

III Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna
SPAWALNICTWO DRÓG SZYNOWYCH

oraz

MATERIAŁY, WYKONAWSTWO, ODBIORY

Warszawa - Bochnia, 21-23 marca 2007r.

SPAWANIE W WARUNKACH NISKICH TEMPERATUR I DUŻYCH PRĘDKOŚCI

Zdeněk RUSÝ, Phd.*

Uwarunkowania historyczne rozwoju spawalnictwa termitowego w różnych krajach Europy i świata spowodowały różnice w podejściu i w ocenie spawu termitowego w torze, jego korzystnego lub niekorzystnego wpływu w określonych warunkach eksploatacji linii kolejowych. Na podstawie analiz, ocen i doświadczeń historycznych wprowadzono w przepisach i instrukcjach każdej kolei narodowej warunki brzegowe określające możliwości wykonywanie robót torowych w torze bezстыkowym, w tym oczywiście spawanie i zgrzewanie. Celem niniejszego artykułu jest przeprowadzenie analizy warunków wykonywania spawów termitowych przy założeniu utrzymania pełnej, nieograniczonej prędkości eksploatacyjnej w torach przez cały czas, o każdej porze roku, biorąc pod uwagę również temperatury ekstremalne.

THERMITE WELDING UNDER LOW TEMPERATURES AND HIGH SPEEDS.

Approach of several Euro-pean railways to the conditions of carrying-on of thermite welds. Climatic conditions in Western and Central Europe allow carrying-on of the welds all over the year excepted extremely cold and extremely hot days. In Central Russia the period of possible welding is limited on about 8 months. The present article demonstrates on Railtech International experience several measures allowing thermite welding under difficult conditions and for very high speeds.

* Mgr inż., Zdeněk RUSÝ Phd. – Naczelny Dyrektor Railtech Slavjana sp. z o.o. z siedzibą w Pradze (Czechy), założonej w 1994 r. Spółka jest filią francuskiej grupy przemysłowej Railtech International. Autor jest absolwentem Wydziału Budowlanego Czeskiego Wysokiego Uniwersytetu Technicznego (ČVUT) w Pradze (1978). 1978 – 1985 - ČSD (Czechosłowackie Koleje Państwowe, 1985 – 1991- Kolejowy Instytut Badawczy (VÚŽ) 1991- Kandydat Nauki (Phd) w dziedzinie geometrii toru dla dużych prędkości, staż na SNCF (modernizacja linii kolejowych dla szybkości podwyższonych i budowa linii dla wielkich prędkości, 1991-1994 – Generalna Dyrekcja ČD (Czeskie Koleje).

1. WSTĘP

Do przedstawienia wyżej wymienionego tematu mojego wystąpienia wykorzystałem doświadczenia z prac mojej firmy wykonanych w ubiegłych latach na terenie Rosji. Wybrany przykład obrazuje bardzo dokładnie jak ostre i krańcowe warunki musiano spełnić podczas wykonywania prac spawalniczych. W warunkach technicznych zawarte są normy obowiązujące przy spawaniu szyn bardzo twardych - normatywnie 360°HB, podczas prac stwierdzono również występowanie odcinków szyn o twardości ponad 400°HB – zahartowanych w całym przekroju. Prace spawalnicze były wykonywane na linii Moskwa – Sankt-Peterburg. Obowiązująca na tej linii prędkość jazdy pociągów wynosi 200 km/h. Prace spawalnicze wykonywano równocześnie w niskiej temperaturze zgodnie z wydanymi przez moskiewski WNIIT warunkami, które dopuszczają jako graniczną do wykonywania spoin termitowych temperaturę -5°C. Technologia spawania szyn firmy Railtech International została zatwierdzona do stosowania na Rosyjskich kolejach bez obostrzeń, w tym ograniczenia prędkości jazdy pociągów.

Popatrzmy, dlaczego warunki spawania termitowego w Rosji były ekstremalne. W Tablicy 1 pokazano temperatury średnio miesięczne, wieloletnie i roczne amplitudy temperatur powietrza zanotowane na czterech stacjach meteorologicznych, coraz bardziej oddalających się od wybrzeża Oceanu Atlantyckiego. Valentia (51°56'N) leży na zachodnim wybrzeżu Irlandii, bezpośrednio nad brzegiem Atlantyku, pozostałe stacje leżą na takiej samej (w przybliżeniu 55-56°N) szerokości geograficznej. Położenie Kopenhagi, odsuniętej od bezpośredniego wpływu Oceanu Atlantyckiego powoduje, że wykazuje ona już cechy kontynentalne w zakresie temperatury powietrza (minimum w styczniu, maksimum w lipcu). Omsk jest stacją położoną na Zachodniej Syberii.

Tablica 1.

Stacja / miesiąc	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Amplituda
Valentia	7,1	7,2	7,4	9,1	11,1	13,6	14,7	15,2	13,6	10,7	8,7	7,5	8,1
Kopenhaga	-0,4	-0,2	1,5	5,8	11,0	15,4	17,0	16,0	12,7	8,2	4,0	1,3	17,4
Moskwa	-10,8	-9,1	-4,8	3,4	11,8	15,6	18,0	15,8	10,1	3,7	-2,8	-8,0	28,8
Omsk	-19,6	-17,6	-11,6	-0,1	10,8	16,4	19,1	13,3	10,4	0,9	-9,4	-16,1	38,7

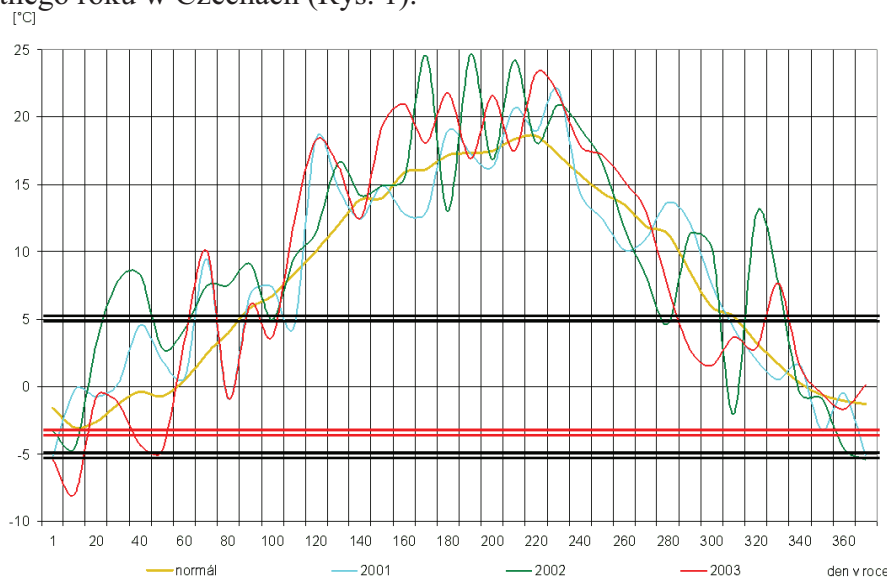
Temperatura minimalna, przy której dopuszcza się wykonywanie spawania termitowego jest faktem bardzo ważnym, warunkującym długość trwania okresu prac spawalniczych w ciągu roku. Wybranie danych dotyczących średnich tem-

peratur i ewentualnie wielkości opadów z warunków klimatycznych – pokazuje, że w kierunku do środka kontynentu rośnie amplituda pomiędzy temperaturą latem i zimą. Z dalszej analizy widać, że blisko wybrzeża Oceanu Atlantyckiego praktycznie może nie być ograniczeń temperaturowych do spawania, mogą one być nawet niepotrzebne. Ograniczenie prac spawalniczych do temperatury -5°C na długości geograficznej Kopenhagi umożliwia wykonywanie spawania w ciągu całego roku z wyjątkiem występowania temperatur ekstremalnych. Na długości geograficznej Moskwy ograniczenie spawania do $+5^{\circ}\text{C}$ teoretycznie pozwalałoby na prowadzenie prac od kwietnia do października, a ograniczenie do -5°C teoretycznie daje możliwości przeprowadzenia prac od marca do listopada.

W Zachodniej Syberii ograniczenie do $+5^{\circ}\text{C}$ pozwalałoby na prowadzenie spawania tylko od maja do września, a ograniczenie do -5°C teoretycznie wydłuża ten czas kwietnia do października.

Trzeba również odnotować, że oprócz niskich temperatur w celu bezpiecznej eksploatacji toru bezстыkowego zwykle ogranicza się prawie wszystkie rodzaje robót torowych do wykonywania w temperaturze poniżej 30°C . W wyniku tego warunku okres czasu na wykonanie prac w torze w centralnej części kontynentu Euroazjackiego jest jeszcze bardziej się ograniczony.

Przyjrzyjmy się teraz trochę bliżej, na wykres średniej temperatury w ciągu przeciętnego roku w Czechach (Rys. 1).



Rys. 1. Wykres występujących temperatur

Z wykresu wynika, że przy ograniczeniu z góry możliwości wykonania spoin termitowych do $+5^{\circ}\text{C}$, w Czechach dopuszczalne byłyby tylko prace pomiędzy 80 a 305 dniem roku, tzn. między 21. marcem a 30. październikiem. Przy przesunięciu granicy i zwiększeniu możliwości wykonywania spoin termitowych do temperatury -5°C zakres dopuszczalnych prac faktycznie byłyby nie-

ograniczony. Niestety, wykonywanie robót spawalniczych w Czechach (ČD) ograniczone jest przepisami do temperatury -3°C .

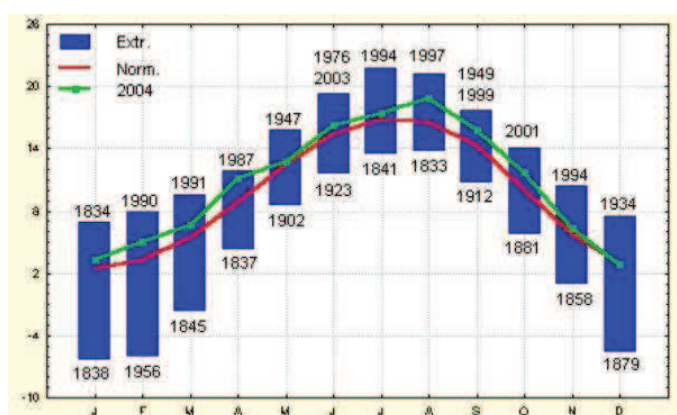
Wykonywanie prac spawalniczych w torze w niskich temperaturach jest możliwe wyłącznie pod warunkiem ścisłej obserwacji i dokumentowania stanu występujących naprężeń w szynach, przy zastosowaniu odpowiednich środków technicznych (ściągacze – naprężacze). Jesteśmy wtedy w stanie osiągnąć w torze (szynach) zarówno podczas, jak i po zakończeniu robót spawalniczych stan wolny od naprężeń, czyli taki jaki uzyskujemy podczas robót w temperaturze neutralnej na danym odcinku toru.

2. PORÓWNANIE KLIMATU W POLSCE I WE FRANCJI.

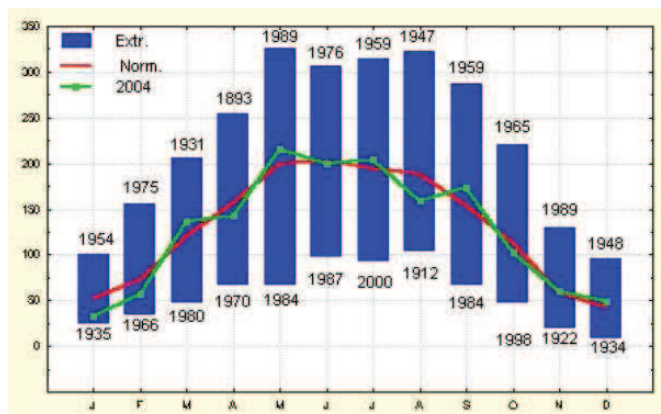
Porównanie klimatu Polski i Francji dokonam na przykładzie dostępnych informacji klimatologicznych dotyczących Europy Zachodniej a pochodzących z dwu miast znajdujących się na terytorium z urzędowym językiem francuskim, więc pierwszym – Ukkel (Uccle) – będące kwartalem Brukseli i drugim Mégève, znajdującym się na granicy Francji i Szwajcarii na wysokości 1 104 m n.p.m. w Alpach. To drugie miejsce jest znaną bazą narciarską. Mój wybór padł na te miasta dlatego, że przedstawiają sytuację geograficznie-klimatologiczną podobną do Polski.

Na Rys. 2 linią czerwoną przedstawione są temperatury średnie w Brukseli, jak również temperatury ekstremalne w poszczególnych miesiącach roku. Proszę zwrócić uwagę na fakt, że na północy Europy Zachodniej średnie temperatury nigdy nie spadają poniżej 0°C (zera) i ekstrema długookresowe od 50 lat nie sięgają poniżej niż -5°C .

Niestety, **spotykamy się z innym faktem klimatologicznym – z opadami**, które osiągają największe wielkości dokładnie o tej porze roku, w której według kryterium środkowo Europejskiego najwygodniej wykonywać spoiny.



Rys. 2. Temperatury średnie i ekstremalne w Brukseli



Rys. 3. Opady średnie i ekstremalne w Brukseli

Obserwacje w Mègeve w ostatnich dwu latach pokazują, że na wysokości + 1 000 metrów wysokości nad poziomem morza w długości geograficznej Paryża lub Londynu można porównać z warunkami klimatycznymi w głębi kontynentu, na poziomie rzeki Wołgi w Rosji centralnej.

Styczeń - Grudzień 2005 roku :

Miesiąc	Temperatura MINI	Temperatura MAXI	T średnia
Styczeń	- 8,2	+ 2,7	- 2,8
Luty	- 10,1	+ 0,3	- 4,9
Marzec	- 4,4	+ 8,6	+ 2,1
Kwiecień	+ 0,3	+ 11,0	+ 5,6
Maj	+ 5,6	+ 17,4	+ 11,5
Czerwiec	+ 9,2	+ 22,8	+ 16,0
Lipiec	+ 9,6	+ 22,3	+ 15,9
Sierpień	+ 8,1	+ 19,9	+ 14,0
Wrzesień	+ 7,1	+ 18,6	+ 12,9
Październik	+ 3,2	+ 16,0	+ 9,6
Listopad	- 2,5	+ 7,2	+ 2,4
Grudzień	- 9,5	- 0,8	- 5,1

Styczeń - Grudzień 2006 roku :

Miesiąc	Temperatura MINI	Temperatura MAXI	T średnia
Styczeń	- 7,9	+ 3,0	- 2,5
Luty	- 7,5	+ 2,6	- 2,4
Marzec	- 4,6	+ 4,8	+ 0,1
Kwiecień	+ 0,7	+ 12,1	+ 6,4
Maj	+ 4,6	+ 16,7	+ 10,7
Czerwiec	+ 7,8	+ 22,5	+ 15,2
Lipiec	+ 11,8	+ 26,6	+ 19,2
Sierpień	+ 7,6	+ 17,9	+ 12,7
Wrzesień	+ 8,2	+ 20,5	+ 14,4
Październik	+ 4,1	+ 17,2	+ 10,7
Listopad	- 0,7	+ 10,4	+ 4,9
Grudzień	- 4,1	+ 6,2	+ 1,1

3. WYKONANIE SPAWU W TEMPERATURZE EKSTREMALNIE NISKIEJ

Kolejnym fenomenem na który chcę zwrócić uwagę jest fakt, że na ostateczną jakość spoiny sama temperatura zewnętrzna nie ma wpływu jeżeli w rzeczywistości korzystamy po prostu z dobrych jakościowo materiałów spawalniczych.

Już w 1993 roku z powodzeniem zostały wykonane na terenie **Sekcji Linowej w Kirunie termitowe spoiny próbne przy temperaturach dochodzących do - 37° C**. Wykonano je z materiałów PLA produkcji firmy Railtech International w Szwecji.



Foto 1a i 1b. Na zdjęciach widać, że węże wchodzą do budynku ogrzewanego



Foto 2. Uszczelnianie form pastą z podajnika

Uszczelnianie formy jest momentem najdelikatniejszym i najmocniej ograniczającym prace ze względu czysto ludzkich - zwyczajowo sądzono, że prace wykonywane ręcznie, bez rękawic należy ograniczyć do temperatury -7°C – tj. temperatury zamarzania propanu. Korzystanie z pasty uszczelniającej w podajniku ułatwia wykonywanie tej pracy.



Foto 3. Podgrzewanie końców szyn

Podczas czynności podgrzewania końców szyn temperatura zewnętrzna jest nieistotną – przy tym samym czasie podgrzewania (chodzi o metodę z szybkim podgrzewaniem) temperatura końców szyn przed spustem może wahać o $\pm 50^{\circ}\text{C}$ w zależności od odpływu ciepła do szyn, jakości gazów w danej miejscowości itp. Eliminację tej różnicy powinna zawsze gwarantować porcja termitowa.



Foto 4. Zapobieganie szybkiemu stygnięciu spoiny

Ochrona prowizoryczna przed zbyt szybkim i nadmiernym ochłodzeniem spawu po wykonaniu cięcia obcinarką. Najpewniejszym sposobem zapewnienia krystalizacji stali spoiny w takich ekstremalnych, niskich warunkach temperaturowych jest pozostawienie całej formy na szynie. Stanowi ona wtedy ochronę przed odpływem ciepła do szyn. Późniejszą obróbkę należy wykonać przez cięcie piłą lub szlifierką kątową (tarczową).



Foto 5. Pomiar temperatury spoiny podczas stygnięcia

Podczas wykonywania spoin termitowych w warunkach temperatur ekstremalnie ujemnych należy bezwarunkowo ściśle kontrolować i regulować prędkość stygnięcia.

4. PRAKTYCZNE WYKONANIE SPOIN TERMITOWYCH NA LINII O PRĘDKOŚCI ≥ 350 KM/H

Jednym z zasadniczych parametrów które bierze się pod uwagę przy planowaniu i wykonywaniu robót spawalniczych jest interwał temperatur „neutralnych”, który jest ustalany indywidualnie dla stref klimatycznych kraju (a nawet teoretycznie ustalane – jak pokazano powyżej - według warunków klimatycznych tylko dla pewnych regionów kraju). W przypadku spawania poza granicami obowiązującej temperatury „neutralnej” wykonanie spoin termitowych jest możliwe wyłącznie (popatrz wyżej) przy wykorzystaniu zasad wyrównania naprężeń termicznych w szynach w sposób wymuszony i osiągnięciu w ten sposób temperatury neutralnej (takiej jaką mamy w przyległym odcinku toru) po całkowitym zakończeniu robot.

Zastosowanie powyższych zasad wykonywania robót powoduje brak uzasadnionych podstaw wprowadzenia ograniczeń prędkości eksploatacyjnych i jednocześnie należy stwierdzić, że niema znaczenia ze względów metalurgicznych i wytrzymałościowych spoiny.



Foto 6. Brygada spawaczy na linii TGV Paryż – Strasburg w lutym 2006, Naprężacz i stojaki Railtech International do wyrównania końców szyn

Podczas spawania termitowego w bardzo niskich temperaturach (poniżej - 5°C) występują następujące zagrożenia mogące spowodować wady złącza:

- niewłaściwe podgrzewanie (propan marznie przy -7°C),
- niewłaściwe działanie naprężacza – urządzenie powinno być w doskonałym stanie eksploatacyjnym, żeby zapobiec rozluźnieniu szczeliny w trakcie wy-

- konania spoiny. Szyny nie mogą przemieścić się w ciągu pierwszych 3 minut po odlaniu stali. (Należy sprawdzić działanie naprężacza przed wykonaniem robót torowych, i skontrolować wskazania ciśnienia oleju hydraulicznego),
- duży poziom wody (z śniegu, lodu) w tłuczniu – w wyniku ciepła uwolnionego w procesie spawania termitowego. Składniki podłoża torowego mogą roztopić się i wytwarzać niewłaściwe warunki dla eksploatacji spawu przy wielkiej prędkości na danym torze.

5. PORÓWNANIE WARUNKÓW SPAWANIA PRZY TEMPERATURZE NISKIEJ W POLSCE I WE FRANCJI

W Polsce dopuszczalna minimalna temperatura do wykonania spoin termitowych obecnie wynosi $+5^{\circ}\text{C}$ i wynika prawdopodobnie z historycznych doświadczeń. We Francji, na sieci SNCF nie ma różnicy temperatury dopuszczalnej do wykonania spoin termitowych między północą i południem, wschodem i zachodem kraju. W praktyce SNCF uważa, że spawanie termitem – to jest metodami Railtech International - jest „możliwe” do temperatury -5°C przy konieczności zachowania czterech warunków tj.:

1. Podgrzewania : zachowywać ściśle ciśnienie gazów przy niskich temperaturach – np. grzanie butli z propanem przy pomocy elektrycznej maty alpinistycznej. Butla taka, na którą oddziałuje przez całą dobę zimny wiatr lub jest przechowywana w niskiej temperaturze zewnętrznej (w składzie nie ogrzewanym, w samochodzie lub wagonie brygady spawaczy), należy ogrzać przy pomocy ww. maty przez 1 godzinę do temperatury $+30^{\circ}\text{C}$ i następnie temperaturę tą stale utrzymywać.

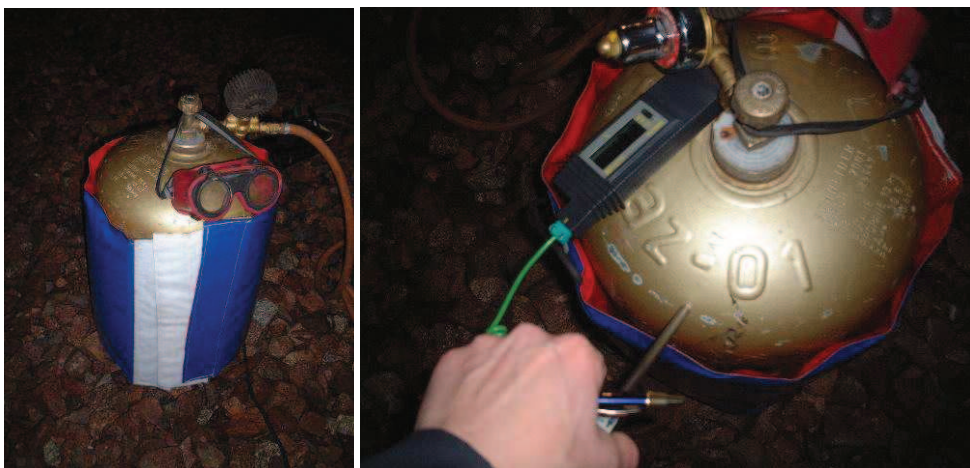


Foto 7. Butle z propanem należy ogrzać przy pomocy maty alpinistycznej 1 godzinę do temperatury $+30^{\circ}\text{C}$ i tej temperatury później nie przekraczać (na zdjęciu kontrola temperatury termometrem elektronicznym).

2. Stanu pasty uszczelniającej : Masa uszczelniająca dostarczana przez firmę Railtech International gwarantuje trwale właściwości fizykalne w rozpiętości temperatury od +30°C do -5°C, to znaczy w całej rozpiętości temperatur realnych do wykonywania robot torowych.

3. Granicy technicznej, i ustawowej:

- Na sieci SNCF w zasadzie zabronione jest niezabezpieczone cięcie szyny w torze bezстыkowym przy temperaturach poniżej 0°C dla tego, że szyna może złamać się z powodu naprężeń ekstremalnych pod koniec cięcia.

- Jeżeli tłuczeń jest zamrożony (zawiera gliny i wodę lub dużą ilość śniegu i lodu) – to bardzo trudno, a nawet niemożliwe może być ustawienie wzniosu szyny do spawania.

4. Ludzkiej: Człowiek nie może pracować (nie można go zmuszać do pracy) przy bardzo niskich temperaturach wbrew postanowieniom ustawy lub innych przepisów danego kraju.

6. SPAWANIE TERMITEM NA NOWEJ LINII TGV PARYŻ – STRASBURG W LUTYM 2006 DLA PRĘDKOŚCI ≥ 350 KM/H

We Francji na sieci torów SNCF, nie ma ograniczeń prędkości dopuszczalnej na liniach w których połączenia szyn wykonano metodą spawania termitowego Railtech International z krótkim czasem podgrzewaniem PLR (w Polsce ważna jest aprobata do podobnej metody – PLA do szczeliny 25 i 68 mm). Do spawania w torach o dużych prędkościach **niema więcej osobnych warunków odbioru, wykonania i dostaw**. Zestawy spawalnicze dostarczane są bezpośrednio z hurtowni firmy Railtech International w miasteczku St.Amand-les-Eaux we Francji północnej (tak jak u innych dostawców materiałów kolejowych np. szyn). Stwierdzono, że taniej i sprawniej wychodzi produkcja o wysokiej jakości na bieżąco niż organizowanie akcji pociągającej za sobą osiągnięcie największej jakości przy okazji dostaw do budowy i utrzymania sieci kolejowej dużych prędkości.



Foto 8a i 8b. Odcinek na którym wykonywano zdjęcia na linii TGV w lutym i marcu 2006

Warunki odbioru geometrii wykończonej spoiny przy spawaniu alumino-termicznym w torach o prędkości $\geq 270\text{km/h}$ są ściśle określone, ostre i wynoszą:

- długość odcinka szlifowanego nie powinna być większą niż 600 mm,
- wznios na długości 900 mm nie powinien wynosić więcej niż +0,2 mm,
- wgłębienie na długości 1 000 mm nie powinna wynosić więcej niż - 0,1mm,

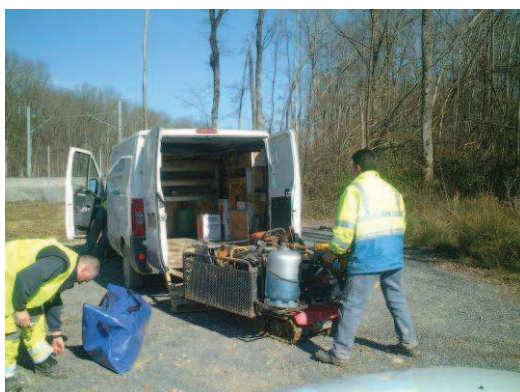


Foto 9. Brygada spawaczy dojeżdża transporterem gąsienicowym do miejsca pracy



Foto 10. Brygada spawaczy z transporterem gąsienicowym na nowej linii

7. KONKLUZJE

Jakość spoin termitowych Railtech International wykonywanych w bardzo zróżnicowanych warunkach klimatycznych i eksploatacyjnych są bardzo dobre – mówiąc o kontynencie Euroazjatyckim. Przeprowadzone wielokrotnie badania i sprawdzenia przez naukowców z firmy i niezależnych wykazały, że jakość połączeń spawanych od wybrzeża Atlantyckiego do brzegów Wołgi jest bez zarzutu, tak samo jak ich trwałość na przestrzeni wieloletniej eksploatacji. Również na kontynencie Amerykańskim, Afryce Południowej i w Australii wykonywano spawy termitowe technologią i materiałami Railtech International.

Prace spawalnicze były tam prowadzone w specyficznych warunkach nowoczesnej kopalni rud, gdzie występują siły nacisku na oś ok. 37 ton. Wykonane spoiny charakteryzują się trwałością i wieloletnią eksploatacją bez usterek.

Z analizy wyników i doświadczenia można wyciągnąć następujące wnioski :

1. Spawanie termitowego można stosować w torach bez ograniczenia prędkości i siły nacisku na oś.

Warunkiem trwałej eksploatacji jest ściśle i dokładne wykonanie oraz wykończenie spoiny, inaczej mówiąc ograniczenie wpływu czynnika ludzkiego.

Parametry geometryczne wymagane dla spoiny w torach z prędkością $V \geq 270 \text{ km/h}$:

- długość odcinka szlifowanego nie powinna być większą niż 600 mm,
- wznios na długości 900 mm nie powinien wynosić więcej niż +0,2 mm,
- wgłębienie na długości 1000 mm nie powinna wynosić więcej niż -0,1 mm,

2. Spawy termitowe można wykonać niezależnie od temperatury zewnętrznej, jeżeli zabezpieczy się odpowiednie warunki techniczne wykonania –wprowadzenia w torze bezстыkowym stanu wolnego od naprężeń, ochronę przed wiatrem i opadami oraz uwzględni czynnik ludzki.

Należy zwrócić uwagę na:

- Podgrzewanie: zachowywać ściśle ciśnienie gazów przy niskich temperaturach – np.: poprzez grzanie butli z propanem przy pomocy elektrycznej maty alpinistycznej przez 1 godzinę przed początkiem robót do temperatury +30°C i tej temperatury później nie przekraczać.
- Stan pasty uszczelniającej: Masa uszczelniająca dostarczana przez firmę Railtech International gwarantuje trwale właściwości fizykalne w rozpiętości temperatury od +30°C do -5°C, to znaczy w całym realnym przedziale temperatur do wykonywania robot torowych.
- Granice techniczną, ludzką i ustawową:
 - zabronione jest niezabezpieczone cięcie szyny w torze bezстыkowej przy temperaturach poniżej 0°C. Szyna może złamać się z powodu naprężeń ekstremalnych przy końcu cięcia,
 - należy stosować naprężacze hydrauliczne,
 - przy tłucznii zamrożonym (zawierającym glinę i wodę lub dużą ilość śniegu i lodu) często nie możliwe jest ustawienie końców szyn we wzniosie,
 - człowieka nie można zmuszać do pracy przy bardzo niskich temperaturach wbrew postanowieniom ustawy lub innych przepisów danego kraju.
 - zwykle sądzono, że praca bez rękawic ograniczana jest temperaturą -7°C – tj. temperaturą zamarzania propanu. Stosowanie podajników i past uszczelniających oraz korzystanie z namiotów do ochrony brygady na budowie znosi te bariery.



Foto 11a i 11b. Namiot ochronny dla pracowników podczas wykonania spoin termitowych w trudnych warunkach klimatycznych



Foto 12. Reakcja w namiocie ochronnym



Foto 13. Pełny zestaw Railtech dla ustalenia szyn i zabezpieczenia cięcia przy temperaturach niskich

LITERATURA

W artykule korzystano z dokumentacji Railtech International oraz Railtech Sotif.