



Patent dodatkowy
do patentu nr _____

Zgłoszono: 06.06.1969 (P. 134047)

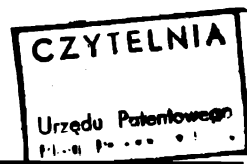
Pierwszeństwo: _____

Zgłoszenie ogłoszono: 10.05.1973

Opis patentowy opublikowano: 24.11.1975

Kl. 18c,9/50

MKP C21d 9/50



Twórca wynalazku: Kazuhia Suzuki

Uprawniony z patentu: Mitsubishi Jukogyo Kabushiki Kaisha, Tokio
(Japonia)

Sposób obróbki cieplnej stali o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie przeznaczonej na konstrukcje spawane

1

Przedmiotem wynalazku jest sposób obróbki cieplnej stali o wysokiej wytrzymałości przeznaczonej na konstrukcje spawane.

Znane stale o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie rzędu 70—100 kG/mm² zawierają takie składniki stopowe jak Si, Mn, Ni, Cr, Mo i B, a ich wytrzymałość i plastyczność poprawia się poprzez poddanie obróbce cieplnej polegającej na hartowaniu kąpielowym i odpuszczeniu wlewką stalowego po uprzednim poddaniu go operacji walcowania.

Stale o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie poddawane konwencjonalnej obróbce cieplnej hartowania kąpielowego i odpuszczania posiadają wprawdzie po tej obróbce wysoką wytrzymałość na rozciąganie i odporność na działanie karbu ale poddane spawaniu łukowemu, jak na przykład spawaniu łukiem elektrycznym w atmosferze CO₂, spawaniu łukiem krytym lub spawaniu elektrodą otuloną, wykazują w strefie poddanej działaniu ciepła spawania znaczne zwiększenie twardości, skłonność do łatwego powstawania pęknięć spawalniczych, odporność zaś na działanie karbu w tej strefie ulega znacznemu zmniejszeniu. Ponadto wysokowydajne, automatyczne spawanie stali tak obrabionych cieplnie może być bardzo trudne do przeprowadzenia, co podciąga za sobą cały szereg niedogodności.

Celem wynalazku jest usunięcie tych wad i uzyskanie stali, w której wspomniane wyżej zjawiska

2

w strefie objętej działaniem ciepła spawania nie miałyby miejsca.

Cel ten osiągnięto przez opracowanie dla stali o obróbki cieplnej według wynalazku.

Sposób obróbki cieplnej według wynalazku polega na tym, że stal poddaje się obróbce cieplnej w warunkach zbliżonych do warunków cieplnych przy spawaniu, biorąc pod uwagę warunki cieplne panujące w strefie materiału będącej pod działaniem ciepła spawania, przy czym stal po podgrzaniu powyżej temperatury przemiany A₃ najpierw chłodzi się od tej temperatury do 500°C w ciągu 5—50 sekund, a następnie od 500°C do 200°C powoli i w sposób ciągły przez 20—4300 sekund z prędkością odpowiadającą zmianom cieplnym przy spawaniu powodując przemianę struktury austenicznej stali.

Dzięki takiej obróbce cieplnej utrzymuje się taką samą odporność na działanie karbu w strefie objętej działaniem ciepła spawania jak w pozostałej części materiału rodzimego i unika się wspomnianych wyżej ujemnych skutków następujących po spawaniu.

Wynalazek jest dokładniej objaśniony w dalszej części opisu na przykładach wykonania w powołaniu się na załączony rysunek, na którym fig. 1 przedstawia wykres obrazujący spadek odporności na działanie karbu w strefie złącza spawanego, wykonanego ze stali obrabianej sposobem konwen-

cyjonalnym w zakresie od temperatury pokojowej do temperatury podgrzania wynoszącej 1350°C, fig. 2 — wykres obrazujący spadek odporności na działanie karbu strefy spawanej stali obrabianej sposobem konwencjonalnym przy różnych czasach 5
chłodzenia w zakresie od 800°C do 500° w przypadku maksymalnej temperatury podgrzania równej 1350°C, fig. 3 — wykres przemian zachodzących podczas chłodzenia stali obrabianej konwencjonalnie przez hartowanie kąpielowe i odpuszczenie, jej obróbkę cieplną oraz zmiany ciepłne przy spawaniu, fig. 4 — wykres obrazujący zależność pomiędzy równoważnikiem węglowym C_{eq} a wytrzymałością na rozciąganie dla stali o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie hartowanej kąpielowo i odpuszczonej w sposób konwencjonalny, fig. 5 — 10
wykres obrazujący przemiany podczas chłodzenia, obróbkę cieplną oraz krzywe chłodzenia przy zmianach cieplnych podczas spawania stali poddanej obróbce cieplnej według wynalazku, fig. 6 — wykres obrazujący zależność pomiędzy równoważnikiem węglowym C_{eq} a wytrzymałością na rozciąganie stali o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie poddanej obróbce cieplnej według wynalazku, fig. 7 — 15
wykres ilustrujący zależność pomiędzy obróbką cieplną stali a przemianami w niej zachodzącymi, fig. 8 — wykres obrazujący zmiany ciepłne przy spawaniu w strefie maksymalnej temperatury podgrzania — 1350°C, fig. 9 — wykres obrazujący przebieg krzywej chłodzenia po spawaniu nanie- 20
siony na wykresie przemiany po przedstawionej na fig. 7, obróbce rozdrabniającej ziarno, a fig. 10, 11 i 12 — wykresy porównawcze obrazujące udarność stali otrzymanej przy zastosowaniu obróbki cieplnej według wynalazku i stali obrabianej sposobem konwencjonalnym, stopień obniżenia odporności na 25
działanie karbu dla obu stali oraz wpływ chłodzenia części poddanej działaniu temperatury spawania na odporność tych stali na działanie karbu.

Tabela 1 podaje przykłady stosowanych dotychczas stali o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie ich obróbkę cieplną, skład chemiczny oraz własności mechaniczne. 30

Stal A posiada równoważnik węglowy $C_{eq} = (C + 1/24 Si + 1/6 Mn + 1/40 Ni + 1/5 Cr + 1/4 Mo + 1/14 V) \%$ = 0,54% a stal B = 0,58%. Równoważnik ten stanowi jeden z parametrów składu chemicznego, wskazujący na spawalność stali. 35

Żądane właściwości stali można uzyskać przez dobór składu chemicznego w powiązaniu z obróbką 40
cieplną polegającą na hartowaniu kąpielowym i odpuszczaniu. Mianowicie, w celu zapewnienia wystarczającej hartowości dodaje się do stali szereg składników stopowych takich jak C, Mn, Cr i Mo zdolnych do zwiększenia jej hartowności i przy 45
poddaniu jej obróbce cieplnej polegającej na hartowaniu kąpielowym powstaje struktura martenzytyczna nadająca stali wysoką wytrzymałość. Jednakże, ponieważ taka obróbka powoduje kruchość stali, stosuje się dalszą, obróbkę cieplną — odpuszczenie, co powoduje zmianę struktury martenzytycznej na strukturę martenzytu odpuszczania przy 50
jednoczesnym obniżeniu wytrzymałości oraz zapewnieniu odpowiedniej plastyczności i odporności na działanie karbu. 55
60
65

Tabela 1—1

Stal	Obróbka cieplna	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	B	Wytrzymałość na rozciąganie kG/mm^2	Granica plastyczności kG/mm^2	Wydłużenie %	Przewężenie próbki %	Udarność kG/cm^2 przy -50°C
A	870°C woda 650°C powietrze	0,16	0,38	0,98	0,01	0,016	0,95	0,47	0,33	—	75,0	69,1	38,0	61,0	6,2
B	870°C woda 650°C powietrze	0,15	0,32	1,05	0,007	0,018	0,93	0,50	0,46	0,0025	84,8	80,5	34,8	58,2	7,6

W celu uzyskania dużej plastyczności konieczne jest odpuszczanie stali w wysokiej temperaturze rzędu 650°C tak jak pokazano w tabeli 1—1, ale wytrzymałość stali zmniejsza się przy wzroście temperatury odpuszczania i dlatego staje się konieczne, aby stal zawierała takie składniki stopowe jak C i Mo w celu zapobiegania obniżeniu wytrzymałości.

W ten sposób uzyskuje się wprawdzie wymaganą wytrzymałość, plastyczność i odporność na działanie karbu ale są to stale stopowe o wysokim równoważniku węglowym C_{eq} .

Tak więc gdy stal o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie obrobioną cieplnie sposobem konwencjonalnym podda się spawaniu, największy problem może wystąpić w związku ze spadkiem odporności na działanie karbu w strefie wpływu ciepła spawania, a więc strefy o strukturze austenitycznej gruboziarnistej. Ta tendencja jest najlepiej widoczna na fig. 1. Wykres na fig. 1 odnosi się do stali B, podanej przykładowo w tabeli 1—1, mającej wysoką wytrzymałość na rozciąganie rzędu 80 kG/mm². Na osi odciętych odłożono temperaturę podgrzania spawanej części od temperatury pokojowej do maksymalnej temperatury podgrzania wynoszącej 1350°C, na osi rzędnych — udarność wyrażoną w kG/cm² badaną na młocie Charpy'ego na próbce z karbem w kształcie litery V przy temperaturze 50°C, przy czym czas chłodzenia od temperatury 800°C do 500°C wynosił 25 do 28 sekund.

Na wykresie tym udarność części, nie będącej pod działaniem ciepła spawania, to jest w miejscu gdzie krzywa przecina oś rzędnych, wynosi blisko 7,6 kG/cm², podczas gdy w obszarze temperatury maksymalnej 1350°C wynosi ona poniżej 1 kG/cm², to znaczy że odporność na działanie karbu obniża się znacznie w tym miejscu w porównaniu do materiału rodzimego.

Ponadto na fig. 2 przedstawiono wykres, na którym na osi odciętych oznaczono czas chłodzenia stali B od 800°C do 500°C po jej uprzednim nagrzaniu przy spawaniu do temperatury 1350°C, na osi rzędnych — udarność badaną metodą Charpy'ego na próbce z karbem w kształcie litery V. Przebieg krzywej na tym wykresie wykazuje, że odporność na działanie karbu we wspomnianej strefie najbardziej podgrzanej maleje gwałtownie gdy chłodzenie jest wolniejsze, a gdy czas chłodzenia jest krótszy niż 20 sekund udarność natychmiast spada. Przy tym występuje również zjawisko znacznego utwardzenia części będącej pod działaniem ciepła spawania i duża skłonność do powstawania pęknięć w spoinie. Obszarem, w którym występuje to zjawisko, jak to widać na fig. 1, jest część będąca pod działaniem ciepła spawania, to jest część podgrzana do temperatury powyżej przemiany A_3 , a więc powyżej temperatury 1350°C.

Podstawową przyczyną wyżej opisanego zjawiska jest mianowicie to, że efekt cieplny hartowania kąpielowego i odpuszczania znika całkowicie w całej strefie materiału rodzimego, objętej działaniem ciepła spawania, co jest spowodowane powstaniem całkowicie innego efektu cieplnego po spawaniu materiału rodzimego tak, że poprzednio

ustalony dla stali bilans wytrzymałości, plastyczności i odporności na działanie karbu zostaje oczywiście zachwiany doprowadzając do stanu utwardzenia w obszarze objętym działaniem ciepła spawania i co za tym idzie do obniżenia plastyczności i odporności na działanie karbu.

Wyżej wymienione zjawisko zostanie poniżej wyjaśnione teoretycznie.

Fig. 3 przedstawia wykres przemiany stali B, mianowicie przemiany ze struktury austenitycznej, przy czym na osi rzędnych odłożono temperaturę w °C, a na osi odciętych czas w podziałce logarytmicznej.

Na wykresie linia ciągła przedstawia przemianę przy ciągłym chłodzeniu od temperatury 900°C, a linia przerywana przemianę przy chłodzeniu po nagrzaniu do temperatury 1350°C.

W tym przypadku strefa austenitu została oznaczona przez I, strefa przemiany ferrytycznej przez II zaś strefy przemiany bainitycznej i martenzytycznej odpowiednio przez IV i V. Na tym samym wykresie linia 1 przedstawia początek przemiany martenzytycznej, a linia 2 koniec przemiany martenzytycznej.

Poniżej zostanie objaśniona przede wszystkim obróbka cieplna stali B. Stal ta po podgrzaniu do temperatury powyżej przemiany A_3 jest hartowana w wodzie. Krzywą chłodzenia tej stali stanowi krzywa O na fig. 3. Stal B zawiera dużo składników stopowych jak C, Mn, Cr, Mo i B zwiększających jej hartowność, a zatem powodujących zwiększenie wytrzymałości po hartowaniu i odpuszczaniu.

Strefa przemiany jest umieszczona w krótkim odcinku czasu w celu łatwiejszego hartowania stali tak, że krzywa chłodzenia przechodzi przez punkty początku i końca przemiany martenzytycznej to jest przez strefę tej przemiany V, powodując powstanie struktury martenzytycznej wykazującej dużą twardość i kruchość.

Mechaniczne właściwości stali B w stanie zahartowanym są pokazane w tabeli 1—2, gdzie jak widać jej wytrzymałość na rozciąganie sięga 101,6 kG/mm², ale udarność określana metodą Charpy'ego na próbce z karbem przy temperaturze —50°C spada do 1,4 kG/cm² prowadząc w efekcie do powstania bardzo kruchoj stali. Ponieważ stal w takim stanie nie może być właściwie wykorzystana, konieczne jest poddanie jej odpuszczaniu w temperaturze 650°C w celu odzyskania w wystarczającym stopniu jej odporności na działanie karbu.

Mechaniczne właściwości stali po takim odpuszczaniu przedstawione są w tabeli 1—1, z której widać, że wytrzymałość tej stali wynosi 84,8 kG/mm², a udarność przy temperaturze —50°C — 7,6 kG/cm². Wskazuje to na odzyskanie w pewnym stopniu odporności na działanie karbu ale jednak wytrzymałość jest dużo niższa niż w stanie zahartowanym. Tak więc stale konwencjonalne takie jak stal B, dla uzyskania wystarczającej, dla ich zastosowania praktycznego, wytrzymałości i odporności na działanie karbu, powinny być poddawane wspomnianej wyżej obróbce cieplnej hartowania kąpielowego i odpuszczania.

Stal taką poddano wspomnianej wyżej obróbce hartowania kąpielowego i odpuszczania dla uzyskania wystarczającej wytrzymałości i odporności na działanie karbu, a zależność pomiędzy składem chemicznym i wytrzymałością stali przedstawiono na wykresie widocznym na fig. 4, gdzie na osi rzędnych odłożono wytrzymałość na rozciąganie, a na osi odciętych wartość procentową równoważnika węglowego C_{eq} , stanowiącego wskaźnik składu chemicznego istotny dla uzyskania wymaganej wytrzymałości stali.

Zgodnie z danymi umieszczonymi w tabeli, dla tego przypadku oczywiste jest, że wartość równoważnika węglowego C_{eq} musi koniecznie być wysoka dla uzyskania wysokiej wytrzymałości. Nawiasem mówiąc odpowiednie punkty dla stali A i B wymienionych w tabeli 1—1 są uwidocznione na fig. 4. Dalszym zagadnieniem jest stan części spawanej stali B poddanej działaniu ciepła przy spawaniu w temperaturze 1350°C. Mianowicie, gdy stal B poddana zostanie działaniu ciepła spawania przy maksymalnej temperaturze 1350°C, traci ona właściwości uzyskane przy hartowaniu i odpuszczaniu w całym obszarze spoiny, ponieważ stal ta jest wtedy chłodzona według krzywej W na fig. 3.

W tym przypadku Stal B jak wiadomo zawiera wiele składników stopowych w celu zwiększenia jej hartowności, zatem gdy przemiany przy spawaniu przebiegają w dłuższym okresie czasu niż przy obróbce cieplnej, struktura stali prawie w całości staje się martenzytyczną zgodnie z przebiegiem krzywej chłodzenia W.

Ponieważ w części spawanej nie następuje odpuszczanie tak jak to ma miejsce przy obróbce cieplnej, właściwości mechaniczne tej części będą podobne jak właściwości materiału wyjściowego w stanie tylko zahartowanym, jak to jest pokazane w tabeli 1—2, a więc będzie posiadała wysoką wytrzymałość i małą odporność na działanie karbu. Należy nadmienić, że część spawana stali B na skutek działania ciepła spawania wykazuje właściwości podobne do stali hartowanej.

Tak więc, gdy obszar stali znajdujący się pod działaniem ciepła spawania, a zwłaszcza część spawana, zostaje zahartowany, stal ta oczywiście traci swą plastyczność.

Stopień zahartowania i plastyczność jest związana ściśle ze skłonnością stali do pęknięć w obszarze poddanym działaniu ciepła spawania, to znaczy gdy stal jest zbyt zahartowana jej plastyczność się obniża i w większości przypadków istnieje możliwość powstawania pęknięć w spoinie. Ponadto, ponieważ obszar poddany działaniu ciepła spawania zostaje zahartowany na martenzyt, stal jest nadmiernie zahartowana i jej plastyczność obniża się, powodując oczywiście kruchość stali oraz odpowiednie obniżenie odporności na działanie karbu.

Stąd też w przypadku stali o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, rzędu 70—100 kG/mm², po poddaniu jej konwencjonalnej obróbce cieplnej przez hartowanie kąpielowe i odpuszczanie, stwierdzamy wysoką wytrzymałość na rozciąganie i dużą odporność na działanie karbu, ale po poddaniu tej stali automatycznemu spawaniu łukowemu, jak na przykład spawaniu w atmosferze CO₂, pod topni-

kiem lub elektrodą otuloną, strefa poddana działaniu ciepła spawania ulega w znacznym stopniu utwardzeniu, łatwo mogą powstawać pęknięcia w spoinie, odporność na działanie karbu gruboziarnistej struktury tej strefy znacznie się zmniejsza i wysokowydajne, automatyczne spawanie przy wysokiej temperaturze jest bardzo trudne do przeprowadzenia, co stwarzało dotychczas cały szereg niedogodności.

Na wyeliminowanie wyżej wspomnianych niedogodności występujących w obszarze stali poddanym działaniu ciepła spawania pozwala sposób według wynalazku polegający na tym, że stal o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie poddaje się obróbce cieplnej w warunkach chłodzenia przedstawionych na fig. 8, opierając się przy ustalaniu tych warunków na zmianach cieplnych następujących w obszarze objętym działaniem ciepła spawania.

Dzięki temu stal po spawaniu, w obszarze objętym działaniem ciepła spawania podlega w zasadzie takim samym przemianom jak podczas obróbki cieplnej materiału wyjściowego i w związku z tym w obszarze poddanym działaniu ciepła spawania nie występują zakłócenia w bilansie wytrzymałości, plastyczności i odporności na działanie karbu w porównaniu z bilansem uzyskanym w poprzednio określonych warunkach obróbki cieplnej.

Gdy stal jako materiał wyjściowy jest poddawana obróbce cieplnej w warunkach opartych na zmianach cieplnych podczas spawania zawartość składników stopowych potrzebnych do zwiększenia hartowności jest niewielka i niepotrzebny jest proces hartowania a następnie odpuszczania. Mianowicie w porównaniu ze składem chemicznym znanej stali o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie podanej w tabeli 1—1, można uzyskać stal o wytrzymałości na rozciąganie 70 kG/mm² przy niższej zawartości składników stopowych, wynoszącej np. 0,14% C, 0,25% Si, 1,27% Mn, 0,53% Ni, 0,24% Cr i 0,19% Mo, a zwłaszcza niskiej zawartości C, Cr i Mo i co za tym idzie niskim równoważniku węglowym C_{eq} .

Zgodnie ze sposobem według wynalazku przygotowuje się wlewki stalowe o niskiej zawartości składników stopowych i po przejściu przez zgniatacz podgrzewa się do temperatury powyżej przemiany A₃, przetrzymuje się w tej temperaturze do uzyskania jednolitej struktury austenitycznej, następnie poddaje się działaniu temperatury równej temperaturze spawania i chłodzi się w prawie takich samych warunkach w jakich chłodzona jest po spawaniu część stali objęta działaniem ciepła spawania przekształcając w ten sposób strukturę stali na bainityczną przez rozdrobnienie jej ziarna.

Tak więc dzięki zastosowaniu sposobu według wynalazku zapobiega się utwardzeniu stali i powstaniu pęknięć w obszarze objętym działaniem ciepła spawania, a zwłaszcza zachowuje się odporność na działanie karbu w tym obszarze na takim samym poziomie jak to ma miejsce w materiale rodzimym.

Powyższe zjawisko charakterystyczne dla sposobu według wynalazku zostanie objaśnione teoretycznie poniżej.

Jak to już wyżej opisano gdy stal B po zahartowaniu i odpuszczeniu jest spawana w zmiennych warunkach cieplnych część spawana uzyskuje takie same własności jak przy hartowaniu i występuje wtedy brak równowagi pomiędzy częścią łączoną i materiałem rodzimym poddanym uprzednio obróbce hartowania i odpuszczania, co jest zjawiskiem szkodliwym.

Zatem w przypadku gdy materiał rodzimy jest od początku obrabiany cieplnie stosownie do zmiennych warunków cieplnych przy spawaniu, w celu rozwiązania wspomnianego problemu, taki brak równowagi nie występuje. Mianowicie, jak to pokazano na fig. 3 stal jako materiał wyjściowy jest wstępnie obrabiana cieplnie w warunkach chłodzenia zgodnych z krzywą zmian cieplnych przy spawaniu W tak, że zanim części łączone zostaną poddane zmiennym warunkom cieplnym przy spawaniu stal w całości przechodzi przez ten stan.

Jednakże gdy stal stopowa zawiera dużo składników stopowych i posiada duży równoważnik węglowy C_{eq} , tak jak stal B, zarówno materiał rodzimy jak i części łączone mogą mieć strukturę martenzytyczną prawie jednakowo twardą, kruchą a zatem o pogorszonej jakości.

W celu usunięcia takich niedogodności strefa przemiany, jak to pokazane na fig. 3, jest przesunięta w stronę początku osi czasu względem krzywej zmian cieplnych podczas spawania W, a ponadto strefa IV przemiany bainitycznej jest zwężona tak, że struktura stali stopowej otrzymanej przy obróbce wzdłuż krzywej W może być przekształcona na strukturę bainityczną wytrzymałą i ciągliwą, zarówno w materiale rodzimym jak i w częściach łączonych zapowiadając wytrzymałość i odporność na działanie karbu.

Dla uzyskania takiego efektu skład chemiczny stali stopowej musi być tak ustalony, aby zawierała ona mniej węgla niż znane dotychczas stale tego typu tak, aby strefa przemiany bainitycznej mogła być przesunięta w stronę dłuższego okresu czasu, a ponadto koniecznym jest dodawanie takich składników stopowych jak Mn, Ni, Cr i Mo w niewielkich ilościach, aby można było zwęzić strefę przemiany bainitycznej i przesunąć strefę przemiany ferrytycznej w stronę dłuższych czasów. Nawiasem mówiąc zawartość tych składników musi być określona zależnie od wymaganej wytrzymałości i odporności na działanie karbu ale ponieważ wzrost hartowności nie jest podstawowym celem takiej obróbki niewielkie zawartości tych składników wystarczą do zapewnienia wytrzymałości i odporności na działanie karbu bez względu na hartowność.

Z tego punktu widzenia dobraną pod względem składu chemicznego jest już poprzednio przytoczona stal C o wytrzymałości 70—80 kG/mm² zawierająca 0,14% C, 0,25% Si, 1,27% Mn, 0,53% Ni, 0,24% Cr i 0,19% Mo.

W porównaniu do stali A i B poddanych obróbce cieplnej polegającej na zwykłym hartowaniu i odpuszczaniu i wymienionych w tabeli 1—1, stal C ma tak dobrany skład, że zawiera on mniej węgla oraz minimalną wymaganą zawartość Cr i Mo, a ponadto równoważnik węglowy C_{eq} dla tej

stali wynosi 0,45, czyli wyraźnie mniej niż dla stali A i B, gdzie wynosi on odpowiednio 0,54% i 0,58%.

Fig. 5 przedstawia wykres przemiany stali C w warunkach obróbki cieplnej według wynalazku. Mianowicie na wykresie tym temperaturę odłożono na osi rzędnych, a na osi odciętych przy użyciu podziałki logarytmicznej przedstawiono czas. Podobnie jak na fig. 3 przedstawione są tutaj warunki przemiany stali ze struktury austenitycznej, przy czym linie ciągłe dotyczą przemiany przy ciągłym chłodzeniu po podgrzaniu do temperatury 900°C, a linie przerywane przemiany przy ciągłym chłodzeniu po podgrzaniu do spawania.

Na wykresach przez I oznaczono strefę struktury austenitycznej, II — strefę przemiany na strukturę ferrytyczną, III — strefę przemiany perlitycznej, IV — strefę przemiany bainitycznej i V — strefę przemiany martenzytycznej natomiast linie 1 i 2 oznaczają odpowiednio początek i koniec przemiany martenzytycznej.

Obróbka cieplna stali C jako materiału wyjściowego polega na podgrzaniu powyżej temperatury przemiany A_3 do 900°C w celu utworzenia struktury austenitycznej, a następnie chłodzeniu według krzywej M odpowiednio do warunków chłodzenia przy spawaniu. W ten sposób, jak to samo przez się wynika z fig. 5, struktura stali jest przekształcona z austenitycznej na bainityczną. W tym przypadku właściwości mechaniczne stali są następujące: granica plastyczności — 64,8 kG/mm², wytrzymałość na rozciąganie — 78,2 kG/mm², wydłużenie — 30,8%, uderność przy —50°C = 11,4 kGm/cm², a więc wysoka odporność na działanie karbu w przybliżeniu równa odporności stali o wysokiej wytrzymałości 80 kG/mm².

Cechy te przedstawia wykres przemiany na fig. 5. Powstawanie drobnoziarnistej struktury bainitycznej jest na tym wykresie widoczne w sposób oczywisty.

Gdy zawartość składników stopowych jest niewielka, a równoważnik węglowy również niski, można uzyskać przy zastosowaniu obróbki cieplnej według wynalazku drobnoziarnistą strukturę bainityczną dającą wytrzymałość stali bliską 80 kG/mm² i odporność na działanie karbu większą niż stali A i B przedstawionych w tabeli 1—1. Prowadząc w ten sposób obróbkę cieplną można uzyskać wystarczającą wytrzymałość i odporność na działanie karbu.

W celu wyjaśnienia zależności pomiędzy mechanicznymi własnościami i składem chemicznym tej stali, na wykres zależności pomiędzy C_{eq} i wytrzymałością na rozciąganie stali o wysokiej wytrzymałości poddanej obróbce cieplnej poprzez zwykłe hartowanie o odpuszczanie naniesiono punkt dla stali C tak jak analogicznie do poprzednio omawianej fig. 4. Teraz, jak to pokazane na fig. 6, naniesiony na wykres punkt wskazuje wynik jaki uzyskano w wysokiej wytrzymałości stali przy niskim równoważniku węglowym w porównaniu do stali obrabianych dotychczasowym sposobem przez hartowanie i odpuszczanie.

Poniżej omówiono stal C po spawaniu. Część łączoną po podgrzaniu do temperatury w pobliżu

1350°C chłodzono w warunkach prawie zgodnych z krzywą chłodzenia **M** w przypadku obróbki cieplnej materiału wyjściowego, pokazaną na fig. 5.

Przemiana struktury stali podczas chłodzenia przebiega w sposób podobny jak przy obróbce materiału wyjściowego, dając w efekcie strukturę bainityczną, jak to widać wyraźnie na wykresie chłodzenia przy spawaniu pokazanym na fig. 5.

Mianowicie część łączona jest poddana działaniu zmiennych temperatur przy spawaniu, to znaczy, po podgrzaniu powyżej temperatury przemiany A_3 , aż do uzyskania struktury austenitycznej stal ta jest chłodzona, a ponieważ warunki chłodzenia poniżej temperatury przemiany A_3 są prawie takie jak w przypadku obróbki cieplnej materiału wyjściowego zrozumiałe jest, że jest on po prostu powtórnie obrabiany cieplnie przy spawaniu.

Innymi słowy, część łączona za pomocą spawania jest obrabiana cieplnie dwukrotnie w warunkach niemal jednakowych i zarówno materiał rodzimy jak i część łączona mogą uzyskać strukturę bainityczną bez większych różnic strukturalnych pomiędzy nimi.

Własności mechaniczne części łączonej przy maksymalnej temperaturze podgrzania 1350°C są następujące: granica plastyczności 67,0 kG/mm², wytrzymałość na rozciąganie 84,5 kG/mm², twardość Hv-294 i uderność przy -50°C $U = 8,4$ kGm/cm², a więc część ta wykazuje własności mechaniczne zbliżone do materiału rodzimego co wskazuje, że stal w tej części nie jest ani bardziej zahartowana ani wytrzymalsza niż stal **B** wymieniona w tabeli 1—2 ale zachowuje wysoką odporność na działanie karbu. Te własności części łączonej odpowiadają własnościom mechanicznym rodzimego materiału co daje gwarancję, że na skutek zmian temperatur przy spawaniu nie powstanie struktura martenzytyczna, tak jak w znanych stalach o

wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, ale struktura bainityczna odpowiadająca strukturze materiału rodzimego.

W ten sposób stal o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie poddana obróbce cieplnej według wynalazku wykazuje strukturę bainityczną zarówno w materiale rodzimym jak i w części spawanej. Przyczyny powstania takiej struktury zostaną wyjaśnione poniżej.

Mianowicie, zgodnie ze sposobem według wynalazku, nie jest konieczne, aby stal stopowa przeznaczona do obróbki cieplnej zawierała dużo składników stopowych w celu zwiększenia jej hartowności jak to ma miejsce w przypadku stali **C** i dlatego, jak to wynika w sposób oczywisty z wykresu przemiany na fig. 5, strefa przemiany bainitycznej jest poszerzona na wykresie przemiany przy spawaniu, a ponadto strefa ta nie jest w takim stopniu przesunięta w stronę większych wartości czasu jak ta sama strefa wykresu dla obróbki cieplnej. W związku z tym zarówno materiał rodzimy jak i część spawana materiału uzyskują strukturę bainityczną przez co twardość części spawanej jest prawie równa twardości materiału rodzimego, a część ta nie ulega utwardzeniu ale staje się bardzo plastyczna dzięki czemu skłonność do powstawania pęknięć w spoinie jest raczej niewielka. Struktura bainityczna o dużej plastyczności łatwo się tworzy w części spawanej co zapobiega powstawaniu niebezpieczeństwa znaczniejszego obniżenia odporności na działanie karbu w przeciwieństwie do stali **B**. Innymi słowy przez zastosowanie obróbki cieplnej w warunkach odpowiadających krzywej chłodzenia stali przy spawaniu szereg niedogodności występujących dotychczas przy spawaniu szereg niedogodności występujących dotychczas przy spawaniu stali o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie ulega wyeliminowaniu.

Tabela 1—2

Stal	Stan stali	Granica plastyczności kG/mm ²	Wytrzymałość na rozciąganie kG/mm ²	Wydłużenie %	Przebieżenie	Uderność przy -50°C kGm/cm ²	Twardość HV
B	Po hartowaniu w wodzie	66,2	101,6	13,0	49,5	1,4	408
	Po spawaniu (1350°C)	68,5	102,6	12,5	48,5	1,2	412

Poniżej objaśniono wykres z fig. 7 jako przykład wskazujący na zależność pomiędzy obróbką cieplną według wynalazku zastosowaną do stali o niższej zawartości procentowej składników stopowych niż w znanych stalach i warunkami przemiany tej stali. Na wykresie tym oś odciętych wskazuje czas w sekundach, a oś rzędnych temperaturę w °C. Przez I oznaczono strefę struktury austenitycznej, II — strefę przemiany austenitu na ferryt, III — strefę przemiany perlitycznej, IV — strefę prze-

miany na martenzyt. Linie 1 i 2 oznaczają odpowiednio początek i koniec przemiany martenzytycznej.

W warunkach typowej obróbki cieplnej według wynalazku stal jest ogrzewana nieco powyżej temperatury przemiany A_3 , jak to wskazuje krzywa 3, do momentu powstania jednolitej struktury austenitycznej, a następnie stal ta jest spawana i chłodzona z zachowaniem warunków zmian cieplnych jakim podlega obszar stali znajdujący się pod dzia-

łaniem ciepła spawania, po czym przemiana stali może być zakończona. Takie warunki chłodzenia podano w konkretnym przykładzie. Stal jest podgrzewana powyżej temperatury przemiany A_3 , a następnie od tej temperatury jest chłodzona do 500°C w ciągu 20 sekund, a dalej od 500°C do 200°C w ciągu 3500 sekund. W tym przypadku chłodzenie stali od 500°C do 200°C przebiega dużo wolniej niż chłodzenie do 500°C, co jest istotne dla sposobu według wynalazku.

Warunki chłodzenia według wynalazku są prawie takie same jak zmiany cieplne przy spawaniu, jak to pokazano na fig. 8 i są całkowicie odmienne od dotychczasowej obróbki cieplnej takiej jak hartowanie w wodzie, hartowanie na martenzyt i wyżarzanie normalizujące.

Należy nadmienić, że przy dotychczas stosowanym hartowaniu w wodzie i hartowaniu na martenzyt stal jest chłodzona bardzo szybko w zakresie temperatur od około 450°C do 200°C, w którym to zakresie ma powstawać struktura martenzytyczna. Ten proces chłodzenia jest prowadzony tak szybko, aby krzywa chłodzenia przecięła strefę V ograniczoną liniami 1 i 2 na fig. 7. W przeciwnieństwie do tego warunki chłodzenia według wynalazku przewidują bardzo wolne chłodzenie w zakresie od 500°C do 200°C i dlatego struktura stali przekształca się na drobnoziarnistą strukturę bainityczną i stal nie ulega utwardzeniu w tym zakresie temperatur.

W przypadku wyżarzania normalizującego chłodzenie do 500°C przebiega bardzo wolno tak, że nigdy nie wchodzi w zakres prędkości chłodzenia według wynalazku, nawet przy dostosowaniu warunków chłodzenia do materiału.

Ponadto, gdy stosuje się chłodzenie przymusowe w celu regulacji szybkości chłodzenia przy obróbce normalizującej, chłodzenie do 500°C przebiega szczególnie szybko, a chłodzenie od 500°C do 200°C w jeszcze krótszym czasie niż 500°C, czyli całkiem odwrotnie niż według wynalazku, gdzie czas chłodzenia od 500°C do 200°C jest dłuższy niż chłodzenia do 500°C zgodnie z warunkami chłodzenia przy spawaniu.

Jednocześnie warunki chłodzenia w sposobie według wynalazku są również odmienne niż przy znanych procesach odpuszczania i hartowania na martenzyt oraz odpuszczania austenitycznego. Mianowicie przy procesie odpuszczania na martenzyt chłodzenie przebiega szybko, a krzywa chłodzenia tego procesu nie przechodzi przez punkty wykresu przemiany według wynalazku aż do przekroczenia punktu początku przemiany martenzytycznej, a pomiędzy początkiem i końcem tej przemiany zapewniana jest stała temperatura. Na przykład na fig. 7 gdy krzywa chłodzenia przekracza linię 1 warunki chłodzenia ustalają się w strefie V.

W procesie hartowania na martenzyt chłodzenie przebiega szybko dopóki temperatura nie zbliży się do punktu początkowego przemiany martenzytycznej, a w tym punkcie zapewnia się stałą temperaturę. Na przykład na fig. 7 temperatura jest utrzymywana na stałym poziomie tuż nad literą 1.

Przy odpuszczaniu austenitycznym chłodzenie przebiega szybko do punktu powyżej temperatury

początku przemiany martenzytycznej i w tym punkcie utrzymywana jest stała temperatura.

Tak więc jest oczywiste, że te wszystkie znane sposoby różnią się od sposobu według wynalazku polegającego na chłodzeniu ciągłym stali w oparciu o warunki chłodzenia przy spawaniu. Zależnie od przeznaczenia stali o wysokiej wytrzymałości pracującej na rozciąganie może być potrzebne wyżarzanie w niskiej temperaturze po obróbce według krzywej 3 a to w celu likwidacji naprężeń.

Na fig. 8 przedstawiono wykres, na którym krzywe A, B, C i D przedstawiają przebieg zmian temperatury przy spawaniu w sąsiedztwie maksymalnej temperatury grzania, gdzie w największym stopniu występuje zmniejszenie odporności na działanie karbu części łączonych za pomocą spawania. Na osi odciętych tego wykresu odłożono czas w sekundach, a na osi rzędnych temperaturę w °C.

Spośród tych krzywych krzywa A odpowiada spawaniu elektrodą otuloną przy doprowadzeniu małej ilości ciepła, a krzywa D spawaniu łukiem krytym, gdzie ilość doprowadzonego ciepła jest duża. Jak to wyraźnie widać z przebiegu tych krzywych chłodzenie od temperatury poniżej 400°—500°C jest bardzo powolne we wszystkich przypadkach i właśnie ten efekt cieplny przy spawaniu jest zastosowany do obróbki stali o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie sposobem według wynalazku.

Fig. 9 przedstawia krzywe chłodzenia A i D przy spawaniu przeniesione z wykresu pokazanego na fig. 8 i naniesione na wykres przemiany stali przy obróbce cieplnej, przedstawiony poprzednio na fig. 7.

Na wykresie z fig. 9 obszar zawarty pomiędzy krzywymi A i D jest zakreskowany i ograniczony liniami aa' i dd' oraz przedstawia on zakres warunków chłodzenia przy spawaniu w odniesieniu do stali poddanej spawaniu, to znaczy cały zakres warunków chłodzenia stali o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie przy sposobie według wynalazku.

Wyrażając te warunki w konkretnych wartościach można określić że w sposobie według wynalazku stal jest chłodzona od temperatury przemiany A_3 do 500°C w czasie od 5—50 sekund, a dalej od 500°C do 200°C powoli w czasie dużo dłuższym niż od temperatury przemiany A_3 do 500°C, mianowicie w ciągu 20—4300 sekund. Jeśli stal o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, jako materiał wyjściowy, jest najpierw poddana obróbce cieplnej w takich warunkach chłodzenia to jest pewne, że obszar stali poddany następnie działaniu ciepła spawania może być najwyżej powtórnie obrabiony cieplnie w takich samych w przybliżeniu warunkach jak wspomniano wyżej, pomimo ponownego poddania go działaniu ciepła przy spawaniu. Tak więc skutki poprzedniej obróbki stali jako materiału wyjściowego nie są stracone i zarówno obszar stali poddany działaniu ciepła spawania jak i materiał rodzimy mają strukturę bainityczną w prawie takim samym stopniu jak również prawie jednakowe własności mechaniczne są zapewnione w obu częściach.

Tak więc nie występuje tutaj zjawisko, gdzie

obszar stali poddany działaniu ciepła spawania staje się znacznie twardszy niż pozostała część materiału wyjściowego, a natomiast zostaje zachowana plastyczność tego obszaru nie stwarzając zagrożenia powstawaniem pęknięć w spoinie i dają

tylko minimalne zmniejszenie odporności na działanie karbu jak nigdy dotąd.

Ta najważniejsza cecha zostanie objaśniona poniżej na przykładzie.

Sposób według wynalazku zastosowano do obróbki cieplnej stali o składzie chemicznym przedstawionym w tabeli 2. Bez wyżarzania uzyskano

wytrzymałość 100 kG/mm², ale dla porównania ze znaną stalą o wysokiej wytrzymałości 70—80 kG/mm² poddano tą ostatnią wyżarzaniu w temperaturze 580°C uzyskując taką samą wytrzymałość jak

pierwszej stali.

Właściwości mechaniczne tak otrzymanej stali są podane w tabeli 3. Jak widać nie ma dużych różnic pod tym względem w porównaniu ze znanymi stalami stosowanymi do tych samych celów, które to stale wymieniono przykładowo w tabeli 1—1.

Tabela 2

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	B	Zr
0,13	0,34	1,08	0,009	0,012	1,08	0,68	0,18	0,03	0,003	0,003

Tabela 3

Granica plastyczności kG/mm ²	Wytrzymałość na rozciąganie kG/mm ²	Wydłużenie %	Przewężenie próbki	Udarność przy —50°C kGm/cm ²
58,2	77,2	31,6	63,5	6,9

Porównanie udarności obu stali podano poniżej. Mianowicie fig. 10 przedstawia wyniki prób udarności prowadzonych na próbkach z karbem w kształcie litery V o głębokości 2 mm.

Temperatury prób podano na osi odciętych w °C a udarność w kGm/cm² na osi rzędnych wykresu. Krzywa m jest krzywą przejściową dla stali ulepszonej sposobem według wynalazku, a krzywa h jest krzywą przejściową dla znanej stali B, wymienionej w tabeli 1—1. Z wykresu tego nie widać prawie żadnych większych różnic w odporności na działanie karbu obu tych materiałów wyjściowych. Z kolei porównano odporność na działanie karbu przy podgrzaniu obu stali do temperatury maksymalnej 1350°C. Mianowicie fig. 11 przedstawia wykres w takich samych współrzędnych jak poprzedni na fig. 1, przy czym krzywa j jest krzywą zależności pomiędzy temperaturą podgrzania i udarnością konwencjonalnej stali o wysokiej wytrzymałości wymienionej w tabeli 1—1. Porównując krzywą j z krzywą i dla stali obrobionej cieplnie sposobem według wynalazku należy stwierdzić, że spadek odporności na działanie karbu w wysokich temperaturach bliskich maksymalnej temperatury grzania dla tej ostatniej stali został znacznie zmniejszony w porównaniu ze stalą konwencjonalną.

Podobnie fig. 2 i fig. 8 przedstawiają zależność między czasem chłodzenia od 800°C do 500°C oznaczonym na osi odciętych i udarnością w kGm/cm² przy —50°C oznaczoną na osi rzędnych.

Z wykresu tego samo przez się wynika, że krzywa K odnosząca się do stali obrabianej sposobem według wynalazku wskazuje na bardzo niewielkie zmiany odporności na działanie karbu przy chłodzeniu strefy X wpływu ciepła spawania w porównaniu z krzywą l dla konwencjonalnej stali B.

Oczywiste jest, na podstawie powyższego przy-

kładu, że sposób według wynalazku umożliwia uzyskanie stali o wyższej wytrzymałości i odporności na działanie karbu przy niższej zawartości składników stopowych niż w dotychczas stosowanych stalach obrabianych znanymi sposobami.

Przy obrabianiu stali sposobem według wynalazku stwierdzono, że udarność materiału rodzimego nie zmienia się w większym stopniu jak to ma miejsce przy stosowanych dotychczas sposobach obróbki, a ponadto spadek odporności na działanie karbu w temperaturach zbliżonych do maksymalnej temperatury 1350°C jest znacznie mniejszy w porównaniu ze stosowanymi dotychczas stalami.

Ponadto, stopień z jakim wpływa chłodzenie strefy stali podgrzanej podczas spawania na odporność na działanie karbu jest bardzo niewielki w porównaniu do znanych stali. Tak więc stworzono możliwość określenia warunków spawania w szerokim zakresie zastosowań, dzięki czemu stal o wysokiej wytrzymałości może być tak samo spawana jak stal miękka przy zastosowaniu autometrycznego spawania łukowego i nie występują już w spawaniu stali dotychczasowe ograniczenia jak w przypadku stali o wysokiej wytrzymałości.

Również w porównaniu ze znanymi stalami o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, stal obrabiana według wynalazku nie wymaga tak wysokiej zawartości składników stopowych. Mianowicie równoważnik węglowy C_{eq} jest tak niski, że obszar stali poddany działaniu ciepła spawania ulega utwardzeniu w dużo mniejszym stopniu niż to miało miejsce przy znanych stalach, a materiał rodzimy uzyskuje strukturę bainityczną, wykazując znaczne zmniejszenie skłonności do powstawania pęknięć i umożliwia znacznie niższą temperaturę podgrzewania niż stale dotychczas znane.

Stal o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie otrzymana sposobem według wynalazku zapewnia po spawaniu wysoką odporność na działanie karbu i wysoką wytrzymałość bez nadmiernego zwiększenia jej twardości. Stąd też, sposób według wynalazku może znaleźć zastosowanie do wytwarzania stali o bardzo wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, a ponadto taki rodzaj stali, jak stwierdzono, jest nie wrażliwy na takie zjawiska jak pęknięcia pod wpływem naprężeń lub korozja siarczkowa, które często występują w konstrukcjach zbiorników na propan. Biorąc pod uwagę wszystkie te cechy, stal o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie otrzymana przy zastosowaniu sposobu według wynalazku może być stosowana z wielkim powodzeniem na takie konstrukcje jak rurociągi okrętowe, zbiorniki kuliste itd. a spawanie automatyczne może być do tych stali szeroko stosowane.

Sposób obróbki cieplnej stali o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, przeznaczonej na konstrukcje spawane, **znamienny tym**, że stal po podgrzaniu chłodzi się w takich samych warunkach w jakich będzie ona chłodzona przy spawaniu biorąc przede wszystkim pod uwagę zmiany cieplne w strefie wpływu ciepła spawania, a mianowicie po nagrzaniu powyżej temperatury przemiany A_3 stal chłodzi się do 500°C w czasie 5—50 sekund, a dalej od 500°C do 200°C chłodzi się powoli w czasie 20—4300 sekund dobierając prędkość właściwą dla chłodzenia w tym samym zakresie temperatur po spawaniu, uzyskując dzięki temu przemianę stali ze struktury austenitycznej.

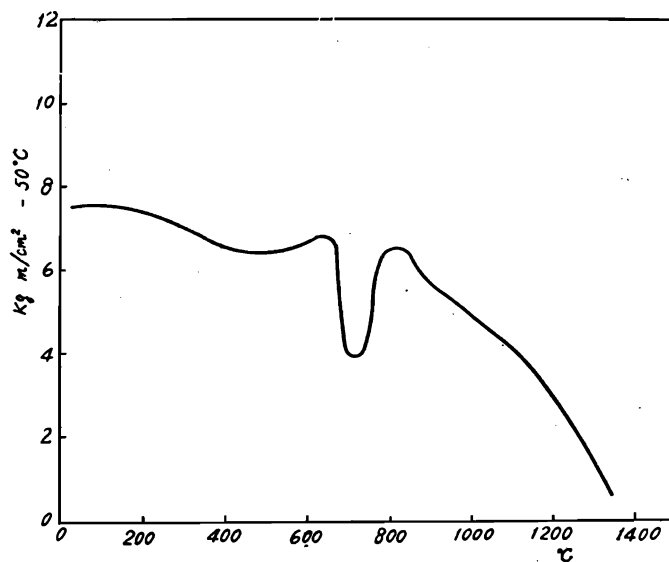


Fig. 1

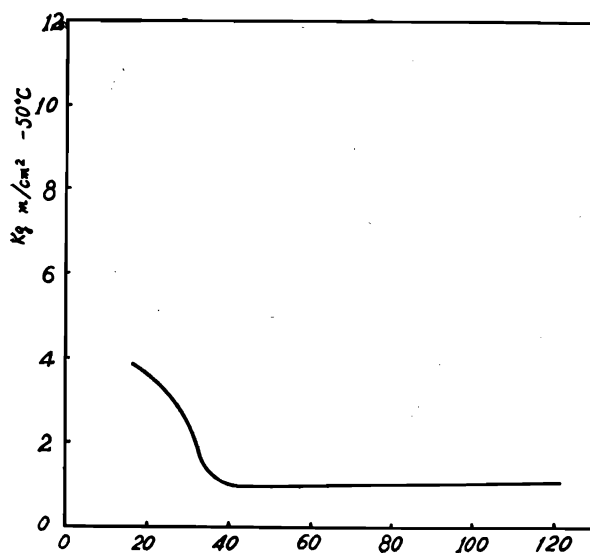


Fig. 2

Fig.3

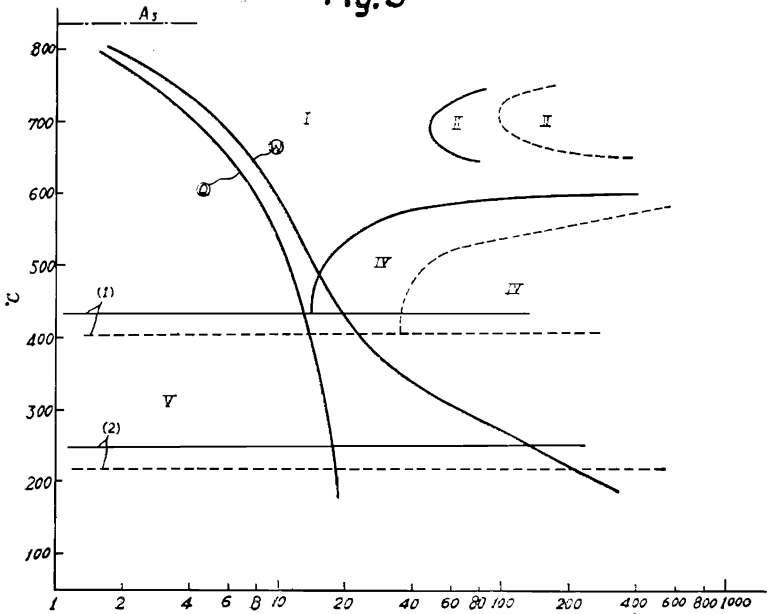
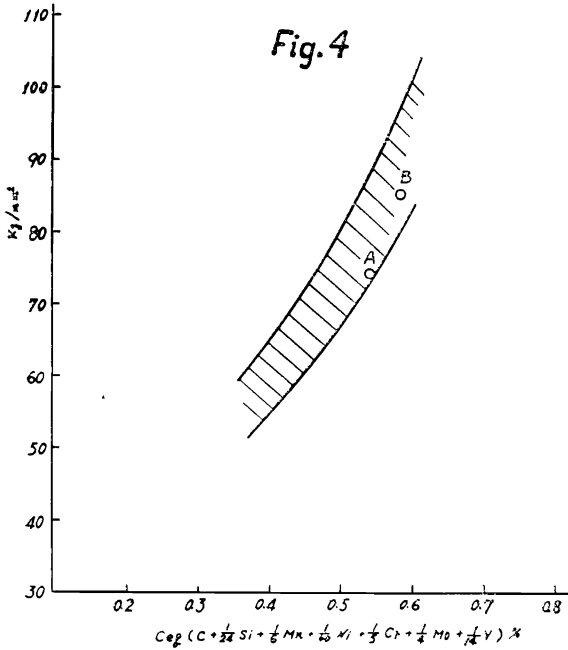
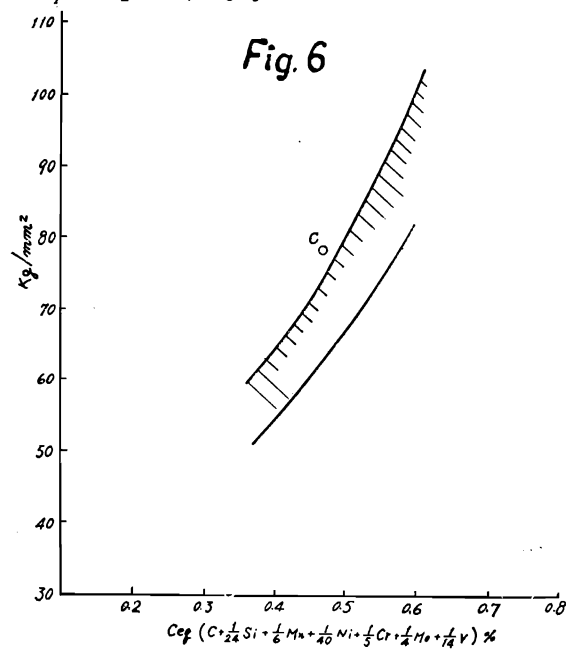
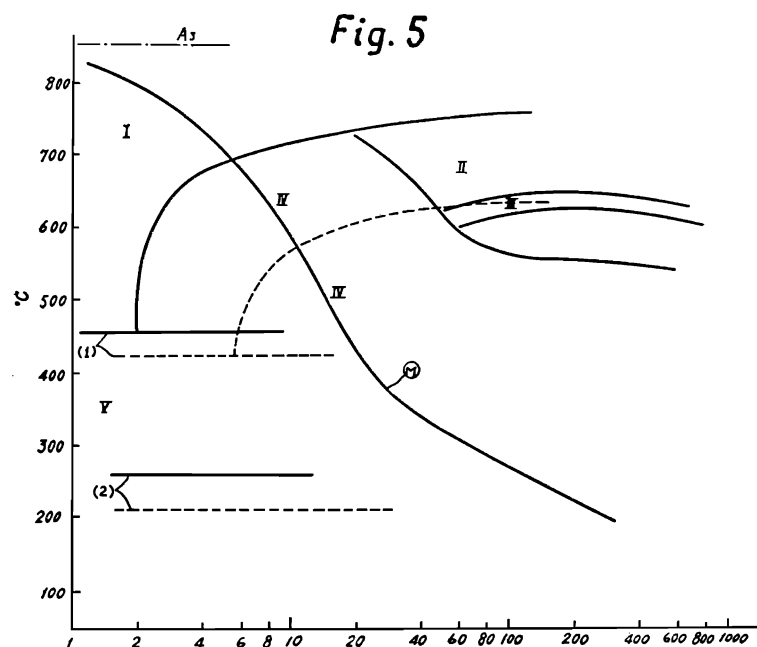


Fig.4





CZYTELNIA
 Urzędu Patentowego
 P. O. P. O. P. O.

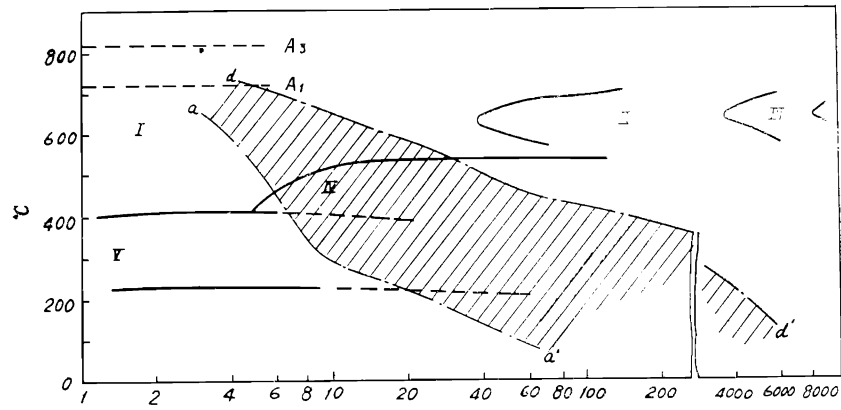


Fig. 9

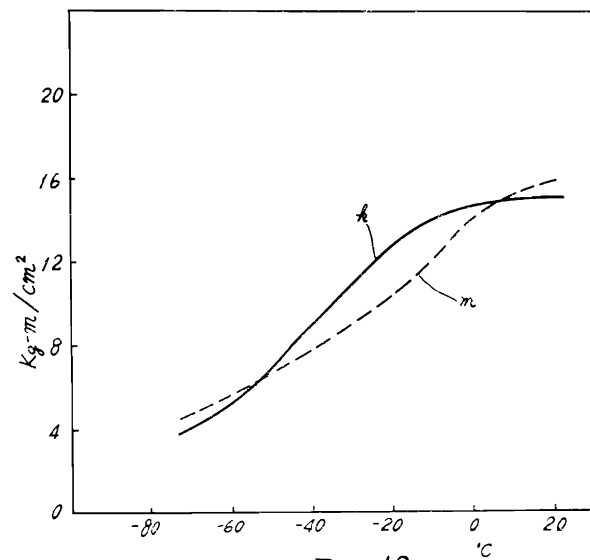


Fig. 10

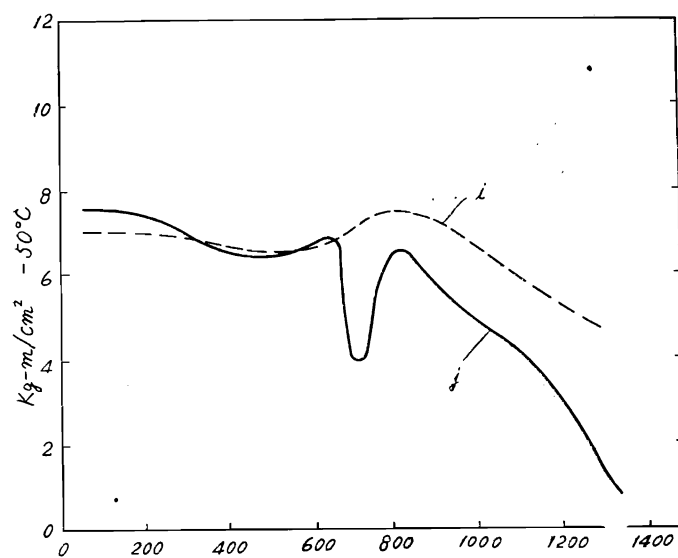


Fig 11

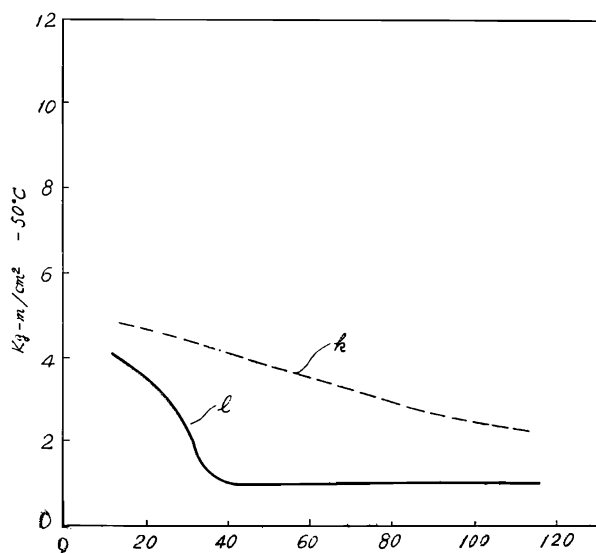


Fig.12

