

# Właściwości złącza spawanego szyny podsuwnicowej spawanej metodą 111

Properties of welded joint of bridge rail welded by 111 method

## Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie różnic w mikrostrukturze złącza spawanego szyny podsuwnicowej A75 w zależności od miejsca prowadzenia obserwacji. Szyna ta wykonana została ze stali 900A. Miejscami prowadzenia obserwacji były: materiał rodzimy, strefa wpływu ciepła a także spoina w obszarach znajdujących się w stopce, środku oraz główce szyny.

**Słowa kluczowe:** elektroda otulona, szyny jezdne

## Abstract

This article presents the differences in microstructure of welded joint of bridge rail A75 depending on point of observation. The bridge rail was manufactured of steel 900A. The observations was carried out in the base material, in the heat-affected zone and in the joint. The points of observation was located in the rail foot, in the web of the rail and in the rail head.

**Keywords:** Manual Metal Arc, rail

## Wstęp

Współczesne tory składające się z dowolnej liczby szyn, po których poruszają się pojazdy szynowe, są nierozłącznie ze sobą połączone i bezстыkowe. W większości przypadków wyeliminowane zostało tradycyjne łączenie odcinków szyn za pomocą łubek skręcanych śrubami. Stało się to możliwe dzięki zastosowaniu spawalniczych metod łączenia szyn: spawania termitowego, zgrzewania elektrycznego oraz spawania łukiem elektrycznym.

Spawanie łukowe ręczne elektrodą otuloną nie jest stosowane do długich odcinków torów, ze względu na niską wydajność tej metody w porównaniu do spawania termitowego i zgrzewania. Ma ono jednak pewną zaletę, ponieważ do wykonywania złączy metodą 111 nie są wymagane specjalne warunki, jak w przypadku

spawania termitowego, ani stosowanie drogiego sprzętu, jak w przypadku zgrzewania. Jeżeli jest potrzeba wykonania pojedynczego złącza toru, to najwłaściwszym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie metody 111.

Przekrój poprzeczny szyny jest jednym z czynników wpływających na to, że szyny jako elementy poddawane spawaniu sprawiają trudności techniczne oraz technologiczne. Szyna jest elementem o dużej grubości. Aby wykonać złącze metodą 111, należy ułożyć wiele warstw, tym samym wielokrotnie oddziałując cieplnie na materiał. W konsekwencji można obserwować w różnych obszarach szyny różnice w mikrostrukturze, będące przyczyną zróżnicowania właściwości złącza. [1]

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie różnic występujących w mikrostrukturze szyny i jej złącza spawanego, zależnych od miejsca obserwacji mikroskopowych.

## Materiały użyte do badań

Do wykonania złącza próbných wykorzystano odcinki szyn ze stali 900A. Zgodny z atestem skład chemiczny stali 900A podano w tabelicy I, a wybrane właściwości mechaniczne w tabelicy II.

Do wykonania złącza zastosowano elektrody EB150 firmy ESAB (E42 4B 42). Skład chemiczny stopiwa przedstawiony został w tabelicy III. Właściwości mechaniczne stopiwa pokazane zostały w tabelicy IV.

**Tabela I.** Skład chemiczny stali 900A

**Table I.** Chemical composition of 900A steel

| Szyna | Skład chemiczny, % |      |      |      |      |
|-------|--------------------|------|------|------|------|
|       | C                  | Mn   | Si   | P    | S    |
| 900A  | 0,72               | 1,06 | 0,33 | 0,15 | 0,15 |

**Tabela II.** Właściwości mechaniczne stali 900A

**Table II.** Mechanical properties of 900A steel

| Szyna | Właściwości mechaniczne |                    |
|-------|-------------------------|--------------------|
|       | R <sub>m</sub> , MPa    | A <sub>5</sub> , % |
| 900A  | 940                     | 11,8               |

**Tabela III.** Skład chemiczny stopiwa

**Table III.** Chemical composition of deposited metal

| Elektroda   | Skład chemiczny, % |     |     |
|-------------|--------------------|-----|-----|
|             | C                  | Mn  | Si  |
| E 42 4 B 42 | 0,08               | 1,1 | 0,4 |

**Tabela IV.** Właściwości mechaniczne stopiwa

**Table IV.** Mechanical properties of deposited metal

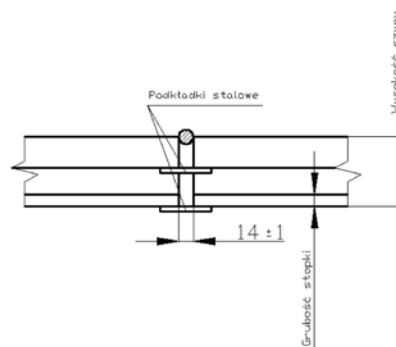
| Elektroda   | Właściwości mechaniczne |                      |                    |              |
|-------------|-------------------------|----------------------|--------------------|--------------|
|             | R <sub>m</sub> , MPa    | R <sub>e</sub> , MPa | A <sub>5</sub> , % | KV, J        |
| E 42 4 B 42 | 550÷620                 | >420                 | 22÷32              | >65 (-40 °C) |

## Wykonanie złącza

Przygotowane do spawania końce szyn ustawiono w odległości ok. 14 mm od siebie. Mniejsza odległość utrudniałaby swobodny ruch elektrodą, większa zaś powodowałaby wydłużanie czasu pracy i zwiększenie kosztu zużytych elektrod. Następnie ustawiono krawędzie jezdne szyn za pomocą stałego liniału. Ze względu na to, iż główka szyny kurczy się bardziej niż jej stopka, styk był o ok. 3 mm podwyższony. Zastosowano pomocnicze podkładki stalowe, zabezpieczające przed wyciekami stopiwa.

Rysunek 1 przedstawia przygotowanie do spawania brzegów złącza próbnego.

W fazie przygotowań do wykonania złącza opracowana została wstępna instrukcja technologiczna pWPS. W tabelicy V przedstawiono wybrane parametry technologiczne, ważne z punktu widzenia wykonania właściwego połączenia spawanego.



**Rys. 1.** Przygotowanie brzegów do spawania

**Fig. 1.** Preparation of the groove for welding

**Tabela V.** Parametry technologiczne stosowane przy spawaniu szyny podsuwnicowej A75

**Table V.** The technological parameters of welding of bridge rail A75

| Ścieg                     | TW      | 1÷6     | 7÷9     | 10÷n    |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Metoda                    | 111     | 111     | 111     | 111     |
| Wymiar spoiwa $\phi$ , mm | 3,25    | 3,25    | 4,0     | 5,0     |
| Natężenie prądu, A        | 100÷120 | 100÷120 | 140÷150 | 180÷190 |
| Napięcie łuku, V          | 24÷25   | 24÷25   | 26÷27   | 27÷28   |
| Rodzaj prądu Biegunowość  | = (+)   | = (+)   | = (+)   | = (+)   |
| Prędkość spawania mm/min  | 120÷240 | 160÷200 | 160÷200 | 160÷200 |

Końce szyn podgrzano przed spawaniem palnikiem acetylenowo-tlenowym do temperatury ok. 330 °C. W czasie spawania temperatura międzyściegowa mieściła się w granicach 300÷330 °C. Wartości te wynikają z wykresu CTPi stali o składzie chemicznym zbliżonym do składu stali 900A i były przestrzegane w celu uniknięcia powstania struktury martenzytycznej w strefie wpływu ciepła. W procesie spawania chłodzenie następuje bardzo gwałtownie. Bardzo często wartość prędkości chłodzenia jest wyższa niż wartość krytyczna prędkości chłodzenia, której przekroczenie jest jednym z warunków powstania struktury martenzytycznej. Drugim warunkiem powstania tej struktury jest zmniejszenie się temperatury poniżej określonej wartości. Dla stali 900A wartość ta wynosi ok. 280 °C. Podgrzanie materiału powyżej tej wartości temperatury sprawiło, że nawet jeśli został spełniony pierwszy warunek wystąpienia przemiany martenzytycznej (przekroczenie wartości prędkości krytycznej), to nie został spełniony drugi (wartość temperatury złącza była wyższa niż odpowiadająca linii Ms na wykresie CTPi). Jako że odprowadzanie ciepła następuje cały czas (np. w czasie dokonywania pomiaru temperatury), podgrzano materiał do temperatury wyższej aniżeli 280 °C. Martenzyt jest niepożądany w strefie wpływu ciepła z powodu swej kruchości. Pomiarów temperatury dokonywano termoelementem NiCr – NiAl. Na rysunku 2 przedstawiono wykonane złącze próbne szyny A75.

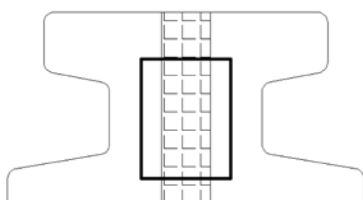


**Rys. 2.** Złącze próbne szyny podsuwnicowej A75  
**Fig. 2.** Test welded joint of bridge rail A75

## Metodyka badań

### Badania makrostruktury i mikrostruktury

Próbkę do badań pobrano mechanicznie z głębokości 10 mm od lica spoiny. Schemat zarysu próbki do badań makrostruktury i mikrostruktury przedstawiono na rysunku 3.



**Rys. 3.** Schemat zarysu próbki do badań makrostruktury i mikrostruktury

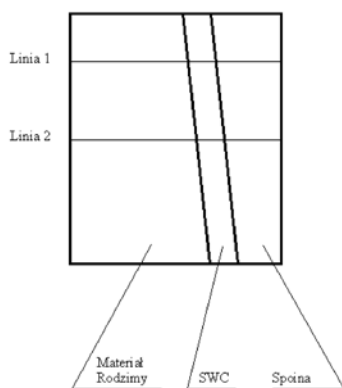
**Fig. 3.** Scheme of profile of sample for macroscoping and microscoping examination

Pobrana próbka, po wstępnej obróbce mechanicznej na frezarce, została przygotowana do badań metalograficznych na szlifierko-polerce firmy Struers.

Mikrostrukturę stali 900A ujawniono odczynnikiem o składzie 97 cm<sup>3</sup> alkoholu etylowego (95%) + 3 cm<sup>3</sup> kwasu azotowego c.d.a. Obserwacje makrostruktury prowadzone były na makroskopie AZ-100 produkcji firmy Nikon. Do wykonania badań mikrostruktury użyto mikroskopu świetlnego MA-200 firmy Nikon.

### Pomiary twardości

Pomiary twardości przeprowadzone zostały wzdłuż linii pokazanych na rysunku 4.

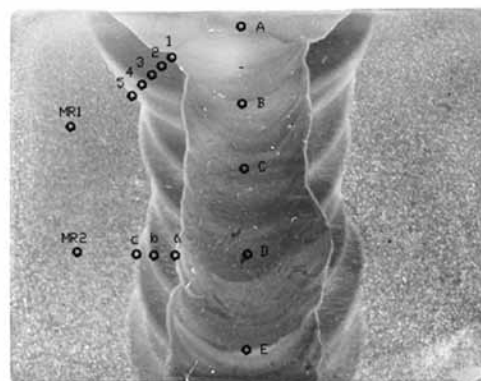


**Rys. 4.** Schemat próbki do badań twardości z usytuowanymi liniami  
**Fig. 4.** Scheme of sample to hardness test with lines

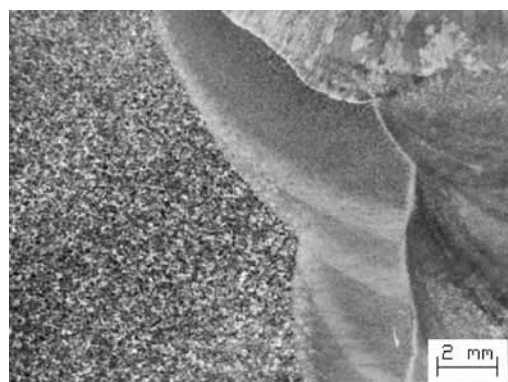
Wykonano je za pomocą mikrotwardościomierza HPO – 10 produkcji firmy VEB Werkstoffprüfmaschinen. Zastosowano obciążenie 49 N (HV5).

## Makrostruktura i mikrostruktura złącza spawanego szyny A75

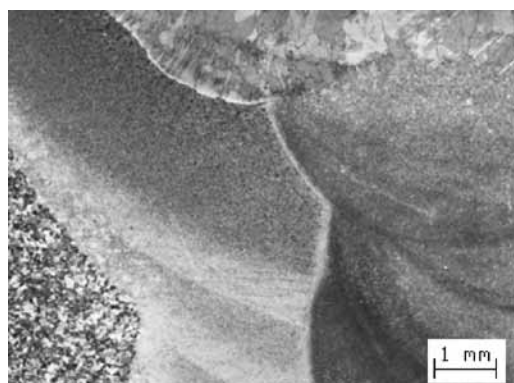
Na rysunkach 5+7 widoczna jest makrostruktura złącza spawanego szyny A75 przy różnych powiększeniach. Punkty zaznaczone na rysunku 5 są miejscami obserwacji mikrostruktury.



**Rys. 5.** Makrostruktura złącza spawanego szyny podsuwnicowej  
**Fig. 5.** Macrostructure of welded joint of bridge rail



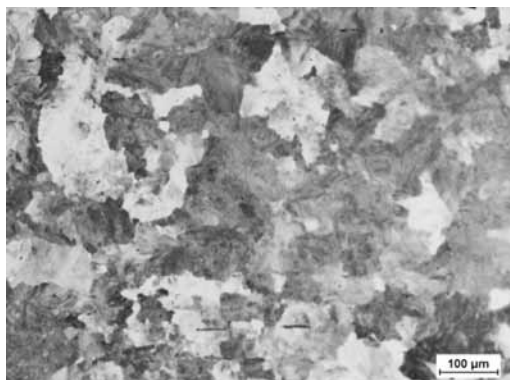
**Rys. 6.** Makrostruktura złącza spawanego szyny  
**Fig. 6.** Macrostructure of welded joint of bridge rail



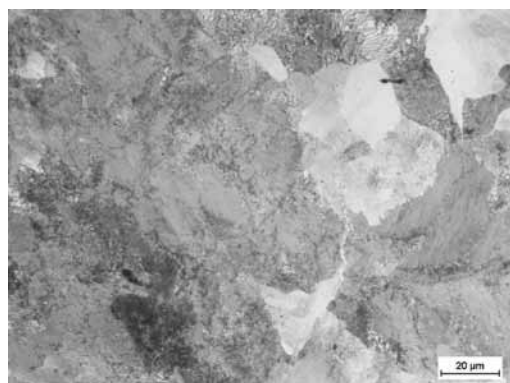
**Rys. 7.** Makrostruktura złącza spawanego szyny  
**Fig. 7.** Macrostructure of welded joint of bridge rail

Obserwacje mikrostruktury prowadzone były w punktach 1÷5, A÷E, a÷c oraz MR1 i MR2 wyszczególnionych na rysunku 5.

Na rysunkach 8 i 9 przedstawiona została mikrostruktura materiału rodzimego przy różnych powiększeniach.

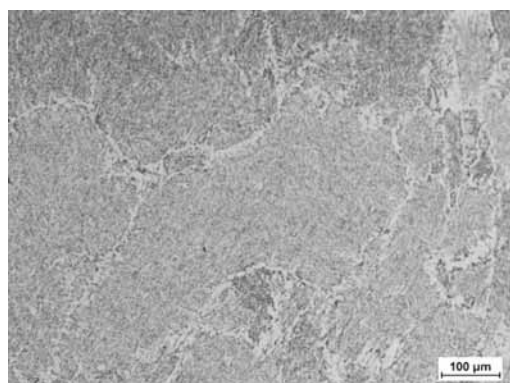


**Rys. 8.** Mikrostruktura materiału rodzimego  
**Fig. 8.** Microstructure of base material

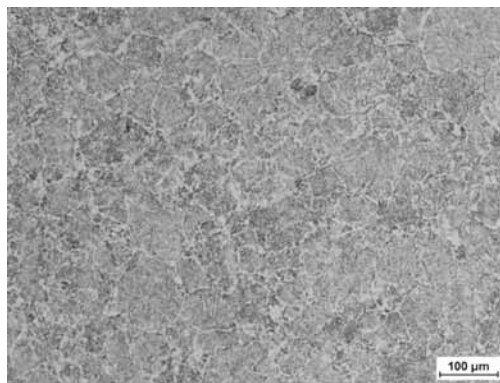


**Rys. 9.** Mikrostruktura materiału rodzimego  
**Fig. 9.** Microstructure of base material

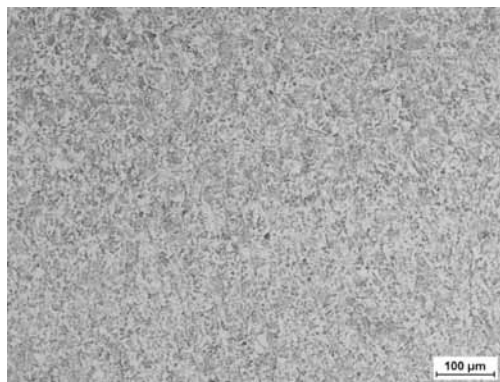
Na rysunkach 10÷14 pokazano mikrostrukturę spoiny z punktów A, B, C, D i E wyszczególnionych na rysunku 5.



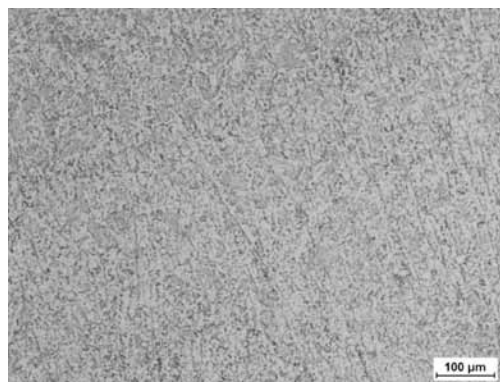
**Rys. 10.** Mikrostruktura spoiny (punkt A na rys. 5)  
**Fig. 10.** Microstructure of joint (point A from fig. 5)



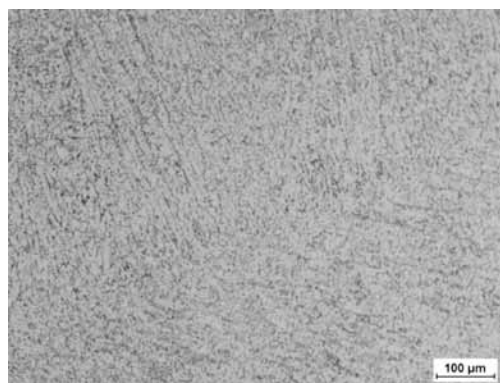
**Rys. 11.** Mikrostruktura spoiny (punkt B na rys. 5)  
**Fig. 11.** Microstructure of joint (point B from fig. 5)



**Rys. 12.** Mikrostruktura spoiny (punkt C na rys. 5)  
**Fig. 12.** Microstructure of joint (point C from fig. 5)

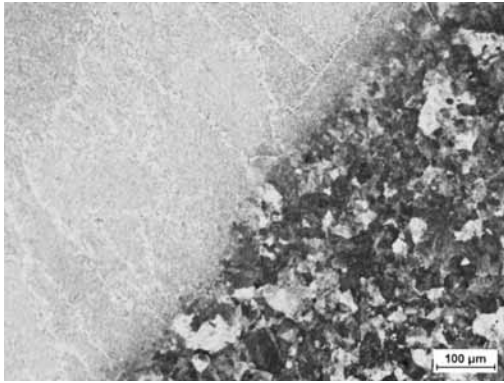


**Rys. 13.** Mikrostruktura spoiny (punkt D na rys. 5)  
**Fig. 13.** Microstructure of joint (point D from fig. 5)

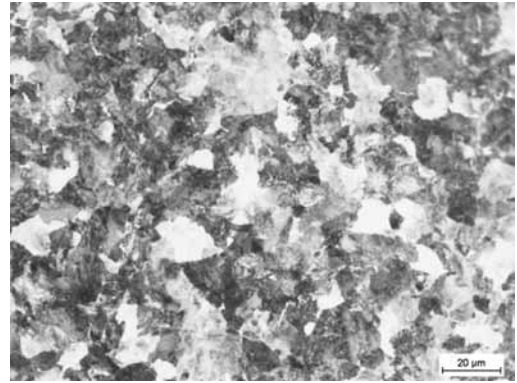


**Rys. 14.** Mikrostruktura spoiny (punkt E na rys. 5)  
**Fig. 14.** Microstructure of joint (point E from fig. 5)

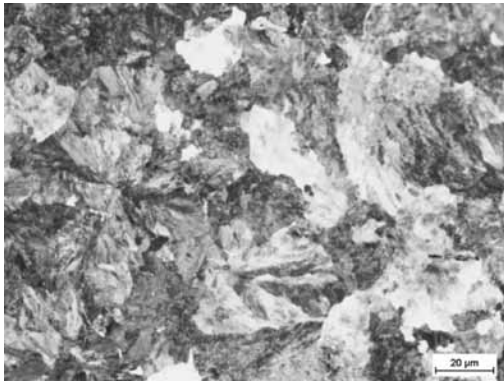
Na rysunkach 15÷20 przedstawiono mikrostrukturę strefy wpływu ciepła. Fotografie wykonywane były w punktach 1÷5 widocznych na rysunku 5.



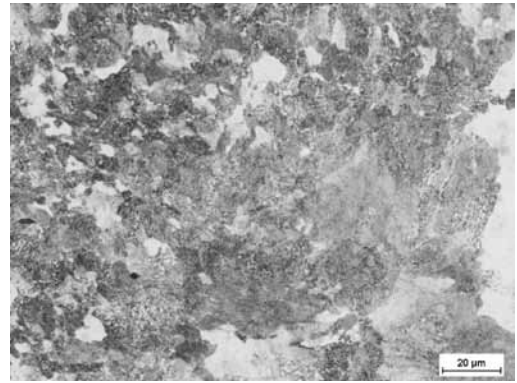
**Rys. 15.** Linia wtopienia (punkt 1 na rys. 5)  
**Fig. 15.** Line of fusion (point 1 from fig. 5)



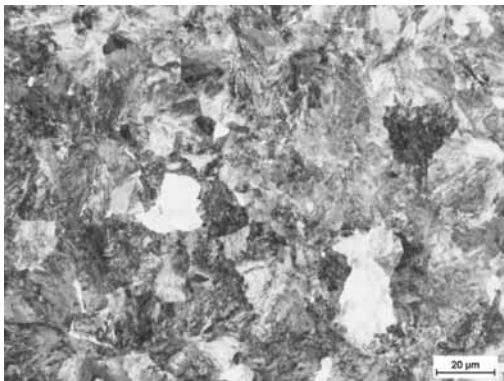
**Rys. 18.** Obszar normalizowania strefy wpływu ciepła (punkt 4 na rys. 5)  
**Fig. 18.** Zone of normalization in the heat-affected zone (point 4 from fig. 5)



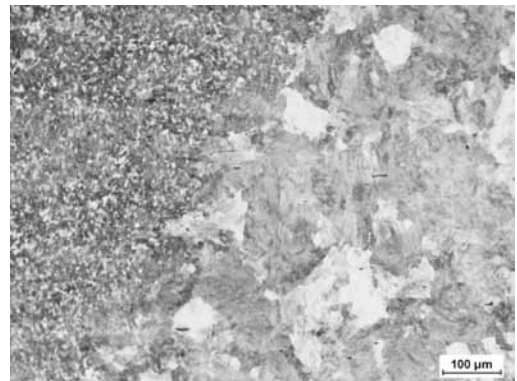
**Rys. 16.** Obszar gruboziarnisty strefy wpływu ciepła (punkt 2 na rys. 5)  
**Fig. 16.** Coarse grain microstructure in the heat-affected zone (point 2 from fig. 5)



**Rys. 19.** Przejście z materiału rodzimego do strefy wpływu ciepła (punkt 5 na rys. 5)  
**Fig. 19.** Boundary between base material and heat-affected zone (point 5 from fig. 5)

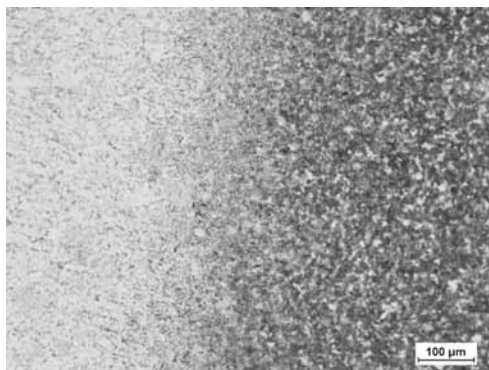


**Rys. 17.** Obszar rozrostu ziarna w strefie wpływu ciepła (punkt 3 na rys. 5)  
**Fig. 17.** Zone of grain growth in the heat-affected zone (point 3 from fig. 5)

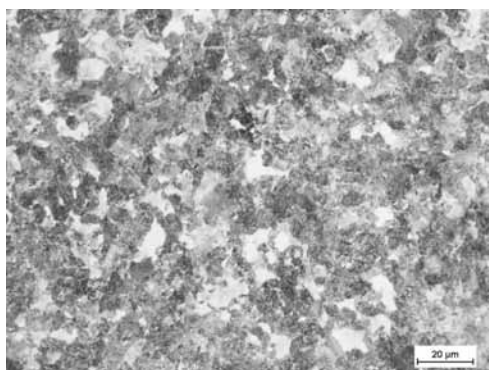


**Rys. 20.** Przejście z materiału rodzimego do strefy wpływu ciepła (punkt 5 na rys. 5)  
**Fig. 20.** Boundary between base material and heat-affected zone (point 5 from fig. 5)

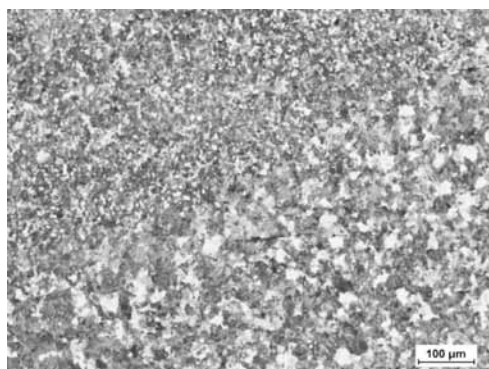
Na rysunkach 21÷23 pokazano mikrostruktury zaobserwowane w punktach a, b, c widocznych na rysunku 5.



Rys. 21. Linia wtopienia (punkt a na rys. 5)  
Fig. 21. Line of fusion (point a from fig. 5)



Rys. 22. Obszar normalizowania strefy wpływu ciepła (punkt b na rys. 5)  
Fig. 22. Zone of normalization in the heat-affected zone (point b from fig. 5)



Rys. 23. Przejście z materiału rodzimego do strefy wpływu ciepła (punkt c na rys. 5)  
Fig. 23. Contrast between base material and heat-affected zone (point c from fig. 5)

## Badania twardości

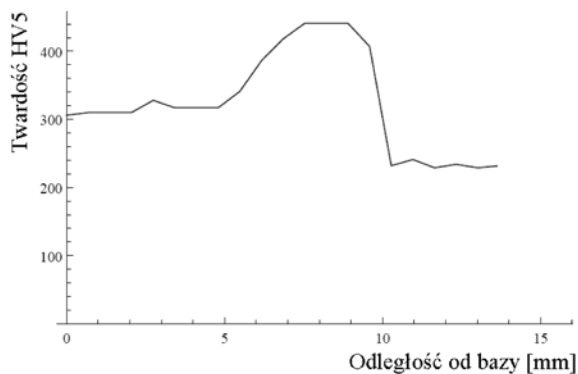
Skutki wpływu cykli cieplnych spawania można zaobserwować pod mikroskopem. Jednak wpływ ciepła przy spawaniu ma zasięg większy aniżeli widoczne zmiany morfologii mikrostruktury. Z tego powodu w celu ustalenia rzeczywistego zasięgu wpływu ciepła przeprowadzono badania twardości.

W tablicach VI i VII zamieszczono wyniki pomiarów twardości.

Tablica VI. Wyniki pomiarów twardości na linii 1  
Table VI. Results of measure of hardness from line 1

| Lp. | Odległość od miejsca wykonania pierwszego pomiaru mm | Długość przekątnej odcisku mm | Twardość HV5 |
|-----|--|-------------------------------|--------------|
| 1   | 0,174  | 306                           | 0            |
| 2   | 0,173  | 310                           | 0,685        |
| 3   | 0,173  | 310                           | 1,37         |
| 4   | 0,173  | 310                           | 2,055        |
| 5   | 0,168  | 328                           | 2,74         |
| 6   | 0,171  | 317                           | 3,425        |
| 7   | 0,171  | 317                           | 4,11         |
| 8   | 0,171  | 317                           | 4,795        |
| 9   | 0,165  | 341                           | 5,48         |
| 10  | 0,155  | 386                           | 6,165        |
| 11  | 0,149  | 418                           | 6,85         |
| 12  | 0,145  | 441                           | 7,535        |
| 13  | 0,145  | 441                           | 8,22         |
| 14  | 0,145  | 441                           | 8,905        |
| 15  | 0,151  | 407                           | 9,59         |
| 16  | 0,2  | 232                           | 10,275       |
| 17  | 0,196  | 241                           | 10,96        |
| 18  | 0,201  | 229                           | 11,645       |
| 19  | 0,199  | 234                           | 12,33        |
| 20  | 0,201  | 229                           | 13,015       |
| 21  | 0,2  | 232                           | 13,7         |

Na rysunku 24 przedstawiono wykres twardości mikrostruktury złącza spawanego na linii 1 w zależności od odległości od miejsca wykonania pierwszego pomiaru.

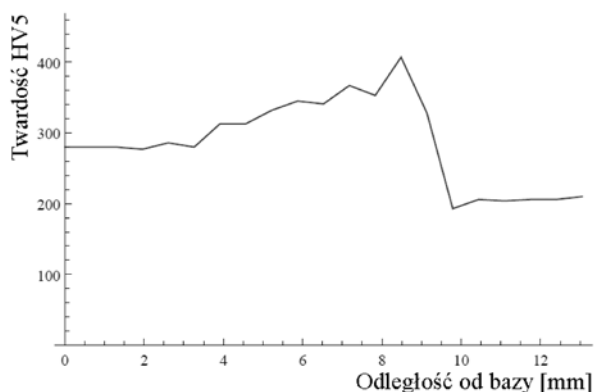


Rys. 24. Wykres twardości złącza spawanego w zależności od odległości od miejsca wykonania pierwszego pomiaru na linii 1  
Fig. 24. Graph of hardness of welded joint depending on the point of the distance from the first measurement on the line 1

**Tablica VII.** Wyniki pomiarów twardości na linii 2  
**Table VII.** Results of measure of hardness from line 2

| Lp. | Odległość od miejsca wykonania pierwszego pomiaru, mm | Długość przekątnej odcisku, mm | Twardość HV5 |
|-----|---|--------------------------------|--------------|
| 1   | 0   | 0,182                          | 280          |
| 2   | 0,6525  | 0,182                          | 280          |
| 3   | 1,305   | 0,182                          | 280          |
| 4   | 1,9575  | 0,183                          | 277          |
| 5   | 2,61  | 0,18                           | 286          |
| 6   | 3,2625  | 0,182                          | 280          |
| 7   | 3,915   | 0,172                          | 313          |
| 8   | 4,5675  | 0,172                          | 313          |
| 9   | 5,22  | 0,167                          | 332          |
| 10  | 5,8725  | 0,164                          | 345          |
| 11  | 6,525   | 0,165                          | 341          |
| 12  | 7,1775  | 0,159                          | 367          |
| 13  | 7,83  | 0,162                          | 353          |
| 14  | 8,4825  | 0,151                          | 407          |
| 15  | 9,135   | 0,168                          | 328          |
| 16  | 9,7875  | 0,219                          | 193          |
| 17  | 10,44   | 0,212                          | 206          |
| 18  | 11,0925   | 0,213                          | 204          |
| 19  | 11,745  | 0,212                          | 206          |
| 20  | 12,3975   | 0,212                          | 206          |
| 21  | 13,05   | 0,21                           | 210          |

Na rysunku 25 przedstawiono wykres twardości mikrostruktury złącza spawanego na linii 2 w zależności od odległości od miejsca wykonania pierwszego pomiaru.



**Rys. 25.** Wykres twardości złącza spawanego w zależności od odległości od miejsca wykonania pierwszego pomiaru na linii 2

**Fig. 25.** Graph of hardness of welded joint depending on the point of the distance from the first measurement on the line 2

## Analiza wyników

Po ujawnieniu mikrostruktury na przygotowanej do badań próbce stwierdzono w materiale rodzimym obszar o wyraźnie zmienionej mikrostrukturze. Obszar ten (strefa wpływu ciepła) ma szerokość ok. 4 mm. Wielkość ta została potwierdzona przez wykonanie badań twardości – w strefie wpływu ciepła z powodu zmian mikrostruktury można obserwować wzrost twardości. Znaczne rozszerzenie SWC występuje jedynie w przypadku zmiany kierunku przebiegu linii wtopienia.

Materiał rodzimy miał strukturę charakterystyczną dla stali o zawartości ok. 0,7% C, a więc perlityczną – ferrytyczną ze znaczną przewagą udziału perlitu. W celu określenia jak znaczna była przewaga perlitu dokonano odpowiednich obliczeń. Zgodnie z atestem zawartość węgla w materiale rodzimym to 0,72%. Informacja ta była przydatna do obliczenia procentowego udziału perlitu w mikrostrukturze spawanej stali. Obliczenia wykonane zostały według następującego równania:

$$0,72\% = \frac{\%P \cdot 0,77\% + (1 - \%P) \cdot 0,008\%}{100\%}$$

gdzie:

%P – zawartość perlitu w mikrostrukturze stali 900A,  
 0,72% – procentowa zawartość węgla w stali 900A,  
 0,008% – rozpuszczalność węgla w ferrycie w temperaturze 20 °C.

Po dokonaniu obliczeń okazało się, że procentowa zawartość perlitu w mikrostrukturze materiału podstawowego to ok. 93%. Stwierdzono, że w materiale rodzimym wielkość ziarn ferrytu to 20÷150 μm, a wielkość ziarn perlitu (kolonii perlitu) wynosi 200÷500 μm.

Obserwacje mikroskopowe spoiny pozwoliły zaobserwować mikrostrukturę ferrytyczną we wszystkich punktach obserwacji, gdyż używany był ten sam materiał dodatkowy. Można było obserwować jednak różnice. Na rysunkach przedstawiających mikrostrukturę w górnych punktach na rysunku 5 widać duże kryształy, a na kolejnych fotografiach (w dolnych punktach) coraz mniejsze. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest to, że układanie kolejnych warstw spoiny działało na poprzednie warstwy niczym obróbka cieplna i rozdrabniało ziarna. Mikrostruktura spoiny miała budowę komórkowo – dendrytyczną.

Na linii przechodzącej przez punkty 1÷5 widoczne na rysunku 5 zaobserwowano obszar gruboziarnisty oraz obszar drobnoziarnisty. Wraz ze wzrostem temperatury zwiększa się stopień przegrzania austenitu i następuje rozrost jego ziarn. Przylegający do spoiny obszar strefy wpływu ciepła, który został nagrany do najwyższej temperatury – obszar gruboziarnisty – ma największe utwardzenie, największą podatność na zimne pęknięcie oraz najmniejszą udarność [2].

Na linii tworzonej przez punkty a+c widoczne na rysunku 5 zaobserwowano jedynie obszar normalizowany. Przyczyną tego, że na wspomnianej linii a+c wystąpił jedynie obszar normalizowany jest to, że układanie coraz to nowych warstw sprawiło, iż linia ta była coraz dalej od źródła ciepła, jakim był łuk elektryczny. W końcu była ona na tyle daleko, że chłodzenie w miejscu jej występowania przestało być charakterystyczne dla procesu spawania – przestało być gwałtowne jak w punktach znajdujących się blisko działania łuku

elektrycznego – stało się na tyle powolne, że przypominało bardziej przyspieszone chłodzenie na powietrzu, jak w przypadku wyżarzania normalizującego. Temperatura, jaka oddziaływała na tej linii na materiał, miała w momencie układania wyższych warstw wartość ok. 850 °C. Była to więc temperatura, do jakiej należy nagrzać stal o zawartości węgla 0,72% C, by uzyskać strukturę austenitu. Odpowiednia temperatura oraz odpowiednia prędkość chłodzenia sprawiły, że na linii a+ c wystąpił jedynie obszar normalizowany.

## Podsumowanie

Szyny są przykładem elementów, w których po wykonaniu złącza spawanego można obserwować – z powodu dużej grubości przekroju poprzecznego – różnice w mikrostrukturze strefy wpływu ciepła i spoiny. Jest tak, ponieważ wykonanie złącza wymaga ułożenia wielu warstw, co wiąże się z wielokrotnym wprowadzaniem ciepła do złącza. Ciepło to oddziałuje wiele razy na wcześniej ułożone warstwy i na materiał podstawowy jak obróbka cieplna. W efekcie w obszarach znajdujących się przy stopce, środku i główce szyny można obserwować ziarna o różnej grubości – przy główce grube, a przy stopce i środku drobne. W związku z tymi różnicami można się spodziewać różnych właściwości mechanicznych w różnych częściach szyny – w szczególności różnych wartości udarności.

Różnice w mikrostrukturze są karbami niekorzystnymi szczególnie przy obciążeniach dynamicznych. Nie ma to większego znaczenia w przypadku szyn podsuwnicowych, w których nie występują duże obciążenia udarowe. Występują one jednak w przypadku szyn kolejowych. Tam istnienie karbów ma duże znaczenie. Ponadto spawanie łukowe ręczne elektrodą otuloną ma dużo mniejszą wydajność niż inne metody używane do nierozłącznego łączenia szyn. Można więc stwierdzić, że metoda 111 może być stosowana do spawania krótkich odcinków szyn np. w zakładach przemysłowych na własne potrzeby. Z różnych przyczyn, zarówno technicznych, technologicznych, jak i ekonomicznych nie powinna być stosowana na dużą skalę do spawania szyn kolejowych.

### Podziękowania

*Dziękuję mojemu ojcu – dr. inż. Kazimierzowi Bolanowskiemu za wsparcie oraz wskazówki dotyczące formy artykułu. Dziękuję także dr. inż. Wojciechowi Depczyńskiemu, który uczył mnie obsługi urządzeń niezbędnych do przeprowadzenia badań i dr. inż. Andrzejowi Skrzypczykowi za krytykę, która była impulsem do pisania publikacji.*

## Literatura

- [1] Wielgosz R.: Łączenie bezстыkowych szyn kolejowych, „Mechanika, czasopismo techniczne”, Wyd. Politechniki Krakowskiej, 2009 nr 6.
- [2] Brózda J., Pilarczyk J., Zeman M.: Spawalnicze wykresy przemian austenitu CTPc-S, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1983.
- [3] Przybyłowicz K.: Metaloznawstwo, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 2007.