

**Tytuł:** Makroskopowe i mikroskopowe badania metalograficzne materiałów konstrukcyjnych i ich połączeń spajanych

**Opracował:** pod redakcją dr. hab. inż. Mirosława Łomozika

**Rok wydania:** 2009

**Wydawca:** Instytut Spawalnictwa

**Liczba stron:** 270

**Format:** B5



## SPIS TREŚCI

<b>Wstęp .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Istota i rodzaje badań metalograficznych.....</b>	<b>10</b>
<b>2. Metodyka przygotowania zglądów do badań metalograficznych makro- i mikroskopowych .....</b>	<b>15</b>
2.1. Pobieranie próbek .....	16
2.2. Sposoby mocowania próbek .....	17
2.2.1. Inkludowanie próbek na gorąco .....	18
2.2.2. Inkludowanie próbek na zimno .....	19
2.3. Szlifowanie zgrubne .....	20
2.4. Szlifowanie dokładne .....	21
2.5. Polerowanie .....	23
2.5.1. Polerowanie mechaniczne .....	24
2.5.2. Polerowanie elektrolityczne .....	27
2.5.3. Polerowanie chemiczne .....	28
2.6. Trawienie próbek .....	29
2.6.1. Ujawnianie makrostruktury .....	29
2.6.2. Ujawnianie mikrostruktury .....	30
2.7. Sposoby zabezpieczania powierzchni próbek .....	36
2.8. Nieniszczące badania metalograficzne .....	36
2.9. Warunki BHP podczas wykonywania zglądów do badań metalograficznych ....	37
2.10. Literatura .....	39
<b>3. Polerowanie elektrolityczne, polerowanie chemiczne, trawienie barwne – przeznaczenie i zastosowanie .....</b>	<b>40</b>
3.1. Wprowadzenie .....	40
3.2. Polerowanie elektrolityczne .....	40
3.2.1. Zasada polerowania elektrolitycznego .....	40
3.2.2. Czynniki wpływające na warunki polerowania .....	42
3.2.3. Urządzenia do polerowania elektrolitycznego .....	45
3.3. Porównanie polerowania elektrolitycznego z polerowaniem mechanicznym ....	47
3.4. Problemy występujące w trakcie polerowania elektrolitycznego .....	49
3.5. Odczynniki do polerowania elektrolitycznego .....	51
3.6. Polerowanie chemiczne .....	51
3.7. Trawienie barwne .....	53
<b>3.8. Przykłady mikrostruktur po trawieniu barwnym .....</b>	<b>56</b>
3.9. Literatura .....	60
<b>4. Badania makroskopowe i ich zastosowanie w spawalnictwie .....</b>	<b>61</b>

<b>5. Badania mikroskopowe i ich zastosowanie w spawalnictwie .....</b>	<b>64</b>
5.1. Zastosowanie badań metalograficznych w spawalnictwie .....	73
<b>6. Analiza obrazu jako narzędzie w badaniach metalograficznych .....</b>	<b>75</b>
6.1. Idea i przeznaczenie analizy obrazu oraz za i przeciw jej użycia w praktyce ...	75
6.2. Pojęcia podstawowe .....	80
6.3. Zapis obrazu w formie cyfrowej .....	83
6.4. Wymagania sprzętowe dla potrzeb analizy obrazu .....	84
6.5. Sposób i jakość przygotowania powierzchni próbki dla potrzeb analizy obrazu ..	86
6.6. Przegląd programów do analizy obrazu i omówienie ich głównych funkcji .....	91
6.7. Normy zawierające kryteria związane z analizą obrazu .....	98
6.7.1. Zakres obowiązywania normy PN-EN ISO 643 .....	98
6.7.2. Definicje wprowadzone na użytek normy PN-EN ISO 643 .....	99
6.7.3. Zasada metody .....	99
6.7.4. Miejsce pobrania próbek do badań .....	100
6.7.5. Metody ujawniania granic ziarn przedstawione w normie PN-EN ISO 643 .....	100
6.7.6. Sposoby określania wielkości ziarna wg normy PN-EN ISO 643.....	102
6.8. Literatura .....	103
<b>7. Wprowadzenie do mikroskopii skaningowej .....</b>	<b>104</b>
<b>7.1. Wstęp .....</b>	<b>104</b>
7.2. Mikroskop skaningowy - budowa i zasada działania .....	104
7.2.1. Skaningowy mikroskop elektronowy .....	104
7.2.2. Źródło emisji elektronów .....	105
7.2.3. Układ próżniowy .....	107
7.3. Oddziaływanie padających elektronów z próbką .....	109
7.3.1. Elektrony wtórne .....	110
7.3.2. Elektrony wstecznie rozproszone .....	111
7.3.3. Promieniowanie rentgenowskie .....	112
7.3.4. Elektrony Augera .....	113
7.4. Zasady powstawania obrazu w SEM .....	113
7.5. Błędy układu elektronooptycznego .....	114
7.5.1. Aberacja sferyczna .....	115
7.5.2. Aberacja chromatyczna .....	115
7.5.3. Astygmatyzm .....	115
7.6. Metody preparatyki stosowane w mikroskopii skaningowej .....	115
7.7. Fraktografia .....	108
7.8. Pomiar grubości powłok za pomocą SEM .....	119
7.9. Mikroanaliza rentgenowska .....	120
7.10. Przykłady wyników badań prowadzonych przy użyciu SEM .....	121
7.11. Literatura .....	125
<b>8. Norma PN-EN 1321:2000 Spawalnictwo. Badania niszczące metalowych złączy spawanych. Badania makroskopowe i mikroskopowe złączy spawanych .....</b>	<b>126</b>
<b>9. Normy dotyczące oceny jakości złączy spajanych .....</b>	<b>131</b>
<b>9.1. Norma PN-EN ISO 6520-1:2007 Spawanie i procesy pokrewne.     Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach.     Część 1: Spawanie .....</b>	<b>131</b>
<b>9.2. Norma PN-EN ISO 6520-2:2005 Spawanie i procesy pokrewne.     Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach.     Część 2: Zgrzewanie .....</b>	<b>149</b>
<b>9.2.1. Wprowadzenie .....</b>	<b>149</b>

<b>9.2.2. Klasyfikacja niezgodności spawalniczych .....</b>	<b>149</b>
<b>9.2.3. Główne przyczyny powstawania niezgodności i przykłady występowania .....</b>	<b>151</b>
<b>9.2.3.1. Pęknięcia (P1) .....</b>	<b>151</b>
<b>9.2.3.2. Pustki (P2) .....</b>	<b>160</b>
<b>9.2.3.3. Wtrącenia stałe .....</b>	<b>163</b>
<b>9.2.3.4. Braki przetopu (P4) .....</b>	<b>169</b>
<b>9.2.3.5. Niezgodności kształtu (P5) .....</b>	<b>170</b>
<b>9.2.3.6. Inne niezgodności spawalnicze (P6) .....</b>	<b>173</b>
<b>9.2.4. Sposoby wykrywania niezgodności w złączach zgrzewanych .....</b>	<b>175</b>
<b>9.2.5. Sposoby stabilizacji warunków i kontroli jakości zgrzewania .....</b>	<b>176</b>
<b>9.2.6. Literatura .....</b>	<b>177</b>
<b>9.3. Norma PN-EN ISO 5817:2007 Spawanie. Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązką). Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych .....</b>	<b>178</b>
<b>9.4. Norma PN-EN ISO 10042:2008 Spawanie. Złącza spawane łukowo w aluminium i jego stopach. Poziomy jakości da niezgodności spawalniczych .....</b>	<b>193</b>
9.4.1. Zakres normy .....	193
9.4.2. Terminy i definicje .....	193
9.4.3. Symbole .....	194
9.4.4. Ocena niezgodności spawalniczych .....	194
<b>9.5. Norma PN-EN ISO 13919-1:2002 Spawanie. Złącza spawane wiązką elektronów i wiązką promieniowania laserowego. Wytyczne do określania poziomów jakości według niezgodności spawalniczych. Część 1: Stal .....</b>	<b>205</b>
<b>9.5.1. Wprowadzenie .....</b>	<b>205</b>
<b>9.5.2. Zakres obowiązywania normy .....</b>	<b>206</b>
<b>9.5.3. Ocena wielkości charakterystycznych oraz zakres ich zmienności dla danych niezgodności spawalniczych .....</b>	<b>206</b>
<b>9.5.4. Literatura .....</b>	<b>223</b>
<b>9.6. Norma PN-EN ISO 13919-2:2002/A1:2005 Spawanie. Złącza spawane wiązką elektronów i wiązką promieniowania laserowego. Wytyczne do określania poziomów jakości według niezgodności spawalniczych. Część 2: Aluminium i jego spawalne stopy .....</b>	<b>225</b>
<b>9.6.1. Wprowadzenie .....</b>	<b>225</b>
<b>9.6.2. Zakres obowiązywania normy .....</b>	<b>225</b>
<b>9.6.3. Ocena wielkości charakterystycznych oraz zakres ich zmienności dla danych niezgodności spawalniczych .....</b>	<b>226</b>
<b>9.7. Norma PN-EN ISO 18279:2008 Lutowanie twarde. Niezgodności w złączach lutowanych na twardo .....</b>	<b>239</b>
9.7.1. Wprowadzenie .....	239
9.7.2. Lutowanie – charakterystyka procesu .....	240
9.7.3. Niezgodności lutownicze wg PN-EN ISO 18279, ich klasyfikacja, przyczyny i zapobieganie powstawaniu .....	242
9.7.4. Poziomy jakości połączeń lutowanych .....	248
<b>9.8. PN-EN 13100-1:2002 Badania nieniszczące połączeń spawanych w półproduktach z tworzyw termoplastycznych. Część 1: Ocena wizualna .....</b>	<b>252</b>
9.8.1. Zakres normy .....	252
<b>9.8.2. Normy związane .....</b>	<b>252</b>

9.8.3. Warunki przeprowadzenia oceny złączy spawanych / zgrzewanych. Oprządkowanie .....	252
9.8.4. Wymagania dla personelu .....	252
9.8.5. Ocena wizualna .....	253
9.8.6. Ocena wizualna elementów przygotowanych do łączenia .....	253
9.8.7. Ocena wizualna podczas spawania .....	253
9.8.8. Ocena wizualna gotowej spoiny .....	253
9.8.9. Sprawozdanie z badań .....	253
9.9. PN-EN 12814-5:2002 Badania połączeń spawanych w półproduktach z tworzyw termoplastycznych. Część 5: Badanie makroskopowe .....	255
9.9.1. Zakres normy .....	255
9.9.2. Normy powołane .....	255
9.9.3. Zasada metody .....	255
9.9.4. Cel badania .....	256
9.9.5. Wycinanie kształtek .....	256
9.9.6. Wykonywanie badań .....	257
9.9.6.1. Informacje ogólne .....	257
9.9.6.2. Przygotowanie próbki .....	257
9.9.6.3. Obróbka powierzchni .....	257
9.9.7. Ocena .....	257
9.9.8. Sprawozdanie z badań .....	257
9.10. Norma PN-EN 14728:2006 Niezgodności w złączach spawanych i zgrzewanych termoplastycznych tworzyw sztucznych. Klasyfikacja ...	259
9.10.1. Wprowadzenie .....	259
9.10.2. Zakres normy .....	259
9.10.3. System oznaczania niezgodności .....	260
9.10.4. Klasyfikacja niezgodności .....	263
Podziękowania .....	270

## WPROWADZENIE

Oddając w ręce Czytelników niniejsze opracowanie Autorzy mają nadzieję, że przyczyni się ono do wzbogacenia i pogłębienia wiedzy z zakresu szeroko pojmowanych badań metalograficznych materiałów konstrukcyjnych stosowanych na konstrukcje spajane jak również w zakresie interpretacji i oceny wyników tych badań podczas oceny jakości różnego rodzaju połączeń spajanych (spawanych, zgrzewanych i lutowanych).

Skrypt jest dedykowany przede wszystkim do uczestników kursów szkoleniowych z wykształceniem wyższym i średnim technicznym a zwłaszcza do inżynierów i technologów spawalników, inspektorów konstrukcji spajanych. Ponadto może stanowić pomoc dydaktyczną dla osób zajmujących się materiałoznawstwem i inżynierią materiałową.

Zasadniczą część skryptu stanowią informacje poświęcone materiałom konstrukcyjnym takim jak stale oraz metale nieżelazne i ich stopy. Z uwagi na to, że w ostatnich latach obserwuje się, w świecie i w kraju, bardzo dynamiczny rozwój i zwiększenie zakresu praktycznego zastosowania różnego rodzaju termoplastycznych tworzyw sztucznych na konstrukcje spajane (spawane, zgrzewane) w skrypcie zamieszczono trzy rozdziały poświęcone badaniom nieniszczącym, badaniom makroskopowym oraz klasyfikacji niezgodności w połączeniach tworzyw sztucznych. Współczesne badania metalograficzne złączy spajanych charakteryzują się indywidualną specyfiką, która wynika z istnienia szeregu technik łączenia oraz różnorodności struktur

występujących w spoinie i strefie wpływu ciepła. Dlatego badania te coraz częściej wymagają użycia bardziej zaawansowanych mikroskopów niż mikroskopy świetlne, a ponadto badania są wspomagane technikami cyfrowymi i komputerowymi. Z tej przyczyny w niniejszym skrypcie znalazły się rozdziały dotyczące mikroskopii skaningowej oraz analizy obrazu.

Trzon zespołu autorskiego stanowią doświadczeni, długoletni pracownicy Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach. Dr inż. Andrzej Winiowski jest uznanym specjalistą w zakresie technologii i materiałów dodatkowych do lutowania stali i materiałów nieżelaznych. Dr inż. Adam Pietras specjalizuje się w procesach zgrzewania materiałów konstrukcyjnych i ma w tej dziedzinie znaczące osiągnięcia uhonorowane licznymi nagrodami, medalami i dyplomami w kraju i za granicą. Dr inż. Sebastian Stano zajmuje się procesami spawania i cięcia laserowego różnego rodzaju materiałów konstrukcyjnych. Mgr inż. Aleksandra Węglowska prowadzi badania oraz szkolenia w zakresie spajania tworzyw sztucznych. Mgr inż. Marek St. Węglowski posiada ugruntowaną wiedzę teoretyczną jak i umiejętności praktyczne w preparatyce próbek do badań metalograficznych oraz w zakresie mikroskopii skaningowej. Ponadto ma dobre przygotowanie do interpretacji wyników badań i oceny jakości złączy spawanych poświadczone Certyfikatem Kompetencji w badaniach nieniszczących VT.

Opiekę merytoryczną i organizacyjną nad opracowaniem skryptu sprawował dr hab. inż. Mirosław Łomozik, który jest specjalistą w zakresie inżynierii spajania, metaloznawstwa spawalniczego, spawalności metali oraz przemian fazowych w stopach żelaza z węglem. Posiada m.in. Certyfikat firmy Buehler w zakresie preparatyki materiałów do badań strukturalnych w oparciu o mikroskopię optyczną oraz Certyfikat Kompetencji w zakresie badań nieniszczących VT - stopień kwalifikacji 2.