

**POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA**



**URZĄD
PATENTOWY
PRL**

OPIS PATENTOWY

76746

Patent dodatkowy
do patentu _____

MKP B23k 35/36

Zgłoszono: 28.12.70 (P. 145296)

Pierwszeństwo: 27.12.69 Japonia

Int. Cl.² B23K 35/36

Zgłoszenie ogłoszono: 15.03.73

Opis patentowy opublikowano: **31.07.1978**

CZYTELNIĄ

Urzędu Patentowego
Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej

Twórca wynalazku: _____

Uprawniony z patentu: Kobe Steel, Ltd., Kobe (Japonia)

Drut do spawania stali łukiem krytym, oraz topnik do spawania stali łukiem krytym

Przedmiotem wynalazku jest stalowy drut i topnik do elastycznego, zwłaszcza samoczynnego, jednostronnego lub dwustronnego spawania stali łukiem krytym.

W dotychczasowej praktyce spawalniczej znane są trudności występujące przy elektrycznym spawaniu stali łukiem krytym, zwłaszcza stali o dużej wytrzymałości na rozciąganie, szczególnie przy jednostronnym lub dwustronnym samoczynnym spawaniu łukiem krytym. Przy stosowaniu znanych materiałów, w wyniku intensywnego grzania, w spoinie powstaje ziarnista struktura krystaliczna, co w porównaniu z innymi sposobami spawania, daje mniejszą udarność spoiny. Pogorszenie się własności wytrzymałościowych spoiny jest szczególnie widoczne w jednostronnym samoczynnym spawaniu łukiem krytym, kiedy zmienia się kształt wtopu spoiwa, w stosunku do normalnego procesu spawania łukiem krytym, przez powiększanie głębokości wtopu i zmniejszenie szerokości wtopu. Intensywność grzania sprzyja tworzeniu się strefy likwidacyjnej, która wiąże się z powstawaniem w środku stopiwa obszaru kruchego. Strefa ta rozszerza się gdy spoina krystalizuje poziomo i zmniejsza się gdy spoina krystalizuje pionowo. Jeśli odcinek spawany jest przetapiany równocześnie od powierzchni czołowej do powierzchni tylnej arkusza blachy stalowej, to w następstwie spawania powstają wielkie naprężenia rozrywające w spoinie, natychmiast po jej zakrzepnięciu w pobliżu jeziora metalu.

Na końcu połączenia arkuszy blachy stalowej występują wielkie naprężenia szczątkowe i jednocześnie odkształcenia skręcające, co wpływa na kruchość spawanej stali. Dla poprawienia udarności spawanego materiału konieczne jest więc usunięcie strefy likwidacyjnej ze spoiwa oraz ograniczenie naprężeń szczątkowych i odkształceń skręcających.

Jak wiadomo, dla podwyższenia punktu płynięcia i zwiększenia wytrzymałości na rozciąganie stal zawiera ilości śladowe niobu lub wanadu. Stal taka, tania w produkcji ma wadę, gdyż małe ilości tych dodatkowych składników zdecydowanie szkodzą spawalności. Niekorzystne jest duże rozpuszczenie się wtopu w rodzimym

materiale, co jest najbardziej niepożądane zwłaszcza przy spawaniu łukiem krytym, kiedy to występuje więcej sposobności do występowania szkodliwych śladów składników w spoinie na przykład przy spawaniu ręcznym. Przy spawaniu łukiem krytym stali o tak wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, trudne jest więc uzyskanie topnika o dobrej ciągliwości.

Celem wynalazku jest opracowanie składu materiałów do jedno- lub dwustronnego, samoczynnego spawania łukiem krytym stali o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie przy zachowaniu wyższej ciągliwości i innych własności wytrzymałościowych.

Chodzi o to, aby przez odpowiedni skład gołego drutu-elektrody do samoczynnego spawania łukiem krytym z jednoczesnym doбором składu topnika, który użyty łącznie z drutem daje spoiny pozbawione opisanych wad jakie występują przy użyciu znanych typowych materiałów spawalniczych, których do spawania stali o wysokiej wytrzymałości nie można było dotychczas stosować.

Cel ten osiągnięto w taki sposób, że drut według wynalazku zawiera $0,2 + 2,5\% \text{ Mn}$, $0,002 + 0,05\% \text{ Bi}$ i $0,005 + 0,5\% \text{ Ti}$, Al i/lub Zr , poniżej $5\% \text{ Ni}$, poniżej $1,2\% \text{ Mo}$ i/lub poniżej $6\% \text{ Cr}$.

Topnik według wynalazku składa się z mieszaniny proszku metalicznego i proszku topnikowego bez metalu. Proszek metaliczny zawiera $5 + 75\%$ proszku żelaza, poniżej $5\% \text{ Si}$, poniżej $10\% \text{ Mn}$, przy czym ponad 80% składników ma ziarnistość mniejszą niż 8 oczek na 1 cm. Proszek topikowy bez metalu zawiera $15 + 60\% \text{ MgO}$, $3 + 40\%$ węglanów i szczawianów i resztę czynnika żużliotwórczego który powinien mieć zasadowość powyżej 1,2 wyrażoną stosunkiem tlenku zasadowego i tlenku kwaśnego, przy tym powyżej 70% całego topnika ma ziarnistość mniejszą niż 3 oczka na 1 cm.

Zaletą stopiwa uzyskanego przez jedno- lub dwustronne samoczynne spawanie łukiem krytym za pomocą materiałów według wynalazku, jest drobnoziarnista struktura, właściwa jakość i właściwy kształt szwu graniowego spoiny podpawanej a zwłaszcza zaletą materiałów według wynalazku jest znacznie wyższa udarność spawanych części.

W drucie, mangan wpływa na poprawienie własności mechanicznych wymaganych dla spawanej części i zapobiega kawitacji, a jego ilość wynosi korzystnie $0,2-2,5\%$. Jeżeli manganu dodaje się poniżej $0,2\%$, wyżej wspomnianych efektów nie można uzyskać, natomiast gdy dodatek ten jest powyżej $2,5\%$, spawany metal jest anormalnie wzmocniony, mając przy tym zmniejszoną odporność na pękanie.

Dodatek boru działa wybitnie rozdrabniająco na struktury spoiny i jeżeli występuje on w ilości powyżej $0,05\%$, zdarzają się poprzeczne pęknięcia na powierzchni spoiny.

Jeżeli dodany jest Ti , Al lub Zr , dodany bor wiąże się z atomem na BN. Jeżeli Ti , Al i Zr dodane są w ilości poniżej $0,005\%$, działanie boru nie jest skuteczne i poza tym Bn wytrąca się w strukturze iglastej w kryształach i stąd granice między ziarnami kryształu stają się kruche.

Gdy Ti , Al i Zr dodane są w ilości powyżej $0,5\%$, twardość metalu wzrasta aż staje się on kruchy. Ponadto, jeżeli do wspomnianych składników dodatkowych dodane są jeden lub kilka składników Ni , Cr i/lub No , wyżej wymienione skutki są nadal powiększane. Oznacza to, że jeżeli taki dodatkowy składnik jest dodany, wytrzymałość jest podwyższona w wysokiej temperaturze, a ciągliwość jest również poprawiona przy temperaturze pokojowej. Jednakże, jeżeli jest dodany którykolwiek jeden lub więcej składników w ilości: Ni powyżej 5% , Cr powyżej 6% , Mo powyżej $1,2\%$, spoina utwardzona w jednym lub drugim przypadku z takim wynikiem, że wytrzymałość staje się bardzo wysoka. Z wielu wykonanych doświadczeń, Ni z wyżej wspomnianych składników był uznany za dobry we współistniejącym działaniu z borem, a szczególnie przy jednostronnym, samoczynnym spawaniu łukiem krytym, działanie jest niezwykle widoczne. W ten sposób bor sam ma działanie takie, że rozdrabnia strukturę laną, ale aby uzyskać wyżej wspomniane wyniki przy jednostronnym samoczynnym spawaniu łukowym z możliwie liniową strefą likwidacyjną, niezbędny jest Ni w ilości o wyżej wspomnianym zakresie.

Drut zawiera składniki normalnie będące w składzie stali takich, jak C , Si albo P , S , ale zakresy zawartości są: dla poniżej $0,2\%$, dla Si poniżej $0,5\%$, dla P poniżej $0,05\%$ i dla S poniżej $0,05\%$.

Proszek żelaza w topniku topionym w czasie spawania staje się częścią spoiny. Na skutek tego temperatura stosowana podczas spawania może być zmniejszona, ponieważ topione żelazo podwyższa temperaturę drutu. Inaczej mówiąc, jeżeli proszek żelaza znajduje się w topniku, to taka sama ilość metalu będzie uzyskana w procesie spawania łukiem krytym, obniżenia stosowanej temperatury jest nieduże, a jeżeli zawartość proszku żelaza jest powyżej 75% , możliwość regulowania jej staje się gorsza, ponieważ żelazo osadza się w postaci ferrytu a wielkość ziaren ferrytowych kryształów pozostaje w odwrotnej proporcji do temperatury. Jeżeli domieszka taka, jak PbO , Fe_2O_3 , Fe_2O_4 , C , P , S zawarta w proszku jest zwiększona, poprawienie udarności jest trudno osiągalne a nieraz wykluczone. Wskazane jest, żeby te domieszki zawierały się w przybliżeniu poniżej 10% .

Kształt wtopu części spawanej zależy w dużym stopniu od wielkości ziaren proszku żelaza.

Mn ma działanie podwyższające wytrzymałość stopiwa bez zwiększenia kruchości i wykluczające powstawania jam spawalniczych. Skutkiem tego, mała ilość dodanego Mn może być niezbędna, jednakże ilość Mn przekroczy 10% , to wysoka twardość powoduje pęknięcia.

Si ma działanie głównie poprawiające przenikliwość promieni rentgenowskich, ale jeżeli jego zawartość jest wysoka, ziarna kryształu stają się chropowate, a to powoduje powstawanie pęknięć i dlatego jego zawartość musi być niższa niż 5%.

Biorąc pod uwagę dodatkowe składniki zawarte w topniku, pomijając proszek żelaza, Mn i Si, przynajmniej 90% z nich powinno mieć drobną ziarnistość poniżej 8 oczek na 1 cm. Jeżeli te ziarna będą ostre, czas przemiany dna stopiwa jest maksymalnie krótki i zdarza się tendencja do segregacji przy jednostronnym, samoczynnym spawaniu, mającym głęboki wtop i duży spadek temperatury w kierunku wtapiania, a zatem pożądany jest dodatek proszku stopowego o drobnym ziarnie.

Wyżej wspomniane składniki metaliczne używane w tym wynalazku mogą być dodawane w formie pojedynczych składników albo stopu, a zatem, jeżeli odpowiednio składniki metaliczne oprócz żelaza są dodawane jako stop żelaza, zawartość żelaza w tym stopie powinna być zawarta w ilości proszku żelaznego.

Składniki topnika, oprócz proszku metalicznego są złożone z czynnika żuźlotwórczego, MgO i jednego lub kilku węglanów i szczawianów. Jeżeli MgO występuje w ilości poniżej 15%, lepkość żuźla tworzonego przy spawaniu staje się nadmiernie mała, a szczególnie przy jednostronnym, samoczynnym spawaniu, kształt wtopu staje się typu grzybkowatego w wyniku tego, że ziarna kryształu dążą do wzrastania poziomo w dolnej części od środka grubości płyty, i w rezultacie krucha strefa likwidacyjna tworzy się w środku spoiny. Jeżeli MgO jest powyżej 60%, punkt płynności żuźla jest nadmiernie podwyższony, i podczas prowadzenia jednostronnego samoczynnego spawania, niespodziewanie kształtowany jest ścieg tzw. gruszkowaty. Jeżeli punkt topnienia żuźla jest podwyższony, wytwarzana ilość żuźla jest niewystarczająca i reakcja chemiczna ze spoiną nie czyni wystarczających postępów a ilość pozostałego tlenu w topiwi jest niekorzystnie powiększana.

Z kolei dalsze powstrzymywanie segregacji wyżej wspomnianych dodatkowych składników związanych w topniku, to jest zawarcie w topniku 3–40% jednego lub kilku węglanów i szczawianów dla wytwarzania gazu CO lub CO₂ przez wspomaganie ich ciepłem spawania, daje pozytywne rezultaty. Jeżeli CO lub CO₂ jest tworzony eksplozywnie w sąsiedztwie stapianego jeziora podczas spawania, stopiony metal jest wzburzany, to pomaga wypływać drobnym tlenkom wytwarzanym w tym czasie. Jednakże, jeżeli zawartość jednego lub kilku z węglanów lub szczawianów jest poniżej 3%, lub powyżej 40% to efektów działania tych związków nie będzie.

Pozostałość składników topnika jest kombinacją czynnika żuźlotwórczego, normalnie stosowanego jak CaO Al₂O₃, SiO₂, TiO₂ itp. Jednakże jest konieczne dostosowanie zasadowości wyrażonej stosunkiem zawartości tlenu zasadowego do tlenu kwaśnego, tak aby wypadła powyżej 1,0, jak do zasadowości wszystkich składników topnika. Jeśli zasadowość topnika jest utrzymana powyżej 1,0, istniejący tlen jako drobne wtrącanie w formie tlenu metalicznego, głównie w spoinie, może być zredukowany. Przebiega to tak, że tlenek metaliczny (mający niższy punkt topnienia niż tlenek żelaza) istniejący w formie skupisk wtrąceń niemetalicznych w środku spoiny mający niższy punkt topnienia niż tlenek żelaza, ostatecznie krzepnie powodując kruchość i pęknięcia. Jeśli jednak zasadowość jest dobrana powyżej 1,0 to wtrącenia są zredukowane. Ponadto, szybkość reakcji składników w odpowiednim połączeniu jest poprawiana tylko przez rozdrobnienie topnika, tak żeby powyżej 70% składu całego topnika mogło być o ziarnistości poniżej 3 oczek na 1 cm. Topnik zastosowany w tym wynalazku jest przystosowany do spawania, podczas którego jest on rozsiewny, po powierzchni obejmującej wewnątrz rowka rodzimego metalu, lecz może być również zastosowany jako topnik do ściegu wstecznego w styku z tylną powierzchnią rowka.

Przedmiot wynalazku dokładniej objaśniono w opisie pięciu przykładów wykonania ilustrowanych rysunkiem, na którym fig. 1 — przedstawia wykres wykazujący rozkład naprężenia szcztkowego spawanej części, fig. 2 — wykres wykazujący wartość odkształcenia skrętnego końca połączenia spawanego, fig. 3, 4, 5 — przedstawiają mikroskopowe fotografie ilustrujące zmienność struktury spawanego fragmentu w zależności od obecności i nieobecności B i Ni, fig. 6 — przedstawia wykres wykazujący efekt współistnienia B i Ni, fig. 7 — wykres wykazujący zależność między ilością zmieszanego proszku metalowego a szybkością napawania, fig. 8 — przedstawia wykres wykazujący zależność między ilością zmieszanego proszku metalowego i wymaganym do spawania ciepłem, fig. 9, 10, 11 — przedstawiają spoiny w przekroju poprzecznym do kierunku spawania, na którym pokazano kształt przenikania wtopu w spawaną część i układ rozwijania się kryształików, fig. 12, 13, 14 — przedstawiają mikroskopowe fotografie spawanych materiałami według wynalazku części stalowych.

Fotografie mikroskopowe przedstawiają wnętrze stopiwa z jednostronnego, samoczynnego spawania przy jednowarstwowym wykończeniu, o wysokiej 50 kg ciągliwości i 30 mm grubości, zawierającego 1,2–1,3% Mn, 0,30–0,42% Si i 0,24–0,27% Mo. Fig. 3 pokazuje spawany materiał, który nie zawiera B i jego udarność wynosi 3,1 kgm, fig. 4 pokazuje spawany materiał, który zawiera materiał z fig. 3 z dodatkiem 0,005% B i którego udarność wynosi 3,9 kgm, a fig. 5 pokazuje spawany materiał, zawierający 0,004% B i 0,9% Ni i posiadający udarność 8,5 kgm (przy –10° we wszystkich przypadkach).

Jak pokazano na fig. 6, która podaje wykres, wykazujący różnicę efektów przy składnikach w przypadkach między spawaniem wielowarstwowym z krytym łukiem i jednostronnym, samoczynnym spawaniem (w odniesieniu do ciągliwości stopiwa przy 0°C), krzywa A pokazuje efekty jednostronnego spawania drutem typu Mn-Si-B-Ni, krzywa B wykazuje wpływ wielowarstwowego spawania drutem typu Mn-Si-Mo-B, i krzywa C wykazuje efekty spawania jednostronnego, samoczynnego drutem typu Mn-Si-Mo. Jak to widać wyraźnie z wyników, szczególnie w jednostronnym, samoczynnym spawaniu, współdziałanie Ni i B w drucie staje się bardzo skuteczne.

Drut zawiera składniki normalnie będące w składzie stali, takie jak C, Si lub P, S, lecz zakresy ich udziałów są poniżej 0,2%, C, poniżej 0,5% Si, poniżej 0,05% P i poniżej 0,05 S.

Fig. 7 wykazuje zależność między zawartością proszku żelaza i szybkością stapiania, kiedy materiał jest spawany przy prądzie 700 A i napięciu 33 V z szybkością 30 cm/min.

Fig. 8 wykazuje zależność między zawartością proszku żelaza, kiedy otrzymywane jest 100 gram spoiwa na minutę w tych samych warunkach jak na fig. 7 i niezbędnym ciepłem, które musi być do tego dostarczone dla otrzymania stałej ilości spoiwa.

Fig. 9 wskazuje fragment spawany i kształt przenikania wtopu fragmentu spawanego oraz układ rozwijania się krysztalików, w przypadku, kiedy stosunek ziarn grubszych niż 8 oczek/1 cm i drobniejszych niż 8 oczek/1 cm jest 50 : 50, wykazując bardzo ostry kształt wtopu, w którym kryształ rozwija się całkowicie poziomo, tworząc kruchą strefę likwidacyjną w środku spoiwa.

Fig. 10 wskazuje fragment spawany i kształt przenikania wtopu fragmentu spawanego i układ rozwijania się krysztalików w przypadku kiedy stosunek ziarn grubszych niż 8 oczek/1 cm i drobniejszych niż 8 oczek/1 cm jest 20 : 80, które na początku rozwijają się od dna ku górze. Jak pokazano na fig. 11, jeżeli wymiar ziarna staje się drobniejszy niż 20%, to kryształik rozwija się ku górze, tak, że krucha strefa likwidacyjna w środku staje się skrajnie mała.

Przykłady stosowania wynalazku będą również opisane w kolejności, przy czym przykłady grupy A stosują drut o składzie według wynalazku i topnik najkorzystniej dobrany z normalnie stosowanych, oraz grupy B drut i topnik o składzie według wynalazku.

Grupa A.

P r z y k ł a d I. Spawanie w kombinacji z topnikiem spiekany, normalnie stosowanym, przy użyciu dwu elektrod i spawaniu jednowarstwowym po obydwu stronach rowka typu X z następującymi warunkami:

Pierwsze przejście:	przednia elektroda:	900 A—36 V
	tylna elektroda:	900 A—40 V 42 cm/min
Drugie przejście:	przednia elektroda:	1200 A—36 V
	tylna elektroda:	1200 A—40 V 46 cm/min

Wszystkie druty o średnicy 4,8 mm.

Badana blacha o grubości 32 mm miała rowek X o kącie 70°, a skład tej stalowej, grubej blachy podany jest w tabeli 1, skład stosowanego topnika w tabeli 2, skład chemiczny drutu w tabeli 3, a mechaniczne własności stopiwa w tabeli 4.

T a b e l a 1.

Skład chemiczny grubej blachy stalowej (%)

Skład Blacha stalowa	C	Mn	Si	P	S	Nb
S1	0,18	1,43	0,48	0,921	0,023	0,053

T a b e l a 2.

Cieżary składników topnika (część)

Topnik	Rzadkie mate- riały	Tlenek magne- klinkier	Węglan wapnia	Fluoryt	Korund	Piasek krze- mowy	Rutyl	Krzemian sodu	Si
F1		33	16	10	10	17	4	7	2

Tabela 3.

Skład chemiczny drutów elektrod (%)

Skład drutu	C	Mn	Si	B	Ti	Al	Zr	Ni	Cr	Mo
W1	0,07	0,85	0,15	—	—	—	—	—	—	—
W2	0,06	0,95	0,14	0,001	—	0,23	—	—	—	—
W3	0,09	0,70	0,16	0,002	0,005	—	—	—	—	—
W4	0,07	0,86	0,16	0,008	0,005	—	—	—	0,30	—
W5	0,11	0,99	0,17	0,015	0,05	0,04	0,05	—	—	0,20
W6	0,08	1,12	0,14	0,022	0,50	—	—	—	—	—
W7	0,13	1,10	0,20	0,010	—	0,51	—	—	—	—
W8	0,12	1,26	0,13	0,012	0,01	0,02	0,12	—	0,83	—
W9	0,06	0,65	0,15	0,029	0,02	—	—	—	—	—
W10	0,07	0,72	0,16	0,035	0,15	0,08	0,07	—	—	—
W11	0,15	0,84	0,15	0,016	0,04	—	0,03	—	—	0,50
W12	0,09	0,60	0,19	0,048	—	—	—	0,50	—	—
W13	0,12	1,05	0,13	0,050	—	—	—	—	—	—
W14	0,07	1,15	0,12	0,065	—	—	—	—	—	—
W15	0,08	1,15	0,19	0,007	—	0,62	—	—	—	—
W16	0,14	1,40	0,21	0,009	0,61	—	—	—	—	—
W17	0,06	1,75	0,16	—	0,20	0,30	—	—	—	—
W18	0,07	1,63	0,14	—	0,46	—	0,03	—	—	—
W19	0,07	1,19	0,16	0,012	—	—	—	—	—	—
W20	0,06	1,10	0,14	0,002	0,002	—	0,002	—	—	—
W21	0,07	0,90	0,16	0,002	—	—	—	—	—	—

Tabela 4.

Mechaniczne własności spoiny

Użyty drut	Udarność (kgm)			Wytrzymałość na rozciąganie	Wydłużenie (%)
	−10°C	−20°C	−30°C		
W1	3,4	3,0	2,6	60,1	27
W2	3,5	3,1	2,5	60,9	26
W3	8,6	6,9	5,3	59,5	27
W4	12,6	10,9	9,1	59,8	27
W5	15,5	14,0	11,7	61,6	26
W6	16,0	14,7	11,6	63,2	25
W7	13,3	10,9	9,2	63,2	26
W8	14,5	11,5	9,8	64,4	24
W9	14,1	12,2	10,8	62,5	25
W10	16,9	14,7	12,4	63,3	25
W11	16,3	15,1	12,8	62,7	25
W12	9,8	7,7	6,9	63,9	24
W13	11,8	8,8	7,6	64,6	23
W14	13,2	9,7	7,7	68,2	20
W15	12,2	10,1	8,6	66,4	22
W16	11,9	10,6	8,8	67,2	21

1	2	3	4	5	6
W17	3,9	3,5	2,8	64,4	23
W18	4,2	3,4	2,9	64,3	23
W19	7,4	6,5	5,2	59,8	28
W20	6,4	5,3	4,1	59,3	28
W21	6,3	5,4	4,0	59,1	28

Przykład II. Spawanie w kombinacji ze spiekany topnikiem normalnie stosowanym przy jednostronnym spawaniu.

Badana próbka blachy stalowej o grubości 32 mm miała rowek X o kącie 40° ze strony przedniej, a 60° ze strony tylnej. Tabela 5 podaje ciężar składników topnika (część), tabela 6 — skład chemiczny drutu, tabela 7 — udarność stopiwa. Skład chemiczny badanej próbki jest taki sam jak w przykładzie I. Była ona spawana jednostronnie za pomocą topnika, zawierającego proszek żelaza i za pomocą podkładki miedzianej przy następujących parametrach spawania:

Przednia elektroda: 1400 A—35 V
32 cm/min

tylna elektroda: 1200 A—43 V

wszystkie druty są o średnicy 4,8 mm.

Topnik podkładowy rozsiewany na podkładce miedzianej jest taki sam, jak podany w tabeli 5.

Tabela 5.

Ciężary składników mieszanki topnikowej (część)

Suro- wiec Topnik	Klinkier magne- zjowy-	Węglan wapnia	Fluoryt	Tlenek glinu	Piasek krze- mowy	Rutyl	Krzemian sodu	Mn	Proszek żelaza
F2	33	16	10	10	17	4	7	4	45

Tabela 6.

Chemiczny skład drutu (%)

Druty	Skład							
	C	Mn	Si	B	Ti	Al	Zr	
W22	0,06	0,25	0,48	—	—	—	—	
W23	0,07	0,20	0,41	0,018	—	—	—	
W24	0,06	0,35	0,50	0,017	0,10	0,20	0,05	
W25	0,07	0,40	0,39	0,025	0,25	0,10	—	

Tabela 7

Udarność spoiny (średnie z trzech spawanych metali)

Stosowane druty	Udarność (kgm)		
	-10°	-20°	-30°
W22	2,8	2,2	1,8
W23	6,8	5,4	4,2
W24	8,6	6,9	5,6
W25	9,8	8,2	6,3

Przykład III. Spawanie po jednej stronie w kombinacji ze stopionym topnikiem, zawierającym termoutwardzalną żywicę. Badane próbki z blachy stalowej o grubości 25 mm miały brzegi zukosowane na Y o kącie rowka 40°. Tabela 8 podaje skład grubej blachy stalowej, tabela 9 – skład topnika, tabela 10 – skład drutu i tabela 11 – przykłady udarności stopiwa. Warunki spawania były następujące:

przednia elektroda: 1200 A–24 V

40 cm/min

tylna elektroda: 1200 A–40 V

(średnice drutów przednich i tylnych elektrod są odpowiednio 4,8 mm i 6,4 mm).

Tabela 8

Skład chemiczny grubej blachy stalowej (%)

Blacha stalowa	Skład					
	C	Mn	Si	P	S	Nb
S2	0,17	1,41	0,46	0,020	0,022	0,052

Tabela 9

Skład topnika (%)

Topnik	Skład						
	SiO ₂	MnO	CaO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	TiO ₂	MgO
F3	38	22	20	3	10	2	5

Tabela 10

Chemiczny skład drutu (%)

Drut	Skład						
	C	Mn	Si	B	Ti	Al	Zr
W26	0,08	1,85	0,03	—	—	—	—
W27	0,07	1,90	0,03	0,017	—	—	—
W28	0,09	1,88	0,04	0,016	0,10	0,20	0,05
W29	0,07	1,86	0,03	0,035	0,25	0,15	—

Tabela 11.

Udarność spoiny (średnia z trzech spawanych metali)

Stosowany drut	Udarność (kgm)		
	-10°C	-20°C	-30°C
W26	3,6	2,9	2,1
W27	8,2	6,6	5,3
W28	9,9	8,3	7,0
W29	12,4	10,8	8,8

Jak wynika z tabeli 7 oraz z tabeli 11, jednostronne spawanie staje się równoważne dwustronnemu, jednowarstwowemu spawaniu. Bardziej dokładnie można to ująć, że udarność spoiny spawanej za pomocą drutu nie zawierającego B jest bardzo niska, natomiast spoiny zawierającej B jest dobra. Wartość udarności spoiny spawanej za pomocą drutu, zawierającego B i dowolny jeden lub kilka ze składników Ti, Al i Zr jest jeszcze bardziej poprawiona w porównaniu z udarnością metalu, zawierającego tylko B.

Przykład IV. Spawanie przy użyciu drutu, zawierającego Ni, Cr i Mo. Stal odporna na niskie temperatury i stal wysokociągliwa, która jest stosowana dla wysokiej odporności na obciążenia dynamiczne przy graniczeniu niskiej temperaturze, była spawana przy zastosowaniu drutu z wymienionymi składnikami, dla uzyskania dalej podanych własności mechanicznych spoiny.

Badana próbka z blachy stalowej o grubości 20 mm miała brzegi zukosowane na X o kątach rowków 70° (z przedniej i tylnej strony). Tabela 12 podaje skład chemiczny grubej blachy stalowej, tabela 13 – skład topnika, tabela 14 – skład drutu, tabela 15 – wartość udarności stali przy niskich temperaturach, a tabela 16 – mechaniczne własności stali odpornej na wysokie obciążenie dynamiczne. Tu zastosowano naturalnie stopiony topnik i następujące warunki spawania:

Pierwsze przejście: 690 A – 35 V

35 cm/minutę (średnica drutu jest 4,8)

Drugie przejście: 780 A – 36 V

Tabela 12.

Chemiczny skład grubej blachy stalowej (%)

Skład								
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo
Blacha stalowa								
(stal do pracy w niskich tem- peraturach)								
S4	0,11	0,55	0,27	0,013	0,010	3,28	—	—
(stal wysokociągliwa)								
S4	0,15	0,58	0,30	0,015	0,017	—	5,03	0,51

T a b e l a 13.

Składnik topnika (%)

Topnik	Skład						
	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaF ₂
F4	40	21	19	5	3	2	10

T a b e l a 14.

Skład chemiczny drutu (%)

Skład druty	C	Mn	Si	B	Ti	Al	Zr	Ni	Cr	Mo
W30	0,12	1,90	0,04	0,012	0,25	0,05	—	—	—	—
W31	0,09	1,90	0,03	—	—	—	—	2,30	—	0,60
W32	0,10	1,85	0,03	0,012	0,25	—	—	2,10	—	0,55
W33	0,11	1,95	0,03	0,013	—	0,10	0,20	2,15	—	0,88
W34	0,10	2,00	0,03	0,013	—	0,25	0,05	2,10	—	1,20
W35	0,09	1,93	0,044	0,014	0,15	0,10	—	0,48	—	0,52
W36	0,11	2,10	0,05	0,013	0,20	—	0,20	1,03	—	0,55
W37	0,10	2,02	0,05	0,014	0,25	0,10	—	2,78	—	0,50
W38	0,12	1,98	0,06	0,012	—	0,25	0,10	4,00	—	0,54
W39	0,12	2,35	0,04	—	—	—	—	—	1,42	0,51
W40	0,12	2,31	0,04	0,015	—	—	—	—	1,39	0,49
W41	0,13	2,29	0,03	0,015	0,20	—	0,05	—	1,38	0,49
W42	0,12	2,35	0,03	0,014	0,35	—	—	—	2,40	0,50
W43	0,13	2,50	0,04	0,013	0,10	0,25	—	—	3,35	0,49
W44	0,12	2,41	0,04	0,015	—	0,30	0,10	—	4,50	0,30
W45	0,13	2,30	0,03	0,014	0,05	0,10	0,20	—	6,00	0,11

T a b e l a 15.

Udarność stali do pracy w niskich temperaturach (średnia z trzech spawanych stali)

Stosowany drut	udarność (kgm)		
	−50°C	−80°C	−100°C
W30	5,6	4,1	2,8
W31	3,8	2,2	1,1
W32	8,9	6,5	5,6
W33	9,1	6,7	5,8
W34	9,4	6,8	6,1
W35	7,0	4,9	3,8
W36	8,4	6,3	5,2
W37	9,5	7,2	6,0
W38	10,5	8,7	6,7

U w a g a: Użyto grubą blachę stalową S-3.

T a b e l a 16.

Mechaniczne własności stali wysokociągłej
(wyżarzana dla usunięcia naprężeń przy 720–750°C).

Stosowany Drut	Udarność +20°C	(kgm) 0°C	Próba rozciągania	
			Wytrzymałość na rozciąganie (kg/mm ²)	Wydłużenie (%)
W39	6,4	4,5	60,6	29
W40	10,6	7,5	61,0	28
W41	15,9	13,6	61,4	28
W42	15,2	13,6	63,2	27
W43	14,8	12,9	65,3	26
W44	14,3	12,6	67,4	25
W45	14,0	12,1	69,2	24

Uwaga: 1. Udarność była wyliczona jako średnia z trzech stali.
2. Zastosowano próbkę S-4 do badań.

Jak to widać z tabeli 4, gdy do metalu dodany jest w nieznacznej ilości B i jeden lub kilka ze składników Ti, Al i Zr, ciągliwość jest znacznie wyższa. Ciągliwość drutów W13 i W14, zawierających tylko B wypada dobra, a w porównaniu z ciągliwością drutów W6 i W10, zawierających B i jeden lub więcej z Ti, Al i Zr jest mniejsza, ponieważ ciągliwość spoiny, spawanej drutami W6 i W10 jest jeszcze wyższa niż metalu spawanego za pomocą drutów W13 i W14, nawet mimo tego, że poprzednie zawierają mniejszą ilość B.

Jak to widać z fotografii mikroskopowych (fig. 8 do 10), dużo ferrytu jest zatrzymywanego w spoiwie, spawanym za pomocą drutu W1 (fig. 8) nie zawierającym ani S, Ti, Al ani Zr, natomiast nie istnieje prawie wcale ferryt w spoiwie spawanym za pomocą drutu W13, zawierającym tylko B (fig. 9) i za pomocą drutu W10 (fig. 10), zawierającego B i dowolny jeden lub kilka z Ti, Al i Zr dla uzyskania bardzo drobnych struktur.

Jest to oczywiste, że azot, tlen, czy węgiel wpływają ujemnie na ciągliwość stopiwa. Nawet, gdy dodany jest tylko składnik B, kryształiki stają się skrajnie drobne, lecz w wyniku ujemnego oddziaływania tych składników, efekt B jest częściowo zmniejszony i B sam w największej części wiąże się z azotem zawartym w spoiwie, tworząc BN, który przyczynia się do znacznego zmniejszenia wpływu B. Dlatego, aby uzyskać wysoką ciągliwość tylko z B, ilość B musi być zwiększona, uwzględniając przy tym, że wytrzymałość na rozciąganie staje się przy tym wysoka, co może przyczynić się czasami do pękania spoiwa.

Z drugiej strony, chociaż jeden lub kilka ze składników Ti, Al i Zr ma silne własności odkwaszania i denitracji, to nawet jeśli są one dodane do drutu nie zawierającego B, ciągliwość spoiny nie poprawia się w ogóle, jak to widać z tabeli 4 dla drutu W17 i W18. Jednakże, jeżeli mała ilość jednego lub kilku z Ti, Al i Zr jest dodana do drutu zawierającego B, to zabezpiecza przed łączeniem się B azotem w związek BN, w wyniku czego wpływ B staje się większy, a ujemny wpływ azotu na stopiwo zostaje prawie wyeliminowany.

Jeżeli dowolny składnik jeden lub kilka z Ti, Al i Zr jest dodany do drutu zawierającego B w większej ilości, jego wytrzymałość na rozciąganie wzrasta, lecz jego udarność nie jest w takim stopniu poprawiona, jak to widać z tabeli 4 dla drutu W15 i W16. Innymi słowy, jeśli składnik jeden lub kilka z Ti, Al i Zr jest dodany do drutu zawierającego B, ciągliwość spoiny jest znacznie wyższa, jednakże ich oddziaływanie i ilość dodawana nie są dokładnie w zależności od siebie, to jest większe ich udziały nie zapewniają większych efektów. Z drugiej strony, jest to całkowicie zrozumiałe z porównania drutów W3, W7 i W10 z drutem W13 i W14 w tabeli 4. Im więcej dodane B tym bardziej jest poprawiana ciągliwość spoiny. Nawet, jeśli są dodane do drutu w niewielkiej ilości jeden lub kilka ze składników Ti, Al i Zr razem z B ciągliwość spoiwa jest znacznie poprawiona, nawet gdy dodatek jest mały. W ten sposób, dodatek jednego lub kilku ze składników Ti, Al i Zr nie może nadmiernie wzmacniać spoiny pod względem wytrzymałości na rozciąganie, a może eliminować niebezpieczeństwo pęknięcia metalu, mimo uzyskania jego wysokiej ciągliwości.

W podsumowaniu wyników z tabeli 4, można stwierdzić że dodatek 0,001% B do drutu nie ma wpływu na ciągliwość spoiny, już przy dodatku B powyżej 0,002%. Jednakże, jeśli B dodane jest powyżej 0,050% wytrzymałość na rozciąganie staje się nadmiernie wysoka, co powodować może czasami jej pęknięcie. Jeżeli dodaje się razem powyżej 0,002% jednego lub więcej ze składników Ti, Al i Zr do drutu, zawierającego ponad

0,002% B, ciągliwość spoiny jest znacznie wyższa. Jednakże jeśli jeden lub kilka z Ti, Al i Zr jest dodany powyżej 0,50% w całości, wytrzymałość na rozciąganie jest nadmiernie podwyższona.

Jeśli dodaje się do drutu, zawierającego B, jeden lub kilka z Ti, Al i Zr i jeden lub kilka z Mo, Ni, ich współdziałający efekt dalej poprawia ciągliwość spoiny.

Ponadto, jeśli dodany do drutu nie zawierającego B składnik jeden lub kilka z Ti, Al i Tr, to nie daje on poprawy ciągliwości stopiwa.

Mo dodawane jest, aby podnieść wytrzymałość i ciągliwość spoiny, Ni dodawane jest, aby podwyższyć ciągliwość metalu w skrajnie niskiej temperaturze, a Cr dodawane jest, aby podwyższyć wytrzymałość metalu.

Jak to widać z tabeli 15, w miarę wzrastania zawartości Mo według kolejności drutów W32, W33 i W34, ich ciągliwości są odpowiednio wzrastające, w miarę wzrastania Ni zgodnie z kolejnością drutów W35, W36, ich ciągliwości są odpowiednio wzrastające, w miarę wzrastania Ni zgodnie z kolejnością drutów W35, W36, W32, W37 i W38, ich ciągliwości są zgodnie wzrastające. W porównaniu z drutu W31 z drutem W32, wynika wyraźnie, że ciągliwość spoiny, spawanej przy drucie zawierającym B i składnik jeden lub kilka z Ti, Al i Zr jest wyższa.

Jak to widać z tabeli 16, gdy wzrasta wartość dodatku Cr, wytrzymałość spoiny również odpowiednio wzrasta. Jak widać z porównania drutu 39 z drutem 40, ciągliwość spoiny spawanej przy drucie W40, zawierającym B, jest podwyższona, a ciągliwość spoiny spawanej przy drucie W41, zawierającym B i składnik jeden lub kilka z Ti, Al i Zr jest lepsza niż metalu spawanego za pomocą drutu W40.

Jeżeli B i składnik jeden lub kilka z Ti, Al i Zr dodane są do drutu razem z Cr, wytrzymałość spoiny spawanej przy drucie może być podwyższona bez obniżania ciągliwości stopiwa.

Grupa B.

Przykład V. Składy rodzimego metalu grubych blach stalowych, topnika i drutu elektrody, zastosowanych w tym przykładzie są podane w tabelach 17 i 18.

Tabela 17

Chemiczny skład grubej blachy stalowej (%)

Skład	C	Mn	Si	P	S	Nb
	0,16	1,36	0,44	0,021	0,017	0,047

Tabela 18.

Zestaw składników spiekanego topnika (%)

Skład	Klin- kier magne- zjowy	Węglan	Fluoryt	Pia- sek krze- mowy	Szcza- wian wapnia	Pro- szek żelaza	FeSi	FeMn	Krze- mian sodu	Zasa- dowość	Wymiar ziarna	Tlenek glinu
F5	29,0	14,9	8,5	13,5	—	10,8	1,6	3,2	4,5	2,46	85% po- niżej 8 oczek	8,2
F6	9,1	16,5	9,4	4,0	5,3	39,8	1,6	3,5	4,5	1,80	95% po- niżej 8 oczek	6,5
F7	13,8	4,2	0,3	0,1	2,1	69,8	2,1	3,9	3,6	7,90	90% po- niżej 8 oczek	0,1
F8	18,3	6,2	3,4	3,0	—	50,0	2,9	2,9	2,9	1,64	75% po- niżej 8 oczek	9,1

W tym przykładzie był zastosowany proszek Fe-Si 95% poniżej 20 oczek sita, Fe-Mn w 98% poniżej 20 oczek sita i proszek żelaza w 85% poniżej 20 oczek sita.

Próbka blachy stalowej o grubości 32 mm, podanej w tabeli 17 i mającej rowek X o kącie 45° ze strony przedniej i kącie 60° ze strony tylnej, była spawana spawem jednostronnym w kombinacji z topnikiem podanym w tabeli 18 i drutem podanym w tabeli 19. Otrzymane udarności i wytrzymałości na rozciąganie są podane w tabeli 20. Parametry spawania były następujące:

przednie elektrody: 1350 A – 35 V
36 cm/minutę

tylna elektroda: 1100 A – 50 V

Jednakże szybkość spawania była 24/cm/minutę, kiedy stosowano topnik F16, natomiast była 32 cm/min przy zastosowaniu topnika F19.

T a b e l a 19.

Skład chemiczny drutów elektrod (%)

Skład Drut	C	Si	Mn	P	S	B	Ti	Zn	Al	Ni	Cr	Mo
W46	0,04	0,24	2,24	0,018	0,012	0,003	0,48	—	—	4,8	—	—
W47	0,10	0,13	1,38	0,016	0,013	0,021	0,08	0,06	0,31	3,9	—	—
W48	0,08	0,18	0,98	0,021	0,016	0,010	0,01	0,36	0,02	3,1	—	—
W49	0,12	0,20	0,64	0,018	0,016	0,048	0,15	0,08	0,08	2,4	—	—
W50	0,13	0,45	1,95	0,031	0,012	0,008	0,02	0,21	0,21	1,0	—	—
W51	0,10	0,02	1,95	0,018	0,015	0,036	0,12	0,12	0,08	0,3	—	—
W52	0,12	0,08	3,20	0,014	0,013	0,021	0,12	0,10	0,05	—	—	—
W53	0,06	0,01	0,12	0,018	0,012	0,021	0,02	0,21	0,03	—	—	—
W54	0,08	0,10	0,84	0,015	0,012	0,0014	0,03	0,04	0,21	—	—	—
W55	0,12	0,08	0,94	0,018	0,012	0,061	0,02	0,12	0,21	—	—	—
W56	0,18	0,58	1,24	0,012	0,010	0,025	0,08	0,08	0,18	—	—	—
W57	0,10	0,12	0,94	0,017	0,014	0,017	0,02	0,017	0,01	—	—	—
W58	0,12	0,10	0,21	0,016	0,012	0,018	0,48	0,08	0,08	—	—	—
W59	0,09	0,08	1,15	0,018	0,015	0,024	0,12	0,03	0,70	0,42	—	0,6
W60	0,07	0,12	1,18	0,021	0,014	0,031	0,12	0,06	0,08	2,18	—	1,1
W61	0,06	0,10	1,15	0,021	0,016	0,040	0,13	0,03	0,03	—	—	1,3
W62	0,10	0,06	1,38	0,016	0,015	0,014	0,10	0,02	—	—	2,50	—
W63	0,10	0,03	1,21	0,024	0,014	0,12	0,08	0,15	—	1,5	5,1	—
W64	0,12	0,24	1,08	0,028	0,018	0,014	—	0,04	0,18	—	6,38	—
W65	0,14	0,21	1,05	0,012	0,010	0,012	0,21	0,05	0,12	0,83	—	—
W66	0,10	0,14	0,78	0,021	0,012	0,021	0,12	—	0,14	3,14	—	—
W67	0,12	0,03	0,64	0,025	0,016	0,043	0,03	0,14	—	4,52	—	—
W68	0,13	0,12	0,64	0,017	0,014	0,040	0,08	0,09	0,11	0,02	0,54	0,03

T a b e l a 20

Udarność i wytrzymałość na rozciąganie spoiny

Drut	Topnik	Udarność (kg/m)			Wytrzymałość na rozciąganie Rr/kg/mm ²	Wydłużenie %
		–10°	–20°	–30°		
1	2	3	4	5	6	7
W46	F7	7,8	5,6	4,3	61,2	27
W47	F7	8,1	6,1	4,8	60,3	28

1	2	3	4	5	6	7
W48	F7	6,8	5,2	4,1	57,8	28
W49	F7	7,3	5,5	3,8	58,2	29
W50	F6	6,4	5,0	3,5	60,9	24
W51	F5	5,9	4,9	3,6	51,2	24
W52	F7	4,5	4,3	2,5	65,4	23
W53	F8		wytworzone jamy			
W54	F8	2,8	2,1	1,6	57,3	27
W55	F5		wytworzone pęknięcie			
W56	F7	3,6	2,8	2,1	61,2	24
W57	F7	4,5	3,1	1,9	56,4	21
W58	F6	3,3	2,5	1,6	67,1	24
W59	F5	6,6	5,1	3,5	61,2	26
W60	F6	6,9	5,5	3,9	64,5	24
W61	F7	4,8	4,0	3,6	70,4	18
W62	F7	6,4	4,5	3,3	61,2	24
W63	F6	5,5	5,0	3,3	62,4	24
W64	F7		wytworzone pęknięcie			
W65	F7	6,4	5,3	4,5	61,3	27
W66	F6	5,8	5,5	4,7	63,3	27
W67	F6		wytworzone pęknięcia			
W68	F7	7,8	5,5	5,5	60,9	24
Wartość średnia $>5,3 >4,1 >2,8$						

(Wartości udarności otrzymywano jako średnie z pięciu próbek).

Zastrzeżenia patentowe

1. Druk do spawania stali łukiem krytym, zwłaszcza do elektrycznego, samoczynnego, jednostronnego lub dwustronnego spawania stali łukiem krytym, znamienny tym, że zawiera 0,2 + 2,5% wagowych manganu, 0,002±0,05% wagowych boru i 0,005±0,5% wagowych tytanu.

2. Druk według zastrz. 1, znamienny tym, że zamiast tytanu zawiera 0,005 + 0,5% wagowych aluminium.

3. Druk według zastrz. 1, znamienny tym, że zamiast tytanu zawiera 0,005 + 0,5% wagowych cyrkonu.

4. Druk według zastrz. 1 albo 2 albo 3, znamienny tym, że zawiera dodatkowo poniżej 5% wagowych niklu, poniżej 1,2% wagowych molibdenu.

5. Druk według zastrz. 4, znamienny tym, że zawiera zamiast molibdenu poniżej 6% wagowych chromu.

6. Topnik do spawania stali łukiem krytym, zwłaszcza do elektrycznego, samoczynnego, jednostronnego lub dwustronnego spawania stali łukiem krytym, znamienny tym, że zawiera proszek metaliczny i niemetaliczny, przy czym proszek metaliczny zawiera poniżej 5 + 75% wagowych proszku żelaza, poniżej 5% wagowych krzemu i poniżej 10% wagowych manganu, a ponadto 80% proszku metalicznego, ma ziarnistość mniejszą niż 8 oczek (1 cm), a proszek niemetaliczny zawiera 15 + 60% wagowych tlenku magnezu i 3 + 40% wagowych węgla i szczawianu oraz czynnik wytwarzający żużel, zaś zasadowość wyrażona stosunkiem zawartości tlenku zasadowego do tlenku kwasowego wynosi powyżej 1,0, a poza tym powyżej 70% całego topnika ma ziarnistość mniejszą niż 3 oczka/1 cm.

7. Topnik według zastrz. 6, znamienny tym, że zamiast 3 + 40% wagowych węgla i szczawianu ma 3 + 40% wagowych szczawianu.

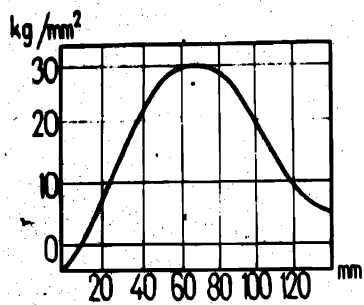


Fig. 1

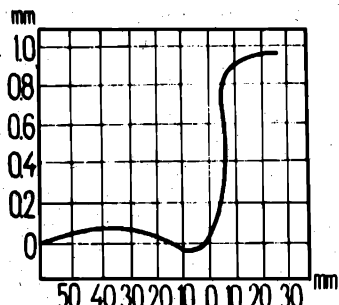


Fig. 2

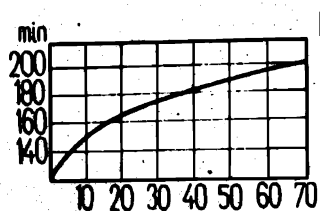


Fig. 7

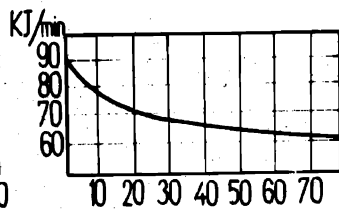


Fig. 8

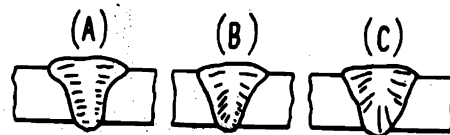


Fig. 9

Fig. 10

Fig. 11

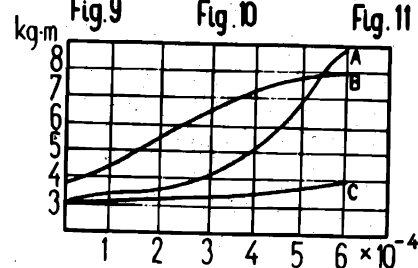


Fig. 6



Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5



Fig. 12



Fig. 13

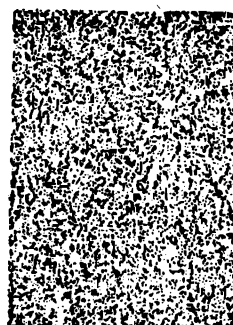


Fig. 14