

III Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna
SPAŁNICTWO DRÓG SZYNOWYCH

oraz

MATERIAŁY, WYKONAWSTWO, ODBIORY

Warszawa - Bochnia, 21-23 marca 2007r.

PROBLEMY JAKOŚCI POŁĄCZEŃ ZGRZEWANYCH ROZJAZDÓW KOLEJOWYCH

Edmund TAsAK*, Zbigniew ŻUREK**, Gabriela HENEL***

STRESZCZENIE. W referacie przedstawiono problemy występujące w procesie zgrzewania rozjazdów kolejowych. Wykazano, że przyczyną nadmiernej kruchości staliwa manganowego jest nie tylko niewłaściwa obróbka cieplna, ale i sposób przeprowadzenia prób. Zaproponowano zmianę sposobu odbioru odlewów manganowych. Wyjaśniono przyczynę nadmiernej kruchości połączeń zgrzewanych odkuwki dzioba z szynami dziobowymi. Zbadano własności połączenia zgrzewanego po zmianie sposobu wstępnego spawania. Wykazano, że tak wykonane połączenie zgrzewane ma wytrzymałość porównywalną z wytrzymałością materiału odkuwki. W procesie łączenia staliwa manganowego z szyną ze stali węglowej konieczne jest wykonanie warstwy buforowej ze stali austenitycznej. Jakość połączenia zgrzewanego zależy, więc istotnie od jakości wykonania warstwy buforowej. Ustalono przyczynę pęknięcia złącza zgrzewanego w próbie prostowania.

QUALITY PROBLEMS OF WELDED JOINTS IN THE RAILWAY CROSSOVERS

ABSTRACT: This paper deals with problems occurring during resistance butt welding of railway crossovers. It was proved, that brittleness of manganese cast steel is affected by wrong heat treatment and type of testing of mechanical properties of joints. A new procedure for manganese cast steel acceptance was suggested. A reason for excessive brittleness of the pressure welded forging frog point with rail was explained. Mechanical properties of the joint after modification of initial welding process were examined. A strength of the joint after this modification was similar to strength of the forging material. During welding it is necessary to prepare a buffer layer

* Prof. dr hab. inż. Edmund TAsAK, Akademia Górniczo Hutnicza Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej,

** mgr inż. Zbigniew ŻUREK, Akademia Górniczo Hutnicza Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej,

*** mgr inż. Gabriela HENEL, KolTram Sp z o.o. Zawadzkie

made of austenitic steel during joining of the manganese cast steel with carbon steel. Therefore a quality of the joint strongly depends on a quality of buffer layer quality. A reason for cracking of the resistance butt welding during straightening process was established.

1. PĘKANIE POŁĄCZEŃ ZGRZEWANYCH W PROCESIE EKSPLOATACJI LUB PROSTOWANIA

W praktyce zdarzają się przypadki wystąpienia pęknięć w rozjazdach zgrzewanych. Pęknięcia mogą wystąpić już na etapie produkcji jak i w czasie eksploatacji. Przykład pęknięć pokazano na rysunkach 1 i 2. Na rysunkach widać, że pęknięcie rozwija się tylko w szyjce jednej szyny. Pęknięcie zostaje zatrzymane na spoinach (rys. 2), gdyż szyny przed zgrzewaniem z dziobem kutym były ze sobą łączone spoinami ułożonymi na główce i stopce szyny. Miejsce ułożenia spoin pokazano na rysunku 3 (wersja 1).

Podobny charakter miało pęknięcie rozjazdu nr 2. Pęknięcie to rozwinęło się jednak również w główce i stopce szyny. Przeprowadzone badania makroskopowe wykazały, że pęknięcie miało charakter kruchy i zarodkowało w szyjce szyny, w obszarze przekroju A zaznaczonego na rysunku 4. Wskazuje na to kierunek uskoków na powierzchni pęknięcia. Pęknięcie kruche rozwijające się bardzo szybko zostało początkowo wyhamowane w główce i stopce szyny. Jednak w drugim etapie pęknięcie rozwinęło się również w główce i stopce jednej szyny. Z porównania miejsca zarodkowania i charakteru rozwoju tych pęknięć wynika, że mechanizm pęknięcia obu rozjazdów jest taki sam. Podobny mechanizm pęknięcia zaobserwowano w dziobie (rys. 5). Aby wyjaśnić przyczynę pęknięcia wykonano zgląd metalograficzny w płaszczyźnie A zaznaczonej na rysunku 4. Płaszczyzna ta przecinała najbardziej prawdopodobne miejsce rozpoczęcia pęknięcia. Rysunek 6 przedstawia po złożeniu szynę 1 i 2 zgrzaną z odkuwką dziobu. Na rysunku widać, że pęknięcie rozwija się tuż obok linii zgrzania. Charakterystycznym elementem makrostruktury jest zapłygnięcie szyny 2 w kierunku szyny 1. Świadczy to o nierównomiernym płynięciu materiału szyn w procesie spęczania przy zgrzewaniu. Można więc postawić tezę, że szyna nr 2 była bardziej plastyczna od szyny nr 1 i „popłynęła” w obydwie strony podczas spęczania. Możliwe zatem było powstanie przyklejenia w miejscu zaokrąglenia szyny zaznaczonym strzałką na rysunku 6. Badania mikroskopowe wykazały wyraźne boczne odkształcenie szyny nr 1. Szczegółowa analiza mikrostruktury szyny nr 2 w miejscu zaokrąglenia przedstawionego na rysunku 6 wskazuje, że pęknięcie rozpoczęło się na linii zgrzania między szynami. Zaznaczono ją na rysunku 7 linią przerywaną. Linia ta przebiega praktycznie pod kątem 45° w stosunku do linii zgrzania odkuwki do szyn. Ponieważ między szynami nie ma wyiskrzania podczas zgrzewania, zanieczyszczenia powierzchniowe pozostają w zgrzeinie.

Aby zminimalizować możliwość nierównomiernego płynięcia w czasie zgrzewania oraz ścinanie spoiny łączącej w czasie eksploatacji, zmieniono spo-

sób łączenia szyn przed procesem zgrzewania. Sposób łączenia w wersji 2 pokazano na rysunku 3. Aby ocenić jakość wykonanego połączenia przeprowadzone zostały następujące badania:

- pomiary twardości w główce szyny (po usunięciu warstwy ok. 4 mm)
- rozkłady twardości poprzez złącze zgrzewane i spoinę,
- badania mikroskopowe,
- badania własności wytrzymałościowych złącza.

Pomiaru twardości dokonano na główce szyny w obszarze złącza po zeszlifowaniu warstwy o grubości około 4 mm. Na tak przygotowanym i wytrawionym zglądzie dokonano pomiarów twardości aparatem Vickersa przy obciążeniu 293 N. Mapę rozkładu twardości przedstawiono na rysunku 8. Na rysunku tym zaznaczono również linie AB i CD wzdłuż, których zmierzono rozkład twardości poprzez złącze. Przedstawione na rysunku dane wskazują, że w obszarze zgrzeiny twardość wynosi około 300HV a w materiale szyn obniża się do około 260HV. Twardość odkuwki jest nieco mniejsza i poza strefą zgrzeiny wynosi 250÷260HV.

Pomiary twardości poprzez zgrzeinę wzdłuż linii AB (rys. 9) wykazały, że w zgrzeinie twardość wynosi około 255HV5 i jest tego samego rzędu co twardość w materiale szyny i odkuwki. Twardość spoiny wynosiła 190÷200 HV5. Mikrostruktura przedstawiona na rysunku 10 wskazuje, że spoina zawiera około 40% ferrytu, co odpowiada 0,5%C. Cienka warstwa struktury ferrytyczno-perlitycznej na linii zgrzania jest wynikiem „rozpływania” się metalu spoiny po linii zgrzania szyny do odkuwki. Tak więc podwyższona zawartość ferrytu w linii zgrzania jest wynikiem „rozpływania” się miękkiego materiału spoiny po linii zgrzania w procesie spęczania.

Aby wyjaśnić czy podwyższona zawartość ferrytu w linii zgrzania nie obniżyła własności wytrzymałościowych złącza, z główki wykonano dwie próbki wytrzymałościowe. Obydwie próbki pękły poza strefą zgrzewania w materiale odkuwki. Uzyskano następujące wyniki: $R_m=984$ MPa, 984 MPa, $R_{0,2} = 527$ MPa, 552 MPa, $A_5= 7,9\%$, 6,2%. Ponieważ próbki pękły poza strefą zgrzeiny, uzyskane własności są własnościami materiału odkuwki i wskazują, że złącze zgrzewane posiada wyższe własności niż materiał odkuwki. Tak więc obecność podwyższonej zawartości ferrytu w linii zgrzania nie obniża własności wytrzymałościowych złącza.

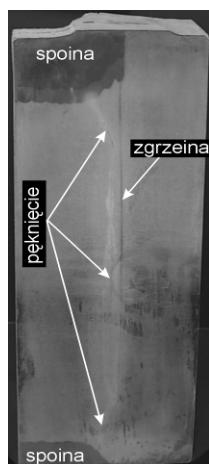
Wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały, że w analizowanych przypadkach pęknięcie w obszarze zgrzeiny kutego dzioba do szyn rozpoczyna się w szyjce szyn i rozwija się w strefie wpływu ciepła bardzo blisko zgrzeiny. W zgrzeinie pęknięcie nie rozwija się z uwagi na bardziej plastyczny materiał zgrzeiny, który w wyniku odwęglenia zawiera pewną niewielką ilość ferrytu. W ocenie mikroskopowej zawartość węgla w zgrzeinie wynosi około 0,65%.

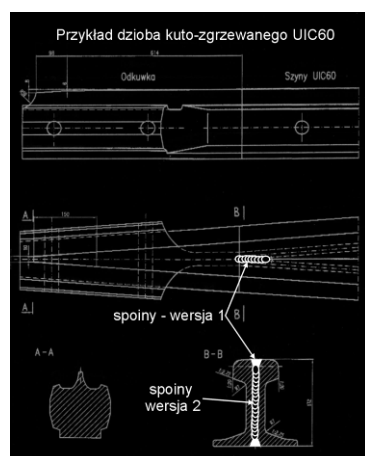
2. Analiza mikroskopowa wskazuje, że występuje nierównomierne płynięcie materiału obydwu szyn w procesie spęczania. Charakter płynięcia sugeruje, że jedna szyna jest bardziej plastyczna i występuje jej płynięcie w obydwie strony, wzdłuż powierzchni zgrzewania. Taki sposób płynięcia materiału utrudnia właściwe połączenie drugiej szyny z odkuwką. Przyczyną różnej plastyczności szyn może być różna temperatura w miejscu zgrzewania, co może być wynikiem nierównego styku główek szyn ze szczękami zgrzewarki.
3. W obszarze zgrzeiny między szynami spotyka się znaczną ilość wtrąceń usytuowanych w linii zgrzania. Przedstawione czynniki mogą powodować znaczne osłabienie styku między szynami. Obecność naprężeń wynikających z nierównomiernego chłodzenia główki i szyjki szyny może powodować powstanie zarodka pęknięcia. Dalsze nieznaczne odkształcenie, nawet w procesie transportu czy prostowania, może powodować powstanie pęknięć na całą szerokość połączenia. Możliwe jest również pozostawienie mikro-pęknięcia w gotowym wyrobie. Konsekwencją tego jest pęknięcie rozjazdu w podczas przejazdu pierwszych pociągów.
4. Obecności ewentualnych pęknięć nie da się wykryć metodami nieniszczącymi ze względu na ich lokalizację na styku szyn.
5. Przeprowadzone badania wykazały, że spawanie szyn dziobowych w płaszczyźnie czołowej (zgrzewania) przed zgrzewaniem ich z kutym dziobem zapewnia dobrą jakość zgrzeiny. Tak pospawane szyny w procesie spęczania równomiernie przemieszczają się, nie powodują zgrzewania szyn między sobą i zapobiegają „zapływaniu” jednej szyny za drugą.



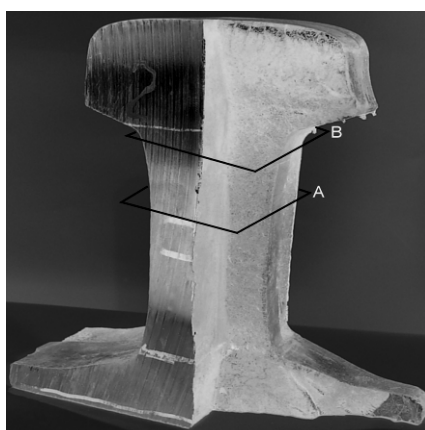
Rys. 1. Wygląd pękniętego rozjazdu. Pęknięcie rozwija się tylko w szyjce



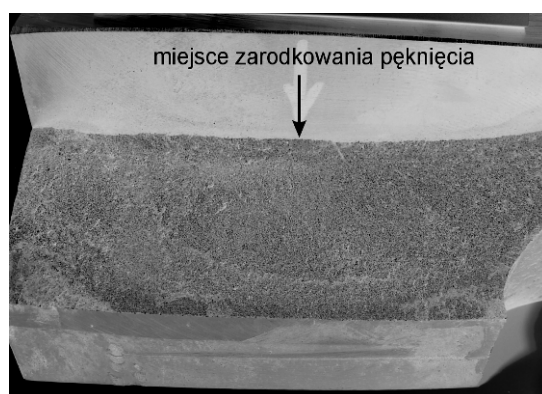
Rys. 2. Przekrój wzdłużny pękniętego rozjazdu. Pęknięcie rozwija się tylko w szyjce



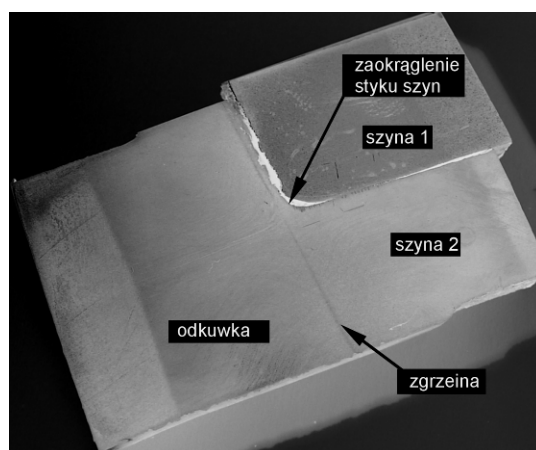
Rys. 3. Sposoby łączenia szyn przed procesem zgrzewania



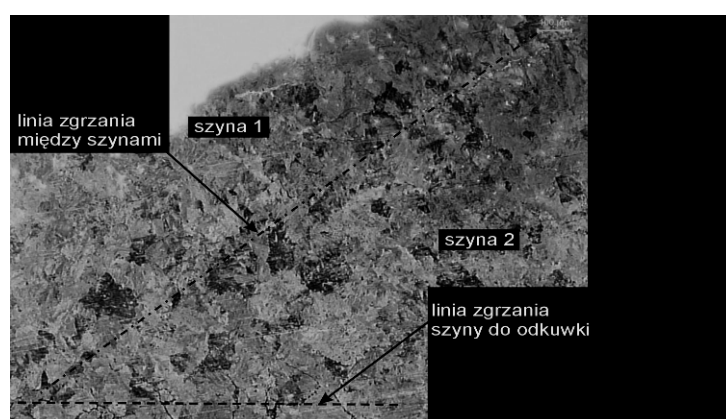
Rys. 4. Pęknięty rozjazd nr 2. Widoczne pierwotne pęknięcia szyjki szyny



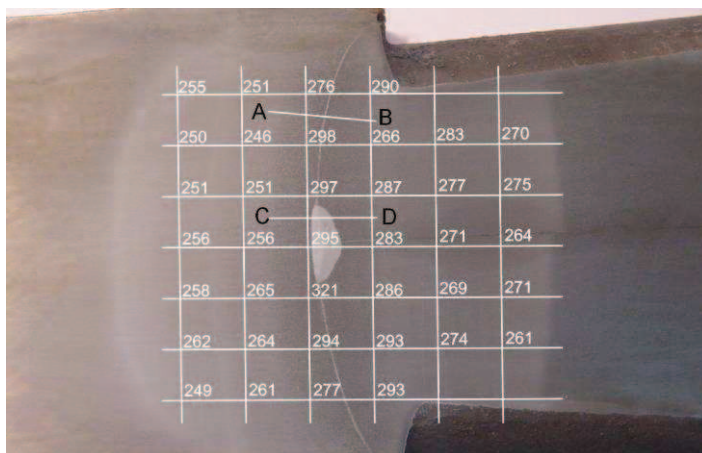
Rys. 5. Wygląd powierzchni przelomu odłamanej części dzioba rozjazdu. Strzałką zaznaczono miejsce rozpoczęcia pęknięcia



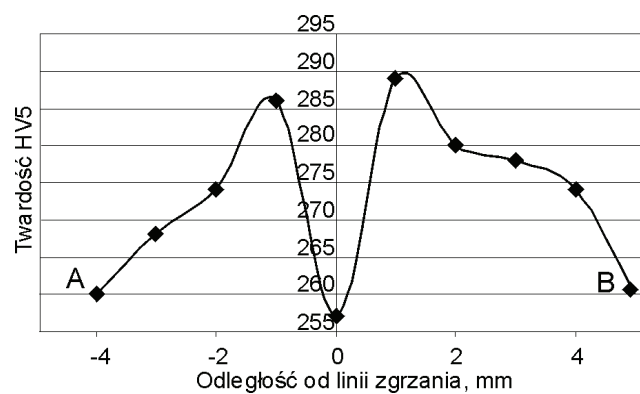
Rys. 6. Przekrój poprzeczny rozjazdu w płaszczyźnie A zaznaczonej na rysunku 4



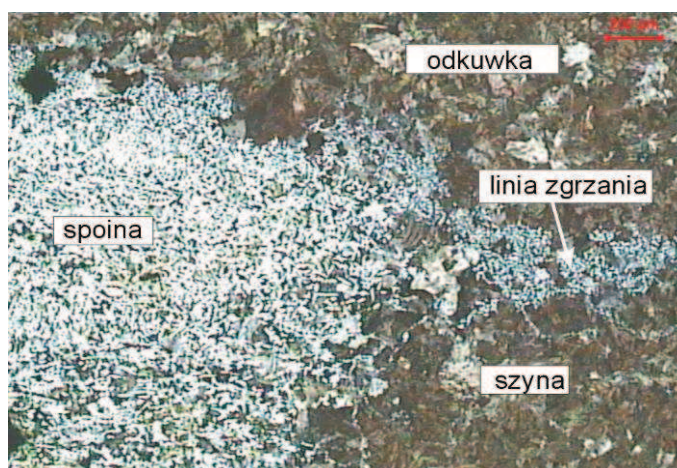
Rys. 7. Mikrostruktura w obszarze zgrzania szyn do odkuwki. Widoczne boczne płynięcie szyny 2



Rys. 8. Makrostruktura połączenia zgrzewanego z mapą twardości



Rys. 9. Rozkład twardości wzdłuż linii AB



Rys. 10. Struktura spoiny łączącej szyny w obszarze zgrzania do odkuwki. Widoczne „wyciskanie” metalu spoiny po linii zgrzania

2. WADY POWSTAJĄCE W PROCESIE WYTWARZANIA ROZJAZDÓW ZE STALIWA WYSOKOMANGANOWEGO

Połączenie stali szynowej ze staliwem wysokomanganowym wykonuje się z przekładką stopiwa ze stali austenitycznej. Po zgrzaniu w czasie prostowania połączenia zgrzewanego szyny ze stali 900A z dziobem ze staliwa wysokomanganowego występują niekiedy przypadki pęknięcia połączenia. Pęknięcia występują po stronie stali szynowej. W celu wyjaśnienia przyczyn pęknięcia przeprowadzono szczegółowe badania makroskopowe i mikroskopowe. Badania penetracyjne wykazały, że pęknięcia występują zarówno w materiale napoiny austenitycznej jak i w obszarze szyny ze stali 900A. Analiza struktur potwierdziła obecność pęknięć i zażużeń. Rysunki 11, 12 i 13 przedstawiają obszar w pobliżu linii wtopienia napoiny austenitycznej z widocznymi wadami w postaci zażużeń, pęknięć i przyklejeń. Powstające w spoinie pęknięcia są pęknięciami gorącymi i przenoszą się ze spoiny do strefy wpływu ciepła.

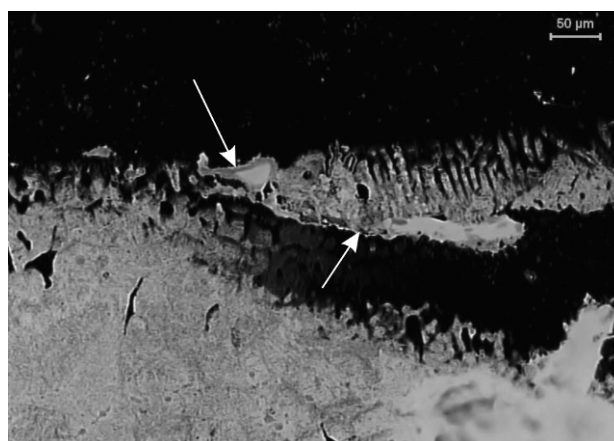
W czasie opracowywania technologii napawania szyny ze stali 900A zastosowano podkładki miedziane w celu zabezpieczenia boków nakładanej warstwy przed spływaniem stopiwa. Okazało się, że jakość połączenia zgrzewanego była niezadowalająca. W próbie zginania połączenia pękały. Badania mikroskopowe wykazały, że przyczyną pęknięcia są pęknięcia gorące (rys. 15) spowodowane nadtopieniem się podkładki miedzianej i dostaniem się miedzi do spoiny.

Wnioski

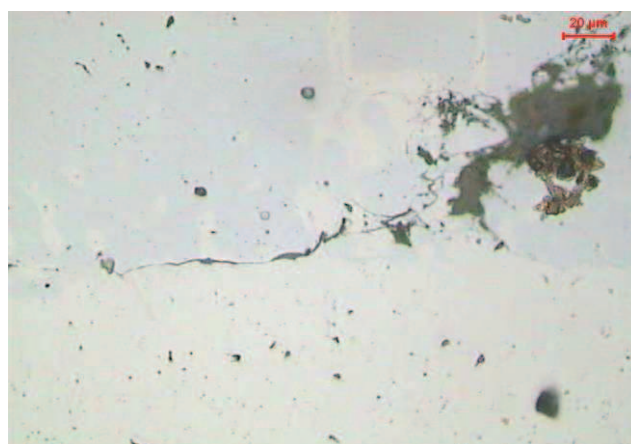
1. Przeprowadzone badania wykazały, że bezpośrednią przyczyną pęknięcia w czasie prostowania połączenia zgrzewanego szyny ze stali 900A z dziobem ze staliwa wysokomanganowego jest niewłaściwa jakość napawanej przekładki ze stali austenitycznej. W wykonanej napoinie stwierdzono liczne wady w postaci zażużeń, porów i przyklejeń. Z istniejących wad w procesie krzepnięcia rozwijają się pęknięcia gorące, które dochodzą do linii wtopienia i dalej do strefy wpływu ciepła materiału szyny. Obecność tych wad nie gwarantuje dobrej jakości połączenia zgrzewanego. Jedynym sposobem uniknięcia problemu pęknięcia jest poprawne wykonanie napoiny ze stali austenitycznej na stali szynowej 900A.
2. W procesie napawania przekładki ze stali austenitycznej niedopuszczalne jest stosowanie podkładki miedzianej. Przypadkowe nadtopienie podkładki i dostanie się miedzi do spoiny wywołuje pęknięcie na gorąco. Pęknięcia te rozwijają się do strefy wpływu ciepła stali szynowej powodując pęknięcie złącza.



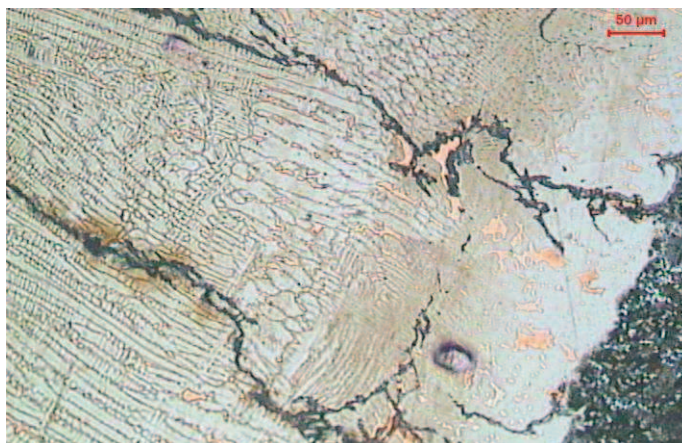
Rys. 11. Rozkład twardości wzdłuż linii AB



Rys. 12. Struktura spoiny łączącej szyny w obszarze zgrzania do odkuwki.
Widoczne „wyciskanie” metalu spoiny po linii zgrzania



Rys. 13. Pęknięcia gorące rozwijające się z zażużlenia.



Rys. 14. Pęknięcie gorące w obszarze przetopienia podkładki miedzianej

3. KRYTERIA OCENY WŁASNOŚCI STALIWA MANGANOWEGO

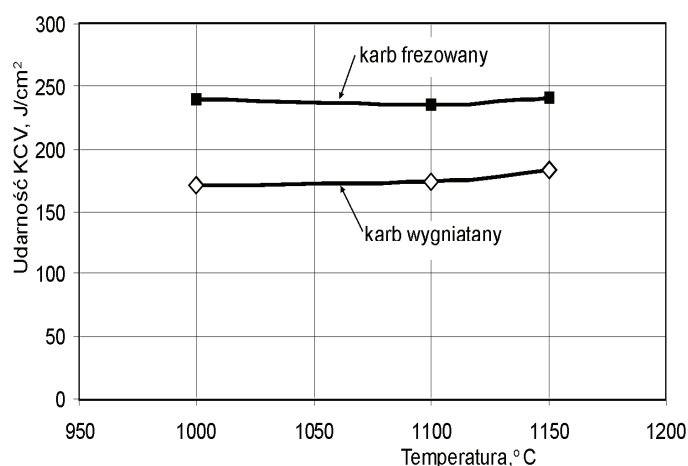
Jednym z kryteriów odbioru staliwa wysokomanganowego na rozjazd kolejowy jest próba udarowego łamania zgodnie z kodeksem IUC 886V. Próba polega na udarowym łamaniu odlanej próbki o wymiarach 30x30x200mm. Na próbkach wykonuje się karb o promieniu $r=1,5\text{mm}$ i głębokości $t=1,5\text{mm}$ metodą wyciskania na prasie. Próbkę układa się na podporach ustawionych w odległości 150mm i łamie się na młocie spadowym. Próbki muszą wytrzymać trzy kolejne uderzenia swobodnie spadającego z wysokości 3m bijaka o masie 50 kg. Głębokość powstałych pęknięć na łamanej próbce nie może przekroczyć 7 mm. Warunki te muszą być spełnione dla dwóch próbek z danego odlewu. Ponieważ występowały niekiedy problemy ze spełnieniem tego warunku podjęto badania w celu wyjaśnienia niskich własności plastycznych odlewów.

Podstawowymi czynnikami decydującymi o własnościach plastycznych odlewów manganowych jest jakość odlewu (brak porowatości) oraz właściwie przeprowadzona obróbka cieplna czyli przesycanie z temperatury około 1100°C i dostateczne szybkie chłodzenie aby uniemożliwić wydzielanie węglików. Obecność węglików wydzielonych po granicach ziaren znacznie obniża własności plastyczne, co wykazano w referacie na poprzednim spotkaniu w Zakopanem [1]. Przedstawiona próba miała więc służyć ocenie prawidłowości przeprowadzonej obróbki cieplnej. Ponieważ pękały również próbki w którym była właściwie przeprowadzona obróbka cieplna a odlewy nie zawierały porowatości, przeprowadzono szczegółową analizę zmian struktury pod wygniatanym karbem oraz porównawcze badania udarności próbek z karbem wyciskany i karbem nacinany. Na próbkach przesyconych z różnych temperatur w zakresie 1050 do 1150°C i chłodzonych w wodzie i na powietrzu nacinano karby V. Takie same karby V wyciskano na prasie. Próbki następnie łamano w temperaturze otoczenia. Wyniki badań udarności przedstawiono na rysunku 15. Z danych na rysunku

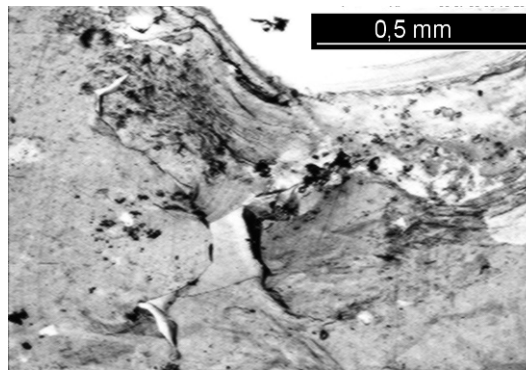
wynika wyraźnie, że próbki z karbem wygniatym mają wyraźnie niższą udarność. Aby wyjaśnić przyczynę tych różnic dno karbu poddano analizie na mikroskopie elektronowym skaningowym. Analiza wykazała, że w procesie wykonywania karbu przez nagniatanie następuje pękanie stali w miejscu nagniatania (rys. 16). Są więc gotowe zarodki pęknięć od których rozwija się pęknięcie w próbie udarowego łamania (rys. 17, 18). Na próbkach z karbem nacinanym takich pęknięć na dnie karbu i pod dnem nie obserwuje się. Drugim czynnikiem obniżającym udarność na próbkach z karbem wygniatym jest przemiana fazowa jaka zachodzi pod narzędziem w procesie wyciskania karbu. Badania rentgenowskie wykazały znaczny postęp przemiany austenitu w martenzyt. Przemiana ta podnosi twardość i znacznie obniża własności plastyczne.

Wnioski

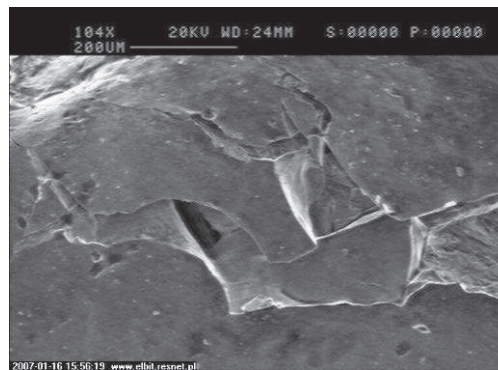
1. Przyczyną niskich własności plastycznych w próbie udarowego łamania i nie spełnienia wymagań podanych w przepisach kodeksu IUC 886V są:
 - niewłaściwa obróbka cieplna i występowanie węglików po granicach ziaren,
 - wady odlewnicze w postaci porów pustek,
 - zmiany struktury i pękanie stali w procesie wytwarzania karbu.
2. Przy poprawnej obróbce cieplnej i braku wad odlewniczych jedyną przyczyną nie spełnienia wymagań jest uszkodzenie materiału pod karbem w procesie jego wytwarzania. Aby tego uniknąć proponuje się zmianę sposobu przygotowania karbów. Karb może być wykonany już w procesie odlewania, względnie nacięty metodą szlifowania lub frezowania. Innym rozwiązaniem może być próba udarności na próbkach z karbem U lub V.



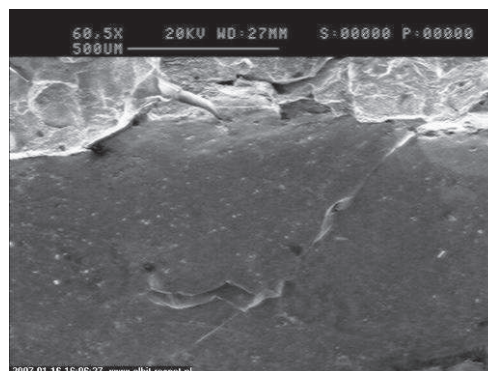
Rys. 15. Wpływ temperatury przesycania i sposobu wykonania karbu na udarność próbek z karbem V. Chłodzenie na powietrzu



Rys. 16. Pękanie stali pod dnem karbu w czasie jego wyciskania. Próbka chłodzona na powietrzu



Rys. 17. Otwieranie się pęknięć na dnie karbu w czasie próby udarowego łamania. Próbka chłodzona na powietrzu



Rys. 18. Otwieranie się pęknięć na dnie karbu w czasie próby udarowego łamania. Próbka chłodzona w wodzie

LITERATURA

[1]. Tasak E. *Spawalność stali*, wyd. Fotobit Kraków 2002