



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

211218

(11) (B1)

(51) Int. Cl.³

C 22 C 38/40

(22) Přihlášeno 20 11 79
(21) (PV 7971-79)

(40) Zveřejněno 30 06 81

(45) Vydáno 15 06 84

(75)
Autor vynálezu

AZBUKIN VLADIMIR GEORGIJEVIČ, BALANDIN JURIJ FJODORovič, GORYNIN IGOR VASILJEVIČ, GLUSKIN LEV JAKOVLEVIČ, ZVEZDIN JURIJ IVANovič, IGNATENKO ALEXANDR GRIGORJEVIČ, KRASNOV ALEXANDR NIKOLAJEVIČ, LENINGRAD, MELECHOV ROSTISLAV KUZMIČ, LVOV, OSIPOVA INNA SERGEJEVNA, PAVLOV VALERIJ NIKOLAJEVIČ, CHOCHLOV ALEXANDR ALEXANDROVIČ, STĚPANOV IVAN ALEXEJEVIČ, ANFIMOV ALEXANDR FJODORovič, ARDĚTOV VASILIJ VASILJEVIČ, BURMAKIN VIKTOR MICHAJLOVIČ, IGNA TOV VIKTOR ALEXANDROVIČ, ROCHLIN EDUARD ARONOVIČ, ŽITKOV VLADIMIR VASILJEVIČ, LENINGRAD (SSSR)

(54) Korozivzdorná svařitelná ocel martenzitického typu a způsob její výroby

1

Vynález se týká korozivzdorné svařitelné oceli martenzitického typu, obsahující uhlík, chrom, nikl, křemík, mangan, fosfor, síru a měď, jakož i na způsobu její výroby.

V současné době je známa a velmi rozšířena korozivzdorná martenzitická ocel o hmotnostním složení 0,20 % uhlíku, 1,00 % manganu, 1,00 % křemíku, 0,040 % fosforu, 0,030 % síry, 15 až 17 % chromu, 1,25 až 2,50 % niklu, přičemž zbytek tvoří železo. Tato ocel je poměrně levná. Po zakalení z teploty 1 050 °C a po popuštění na teplotu 315 °C má pevnost v tahu 1 373 MPa a 0,2% mez kluzu 961 MPa. Je vhodná pro výrobu takových dílů, jako jsou menší hřídele, ozubená kola, tyče apod.

Její struktura je však velmi nestabilní. V závislosti na kolísání chemického složení může obsahovat až 40 % beta-feritu. Tím se zhoršuje tvárnost oceli při kování, plastičnost a vrubová houževnatost v příčném směru, zvyšuje se anizotropie mechanických vlastností.

V dílech, zhotovených z této oceli a namáhaných mechanicky v agresivních prostředcích, například v horkých koncentrovaných roztocích chloridu, vznikají početné trhliny, způsobené korozií.

Rovněž je známa korozivzdorná austenitická ocel o hmotnostním složení: 0,08 % uhlíku, 2,00 % manganu, 1,00 % křemíku, 0,045 % fosforu, 0,030 % síry, 17,0 až 19,0 % chromu, 9,0 % až 12,0 % niklu, přičemž zbytek tvoří železo.

Tato ocel je dostatečně plastická a tvárná. V austenitickém stavu, jehož teplotní hranice činí 1 050 °C, mají kované díly a tyče tyto mechanické vlastnosti: pevnost v tahu 520 MPa, 0,2% mez kluzu 206 MPa, poměrné protažení 40 % a poměrné zúžení 50 %.

Tato ocel je však velmi drahá, zejména pro vysoký obsah niklu. Tato ocel má poměrně nízkou mez pevnosti a zejména při vyšší koncentraci chloridů trpí vznikem trhlin, způsobených korozií.

Dále je známa korozivzdorná austenitická ocel s vysokým obsahem niklu o hmotnostním složení: 0,10 % uhlíku, 1,50 % manganu, 1,00 % křemíku, 19,0 až 23,0 % chromu, 30,0 až 35,0 % niklu, 0,15 až 0,60 % titanu, přičemž zbytek je železo.

Tato ocel dobře odolává vzniku trhlin korozií i v koncentrovaných roztocích chloridů, jako například 42% chlorid hořečnatý $MgCl_2$ s teplotou vatu 154 °C, nebo roztok chloridu sodného NaCl s teplotou varu při 100 °C.

Mechanické vlastnosti této oceli jsou téměř rovnocenné vlastnostem korozivzdorné austenitické oceli dříve uvedené, avšak je poněkud méně plastická. Trubky, vyrobené z této oceli, mají v austenitickém stavu pevnost 481 MPa, 0,1% mez kluzu 206 MPa a poměrné protažení 30 %. Tato ocel je však ještě dražší a pro vysoký obsah niklu jí lze tvářet jen obtížně.

Známa je korozivzdorná feritová ocel o hmotnostním složení: 0,08 % uhlíku, 1,00 % manganu, 1,00 % křemíku, 0,040 % fosforu, 0,030 % síry, 11,5 až 14,5 % chromu, přičemž zbytek je železo. Tato ocel je levnější než korozivzdorná austenitická ocel, je však citlivá na přehřátí a za tepla křehne, což je pro výrobu nevýhodné.

Důležitou vlastností ocelí je svařitelnost. Austenitické oceli jsou dobře svařitelné. Oceli s vysokým obsahem niklu jsou těžko svařitelné, protože v okolí svaru vznikají trhliny. Feritové oceli jsou citlivé na přehřátí. V oblasti svaru hrubne zrna, takže vrubová houževnatost v oblasti svaru je nižší než v základním materiálu.

Při svařování martenzitických ocelí bývá nutno svařované díly předeřhřívát na popouštěcí teplotu, to na 200 až 300 °C, aby ve svaru nevznikaly trhliny zakalením. Tím se ovšem svařování komplikuje a prodražuje.

V poslední době byla vyvinuta skupina velmi pevných korozivzdorných ocelí s regulovatelnou přeměnou popouštěného martenzitu na austenit. Tyto ocele výhodně spojují vysokou pevnost martenzitických ocelí s plastičností a houževnatostí austenitických ocelí.

Jedna z těchto ocelí, popsána v časopise "Transactaion ASM" 62 č. 4, 1969, str. 902 až 914 má hmotnostní složení: 0,010 % uhlíku, 0,40 až 0,90 % manganu, 0,20 až 0,80 % křemíku, 11,5 až 13,5 % chromu, 5,0 až 6,5 % niklu, 1,2 až 2,0 % molybdénu, zbytek železo. U výkovků má tyto mechanické vlastnosti: pevnost v tahu 834 MPa, 0,2% mez kluzu 618 MPa, poměrné protažení 15 až 18 %, měrné zužžení 50 %, destrukční práce podle Sharpa 108 Nm.

Těchto vlastností se v podstatě dosahuje způsobem výroby, zejména pak způsobem jejího tepelného zpracování.

Ocel se roztaví, odleje do formy, nechá ztuhnout a odlitek se ochladí. Pak se odlitek, případně výkovek tepelně zpracovává. Ohřeje se a zakalí se v oleji, nebo na vzduchu, načež se popustí na vysokou teplotu, čímž se příznivě ovlivní vytvoření austenitu v množství až 30 %.

Oblast použití této oceli je však omezena pro nedostatečnou stabilitu austenitu i při poměrně nízkém zahřátí. Při trvalém zahřívání na teplotu od 300 do 350 °C se austenit ve struktuře rozkládá a při ochlazení výrobku na teplotu místnosti se přemění na nepopouštěný martenzit. To způsobuje snížení vrubové houževnatosti, jakož i vznik trhlin působením koroze.

Ocel se popouští na teplotu v rozmezí 590 až 600 °C, aby se vytvořilo maximální množství austenitu, což však nezaručuje dokonalé odstranění vnitřních prnutí po zakalení. Proto při výrobě rozměrných a složitých polotovarů je nebezpečí vzniku trhlin působením vnitřního prnutí.

Úkolem vynálezu je vytvořit korozivzdornou svařitelnou ocel martenzitického typu a způsob její výroby, jež by měla vysoké mechanické hodnoty, byla dobře svařitelná, pevnost svaru byla rovna pevnosti základního kovu, dobrou plastičností a velkou odolností proti vzniku trhlin, způsobovaných mezikrystalickou korozi ve vodných roztocích chloridů za vysokých teplot.

Úloha je řešena vytvořením korozivzdorné svařitelné oceli martenzitického typu, obsahující uhlík, chrom, nikl, křemík, mangan, fosfor, síru a měď, jež se od známých ocelí podle vynálezu odlišuje tím, že obsahuje v hmotnostním složení nejméně jeden prvek z první skupiny prvků a to 0,25 až 0,40 % niobu a 0,05 % až 0,20 % zirkonu, jakož i nejméně jeden prvek z druhé skupiny prvků a to 0,05 až 0,20 % yttria, 0,05 až 0,15 % ceru, 0,05 až 0,15 % lanthanu, přičemž obsah ostatních složek v hmotnostním složení činí 0,06 až 0,10 % uhlíku, 15,1 až 16,5 % chromu, 3,5 až 4,45 % niklu, 0,10 až 0,60 % křemíku, 0,20 až 0,50 % manganu, stopy až 0,025 % fosforu, stopy až 0,02 % síry a stopy až 0,20 % mědi, zbytek železo a nevyhnutelné příměsi.

Tato ocel má dobré mechanické vlastnosti nejen při atmosférické teplotě, ale i při teplotách vyšších, například 350 °C, a to i při jejich dlouhodobém působení, přičemž je dobře svařitelná.

Pro běžné použití není u této oceli omezen obsah nevyhnutelných příměsí barevných kovů, jako cínu, antimonu, arzenu a podobně. Pro použití oceli v podmínkách neutronového záření je obsah těchto příměsí omezen na 0,01 % pro každý prvek. Podle vynálezu je vhodné za těchto podmínek zúžit hranice rozsahu některých legujících prvků, takže ocel má hmotnostní složení: 0,06 až 0,10 % uhlíku, 15,1 až 16,5 % chromu, 3,5 až 4,45 % niklu, 0,05 až 0,20 % křemíku, 0,10 až 0,5 % manganu, 0,25 až 0,45 % niobu, 0,05 až 0,10 % yttria, 0,05 až 0,015 % lanthanu, stopy až 0,02 % fosforu, stopy až 0,015 % síry, stopy až 0,1 % mědi, zbytek železo.

Pro dosažení mimořádně vysoké odolnosti proti mezikrystalické korozi je podle vynálezu účelné volit poměr niobu k uhlíku 4:1. Tato ocel odolává mezikrystalické korozi i za vysokých teplot.

Pokud je pro některé účely vhodné použít ocel s nízkým obsahem uhlíku a vyšším obsahem křemíku, je účelné podle vynálezu upravit celkové hmotnostní složení oceli takto: 0,06 až 0,07 % uhlíku, 15,1 až 16,5 % chromu, 3,5 až 4,45 % niklu, 0,3 až 0,6 % křemíku, 0,20 až 0,50 % manganu, 0,25 až 0,40 % niobu, 0,05 až 0,20 % zirkonu, 0,05 až 0,20 % yttria, 0,05 až 0,15 % ceru, stopy až 0,025 % fosforu, stopy až 0,02 % síry, stopy až 0,2 % mědi, zbytek železo. Tato ocel je například vhodná k výrobě svařovacího drátu.

Korozivzdorná svařitelná ocel martenzitického typu podle vynálezu se vyrábí způsobem, při němž se ocel nejprve taví, pak odlévá do formy, nechá se ztuhnout, načež se odlitek chladí, jež se od známých způsobů podle vynálezu liší tím, že odlitek se chladí nejméně ve dvou fázích, přičemž v první fázi se odlitek ochlazuje až na teplotu, jež je v rozmezí mezi začátkem a koncem martenzitické přeměny, nikoliv však na teplotu, jež je nižší, než 100 °C, načež se zahřívá na popouštěcí teplotu v rozmezí 600 až 650 °C a v další fázi se odlitek znovu ochlazuje na teplotu martenzitické přeměny avšak vždy nejméně o 50 °C níže, než v předchozí fázi, až se tímto postupným ochlazením sníží teplota odlitku pod teplotu úplné martenzitické přeměny, načež se odlitek definitivně popustí na teplotu 600 až 650 °C a ochladí na teplotu okolního prostředí.

Tímto způsobem se dosáhne postupně regulované přeměny austenitu v martenzit, takže zbytkové pnutí je menší, než u známých způsobů.

Korozivzdorná svařitelná ocel martenzitického typu podle vynálezu, vyrobená způsobem podle vynálezu, má četné výhody. Má vyšší pevnost a vyšší mez kluzu, než oceli známé, přesto, že je popouštěna na vyšší teplotu. Proto má i podstatně vyšší vrubovou houževnatost. Lepší mechanické vlastnosti má nejen při obvyklých teplotách, ale i při ohřátí na 350 °C. Ohřev na tuto teplotu po dobu několika tisících hodin nijak nesnižuje její pevnost, pouze poněkud klesá její vrubová houževnatost. V rámci daných rozmezí hmotnostního složení je možno vyrábět oceli s různým speciálním určením, jako oceli vystavené působení neutronového záření, silně agresivního prostředí, oceli pro výrobu svařovacího drátu, jehož užití umožňuje, aby mechanické vlastnosti svaru byly rovnocenné vlastnostem materiálu základního.

Vynález je v dalším objasněn podrobným popisem s přihlédnutím k příloženým výkresům, kde na obr. 1 jsou znázorněny histogramy mechanických vlastností korozivzdorné svařitelné oceli martenzitického typu podle vynálezu, vynesené na základě výsledků zkoušek 132 výkovek, vyrobených z ingotů o hmotnosti 2,8 t. Na svislé ose je vynesena četnost v %, na vodorovné pak hodnoty jednotlivých vlastností a to na obr. 1a pevnost v tahu v MPa, na obr. 1b 0,2% mez kluzu v MPa, na obr. 1c poměrné prodloužení v %, na obr. 1d poměrné zúžení v % a na obr. 1e vrubová houževnatost v Nm/cm² při půlkruhovém vrubu.

Na obr. 2 jsou znázorněny histogramy mechanických vlastností korozivzdorné svařitelné oceli martenzitického typu, vynesené na základě výsledků zkoušek čtrnácti výkovek, vyrobených z ingotů o hmotnosti 12,0 až 13,7 t.

Na svislé ose je vynesena četnost v %, na vodorovné ose pak hodnoty jednotlivých vlastností a to na obr. 2a pevnost v tahu v MPa, na obr. 2b 0,2% mez kluzu v MPa, na obr. 2c poměrné prodloužení v %, na obr. 2d poměrné zúžení v %, na obr. 2e vrubová houževnatost v Nm/cm² při půlkruhovém vrubu, a na obr. 2f vrubová houževnatost v Nm/cm² při ostrém vrubu.

Na obr. 3 je znázorněn diagram vlivu popouštěcí teploty a poměru niobu k uhlíku na citlivost korozivzdorné svařitelné oceli martenzitického typu podle vynálezu na mezikrystalickou korozi, přičemž na vodorovné ose je vynesena popouštěcí teplota, na levé svislé ose poměr obsahu niobu k obsahu uhlíku a na pravé svislé ose obsah uhlíku v %.

Na obr. 4 jsou znázorněny diagramy životnosti vzorků v závislosti na popouštěcí teplotě a na různých prostředcích. Na obr. 4a jsou znázorněny údaje pro oceli, jež nejsou podle vynálezu a u nichž se poměr niobu k uhlíku pohybuje v rozmezí od 0,83 do 1,75 %. Na obr. 4b jsou znázorněny údaje pro ocel podle vynálezu s poměrem niobu k uhlíku 4:1. Na svislé ose je vynesena doba zkoušky, případně doba životnosti vzorku, na vodorovné ose pak popouštěcí teplota. Druh agresivního prostředí je vyznačen značkami, kde značka ●, ○ značí destilát s příměsí chloridu sodného při teplotách 200 až 350 °C, značka ▲, △ značí půlprocentní roztok chloridu sodného při teplotě 100 °C a značka ■, □ značí desetiprocentní roztok chloridu sodného vroucí při teplotě 200 °C.

Vzorky, které nebyly při zkouškách zničeny, jsou označeny šipkami. Na obr. 5 je znázorněno množství sustenitu v %, vynesené na svislé ose. Stoupající křivka znázorňuje toto množství v závislosti na teplotě ohřevu, křivka s maximem v závislosti na popouštěcí teplotě. Teplota je vynesena na vodorovné ose.

Nejběžnější používaná korozivzdorná svařitelná ocel martenzitického typu podle vynálezu má toto hmotnostní složení: 0,06 až 0,10 % uhlíku, 15,1 až 16,5 % chromu, 3,5 až 4,45 % niklu, 0,1 až 0,6 % křemíku, 0,2 až 0,5 % manganu, 0,25 až 0,40 % niobu, 0,05 až 0,2 % yttria, stopy až 0,025 % fosforu, stopy až 0,02 % síry, stopy až 0,2 % mědi, zbytek železo.

Ačkoliv v oceli mohou být ytrium, cér a lanthan, které zvyšují zpracovatelnost kovu při tváření za tepla, být přítomny současně, je účelné omezit se pouze na jeden z nich. V daném případě bylo zvoleno jako přísada ytrium.

Pro zvýšení odolnosti oceli proti mezikrystalické korozi je možno přidávat niob i zirkon současně. I v tomto případě je však účelné omezit se pouze na jedinou přísadu, přičemž byl zvolen niob.

Ocel, vhodná pro použití v podmínkách neutronového záření, má hmotnostní složení: 0,06 až 0,10 % uhlíku, 15,1 až 16,5 % chromu, 0,10 až 0,20 % křemíku, 3,5 až 4,45 % niklu, 0,2 až 0,5 % manganu. Jako stabilizační prvek je přidán niob v množství 0,25 až 0,40 %.

Toto množství postačuje k zajištění stability materiálu vzhledem k mezikrystalické korozi po optimálním tepelném zpracování, jež spočívá v prudkém zakalení z teploty 1 050 °C a popuštění na teplotu 635 až 650 °C. Z prvků druhé skupiny, to je ytria, céru a lanthanu je účelné pro zvýšení zpracovatelnosti oceli tváření za tepla se omezit pouze na přísadu 0,05 až 0,10 % ytria a 0,05 až 0,15 % lanthanu, přičemž lanthan zvyšuje i odolnost oceli proti korozi za působení neutronového záření.

Aby se zvýšila odolnost oceli proti zkřehnutí ozářením neutrony, je snížen přípustný obsah fosforu, síry a barevných kovů. Ocel může obsahovat stopy až 0,02 % fosforu, stopy až 0,015 % síry, stopy až 0,015 % mědi. Cín, antimon a arsen smí ocel obsahovat stopy až 0,01 % pro každý prvek, zbytek tvoří železo.

Korozivzdorná svařitelná ocel martenzitického typu podle vynálezu s nejlepší odolností proti mezikrystalické korozi obsahuje ve svém hmotnostním složení 0,06 až 0,08 % uhlíku, 0,32 až 0,40 % niobu, takže množství niobu je více než čtyřnásobkem množství uhlíku. Tím je zaručena odolnost oceli proti mezikrystalické korozi nejen po optimálním tepelném zpracování, jež spočívá v zakalení z teploty 1 050 °C s následujícím popuštěním na 635 až 650 °C, ale i při pracovním tepelném zatížení 450 °C.

Obsah ostatních prvků v hmotnostním složení oceli je pro ocel podle vynálezu obvyklý a to: 15,1 až 16,5 % chromu, 3,5 až 4,45 % niklu, 0,1 až 0,6 % křemíku, 0,2 až 0,5 % manganu, fosforu stopy až 0,025 %, stopy až 0,2 % síry, stopy až 0,2 % mědi. Z druhé skupiny prvků, to je ytria, céru a lanthanu je vhodná zejména přísada 0,05 až 0,20 % ytria, zbytek tvoří železo.

Korozivzdorná svařitelná ocel martenzitického typu podle vynálezu se obvykle taví v obloukových pecích z čistých surovin.

Pro zvýšení plastičnosti při výrobě rozměrných polotovarů se v průběhu hutnického zpracování oceli přidává do lázně před odpichem nebo do pánve při odpichu nejméně jeden z lanthanidů, jako ytrium, lanthan nebo cér v hmotnostním množství od 0,05 do 0,15 %. Odpich taveniny se provádí jen do zastruskované pánve. Odlévání se provádí spodem do kokil pro ingoty o hmotnosti od 1 do 15 tun. Paprsek odlévaného kovu je chráněn argonem.

Odlitky z oceli podle vynálezu lze též vyrábět elektrostruskovým přetavováním. Ocel, vyrobená v obloukových pecích, se spodem odlije do plechových kokil na ingoty o hmotnosti 11 až 15 tun, které se vyválcují v brambové elektrody, jež se pak přetaví na ingoty o hmotnosti 4 až 13 tun. Přetavení se provádí v elektrické peci pod struskou. Přetavený kov je čistý, bez nekovových vměstků.

Ocel, odlitá do ingotů, nebo přetavená v krystalizátorech, se ochladí na teplotu 100 °C, načež se z kokily, případně krystalizátoru vyjme a v peci se popustí na 650 °C. Pak se ochladí na teplotu 20 až 30 °C, načež se znovu popustí na teplotu 635 °C.

Z korozivzdorné svařitelné oceli martenzitického typu podle vynálezu lze vyrábět zejména tyto polotovary: ingoty o kruhovém, čtvercovém, případně osmihranném průřezu o hmotnosti 1 až 15 tun, odlité do kokil z obloukové pece, ingoty čtvercového, případně obdélného průřezu o hmotnosti 4 až 13 tun, elektrostruskově přetavené v krystalizátoru, výkovky o hmotnosti až 15 tun, vykované z ingotů, tyče kruhového průřezu o průměru 30 až 180 mm, výkovky kruhového, případně obdélného průřezu v rozměrech od 180 do 400 mm, nebo bramy o tloušťce 200 mm, šířce 800 mm a délce 2 000 mm, svařovací drát o průměru 1,5 až 5,0 mm.

Korozivzdorná svařitelná ocel martenzitického typu se podle vynálezu tepelně zpracovává takto:

První ochlazení se provádí z teploty, dosažené na konci předcházejícího hutnického procesu, to je u ingotů z teploty po odlití, u výkovků z kovací teploty a u jiných výrobků z kalicí teploty. Toto první ochlazení se provádí až na teplotu, která leží mezi horní a dolní hranicí martenzitické přeměny, takže nastane jen částečná přeměna austenitu v martenzit. Nato se ohřeje na popouštěcí teplotu v rozmezí od 600 do 650 °C. Tento postup se několikrát opakuje, přičemž teplota ochlazení se postupně stále snižuje až na spodní teplotu přeměny austenitu v martenzit, případně o něco níže, čímž všechny austenit přemění v martenzit. Nato se provede konečné pouštění na teplotu 600 až 650 °C. Potřebný počet ohřevů a ochlazení vyplývá z hmotnosti ingotu, výkovku či jiného tepelně zpracovávaného dílu. Snižování ochlazovací teploty se volí tak, aby při každém ochlazení vzniklo přibližně stejné množství martenzitu.

U polotovarů, vyrobených z korozivzdorné svařitelné oceli martenzitického typu podle vynálezu, s hmotností nad 500 kg, postačí obvykle pouze dvojí popouštění. Ihned po svém zhotovení se polotovar ochladí na teplotu 100 °C, pak se popustí na teplotu 650 °C, načež se ochladí na teplotu 20 až 30 °C a znovu popustí na teplotu 635 °C.

V dalším jsou uvedeny příklady provedených zkoušek s výsledky, jež byly při nich dosaženy.

P ř í k l a d 1

V tabulce 1 je uvedeno chemické složení tří korozivzdorných svařitelných ocelí martenzitického typu, vyrobených způsobem podle vynálezu a jedné další, vyrobené jinak, jež mimo to obsahuje 1,2 až 2,0 % molybdenu. V ocelích podle vynálezu je molybden pouze stopovým prvkem.

V tabulce 2 je uvedeno porovnání mechanických vlastností těchto ocelí a to jak při teplotě 20 °C, tak i při teplotě 250 °C. Porovnávána je pevnost v tahu, 0,2% mez kluzu, poměrné protažení, poměrné zúžení, změřené na vzorcích o pětinasobné délce, jakož i vrubová houževnatost, stanovené na vzorcích o rozměrech 10x10 x 55 mm a to jednak s půlkruhovým vrubem o hloubce 2 mm při poloměru vrubu 1 mm, jednak s ostrým vrubem o úhlu 45° a poloměru vrubu 0,25 mm.

Mechanické vlastnosti ocelí podle vynálezu byly zjišťovány po tepelném zpracování, jež obsahovalo zakalení v oleji z teploty 1 050 °C a popouštění na 650 °C. Mechanické vlastnosti ocele, vyrobené jiným způsobem, byly měřeny po zakalení v oleji z teploty 990 °C a popouštění na 600 °C.

T a b u l k a 1

Tavba č.	hmotnostní složení v %											
	C	Cr	Ni	Mn	Si	Nb	Mo	Y	Cu	S	P	Fe
1	0,08	15,4	4,4	0,31	0,25	0,3	--	0,05	0,06	0,012	0,012	zbytek
2	0,08	16,2	3,9	0,35	0,45	0,37	--	0,10	0,08	0,008	0,012	zbytek
3	0,06	15,5	4,12	0,27	0,32	0,27	--	0,15	0,10	0,010	0,015	zbytek
4 ^{x)}	0,05	13,45	5,35	0,52	0,24	--	1,56	--	--	0,007	0,015	zbytek

x) ocel vyrobená jiným způsobem, než podle vynálezu

T a b u l k a 2

Tavba č.	mechanické vlastnosti									
	při 20 °C				při 350 °C					
	pevnost v tahu MPa	0,2% mez kluzu MPa	protážení %	zúžení %	vrubová houževnatost Nm/cm ²	pevnost v tahu MPa	0,2% mez kluzu MPa	protážení %	zúžení %	
				r=1 mm	r=0,25 mm					
1	971	804	19	66	167	127	814	745	12	63
2	1 010	814	18	65	167	137	824	755	12	64
3	951	775	18	64	147	108	755	706	13	61
4 ^{x)}	833	696	17	54	118	88	706	618	15	53

x) ocel vyrobená jiným způsobem, než podle vynálezu

Poznámka: Údaje uvedené v tabulce jsou střední hodnoty ze tří zkoušek vzorků.

Ocel podle vynálezu má přes vyšší popouštěcí teplotu větší pevnost v tahu, než ocel známá a to jak při obvyklé teplotě, tak i při teplotě 350 °C. Pevnost v tahu uvedených tří ocelí je v rozmezí od 951 do 1 010 MPa, 0,2% mez kluzu od 775 do 814 MPa ve srovnání s pevností v tahu 833 MPa a 0,2% mezí kluzu 696 u oceli známé. Ještě nápadnější je rozdíl u vrubové houževnatosti. Ostatní údaje jsou zřejmé z tabulky 2.

Ocel podle vynálezu se taví v elektrické obloukové peci, případně se elektrostruskově přetavuje. Ocel z ingotů se zpracovává na výkovky, bramy, případně tvarovou ocel. Polotovary z oceli podle vynálezu lze dále zpracovávat na lisech nebo ve válcovacích tratích. Z bram lze vyrábět plechy, plochou ocel o tloušťce až 40 mm, případně drát o průměru až 5 mm.

Vlastnosti korozivzdorné svařitelné oceli martenzitického typu podle vynálezu byly podrobeny statistickému zkoumání na vzorcích odebraných z výkovků, zhotovených v běžné výrobě. Chemické složení ocelí z jednotlivých taveb je uvedeno v tabulce 3. Výsledky zkoušek, provedených se 132 výkovky, zhotovenými z ingotů o hmotnosti 2,1 až 2,8 tun, jsou uvedeny na obr. 1,

T a b u l k a 3

Tavba č.	hmotnostní složení v %										
	C	Cr	Ni	Mn	Si	Nb	Y	Cu	S	P	Fe
5	0,09	16,14	4,4	0,37	0,25	0,30	0,07	0,06	0,005	0,007	zbytek
6	0,10	15,45	4,23	0,44	0,27	0,33	0,09	0,08	0,005	0,019	zbytek
7	0,09	15,65	4,03	0,37	0,28	0,25	0,08	0,10	0,013	0,013	zbytek
8	0,08	15,75	4,08	0,27	0,27	0,30	0,06	0,05	0,008	0,012	zbytek
9	0,08	15,82	4,16	0,43	0,24	0,37	0,10	0,08	0,009	0,010	zbytek
10	0,06	15,5	4,12	0,27	0,32	0,27	0,08	0,08	0,010	0,015	zbytek
11	0,09	15,74	4,04	0,33	0,30	0,28	0,13	0,08	0,014	0,010	zbytek
12	0,09	15,46	4,30	0,30	0,37	0,25	0,07	0,06	0,010	0,010	zbytek

Poznámka: Z jedné tavby se vyrobí 4 až 14 ingotů.

kde na obr. 1a je znázorněno statistické rozložení pevnosti v tahu, na obr. 1b rozložení 0,2% meze kluzu, na obr. 1c rozložení poměrného prodloužení, na obr. 1d rozložení poměrného zúžení, na obr. 1e rozložení vrubové houževnatosti, zjištěné na vzorcích s půlkruhovým vrubem.

Výsledky zkoušek, provedených se čtrnácti výkovky, vyrobenými z ingotů o hmotnosti 12,0 až 13,7 tun, jsou uvedeny na obr. 2, kde na obr. 2a je znázorněno statistické rozložení pevnosti v tahu, na obr. 2b rozložení 0,2% meze kluzu, na obr. 2c rozložení poměrného prodloužení, na obr. 2d rozložení poměrného zúžení, na obr. 2e rozložení vrubové houževnatosti, zjištěné na vzorcích s půlkruhovým vrubem a na obr. 2f rozložení vrubové houževnatosti, zjištěné na vzorcích s ostrým vrubem. Mechanické vlastnosti byly zjišťovány na podélných vzorcích po tepelném zpracování, jež obsahovalo zakalení v oleji z teploty 1 050 °C a popuštění na teplotu 635 až 650 °C.

U výkovků, zhotovených z ingotů o hmotnosti 12,0 až 13,7 tun, byly zjištěny tyto minimální hodnoty: pevnost v tahu 902 MPa, 0,2% mez kluzu 735 MPa, poměrné prodloužení 11 %, poměrné zúžení 51 %, vrubová houževnatost, zjištěná na vzorku s půlkruhovým vrubem 118 Nm/cm² a vrubová houževnatost, zjištěná na vzorcích s ostrým vrubem 69 Nm/cm².

Zkouškami bylo zjištěno, že korozivzdorná svařitelná ocel martenzitického typu podle vynálezu, vyrobená se zúženým rozmezím obsahu uhlíku, niobu a křemíku, jakož i s druhým prvkem první skupiny, to je zirkonem, nebo ostatními prvky druhé skupiny, to je lanthanem a cérem, má rovnocenné mechanické vlastnosti, jako oceli, uvedené v tomto příkladu.

P ř í k l a d 2

V tabulce 4 je uvedeno chemické složení tří korozivzdorných svařitelných ocelí martenzitického typu, jež se od ocelí uvedených v tabulkách 1 a 3 liší tím, že obsah křemíku je omezen v hmotnostním složení na nejvýše 0,20 %, dále obsahují 0,05 až 0,15 % lanthanu. Rovněž je omezen obsah neželezných kovů síry a fosforu a to nejvýše na 0,1 % mědi, 0,01 % cínu, antimonu a arzenu pro každý prvek, 0,015 % síry a 0,02 % fosforu.

V tabulce 5 jsou uvedeny hodnoty mechanických vlastností uvedených tří ocelí a to jednak ve výchozím stavu po zakalení v oleji z teploty 1 050 °C s následujícím popuštěním na 650 °C, jednak po ozáření neutrony o intenzitě $1,4 \times 10^{20}$ neutronů/cm² při teplotě v rozmezí od 270 do 350 °C.

Jsou to: pevnost v tahu, 0,2% mez kluzu, poměrné prodloužení, zjišťované na vzorcích pětinasobné délky, vrubová houževnatost, zjišťovaná na vzorcích o rozměrech 10 x 10 x 55 mm s ostrým vrubem o úhlu 45° a poloměrem vrubu 0,25 mm, kritická teplota zkřehnutí, její posun a faktor zkřehnutí ozářením.

T a b u l k a 4

Tavba č.	hmotnostní složení v %														
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Nb	Y	La	Cu	Sn	Sb	As	Fe
13	0,06	0,05	0,30	15,10	3,5	0,006	0,005	0,25	0,05	0,05	0,01	0,002	0,001	0,003	zbytek
14	0,08	0,12	0,43	16,05	4,03	0,010	0,011	0,33	0,07	0,10	0,08	0,005	0,005	0,007	zbytek
15	0,10	0,20	0,5	16,5	4,4	0,010	0,015	0,40	0,10	0,15	0,10	0,010	0,010	0,010	zbytek

T a b u l k a 5

Tavba č.	podmínky při ozáření		mechanické vlastnosti při 20 °C				kritická teplota zkřehnutí °C	posun kritické teploty zkřehnutí °C	faktor zkřehnutí ozářením
	teplota °C	hustota záření, počet ne- utronů/cm ²	pevnost v tahu MPa	0,2% mez kluzu MPa	prota- žení %	vrubová houžev- natost Nm/cm ²			
13	-/-	-/-	926	765	18,-	197	-100	-/-	-/-
	270 až 350	$1,4 \times 10^{20}$	1 059	873	16,-	172	- 60	40	7,7
14	-/-	-/-	941	814	15,5	162	- 60	-/-	-/-
	270 až 350	$1,4 \times 10^{20}$	1 024	932	14,-	147	- 40	20	3,8
15	-/-	-/-	1 005	877	13,3	137	- 90	-/-	-/-
	270 až 350	$1,4 \times 10^{20}$	1 079	961	12,5	108	- 50	40	7,7

Kritická teplota zkřehnutí se zjistí na základě hrubové houževnatosti, jejíž průměrná hodnota je 78 Nm/cm², přičemž je přípustná minimální hodnota 41 Nm/cm².

Faktor zkřehnutí ozářením je vyjádřen vzorcem: $A = \frac{T_k}{\varphi^{1/3}}$

kde: T_k - posun kritické teploty zkřehnutí
 φ - integrální dávka, dělená 10^{18}

Jak vyplývá z tabulky 5, jsou mechanické vlastnosti uvedených ocelí ve výchozím stavu srovnatelné s vlastnostmi ocelí, jež jsou uvedeny v tabulce 2. Po ozáření neutrony o intenzitě $1,4 \times 10^{20}$ neutronů/cm² při teplotě v rozmezí od 270 do 350 °C nastanou tyto změny: pevnost v tahu se zvýší z 926 až 1 005 MPa na 1 024 až 1 079 MPa, rovněž 0,2% mez kluzu se zvýší z 765 až 877 MPa na 863 až 961 MPa, poměrné prodloužení se sníží z 13,3 až 18,0 %

na 12,5 až 16,0 %, vrubová houževnatost klesne ze 137 až 197 Nm/cm² na 108 až 172 Nm/cm² a kritická teplota zkřehnutí stoupne z -60 až -100 °C na -40 až -60 °C.

P ř í k l a d 3

V tabulce 6 jsou uvedeny údaje o chemickém složení svařovacího drátu, základního kovu a kovu ve svarovém švu.

Korozivzdorná svařitelná ocel martenzitického typu podle vynálezu, určená pro výrobu svařovacího drátu, se svým hmotnostním složením liší od ocelí podle tabulky 2 a 4 takto: rozmezí obsahu hliníku je zúženo směrem ke spodní hranici na 0,06 až 0,07 %, rozmezí křemíku je rovněž zúženo, avšak je posunuto směrem k horní hranici na 0,3 až 0,6 %, navíc obsahuje 0,05 až 0,20 % zirkonu a 0,05 až 0,15 céru.

Byly svařovány dva polotovary o tloušťce 150 mm v ochranné atmosféře argonu. Údaje o mechanických vlastnostech základního kovu i svarového spoje jsou uvedeny v tabulce 7 pro teploty 20 °C a 350 °C a to: pevnost v tahu, 0,2% mez kluzu, poměrné protažení na vzorku pětinasobné délky a poměrné zúžení. Vrubová houževnatost, stanovená na vzorcích o rozměrech 10 x 10 x 55 mm s půlkruhovým vrubem o hloubce 2 mm a poloměru vrubu 1 mm byla zjišťována jen při teplotě 20 °C.

T a b u l k a 6

materiál	tabulka č.	hmotnostní složení v %												
		C	Cr	Ni	Mn	Si	Cu	Nb	Zr	S	P	Y	Ce	Fe
svařovací drát	16	0,06	16,4	4,4	0,46	0,60	0,05	0,40	0,20	0,007	0,010	0,20	0,15	zbytek
základní kov	17	0,09	15,4	4,3	0,31	0,39	0,06	0,37	-/-	0,008	0,013	0,07	-/-	zbytek
kov svarového švu	18	0,06	16,2	4,4	0,49	0,58	0,06	0,38	0,18	0,007	0,011	0,15	0,12	zbytek

T a b u l k a 7

Materiál	tavba č.	mechanické vlastnosti								
		při 20 °C				při 350 °C				
		pevnost v tahu MPa	0,2% mez kluzu MPa	prota- žení %	zúžení %	vrubová houžev- natost, Nm/cm ²	pevnost v tahu MPa	0,2 % mez kluzu MPa	prota- žení %	zúžení %
svarový spoj	18	943		18,6	70,0	215	777		15,8	67,3
základní kov	17	973	821	18,8	70,9	199	843	804	13,1	67,8

- Poznámky: 1. Výsledky zkoušek jsou průměry z měření tří vzorků.
 2. Vzorky se zkouší po tepelném zpracování a to zakalení v oleji z teploty 1 050 °C a popuštění na teplotu 650 °C.
 3. Vzorky jsou vyříznuty napříč na směr svaru. Ke stanovení vrubové houževnatosti jsou ve vzorku vytvořeny vruby.

Jak vyplývá z tabulky 7, je svarový spoj, zhotovený za použití svařovacího drátu podle vynálezu, prakticky rovnocenný základnímu kovu, zejména za obvyklé teploty 20 °C. Pevnost v tahu 943 MPa svarového spoje je jen nepatrně nižší, než pevnost v tahu 973 MPa základního kovu.

Hodnoty poměrného protažení a poměrného zúžení jsou prakticky shodné. Vrubová houževnatost 215 Nm/cm² svarového spoje je dokonce vyšší, než vrubová houževnatost 199 Nm/cm² základního kovu. Při teplotě 350 °C je pevnost v tahu 777 MPa svarového spoje přece jen o něco nižší, než pevnost v tahu 843 MPa základního kovu. Celkově jsou mechanické vlastnosti svarového spoje velmi dobré a prakticky rovnocenné s vlastnostmi základního kovu.

Korozivzdorná svařitelná ocel martenzitického typu podle vynálezu, určená ke zhotovení svařovacího drátu se taví v elektrické obloukové peci, odlije se do kokil. Vzniklý ingot se překove na plochý sochor, z něhož se za tepla vyválcuje na válcovací stolici drát o průměru 6 mm, který se pak za tepla v tažné stolici vytáhne na průměr v rozmezí od 1,5 do 5,0 mm.

P ř í k l a d 4

V tabulce 8 je pod položkami III-1 až III-6 uvedeno chemické složení korozivzdorných svařitelných ocelí martenzitického typu podle vynálezu. U taveb III-4 až III-6 byl obsah uhlíku ve hmotnostním složení oceli snížen na obsah při spodní hranici rozmezí a to na 0,06 až 0,08 %, kdežto obsah niobu naopak zvýšen k horní hranici na 0,32 až 0,40 %, takže poměr niobu k uhlíku činí nejméně 4:1.

Další položky jsou tavby, u nichž obsah uhlíku, nebo niobu, případně obou, je mimo hranice rozmezí, jež jsou charakteristické pro vynález. Obsah nejdůležitějších legujících prvků, to je chromu a niklu, je u všech taveb přibližně stejný a činí 15,00 až 16,50 % chromu a 3,73 až 4,35 % niklu. Poměr niobu k uhlíku je v rozmezí od 0,8 do 4,6 %.

U všech těchto taveb se zjišťoval sklon oceli k mezikrystalické korozi a ke vzniku trhlin, způsobených korozi.

Sklon k mezikrystalické korozi se zjišťoval po dvacetičtyřhodinovém působení vroucího roztoku síranu měďnatého a kyseliny sírové, obohaceného měďnými třískami na vzorky oceli. Výskyt mezikrystalického rozrušení vzhledem k výchozím austenitickým zrnům se určoval metalografickou analýzou z tvorby trhlin při ohnutí vzorků o 90°. Tvorba trhlin účinkem koroze se zjišťovala na plochých vzorcích o rozměrech 2 x 6 x 80, 2 x 20 x 90 a 2 x 10 x 70 mm s konstantní předem vytvořenou deformací v místě ohybu.

T a b u l k a 8

Tavba č.	podíl jednotlivých prvků v hmotnostním složení oceli v %				poměr Nb/C
	C	Cr	Ni	Nb	
I-1 ^{x)}	0,10	15,10	4,26	0,08	0,80
I-2 ^{x)}	0,12	15,88	4,34	0,10	0,83
I-3 ^{x)}	0,11	15,00	4,13	0,10	0,91
I-4 ^{x)}	0,11	15,80	4,30	0,11	1,00
II-1 ^{x)}	0,07	15,57	4,20	0,09	1,28
II-2 ^{x)}	0,09	16,45	4,23	0,13	1,45
II-3 ^{x)}	0,08	16,44	4,25	0,14	1,75
II-4 ^{x)}	0,09	15,46	4,35	0,20	2,20
II-5 ^{x)}	0,05	16,25	3,94	0,12	2,40
II-6 ^{x)}	0,06	14,70	3,80	0,17	2,84
II-7 ^{x)}	0,06	16,20	4,11	0,18	3,00
III-1	0,09	15,74	4,04	0,28	3,10
III-2	0,09	15,73	3,73	0,33	3,70
III-3	0,08	15,75	4,08	0,30	3,80
III-4	0,08	16,50	3,90	0,32	4,00
III-5	0,06	15,50	4,12	0,27	4,50
III-6	0,08	15,38	4,26	0,37	4,60

x) oceli, jež nespadají do rámce vynálezu

Údaje, které charakterizují vliv popouštěcí teploty a poměru niobu k uhlíku na vznik mezikrystalické koroze zkoumaných ocelí, jsou znázorněny na obr. 3, jehož každý bod byl vynesena na základě zkoušek 3 až 4 vzorků. Z obr. 3 je patrné, že při obsahu uhlíku nad 0,1 % a niobu pod 0,1 %, tedy při poměru niobu k uhlíku menším než 1 vzniká mezikrystalická koroze nezávisle na popouštěcí teplotě. Při obsahu uhlíku pod 0,1 % a zvýšení obsahu až na 0,18 % se zužuje rozmezí popouštěcích teplot, uvnitř něhož podléhá ocel mezikrystalické korozi.

V tomto případě jsou všechny vzorky taveb, v jejichž hmotnostním složení je obsaženo 0,05 až 0,09 % uhlíku a 0,09 až 0,18 % niobu, to je při poměru niobu k uhlíku v rozmezí od 1,0 až do 3,0 % náchylné ke vzniku mezikrystalické koroze při zatížení teplotou 450 °C.

Oceli s obsahem niobu nad 0,25 % uhlíku pod 0,1 %, to je při poměru niobu k uhlíku nad 3,0 % jsou odolné proti vzniku mezikrystalické koroze.

Ocel s obsahem 0,32 % niobu a 0,08 % uhlíku, to je s poměrem niobu k uhlíku 4:1, je odolná proti mezikrystalické korozi nejen po optimálním tepelném zpracování, obsahujícím zakalení v oleji s teplotou 1 050 °C s následným popuštěním na teplotu 650 °C, ale i po tepelném zatížení teplotou 450 °C.

K potlačení mezikrystalické koroze u austenických ocelí je potřeba niobu mnohem větší, poměr niobu k uhlíku musí činit nejméně 10:1. U austenitických ocelí s vysokým obsahem niklu musí být tento poměr dokonce 28:1. To, že u korozivzdorné svařitelné oceli martenzického typu podle vynálezu postačí poměr podstatně nižší, to je 3:1, lze vysvětlit disperznější strukturou popuštěného martenzitu, velkým množstvím fázových rozhraní, jakož i menší rozpustností prvků, vyznačujících se silnou schopností tvořit karbidy, ve feritu, ve srovnání s austenitem.

Další zkoušky byly zaměřeny na zjištění, jak dlouho vydrží jednotlivé oceli v agresivním prostředí, než se začnou tvořit trhliny. Vzorům bylo předem uděleno výchozí napětí jehož velikost činila 0,8 hodnoty 0,2% mez kluzu, načež byly vystaveny vlivu tří různých prostředí. Prvním prostředím byl destilát s obsahem 0,05 mg/kg chloridu a kyslíku s přísadou 12 g/kg kyseliny borité, nebo bez ní při teplotách v rozmezí od 200 do 350 °C. Druhým prostředím byl půlprocentní roztok chloridu sodného při teplotě 100 °C, Třetím prostředím byly páry vroucího desetiprocentního chloridu sodného při teplotě 200 °C. Při zkouškách byla zjišťována doba, po které na vzorku vznikla první trhlina, viditelná při šestnáctinásobném zvětšení.

Výsledky zkoušek jsou uvedeny na obr. 4a a obr. 4b. Z nich vyplývá, že životnost vzorků oceli s poměrem niobu k uhlíku 4:1 je při libovolné popouštěcí teplotě delší, než životnost ocelí s poměrem niobu k uhlíku v rozmezí od 0,83 do 1,75 %.

Vznik trhlín způsobených korozi u ocelí popuštěných na 300 °C se vyznačuje velkým časovým rozpylem. Nejmenší odolnost proti vzniku trhlín korozi se projevuje u ocelí, popuštěných na 450 °C. U ocelí s poměrem niobu k uhlíku v rozmezí od 0,83 do 1,75 % nemá zvyšování popouštěcí teploty až na 600 °C žádný příznivý vliv na zamezení vzniku trhlín korozi.

Teprve při popuštění na teplotu 650 °C je možno zjistit výrazné zlepšení. U ocelí s poměrem niobu k uhlíku v poměru 4:1 je toto zlepšení zjevné již při popouštěcí teplotě 600 °C.

P ř í k l a d 5

V tomto příkladu se zkoumá vliv chemického složení oceli na její mechanické vlastnosti při dlouhodobém použití oceli za zvýšených teplot.

Na tabulce 9 je uvedeno chemické složení čtyř taveb ocelí, jež se svým hmotnostním složením od sebe liší jen málo. Tři tavby s čísly 19 až 21 jsou korozivzdornými svařitelnými oceli martenzického typu podle vynálezu. Čtvrtá tavba, ačkoliv je svým složením blízká tavnám 19 až 21, vybočuje z rámce vynálezu.

V hmotnostním složení ocelí, uvedených v tabulce 9, je 13,45 až 15,78 % chromu a 3,9 až 5,35 % niklu. Tavba, jež vybočuje z rámce vynálezu, obsahuje nadto 1,56 % molybdenu.

V tabulce 10 jsou pak uvedeny mechanické vlastnosti těchto ocelí a jejich změny dlouhodobým účinkem tepla v rozmezí od 500 do 10 000 hodin při teplotě 340 °C. V čele tabulky 10 jsou uvedeny hodnoty po zakalení oceli do vody či oleje z teplot 990 až 1 050 °C a popuštění na teploty 600 až 650 °C. V dalším jsou pak uvedeny mechanické vlastnosti po působení teploty 340 °C za 500, 1 000, 3 000, 5 000 a 10 000 hodin.

Sledovány jsou tyto hodnoty: pevnost v tahu, 0,2% mez kluzu, poměrné prodloužení, poměrné zúžení na vzorcích o pětinasobné délce a vrubová houževnatost, zjišťovaná na vzorcích o rozměrech 10 x 10 x 55 mm a to jednak s půlkruhovým vrubem o hloubce 2 mm a poloměru vrubu 1 mm, jednak s ostrým vrubem o úhlu 45° s poloměrem zaoblení 0,25 mm. Tavba, vybočující z rámce vynálezu je v tabulce 10 označena číslem 4.

T a b u l k a 9

Tavba č.	hmotnostní složení v %												
	C	Cr	Ni	Mn	Si	Nb	Cu	Y	Mo	Al	S	P	Fe
19 ^{x)}	0,09	15,38	4,26	0,31	0,39	0,37	0,06	0,07	-/-	-/-	0,008	0,013	zbytek
20 ^{x)}	0,08	15,75	4,08	0,27	0,27	0,30	0,05	0,10	-/-	-/-	0,008	0,012	zbytek
21 ^{xx)}	0,08	15,78	3,90	0,27	0,35	0,25	0,07	0,05	-/-	-/-	0,008	0,024	zbytek
xxx)	0,05	13,45	5,35	0,52	0,24	-/-	-/-	-/-	1,56	0,17	0,007	0,015	zbytek

x) ocel podle vynálezu

xx) ocel podle vynálezu s nejlepším souhrnem vlastností při dlouhodobém tepelném zatížení

xxx) ocel, jež není podle vynálezu

T a b u l k a 10

dlouhodobě udržováno		tavba č.	mechanické vlastnosti při 20 °C					
na teplotě °C	po dobu hodin		pevnost v tahu MPa	0,2% mez kluzu MPa	protažení %	zúžení %	vrubová houževnatost r=1 mm Nm/cm ² r=0,25 mm	
výchozí stav: zakaleni v oleji z 1 050 °C + popuštění na 650 °C po 2 hodiny, vzduch		19	973	821	18,8	70,9	199	161
výchozí stav: zakaleni v oleji z 1 050 °C + popuštění na 580 °C po 6 hodin + + na 645 °C po 12 hodin		20	932	726	19,0	58,0	120	79
výchozí stav: zakaleni v oleji z 1 050 °C + popuštění na 650 °C po 2 hodiny, vzduch		21	1 003	799	19,2	67,3	201	147
výchozí stav: zakaleni do vody z 990 °C - popuštění na 620 °C po 6 hodin		4	840	723	19,8	50,5	172	
340	500	21	1 038	992	17,6	64,3	154	132
		19	1 020	939	17,9	65,5	161	102

pokračování tabulky 10

dlouhodobě udržováno		tavba č.	mechanické vlastnosti při 20 °C					
na teplotě °C	po dobu hodin		pevnost v tahu MPa	0,2% mez kluzu MPa	protažení %	zúžení %	vrubová houževnatost	
							r=1 mm Nm/cm ²	r=0,25 mm Nm/cm ²
340	1 000	20	915	762	21,2	64,0	124	78
		21	1 043	983	20,2	63,4	129	103
		4	895	808	17,8	54,3	112	
	3 000	19	1 017	937	20,1	66,4		
		21	1 065	817	19,0	62,0	145	132
		4	913	796	17,3	52,2	107	
	5 000	20	958	817	20,8	64,0	116	70
		21	1 128	1 032	18,0	58,5	135	120
		4	938	839	19,2	54,2	104	
	10 000	20	964	814	20,2	62,0	107	
		21					129	

Z údajů tabulky 10 vyplývá, že poměrné protažení a poměrné zúžení se dlouhodobým působením teploty 340 °C mění jen nepodstatně. Pevnost v tahu se zvyšuje z původních 840 až 1 003 MPa po ohřátí až na 938 až 1 128 MPa, 0,2% mez kluzu se rovněž zvyšuje z původních 723 až 821 MPa na 839 až 1 032 MPa. Vrubová houževnatost působením tepla klesá. U vzorků s vrubem o poloměru 1 mm klesne houževnatost z původních 120 až 201 Nm/cm² na 104 až 129 Nm/cm² a u vzorků s ostrým vrubem z původních 79 až 161 Nm/cm² na 70 až 120 Nm/cm².

Rentgenografická analýza vzorků pomocí difraktometru v FeK α -záření ukazuje, že množství austenitu se snižuje po dlouhodobém působení teploty 340 °C. U tavby č. 21 klesá z původních 16 % až na 8 až 10 %, což je výrazem destabilizace austenitu při dalších ohřevech, jehož část se při následném ochlazení pod počáteční teplotu martenzitické přeměny změní v nepopuštěný martenzit.

Další dlouhodobé působení teploty 340 °C způsobuje rozpad tuhého roztoku. Z výsledků fyzikálně chemické a rentgenové analýzy struktury v záření CuK α vyplývá, že při zahřívání na 240 °C nastává ve struktuře oceli podle vynálezu k vylučování karbidů cementitového typu (Fe, Cr)₃C. Při dlouhodobém působení teploty 340 °C nastává rozpad přesyceného tuhého roztoku a vznik nepopuštěného martenzitu, který vzniká při ochlazení austenitu, destabilizovaného dalšími ohřevy, což snižuje vrubovou houževnatost.

Největší pokles vrubové houževnatosti vzniká u oceli, jež neodpovídá vynálezu. To lze vysvětlit tím, že uvedená ocel po optimálním tepelném zpracování, obsahujícím zakalení z teploty 990 °C a popuštění na teplotu 620 °C, obsahuje 25 až 30 % austenitu, jak zjevně z obr. 5. Tento austenit je však poměrně málo stabilní a po delším působení vyšších teplot se jeho větší část změní v nepopuštěný martenzit, což značně sníží vrubovou houževnatost této oceli.

Na rozdíl od toho je při optimálním tepelném zpracování korozivzdorné svařitelné oceli martenzitického typu podle vynálezu, jež obsahuje zakalení z teploty 1 050 °C a popuštění na teplotu 650 °C podíl austenitu menší a to přibližně 10 až 15 %.

V tom případě je i míra rozpadu austenitu působením vyšších teplot po delší dobu menší, takže i pokles vrubové houževnatosti je menší. Nejlepší odolnost proti dlouhodobému působení teploty 340 °C má ocel z tavby č. 21, jež má nejmenší obsah niklu a to 3,9 % a nižší obsah niobu ve výši 0,25 % při obsahu uhlíku 0,08 %. Tato ocel je zřejmě vhodná pro zhotovení dílů, jež mají dlouhodobě odolávat působení vyšších teplot.

P ř í k l a d 6

Tento příklada se vztahuje na výrobu korozivzdorné svařitelné oceli martenzitického typu podle vynálezu. V otevřené elektrické obloukové peci se taví ocel o hmotnostním složení: 0,09 % uhlíku, 0,33 % manganu, 0,33 % křemíku, 15,5 % chromu, 3,86 % niklu, 0,3 % niobu, 0,07 % yttria, 0,12 % mědi, 0,007 % síry, 0,012 % fosforu, zbytek železo.

Ocel se odlévá do ingotových forem, takže vzniknou ingoty o hmotnosti 6,5 tuny a 14,0 tun. Při hmotnosti ingotu 14 t se ingot ve formě ochladí na 400 °C, při hmotnosti ingotu 6,5 t se ingot ve formě ochladí na 300 °C. Ingoty se vyjmou z forem a ingot o hmotnosti 14 t se vzduchem ochladí na 100 °C, kdežto ingot o hmotnosti 6,5 t se ochladí na 80 °C.

Potom, nejpozději do dvou hodin, se ingoty vloží do pece, vyhřáté na teplotu 300 °C, a tato teplota se udržuje po dobu dvou hodin. Pak se teplota zvyšuje rychlostí 50 °C za hodinu až na teplotu 650 °C. Doba udržování na teplotě 650 °C je závislá na celkové hmotnosti vsázky. Při celkové hmotnosti vsázky se vsázka udržuje na teplotě 650 °C po dobu 20 hodin.

Po této době se ingoty ochlazují nejprve v peci a potom v neproudícím vzduchu až na teplotu okolní atmosféry. Nejpozději 2 hodiny po tomto ochlazení se ingoty znovu vsadí do pece, jejíž teplota nepřesahuje 300 °C a na této vstupní teplotě se pec udržuje po dobu dvou hodin. Pak se teplota v peci zvyšuje rychlostí 50 °C za hodinu až na teplotu 630 °C.

Na této teplotě se ingoty udržují po dobu 20 hodin, načež se v peci ochlazují až na teplotu 300 °C. Další ochlazení se děje mimo pec v neproudícím vzduchu. Po tomto dvoustupňovém popuštění mají ingoty tvrdost v rozmezí 272 až 287 HB.

P ř í k l a d 7

V otevřené elektrické obloukové peci se utaví 6 taveb ocelí, jejichž chemické složení je uvedeno v tabulce 11. Ocel se vylila do ingotových forem o kapacitě 2,7 až 2,8, 12, 13,0 až 13,7 tun. V těchto formách se ocel ochladí až na teplotu 100 °C, načež se provede dvoustupňové popuštění, popsané v příkladu 6.

Popuštěné ingoty se kovou v teplotním rozmezí 1 200 až 950 °C, načež se výkovky shromáždí v peci, ohřáté na teplotu 600 až 640 °C. Z této teploty se ochladí průměrnou rychlostí 16 °C za hodinu až na teplotu 300 °C a potom na vzduchu až na teplotu 100 °C. Po uplynutí jedné hodiny se výkovky vloží do pece ohřáté na teplotu 250 až 300 °C a teplota pece se rychlostí 50 °C za hodinu zvyšuje až na teplotu 650 °C. Doba udržování na této teplotě je závislá na vložené hmotnosti výkovků. Při hmotnosti 75 tun činí tato doba 38 hodin. Po této době se výkovky v peci ochlazují až na teplotu 270 °C, načež se ochladí až na teplotu okolního prostředí. Nejpozději po dvou hodinách se výkovky popustí na druhý popouštěcí stupeň.

Druhý popouštěcí stupeň počíná vložením výkovků do pece při 300 °C, na které teplotě jsou výkovky udržovány po dobu 3 hodin, načež se rychlostí 50 °C za hodinu výkovky ohřejí na teplotu 630 °C a na této teplotě se udržují po dobu 46 hodin.

Pak se ochlazují společně s pecí na teplotu 350 °C a dále pak v klidném neproudícím vzduchu. Po tomto dvoustupňovém popuštění je tvrdost výkovků v rozmezí od 255 do 286 Hb.

T a b u l k a 11

Tavba č.	hmotnostní složení v %										
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Nb	Y	Cu	S	P	Fe
22	0,08	0,27	0,27	15,75	4,08	0,30	0,08	0,05	0,008	0,012	zbytek
23	0,09	0,38	0,36	15,73	3,73	0,33	0,07	0,10	0,011	0,010	zbytek
24	0,08	0,43	0,24	15,82	4,16	0,37	0,09	0,08	0,009	0,010	zbytek
25	0,06	0,27	0,32	15,50	4,12	0,27	0,06	0,08	0,010	0,015	zbytek
26	0,09	0,33	0,30	15,74	4,04	0,28	0,11	0,08	0,014	0,010	zbytek
27	0,08	0,28	0,32	16,05	4,25	0,27	0,13	0,08	0,010	0,014	zbytek

P ř í k l a d 8

V otevřené elektrické peci se utaví tři tavby, jejichž chemické složení je uvedeno v tabulce 11 pod čísly 23 až 25. Ocel se odlije do ingotových forem o kapacitě 12,0, 13,0 a 13,7 tun, v nichž odlitá ocel zkrystalizuje. Po ochlazení na teplotu 100 °C se ingoty popustí způsobem, popsáním v příkladu 6, načež se popuštěné ingoty vykovou v teplotním rozmezí 950 až 1 200 °C a výkovky se popustí postupem, popsáním v příkladu 7.

Popuštěné výkovky se mechanicky popustí, přičemž ostré hrany se srazí a přechody mezi průřezy se zaoblí. Pak se výkovky tepelně zpracují.

Výkovky o tloušťce stěny do 150 mm se popouštějí ve dvou stupních. Jako příklad jsou uvedeny výkovky o vnějším průměru 510 mm při vnitřním průměru 200 mm a délce přibližně 4 000 mm. K zakalení se výkovky vloží do svislé pece při teplotě 500 °C a na této teplotě se udržují po dobu 1 hodiny. Pak se výkovky zahřejí na teplotu 1 050 °C rychlostí, kterou umožňuje tepelný výkon pece. Doba udržování na teplotě 1 050 °C je určena maximální tloušťkou stěny, které při tloušťce 150 mm činí 8 hodin.

Po této době se výkovky zakalí v oleji na teplotu 120 °C a pak na vzduchu na teplotu 100 °C. Nejpozději do dvou hodin se výkovky vloží do pece, ohřáté na 450 °C a rychlostí 40 °C za hodinu se ohřejí na teplotu 655 °C. Prodleva na této teplotě je závislá na největší tloušťce stěny výkovku.

Při tloušťce stěny 150 mm se výkovek udržuje na teplotě 655 °C po dobu 16 hodin. Po této době se opracované výkovky ochladí na teplotu okolí. Nejpozději do dvou hodin se výkovky vloží do pece, ohřáté na teplotu 300 °C, načež se rychlostí 55 °C za hodinu ohřejí na teplotu 635 °C. Na této teplotě se výkovky udržují po dobu, která je závislá na tloušťce stěny výkovku a při tloušťce stěny 150 mm činí 16 hodin.

Po této době se výkovky ochladí na teplotu okolí. Nejpozději do dvou hodin se výkovky vloží do pece o teplotě 300 °C a rychlostí 55 °C za hodinu se ohřejí na teplotu 635 °C a na této teplotě se udržují po dobu 12 hodin, načež se v klidném vzduchu ochladí na teplotu okolí.

Upracované výkovky o vnějším průměru 510 mm, vnitřním průměru 200 mm a délce přibližně 4 000 mm měly po tomto tepelném zpracování tyto mechanické vlastnosti: pevnost v tahu 912 až 1 039 MPa, 0,2% mez kluzu 755 až 922 MPa, poměrné protažení 14,2 až 20,0 %, poměrné zúžení 46,5 až 61,5 %, vrubová houževnatost na vzorcích s půlkruhovým vrubem 107 až 163 Nm/cm² a s ostrým vrubem 57 až 114 Nm/cm².

Výkovky s tloušťkou stěny nad 150 mm je účelné popouštět alespoň ve třech fázích. Tak výkovky o vnějším průměru 540 mm se popouštějí tímto postupem.

Výkovky se vloží do pece, zahřáté na teplotu 400 °C. Na této teplotě se udržují po dobu jedné hodiny a zahřívají se na teplotu 1 050 °C rychlostí, danou tepelným výkonem pece. Na této teplotě se výkovky udržují po dobu 22 hodiny. Potom se výkovky zakalí v oleji na teplotu 120 °C. Nejpozději do dvou hodin se výkovky vloží k provedení první popouštěcí fáze do pece, vyhřáté na teplotu 300 °C a na této teplotě se udržují po dobu 3 hodin, načež se rychlostí 50 °C za hodinu ohřívají na teplotu 650 °C, na které se udržují po dobu 24 hodin.

Pak se ochlazují na teplotu 70 °C. Ve druhé popouštěcí fázi se výkovky vkládají do pece, vyhřáté na teplotu 300 °C a na této teplotě se uchovávají po dobu 2 hodin, načež se zahřívají rychlostí 50 °C za hodinu na teplotu 640 °C, na které setrvávají po dobu 10 hodin, načež se ochlazují na teplotu okolí.

V třetí popouštěcí fázi se odlitky vkládají do pece, ohřáté na 300 °C a na této teplotě se udržují po 2 hodiny, načež se rychlostí 50 °C za hodinu ohřívají na teplotu 630 °C a na této teplotě se udržují po dobu 10 hodin, načež se výkovky ochladí na teplotu okolní atmosféry.

Výkovky po uvedeném tepelném zpracování mají tyto mechanické vlastnosti: pevnost v tahu 922 až 971 MPa, 0,2% mez kluzu 755 až 794 MPa, poměrné prodloužení 15,5 až 21,5 %, poměrné zúžení 41 až 64 %, vrubová houževnatost na vzorcích s půlkruhovým vrubem 69 až 107 Nm/cm² a na vzorcích s ostrým vrubem 69 až 107 Nm/cm².

P Ř E D M Ě T V Y N Á L E Z U

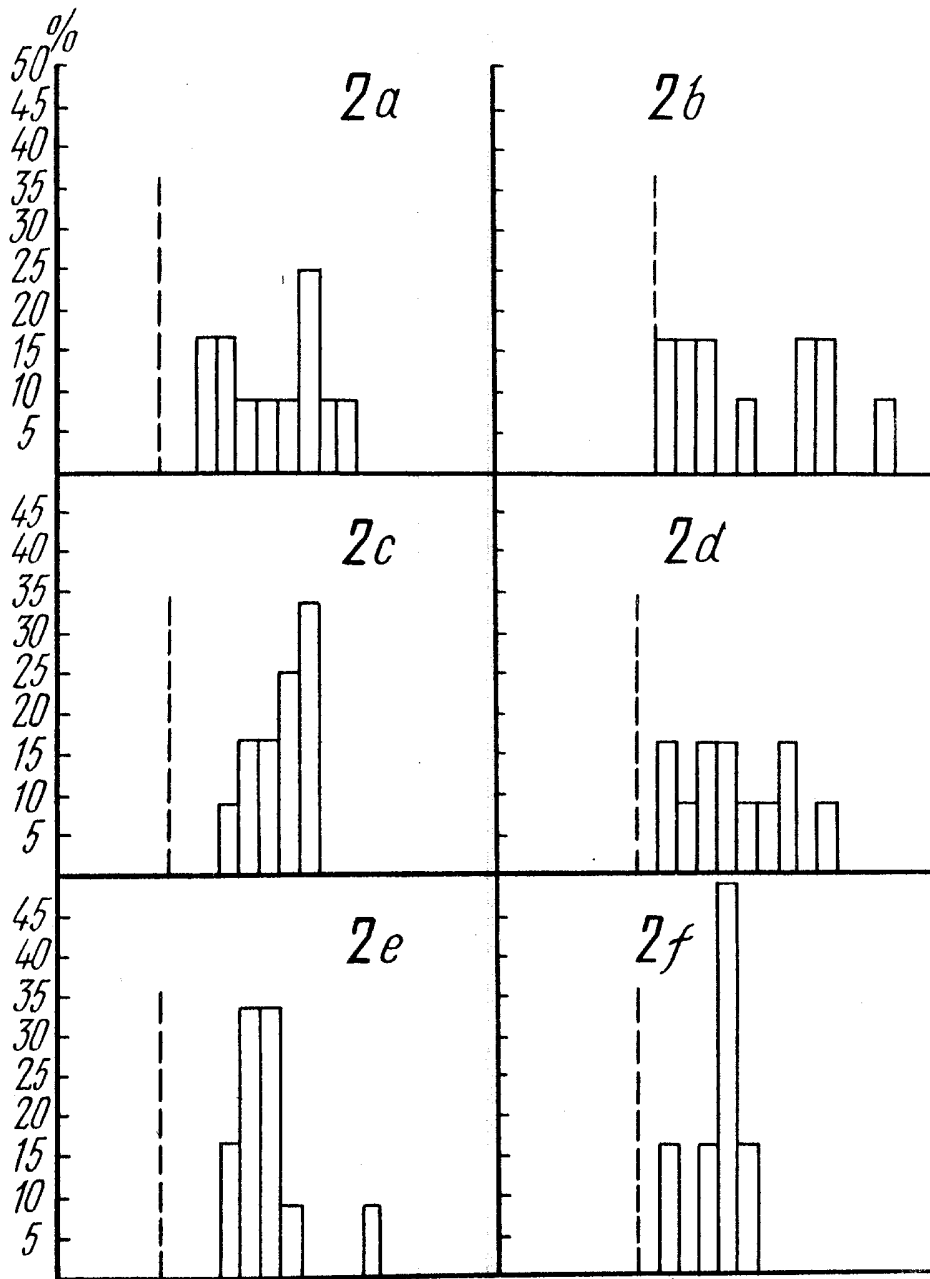
1. Korozivzdorná svařitelná ocel martenzitického typu, obsahující uhlík, chrom, nikl, křemík, mangan, fosfor, síru a měď, vyznačená tím, že obsahuje v hmotnostním složení nejméně jeden prvek z první skupiny prvků a to 0,25 až 0,40 % niobu a 0,05 až 0,20 % zirkonu, jakož i nejméně jeden prvek z druhé skupiny prvků a to 0,05 až 0,020 % yttria, 0,05 až 0,15 % ceru, 0,05 až 0,15 % lanthanu, přičemž obsah ostatních složek v hmotnostním složení činí 0,06 až 0,10 % uhlíku, 15,1 až 16,5 % chromu, 3,5 až 4,45 % niklu, 0,10 až 0,60 % křemíku, 0,20 až 0,50 % manganu, stopy až 0,025 % fosforu, stopy až 0,02 % síry a stopy až 0,020 % mědi, zbytek železo a nevyhnutelné příměsi.

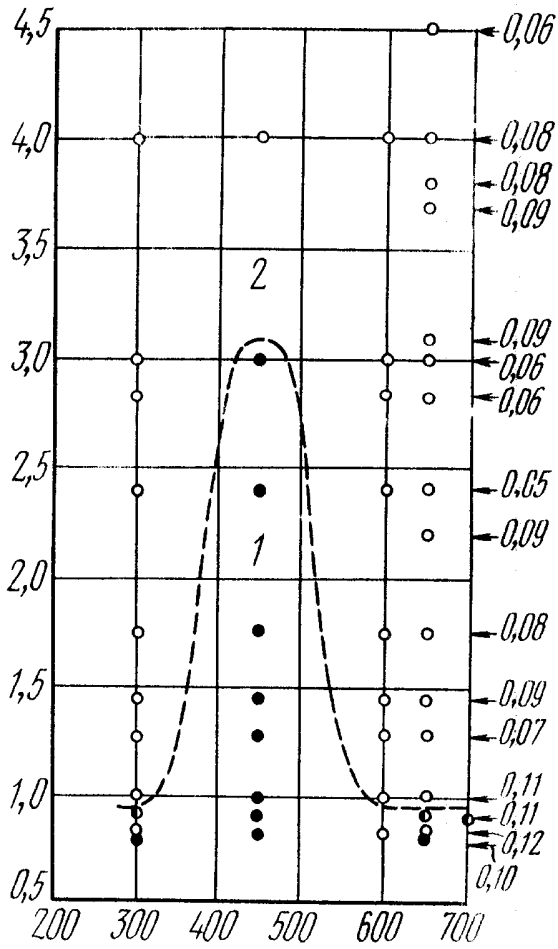
2. Korozivzdorná svařitelná ocel martenzitického typu, podle bodu 1, vyznačená tím, že v jejím hmotnostním složení je obsah niobu k uhlíku v poměru 4:1.

3. Způsob výroby korozivzdorné svařitelné oceli martenzitického typu, podle bodů 1 a 2, při němž se ocel nejprve taví, pak se odlévá do formy, nechá ztuhnout, načež se odlitek ochlazuje, vyznačený tím, že odlitek se chladí nejméně ve dvou fázích, přičemž v první fázi se odlitek ochlazuje až na teplotu, jež je v rozmezí mezi začátkem a koncem martenzitické přeměny, nikoliv však na teplotu, jež je nižší než 100 °C, načež se zahřívá na popouštěcí teplotu v rozmezí 600 až 650 °C a v další fázi se odlitek znovu ochlazuje na

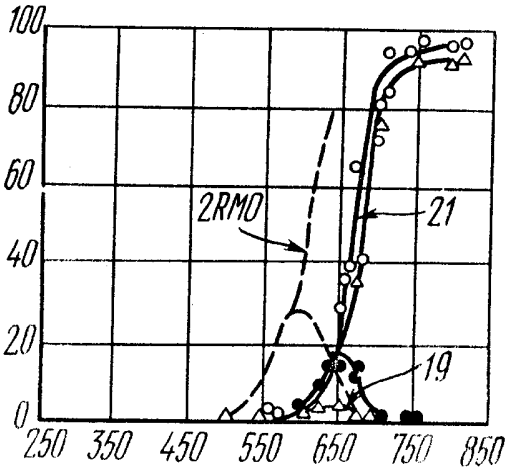
teplotu martenzitické přeměny, avšak vždy nejméně o 50 °C níže, než v předchozí fázi, až se tímto postupným ochlazováním sníží teplota odlitku pod teplotu úplné martenzitické přeměny, načež se odlitek definitivně popustí na teplotu 600 až 650 °C.

3 listy výkresů

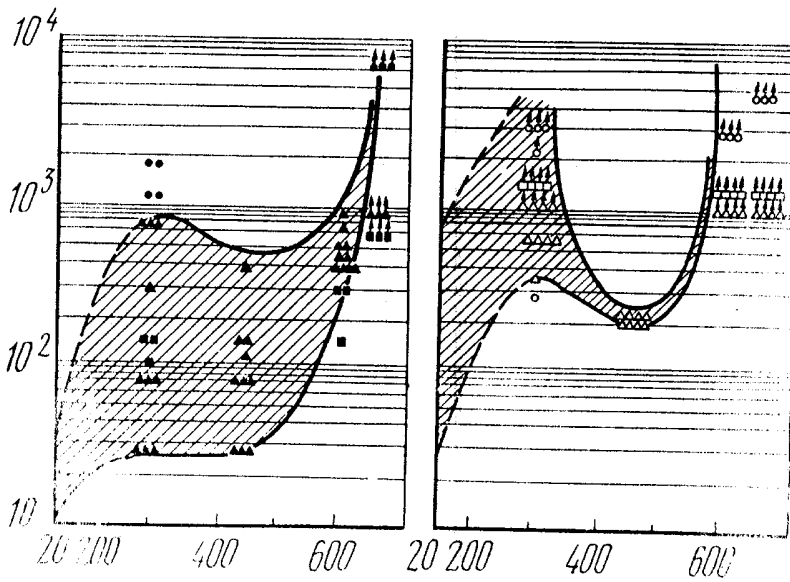




3



5



4a

4b