



Patent dodatkowy
do patentu

Zgłoszono: 21.08.70 (P. 142 819)

Pierwszeństwo: 21.08.69 dla zastrz. 1
20.07.70 dla zastrz. 2-7
Stany Zjednoczone Ameryki

Zgłoszenie ogłoszono: 05.04.73

Opis patentowy opublikowano: 30.09.1976

MKP C21d 1/78

Int. Cl² C21D 1/78

CZYTELNIJA

Urzędu Patentowego
Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej

Twórca wynalazku: _____

Uprawniony z patentu: Armco Steel Corporation Middletown, Ohio
(Stany Zjednoczone Ameryki)

Sposób obróbki cieplnej stali

Przedmiotem wynalazku jest sposób obróbki cieplnej stali, a zwłaszcza stali zawierającej wagowo 4–10% niklu, poddanej przemianie struktury krystalicznej martenzytycznej dla zwiększenia jej odporności na obciążenia dynamiczne w technice niskich temperatur. W dalszym ciągu opisu za niskie temperatury będzie się uważać temperatury niższe od minus 100°Celsjusza.

Zwykle produkty z żelaza stosowane w budowie urządzeń i do konstrukcji nośnych, uważane są za materiały ciągliwe. Oznacza to, że po poddaniu ich działaniu nadmiernych naprężeń lub sił wyrób zwykle ulegnie powolnej deformacji plastycznej zanim zostanie zniszczony. W pewnych warunkach większość wyrobów z żelaza rozrywa się bez płynięcia przy zachowaniu kruchości.

Skłonność materiałów żelaznych do pękania z zachowaniem kruchości wzrasta z obniżaniem temperatury. Dlatego też opracowano sposoby pomiaru podatności materiałów żelaznych do przełomu kruchego. Jednym z takich sposobów odznaczania odporności na obciążenie dynamiczne materiałów z żelaza jest badanie udarności mierzone na próbce z przygotowanym karbem. Celem tego badania jest pomiar energii zaabsorbowanej przez pręt z karbem po przyłożeniu zmierzonego obciążenia udarowego. Za pomocą zmierzenia absorbowanej energii w znormalizowanej próbce z karbem dokonanego w różnych temperaturach, można sklasyfikować materiał pod względem ciągliwości. Obniżanie temperatury przy pomiarach daje w wyniku zmniejszenie ilości mierzonej energii zaabsorbowanej wskutek zmiany rodzaju przełomu z ciągliwego na kruchy.

Temperaturę, w której następuje to przejście, określono jako temperaturę przemiany. Biorąc za podstawę tę właściwość opracowano zestawienie kwalifikujące dany materiał z żelaza do eksploatacji w określonej niskiej temperaturze granicznej. Doświadczenie wykazało, że dla bardzo niskich temperatur są wymagane materiały z żelaza wzbogacone stopami. Nikiel, który jest stosunkowo kosztownym składnikiem stopów, jest głównym dodatkiem do żelaza dla materiałów stosowanych w technice niskich temperatur.

Dążąc do poprawienia właściwości eksploatacyjnych produktów z żelaza w warunkach niskiej temperatury zbadano szereg czynników metalurgicznych. Jednym ze znanych czynników wpływających na temperaturę przemiany, przynajmniej w stosunku stali zawierających nikiel, jest warunek obróbki cieplnej stali. Dlatego też najba-

rdziej skuteczny przemysłowo proces obróbki cieplnej, dla zwiększenia odporności na obciążenia dynamiczne stali zawierającej nikiel obejmuje kolejne etapy: austenityzowanie, chłodzenie i odpuszczanie, jakkolwiek jednym z najnowszych rozwiązań badawczych, związanym ze zwiększeniem wytrzymałości na obciążenia udarowe stali zawierających 4,5–7,5% niklu, co jest znane z opisu patentowego Stanów Zjednoczonych nr 3.444.011 wydanym w 13 maja 1969 r. Podstawą opatentowanego sposobu jest obróbka cieplna obejmująca austenityzację z następującym potem oziębianiem lub chłodzeniem powietrznym i odpuszczaniem w temperaturze 525–650°C. Według opisu patentowego Stanów Zjednoczonych po odpuszczaniu strąca się austenit. Przedstawiono kilka wariantów sposobu włącznie z dwukrotnym austenityzowaniem w różnych temperaturach.

W wyniku obróbki według wynalazku stal jest materiałem o zwiększonej odporności na obciążenia dynamiczne. Oznacza to dla projektantów i konstruktorów, że konstrukcje wykonane z tej stali stopionej poddanej obróbce cieplnej może być bezpieczniejsze eksploataowane w warunkach niskich temperatur – w porównaniu do znanych uprzednio stali.

Celem wynalazku jest podanie sposobu obróbki cieplnej stali zawierającej 4–10% wagowych niklu podatnej dla wytworzenia martenzytycznej struktury krystalicznej. Cel wynalazku został osiągnięty przez to, że nagrzewa się stal powyżej temperatury przemiany AC_3 , a następnie studzi się z szybkością odpowiednią dla wytworzenia struktury martenzytycznej. Uzyskaną stal ponownie podgrzewa się do temperatury pomiędzy temperaturą przemiany AC_3 , a temperaturą Ac_1 , a następnie studzi się z szybkością odpowiednią dla całkowitej przemiany austenitu w strukturę martenzytyczną. Poddana takiej obróbce cieplnej stal podgrzewa się wyżej w temperaturze nieco powyżej temperatury przemiany Ac_1 , lecz poniżej temperatury hartowania niezupełnego i odpuszcza się nagrzewając do temperatury niższej od temperatury przemiany Ac_1 .

W korzystnym wariantcie sposobu według wynalazku zwiększa się odporność na obciążenia dynamiczne stali zawierającej 4–10% wagowych niklu, a resztę stanowi składnik podatny do przemiany w martenzyt przez obróbkę cieplną obejmującą następujące etapy: austenityzowanie, po którym następuje oziębianie; nagrzewanie do temperatury w zakresie między temperaturami krytycznymi AC_1 i AC_3 , po którym następuje oziębianie z przynajmniej jednym etapem nagrzewania, a mianowicie: nagrzewanie do temperatury nieznacznie wyższej od temperatury pokojowej i/lub nagrzewanie do temperatury niższej od temperatury krytycznej AC_1 z następnym chłodzeniem do temperatury pokojowej. W innym korzystnym wariantcie sposobu według wynalazku stosuje się stal zawierającą wagowo 4–10% niklu, poniżej 0,25% węgla, do 1,5% manganu, pozostałość stanowi żelazo z małymi domieszkami innych składników.

Sposób według wynalazku jest dokładniej zilustrowany na rysunku, na którym przedstawiono schematycznie wybrany cykl sposobu według wynalazku dla stali o większej zawartości niklu, przy czym cztery etapy sposobu, będącego przedmiotem wynalazku, zdefiniowano według kolejności: austenityzację, „temperyzację”, „wyżarzanie rewersyjne” i odpuszczenie.

Jedyna w swoim rodzaju obróbka cieplna sposobem według wynalazku przedstawia odstępstwo od konwencjonalnej praktyki, dlatego też do rozważanych w opisie procentów nie nadaje się obecna terminologia. W związku z tym, dwa nowe terminy „temperyzacja” i „wyżarzanie rewersyjne” zostały utworzone dla bardziej trafnego opisu procesu obróbki cieplnej. Etapy nazwane tymi określeniami przedstawiono schematycznie na rysunku.

Dla ułatwienia zrozumienia istoty wynalazku będą opisane poszczególne etapy sposobu. Należy zrozumieć, że powyższe terminy i mikrostrukturalne zmiany towarzyszące poszczególnym etapom znajdują zastosowanie tylko przy stalach zawierających nikiel, rozpatrywanych w opisie wynalazku. Skład chemiczny tych stali będzie określony bardziej szczegółowo w dalszej części opisu. Nazwy poszczególnych etapów mają następujące znaczenie:

A. Austenityzacja – konwencjonalna obróbka cieplna, która obejmuje ogrzewanie stali powyżej temperatury krytycznej AC_3 z następnym chłodzeniem prowadzonym z szybkością wystarczającą dla wytworzenia struktury martenzytycznej.

B. Temperyzacja – jest zdefiniowana jako ponowne nagrzewanie, struktury, która była austenitczną i uległa przemianie w martenzyt, do temperatury w zakresie pomiędzy dolną temperaturą krytyczną AC_1 i górną temperaturą krytyczną AC_3 , z następującym potem chłodzeniem z szybkością taką, że zasadniczo wszystek utworzony wskutek nagrzewania austenit ulega przemianie w martenzyt.

C. Wyżarzanie rewersyjne – jest zdefiniowane jako ponowne nagrzewanie struktury wytworzonej za pomocą temperyzacji do temperatury nieznacznie wyższej od temperatury krytycznej AC_1 oraz ochłodzenie do temperatury pokojowej.

D. Odpuszczanie – jest to obróbka konwencjonalna, która obejmuje nagrzewanie stali do temperatury nieznacznie niższej od temperatury krytycznej AC_1 i ochłodzenie do temperatury pokojowej.

Chociaż wadaje się, że powyżej opisane etapy 2 i 3a, które są korzystne dla stali zawierających więcej niklu, są zasadniczo takie same, gdyż każdy przewiduje nagrzewanie stali zawierającej martenzyt do zakresu pomiędzy temperaturami krytycznymi. A_{C1} i A_{C3} , jednak należy zauważyć następujące różnice: odmienna jest morfologia martenzytów przed każdą obróbką cieplną, nie są zgodne odpowiednie temperatury, za pomocą wyżarzania rewersyjnego tworzy się większa ilość trwałego austenitu oraz temperyzacja wymaga szybkiego chłodzenia od temperatury, podczas gdy wyżarzanie rewersyjne nie wymaga tego zabiegu.

Chociaż sądzi się, że wynalazek polega na powyższych etapach procesu, nie mniej jednak daje wyniki tylko dla określonych rodzajów stali. Materiał z żelaza musi zawierać nikiel lecz w mniejszej ilości tak, aby dał się przemienić w martenzyt, wskutek czego eliminuje się materiały o dużej zawartości niklu. Sposób według wynalazku uzyskanie największej korzyści dla stali zawierających 4,0–10,0% wagowych niklu.

Stal powinna zawierać mangan w ilości wystarczającej dla zapobieżenia kruchości na gorąco. Chociaż w tym układzie stopowym nie okazuje się to krytycznym, można zwiększyć w razie potrzeby ilość manganu do 1,5% wagowych dla zwiększenia hartowności w grubych płytach. Odnosnie do dalszych składników stopu ze względu na hartowność i wytrzymałość można nieobowiązuco dodać molibdenu w ilości nie większej niż 0,5%, najlepiej nie mniej niż 0,10%. Zawartość węgla utrzymuje się poniżej 0,10% dla uzyskania optymalnych własności spawalniczych i niskotemperaturowej odporności na obciążenia dynamiczne. Gdy główny nacisk kładzie się na względy wytrzymałościowe zawartość węgla powinna wynosić nie więcej niż 0,25% wagowych.

Dla wytworzenia struktury droбноziarnistej zwykle jest dodawany aluminium w ilości 0,04–0,12% wagowych. Aluminium można zastąpić wanadem lub innymi składnikami powodującymi rozdrobnienie ziarna.

Sposób według wynalazku jest bliżej objaśniony na podstawie następujących przykładów.

P r z y k ł a d I. Stal niklową o następującym składzie wagowym:

nikiel	5,10%
węgiel	0,065%
mangan	0,48%
fosfor	0,008%
siarka	0,008%
krzem	0,35%
miedź	0,16%
chrom	0,14%
molibden	0,25%
azot	0,015%
aluminium	0,081%
żelazo	reszta

poddaje się: w ciągu jednej godziny astenityzacji w temperaturze 885°C i oziębia wodą; temperyzacji w ciągu jednej godziny w temperaturze 740°C i oziębia wodą; wyżarzaniu rewersyjnemu w ciągu jednej godziny w temperaturze 650°C i oziębia wodą, wreszcie odpuszcza się w temperaturze 595°C i oziębia wodą.

Po obróbce osiąga się następujące wyniki:

granica plastyczności	53 kg/mm ²
wytrzymałość na rozciąganie	73 kg/mm ²
przewężenie	75%
wydłużenie na długość 50,8 mm	34%
udar (pełna wielkość Cv)	
w temperaturze –170°C	15 kgm/cm ²
w temperaturze –196°C	10,5 kgm/cm ²

Dla oceny znaczenia tych wyników tę samą stal poddano obróbce w sposób konwencjonalny oraz za pomocą korzystnego wariantu sposobu według wynalazku i poddano badaniom w tych samych warunkach. Opis następujących po sobie etapów procesu obróbki i temperatury podano wraz z wynikami w tabeli I.

Tabela I

Próbka	Austenizacja	Temperyzacja	Wyżarzanie rewersyjne	Odpuszczanie	Udarność*
A	885°C 1 godz., oziębienie wodą	—	—	—	2,5
B	885°C 1 godz., oziębienie wodą	—	—	595°C 1 godz., oziębienie powie- trzem lub wodą	2,5–3,75
C	885°C 1 godz., oziębienie wodą	740°C 1 godz., oziębienie wodą	—	—	6,0–6,75
D	885°C 1 godz., oziębienie wodą	740°C 1 godz., oziębienie wodą	—	595°C 1 godz., oziębienie powie- trzem lub wodą	9,0–10,0
E	885°C 1 godz., oziębienie wodą	740°C 1 godz., oziębienie wodą	650°C 1 godz., oziębienie powie- trzem lub wodą	—	11,25–12,0
F	885°C 1 godz., oziębienie wodą	740°C 1 godz., oziębienie wodą	650°C 1 godz., oziębienie powie- trzem lub wodą	595°C 1 godz., oziębienie powie- trzem lub wodą	13,75–15,0

*) Energia zaabsorbowana w próbie udarnościowej Charpy'ego z karbem w kształcie V, w Kgm/cm², zmierzona w temperaturze – 170°C.

W powyższej tabeli zestawiono próbki C–F, (które poddano obróbce sposobem według wynalazku), w porównaniu z próbką B poddaną konwencjonalnej obróbce cieplnej. Podczas gdy dla większości zastosowań dla stali o większej zawartości niklu czyni zadość wymaganiom trzyetapowy proces jak przedstawiono dla próbek D, E, pozostałe etapy są również przydatne.

Na przykład z materiału takiego samego jak próbki C można wytworzyć złącza spawane. Po spawaniu producent może poddać produkt odprężeniu, albo w temperaturze wyżarzania rewersyjnego lub w temperaturze odpuszczania dla dalszego zwiększenia odporności na obciążenia dynamiczne. Jakkolwiek, jak już poprzednio wykazano, można zwiększyć zawartość węgla w stali do 0,25% wagowych, gdy podstawowym warunkiem są względy wytrzymałościowe a spawalność celem drugorzędym.

Należy tutaj przyjąć, że temperatury charakterystyczne stosowane w kilku przykładach są słuszne tylko w odniesieniu poszczególniej stali poddawanej obróbce. Dla stali niklowych o nominalnej zawartości 5% niklu temperatury krytyczne A_{C1} i A_{C3} wynoszą odpowiednio około 635°C i 800°C. Dla wygody i bez potrzeby ograniczenia ścisłą definicją, temperaturę A_{C1} określa się jako temperaturę, w której po nagrzewaniu zaczyna się tworzyć austenit. Temperatura A_{C3} oznacza temperaturę, w której przemiana jest zakończona. Ponieważ przemiana fazowa rozpoczyna się lub kończy po przekroczeniu tych temperatur, temperatury charakterystyczne, w których następuje ta przemiana są częściowo uzależnione od fazy pierwotnej lub stanu stali. Tak więc wśród kilku czynników, których stopień wpływu nie jest całkowicie znaczny, mikrostruktura i skład chemiczny stali są głównymi czynnikami powstania dokładnej temperatury krytycznej lub zakresu odpowiednich temperatur krytycznych. Łatwo można oznaczyć temperatury za pomocą cykli nagrzewania i chłodzenia, podanych w opisie. Ujmując ogólnie, odpowiednie temperatury krytyczne ulegają obniżaniu ze wzrostem zawartości niklu.

Powracając do dalszej oceny wyników przedstawionych w tabeli I i bez potrzeby ograniczania się jakkolwiek teorią związaną ze względami metalurgicznymi dla zwiększenia odporności na obciążenia dynamiczne, po badaniach metalograficznych nasuwają się następujące spostrzeżenia:

Austenitizacja i szybkie chłodzenie dają w wyniku drobnoziarnistą strukturę martenzytyczną z nieregularnym rozmieszczeniem drobnych ziaren węglików. Martenzyt ten był masywny i nie dawał widocznych efektów wypukłości. Po próbie udarnościowej przeprowadzonej w temperaturze -170°C oziębiona struktura miała kruchy przełom środkrystaliczny.

Temperyzacja obejmuje ponowne nagrzewanie struktury martenzytycznej do pewnej temperatury poniżej temperatury krytycznej A_{C3} . Po nagraniu powyżej temperatury krytycznej A_{C1} , część martenzytu przemienia się w austenit a pozostały martenzyt ulega odpuszczeniu do ferrytu i węglika.

Następująca po tej obróbce szybkość oziębiania musi być taką, że zasadniczo cały nowopowstały austenit przemieni się w martenzyt, a wynikła mikrostruktura jest o wzorze płytkowym z występującymi kolejno na przemian ziarnami ferrytu i martenzytu. Są też obecne małe ilości austenitu. Jakkolwiek, współzależność zachowanej zawartości austenitu i własności udarnościowych wykazują, że nie ma bezpośredniego wpływu ta ilość austenitu na uzyskanie polepszonej odporności na obciążenia dynamiczne. Przypuszczano raczej, że ciągliwość jest związana z mikrostrukturą i/lub składem fazowym oraz, że tworzenie austenitu, jego skład i pozostałość odgrywa drugorzędną rolę w tej złożonej reakcji.

Martenzyt wytworzony za pomocą temperyzacji miał budowę masywną z wyraźnie zaznaczonymi wypukłościami i powstał z oziębiania austenitu, który wyrósł z obszarów granicznych ziarna macierzystego dla wytworzenia wzoru płytkowego.

Elektronowy mikroskop w promieniach przepuszczonych wykazuje, że temperyzowany martenzyt znacznie różni się od oziębionego martenzytu. Obserwowane igiełki temperyzowanego martenzytu nie są tak cienkie i równoosiowe jak w strukturze oziębionej, w której są szersze i mają bardziej blokowy kształt.

Dyslokacje w temperyzowanym martenzycie są wyraźniej przedstawione niż w zawartym, nierozszczepionym wnętrzu oziębionego martenzytu. Zauważono pojawienie się podłoża, które mogłoby wpłynąć na tworzenie nowych ziaren ferrytu podczas wyżarzania rewersyjnego. Obecność tego podłoża wraz z niewystąpieniem wewnętrznego bliźniakowania przyczynia się do zwiększenia odporności na obciążenia dynamiczne temperyzowanego martenzytu.

Badania przełomów przy pomocy mikroskopu elektronowego wykazują, że pomiary udarności temperyzowanego martenzytu w temperaturze -170°C dają w wyniku przełom plastyczny, środkrystaliczny i plastyczny, przy czym rodzaj przełomu był kierowany koagulacją mikroporów.

Temperyzacja w temperaturze poniżej zakresu optymalnego daje w wyniku niepełną przemianę do mikrostruktury temperyzowanej. Temperyzacja w temperaturze powyżej zakresu optymalnego daje w wyniku strukturę charakterystyczną dla dwukrotnej obróbki austenitizacji i oziębiania.

Wyżarzanie rewersyjne uwydatnia niskotemperaturową odporność na obciążenia dynamiczne umożliwiając wysokotemperaturowe odpuszczanie temperyzowanego martenzytu oraz zwiększa ilość pozostałego austenitu. Wysokotemperaturowe odpuszczanie daje w wyniku powrót do normalnego stanu naprężeń powstałych podczas przemiany temperyzowanego martenzytu i strącania węglików. Zwiększona ilość pozostałego austenitu (8–12%) polepsza ciągliwość przez dalsze wyczerpanie z podłoża takich pierwiastków jak węgiel i azot i za pomocą rozdzielania w całej mikrostrukturze ze zwiększoną ilością fazy regularnej, płaskocentrycznej, która ma dużą odporność na przełom kruchy.

Wyżarzanie rewersyjne wytwarza układ rozdrobnionych ziaren ferrytu, na którego utworzenie miała wpływ komórkowa konfiguracja temperyzowanego podłoża.

Przemieszczania były wyraźnie nakreślone i w wielu obszarach zauważono jednorodną orientację. Badanie udarności w temperaturze -170°C mikrostruktury wyżarzanej rewersyjnie daje w wyniku przełom ciągliwy, środkrystaliczny i plastyczny. Rozprzestrzenianie się pęknięć przez to podłoże było regulowane przed pęknięciem za pomocą wzrostu i koagulacji mikroporów. Cząstki strącone podczas wyżarzania rewersyjnego działały jako produkty powstawania zarodków krystalizacji dla odkształcenia plastycznego.

Wyżarzanie rewersyjne w temperaturze poniżej zakresu optymalnego nie pozwala na tworzenie zwiększonych ilości zachowanego austenitu. Nie mniej jednak uzyskana w tych warunkach odporność na obciążenia dynamiczne jest jeszcze całkiem wystarczająca dla wielu zastosowań. Wyżarzanie rewersyjne powyżej zakresu optymalnego zmniejsza stabilność austenitu i umożliwia wytworzenie, po następnym chłodzeniu, nowego, nieodpuszczonego martenzytu. To samo odnosi się dla zwiększenia czasu trwania wyżarzania rewersyjnego w optymalnym zakresie temperatury.

Odpuszczanie po wyżarzaniu rewersyjnym nie powoduje całkowitych zmian mikrostruktury i nie wpływa na zawartość zachowanego austenitu. Sądzi się, że zwiększenie odporności na obciążenia dynamiczne są wynikiem dalszego zmniejszenia naprężeń pochodzących z przemiany i koagulacji dyspersji.

W przypadku stali zawierającej nominalnie 5% niklu austenitizację można prowadzić w temperaturze $815\text{--}988^{\circ}\text{C}$. Zakres temperatury temperyzacji powinien wynosić górne dwie trzecie przedziału temperatur krytycznych $A_{C3}\text{--}A_{C1}$, korzystnie od 75°C poniżej A_{C3} do A_{C3} . Uogólniając – optymalna temperatura temperyzacji wzrasta w obszarze temperatur $A_{C1}\text{--}A_{C3}$ wraz ze wzrostem zawartości niklu w zakresie 4,0–10,0% wagowych.

P r z y k ł a d II. Dla oceny przydatności sposobu według wynalazku do stali o jeszcze wyższej zawartości niklu, przygotowuje się dwa wsady o nominalnej zawartości 9% niklu, przy czym jeden wsad jest modyfikowany molibdenem.

Wyniki analiz tych stali w stosunku wagowym są następujące:

	wsad A	wsad B
nikiel	8,95%	9,34%
węgiel	0,07%	0,092%
mangan	0,68%	0,23%
krzem	0,29%	0,10%
molibden	—	0,19%
żelazo	reszta	reszta

Każdy wsad poddaje się trzyetapowej obróbce cieplnej, która kolejno obejmuje: austenityzację, temperyzację i wyżarzanie rewersyjne. W każdym przypadku zauważa się znaczne polepszenia własności w stosunku do sposobów znormalizowanych i ich odmian. Wynika to z następującej tabeli II.

T a b e l a II

Próbka	Austenizacja	Temperyzacja	Wyżarzanie rewersyjne	Odpuszczanie	Udarność*
A1	800°C	—	—	580°C 1 godz., oziębienie wodą	6,5
A2	800°C 1 godz., oziębienie wodą	700°C 1 godz., oziębienie wodą	—	—	3,2
A3	800°C 1 godz., oziębienie wodą	700°C 1 godz., oziębienie wodą	—	580°C 1 godz., oziębienie wodą	10,3
A4	800°C 1 godz., oziębienie wodą	700°C 1 godz., oziębienie wodą	610°C 1 godz., oziębienie wodą	—	11,2

*) Energia zaabsorbowana podczas próby udarnościowej Charpy'ego z karbem V, w Kgm/cm², w temperaturze — 196°C.

Zauważa się, że w każdym przypadku stosowania sposobu według wynalazku do obróbki cieplnej tych stali, uzyskuje się w wyniku wzrost odporności na obciążenia dynamiczne. W odniesieniu do zastosowań konstrukcyjnych, oznacza to, że konstrukcja będzie mieć zwiększoną odporność udarnościową w ciężkich warunkach temperaturowych, lub też można osiągnąć niższe temperatury bez obawy przed przełomem kruchym.

Analizując dalej powyższe wyniki można stwierdzić, że nawet w przypadku obróbki znormalizowanej uzyskuje się polepszenie odporności na obciążenia dynamiczne spowodowane dodatkiem molibdenu. Znaczny wzrost tej odporności można już dostrzec przy dodatku molibdenu w ilości 9,10%. Dlatego też, w korzystnej odmianie sposobu rozważa się ilość molibdenu w zakresie 0,10—0,50%.

Wyniki przedstawione w tabelach I i II wskazują na zmianę własności przy zachowaniu kolejności etapów procesu obejmujących austenityzację, temperyzację, wyżarzanie rewersyjne i/lub odpuszczanie. Wynalazek przewiduje obróbkę obejmującą etap austenizacji, z następującą potem temperyzacją oraz co najmniej jeden dodatkowy etap nagrzewania.

Ten dodatkowy etap nagrzewania może stanowić wyżarzanie rewersyjne, takie jak stosowano dla stali o większej zawartości niklu lub obróbka odpuszczająca nadająca się dla wszystkich stali niklowych niniejszego wynalazku.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób obróbki cieplnej stali zawierającej, oprócz żelaza i występujących w niej zanieczyszczeń, 4—10% części wagowych niklu, do 1,5% wagowych manganu, do 0,25% wagowych węgla, od 0,10% do 0,50% wagowych molibdenu i od 0,04% wagowych do 0,12% wagowych aluminium dla zwiększenia odporności stali na działanie bardzo niskich temperatur, z n a m i e n n y t y m, że najpierw nagrzewa się stal powyżej temperatury A_{C3}

a następnie chłodzi się z szybkością odpowiednią dla utworzenia struktury martenzytycznej, z kolei nagrzewa się do temperatury pomiędzy temperaturą przemiany A_{C3} a temperaturą A_{C1} i chłodzi się z szybkością odpowiednią dla całkowitej przemiany austenitu w strukturę martenzytyczną, po czym wyżarza się w temperaturze nieco powyżej temperatury przemiany A_{C1} lecz poniżej temperatury hartowania niepełnego i odpuszcza się nagrzewając do temperatury poniżej temperatury przemiany A_{C1} .

2. Sposób według zastrz. 1, z n a m i e n n y t y m, że w hartowaniu niepełnym stal nagrzewa się do temperatury odpowiadającej dwóm trzecim strefy temperatur, leżącej pomiędzy temperaturami przemian A_{C3} i A_{C1} .

3. Sposób według zastrz. 1 albo 2, z n a m i e n n y t y m, że w hartowaniu niepełnym stal nagrzewa się do temperatury odpowiadającej około połowie strefy leżącej pomiędzy temperaturami przemian A_{C3} i A_{C1} .

4. Sposób według zastrz. 1 albo 2, z n a m i e n n y t y m, że w wyżarzaniu niepełnym stal nagrzewa się do temperatury znajdującej się pomiędzy temperaturą przemiany A_{C1} , a temperaturą odpowiadającą jednej trzeciej pola temperatur, leżącego pomiędzy temperaturami A_{C1} i A_{C3} .

5. Sposób według zastrz. 1 albo 2, z n a m i e n n y t y m, że w wyżarzaniu niepełnym stal nagrzewa się do temperatury znajdującej się pomiędzy temperaturą przemiany A_{C1} , a temperaturą o 35 stopni Celsjusza wyższą od temperatury A_{C1} .

6. Sposób według zastrz. 1 albo 2, z n a m i e n n y t y m, że przy odpuszczaniu stal nagrzewa się do temperatury znajdującej się pomiędzy temperaturą przemiany A_{C1} , a temperaturą o 50 stopni Celsjusza niższą od temperatury A_{C1} .

7. Sposób według zastrz. 1, z n a m i e n n y t y m, że stosuje się stal zawierającą co najmniej wagowo 0,10 procent molibdenu.

