

TYTUŁ: Zgrzewanie szyn kolejowych Vignole`a i szyn tramwajowych zgrzewarką dwudrogową z głowicą AMS 100.

AUTOR: Władysław Grzechowiak – PKP PLK S.A. Centrum Diagnostyki Warszawa

STRESZCZENIE: W artykule omówiono zgrzewanie doczołowe oporowe z wyiskrzaniem dla szyn Vignole`a i szyn tramwajowych z użyciem zgrzewarki dwudrogowej w torach. Szczególny nacisk został położony na zgrzewanie szyn tramwajowych.

SŁOWA KLUCZOWE: szyny kolejowe Vignole`a, szyny tramwajowe, zgrzewanie doczołowe oporowe z wyiskrzaniem, stałe szynowe, profil szyny, spawanie termitowe.

1. WSTĘP.

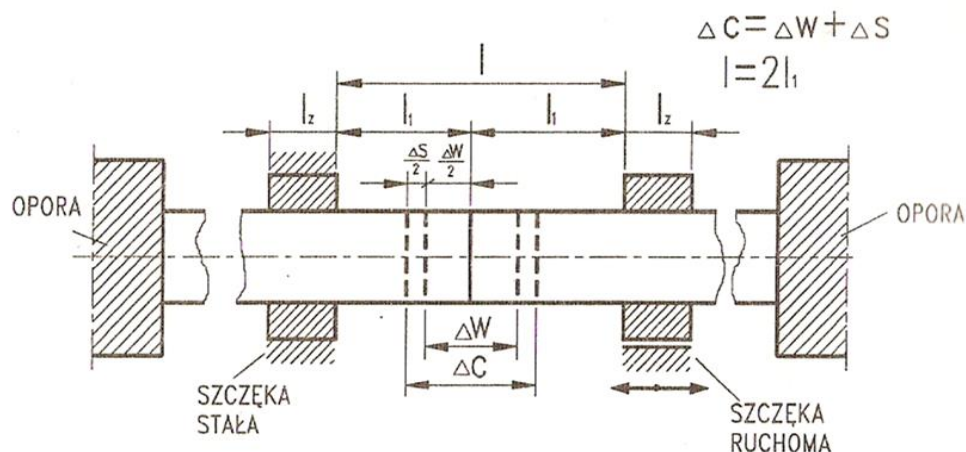
Nowoczesna nawierzchnia szynowa zarówno kolejowa jak i tramwajowa musi umożliwić jazdę cichą i spokojną z prędkością, która będzie konkurencyjna do prędkości osiąganych przez inne środki transportu. Oczywiście inne priorytety dotyczą nawierzchni kolejowej, inne -nawierzchni tramwajowej. Prędkości osiągane przez tabor kolejowy są nieporównywalnie większe niż osiągane przez tabor tramwajowy. Inne są również wielkości nacisków jednostkowych, stosowane są inne rozwiązania konstrukcyjne układów jezdnych i usprężynowanie taboru. Jednakże w obu przypadkach nawierzchni częścią wspólną jest tor bezстыkowy. Eliminacja tradycyjnego sposobu łączenia odcinków szyn za pomocą łubek skręcanych śrubami i zastąpienie ich metodami spawalniczymi zdecydowanie poprawiła komfort jazdy taboru szynowego. Jednym ze sposobów łączenia szyn w tor bezстыkowy jest zgrzewanie doczołowe oporowe. Należy podkreślić, że zgrzewanie szyn tramwajowych (rowkowych) jest w chwili obecnej bardzo nowatorskie i stanowi nowy segment technologii łączenia toru tramwajowego. Do tej pory przy łączeniu szyn rowkowych powszechnie stosowano spawanie termitowe. Opracowane technologie zgrzewania szyn muszą zapewniać wysoką jakość wykonanych połączeń. Własności mechaniczne złączy nie mogą odbiegać od własności mechanicznych szyn, i co bardzo ważne, muszą być powtarzalne. Aby osiągnąć te cele proces zgrzewania musi podlegać zatwierdzeniu, a personel nadzorujący i obsługa muszą być poddawani cyklicznym szkoleniom i egzaminom. Zgrzewarki muszą być wyposażone w systemy monitorowania procesu zgrzewania i zapisywania jego parametrów. [6]

2. ZGRZEWANIE DOCZOŁOWE OPOROWE ISKROWE SZYN

2.1. Zasady zgrzewania oporowego iskrowego.

Zgrzewanie iskrowe jest procesem, w którym trwale połączenie uzyskuje się przez nagrzanie oporowe styku zgrzewanych przedmiotów poprzez wyiskrzanie ciekłego metalu z obszaru styku w wyniku przepływu prądu i następnie wywarcie docisku spęczenia.

Rysunki 1 i 2 ukazują odpowiednio schemat zgrzewania doczołowego oporowego iskrowego oraz cykl cieplny w czasie tego procesu. Zgrzewane szyny, zamocowane w szczękach głowicy zgrzewającej, są do siebie dociśnięte powierzchniami czołowymi w celu zapewnienia styku prądowego. Po załączeniu prądu przez obszary stykowe o małej powierzchni i dużej rezystancji płynie prąd o bardzo dużej gęstości, powodujący stopienie metalu obszarów stykowych, utworzenie ciekłych mostków prądowych, a następnie gwałtowne ich rozerwanie w wyniku działania sił elektromagnetycznych i ciśnienia par metali.



Rysunek 1.

Długości i nadatki przy zgrzewaniu oporowym iskrowym:

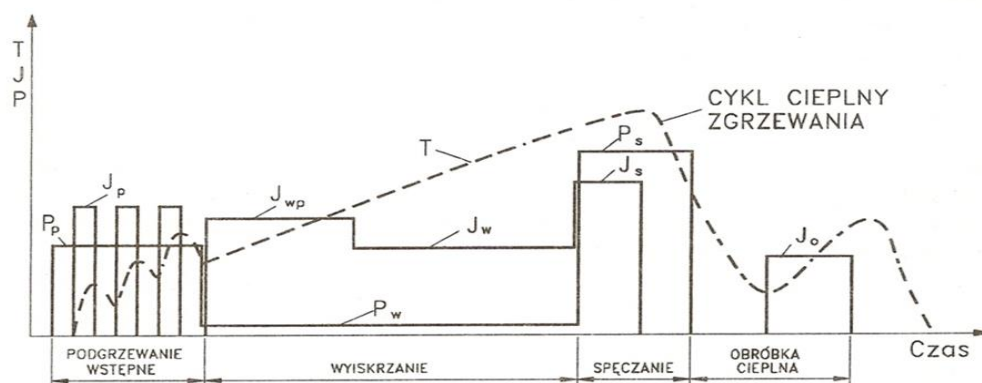
l_z – długość mocowania przedmiotu,

l – sumaryczna długość mocowania obu zgrzewanych przedmiotów,

ΔW – sumaryczny nadatek na wyiskrzanie obu przedmiotów,

ΔS – sumaryczny nadatek na spęczanie obu przedmiotów,

ΔC – sumaryczny nadatek dla obu przedmiotów (nadatek na zgrzewanie) [4].



Rysunek 2.

Program zgrzewania oporowego iskrowego wraz z cyklem cieplnym stali w obszarze zgrzeiny: I_p – natężenie prądu podgrzewania wstępnego, I_{wp} – natężenie prądu wyiskrzania w etapie początkowym, I_w – natężenie prądu wyiskrzania, I_s – natężenie prądu spęczania, I_o – natężenie prądu obróbki cieplnej, P_p – siła docisku w czasie podgrzewania wstępnego, P_w – siła docisku w czasie wyiskrzania, P_s – siła docisku w czasie spęczania, T – temperatura [4].

Wraz z wyrzucaniem ciekłego metalu mostków z obszaru styku usuwane są równocześnie wszelkie zanieczyszczenia. Postępujący z odpowiednią prędkością proces wyiskrzania powoduje, że ciepło tworzących się coraz to nowych mostków prądowych odplywa w głąb zgrzewanych szyn i nagrzewa przyległe obszary do stanu znacznego uplastycznienia. Przy okazji nagrzewa się oporowo szyny na długości mocowania. Gdy nagrzewanie sprawi, że utworzona zostanie na powierzchniach stykowych warstwa ciekłego metalu, a przyległe obszary nagrzane zostaną na odpowiedniej głębokości do stanu plastycznego, rozpoczyna się proces spęczania ze znacznie zwiększonym dociskiem i prędkością przesuwu szczęk głowicy zgrzewającej. Powoduje to wyciśnięcie ciekłego metalu wraz z ewentualnymi zanieczyszczeniami na zewnątrz zgrzeiny do wypływk. Prędkość spęczania musi być kilka do kilkunastu razy większa od prędkości wyiskrzania. W przypadku zgrzewania stali wymagającej obróbki cieplnej po zgrzewaniu stosuje się przepuszczenie przez wykonane złącze jednego lub kilku impulsów prądu. Zabieg ten zapewnia, przez nagrzanie oporowe, regulację szybkości chłodzenia złącza lub dokonanie odpowiednich zabiegów obróbki cieplnej [4].

2.2. Stale szynowe.

Stale szynowe ze względu na swój skład chemiczny zaliczane są do stali trudnospawalnych. Zawartość pierwiastków zawiera się w granicach: węgiel C 0,40 ÷ 0,82%, mangan Mn 0,65 ÷ 1,70%, krzem Si 0,13 ÷ 1,12% oraz w niektórych stalach chrom Cr do 1,25%. Biorąc pod uwagę skład chemiczny, stale te zaliczamy również do stali niestopowych średniowęglowych z normalną lub podwyższoną zawartością manganu i stali niskostopowych chromowych. Stale takie w stanie surowym są stalami perlitycznymi [6].

Gatunki stali szynowych określa PN EN 13674 – 1:2011, zaś szyny tramwajowe są opisane w PN EN 14811:2010.

Tabela 1. Stale szynowe [1],[2]

Gatunek stali	Twardość HBW	Zastosowanie	Profil szyny
R 260	260 ÷ 300	kolejnictwo	49E1, 60E1
		tramwaj	49E1, 60R1, 60R2
R 290 GHT	290 ÷ 330	tramwaj	60R2
R 340 GHT	340 ÷ 380	tramwaj	60R2
R350 HT	350 ÷ 390	kolejnictwo	49E1, 60E1
		tramwaj	49E1

2.3. Wymagania dla procesu zgrzewania [3].

W niniejszym opracowaniu nie będziemy zajmować się zagadnieniami związanymi z wymaganiami w zakresie szyn przeznaczonych do zgrzewania, gdyż wymagania dla szyn przeznaczonych dla kolejnictwa są diametralnie różne w stosunku do wymagań dla szyn przeznaczonych dla sieci tramwajowej. Dotyczy to choćby minimalnych długości dostarczanych szyn. Standardy kolejowe mówią o minimalnej długości 30 m, zaś tramwaje stosują szyny o długości 18 m, dopuszcza się szyny o długości 30 m, o ile nie ma trudności z dostarczeniem na plac budowy.

Aby proces zgrzewania mógł się odbyć bez zakłóceń końce szyn powinny być prostopadłe względem powierzchni tocznej i stopki szyny. Dopuszcza się odchylenie od prostopadłości $\pm 0,6$ mm. Obszar styku szyn i obszary styku szyny z elektrodami głowicy zgrzewającej powinny być oczyszczone do metalicznego połysku. Powierzchnia styku nie może mieć nierówności i uszkodzeń mechanicznych, oznaczenia szyny znajdujące się na szyjce (tzw. cechy wypukłe) muszą być usunięte. Należy używać elektrod odpowiednich do profilu szyny. Zgrzewanie można prowadzić bez ograniczeń w temperaturach w szynie powyżej $+5^{\circ}\text{C}$. W przypadku, gdy temperatura w szynie zawiera się w granicach $+5^{\circ} \div -10^{\circ}\text{C}$ należy wstępnie podgrzać końce łączonych szyn na długości 2 m z każdej strony do temperatury $+15^{\circ} \div +20^{\circ}\text{C}$. Elektrody powinny przylegać całą powierzchnią do oczyszczonej powierzchni szyny.

2.4. Proces zgrzewania.

Zasada działania głowic zgrzewających jest zgodna z informacjami podanymi w punkcie 2.1.

Proces zgrzewania obejmuje poszczególne fazy zwane w niektórych publikacjach krokami::

- przygotowanie zgrzewania (odpowiednie zbliżenie do siebie płaszczyzn czołowych szyn),
- wyiskrzanie wstępne mające na celu wyrównanie powierzchni czołowych,
- nagrzewanie wstępne,
- wyiskrzanie właściwe,
- wyiskrzanie z rosnącą prędkością,
- spęczanie pod prądem charakteryzujące się wysoką prędkością skrócenia,

- spęczanie,
- obcięcie wypływki,
- obróbka cieplna.

Program zgrzewania opracowany dla danego gatunku stali i profilu nie musi zawierać wszystkich w/w faz.

Diagramy (wykresy) faz zgrzewania przedstawiają zmieniające się w czasie parametry:

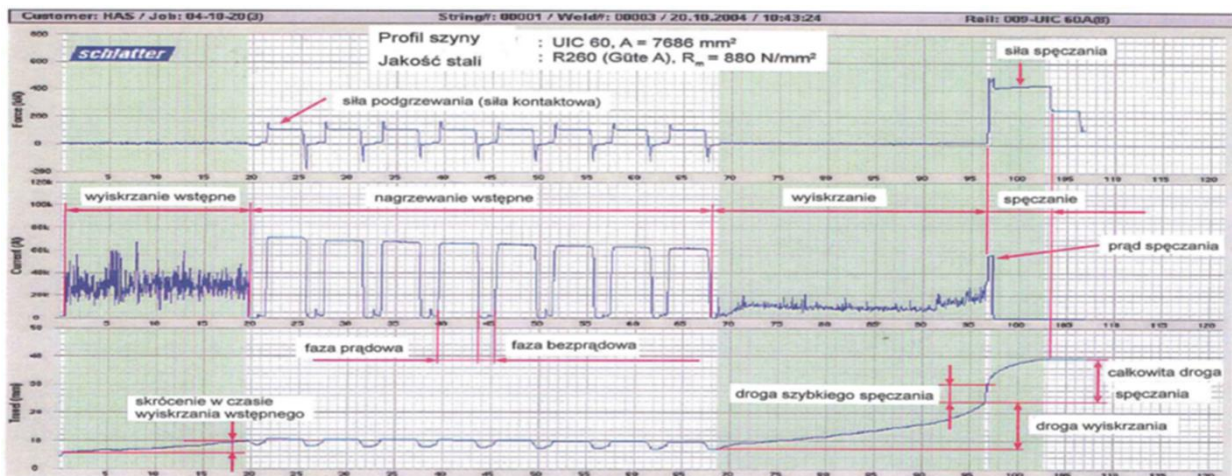
- natężenie prądu – I [A],
- siła docisku – F [kN],
- droga (skrócenie szyny) – s [mm].

W niektórych głowicach zgrzewających rejestrowane są ciśnienie – P [MPa] w miejsce siły oraz napięcie – U [V].

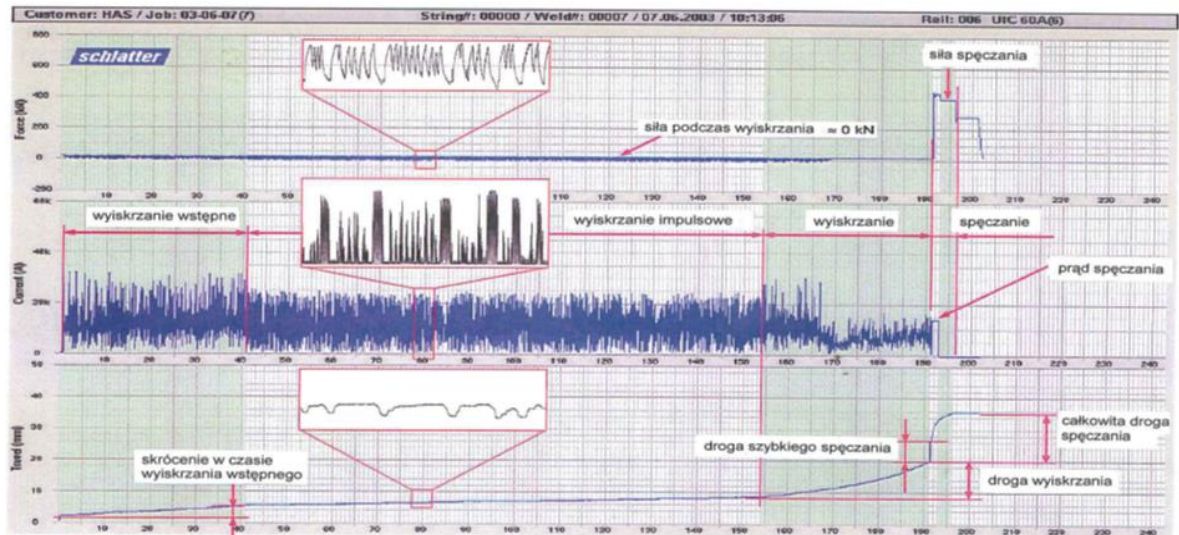
Zgrzewarki dwudrogowe umożliwiają powtarzalność wykonania złączy wysokiej jakości dzięki m.in.:

- możliwości dopasowania charakterystyki prądu (wyiskrzanie ciągłe, impulsowe, wieloimpulsowe) do zmiennych cech materiałowych szyny (skład chemiczny, struktura, wielkość przekroju),
- automatycznemu osiowaniu w płaszczyźnie pionowej i poziomej końców szyn,
- kontroli czasu stygnięcia zgrzeiny,
- obróbce cieplnej zgrzeiny,
- komputerowym systemom sterowania procesem, trybami pracy oraz zarządzania jakością.[6]

Komputer pokładowy każdorazowo sporządza wydruk z analizą parametrów procesu i kwalifikacją zgrzeiny.



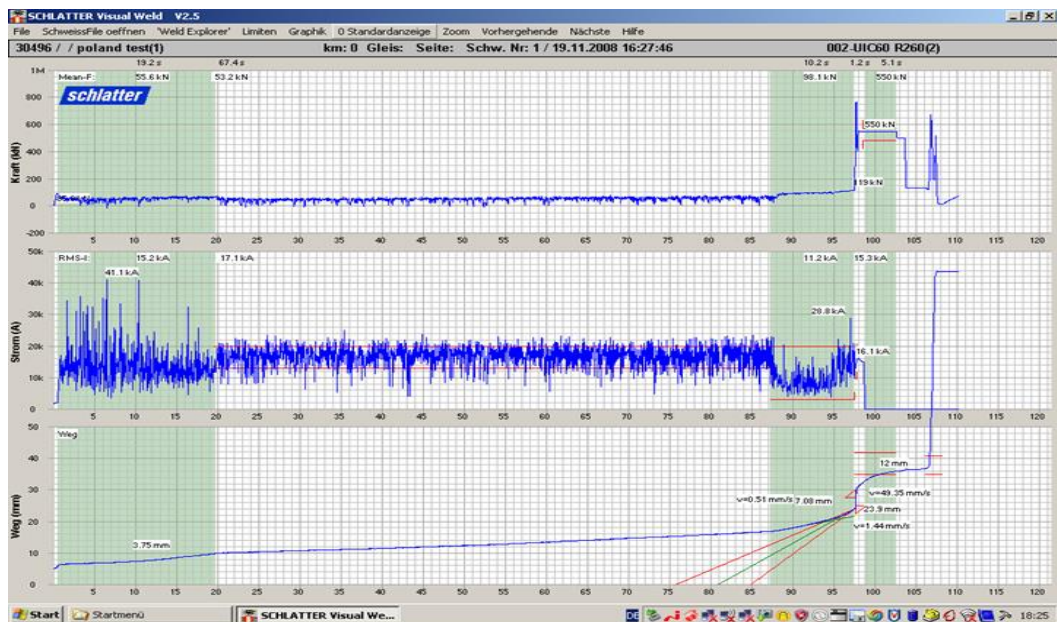
Rysunek 3. Przykładowy wykres z rejestratora z zaznaczeniem faz zgrzewania.



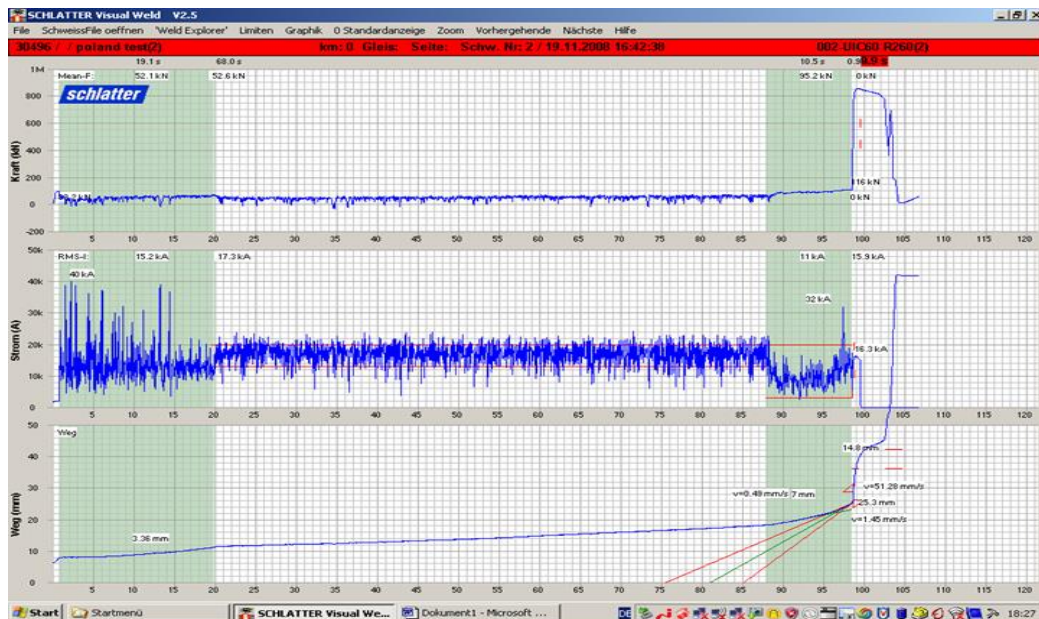
Rysunek 4. Zgrzewanie doczołowe z wyiskrzaniem impulsowym; siła, natężenie prądu, droga w funkcji czasu.

Kolejny wykres (rysunek 4) przedstawia proces zgrzewania, który dzieli się na fazy:

- - przygotowanie do zgrzewania,
- - wyiskrzanie wstępne,
- - wyiskrzanie impulsowe zwane również pulsacyjnym,
- - wyiskrzanie z rosnącą prędkością,
- - spęcznie,
- - obcięcie wypływkii.



Rysunek 5. Zgrzewanie doczołowe z wyiskrzaniem impulsowym; siła, natężenie prądu, droga w funkcji czasu (ocena dobry).



Rysunek 6. Zgrzewanie doczołowe z wyiskrzaniem impulsowym; siła, natężenie prądu, droga w funkcji czasu (ocena zły).

Rysunki 5 i 6 przedstawiają wykresy z rejestratora z zaznaczoną oceną. Czerwony pasek na wykresie (jak widać na rys.6) informuje operatora, że proces zgrzewania przebiegał nieprawidłowo i złącze należy wyciąć.

3. ZGRZEWARKA DWUDROGOWA.

3.1. Zgrzewarka dwudrogowa z głowicą do zgrzewania szyn.



Rysunek 7. Zgrzewarka dwudrogowa do szyn Supra Road Flex z głowicą AMS 100.

Zgrzewarka dwudrogowa do szyn Supra Road Flex z głowicą AMS 100 jest przewidziana do zgrzewania szyn bezpośrednio w torze. Głowica zgrzewająca jest zamontowana na samochodzie ciężarowym z podwoziem kołowo-szynowym. Dzięki układowi zasilania urządzenie może pracować autonomicznie.

Podwozie szynowe posiada własny napęd i podnośnik, który unosi pojazd do jazdy po szynach tak, aby koła do jazdy po drogach nie stykały się z szynami. W czasie jazdy po drogach koła szynowe są uniesione i zablokowane. Wstawienie pojazdu na szyny jest możliwe na przejeździe kolejowym lub przy użyciu rampy pomocniczej. Zgrzewarka może zgrzewać szyny krótkie zaczynając od długości 6 m oraz długie do 340 m o profilu 60E1, 54E1, 49E1, Ri 60 i ich pochodnych.

Maszynę charakteryzuje wysoka wydajność dochodząca do 30 zgrzein w ciągu jednej 8 godzinnej zmiany roboczej.

3.2. Głowica zgrzewająca AMS 100.

Głowica spełnia takie same standardy jakości jak stacjonarne zgrzewarki doczołowe produkowane przez firmę Schlatter. Korpus głowicy umożliwia uchwycenie szyny szczękami z miedzianymi elektrodami. Proces zgrzewania jest kontrolowany i sterowany przez procesor typu SWEP firmy Schlatter. Układ sterowania procesu zgrzewania monitoruje i rejestruje parametry zgrzewania takie jak droga, siła i wartość natężenia prądu w funkcji czasu.

Proces zgrzewania można indywidualnie programować. Sam program zgrzewania może zostać podzielony na maksymalnie 10 kroków, a w każdym kroku monitorowane są siła, droga i natężenie prądu w funkcji czasu.



Rysunek 8. Głowica w trakcie zgrzewania szyny rowkowej.



Rysunek 9. Element noża do usuwania wypłytki w rowku szyny rowkowej.



Rysunek 10. Usunięta wypływka w obrębie rowka.



Rysunek 11. Uniwersalna elektroda do szyny rowkowej.

Powyższe rysunki ilustrują uniwersalne zastosowanie głowicy zgrzewającej. Wymiana elektrod może zostać przeprowadzona bezpośrednio na placu budowy. Zgrzewarka wyposażona jest w komplet elektrod do zgrzewania szyn 49E1, 60E1 lub szyny rowkowej 60R1 i 60R2.

3.3. Zastosowanie zgrzewania oporowego doczołowego w infrastrukturze tramwajowej.

Zgrzewanie w infrastrukturze tramwajowej należy podzielić na zgrzewanie szyny Vignole'a i zgrzewanie szyny rowkowej. W ostatnich latach notuje się wzrost zainteresowania środowiska tramwajowego łączeniem szyn za pomocą procesu zgrzewania oporowego doczołowego. Związane jest to ze stosowaniem zgrzewarek dwudrogowych, których mobilność w infrastrukturze miejskiej jest bardzo wysoko oceniana. Łatwość przemieszczania się pozwala zintensyfikować wydajność pracy. Zgrzewanie oporowe doczołowe staje się konkurencyjne względem spawania termitowego, które oprócz tego, że jest bardziej czasochłonne to poprzez emisję gazów w czasie trwania reakcji termitowej jest nieekologiczne.

Przykłady zastosowania zgrzewania oporowego doczołowego w infrastrukturze tramwajowej:

Karlsruhe (Niemcy) – w pierwszej fazie inwestycji wykonano 244 sztuki zgrzein w tunelu o długości 3,5 km, docelowo 600 sztuk zgrzein

Lipsk (Niemcy) – 120 sztuk zgrzein

Magdeburg (Niemcy) – w trakcie realizacji ok. 140 sztuk zgrzein

Amsterdam (Holandia) – 400 sztuk zgrzein

Hannover (Niemcy) – przeprowadzono zgrzewanie szyn w odcinku o długości 120 m.

Obecnie w przeważającej ilości zgrzewanie szyn w infrastrukturze tramwajowej prowadzi się w szynach Vignole'a o profilu 49E1.

Również w Polsce firma STRABAG podjęła próby wykonania zgrzein jako połączeń szyn rowkowych 60R2.

Wykonano próbne złącza, które następnie zostały poddane statycznej próbie zginania. Poniższe zestawienie wyników badań pozwala z optymizmem podchodzić do zagadnienia.

Badania zostały przeprowadzone w Laboratorium PKP Polskie Linie Kolejowe SA Centrum

Diagnostyki. Tabela 2 grupuje wyniki badań wytrzymałościowych próbnich złączy. Ocena wszystkich próbek pozytywna, siła gnąca oraz strzałka ugięcia przekracza wartości graniczne. Jakość wykonanych złączy została potwierdzona badaniami wizualnymi, pomiarami geometrii oraz badaniami defektoskopowymi[7]. Po w/w udanych próbach, w torowisku tramwajowym w Gdańsku wykonano złącza zgrzewane w szynie rowkowej o profilu 60R1, które w tej chwili są obserwowane.

Tabela 2.

Nr próbki	Profil szyny, gat. stali	Kryterium oceny F /kN/	Kryterium oceny f /mm/	Siła gnąca F /kN/	Strzałka ugięcia f /mm /	Miejsce przelomu / ocena
Z-9.1/17	60R2, R260	1600	20	1695	61	Prawidłowy przez oś zgrzeiny ocena - dobra
Z-9.2/17	60R2, R260	1600	20	1663	50	Prawidłowy przez oś zgrzeiny ocena - dobra
Z-9.3/17	60R2, R260	1600	20	1740	75	Nie złamano ocena - dobra
Z-9.5/17	60R2, R260	1600	20	1631	50	Prawidłowy przez oś zgrzeiny ocena - dobra
Z-9.6/17	60R2, R260	1600	20	1660	62	Nie złamano ocena - dobra
Z-9.7/17	60R2, R260	1600	20	1705	60	Nie złamano ocena - dobra
Z-9.8/17	60R2, R260	1600	20	1640	48	Prawidłowy przez oś zgrzeiny ocena - dobra

4. PODSUMOWANIE.

Zgrzewanie szyn tramwajowych (rowkowych) jest procesem przyszłościowym. Z uwagi na to, że przekrój szyny tramwajowej jest niesymetryczny stworzenie programu do zgrzewania stanowi wielkie wyzwanie dla firm produkujących głowice zgrzewające, jednak nie stanowi to problemu przy zgrzewaniu szyn Vignole`a. Należy zwrócić uwagę na fakt, że zastosowanie zgrzewania przy łączeniu szyn w infrastrukturze tramwajowej może przyspieszyć prace torowe. Zgrzewanie jest procesem alternatywnym w łączeniu szyn tramwajowych. Szczególnie w miastach, gdzie istnieje gęsta zabudowa, eliminowanie emitującego duże ilości dymu spawania termitowego ma rację bytu i jest w pełni uzasadnione.

5. LITERATURA.

1. PN EN 13674-1:2011. Kolejnictwo – Tor - Szyna.Cz.1: Szyny kolejowe Vignole`a o masie 46 kg/m i większej.
2. PN EN 14811+A1:2010.Kolejnictwo – Tor - Szyny specjalne - Szyny rowkowe i związane z nimi profile konstrukcyjne.
3. WTWiO zgrzein w szynach kolejowych nowych łączonych zgrzewarkami stacjonarnymi. Wymagania i badania. Id-112. Warszawa 2013.
4. Klimpel A.: Technologia zgrzewania. Wyd. Politechnika Śląska. Gliwice 1995.
5. Warunki wykonania i odbioru szyn kolejowych. Wymagania i badania. Id-106. Warszawa 2010.
6. Grzechowiak W., Wróblewski P.: Zgrzewanie szyn zgrzewarkami dwudrogowymi. IV Ogólnopolska Konferencja Naukowo – Techniczna. Spawalnictwo Dróg Szynowych – Jakość, Niezawodność, Bezpieczeństwo. Bochnia 2014.
7. Grzechowiak W., Zaręba J.: Zgrzewanie szyn tramwajowych zgrzewarką dwudrogową. VII Ogólnopolskich Warsztatach Technicznych pt. „SPAWALNICTWO DRÓG SZYNOWYCH - nowoczesne technologie”. Warszawa 2019