



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU 216 366

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

(11) (B 1)

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 03 07 80
(21) PV 4767-80

(51) Int. Cl. C 22 C 38/18

(40) Zveřejněno 31 12 81
(45) Vydáno 15 05 1984

(75)

Autor vynálezu

BENEŠ FRANTIŠEK ing. DrSc., PRAHA,
PALC JAROSLAV, ŠVERMOV,
PFIBIL ERICH ing., Kladno,
KONEČNÝ LUDĚK ing., KOPŘIVNICE

(54) Konstrukční ocel pro chemické-tepelné zpracování a zušlechťování

Vynález se týká nízkolegované konstrukční oceli, vhodné pro chemické-tepelné zpracování jako je cementace, u strojních, vysoce namáhaných součástí, např. ozubených kol.

Podstata vynálezu spočívá v tom, že ocel má chemické složení podle hmotnosti 0,10 až 0,65 % uhlíku, 0,40 až 1,50 % manganu, stopy až 0,35 % křemíku, 0,30 až 1,50 % chromu, nečistoty jako fosfor nejvýše 0,035 % a síru nejvýše 0,080 %, dále obsahuje 0,012 až 0,070 % dusíku a 0,005 až 0,05 % hliníku rozpustného, zbytek železe. Vlastností oceli lze dále zlepšit hmotnostním obsahem 0,10 až 0,50 % molybdenu a 0,04 až 0,30 % olova.

Ocel podle vynálezu je výhodná pro další zpracování chemické-tepelnými postupy jako je cementace, nitrocementace apod. Ocel podle vynálezu je zvláště vhodná pro výrobu ozubených kol, pružin a dalších strojních součástí, u nichž je žádoucí vysoká tvrdost funkčních ploch a odolnost proti rázům.

Vynález se týká konstrukční oceli pro chemické-tepelné zpracování a zušlechťování, jako je cementace, nitrocementace, s cílem dosažení příznivých vlastností povrchově zpevněných vrstev vysoce namáhaných strojních součástí, jakož i součástí o vyšších pevnostech, zpracovaných kalením a popouštěním.

Na finálních vlastnostech strojních dílů a jejich efektivní výrobě, zvláště pak na hospodárném chemické-tepelném zpracování se výrazně podílí typ oceli. Většinu těchto nároků splňují především oceli legované kombinací chromu, molybdenu, případně i niklu.

Tyto oceli charakterizuje většinou nízký obsah chromu, řádově kolem 0,5 % hmotnosti Cr, který přispívá k nižším deformacím při kalení pro cementaci. Přijatelnou prokalitelnost cementované vrstvy s vyšším obsahem uhlíku ovlivňuje přísada molybdenu v rozmezí 0,2 až 0,5 % hmotnosti. Oceli s přísadou molybdenu jsou jemnozrnné s velikostí zrna 7/8 podle ASTM. Dobře také odolávají hrubnutí zrna při chemicko-tepelném zpracování. Oceli určené pro nejexponovanější součásti mívají i přísadu niklu v rozmezí 1,5 až 4,0 % hmotnosti. Obsah uhlíku v těchto ocelích převážně v rozmezí 0,10 až 0,25 % hmotnosti ovlivňuje požadovanou pevnost, případně i houževnatost jádra cementované oceli.

Trvale klesající dostupnost a rostoucí cena molybdenu a niklu na světových trzích vynucují hledání náhradních typů ocelí většinou s přísadami manganu a chromu, případně s jejich kombinací. Nejčastější hmotnostní obsahy manganu se pohybují v rozmezí 0,75 až 1,40 %, chromu 0,50 až 1,15 %, hmotnostní obsah uhlíku zpravidla v rozmezí 0,14 až 0,24 %. Náhradní typy ocelí představují dnes i oceli s přísadou bóru, nejčastěji s hmotnostními obsahy v rozmezí 0,0005 až 0,0030 %. Příkladu bóru se používá u řady typů ocelí legovaných Mn, Cr, Mo, Ni, případně jejich kombinací. Většinou se zde setkáváme se sníženými obsahy uváděných slitinových prvků běžných typů ocelí bez bóru. Nevýhodou je, že vyšší obsahy chromu a také i přísada bóru zvyšují pouze prokalitelnost výchozí oceli. Tyto prvky prakticky nezvyšují prokalitelnost a požadovanou strukturní homogenitu cementované vrstvy. U ocelí s přísadou bóru je to navíc poměrně nízká výrobní jistota k dosažení spolehlivé účinnosti bóru na prokalitelnost, vyžadující speciální opatření k zajištění účinné vazby kyslíku a dusíku. Používanou přísadou k vazbě dusíku bývá nejčastěji titan. Vzniklé produkty jako karbidy a nitridy titanu vedou na druhé straně ke zhoršení obrobitelnosti.

V souvislosti s vysokými nároky na zpracovatelnost ocelí pro cementaci se věnuje velká pozornost zvyšování obrobitelnosti těchto ocelí. Nejjednodušší způsob zvyšování obrobitelnosti je zvýšený hmotnostní obsah síry v oceli v rozmezí 0,020 až 0,080 %. Setkáváme se i s přísadou olova v rozmezí 0,04 až 0,30 %. Konečně je to i otázka řízené morfolegie a vlastností vměstků přísadami ferrolitin na bázi vápníku při souběžném omezování podílu hliníku.

Manganchromové oceli patří mezi nejrozšířenější skupinu ocelí zpracovávaných na strojní dílce určené k cementaci. U těchto ocelí se hmotnostní obsah pohybuje v rozmezí 0,14 až 0,22 % uhlíku, 1,00 až 1,40 % manganu, 0,80 až 1,30 % chromu, fosforu a síry jednotlivě nejvýše 0,035 %. V poměrně omezené míře se vyrábějí MnCrTi oceli s přísadou titanu 0,04 až 0,10 % hmotnosti. S menším rozsahem užití se setkáváme i u ocelí legovaných niklem,

a to buď jako typ MnCrNi, případně CrNi. Tento typ ocelí má obsah chrómu kolem 1 % hmotnosti a dále odstupňovaný obsah niklu v rozmezí 0,40 až 4,70 % hmotnosti. Obsahy uhlíku se u těchto ocelí pohybují v běžných rozmezích od 0,10 do 0,24 % hmotnosti. Zatím se v poměrně omezeném rozsahu setkáváme s používáním MnCrB ocelí s obsahem uhlíku 0,28 až 0,35 % C a obsahy manganu a chrómu charakteristickými pro MnCr typ ocelí. Zvýšená prokalitelnost se dosahuje někdy přísadou bóru 0,001 až 0,005 hmotnosti u chrómmanganových ocelí s obsahem 0,28 až 0,35 % uhlíku.

Všeobecně pro užívané oceli je charakteristický obsah chrómu kolem 1 % hmotnosti. To má za následek nízkou prokalitelnost cementované vrstvy, která je navíc heterogenní a skládá se z karbidů a martenzitu. MnCr oceli s přísadou niklu, případně CrNi oceli, mají vyšší prokalitelnost a homogenitu cementované vrstvy.

Otázka rovnoměrné obrobitelnosti, případně zvyšování obrobitelnosti, byla dosud řešena v omezené míře zvýšenými obsahy síry, tj. 0,020 až 0,035 % hmotnosti, případně i nad tuto mez. V omezené míře se řeší i otázka morfologie vměstků přísadami vápníku. Omezená pozornost byla věnována i otázkám vysokoteplotního žhánání při teplotách řádově 980 °C s cílem zhrubnutí zrna, a tím i zkřehnutí oceli pro zvýšení obrobitelnosti.

Velikost skutečného austenitického zrna u běžně vyráběných ocelí pro cementaci bývá převážně v rozmezí 5 až 7 podle ASTM. U řady ocelí vyráběných taveb se setkáváme s hrubnutím austenitického zrna již při běžných teplotách expozice při cementaci 920 až 930 °C. Většinou nízká odolnost proti hrubnutí zrna a vyšší obsahy chrómu řádově kolem 1 % ve většině používaných ocelí prakticky vylučují kalení z teplot cementace s přichlazením, významné jak z energetického hlediska, tak i z hlediska finálních vlastností strojních dílců.

Z uvedeného hodnocení je zřejmé, že klíčovou otázkou k efektivnímu řešení ocelí pro chemicko-tepelné zpracování je:

jemnozrnnost oceli a vysoká odolnost proti hrubnutí zrna při teplotách cementace, vhodná prokalitelnost výchozí oceli a cementované vrstvy, dobrá chemicko-tepelná zpracovatelnost s možností přímého kalení z teplot cementace, cena oceli, ovlivněná dostupností slitinových prvků a dobrá a rovnoměrná obrobitelnost ocelí jednotlivých typů a značek. Tyto otázky jsou tím závažnější, že oceli pro cementaci se většinou zpracovávají v oblasti hromadné a sériové strojírenské výroby. Z cenového hlediska a také z hlediska dostupnosti slitinových prvků jsou dnes všeobecně velmi atraktivní oceli legované manganem, chromem, případně kombinací obou prvků. Klíčovým prvkem ocelí pro cementaci strojních dílců vysoké jakosti je nesporně molybden, případně i nikl, a to především z hlediska prokalitelnosti, vlastností a struktury cementovaných vrstev. Oceli s molybdenem mají většinou i vyšší odolnost proti růstu zrna při cementaci. Zpravidla umožňují přímé kalení a všeobecně mají i vyšší prokalitelnost cementované vrstvy.

V souvislosti s ocelmi pro cementaci se dosud opomíjí význam dusíku jako mikrolegujícího prvku. Na druhé straně se velmi často setkáváme se souběžným nasycováním vrstev při cementaci jak uhlíkem, tak dusíkem s cílem zlepšení vlastností vrstev, případně zefektivnění technologie procesu. Dusík v nízkolegovaných ocelích je většinou v rozmezí 0,005 až

0,012 % hmotnosti a jeho nitridická forma patří mezi klíčové etážky odolnosti proti hrubnutí austenitického zrna. V současné technické praxi je to většinou přísada hliníku, běžně používaná pro konečnou desoxidaci a denitrifikaci oceli, která vytváří podmínky pro tvorbu nitridů, nezbytných pro zamezení růstu zrna při teplotách expozice při cementaci. Při výrobě cementačních ocelí, charakterizovaných nízkým hmotnostním obsahem uhlíku převážně v rozmezí 0,14 až 0,24 % většinou dochází k výrazně rozdílné výtěžnosti hliníku od 20 do 80 %. Současně se setkáváme s odlišným podílem účinné složky hliníku, vázaného na dusík a hodnoceného jako hliník rozpustný. Jeho hodnota bývá určitým kritériem pro posouzení odolnosti proti růstu zrna, a proto se někdy udává požadovanou minimální hodnotou 0,020 % hliníku rozpustného. Nelze opominout, že podmínky pro tvorbu nitridu hliníku jsou významně ovlivněny teplotní historií lité a tvářené oceli. Kromě toho zde významně spolupůsobí vzájemný poměr hliníku rozpustného a obsahu dusíku, případně hodnota jejich součinu.

Mikroanalyticky jsme prokázali výrazné chemické nestejnorodosti v rozložení hliníku v oceli, ovlivněné pochody krystalizace a tuhnutí oceli. Prokázalo se také, že maximální a minimální obsahy hliníku v mikroblastech jsou závislé na hodnotě obsahu hliníku rozpustného, stanoveného běžným chemickým rozbořem. Při obsazích hliníku do 0,015 % je nutno počítat s mikroblastmi prakticky bez přítomného hliníku, což se promítá v hrubší austenitické zrna v těchto mikroblastech. Úvaha o možnosti vyloučení těchto chemických mikronestejností difúzním žháním je velmi problematická. Nepříznivě zde působí i velikost atemového poloměru hliníku, který je větší než u železa a udává se 0,128 μm . Prokázalo se také, že zvýšení hliníku rozpustného např. na 0,070 % vede ke tvorbě hrubších nitridů, které jsou málo účinné z hlediska odolnosti proti růstu zrna. Při obvyklých hmotnostních obsazích dusíku 0,007 až 0,012 % a hliníku rozpustného 0,010 až 0,030 % v nízkolegovaných nízkouhlíkových ocelích dochází za běžných podmínek výroby a zpracování pouze k částečné vazbě dusíku na hliník, jehož hodnota 0,005 % zajišťuje dobrou odolnost proti růstu zrna, například u oceli typu 16MnCr, která má běžnou velikost zrna 5 až 7 podle ASTM. Zbývající volný dusík v nízkolegovaných ocelích je vázán na nitridotvorné slitinové prvky jako chrom, mangan a molybden, případně i železo, tedy na prvky s relativně vysokým obsahem, ve srovnání s obsahem hliníku. Na druhé straně mají uváděné slitinové prvky podstatně nižší zápornou hodnotu volné entalpie ΔG pro vznik nitridu, ve srovnání s hliníkem a také menší stabilitu při ohřevu na austenitizační teplotu. Při austenitizačním ohřevu je podstatná část obsahu dusíku v nevázané formě v tuhém roztoku železa γ .

Uvedené nevýhody odstraňuje nízkolegovaná konstrukční ocel určená pro chemicko-tepelné zpracování a zušlechťování podle vynálezu. Podstata vynálezu spočívá v tom, že ocel obsahuje v množstvích podle hmotnosti 0,10 až 0,65 % uhlíku, 0,40 až 1,50 % manganu, stopy až 0,35 % křemíku, 0,30 až 1,50 % chromu, nečistoty jako je fosfor od stop do 0,035 % a síra od stop do 0,080 %, a dále 0,012 až 0,070 % dusíku a 0,003 až 0,050 % hliníku rozpustného, zbytek železo. Další zlepšení vlastností oceli lze docílit přísadou molybdenu 0,10 až 0,50 % hmotnosti, případně dále přísadou olova 0,04 až 0,30 % hmotnosti.

Výsledky orientačních zkoušek vedly k mikrolegování nízkolegované manganchromové oceli, určené pro chemicko-tepelné zpracování. Potvrdilo se především, že přísada dusíku přispívá k výraznému zjemnění austenitického zrna, zvyšuje prokalitelnost jak základní oceli, tak cementované vrstvy. Neméně významné je i zvýšení tvrdosti cementované vrstvy. To je dáno především tím, že přísada dusíku zvyšuje aktivitu uhlíku v austenitu. Tato otázka je závažná zejména u ocelí nízkolegovaných chromem, kdy dochází k potlačení výskytu karbidů chromu ve vrstvě, a tím ke zvýšení tvrdosti a prokalitelnosti.

Přísada dusíku dále vede ke snížení teplot přeměn, a tím i možnému použití nižších teplot chemicko-tepelného zpracování a teplot při kalení. Možné nižší kalicí teploty jednoznačně přispívají i k tvorbě menších deformací. Ve spojení s příznivými parametry prokalitelnosti jsou tak vytvořeny optimální předpoklady pro nižší ochlazovací rychlosti, a to i u rozměrnějších součástí.

Neméně významným efektem vyplývajícím z jemnozrné struktury při mikrolegování dusíkem jsou i příznivé hodnoty vrubové houževnatosti v kaleném stavu. Na druhé straně normalizační žíhání s pomalým ochlazováním vede k významnému snížení houževnatosti, a to především vlivem tvorby nitridů slitinových prvků. Zhoršená vrubová houževnatost zde vytváří vhodné podmínky pro dobrou obrobitelnost oceli.

Ocel podle příkladu složení obsahuje v hmotnostní koncentraci 0,16 % uhlíku, 0,78 % manganu, 0,35 % křemíku, 0,028 % síry, 0,95 % chromu, 0,018 % hliníku rozpustného, 0,033 % dusíku, zbytek železo. Ocel se vyrábí běžnými metalurgickými postupy. K legování dusíku je možno použít vhodné organické látky, nadusičené feroslitiny, případně i plynnou směs s dusíkem, resp. s jeho sloučeninou.

Ocel tohoto složení vykazuje tyto základní parametry:

Austenitické zrna	velikost podle ASTM	9/10
	práh hrubnutí °C	1 050 až 1 080
Prokalitelnost	J HV-11 mm	290
	cementovaná vrstva	
	J 58 HRC - mm	42
Vrubová houževnatost KCV	vzorek kalen 850 °C/olej	
	při 20 °C	popuštěn 180 °C/vzduch 60
J.cm ²	R _m z HV 1 245 MPa	

Jako další příklad složení uvádíme ocel s hmotnostním obsahem 0,17 % uhlíku, 1,06 % manganu, 0,34 % křemíku, 0,022 % fosforu, 0,020 % síry, 0,98 % chromu, 0,010 % hliníku rozpustného, 0,027 % dusíku, zbytek železo.

Ocel tohoto složení vykazuje tyto základní parametry:

Austenitické zrno	velikost podle ASTM	8/9
	práh hrubnutí °C	1 030 až 1 080
Prokalitelnost	J HV-11 mm	300
	cementovaná vrstva	
	J 58 HRC - mm	30
Vrubová houževnatost	vzorek kalen 850 °C/olej	
KCV při 20 °C - J.cm ⁻²	popuštěn 180 °C/vzduch	40
	R _m z HV 1 245 MPa	

viz další 2 příklady /ocel s Mo, ocel s Pb/

Z uváděného je zřejmé, že nízkolegovaná ocel podle vynálezu mikrolegovaná dusíkem, splňuje většinu nároků kladených na oceli pro chemicko-tepelné zpracování. S úspěchem může nahradit řadu značek ocelí legovaných málo dostupným molybdenem, případně nahradit část molybdenu nebo niklu v oceli. Ocel podle vynálezu je možno použít rovněž pro výrobu strojních součástí kalených a popuštěných, jako například pružin.

Ocel podle vynálezu je zvláště vhodná pro výrobu ozubených kol a dalších strojních součástí, které se podrobují chemicko-tepelnému zpracování s cílem dosažení vysoké tvrdosti funkčních ploch a s vysokými nároky na odolnost proti rázovému namáhání.

Ocel podle dalšího příkladu provedení obsahuje v hmotnostní koncentraci 0,20 % uhlíku, 0,29 % křemíku, 0,023 % fosforu, 0,018 % síry, 0,60 % chromu, 0,017 % hliníku rozpustného, 0,023 % dusíku a 0,22 % molybdenu, zbytek železo.

Ocel tohoto složení vykazuje tyto základní parametry:

Austenitické zrno	velikost podle ASTM	9/10
	práh hrubnutí °C	1 070 až 1 100
Prokalitelnost	J HV - 11 mm	315
	cementovaná vrstva	
	J 58 - HRC - mm	52
Vrubová houževnatost	vzorek kalen 850 °C/olej	
KCV při 20 °C J.cm ⁻²	popuštěn 180 °C/vzduch	65
	R _m z HV 1 320 MPa	

Ocel podle jiného příkladu provedení obsahuje v hmotnostní koncentraci 0,22 % uhlíku, 0,25 % křemíku, 0,019 % fosforu, 0,018 % síry, 0,80 % chromu, 0,019 % hliníku rozpustného, 0,025 % dusíku a 0,08 % olova, zbytek železo.

Ocel tohoto složení vykazuje tyto základní parametry:

Austenitické zrno	velikost podle ASTM	8/9
	práh hrubnutí °C	1 060 až 1 080
Prokalitelnost	J HV - 11 mm	330
	cementovaná vrstva	
	J 58 HRC - mm	45
Vrubová houževnatost	vzorek kalen 850 °C/olej	
KCV při 20 °C J. cm ⁻²	popuštěn 180 °C/vzduch	45
	R _m z HV 1 290 MPa	

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Konstrukční ocel určená pro chemicko-tepelné zpracování a zušlechťování, vyznačující se tím, že obsahuje v množstvích podle hmotnosti 0,10 až 0,65 % uhlíku, 0,40 až 1,50 % manganu, stopy až 0,35 % křemíku, 0,30 až 1,50 % chromu, nečistoty jako fosfor stopy až 0,035 % a síru stopy až 0,080 %, dále 0,012 až 0,070 % dusíku a 0,005 až 0,050 % hliníku rozpustného, zbytek železo.
2. Konstrukční ocel podle bodu 1, vyznačující se tím, že obsahuje 0,10 až 0,50 % hmotnosti molybdenu.
3. Konstrukční ocel podle bodu 1 a 2, vyznačující se tím, že obsahuje 0,04 až 0,30 % hmotnosti olova.