

Jerzy DZIUBIŃSKI  
Piotr ADAMIEC

## TECHNIKI ŁĄCZENIA SZYN KOLEJOWYCH

**Streszczenie.** Przedstawiono rodzaje szyn kolejowych produkowanych w kraju i za granicą, jak również ich własności mechaniczne. Zaprezentowano również metody łączenia szyn zwykłych, specjalnych i o zwiększonej odporności na zużycie za pomocą zgrzewania iskrowego, spawania termitowego i metodą "railweld".

## METHODS OF RAILWAY JOINING

**Summary.** Different types of rails made in Poland and abroad as well as their mechanical properties have been presented. Methods of joining ordinary rails, special rails and rails of increased resistance by flash welding, thermit welding and "railwed" method have been presented.

### 1. WPROWADZENIE

Koleje na świecie liczą łącznie około 1,4 miliarda kilometrów i obserwuje się tendencję wzrostu szybkości i obciążenia w ruchu kolejowym. Wymaga to łączenia produkowanych w hutach szyn w tory bezстыkowe. Do łączenia, historycznie, stosowano spawanie terminowe, zgrzewanie iskrowe oraz obecnie coraz częściej spawanie łukowe. We wszystkich przypadkach występuje problem spawalności stali szynowych ze względu na bardzo wysoki równoważnik węgla  $C_E$  od 0,8 do 1,0 i ich przynależności do grupy stali bardzo trudnospawalnych.

Większość produkowanych w świecie szyn kolejowych wytwarza się ze stali o strukturze perlitycznej. Zazwyczaj szyny te dzieli się na następujące grupy (rys.1):

- szyny zwykle o wytrzymałości na rozciąganie min. 685 MPa,
- szyny o zwiększonej odporności na zużycie, o wytrzymałości na rozciąganie min. 880 MPa,
- szyny specjalne o podwyższonej wytrzymałości na rozciąganie min. 1080 MPa [[1].

Szyny zwykle i o zwiększonej odporności na zużycie produkuje się ze stali węglowo-manganowej, a ich różną wytrzymałość uzyskuje się zmieniając zawartość węgla i manganu w stali. Szyny te stosowane są zwłaszcza w stanie surowym po walcowaniu na gorąco (w kraju - szyny ze stali St90PA).

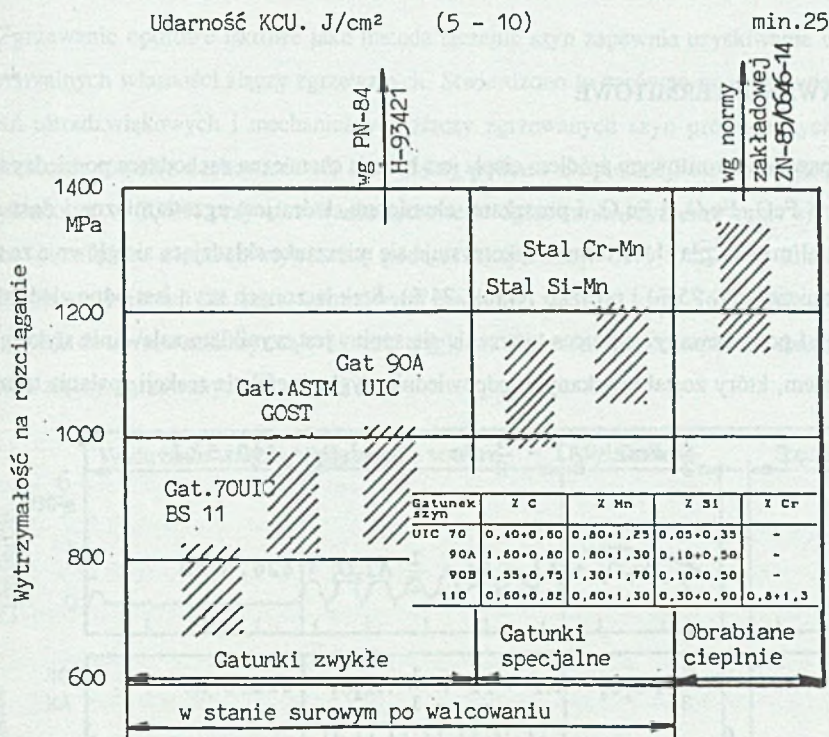
Szyny specjalne o wytrzymałości na rozciąganie powyżej 1080 MPa powstały w wyniku modyfikacji składu chemicznego szyn o zwiększonej odporności na zużycie przez wprowadzenie dodatków i mikrododatków stopowych, takich jak chrom, wanad, niob i tytan.

Innym sposobem zwiększenia wytrzymałości szyn jest obróbka cieplna, w wyniku której zmniejsza się odległość między płytkami cementytu i grubość płytek cementytu w perlicie, co powoduje wzrost wytrzymałości i udamności szyn [2, 3].

W kraju wprowadzono nową metodę obróbki cieplnej stali St90PA (na wskroś przekroju szyny) według licencji radzieckiej, która polega na:

- austenityzowaniu w temperaturze  $840 \div 880^{\circ}\text{C}$ ,
- chłodzeniu w oleju o temperaturze  $80 \div 100^{\circ}\text{C}$ ,
- wyżarzaniu w temperaturze  $450 \div 480^{\circ}\text{C}$ , oraz prostowaniu szyn po obróbce cieplnej [4].

Aktualnie stosuje się coraz częściej ulepszanie cieplne główek szyn (szyny z utwardzonymi główkami). Zakres wytrzymałości na rozciąganie stali perlitycznych po walcowaniu i obrabianych cieplnie przedstawiono na rys. 1 [2]. Perlit jest strukturą składającą się z ferrytu i cementytu w układzie płytkowym, której parametrami są przede wszystkim: odległość między płytkami cementytu i grubość płytek cementytu.



Rys.1. Zakres wytrzymałości na rozciąganie stali perlitycznych po walcowaniu i obrabionych cieplnie  
 Fig.1. Strength range of pearlitic steels after rolling and after heat treatment

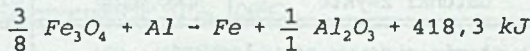
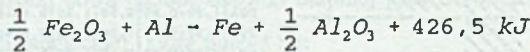
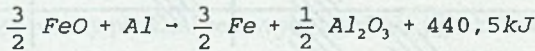
Parametry te zależą od wielu czynników, takich jak zawartość węgla i dodatków stopowych, parametry walcowania oraz ewentualnej obróbki cieplnej, jak również od składu chemicznego stali. Wpływ poszczególnych parametrów struktury perlitu na własności stali szynowych badało wielu autorów, a wyniki ich badań zawarto w publikacjach [1 ÷ 5].

Przy łączeniu szyn ww. metodami spawalniczymi występujące problemy można zredukować do możliwości utwardzania SWC w efekcie dużych szybkości chłodzenia lub do wzrostu struktury pierwotnej w przypadku za małych szybkości chłodzenia. Stąd konieczność sterowania

ilością wprowadzonego ciepła przy łączeniu szyn w celu zapewnienia połączeniom odpowiednich własności wytrzymałościowych, twardości i zarazem wymaganej plastyczności.

## 2. SPAWANIE TERMITOWE

Przy spawaniu termitowym źródłem ciepła jest reakcja chemiczna zachodząca pomiędzy tlenkami żelaza  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$  i  $Fe_3O_4$  i proszkami aluminium, która jest egzotermiczna i dostarcza około 430 kJ/mAl ciepła. Jako termit wykorzystuje się mieszankę składającą się głównie ze zgorzeliny hutniczej (ok. 75%) i proszku Al (ok. 24%). Styk łączonych szyn jest odpowiednio zformowany i podgrzewany, a proces tworzenia się spoiny jest wynikiem zalewania styku płynnym metalem, który został uzyskany w odpowiednim tyglu w efekcie reakcji spalania termitu.



Uzyskane spoiny cechują się gruboziarnistą strukturą zwykle o niskiej udarności. Odpowiednie własności wytrzymałościowe uzyskiwane są poprzez dodatek w mieszance termitowej pierwiastków umacniających ferryt (m.in. Mo, Cr), które hamują dodatkowo wzrost ferrytu na granicach pierwotnych austenitu.

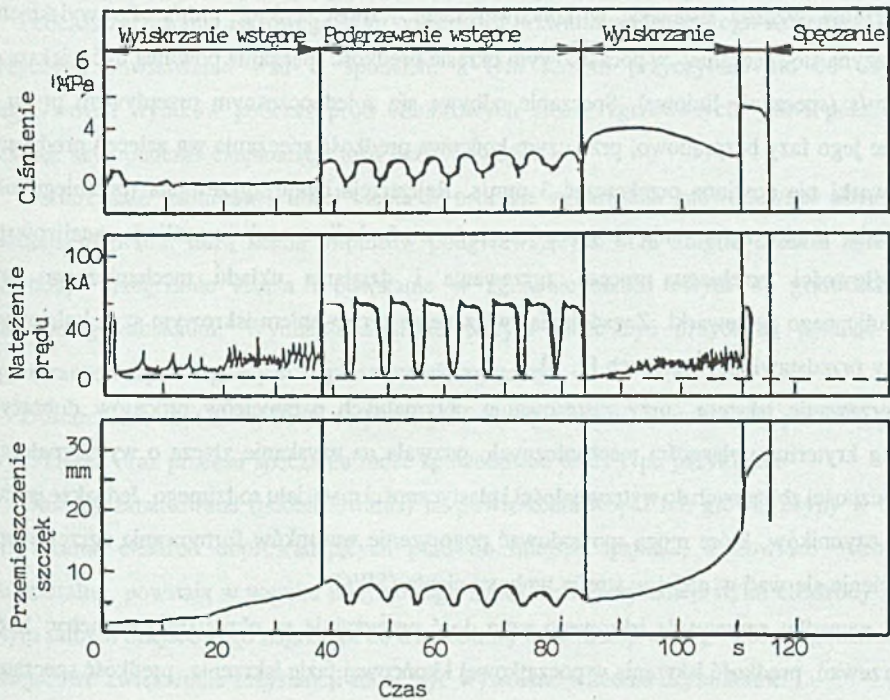
Do zalet metody spawania termitowego należy:

- prostota metody,
- niski koszt urządzeń i materiałów oraz
- możliwość stosowania w warunkach polowych.

Do wad metody zaliczyć należy przede wszystkim niską jakość uzyskiwanych połączeń spawanych ze względu głównie na niskie własności plastyczne SWC i spoiny.

### 3. ZGRZEWANIE ISKROWE SZYN

Zgrzewanie oporowe iskrowe jako metoda łączenia szyn zapewnia uzyskiwanie wysokich i powtarzalnych własności złączy zgrzewanych. Stwierdzono to zarówno na podstawie wyników badań ultradźwiękowych i mechanicznych złączy zgrzewanych szyn prowadzonych w wielu krajach, jak również zachowania się tych złączy podczas eksploatacji toru bezстыkowego [6]. Przykładowo w ZSRR przy stosowaniu iskrowego zgrzewania szyn otrzymuje się niewielką liczbę pęknięć w złączach wynoszącą podczas eksploatacji ok.1,5 na 100 km toru, tzn. siedmiokrotnie mniej niż przy termitowym spawaniu szyn w torze [6]. Technologie oraz urządzenia do zgrzewania szyn są w świecie ciągle unowocześniane, co zapewnia dalszą poprawę jakości złączy zgrzewanych.



Rys.2. Poszczególne fazy procesu zgrzewania

Fig.2. Phases of welding course

Zgrzewanie iskrowe szyn można wykonywać stosując podgrzewanie wstępne lub wyiskrzanie ciągle zarówno w warunkach stacjonarnych, jak i w torze. Istnieje kilka firm specjalizujących się w produkcji urządzeń do zgrzewania iskrowego szyn. Do najbardziej znanych należą SCHLATTER, MIEBACH i MATIX. W artykule omówiono technologię spajania szyn zgrzewarkami szwajcarskiej firmy SCHLATTER, w które wyposażono dwie zgrzewalnie Polskich Kolei Państwowych. Typowy przebieg procesu zgrzewania szyn przedstawiono na rys. 2. Obejmuje on wyiskrzanie wstępne, wyrównujące powierzchnie czołowe szyn przed podgrzewaniem wstępnym, podgrzewanie wstępne polegające na wykonaniu kilku zwarć powierzchni czołowych szyn impulsowym przepływem prądu oraz wyiskrzanie właściwe ze zmienną prędkością. Wyiskrzanie rozpoczyna się z prędkością stałą ok.  $0,2 \div 0,3$  mm/s (wyiskrzanie liniowe), aby następnie przejść do wyiskrzania progresywnego, gdzie prędkość wyiskrzania wzrasta osiągając w końcowej fazie wartość  $1,5 \div 2$  mm/s. Po wyiskrzeniu rozpoczyna się spęczanie; w początkowym okresie prędkość spęczania powinna być większa od 40 mm/s (spęczanie liniowe). Spęczanie odbywa się z jednoczesnym przepływem prądu, a kolejne jego fazy bezprądowo, przy czym końcowa prędkość spęczania wg zaleceń producenta zgrzewarki nie powinna przekraczać 3 mm/s. Rejestracja cyklu zgrzewania (przebiegu siły, natężenia prądu zgrzewania i przemieszczeń w funkcji czasu) umożliwia analizowanie prawidłowości przebiegu procesu zgrzewania i działania układu mechanicznego oraz hydraulicznego zgrzewarki. Zagadnienia związane ze zgrzewaniem iskrowym szyn kolejowych zostały przedstawione w pracach [7, 8].

Zgrzewanie iskrowe, przy zastosowaniu optymalnych parametrów procesów dobranych według kryterium własności mechanicznych, pozwala na uzyskanie złącza o wytrzymałości i plastyczności zbliżonych do wytrzymałości i plastyczności materiału rodzimego. Jednakże istnieje wiele czynników, które mogą spowodować pogorszenie warunków formowania zgrzeiny oraz pojawienie się wad w niej i w strefie wpływu ciepła (SWC).

W wypadku zgrzewania iskrowego szyn dość precyzyjnie są określane parametry: liczba podgrzewań, prędkość iskrzenia w początkowej i końcowej fazie iskrzenia, prędkość spęczania, wartość natężenia prądu w poszczególnych fazach procesu itd. Opracowane dla danego gatunku materiału i jego przekroju parametry powinny gwarantować odpowiednią jakość złącza, tzn.

najczęściej odpowiednie własności mechaniczne (wytrzymałość na rozciąganie, wynik próby zginania).

W zakładach produkcyjnych wytwarzających elementy zgrzewane najczęściej stosuje się tylko kontrolę nastaw zgrzewarki, nie analizując szczegółowo przebiegu procesu zgrzewania. Przeprowadza się również próby odbiorowe, niszczące przewidziane dla danego elementu (przeważnie raz na zmianę pracy). Stosowane są próby nieniszczącej oceny jakości złącza, np. na podstawie badań emisji akustycznej [9]. W pracy [10] przedstawiono odbiór partii elementów zgrzewanych na podstawie zarejestrowanego i przeanalizowanego (ocenionego) przebiegu procesu zgrzewania. Ta metoda oceny jakości złączy jest tańsza i mniej pracochłonna.

### 3.1. Nieprawidłowości w procesie zgrzewania iskrowego szyn

Podczas zgrzewania iskrowego szyn odstępstwa prawidłowej technologii łączenia mogą być przyczyną powstawania wad w spoinach, a tym samym przyczyniać się do uzyskania negatywnych wyników podczas prób odbiorowych złączy zgrzewanych, jak i późniejszych pęknięć szyn podczas eksploatacji toru bezстыkowego.

Dostarczanie nadmiernej ilości ciepła w procesie zgrzewania spowodowane zbyt dużym natężeniem prądu, dużą liczbą impulsów podgrzewających oraz długim czasem zgrzewania powoduje przegrzanie złącza i powstanie w zgrzeinie siatki ferrytu na granicach ziarn pierwotnego austenitu. Wymieniona siatka ferrytu może być przyczyną pęknięć złączy zgrzewanych szyn biegnących w płaszczyźnie zgrzeiny.

Dostarczenie zbyt małej ilości ciepła w procesie zgrzewania, niewłaściwy przebieg procesu wyiskrzenia oraz procesu spęczania może spowodować wady typu przyklejeń.

Obszary zahartowane (podhartowania) na powierzchni stopki lub główki szyny w miejscu przyłożenia elektrod doprowadzających prąd do miejsca spajania, stanowiące ostre karby strukturalne, powstają w wyniku miejscowego zwiększenia rezystancji styku elektrody z szyną i tym samym miejscowego nagrzania do temperatury austenizacji oraz gwałtownego chłodzenia.

Miejscowe zwiększenie rezystancji może być wywołane wieloma czynnikami:

- niedokładnym przyleganiem powierzchni roboczej elektrody do powierzchni szyny wskutek niewłaściwego zamocowania elektrod i zbyt dużych nierówności na powierzchni szyny po niewłaściwym czyszczeniu powierzchni szyn przez szlifowanie ręczne,
- obecnością zgorzeli na powierzchni szyn w miejscu przyłożenia elektrod,
- niewłaściwym stanem powierzchni roboczych elektrod spowodowanym ich zanieczyszczeniem pyłem i produktami zgrzewania na skutek nieczyszczenia powierzchni po wykonaniu każdej zgrzeiny oraz niedziałania instalacji odpylającej,
- niewłaściwym doborem materiału na elektrody zgrzewarki,
- małym dociskiem jednostkowym wywieranym na elektrody zgrzewarki, doprowadzające prąd do zgrzewanych szyn.

Niewłaściwie usunięta wypływka w złączu zgrzewanym iskrowo stanowi karb geometryczny, który może spowodować zapoczątkowanie pęknięcia złącza przy obciążeniu statycznym, dynamicznym i zmiennym (pęknięcia zmęczeniowe). Dokładność usuwania wypływki zależy od stanu technicznego układu noży obcinających wypływkę oraz precyzyjnego szlifowania zgrzeiny.

Innymi potencjalnymi czynnikami powodującymi obniżoną jakość zgrzein mogą być czynniki związane z jakością materiału szyn, które są wywoływane:

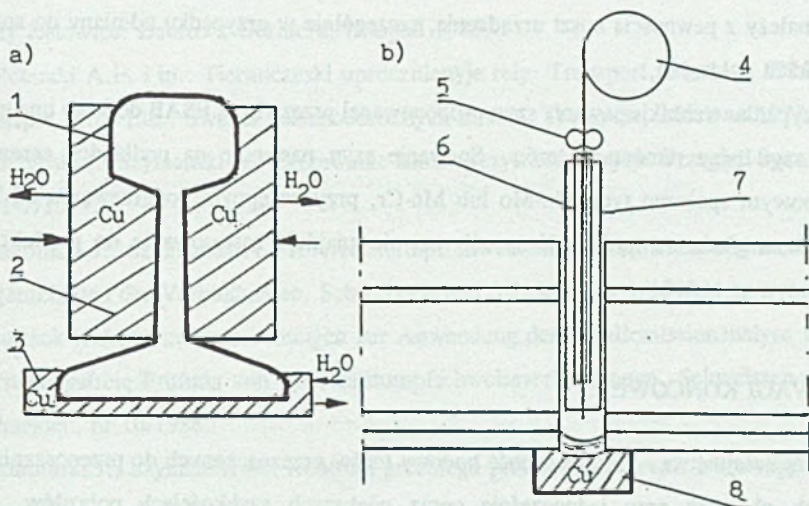
- nieprzestrzeganiem ustalonego składu chemicznego stali szynowej, powodującym zmianę własności i struktury oraz pogorszenie zgrzewalności, np. w przypadku podwyższenia zawartości węgla, obecności skupisk wtrąceń niemetalicznych lub znacznej segregacji składu chemicznego na przekroju szyny,
- odstępstwem od parametrów walcowania szyn, powodującym powstawanie niewłaściwej struktury (zbyt grube płytki cementu i duże kolonie perlitu), co obniża własności plastyczne oraz odporność na kruche pęknięcie.

#### 4. SPAWANIE ŁUKOWE SZYN KOLEJOWYCH

Z metod spawania łukowego szyn należy wymienić metodę "railweld" opracowaną przez austriacką firmę Fronius [11, 12] oraz spawanie elektrodami otulonymi i drutami prozkowymi opracowanymi m.in. przez firmę ESAB [13].



W metodzie "railweld" wykorzystuje się proces spawania w osłonie gazów ochronnych (GMAW) TIME, który cechuje się bardzo dużą wydajnością ( $Q \sim 30$  kg stopiwa/h) i stosowaniem mieszanki gazowej 26,5% He + 8% CO<sub>2</sub> + 65% Ar. Końce szyn ustawione są doczołowo z odstępem ok. 15 mm, który kolejno w miarę spawania jest formowany nakładkami miedzianymi (rys.3). Proces spawania jest zautomatyzowany i może odbywać się w warunkach polowych. W takim przypadku inwertorowe źródło prądu jest napędzane silnikiem spalinowym i łącznie z automatem jest zamontowane na pojeździe kołowym, który ma możliwość poruszania się zarówno po drogach, jak i po szynach.



Rys.3. Spawanie szyn metodą "railweld":

a) ustawienie nakładek formujących, 1 - końcówka szyny, 2 i 3 - nakładki formujące; b) ustawienie automatu do spawania, 4 - drut elektrodowy, 5 - rolki podające, 6 - dysza prądowa, 7 - dysza gazu ochronnego, 8 - nakładka Cu

Fig.3. "Railweld" method of welding of rails:

a) setting of forming strap, 1 - tip of rail, 2 and 3 - forming straps; b) setting of welding machine, 4 - electrode wire, 5 - feeding rolls, 6 - current tip, 7 - shielding gas nozzle, 8 - Cu strap

Do spawania stosuje się niskostopowe druty elektrodowe typu Mn-Mo-Ni zapewniające twardość spoiny ok. 250 + 300 HV. Struktura spoiny jest strukturą martenzytyczno-bainityczną, która w procesie wielowarstwowym jest odpuszczana i posiada wysokie własności plastyczne (kV (-20°C > 100 J)).

Do zalet metody można zaliczyć:

- brak konieczności stosowania podgrzewania wstępnego i obróbki po spawaniu,
- niskie koszty jednostkowe złącza,
- duża wydajność procesu spawania,
- możliwość łączenia szyn zwykłych i obrabianych cieplnie.

Do wad należy z pewnością koszt urządzenia, szczególnie w przypadku odmiany do spawania w warunkach polowych.

W przypadku techniki spawania szyn proponowanej przez firmę ESAB dotyczy ona głównie łączenia szyn przy remontach torów. Spawanie szyn następuje na podkładce ceramicznej niskostopowym spoiwem typu Mn-Mo lub Mn-Cr, przy wstępnym podgrzewaniu od 350 do 400°C. Ze względu na wydajność sposób ten nie znajduje zastosowania do produkcyjnego łączenia szyn na torach.

## 5. UWAGI KOŃCOWE

Rozwój kolejnictwa - to konieczność budowy torów przeznaczonych do przenoszenia coraz większych obciążeń przy jednocześnie coraz większych szybkościach pojazdów, to jest konieczność podwyższenia trwałości torów i zapewnienia ich eksploatacyjnej niezawodności. Te wymagania związane są z nowymi stalami na szyny i nowymi technologiami łączenia szyn. Wydaje się, że w przypadku łączenia szyn występować będą prawidłowości stosowania zgrzewania iskrowego w zakładach stacjonarnych, natomiast na torze dominować będzie spawanie np. metodą "railweld". W jednym i drugim przypadku tylko szczegółowa technologia i jej przestrzeganie będą warunkować uzyskanie poprawnych własności połączeń szyn spełniających wymagania towarzystw kwalifikacyjnych.

## LITERATURA

1. Oleksiak R., Hajka J., Kolkowski A.: Szyny obrabiane cieplnie ze stali St90PA. Inżynieria Materiałowa, nr 3/1984.
2. Flügge J.: Metallkundliche Zusammenhänge bei perlitischen Schienenstählen. Technische Mitteilungen Krupp Werksberichte, nr 3/1979.
3. Flügge J., Heller W., Schweitzer R.: Gefüge und mechanische. Eigenschaften von Schienenstählen. Stahl und Eisen, nr 99/1979.
4. Struk S., Oleksiak R.: Obróbka cieplna szyn kolejowych. V Konferencja naukowo-techniczna Huty Katowice. Dąbrowa Górnicza, listopad 1985.
5. Zołotarski A.F. i in.: Tiermiczeski uprocznienyje rely. Transport, Moskwa 1976.
6. Szlajpin W.B. i in.: Swarka żelaznodoroznych relsow. Transport, Moskwa 1977.
7. Dziubiński J., Szymański A.: Zgrzewanie iskrowe szyn kolejowych. Przegląd Spawalnictwa, nr 1-2/1988.
8. Dziubiński J., Szymański A.: Abbrennstumpfschweissen von Schienen und mechanische Eigenschaften der Verbindungen. Schweissen und Schneiden, nr 1/1990.
9. Crostack H.A. i in.: Untersuchungen zur Anwendung der Schallemissionanalyse für die zerstörungsfreie Prüfung von Abbrennstumpfschweisverbindungen. Schweissen und Schneiden, nr 10/1988.
10. Dziubiński J., Szymański A.: Kontrola przebiegu procesu zgrzewania iskrowego. Przegląd Spawalnictwa, nr 1-2/1990.
11. Railweld Technische Dokumentation. Materiały firmy Fronius.
12. Railweld - nowa metoda spawania szyn kolejowych. Przegląd Spawalnictwa XLVI Nr 5/6, 1994, s.32.
13. Dahl B. i in.: Repair of rails on-site by welding. Materiały ESAB Group, 1992.

Recenzent: Dr hab. inż. Edmund Tasak Profesor AGH

Wpłynęło do Redakcji 15.10.1994 r.

## Abstract

Most rails used throughout the world are manufactured from pearlitic steels. These rails are classified into three groups: ordinary rails of  $R_m = \text{min. } 685 \text{ MPa}$ ; increased wear resistance rails of  $R_m = 880 \text{ MPa}$ ; and special rails of  $R_m = \text{min. } 1080 \text{ MPa}$ . Ordinary rails and those featuring an increased wear resistance are produced from carbon-manganese steel and their differential strength is obtained by modifying the content of carbon and manganese in the steel. The class of special rails has been developed by modification of a chemical composition of those increased wear resistance rails (addition of about 1% of chromium and microaddition of vanadium and niobium) as well as by using an appropriate heat treatment. In Poland, the process of manufacturing heat-treated rails has been implemented in Huta Katowice Metallurgical Plant. Rails made from steel St90PA composed of 0.6 to 0.8 to 1.3% Mn, 0.10 to 0.50% Si and up to 0.040% P and S are each exposed to a heat treatment, consisting of austenising temperature annealing and rapid through cooling followed by annealing. Due to rapid cooling, the distance between the cementite plates in the pearlite decreases and the thickness of plates decreases as well, which causes the tensile strength of rails to increase up to  $R_m = \text{min. } 1080 \text{ MPa}$ , the elongation value of  $A_5 = \text{min. } 10\%$ , the impact resistance of  $KCU = \text{min. } 25 \text{ J/cm}^2$  at  $20^\circ\text{C}$  and the hardness of the rolling surface of the rail head 350 HB. The value of residual stresses in heat-treated rails is not expected to be greater than 200 MPa. Strength range of pearlitic steels after rolling and after heat treatment has been presented in Fig 1. Methods of joining ordinary rails, rails of increased wear resistance and special rails by flash welding, thermit welding and "railweld" method have been also reviewed. Particular phases of flash welding course have been presented in Fig. 2 and "railweld" method has been presented in Fig. 3.