temperatura topnienia w °C	Główne zastosowania	
	Cu	Zn		metale łączone	przykłady
LM85	84–86	reszta	1020	miedź, stal, żeliwo, metale spiekane	lutowanie twarde przyrządów z miedzi, stali i żeliwa; lutowanie pyłek z węglików spiekanych
LM63	62–64	reszta	910	stal, miedź, mosiądże o zawartości powyżej 68% Cu	lutowanie twarde różnych drobnych wyrobów
LM600	59–61	reszta	900	miedź, mosiądże, brązy	lutowanie w budowie maszyn
LM60k	59–61	reszta	900	stal, żeliwo	lutowanie rurociągów i aparatury
LM80S	58–60,5	reszta	900	stal, miedź, brąz	lutowanie aparatury precyzyjnej
LM48	47–49	reszta	870	miedź, stal, żeliwo	lutowanie drobnych przedmiotów
LM42	41–43	reszta	845	miedź, nikiel	lutowanie drobnych przedmiotów
LMN7	min 45	reszta	950	metale spiekane	lutowanie pyłek

Tabela 2
Skład chemiczny oraz postać spoiw (lutów) srebrnych

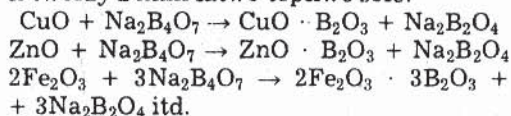
Cecha spoiwa	Skład chemiczny w %						
	Składniki stopowe						
	AG	Cu	Mn	Ni	Cd	P	Zn
LS12	11-13	50-52	-	-	-	-	reszta
LS25	24-26	39-41	-	-	-	-	reszta
LS27MN	26-28	38-40	9-10	5-6	-	-	reszta
LS45	44-46	29-31	-	-	-	-	reszta
LS45K	44-46	17-19	-	-	18-22	-	reszta
LS50K	49-51	29-31	-	-	3-7	-	reszta
LS60	59-61	19-21	-	-	-	-	reszta
LS70	69-71	24-26	-	-	-	-	reszta
LS70F	70-72	reszta	-	-	-	0,8-1,3	-
LS72	70-72	reszta	-	-	-	-	-

nego boraksu przebiega dosyć burzliwie wskutek wydzielania się wody krystalicznej. Objawia się to w postaci występujących na powierzchni topnika pęcherzyków pary, które zanikają przy silnym podgrzaniu lutowanych części. Dlatego częściej stosuje się boraks bezwodny. Otrzymuje się go przez ogrzanie boraksu krystalicznego poniżej jego temperatury topnienia i następnie zmniejszenie odwodnionej białej, porowatej masy.

Tabela 3
Temperatura topnienia i główne zastosowania lutów srebrnych

Cecha spoiwa		Główne zastosowanie	
		Metale łączone	Przykłady
LS12	830	Stal konstrukcyjna oraz stopy miedzi powyżej 56% Cu	Lutowanie średniogrubych elementów, np. rur, blach, prętów itp.
LS25	780	Stal konstrukcyjna, miedź oraz stopy miedzi	Lutowanie cienkich blach, rur i drutów przy wyrobach optycznych i precyzyjnych
LS27MN	840	Stale nierdzewne i kwasoodporne, metale spiekane	Lutowanie części aparatury oraz kształtek z metali spiekanych
LS45	730	Stale stopowe, miedź i stopy miedzi	Lutowanie drobnych części oraz połączeń pracujących w temperaturach podwyższonych
LS45K	620	Stale nierdzewne i kwasoodporne, miedź i stopy miedzi	Lutowanie drobnych części, jeżeli wymagana jest niska temperatura lutowania (np. gdy tworzywo jest wrażliwe na pęknięcia w temperaturach podwyższonych)
LS50K	700	Miedź i stopy miedzi	Lutowanie połączeń odpornych na korozję
LS60K	710	Stopy srebrno-miedź	Lutowanie wyrobów jubilerskich
LS70F	800		Lutowanie styków elektrycznych
LS72	780		Lutowanie przewodów jezdnych trakcji elektrycznej

A teraz parę słów o procesach chemicznych zachodzących przy stosowaniu boraksu. W czasie ogrzewania boraks rozkłada się na metaboran sodowy ($\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_4$) i tlenek boru (B_2O_3), który reagując z tlenkami metali tworzy z nimi łatwo topliwe sole:



Trzeba dodać, że boraks nie tylko wiąże tlenki istniejące na powierzchniach łączonych metali, ale także polepsza zwilżanie lutem łączonych powierzchni.

Z kolei drugi topnik kwaśny lutów twardej, kwas borowy, H_3BO_3 w normalnej temperaturze jest ciałem stałym w postaci białych, lśniących kryształków rozpuszczających się w wodzie, alkoholu i olejach mineralnych. Przy podgrzaniu do temperatury 185°C rozkłada się na wodę i tlenek boru. Ten ostatni, podobnie jak w przypadku boraksu, reaguje z tlenkami metali, dając odpowiednie sole.



Tlenek boru topi się w temperaturze około 577°C , jednak szczególnie aktywne działanie wykazuje on w temperaturach powyżej 900°C , a więc znacznie wyższych niż boraks. Należy jednak podkreślić, że kwas borowy jest znacznie mniej aktywnym topnikiem niż boraks (tab. 4). W praktyce jako topniki najczęściej stosuje się mieszaniny boraksu i kwasu borowego. Skład i temperaturę topnienia kilku częściowo stosowanych do lutowania mieszanin boraksu z kwasem borowym podano w tabeli 5.

Omówione topniki najaktywniej reagują z tlenkami miedzi, żelaza i cynku. Dlatego z powodzeniem można je stosować przy lutowaniu niskowęglowych stali i żelaza (także ocynkowanych) lutami miedzianymi, miedziowo-cynkowymi i na osnowie srebra, a także miedzi, brązów i mosiądzów o wyso-

Tabela 4

Rodzaj tlenku	Ciężar rozpuszczonych tlenków w g	
	w boraksie	w kwasie borowym
Tlenek cynku	2,0	0,56
Tlenek kadmu	2,0	0,86
Tlenek niklu	0,62	0,62
Tlenek miedzi	1,45	0,00
Tlenek żelaza	2,0	0,00

Tabela 5

Nr topnika	Skład topnika w %		Temperatura topnienia w °C
	boraks	kwas borowy	
1	100	–	741
2	90	10	650
3	80	20	605
4	70	30	630
5	60	40	650
6	50	50	665
7	–	100	577

kiej temperaturze topnienia – lutami miedziowo-cynkowymi i srebrnymi.

Topniki, w skład których wchodzi boraks, kwas borowy lub ich mieszaniny, nie powodują korozji złącz, co jest ich dodatkową zaletą. Jednak usunięcie resztek topnika, jak również produktów jego reakcji z tlenkami metali, jest konieczne dla umożliwienia kontroli wykonanego połączenia (zwłaszcza sprawdzenia szczelności). Produkty reakcji i resztki topnika w czasie ochładzania krzepną w postaci szklistej, szczelnie przylegającej do złącza warstewki. Usunięcie jej nastręcza poważne trudności, gdyż nie rozpuszcza się ona w wodzie i źle poddaje się oczyszczaniu mechanicznemu. Dlatego dla łatwiejszego usunięcia pozostałości topnika, bezpośrednio po lutowaniu złącze chłodzi się szybko w wodzie. Dzięki dużej różnicy między współczynnikami rozszerzalności cieplnej metalu i topnika, ten ostatni pęka i daje się łatwo usunąć za pomocą np. drucianej szczotki.

Przejdźmy teraz do topników alkalicznych, które muszą być używane, gdy na powierzchni lutowanych metali obecne są tlenki o charakterze kwasowym, jak np. SiO_2 . Najprościej jest do topnika boraksowego wprowadzić związki sodu w postaci wodorotlenku sodu (NaOH) lub węglanu sodu (Na_2CO_3). W tym przypadku na powierzchni metalu reakcja zachodzi wg wzoru:

$$\text{SiO}_2 + 2\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow (\text{Na}_2\text{O})_2 \cdot \text{SiO}_2 + 2\text{CO}_2 \uparrow$$

Usunięcie resztek topników zawierających NaOH i Na_2CO_3 jest bezwzględnie konieczne, gdyż związki te wywołują intensywną korozję łączonych metali. Zwykle przeprowadza się to drogą długotrwałego dokładnego przemywania części wodą.

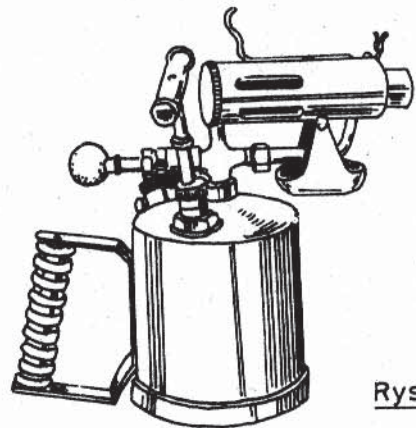
Przy lutowaniu stali stopowych i stopów żarowytrzymałych, zawierających tlenki chromu, tytanu, molibdenu, wolframu itp.

metali, działanie topników zawierających wyłącznie boraks, kwas borowy, wodorotlenek sodu i węglan sodu jest niedostateczne. W takim przypadku w skład topnika dodatkowo wprowadza się sole kwasu fluorowodorowego, takie jak fluorek potasu (KF), fluorek sodu (NaF), fluorek litu (LiF), fluorek wapnia (CaF_2) oraz fluoroborany potasu (KBF_4) i sodu (NaBF_4). Pierwsze trzy związki wchodziły w skład topników przeznaczonych do lutowania w zakresie temperatur do 900°C , fluorek wapnia ze względu na wysoką temperaturę topnienia 1403°C stosowany jest przy lutowaniu w temperaturach powyżej 900°C . Topniki zawierające fluoroborany topią się w zakresie temperatur $620\text{--}850^\circ\text{C}$; nadają się więc szczególnie do lutowania lutami na osnowie srebra. W tabeli 5 podano skład i przeznaczenie najbardziej rozpowszechnionych topników do lutowania stali stopowych i stopów żarowytrzymałych odpowiednimi lutami twardymi, a także miedzi i stopów miedzi lutami srebrnymi, zawierającymi mangan i nikiel. Niektóre z nich nadają się do lutowania żeliw, stali węglowych oraz metali i stopów szlachetnych.

Źródła ciepła

Aby przeprowadzić lutowanie twarde, do łączonych elementów musi być doprowadzone ciepło. Można stosować: płomień gazowy, piec lub ogrzewanie indukcyjne.

W warunkach amatorskich najprostsze do zrealizowania jest ogrzewanie przy lutowaniu twardym płomieniem gazowym. Najlepiej do tego celu nadają się palniki na gaz koksowniczy, ziemny, lub propan-butan



Rys. 2

oraz powietrze, jak też i benzynowe tzw. lampy lutownicze (rys. 2). Uzyskiwana przez te źródła temperatura płomienia umożliwia stosowanie praktycznie biorąc wszystkich lutów twardych.

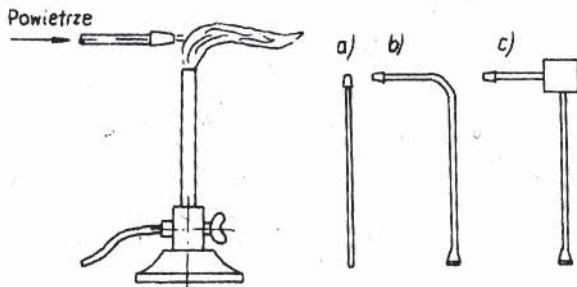
Pewną specyficzną odmianą ogrzewania płomieniem gazowym jest stosowanie dmuchawki. Za jej pomocą powietrze jest wdmuchiwane do płomienia palnika laboratoryjnego, np. Bunzена czy Tecla, lub do płomienia lampki spirytusowej. Ten sposób ogrzewania znalazł zastosowanie przy lutowaniu drobnych przedmiotów, np. w jubilerstwie, modelarstwie, dentystyce. Najprostszą, ustną dmuchawką jest cienka metalowa rurka prosta lub wygięta pod kątem 90°, zaopatrzona w ustnik i dyszę wylotową (rys. 3). Niekiedy ma ona dodatkowo zbiornik powietrzny, który ułatwia utrzymanie stałego ciśnienia powietrza, uchodzącego z dyszy. Posługiwano się dmuchawkami ustnymi jest jednak bardzo uciążliwe, zwłaszcza przy dłuższej pracy i dlatego w wielu przypadkach wprowadza się powietrze do dmuchawki za pomocą gumowej gruszki, miechów nożnych, a nawet sprężarek.

Lutowanie za pomocą dmuchawek nie jest łatwe i wymaga dużej wprawy, koniecznej do skierowania na lutowane miejsce płomienia określonej wielkości.

Przy ogrzewaniu płomieniem gazowym trzeba nagrzewać przede wszystkim łączone elementy, a nie bezpośrednio lut. Zastosowany do łączenia lut powinien się sam stopić pod wpływem ciepła łączonych części metalowych. Aby zmniejszyć straty ciepłne, a tym samym przyspieszyć nagrzewanie, należy stosować tzw. ekran cieplny. Rolę tę spełnia kawałek płyty azbestowej, który ustawiamy pionowo, zaraz za lutowanym elementem. Przy takim postępowaniu lutowany przedmiot jest od przodu ogrzewany bezpośrednio płomieniem, a od tyłu ogrzewa go ciepło odbite od azbestowego ekranu. Podobnie – przy lutowaniu drobnych elementów – dmuchawkę umieszczamy w zagłębieniu dużego kawałka węgla drzewnego.

Czynności pomocnicze

Najlepszy nawet lut i topnik, oraz najwydatniejsze źródło ciepła nie gwarantuje jeszcze uzyskania dobrego złącza. Decydującą rolę odgrywa tu bowiem sama konstrukcja złącza, jak też i sposób przygotowania po-



Rys. 3

wierzchni łączonych elementów. Najogólniej biorąc, wszystkie typy lutowanych złączeń możemy podzielić na czołowe i zakładkowe. Jest jasne, że w przypadku cienkich blaszek czy drucików, złącze czołowe nie może mieć dużej wytrzymałości mechanicznej. Dlatego też zawsze, gdy jest to tylko możliwe, należy stosować złącza zakładkowe. Ich odmianą może być np. skręcenie końców drutów przed ich zlutowaniem lub nałożenie na dwie zetknięte ze sobą blaszki nakładki, którą następnie przylutujemy do obu końców blaszek.

W zależności od wielkości i kształtu lutowanych części, ich powierzchnię można czyścić metodami mechanicznymi lub chemicznymi. Metody mechaniczne to pilnik, papier ścierny lub strumień piasku. Tak oczyszczone powierzchnie są bardzo podatne na lutowanie ale nie wolno z tym czekać parę dni, gdyż samoistnie pokrywają się ponownie warstwą tlenków.

Z metod chemicznych wymienić można odłuszczenie np. acetonem lub benzyną ekstrakcyjną, a następnie trawienie w roztworze dobranym do rodzaju metalu. Po wytrawieniu i spłukaniu wodą powierzchnie są gotowe do lutowania. Również i po oczyszczeniu chemicznym należy bezzwłocznie zabrać się do lutowania, aby nie dopuścić do wytworzenia się warstewki tlenków.

Oczyszczone elementy unieruchamia się np. w uchwycie, na powierzchnie przeznaczone do zlutowania nasypuje odpowiedni topnik, kładzie kawałek lutu i rozpoczyna ogrzewanie. Jak już wspominaliśmy, musi ono być możliwie jak najrównomierniejsze. Z chwilą gdy lut się już stopi i pokryje łączone powierzchnie, ogrzewanie przerywamy.

Stefan Sękowski