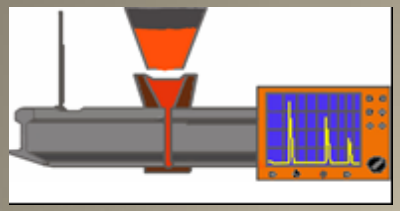


VI OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA TECHNICZNA

„SPAWALNICTWO DRÓG SZYNOWYCH technologie spajania konstrukcji bezstykowych”

Bezpieczeństwo bezstykowych złączy szynowych

Roman Olgierd Wielgosz

Warszawa 11 - 13 maja 2016

Połączenia bezstykowe szyn pozwalają uzyskiwać złącza, które stanowią pełnowartościowy odcinek szyny i nie obniżają właściwości użytkowych toru kolejowego. Znane są parametry jakie uzyskują złącza wykonane różnymi metodami i są stosowane w zależności od potrzeb.

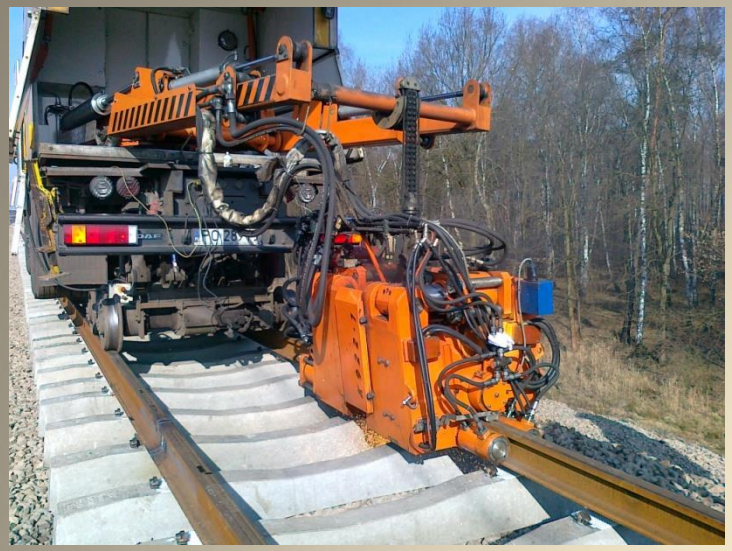
Złącza zgrzewane

Złącza spawane termitowo

Złącza w szynach Vignole`a

Złącza w szynach rowkowych

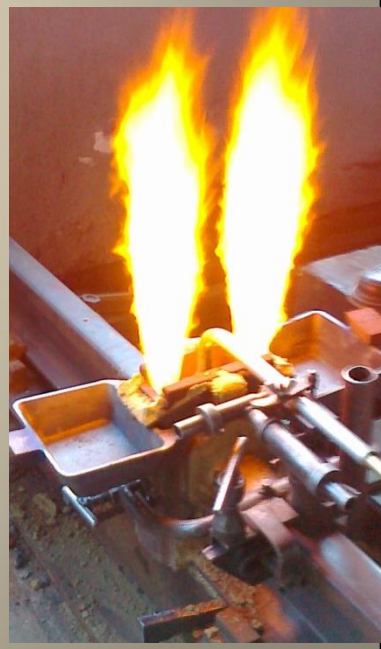
Złącza spawane elektrycznie



W przypadku łączenia szyn metodą zgrzewania o jakości złącza decydują przede wszystkim zastosowane urządzenie wraz z oprzyrządowaniem oraz narzędzia pomocnicze. W mniejszym stopniu na jakość połączenia ma wpływ człowiek. Jeżeli dotrzymane są warunki w jakich należy wykonywać złącze to powstanie wad połączenia jest bardzo rzadkie.

Dużymi zaletami technologii spawania termitowego jest mała ilość sprzętu niezbędna do wykonania złącza spawanego oraz możliwość dostarczenia tego sprzętu i materiałów na miejsce robót nie koniecznie pojazdem szynowym, lecz również samochodem drogą dojazdową lub innym środkiem transportu nieporuszającym się po torach.

Spawanie termitowe szyn poza właściwym zastosowaniem odpowiednich materiałów dodatkowych wykorzystywanych podczas wykonywania spoiny w znacznym stopniu zależy od umiejętności spawacza i jego doświadczenia. Dlatego powstanie wad w złączach zdarza się stosunkowo często.



Spawanie elektryczne **stosuje się głównie do trwałego łączenia elementów nawierzchni szynowej w miejscach trudno dostępnych, gdzie nie jest możliwe spawanie termitowe lub zgrzewanie.**

Technologia ta wymaga posiadania przez spawaczy bardzo wysokich kwalifikacji i odpowiedniego przeszkolenia do wykonywania tego typu prac spawalniczych.

Przedstawione metody bezstykowego łączenia szyn są obecnie dokładnie przebadane.

Własności poprawnych złączy uzyskane w przedstawionych metodach zostały przedstawione w załączonej literaturze.

Jednak, w zależności od zastosowanej metody wykonania złącza bezstykowego, mogą pojawić się w strefie połączenia różnego rodzaju wady.

W celu uniknięcia ich powstania konieczne jest ścisłe przestrzeganie określonych procedur związanych z wybraną metodą łączenia.

Pęknięcia w złączach bezstykowych

Można więc stwierdzić, że wysoka jakość bezstykowych połączeń szyn gwarantująca bezpieczeństwo ruchu pociągów wymaga − przy wykonywaniu złączy − stosowania sprawnych urządzeń, właściwego doboru materiałów pomocniczych i wysoko wykwalifikowanych operatorów.

Spełnienie tych wymagań można uzyskać przez certyfikowanie zarówno urządzeń, materiałów pomocniczych, jak też operatorów i spawaczy

Należy przypomnieć, że w instrukcji id-1 (D-1) -Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych- w paragrafie 6 p.2 istnieje zapis

„Do budowy torów bezstykowych w torach na szlakach i głównych zasadniczych na stacjach należy stosować szyny długie zgrzewane stacjonarnie, przy czym jakość zgrzein powinna odpowiadać wymaganiom zawartym w warunkach technicznych. Łączenia szyn długich oraz szyn w pozostałych torach powinny być wykonywane metodą zgrzewania, spawania termitowego lub inną metodą dopuszczoną do stosowania przez zarządcę infrastruktury”

W instrukcji id-106 –Warunki wykonania i odbioru szyn kolejowych - podano, że szyny używane do toru bezstykowego winny być sprawdzane między innymi na: – Odporność na kruche pękanie (K_{IC}), prędkość rozwoju pęknięcia zmęczeniowego, naprężenia resztkowe w stopce szyny.

W publikacjach dotyczących wad występujących w bezstykowych złączach szynowych rozważa się zagadnienia związane z procesem technologicznych wykonywania złącza, niewiele uwagi poświęca się szynom.

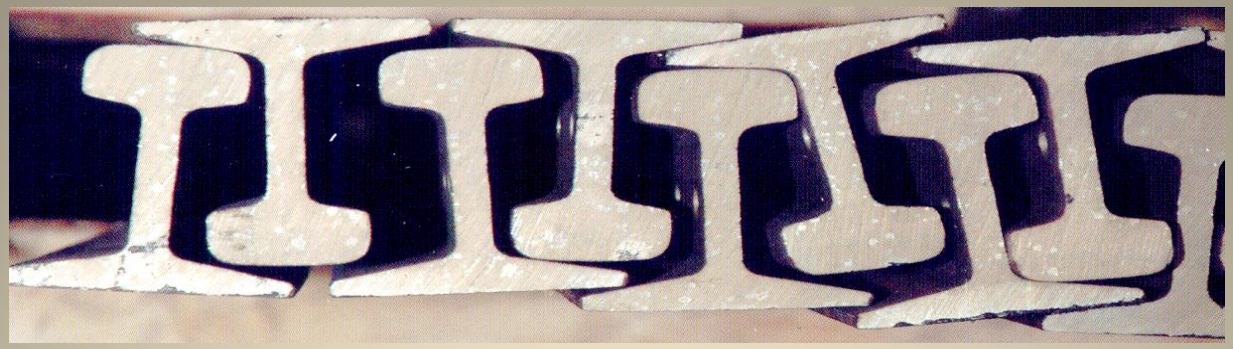
Obowiązujący aktualnie na system zakupu szyn opiera się na certyfikacji producenta szyn. Podczas dostawy szyn producent przedstawia odpowiednie dokumenty stwierdzające poprawność wykonania szyn. W procesie tym nie bierze udziału przedstawiciel kupującego, jak to miało dawniej miejsce.

W obecnej sytuacji w praktyce stosuje się jedynie certyfikację producenta szyn w oparciu o audyty.

Dokumentem jakości dostawy partii szyn jest Świadectwo Odbioru 3.1 "rodzaj 3.1" czyli dokument wystawiony przez wytwórcę, w którym stwierdza on, że dostarczone wyroby są zgodne z wymaganiami podanymi w zamówieniu i podaje wyniki badań.

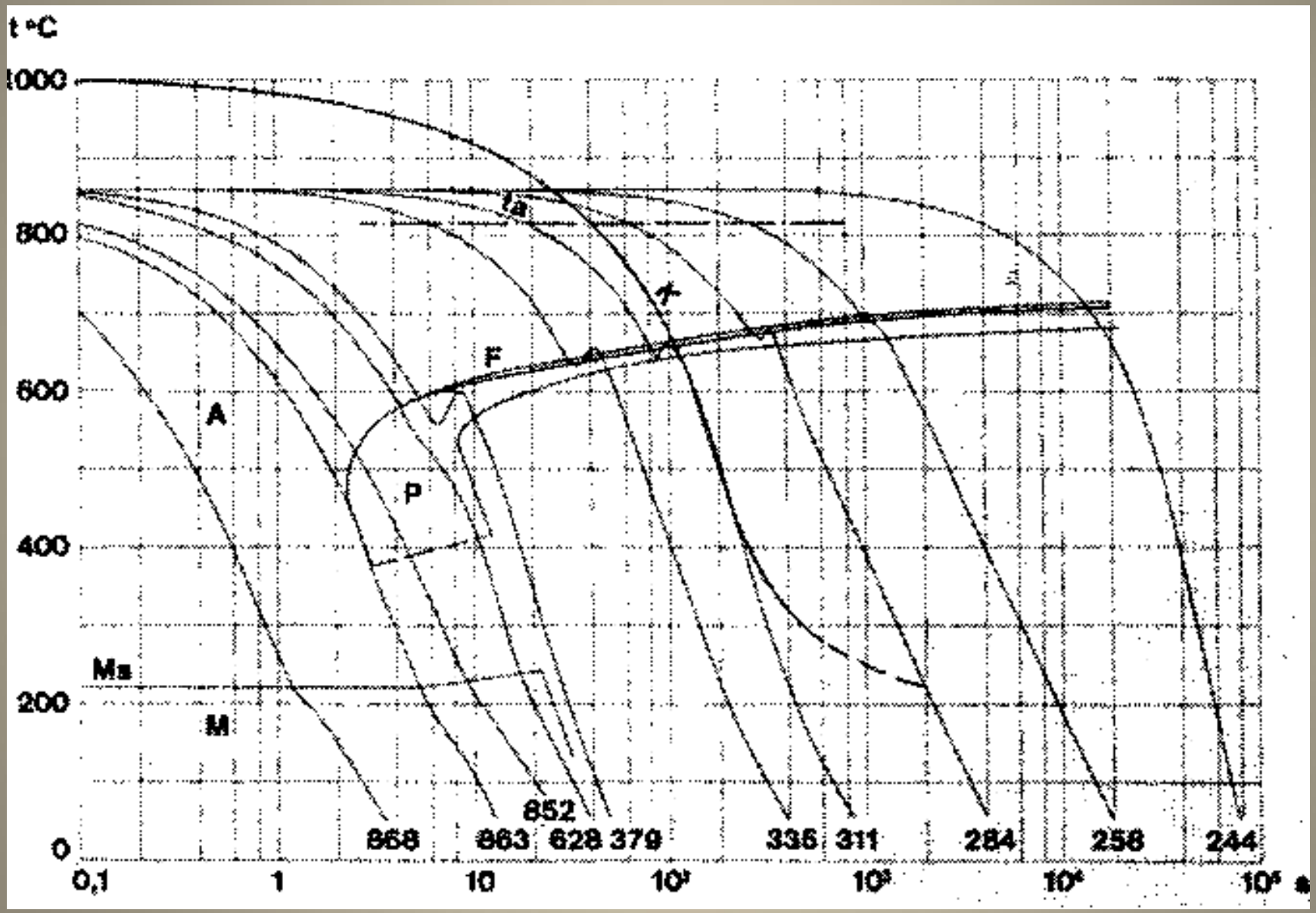
W 2003 roku ukazała się pierwsza część normy EN 13674-1. Norma ta wprowadza nowe gatunki stali szynowych, nowe oznaczenia profili szyn zawiera również program obowiązkowych badań jakości (kwalifikacyjne) oraz badania odbiorcze.

Przewiduje się siedem gatunków stali zalecanych do produkcji szyn. Oznaczenia gatunków stali przyjęto zgodnie z odpowiednimi normami europejskimi i polskimi (PN-EN 10027-1 i PN-EN10027-2).



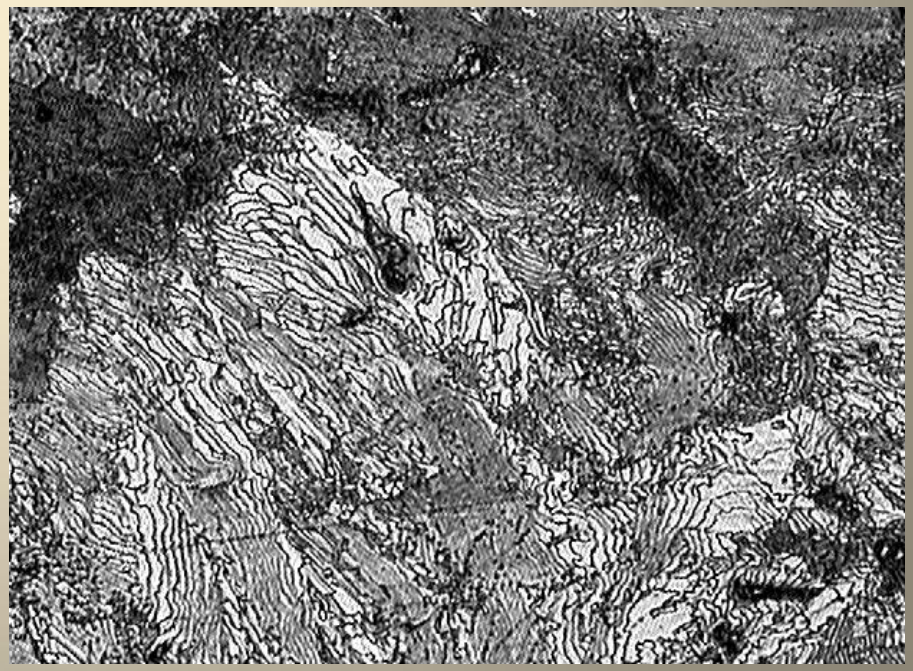
Oznaczenie stali	Opis	Numer materiałowy	Dotychczasowe oznaczenie
R200	Węglowo-manganowa	1.0521	R0700
R220	Węglowo-manganowa	1.0524	R0800
R260	Węglowo-manganowa	1.0623	R0900; St90PA
R260Mn	Węglowo-manganowa	1.0624	R0900Mn; St90PB
R320Cr	Niskostopowa	1.0915	R1100Cr
R350HT	Węglowo-manganowa obrabiana cieplnie	1.0631	R1200
R350LHT	Niskostopowa obrabiana cieplnie	1.0632	

Wykres CTP dla stali szynowej



Struktura stali szynowej

Pow. 100x



Pow. 500x

Badania szyn

Zgodnie z normą europejską EN 13674-1. Szyny normalnotorowe - obowiązują dwie grupy badań, a mianowicie:

badania jakości (kwalifikacyjne),

badania odbiorcze.

Badania jakości (kwalifikacyjne),

Są prowadzone w celu sprawdzenia zgodności cechy wyrobu z założeniami projektowymi lub wymaganiami zamówienia przed podjęciem produkcji seryjnej danego wyrobu.

Badania odbiorcze.

Prowadzi się w celu sprawdzenia zgodności dostarczonego wyrobu z wymaganiami zawartymi w zamówieniu

Badania kwalifikacyjne

W przypadku stali szynowych badania te obejmują

Odporność na pękanie. Badanie należy wykonać zgodnie z ASTM E 399 z uwzględnieniem wymagań specjalnych zawartych w aneksie stanowiącym załącznik do normy EN 13674-1. Minimalne wartości K_{IC} zależą od gatunku materiału. Badanie należy przeprowadzić na co najmniej 5 próbkach wyciętych z główki szyny.

Szybkość propagacji pęknięć zmęczeniowych

Badania należy wykonać zgodnie z wymaganiami ogólnymi normy BS 6835-1.

Badanie obejmuje obciążenie cykliczne próbki w którym pęknięcie zmęczeniowe jest wprowadzane i propagowane przy kontrolowanych warunkach.

Wzrost pęknięcia zmęczeniowego (da) w stosunku do ilości cykli (dN) jest szybkością propagacji pęknięć zmęczeniowych (da/dN) i jest określane jako amplituda współczynnika intensywności naprężeń (Δk).

Wartości współczynnika intensywności naprężeń (K_{IC}) i szybkości propagacji pęknięcia zmęczeniowego (m/Gc)

Gatunek stali	Minimalna wartość pojedynczego pomiaru K_{IC} [MPa $m^{1/2}$]	Minimalna wartość średnia K_{IC} [MPa $m^{1/2}$]	Amplituda współczynnika intensywności naprężeń $\Delta K = 10$ [MPa$m^{1/2}$]	Amplituda współczynnika intensywności naprężeń $\Delta K = 13,5$ [MPa$m^{1/2}$]
R200	30	35	-	-
R220	35	35	17 m/Gc	55 m/Gc
R260 R260Mn	-	29	17 m/Gc	55 m/Gc
R320Cr	-	26	-	-
R350HT	30	32	17 m/Gc	55 m/Gc
R350LHT	35	29	17 m/Gc	55 m/Gc

Badania zmęczeniowe. **Prowadzi się zgodnie z ISO 1099. Pomiar przeprowadza się na minimum 3 próbkach cylindrycznych wyciętych z główki szyny o wymiarach zgodnych z wymogami normy EN 13647-1. Wszystkie badane próbki muszą wytrzymać 5 x 10^6 cykli.**

Naprężenia własne w stopie szyny. **Badania prowadzi się na 6 próbkach o długości 1 m. Procedura pomiaru zgodna z wymogami normy EN 13674-1. Maksymalne naprężnie szczątkowe dla wszystkich gatunków stali nie może przekraczać 250 MPa.**

Zmienność twardości linii środkowej powierzchni tocznej szyn ulepszanych cieplnie.

Pomiar przeprowadza się wyłącznie dla szyn obrabianych cieplnie. Wzdłuż badanej szyny w odstępach co 20 m na odcinkach o długości 1 m co 25 mm w linii środkowej powierzchni tocznej bada się twardość. Pomiaru dokonuje się po usunięciu warstwy materiału o grubości 0,5 mm. Pomiar przeprowadza się metodą Brinella zgodnie normą EN ISO 6506-1. Zmierzona twardość nie może przekraczać wartości średniej o więcej niż +- 15 HRB.

Wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie.

W ramach badań kwalifikacyjnych producenci szyn są zobowiązani do przeprowadzenia skomplikowanej procedury dotyczącej oceny wytrzymałości stali.

Producenci powinni uzyskać informację o korelacji pomiędzy twardością, składem chemicznym a wytrzymałością i wydłużeniem uzyskaną w oparciu o równania regresji. Informacja ta powinna być opracowana na podstawie wyników pochodzących ze 100 wytopów dla danego gatunku stali i następnie zweryfikowane przez następne 200 wytopów.

Opracowane zależności powinny zawierać wyniki mieszczące się w granicach średnich wartości wytrzymałości 12,5 MPa i wydłużenia 1,5 %.

Zależności powinny być weryfikowane na drodze wyrywkowego badania losowego wytrzymałości na rozciąganie przy minimalnej częstości 1 badania na 2000 ton walcowanych przez wytwórcę w danym gatunku stali. Jednostkowe wyniki badania nie mogą przekraczać wartości średnich o +- 25 MPa i 2 % wydłużenia.

Warunki wewnętrzne

segregacja. Badanie polega na wykonaniu odbitek na siarkę (Baumanna) zgodnie z ISO 4968.

Odbitki ocenia się zgodnie z wzorcami zamieszczonymi w normie EN 13674-1.

Inne wymagania jakości

W uzupełnieniu badań kwalifikacyjnych dostawca szyn powinien wykonać komplet badań odbiorczych wykonanych z tych samych szyn z których pobrano próbki do badań kwalifikacyjnych.

Badania odbiorcze

Obejmują one

Badania laboratoryjne

Tolerancje wymiarowe

Sprawdziany

Wymagania odbiorcze

Badania laboratoryjne

Wykonuje się je podczas produkcji zgodnie zaleceniami dotyczącymi częstotliwości badań.

Badania te obejmują: analizę składu chemicznego, ocenę mikrostruktury, pomiar odwęglenia, zanieczyszczenie tlenkami, segregację siarki (próba Baumanna), pomiar twardości, próbę rozciągania.

Badania laboratoryjne c.d.

- ***Analiza składu chemicznego*. Obejmuje określenie zawartości poszczególnych składników stali. Skład chemiczny w stanie płynnym określa się dla każdego wytopu. W stanie stałym skład chemiczny określa się w materiale główki szyny w miejscu pobieranie próbek do badania wytrzymałości na rozciąganie.**

Dodatkowo określa się zawartość wodoru. Zawartość wodoru nie powinna przekraczać wartości 2,5 ppm, w stalach R200 i R220 dopuszcza się zawartość wodoru do 3,0 ppm.

Norma wymaga również oznaczenia całkowitej zawartości tlenu. Zawartość tlenu może być oznaczona w stali w stanie ciekłym lub w stanie stałym z główki szyny. Dopuszczalna zawartość tlenu nie powinna przekraczać 20 ppm;

Badania laboratoryjne c.d.

- ***Mikrostruktura.*** **Mikrostrukturę przedstawia się przy powiększeniu 500 x. Próbki do badań pobiera się z określonych projektem normy miejsc główki szyny.**

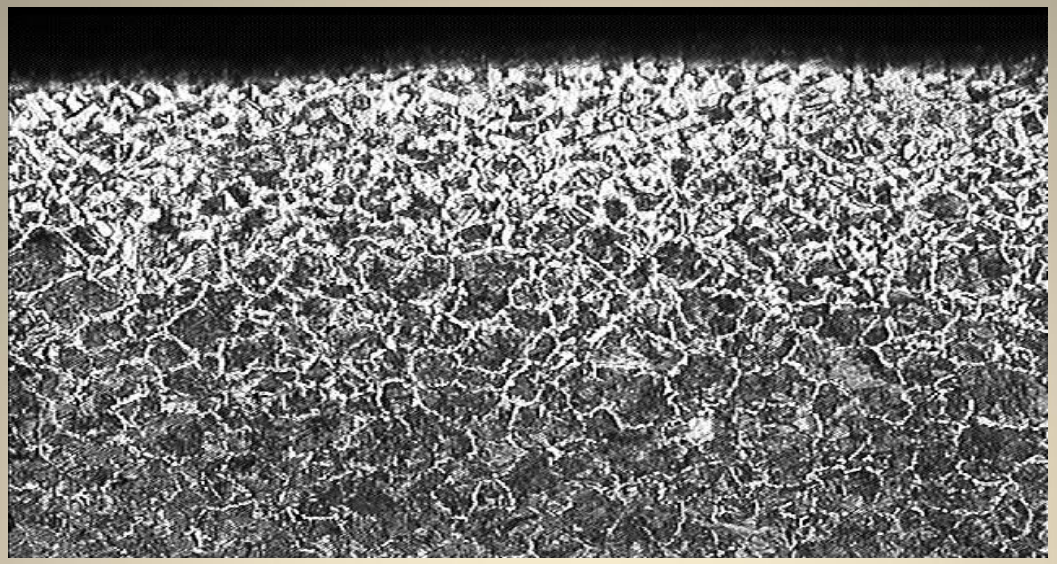
W stalach R200 i R220 struktura powinna być perlityczna z wydzieleniami ferrytu na granicy ziarn.

W stalach R260 i R 260Mn dopuszcza się lokalne nieliczne wydzielenia ferrytu na granicach ziarn nie tworzące siatki.

W stali R320Cr struktura powinna być w pełni perlityczna.

Stale R350HT i R350LHT powinny mieć również strukturę perlityczną, dopuszcza się jednak nieliczne wydzielenia ferrytu na granicach ziarn nie tworzące siatki.

Badania laboratoryjne c.d.



- ***Pomiar odwęglenia.*** **Dopuszcza się występowanie ciągłej siatki ferrytu do głębokości 0,5 mm od powierzchni główki szyny.**

Obniżenie twardości wynikające z odwęglenia może wynosić najwyżej 7 HRB poniżej dolnej granicy twardości przewidzianej dla materiału główki szyny z badanego gatunku stali.

Badania laboratoryjne c.d.

- ***Zanieczyszczenie tlenkami.*** **Próbki do badań należy przygotować z główki szyny z miejsc zalecanych projektem normy i ocenić zgodnie z DIN 50602. Wzorzec K3 powinien być mniejszy od 10. Dla 5% próbek dopuszcza się wartości 10<K3<20.**

- ***Segregacja siarki.*** **Odbitki na rozłożenie siarki w przekroju poprzecznym szyn należy przygotować zgodnie z ISO 4968. Ocenę przeprowadza się w oparciu o wzorce zawarte w załączniku normy.**

Badania laboratoryjne c.d.

- ***Pomiar twardości.*** **Pomiary twardości przeprowadza się metodą Brinella zgodnie z EN 10003-1. Pomiar przeprowadza się przy pomocy kulki z węglika wolframu o średnicy 2,5 mm przy obciążeniu 1,839 kN.**

Twardość na linii środkowej korony główki szyn nie może różnić się więcej niż o 30 HRB dla każdej szyny. Dla szyn obrabianych cieplnie pomiary przeprowadza się po usunięciu warstwy o grubości 0,5 mm.

Badania laboratoryjne c.d.

Próba rozciągania. **Próbę rozciągania przeprowadza się zgodnie z EN 10002-1 stosując próbki pięciokrotne o średnicy pomiarowej 10 mm. Przed próbami rozciągania próbki powinny być wyżarzane w temperaturze 200^0C przez 6 godzin.**

Badania dotyczące jakości materiału szyn powinny być przeprowadzane przez wytwórcę z określoną częstotliwością

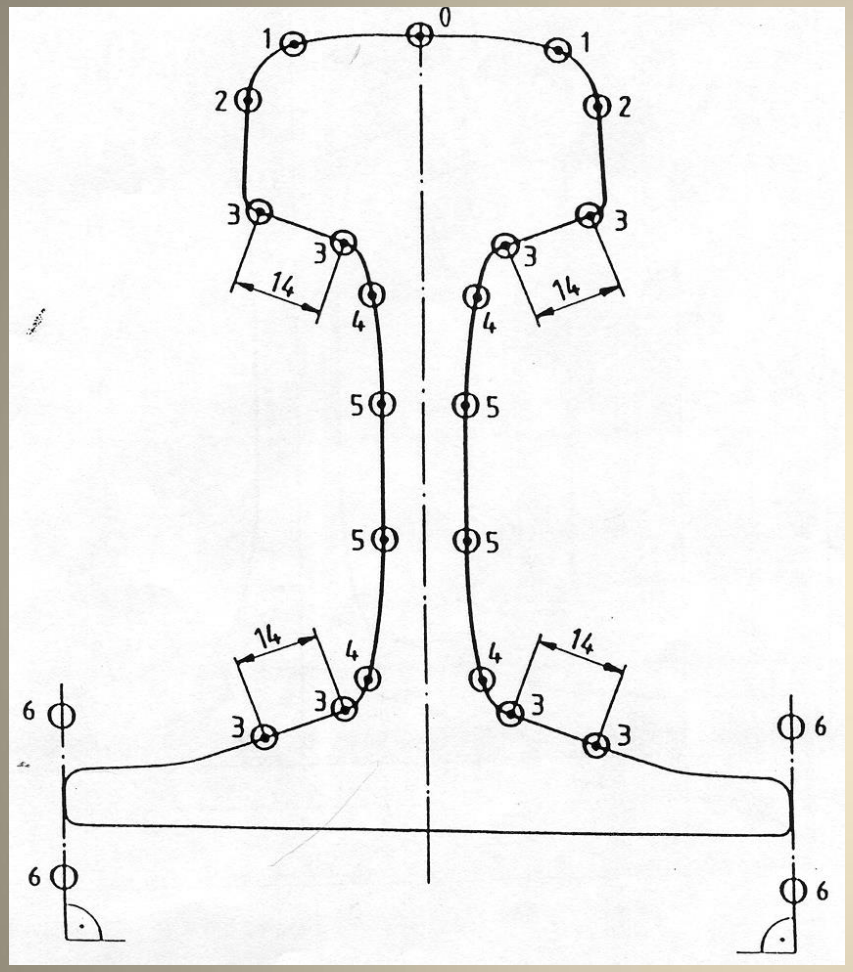
Tolerancje wymiarowe

W ramach sprawdzania tolerancji wymiarowych mierzy się wymiary przekroju poprzecznego szyny (profilu). Sprawdza się prostość, płaskość powierzchni i skręcenie (wichrowatość).

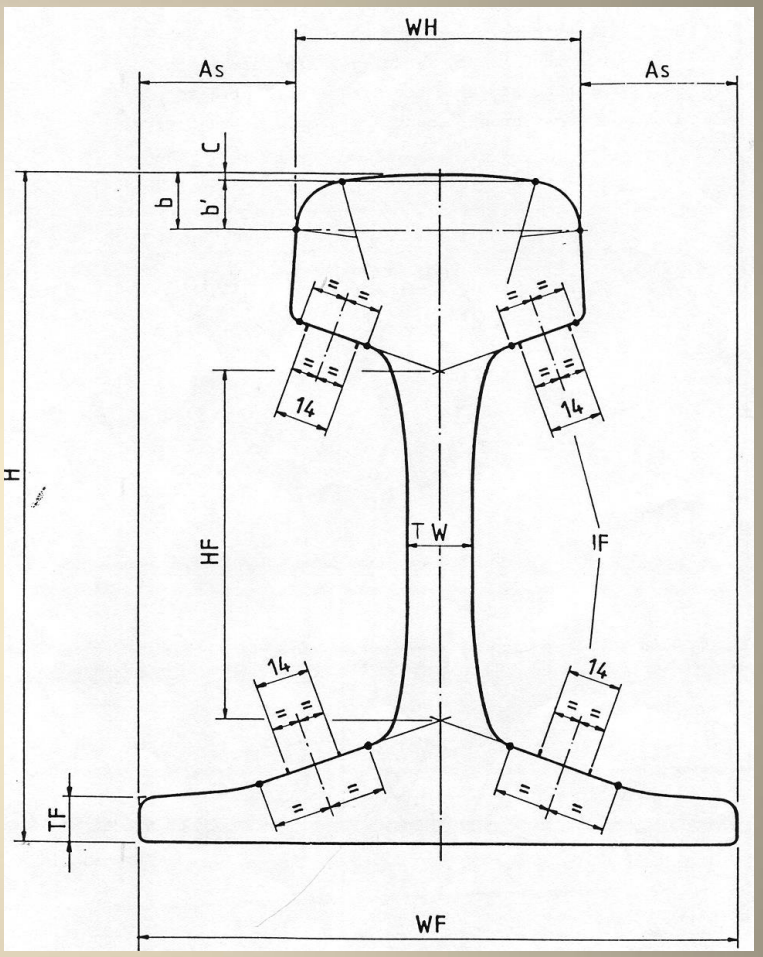
Parametry te powinny mieścić się w granicach tolerancji dopuszczonych przez normę.

Sprawdziany

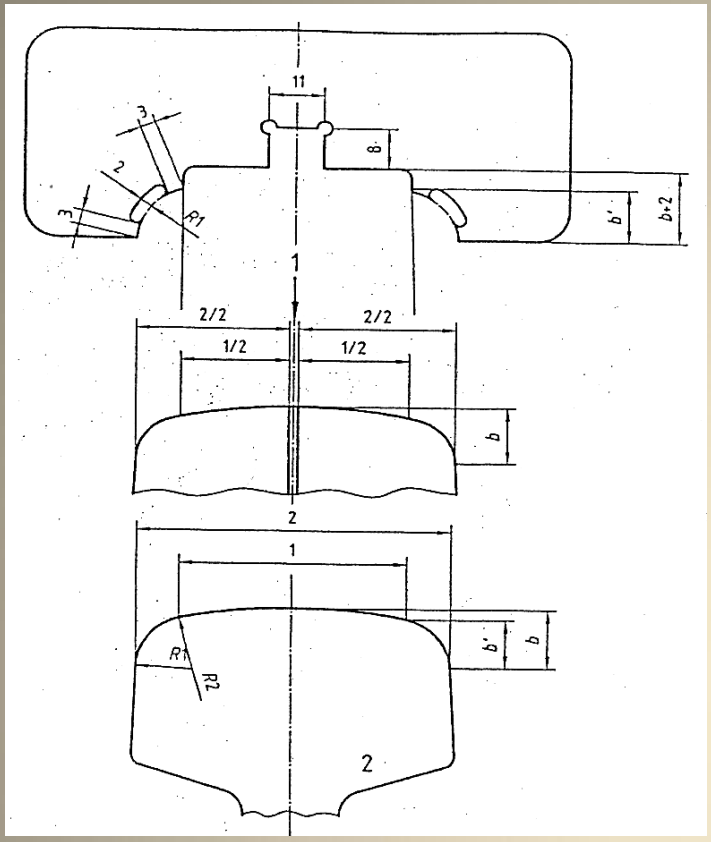
Stanowią podstawowe narzędzie do oceny poprawności kształtu profilu szyny. W przypadku stosowania innych technik pomiarowych w kwestiach spornych stosuje się wyłącznie ocenę przy zastosowaniu sprawdzianów.

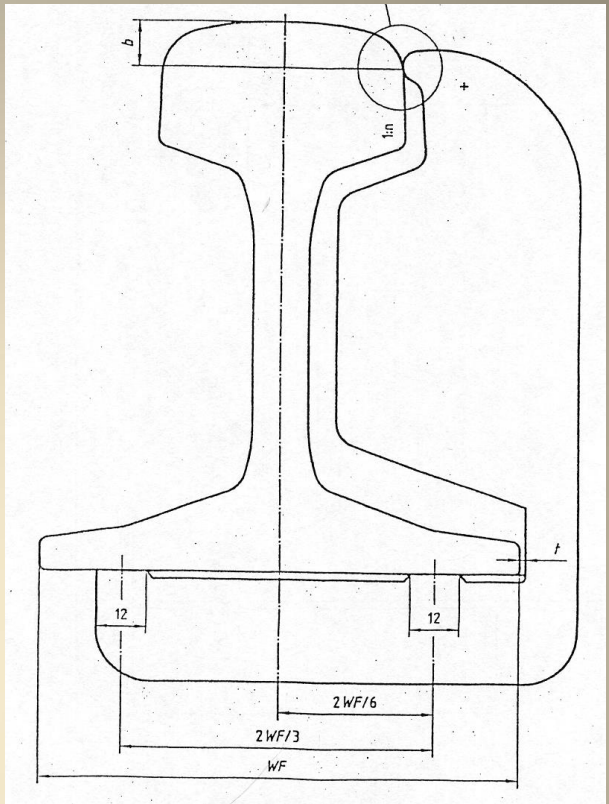


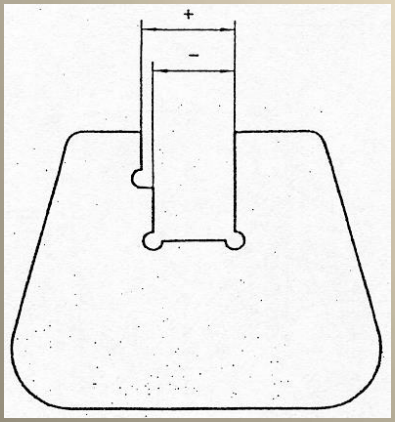
Miejsca zastosowania sprawdzianów

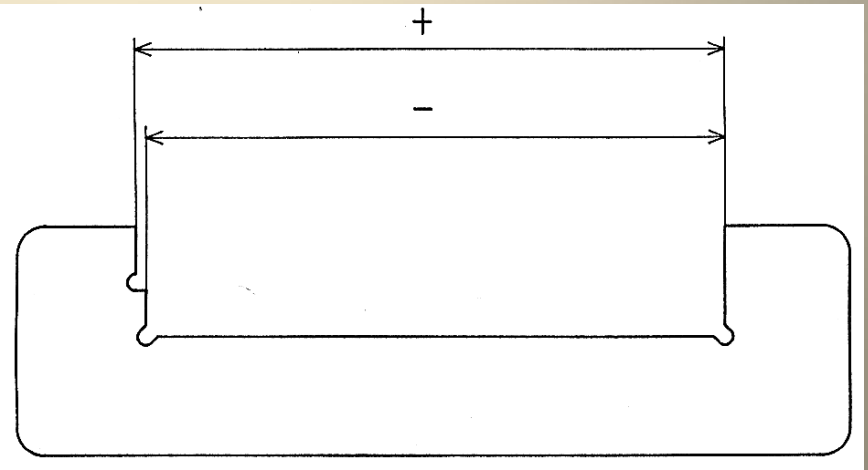


Tolerancje wymiarowe


11
8
3
2
3
R1
b'
b+2
1
2/2
2/2
1/2
1/2
b
2
1
R1
R2
b'
b
2


b
+
1:n
t
12
12
2WF/6
2WF/3
WF


+
–


+
–

Wymagania odbiorcze

Obejmują wymagania dotyczące

jakości wewnętrznej

jakości powierzchni.

Wymagania odbiorcze c.d.

W ramach oceny jakości wewnętrznej szyny poddaje się ciągłym badaniom ultradźwiękowym.

badania ultradźwiękowe. Wszystkie szyny należy badać w sposób ciągły. Badania te powinny obejmować co najmniej 70% przekroju główki szyny, co najmniej 60% przekroju szyjki.

Powierzchnia stopki przeznaczona do badań powinna mieć minimum po 10 mm po obydwu stronach osi szyjki.

Główkę należy badać z obydwu stron i z powierzchni tocznej.

Jakość powierzchni

obejmuje określenie wypukłości występujących na powierzchni szyny, wad powierzchni powstałych na zimno i na gorąco oraz innych uszkodzeń powierzchni. Np. ślady prowadnic walcarki na powierzchni tocznej szyny nie mogą przekraczać 0,4 mm. Na innych powierzchniach szyny dopuszcza się ślady dochodzące do 0,5 mm.

Rodzaj badania	Gatunki stali	
	200, 220, 260, 260X, 260Mn, 320Cr	350 HT, 350 LHT
Analiza wytopowa	Jedno badanie na wytop	Jedno badanie na wytop
Zawartość wodoru	Jedno badanie na wytop (2 badania z pierwszego wytopu w serii)	Jedno badanie na wytop (2 badania z pierwszego wytopu w serii)
Całkowita zawartość tlenu	Jedno badanie na serię[1]	Jedno badanie na serię[1]
Mikrostruktura	Jedno badanie na partię 1000 ton lub jej część dla gatunków 260Mn i 320Cr	Jedno badanie na 50 ton szyn obrobionych cieplnie[1]. Jedno badanie na 100 ton szyn obrobionych plastycznie na gorąco[1]
Odwęglenie	Jedno badanie na partię 1000 ton lub jej część[1, 2]	Jedno badanie na partię 500 ton lub jej część[1]
Zanieczyszczenie tlenkami	Jedno badanie na serię[1,2]	Jedno badanie na serię[1]
Odbitki na zawartość siarki	Jedno badanie na partię 500 ton lub jej część[1,2]	Jedno badanie na partię 500 ton lub jej część[1,2]
Twardość	Jedno badanie na wytop[1,2]	Jedno badanie na 50 ton szyn obrobionych cieplnie[1]. Jedno badanie na 100 ton szyn obrobionych plastycznie na gorąco[1]
Próba rozciągania	Jedno badanie na wytop[1,2]	Jedno badanie na wytop[1,2]
	1: Próbki należy pobierać losowo, ale tylko z kęsisk głównego wytopu odlewanych sposobem ciągłym seryjnie.	2: Próbki początkowe należy wycinać po walcowaniu.

Trudności mogą się pojawić podczas prowadzenia procesów spajania szyn wykonanych z nowych stali zarówno na urządzeniach stacjonarnych jak również w torze.

Parametry tych procesów będą musiały uwzględnić wpływ składów chemicznych nowych stali na przemiany fazowe występujące w wyniku zmian temperatury zachodzących podczas spajania.

Dotyczyć to również będzie nowej generacji szyn o strukturze bainitycznej wykonywanych z nowych gatunków stali szynowych.

Dziękuję za uwagę