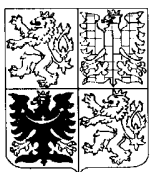


PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

zveřejněná podle § 31 zákona č. 527/1990 Sb.

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLového
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **12.09.1997**

(32) Datum podání prioritní přihlášky: **13.09.1996**

(31) Číslo prioritní přihlášky: **1996/19637464**

(33) Země priority: **DE**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **17.05.2000**
(Věstník č. 5/2000)

(86) PCT číslo: **PCT/DE97/02072**

(87) PCT číslo zveřejnění: **WO98/11262**

(21) Číslo dokumentu:

1999 -838

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl. ⁷:

C 21 D 9/30

C 21 D 5/00

C 21 D 1/09

(71) Přihlašovatel:

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E. V., München, DE;

(72) Původce:

Brenner Berndt, Pappritz, DE;
Wetzig Andreas, Dresden, DE;
Naunapper Dietmar, Oberrimsingen, DE;
Duschek Carsten, Dresden, DE;

(74) Zástupce:

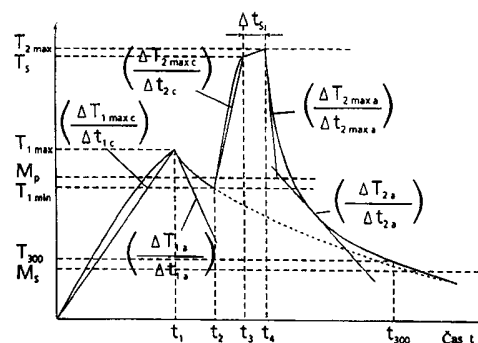
PATENTSERVIS PRAHA a.s., Jivenská 1, Praha 4,
140 00;

(54) Název přihlášky vynálezu:

**Vačková hřídel odolná proti opotřebení a
způsob její výroby**

(57) Anotace:

Předložené řešení se týká vačkové hřídele odolné proti opotřebení a způsobu její výroby. Vačková hřídel, odolná proti opotřebení je vyrobena z litiny a její okrajovou vrstvu tvoří ledeburitická přetavená vrstva s vysokým podílem cementitu a pod ní ležící martensitická vytvrzená zóna, přičemž a) přetavená vrstva je tvořená jemně disperzním ledeburistickým cementitem o síle stěny $\leq 1 \mu\text{m}$ a z kovové struktury ze směsi fází martensitu a/nebo bainitu, zbytkového austenitu jakož méně než 20 % jemného perlitu s mezidestičkovým odstupem $\leq 0,1 \mu\text{m}$ a b) vytvrzená vrstva je vytvořená ze směsi fází z martensitu a/nebo bainitu, narušeného perlitu a zbytkového austenitu. Způsob zhotovování vačkového hřídele odolné proti opotřebení spočívá ve vysokoenergetickém přetavování povrchu.



Proti opotřebení odolná vačková hřídel a způsob její výroby

Oblast techniky

Vynález se vztahuje na vytváření proti opotřebení vysoce odolných ledeburitických okrajových vrstev litinových strojních dílů. Předměty, u kterých je jeho použití možné nebo účelné, jsou všechny kluzné, mazané, opotřebováváním namáhané litinové díly. Zvláště výhodný je vynález pro výrobu dílů motorů a je použitelný například pro vačkové hřídele, vlečné páky, vahadla, vložky do válců a podobné díly.

Dosavadní stav techniky

Ledeburitické okrajové vrstvy mají velmi dobrou odolnost proti opotřebení při kluzném opotřebování za podmínek hydrodynamických nebo při polosuchém tření.

Je známo vytvářet takové vrstvy na vačkových hřídelích plazmovým přetavením (například Heck : Vliv provádění postupu přetavovacího vytvrzování na vlastnosti okrajových vrstev vačkových hřídelí z ledeburitické litiny, disertační práce, Mnichov 1983). Pro tento postup se plazmový hořák vede relativně pomalu s přibližně 125 - 225 mm/min a příčně ke směru posuvu s nízkou oscilační frekvencí o přibližně 0,7 - 2,2 Hz kývavě podél obvodu vačky. Použitá hustota energie činí zhruba asi 3000 W/cm². Tím se dosahují rychlosti ohřevu přibližně 200 - 750 K/s. Aby se zamezilo trhlinám, předehřívá se na teploty okolo 400°C.

Takto vyrobené vačky mají hrubou strukturu tuhnutí tvořenou relativně hrubým ledeburitickým (eutektickým) cementitem a perlitem v kovové struktuře. Navíc vznikají zóny popouštění charakterizované nevhodným poškozením vlastností přetavené struktury opětovným působením teploty vlivem pomalého kývání plazmového hořáku.

Nevýhodou takto vyrobených vačkových hřídelí je jejich nízká odolnost proti opotřebení. Důvod nízké odolnosti proti opotřebení je v hrubé struktuře a v přidavném zvýšení hrubosti struktury uvnitř popouštěcí zóny. Hlavním nedostatkem způsobu výroby je, že je příliš nízká rychlost tuhnutí. Příčinou je příliš nízká hustota energie, která si vynucuje práci s relativně nízkými rychlostmi posuvu.

Pro odstranění této vady je pro ledeburitické přetavení vačkových hřídelí známé používání rovněž vysoce energetických způsobů přetavování okrajové vrstvy, jako je přetavování laserovým paprskem (například : M. S. Mordike : „Základy a používání zušlechťování povrchu kovů laserem“, disertační práce, Clausthal-Zellerfeld, 1991; PS DE 42 37 484) nebo přetavované elektronovým paprskem (například PS DE 43 09 870). Pro tento účel se používá odpovídajícím způsobem tvarovaný paprsek energie (například obdélníkový; dvě ve směru posuvu oddělená obdélníková pole ozařování; bodový rastr; rastr s rozdílnými hustotami energie) vedený s konstantní nebo na lokálním poloměru zakřivení závislou rychlostí posuvu podél vačkové hřídele tak, že vznikne jedna tavenina rozprostírající se přes celou šířku vačky nebo rychle několik ve směru posuvu málo rozměrných tavenin. Přitom se používají hustoty energie od 10^3 do 10^5 W/cm². Rychlosti posuvu se pohybují mezi 500 až 2500 mm/min. Pro zamezení trhlin v zóně tavení se zdálo býti bezpodmínečně nutné, rozhodně předehtřívát na teploty od přibližně 360 do 550°C. Toto zpravidla probíhá v drahých průběžných pecích.

Přetavené oblasti vačky tvoří 0,3 mm až v průměru 0,8 mm hluboká zóna přetavení. Přetavená zóna obsahuje ledeburitický cementit a perlit v kovové struktuře. V zóně bezprostředně pod zónou tavení se vytváří při překročení teploty austenitizace, z důvodu pomalého ochlazování, nově perlitizovaná zóna o nepatrně vyšší tvrdosti než byla tvrdost výchozího stavu. Pokles tvrdosti začíná proto přímo na okraji zóny tavení a je relativně příkrý.

Nedostatkem takto vyrobených vaček je, že nedosahují pro takovou jemně dispersní tvorbu struktury ledeburitického cementitu vlastně dosažitelnou odolnost proti opotřebení.

Důvodem je, že perlit v kovové struktuře má menší odolnost proti opotřebení než cementit, a je proto slabým místem struktury.

Vadou způsobu je, že jak uvnitř zóny přetavování tak také v pod ní ležící nově austenitizující zóně vzniká perlit. Důvodem je, že pro vysokou přehřívací teplotu od 360⁰ do 550⁰C je rychlost ochlazování v teplotním rozsahu přibližně od 600⁰C do 450⁰C přes vysokou rychlost tuhnutí již tak malá, že se zbytkový austenit zcela rozpadá na relativně hrubý perlit.

Pro zatížení opotřebením optimální složení okrajové vrstvy naproti tomu vyžaduje složení vrstvy, kterou tvoří tenká vrstva blízko povrchu, která je schopná zachytit tribologickým zatížením vznikající adhezivní namáhání, plastické přetváření a cyklické pružně-plastické mikroproloužení, a pod ní ležící opěrné vrstvy, která zachycuje napětí vznikající Hertzovým tlakem. Další vadou způsobu proto je, že se tato opěrná vrstva může vytvořit také jen přetavovací vrstvou. K tomu nutná větší hloubka přetavování přináší vzhledem k nutné menší rychlosti posuvu ekonomické nevýhody.

Vačka se složením okrajové vrstvy lépe přizpůsobeným zátěži opotřebením se stala známou z PS EP 0 161 624. Okrajová vrstva vačky má cementitovou vrstvu s vysokým podílem cementitu a pod ní martensitovou vrstvu, přičemž má vrstva přetavování hloubku od 0,3 do 1,5 mm a pod ní ležící vytvrzovaná zóna tloušťku od 0,3 do 2,0 mm.

Základem způsobu je, že se vačky bez přehřívání nataví plazmovým obloukem a následně ztuhnou samovolným rychlým zchlazením. V následném PS (EP 0 194 506) se pro zrychlení ochlazení chladí přídavně centrálním olejovým vývrtem v podélné ose vačkové hřídele vodou nebo směsí vody a vzduchu.

Přehřívání se může bez důsledků na vytváření trhlin vypustit, protože se pracuje velmi nízkou energií 1360 - 2600 W při velmi nízkých rychlostech otáčení 0,7 až 1,0 O/min. Tyto odpovídají rychlosti posuvu 80 až 130 mm/min. Při těchto malých rychlostech

posuvu běží vnesené teplo před přetavovací stopou a proniká během přetavování velmi hluboko do vačky. Tím se redukuje rychlost rychlého ochlazování tak, že se již nedosahuje během ochlazování napětí pro vytváření trhlin. Malou rychlostí posuvu se však také redukuje rychlost tuhnutí, což vede k hrubšímu vytváření ledeburitického cementitu v porovnání s vačkami přetavenými laserovým nebo elektronovým paprskem.

Takto opracované vačky mají přes nízkou rychlost ochlazování proti vačkám přetavovaným s předeřhříváním plazmem zlepšenou odolnost proti opotřebení. Důvodem může být pouze to, že v kovové struktuře vzniklý perlit má pro svůj vznik během vyšší rychlosti ochlazování zřetelně jemnější vločkování. Potenciál možného zlepšení vlastností jemně disperzní tvorbou cementitu se však nemůže využít.

Vadou takto vyrobených vaček proto je, že nemají optimálně proti opotřebení odolné okrajové vrstvy. Příčinou je, vlivem nízké rychlosti tuhnutí, relativně hrubé vytváření struktury tuhnutí a vytváření popouštěcích zón.

Vadou způsobu je, že vlivem nízké hustoty energie a pomalé rychlosti posuvu vzniká pro jemně disperzní vytváření struktury příliš malá rychlost tuhnutí. Další vadou je, že struktura je makroskopicky nehomogenní a periodicky vykazuje ještě hrubší strukturu. Příčinou je obnovené lokální působení teploty v již silněji ochlazených oblastech až vysoko nad teplotu austenitizace vlivem velmi pomalého oscilačního pohybu plazmového hořáku.

Podstata vynálezu

Cílem vynálezu je navrhnout vačkovou hřídel lépe chráněnou před kluzným opotřebením a způsob její výroby.

Je úkolem vynálezu určit vytváření struktury a stavby okrajové vrstvy vačkových hřídelí a obdobně zatížených litinových dílů, které lépe vyhoví podmínkám panujícím při

zatížení kluzným opotřebením s vysokými zatíženími pnutím za podmínek hydrodynamického nebo polosuchého tření. Dále se má ozřejmit jemně disperzní strukturu vytvářející způsob, který pracuje s vysokou hustotou energie, zabrání i bez radikálního předehtřívání vytváření trhlin a současně relativně vysokou rychlostí ochlazování mezi 600⁰C a 350⁰C dalekosáhle potlačuje vytváření hrubého perlitu.

Vynálezem je tento úkol, jak je uvedeno v nárocích 1 a 2, řešen proti opotřebení odolnou litinovou vačkovou hřídelí, jejíž okrajová vrstva je tvořená ledeburitickou přetavovanou vrstvou s vysokým podílem cementitu a pod ní ležící martensitovou vytvrzovanou zónou.

Přetavovaná vrstva se skládá z jemně disperzního ledeburitického cementitu se silou stěn $\leq 1 \mu\text{m}$ a kovové struktury ze směsi fází martensitu a/nebo bainitu, zbytkového austenitu a z méně než 20% jemného perlitu s mezidestičkovou vzdáleností $\leq 1 \mu\text{m}$. Pod touto ležící vrstva se skládá ze směsi fází martensitu a/nebo bainitu, narušeného perlitu a zbytkového austenitu.

V nároku 2 uvedené hloubky t_s přetavené vrstvy jsou podle vynálezu o něco menší než je známo ze stavu techniky a využívají proto podpěrné působení pod ní ležící vrstvy ekonomicky výhodným způsobem.

Dále je úkol řešen způsobem výroby vačkové hřídele odolné proti opotřebení pomocí přetavovacího postupu vysokou energií, jak je uvedeno v nárocích 3 až 16.

V nároku 3 vysvětleným vynálezeckým překrýváním dvou krátkodobých teplotních cyklů T1 a T2 se daří řešit dosud stále trvající rozpor mezi požadavkem na vysokou rychlost tuhnutí a popouštění a relativně vysokou a nastavitelnou rychlost ochlazování mezi 600⁰C a 350⁰C na jedné straně a požadavkem na malou ochlazovací rychlost pod přibližně 300⁰C na straně druhé.

Tím se umožňuje jednak jemná struktura tuhnutí a jemně dispersní průběh přeměn při nastavitelném a relativně silném potlačení vzniku hrubého perlitu, jednak je teplota ochlazování v oblasti kritické pro vytváření trhlin dostatečně nízká, aby se trhlínám zamezilo.

Při prováděcím způsobu podle nároku 4 je výhodné, že je možné se pro vysokou teplotní fluktuaci během přetavování uvarovat popouštěcích zón.

V nároku 5 popsané účelné provedení vynálezu využívá skutečnost, že se mohou rychlou oscilací paprsku nastavit rozměry paprsku energie ve směru posuvu a kolmo k němu relativně flexibilně a nezávisle na sobě, a že při udaných oscilačních frekvencích je oscilace teploty dostatečně malá, aby zabránila vytváření zón popouštění. Tím se mohou i při širokých vačkách dosáhnout malé životnosti tavenin.

Nároky 6 a 8 až 13 udávají výhodné zdroje energie, které se mohou pro vynález použít.

Nároky 14 a 15 využívají výhodným způsobem skutečnost, že se může přes relativně malé změny chemického složení litiny měnit znatelně struktura podstatná pro vlastnosti kluzného opotřebení.

Výhodou provedení způsobu podle nároku 16 je, že se tyto malé změny chemického složení mohou i integrovat do procesu.

Vynález bude v následném příkladu provedení blíže vysvětlen.

Na k tomuto patřících výkresech je znázorněno vynálezecké překrývání dvou krátkodobých teplotních cyklů (obrázek 1), jakož schematické porovnání vynálezeckého průběhu teploty v závislosti na času s průběhem známým ze stavu techniky (obrázek 2).

Příklad 1 :

Litinová vačková hřídel s chemickým složením 2,5 ... 3,2 % C; 1,6 ... 2,5 % Si; 0,3 ... 1,0 % Mn; $\leq 0,2$ % P; $\leq 0,12$ % S; $\leq 0,6$ % Cu; $\leq 0,15$ % Ti; $\leq 0,2$ % Ni; $\leq 0,3$ % Cr; $\leq 0,3$ % Mo; $S_e \leq 0,9$ se má opatřit optimální proti opotřebení odolnou a hospodárně zhotovitelnou okrajovou vrstvou. Průměr vačky činí 36 mm a šířka vačky 14 mm. Tvrdost výchozí struktury činí 250 HV 0,05. Grafit je lamelový, struktura téměř zcela perlitická.

Na obrázku 1 je schematicky znázorněn realizovaný průběh teploty v čase. Jako způsob výroby cyklu teplota-čas T1 se volí induktivní vnášení energie. Generátorem je SV generátor s frekvencí 10 kHz. Induktorem je jednozávitový prstencový induktor se silou vinutí 8 mm x 8 mm a vazební vzdáleností 2,0 mm.

Zdrojem energie pro cyklus teplota-čas T2 je 5,0 kW CO₂-laser. Laserový paprsek se zaostřuje off-axisovým parabolickým zrcadlem s ohniskovou vzdáleností 400 mm. V částečně zaostřené oblasti záření se nalézá scanningové zrcadlo, kývající frekvencí $f = 200$ Hz příčně k směru posuvu laserového paprsku. Povrch vačky se nalézá 30 mm vně ohniska. Oscilační amplituda činí $A = 6$ mm při trojúhelníkovém pravidlu kmitání.

Po upnutí se vačková hřídel začne otáčet rychlostí otáčení 300 O/min. Indukční generátor se nastaví na výkon 70 kW. Hustota energie p_1 činí 4000 W/cm². Následně se zapne generátor na dobu trvání $t_1 = 1,0$ s.

Při střední rychlosti ohřevu ($\frac{\Delta T_{1 \max}}{\Delta t_{1c}} \approx 700$ K/s se dosáhne špičková teplota $T_{1 \max} \approx 700^\circ\text{C}$.

Po časovém intervalu $t_{21} = 0,9$ s, zatímco se povrch ochlazuje na teplotu $T_{1 \min} \approx 550^\circ\text{C}$, připne se jako zdroj energie S₂ laser. Laserový paprsek má rozměry 16 mm x 2,5 mm, což vytváří střední hustotu energie výstupu paprsku přibližně $1,15 \times 10^4$ W/cm².

Bezprostředně před připnutím laseru startují CNC- programovaný otočný pohyb vačky s relativní rychlostí posuvu laserového paprsku 600 mm/min, dále odpovídající vyrovnávací pohyby osy z , pro konstantní dodržování odstupu od ohniska, jakož i osy y pro zaručení kolmosti dopadu paprsků.

Po vypnutí laseru se ochladí vačka vzduchem. Tím, že teplotní pole induktivního předehřívání na začátku tavení laserovým paprskem zasahovalo pouze 3 mm do vačky, vystačuje samovolné prudké ochlazování, aby potlačilo průchozí nebo hrubé vytváření perlitu.

Výsledkem úpravy je 0,4 mm tlustá ledeburitická vrstva se střední tvrdostí 780 HV_{0,05}. Je tvořená jemně disperzním cementitem se silou stěny asi 1 μ m, zbytkovým austenitem, martensitem a bainitem. Obsah perlitu je menší než 20 %. Pod touto se napojuje martensitická podpěrná vrstva tlustá 0,65 mm. V ní klesá tvrdost kontinuálně z 780 HV_{0,05} na 400 HV_{0,05}. Je převážně tvořená martensitem, zbytkovým austenitem, bainitem a narušeným perlitem. Okrajové vrstvy jsou bez trhlin.

Zkoumání opotřebení testem mazaného kluzného opotřebování prokázalo, v porovnání se zkouškami konvenčně v peci při 450⁰C předehřívány a návazně při shodných parametrech laserem přetavovanými, zvýšení nosnosti zatížení o 20 %.

Změnami předehřívací doby t_1 cyklu teplota-čas T_1 k delší době a špičkové teploty $T_{1\max}$ k vyšším teplotám se mohou měnit obsahy martensitu, austenitu, bainitu a perlitu. Tak se může například bez porušení myšlenky vynálezu nastavit pro namáhání opotřebováním při vyšších teplotách vyšší obsah perlitu. Zvýšením rychlosti posuvu laseru se může navíc utvářet ještě jemněji dispersní cementit.

Na obrázku 2 se srovnává vynálezecký způsob se stavem techniky. Konvenční plazmové přetavování po předehřívání v peci (krátce čárkovaná čára) má relativně dlouhou

životnost taveniny Δt_s , malou rychlost rychlého ochlazování ($\frac{\Delta T_{2a}}{\Delta t_{2a}}$) při tuhnutí a malou rychlost ochlazování ($\frac{\Delta T_{2a}}{\Delta t_{2a}}$) v oblasti teploty pro vytváření perlitu M_p .

Vlivem dlouhé životnosti taveniny a malé rychlosti rychlého ochlazování je uzpůsobení cementitu velmi hrubé. Malá rychlost ochlazování v oblasti vytváření perlitu M_p , vlivem malého rozdílu teploty s konvenční předehřívací teplotou T_v , způsobuje vznik hrubého perlitu.

Nepoužíváním předehřívání se může i při plazmovém přetavování v oblasti teploty M_p potlačit vytváření hrubého perlitu (dlouze čárkovaná čára) a může se zachovat martensitická podpěrná vrstva vlivem dostatečně rychlého proběhnutí bodem M_s . Tato výhoda je ovšem vykoupěna pomalým ohřevem, delší životností taveniny a ještě o něco menší rychlostí rychlého ochlazování, což má za následek vznik ještě o něco hrubšího cementitu.

Tavení laserovým nebo elektronovým paprskem po konvenčním předehřívání (čerchovaná čára) vykazuje velmi vysoké rychlosti ohřevu, malé životnosti taveniny a velké rychlosti tuhnutí a rychlého ochlazování, které způsobují jemnější uzpůsobení cementitu. Pro vysokou konvenční předehřívací teplotu T_v je ale i zde v teplotní oblasti M_p tak malá ochlazovací rychlost, že vzniká relativně hrubý perlit.

Dodržování vynálezeckého průběhu teploty (plná čára) se naproti tomu mohou maximální rychlosti ohřevu, krátké životnosti taveniny a vysoká rychlost rychlého ochlazování kombinovat s dostatečně vysokou rychlostí ochlazování M_p , což umožňuje výrobu proti opotřebením optimálně odolných struktur. Dalšími výhodami kombinačních variací podle vynálezu jsou, že

- nejsou nutné drahé průchozí předehřívací pece a ochlazovací linky
- se struktury dají vytvořit v širší oblasti variací
- krátkou životností taveniny se dosahuje lepší přesnosti hran zejména v okolí břicha vačky, což snižuje náklady na další opracování.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Proti opotřebení odolná litinová vačková hřídel, jejíž okrajovou vrstvu tvoří ledeburitická přetavená vrstva s vysokým podílem cementitu a pod ní ležící martensitická vytvrzená zóna, v y z n a č u j í c í s e t í m , že
 - a. přetavená vrstva je utvořená z jemně disperzního ledeburitického cementitu o síle stěny $\leq 1\mu\text{m}$ a kovové složky z fázové směsi martensitu, a/nebo bainitu, zbytkového austenitu jakož z méně než 20 % jemného perlitu s lamelovým odstupem $\leq 0,1\mu\text{m}$ a
 - b. vytvrzená vrstva je vytvořená z fázové směsi z martensitu a/nebo bainitu, narušeného perlitu jakož ze zbytkového austenitu.
2. Proti opotřebení odolná vačková hřídel podle nároku 1 , v y z n a č u j í c í s e t í m , že přetavená vrstva má hloubku t_s $0,25\text{ mm} \leq t_s \leq 0,8\text{ mm}$ a vytvrzená vrstva hloubku $0,5\text{ mm} \leq t_s \leq 1,5\text{ mm}$.
3. Způsob výroby proti opotřebení odolných vačkových hřídelí podle nároku 1 a 2 pomocí způsobu přetavování povrchu vysokou energií, v y z n a č u j í c í s e t í m , že
 - a. teplotní-časový průběh přetavování je tvořen dvěma překrývajícími se krátkodobými teplotními dobovými cykly T_1 a T_2 vytvářenými dvěma různými zdroji energie S_1 a S_2 o rozdílné hustotě energie p_1 a p_2 ,
 - b. teplotní-časový cyklus T_1 dosahuje špičkovou teplotu $T_{1\text{max}} 560^\circ\text{C} \leq T_{1\text{max}} \leq 980^\circ\text{C}$, dobu ohřevu $0,5\text{ s} \leq t_1 \leq 6\text{ s}$, střední rychlost ohřevu $(\frac{\Delta T_{1\text{maxc}}}{\Delta t_{1c}})$ od $90\text{ K/s} \leq (\frac{\Delta T_{1\text{maxc}}}{\Delta t_{1c}}) \leq 1900\text{ K/s}$ a počáteční rychlost rychlého ochlazování $(\frac{\Delta T_{1a}}{\Delta t_{1a}})$ od $50\text{ K/s} \leq (\frac{\Delta T_{1a}}{\Delta t_{1a}}) \leq 500\text{ K/s}$ a hustota energie p_1 zdroje energie S_1 dosahuje hodnoty $8 \times 10^2\text{ W/cm}^2 \leq p_1 \leq 8 \times 10^3\text{ W/cm}^2$,

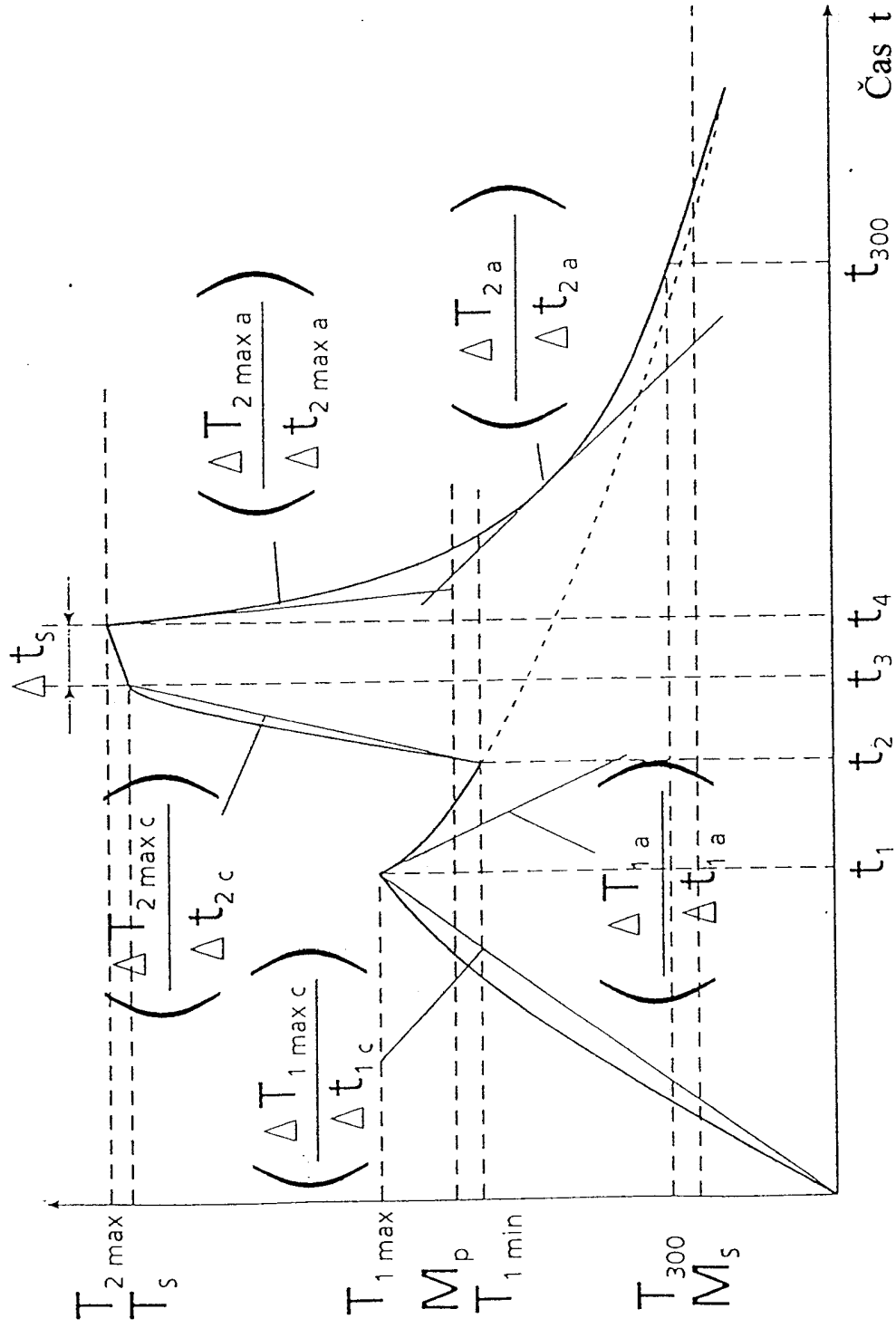
- c. cyklus teplota-čas T_2 má špičkovou teplotu T_{2max} o $T_{2max} \geq T_s$, přičemž T_s znázorňuje tavicí teplotu použité litiny a že se volí střední teplota zahřívání
- $$\left(\frac{\Delta T_{2maxc}}{\Delta t_{2c}} \right) \text{ od } 3000 \text{ K/s} \leq \left(\frac{\Delta T_{2maxc}}{\Delta t_{2c}} \right) \leq 40\,000 \text{ K/s, rychlost tuhnutí}$$
- taveniny v_s od $10 \text{ mm/s} \leq v_s \leq 67 \text{ mm/s}$ jakož hustotu energie p_2 zdroje energie S_2 od $0,8 \times 10^4 \text{ W/cm}^2 \leq p_2 \leq 8 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$,
- d. časový interval $t_{21} = t_2 - t_1$ po kterém začíná cyklus teplota-čas T_2 obnáší
- $$0,3s \leq t_{21} \leq 11s,$$
- e. teplota T_{1min} , při které začíná cyklus teplota-čas, činí $T_{1min} > 500^\circ\text{C}$,
- f. životnost taveniny leží mezi hodnotami $0,08s \leq \Delta t_s \leq 0,8s$
- g. a že rychlost posuvu v_B zdroje vysoké energie S_2 dosahuje hodnoty 600 mm/min
- $$\leq v_B \leq 4000 \text{ mm/min}.$$
4. Způsob podle nároku 3, v y z n a č u j í c í s e t í m, že se celá šířka vačkové hřídele natavuje v jednom oběhu.
5. Způsob podle nároku 3 a 4, v y z n a č u j í c í s e t í m, že nutné rozdělení hustoty energie p_2 se vytváří příčně k směru posuvu rychlou oscilací, přičemž oscilační kmitočet činí minimálně 200 Hz.
6. Způsob podle nároku 3, v y z n a č u j í c í s e t í m, že zdrojem vysoké energie S_2 je laser.
7. Způsob podle nároku 3, 4, 5 a 6, v y z n a č u j í c í s e t í m, že rychlá oscilace paprsku se vytváří rychlým bočním a periodickým sledem několika harmonických složek kmitů rozdílné frekvence f , amplitudy A , středu kývání A_0 a počtu period n_p přičemž počet rozdílných složek kmitů se volí mezi 1 a 8 a počet period $1 \leq n_p \leq 20$.

19.03.99

878-99

- 12 -

8. Způsob podle nároku 3 a 6, v y z n a č u j í c í s e t í m, že zdrojem energie S_1 je středofrekvenční indukční generátor.
9. Způsob podle nároku 3, v y z n a č u j í c í s e t í m, že zdrojem vysoké energie S_2 je elektronový paprsek.
10. Způsob podle nároku 3 a 9, v y z n a č u j í c í s e t í m, že zdrojem energie S_1 je rovněž elektronový paprsek.
11. Způsob podle nároku 3, v y z n a č u j í c í s e t í m, že zdrojem vysoké energie S_2 je sestava vysoko výkonného diodového laseru.
12. Způsob podle nároku 3 a 11, v y z n a č u j í c í s e t í m, že zdrojem energie S_1 je rovněž sestava vysoce výkonného diodového laseru.
13. Způsob podle nároku 3, 11 a 12, v y z n a č u j í c í s e t í m, že zdroj energie S_1 je tvořen několika, rotačně symetricky okolo vačkové hřídele uspořádaných sestav vysoce výkonných diodových laserů a že vačková hřídel se předeřívá ve stabilní poloze.
14. Způsob podle nároku 3, v y z n a č u j í c í s e t í m, že se tavenině pro lití vačkových hřídelí přisazují prvky stabilizující cementit.
15. Způsob podle nároku 3, v y z n a č u j í c í s e t í m, že se tavenině pro lití vačkových hřídelí přisazují prvky stabilizující austenit.
16. Způsob podle nároku 3, v y z n a č u j í c í s e t í m, že se prvky stabilizující cementit a/nebo austenit přidávají vysoce výkonným energetickým zdrojem S_2 během přetavování okrajové vrstvy.



Obrázek 1 : Schematické znázornění vynálezeckého cyklu teplota - čas

Obrázek 2 : Schematické porovnání vynálezeckého cyklu teplota - čas
s cyklem teplota - čas známého ze stavu techniky

