	<p><b>POLITECHNIKA LUBELSKA</b>  <b>WYDZIAŁ MECHANICZNY</b>  <b>KATEDRA INŻYNIERII</b>  <b>MATERIAŁOWEJ</b></p>	<p><b>Laboratorium</b>  <b>Spajalnictwa</b>  <b>ĆWICZENIE Nr SP-6</b></p>
<p>Akceptował:  Kierownik Katedry  prof. dr hab. B. Surowska</p>		<p>Opracował:  dr inż. Mirosław Szala  dr inż. Leszek Gardyński</p>

**I. Temat ćwiczenia:** Procesy lutowania metali.

**II. Cel ćwiczenia:** Praktyczne zapoznanie się z urządzeniami i materiałami stosowanymi do lutowania twardego, miękkiego i lutowania jak również własnoręczne wykonanie złącza lutowanego. Ocena wpływu parametrów technologicznych lutowania na jakość i właściwości złączy lutowanych. Ocena jakości połączeń lutowanych. Porównanie jakości złączy wytworzonych w procesie lutowania miękkiego i twardego. Analiza jakości połączeń lutowanych wytworzonych z różnych materiałów konstrukcyjnych.

### III. Ważniejsze pytania kontrolne

1. Istota procesu lutowania miękkiego, twardego oraz lutowania.
2. Źródła ciepła stosowane do lutowania oraz podział procesów lutowania.
3. Zalety i wady lutowania twardego w stosunku do spawania.
4. Struktura i właściwości połączeń lutowanych i spawanych.
5. Wymienić i scharakteryzować procesy lutowania twardego i miękkiego.
6. Scharakteryzować proces lutowania twardego płomieniowego (912).
7. Zjawiska fizykochemiczne wpływające na przebieg procesu lutowania.
8. Znaczenie zwilżalności, napięcia powierzchniowego, rozpląwności i włoskowatość (kapilarność) w procesie lutowania.
9. Znaczenie adhezji i dyfuzji w procesie lutowania.
10. Budowa złącza lutowanego bezdyfuzyjnego i dyfuzyjnego.
11. Scharakteryzować przygotowanie elementów do lutowania.
12. Narysować przykłady połączeń lutowanych blach, prętów, drutów lub/i rur.
13. Opisać topniki, luty i atmosfery kontrolowane stosowane do lutowania.
14. Jaka jest funkcja topników w procesie lutowania?
15. Lutowanie wybranych materiałów – możliwości tworzenia połączeń różnoimiennych.
16. Czy możliwe jest lutowanie materiałów ceramicznych ze stopami metali?
17. Podać zastosowania lutowania miękkiego oraz lutowania twardego w budowie maszyn.
18. Kontrola jakości złączy lutowanych. Lutowność.
19. Klasyfikacja niezgodności lutowniczych wg PN-EN ISO 18279:2008.
20. Poziomy jakości połączeń lutowanych.

#### IV. Literatura

1. Nowacki J., Chudziński M., Zmitrowicz P., Lutowanie w budowie maszyn, WNT, Warszawa, 2007.
2. Ferenc K., Spawalnictwo, WNT, Warszawa, 2007.
3. Poradnik Inżyniera. Spawalnictwo, T. II, WNT, Warszawa, 2005.
4. Dobaj E., Maszyny i urządzenia spawalnicze, WNT, Warszawa, 2009.
5. Dobrowolski Z., Podręcznik spawalnictwa. WNT, Warszawa, 1978.
6. Marcolla K., Zarys spawalnictwa. PWN, Warszawa - Poznań, 1979.
7. Radomski T., Ciszewski A. Lutowanie. WNT, Warszawa 1974.
8. Piwowar S., Spawalnictwo. PWN, Warszawa 1978.
9. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, czasopismo dostępne na: <http://bulletin.is.gliwice.pl>
10. Przegląd Spawalnictwa, czasopismo dostępne na <http://www.pspaw.pl/>
11. Winiowski A. Niezgodności złączy lutowanych spoiwami twardymi i przyczyny ich powstawania, *Przegląd Spawalnictwa-Welding Technology Review*, vol 84, no 6 (2012)
12. Norma PN-EN ISO 18279:2008: Lutowanie twarde -- Niezgodności w złączach lutowanych na twardo.

#### V. Wstęp teoretyczny

Lutowanie tak jak spawanie jest uznawane, jako proces specjalny. Proces specjalny jest to proces technologiczny, którego efekty są trudne, kosztowne lub niemożliwe do pełnej kontroli lub nie mogą być w pełni sprawdzone podczas dalszej kontroli. Sterowanie warunkami i parametrami procesu specjalnego stanowi podstawę osiągnięcia oczekiwanej, jakości wyrobu. Proces specjalny wymaga jego właściwej organizacji i kontroli, która obejmuje: kontrolę wstępną oraz kontrolę ostateczną [1]. Normy dotyczące systemów jakości wymagają, aby procesy specjalne były wykonywane zgodnie z pisemnymi instrukcjami. Wytwórcy stosujący technologię lutowania twardego są więc zobligowani do posiadania Instrukcji Technologicznej Lutowania Twardego (BPS – Brazing Procedure Specification), która podaje opisy lub wartości zmiennych procesu, którego wynik powinien spełniać określone zastosowanie. Aby sprawdzić prawidłowość instrukcji i sposobu jej stosowania, technologię poddaje się procedurze uznania przez niezależną, trzecią stronę (jednostkę egzaminującą), która zwykle jest jednostką notyfikowaną [2].

Złącza lutowane poddaje się kontroli. Rodzaje niezgodności w połączeniach lutowanych lutami twardymi i przyczyny ich powstawania przedstawiono w publikacji [11]. Niezgodności lutownicze występujące w połączeniach wykonanych przez lutowanie twarde można podzielić na następujące rodzaje: pęknięcia, pustki, wtrącenia stałe, brak połączenia, niezgodności kształtu i wymiarów, inne niezgodności.

Właściwości mechaniczne złączy lutowanych zależą od: rodzaju spoiwa, rodzaju lutowanych materiałów, warunków lutowania, konstrukcji złącza, szerokości szczeliny lutowniczej, rodzaju złącza (doczołowe i zakładkowe) [1].

## VI. Przebieg ćwiczenia

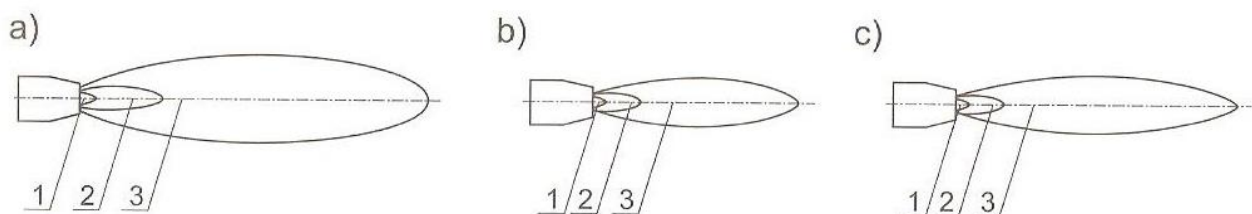
### 1. Zapoznanie z przepisami bhp.

### 2. Zapoznanie się ze stanowiskiem do lutowania twardego oraz lutowania miękkiego.

#### 2.1. Lutowanie twarde płomieniowe.

W lutowaniu twardym płomieniowym wykorzystuje się do nagrzewania elementów łączonych energię cieplną spalania mieszanki tlenu z gazem palnym (acetylenem). Często stosowane są palniki acetylenowo tlenowe, podczas lutowania na palniki zakłada się specjalne końcówki. Gazy dostarczane są ze stalowych butli. Do lutowania stosuje się płomień normalny lub lekko nawęglający (rys. 1.). Lutowanie płomieniem utleniającym jest niewskazane. Lutowanie twarde jest procesem, w którym stosuje się topniki. W zależności od stosunku objętościowego tlenu  $O_2$  do acetylenu  $C_2H_2$  rozróżnia się rodzaje płomieni:

- nawęglający,  $O_2/C_2H_2 < 1,1$
- normalny,  $O_2/C_2H_2 = 1,1 \div 1,2$
- utleniający,  $O_2/C_2H_2 > 1,2$



Rys. 1. Rodzaje płomienia tlenowo-acetylenowego: a) nawęglający; b) normalny; c) utleniający; 1 – jądro płomienia; 2 – stożek płomienia, 3 – kita płomienia [1].

#### 2.1.1. W skład stanowiska do lutowania twardego płomieniowego wchodzi:

- Butla acetylenowa z reduktorem jednostopniowym.
- Butla tlenowa z reduktorem jednostopniowym.
- Palnik do lutowania z nasadkami do lutowania.
- Topniki i spoiwo lutownicze (lut).

#### 2.1.2. Lutowanie miękkie oporowe.

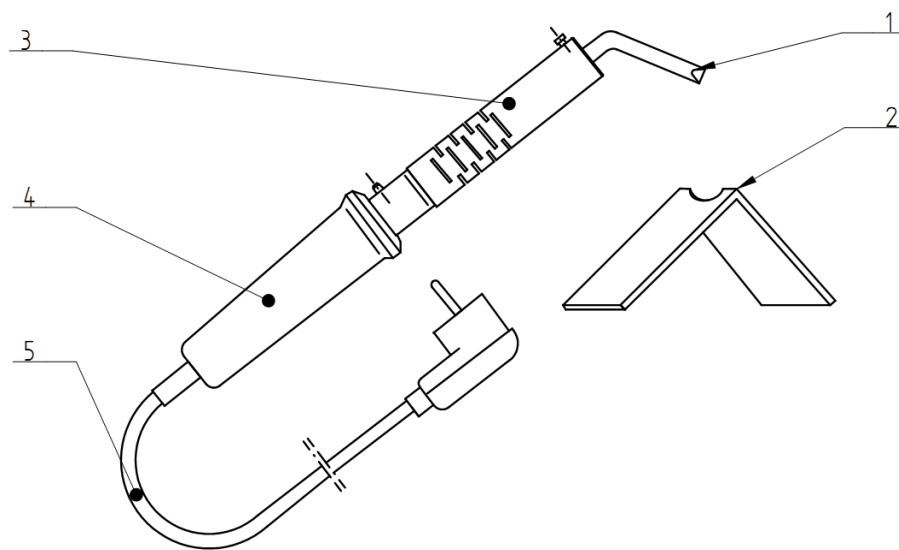
#### 2.2. Stanowisko do lutowani miękkiego oporowego.

- Lutownica grzałkowa LG – 160.
- Topnik i spoiwo lutownicze (lut).

#### 2.2.1 Dane techniczne lutownicy grzałkowej LG – 160.

- Moc 160W
- Napięcie 230V~
- Temperatura znamionowa 400°C
- Czas rozgrzewania się do temp. 205°C 8 min.
- Ciężar 0,58 kg

Lutownica grzałkowa LG - 160 (rys. 2.) przeznaczona jest do pracy ciągłej i wykonywania połączeń i uszczelnień metalowych części spoiwami cynowo-ołowianymi, jak np.: LC 30 - LC 95. Lutownica może występować w dwóch wersjach: z grottem prostym lub z grottem wygiętym.



Rys. 2. Budowa lutownicy grzałkowej:

1 - grot, 2 - podpórka, 3 - osłona elementu grzejnego, 4- rękkojeść, 5 - sznur przyłączeniowy.

### 2.2.2. Sposób użytkowania

1. Rozwinąć sznur przyłączeniowy, ustawić lutownicę na podpórce i włączyć wtyczkę do gniazda sieciowego z kołkiem uziemiającym.
2. Lutownica powinna być ustawiona wyłącznie na podpórce na powierzchni niepalnej, gdyż w przeciwnym razie istnieje zagrożenie pożarem.
3. Czas nagrzewania około 10 minut.
4. Przygotować do lutowania powierzchnie przeznaczone do łączenia.
5. Wykonać lutowanie.
6. Po zakończeniu lutowania wyłączyć wtyczkę sznura sieciowego z gniazdzka i pozostawić lutownicę do ochłodzenia (temperatura otoczenia).

### 2.2.3. Zalecenia dla użytkownika

- Zabrania się podczas pracy lutownicą dotykania palcami gorących części: lutownicy, a także dotykania lutownicą do ciała, gdyż grozi to poważnymi oparzeniami.

- Lutownicę od chwili włączenia do sieci należy trzymać tylko za drewnianą rękojeść. Zabrania się używania lutownicy w atmosferze o dużej aktywności chemicznej i w atmosferze niebezpiecznej pod względem wybuchowym.
- Należy chronić lutownicę przed uszkodzeniami mechanicznymi i działaniem wilgoci.
- Lutownicy z uszkodzeniami mechanicznymi nie wolno eksploatować.
- Niedopuszczalne jest stosowanie dwużyłowych przedłużaczy przewodu sieciowego bez bolca uziemiającego.
- Nie owijać sznura przyłączeniowego wokół nagrzanej osłony elementu grzejnego lutownicy.
- Nie chłodzić lutownicy w wodzie lub innych cieczach.
- Po zakończeniu lutowania każdorazowo wyłączać lutownicę z sieci ujmując palcami wtyczkę (nie ciągnąć za sznur).
- Wszelkie naprawy, łącznie z wymianą przewodu sieciowego, winny z wykonywane przez osoby z odpowiednimi kwalifikacjami.
- W czasie użytkowania lutownicy zachować ostrożność, postępować zgodnie ze zdrowym rozsądkiem.
- Nie posługiwać się narzędziem w stanie dużego zmęczenia.

### **2.3. Stół spawalniczy z wyciągiem gazów.**

### **2.4. Sprzęt ochrony osobistej.**

- wyposażenie laboratorium - fartuchy i rękawice skórzane,
- wyposażenie osobiste - płaszcz roboczy, nakrycie głowy, ochrona oczu.

### **2.5. Urządzenia i materiały pomocnicze.**

- szczotka stalowa do oczyszczania powierzchni lutowanej
- papier ścierny.

## **3. Czynności wykonywane podczas części praktycznej ćwiczenia.**

Zależnie od celu ćwiczenia zadanego przez prowadzącego laboratorium:

Instruktor podaje nazwę złącza, spoiwa i topnika, gatunki łączonych materiałów oraz podaje parametry lutowania przy których będą wykonywane złącza. Instruktor wykonuje złącze techniką lutowania miękkiego oraz lutowania twardego.

Studenci wykonują indywidualnie takie same złącza, stosując się do zaleceń instruktora. Instruktor przeprowadza próbę zrywania złącza lutowanego zakładkowego oraz podaje studentom parametry zrywania - studenci dokonują odpowiednich obliczeń. Wykonywany zostaje zgląd makroskopowy i na przekroju złącza mierzona jest twardość poszczególnych stref. Studenci analizują jakość otrzymanych połączeń identyfikują niezgodności. Studenci analizują rezultaty wykonanego ćwiczenia pod kątem celu ćwiczenia zadanego przez prowadzącego.

Studenci sporządzają protokół badań i przedstawiają go do akceptacji prowadzącemu.

## VII. WYTYCZNE DO SPRAWOZDANIA

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Wprowadzenie
  - 1.1 Schematy ideowego procesu lutowania, będącego tematem ćwiczenia.
  - 1.2 Wykaz elementów składających się na stanowisko(a) do lutowania
2. Szkic zaprojektowanych połączeń lutowanych (wykonany zgodnie z zasadami rysunku technicznego maszynowego stosowanego w spawalnictwie)
3. Przebieg procesu lutowania.
  - 3.1 Parametry realizowanego procesu lutowania (twardego, miękkiego lub lutospawania)
  - 3.2 Opis czynności wykonanych osobiście podczas ćwiczenia.
  - 3.3 Sposób przygotowania powierzchni materiałów lutowanych.
  - 3.4 Uwagi dotyczące przebiegu procesu lutowania.
4. Wyniki badań i ich analiza
  - 4.1 Zwymiarowany szkic wykonanego połączenia.
  - 4.2 Fotografie wykonanych połączeń lutowanych.
  - 4.3 Identyfikacja niezgodności złączy oraz ocenę jakości połączeń lutowanych
  - 4.4 Analizę wyników pod kątem porównania jakości złączy wytworzonych różnymi metodami (zależenie od celu ćwiczenia).
  - 4.5 Analizę wyników pod kątem porównania jakości złączy wytworzonych z różnych materiałów (zależenie od celu ćwiczenia).
  - 4.6 Schemat, opis przebieg i obliczenia z próby zrywania złączy lutowanych.
  - 4.7 Pomiary twardości na przekroju poprzecznym połączeń lutowanych.
  - 4.8 Definicję lutowności identyfikację lutowności łączonych materiałów.
5. Protokół z wykonanego ćwiczenia (jako załącznik).
6. Wnioski powinny zawierać:
  - 6.1 Podsumowanie rezultatów osiągniętych w wyniku realizacji ćwiczenia.
  - 6.2 Ocenę jakości wykonanych złączy lutowanych.
  - 6.3 Porównanie wyników z danymi literaturowymi.
  - 6.4 Porównanie techniki lutowania twardego i miękkiego na podstawie uzyskanych wyników badań.
  - 6.5 Przykładowe zastosowania lutowania miękkiego oraz lutowania twardego w budowie maszyn.