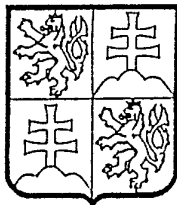


ČESKÁ A SLOVENSKÁ
FEDERATIVNÍ
REPUBLIKA
(19)



FEDERÁLNÍ ÚŘAD
PRO VYNÁLEZY

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu :

276 979

(21) Číslo přihlášky : 1304-86
(22) Přihlášeno : 25.02.86
(30) Prioritní data : 25.02.85 - US -
- 85/704702

(13) Druh dokumentu : B6

(51) Int. Cl.⁵ :

C 21 D 8/12

(40) Zveřejněno : 19.02.92
(47) Uděleno : 30.09.92
(24) Oznámeno udělení ve Věstníku : 18.11.92

(73) Majitel patentu : ARMCO Inc., Ohio, US

(72) Původce vynálezu : Schoen Jerry W., Ohio, US

(54) Název vynálezu : Způsob výroby orientovaného pásku nebo plechu z křemíkové oceli s orientací ve směru hrany elementární krychle z kontinuálně litých brám

(57) Anotace :

Bramy se předválcovávají při teplotě nepřesahující 1673 K s redukcí tloušťky až 50 % a předválcované bramy se opět zahřejí na teplotu 1533 K až 1673 K před válcováním za tepla. Předválcovací teplota, procento redukce při předválcování a teplota opětného ohřevu se volí na sobě závisle podle specifické rovnice k řízení míry deformace při předválcování a k získání středního průměru zrna nepřesahujícího přibližně 9 mm po opětném ohřevu.

Vynález se týká způsobu výroby pásku a plechu z křemíkové oceli s orientací ve směru hrany elementární krychle pro magnetické aplikace. Milerovými indexy je orientace ve směru hrany krychle vyznačena /110/ [001]. Způsobem podle vynálezu se vyrábí jak materiál běžné třídy, tak materiál s velkou permeabilitou obsahující od přibližně 2 % do 4 % křemíku a s rovnoměrnými magnetickými vlastnostmi z kontinuálně litých bram o tloušťce vhodné pro přímé válcování za tepla.

Jak je popsáno v americkém patentovém spisu číslo 3 764 406 z 9. října 1973 /M.F. Littmann/, vyrábí se pásek nebo plech z křemíkové oceli s orientací ve směru elementární krychle zpravidla natavením křemíkové oceli vhodného složení, rafinací, odlitím a válcováním ingotů nebo bram za tepla na pásy o tloušťce přibližně 0,25 až přibližně 0,35 mm, dekarburizací kontinuálním žiháním ve vlhké atmosféře vodíku, povlečením žihacím separátorem a žiháním v zábalu po několik hodin v suchém vodíku při teplotě nad přibližně 1100 °C.

K získání materiálu s vysokým stupněm orientace ve směru hrany elementární krychle, je nutno před vysokoteplotní částí konečného žihání v obalu, při němž dochází k sekundární rekryсталizaci, splnit 2 podmínky:

- 1/ Vhodnou strukturu úplně rekryсталovaných zrn s dostatečným počtem těchto zrn majících konečnou orientaci ve směru hrany elementární krychle;
- 2/ Přítomnosti inhibitorů v podobě malých, rovnoměrně rozdělených vměstků, které brání růstu primárních zrn v počátečních fázích žihání dokud nenastane čilý sekundární růst v průběhu druhé, vysokoteplotní části žihání.

V průběhu druhé části konečného žihání s růstem zrn, zkonsumují zrna orientovaná ve směru hrany elementární krychle ostatní, jinak orientovaná zrna v základní hmotě.

Patent USA č. 2,599,340 z 3. června 1952 /M.F. Littmann a spol./ popisuje postup výroby plechu z křemíkové oceli orientovaného ve směru hrany elementární krychle, kde se zahřívají bramy vyválnované z ingotů na teplotu nad asi 1260 °C a zvláště mezi 1350 až asi 1400 °C před válcováním za tepla. Tato operace nejen že připraví kov pro válcování za tepla, ale také rozpustí přítomný inhibitor, takže při následném válcování za tepla je inhibitor vyloučen v žádoucím tvaru malých, rovnoměrně rozdělených vměstků; čímž se vyhovuje jedné ze dvou nezbytných podmínek k získání materiálu se silnou orientací ve směru hrany elementární krychle. Inhibitorem primárního růstu zrn je zpravidla sulfid manganu, dá se však použít i jiných inhibitorů, jako selenidu manganu, nitridu hliníku nebo jejich směsí.

Kontinuální lití na souvislé nebo jednotlivé bramy v tloušťce vhodné k přímému válcování za tepla je výhodné ve srovnání s odléváním ingotů, neboť se tím zabraňuje ztrátám kovu v patní a hlavové části běžného ingotu, které musí být normálně odděleny a snižuje se tím míra redukce průřezu za tepla potřebná k dosažení tloušťky pásu válcovaného za tepla. Jestliže se však

vyrábějí kontinuálním litím bramy z křemíkové oceli, vznikne kolumnární struktura zrn zasahujících od povrchu až téměř do středu bramy s poměrně úzkým jádrem nebo pásmem rovnoosých zrn uprostřed. Jestliže se taková brama zahřeje na asi 1300 °C před válcováním za tepla postupem popsaným v uvedeném patentu USA č. 2,599,340, nastane nadměrný růst zrna. Střední průměr zrn po novém ohřevu nad 1300 °C je asi 25 mm /asi 0,5 až 1,0 velikosti zrna podle ASTM při zvětšení 1x/. Při porovnání je střední průměr zrn v bramách válcovaných z ingotů po novém ohřevu nad 1300 °C asi 10 mm.

Dříve uvedený patent USA č. 3,764,406 řeší tento problém nadměrného růstu zrna ohřevem odlité bramy na teplotu nejméně asi 750 °C, ale pod 1250 °C s počátečním převálcováním bramy při redukci tloušťky 5 až 50 %, načež následuje běžný nový ohřev bramy na teplotu mezi 1260 až 1400 °C před komerčním válcováním za tepla. Toto tepelné zpracování a předběžné válcování umožňuje dosáhnout středního průměru zrn asi 7 mm nebo méně po ohřevu nad 1300 °C před válcováním za tepla. To mělo okamžitě blahodárný vliv na vývoj textury konečného produktu a zabezpečilo silně zlepšenou rovnoměrnost magnetických vlastností. Podle tohoto vynálezu je počáteční ohřev bramy na asi 850 °C až asi 1150 °C a redukce průřezu je s výhodou mezi asi 10 % a 50 % a výhodněji asi 25 %. Řádky 10 až 14 ve sloupci 7 naznačují, že s rostoucí redukcí průřezu nad 25 % klesá postupně výhodnost velikosti zrna znovu ohřáté bramy.

Velmi podobný postup podle USA patentu 3,764,406 byl patentován 15. října 1974 podle USA patentu 3,841,924 /A. Sakakura/, přičemž brama se ohřeje zpočátku na 1300 °C a podrobí se "rozdřobovacímu válcování" /převálcování/ při redukci mezi 30 až 70 % před běžným válcováním za tepla. Ve specifickém příkladu byla brama zpočátku ohřata na 1230 °C a pak byla podrobena převálcování.

Podle USA patentu 3,841,924 obsahuje výchozí materiál max. 0,085 % C; 2,0 až 4,0 % Si, 0,010 až 0,065 % v kyselině rozpustného hliníku, zbytek železo a obvyklé nečistoty. Poměrně vysoký obsah uhlíku při postupu podle tohoto patentu napomáhá čelit neúplné rekrytalizaci spojené s velkými zrny v litých bramách. V řádcích 6 a 9 sloupce 3 se konstatuje, že překročí-li teplota ohřevu bramy 1300 °C, naroste hrubá kolumnární struktura a následným rozdřobovacím postupem se nezíská žádný významný efekt.

Tento patent připouští po opětovném ohřevu poměrně velký střední průměr zrna, požaduje se pouze, aby více než 80 % zrn po opětovném ohřevu nepřekročilo v průměru 25 mm.

Podle USA patentu č. 4,108,694 se zavádí elektromagnetické míchání při kontinuálním lití bram, jež se zařazuje k zabránění nadměrnému růstu zrn v centrální rovnoosé zóně bramy po následném

ohřevu na 1300 až 1400 °C před válcováním za tepla. Tvrdí se, že se to okamžitě projeví ve zlepšených magnetických vlastnostech finálního výrobku. Ve svém účinku je elektromagnetické míchání totožné s ultrazvukovou vibrací, očkovaním nebo litím při teplotě velmi blízké teplotě solidu kovu.

I když USA patent č. 3,764,406 úspěšně vyřešil problém nadměrného růstu zrn po opětném ohřevu nad asi 1300 °C před válcováním za tepla, vyžaduje proces zvláštní zařízení k výchozímu ohřevu v rozmezí 750 až asi 1250 °C. Bez takového zvláštního zařízení by praxe podle patentu USA č. 3,764,406 vedla ke snížené produkci a zvýšeným nákladům na nový ohřev brám a válcování za tepla omezením pohotové kapacity pece pro opětovný ohřev brám nad asi 1300 °C před válcováním za tepla.

Je tedy dále nutno zlepšovat proces výroby orientovaného pásu a plechu z křemíkaté oceli z kontinuálně litých brám s běžným zařízením, kterým se zmenší zatížení hrubovací válcovací stolice a umožní se rychlejší ohřev brám před válcováním za tepla.

Tento vynález je založen na objevu, že je možné předválcovat za teploty podstatně vyšší než 1250 °C /1523 K/, což je maximum u patentu USA č. 3,764,406 a přesto dosáhnout požadované velikosti rekrystalizovaných zrn před počátkem válcování. Vyšší teploty předválcování možné podle tohoto vynálezu snižují zatížení hrubovací stolice a umožňují rychlejší ohřev před válcováním za tepla, protože předválcované bramy jsou teplejší, když jsou podrobeny konečnému stádiu ohřevu brám před válcováním za tepla. Tento postup tudíž snižuje na minimum nebo může dokonce vyloučit operaci opětného ohřevu a zbránit tak nutnosti vytápění dvou pecí na dvě různé teploty. Přihlašovatel na základě výsledků studia kumulace energie, rekrystalizace a růstu zrn zjistil, že předválcování je účinné v daleko širším oboru podmínek než bylo původně považováno za možné, a že optimální podmínky předválcování závisí na teplotě opětného ohřevu bramy. Zde se označení předválcování používá pro výchozí redukci za tepla, kterou je možno provést v běžné praxi na obyčejné hrubovací válcovací stolici. V laboratoři se dá použít válcovací stolice k válcování za tepla.

Podle vynálezu jde o způsob výroby orientovaných pásů a plechů z křemíkové oceli s orientací ve směru hrany elementární krychle z brám vzniklých kontinuálním litím, který sestává z těchto operací: předválcování kontinuálně odlité bramy z oceli se 2 až 4 % Si a o tloušťce 10 až 30 cm při zvýšené teplotě s 50 % redukcí průřezu,

- opětného ohřevu této předválcované bramy na teplotu mezi 1260 °C až 1400 °C /1633 až 1673 K/,
 - redukování za tepla na tloušťku za tepla válcovaného pásu,
 - redukování za studena na konečnou tloušťku nejméně jedním tahem,
 - dekarburizace,
 - konečného žíhání za podmínek ovlivňujících sekundární rekrystalizaci
- vyznačený tím, že omezuje teplotu předválcování bramy na max.

1400 °C /1673 K/, procento redukce předválcování a uvádí do souvislosti teplotu předválcování bramy, procento redukce při předválcování a teplotu opětného ohřevu, přičemž řídí míru deformace při předválcování a dosahuje střední průměr rekrytalizovaných zrn max. 9 mm po následném ohřevu podle rovnice:

$$/K^*/^{-1} = /T_{SR}/ \times \ln \left[\dot{\epsilon}^{0,15} \exp \frac{7616}{T_{PR}} \ln \left(\frac{t_i}{t_f} \right) \right] \geq 6400,$$

kde

$/K^*/^{-1}$ = parametr deformace/rekrytalizace
 T_{SR} = teplota následného ohřevu bramy K
 $\dot{\epsilon}$ = míra deformace při předválcování
 T_{PR} = teplota předválcování K
 t_i = tloušťka bramy v litém stavu
 t_f = tloušťka předválcované bramy

Následující obrázky znázorňují:

Obr. 1 je průřez kontinuálně odlité bramy o tloušťce 20 cm z křemíkové oceli v litém stavu, zvětšení 0,25 x.

Obr. 2a až 2e leptané výbrusy /zvětšení 5 x/ příčných řezů krychlí o straně 70 mm odebraných z tavby kontinuálně lité bramy o tloušťce 20 cm /Označení A v tabulce I/, přičemž každý snímek zachycuje jinou teplotu následného ohřevu od teploty 1230 °C do 1400 °C /1503 K do 1673 K/ bez předválcování /to je nikoliv podle vynálezu/.

Obr. 2f až 2j jsou snímky jiné tavby /Označení I v tabulce I/ podrobné stejným podmínkám jako na obr. 2a až 2e.

Obr. 3a až 3c snímky zvětšení 1 x leptaných příčných řezů krychlí o hraně 70 mm odebraných z povrchu tavby /označení A v tabulce I/ kontinuálně odlité bramy o tloušťce 20 cm předválcované při redukci 50 % při teplotě 1150 °C, 1290 °C a 1370 °C /1423 K, 1563 K a 1643 K/ a následně ohřáté na 1400 °C /1673 K/ podle vynálezu.

Obr. 4 je grafické porovnání středního průměru zrn po následném ohřevu na 1400 °C /1673 K/ s teplotou předehřevu k předválcování.

Obr. 5 je grafické porovnání středního průměru zrna po následném ohřevu na 1290 °C /1563 K/ a teploty předválcování včetně procenta redukce.

Obr. 6 je grafické znázornění vlivu parametru deformace/rekrytalizace na velikost rekrytalizovaných zrn po následném ohřevu na různé teploty.

Přihlašovatel provedl studie, z nichž vyplynulo, že nadměrný růst zrn při následném ohřevu kontinuálně odlitých bram před válcováním za tepla vyplývá z nadměrné substrukтуры vyvolané deformacemi vnesenými v průběhu kontinuálního lití a po něm.

Předválcování před následným ohřevem bram zjemňuje velikost zrn v následně zahřáté bramě /před válcováním za tepla/ tím, že jí uděluje dostatečnou přídavnou plastickou deformaci nebo deformační energii k tomu, aby mohly nastat procesy rekrytalizace a růstu zrna s vyšší energií.

Model, na němž vynález spočívá, kombinuje účinek procenta redukce způsobeného předválcováním a mezí kluzu za vysoké teploty /tj. teploty předválcování/ k výpočtu skutečné deformační energie nahromaděné při předválcování. Do modelu je také zahrnut vliv teploty následného ohřevu před válcováním za tepla na uvolnění této nahromaděné energie a na výslednou velikost rekrytalovaného zrna.

Na základě publikovaných prací jiných autorů se dá energie vynaložená při válcování pásky vypočítat, jak dále uvedeno /za předpokladu, že ztráty třením při válcování jsou nulové, že teplota v tloušťce bramy je rovnoměrná, a že deformace jsou rozloženy v tloušťce bramy rovnoměrně/:

$$W = \delta_c \ln \left[\frac{1}{1-R} \right] \quad /1/,$$

kde

W = práce vynaložená na redukci

δ_c = mez kluzu deformované bramy

R = redukce /v desetinách nebo procentech/.

Skutečnou deformaci lze vypočíst jako

$$\xi = KW \quad /2/,$$

kde

ξ = skutečná deformace

K = konstanta.

Z kombinace obou rovnic dostaneme

$$\xi = K \delta_c \ln \left(\frac{t_i}{t_f} \right) \quad /3/,$$

kde

t_i = tloušťka bramy v litém stavu

t_f = tloušťka předválcované bramy.

Mez kluzu δ_c deformované bramy závisí na mezi kluzu materiálu před jeho deformací. Při válcování za tepla nastává dynamicky zotavování a ke zpevnění tvářením nedochází. Avšak mez kluzu za zvýšených teplot závisí výrazně na teplotě a míře deformace.

Přihlašovatel se rozhodl pro řešení Zener-Hollomanovou závislostí, která popisuje vliv teploty a míry deformace na mez

kluzu $\delta_{0,2}$ křemíkaté oceli s 3,1 % Si netexturovaného primárně rekrytalovaného materiálu při teplotě nad asi 537 °C takto:

$$\delta_T = 4,019 \quad 0,15 \exp \left[\frac{7616}{T_{PR}} \right] \quad /4/,$$

kde

$\dot{\xi}$ = rychlost deformace

T_{PR} = teplota předválnování /K/

δ_T = mez kluzu kompenzovaná teplotou a rychlostí deformace.

Pro účely tohoto vynálezu je δ_T dosazeno do rovnice /3/ za δ_C , čímž se získá:

$$\xi = K' \dot{\xi}^{0,15} \exp \left[\frac{7616}{T_{PR}} \right] \ln \left(\frac{t_i}{t_f} \right) \quad /5/,$$

kde $K' = 4,019 K$.

V jedné dřívější publikaci je závislost pro střední rychlost deformace ($\dot{\xi}$) při válcování za tepla vztažena k poloměru r /v palcích/ válce a k otáčkám válce n (1/sec) a k výchozí a konečné tloušťce t_i , t_f / takto:

$$\dot{\xi} = \frac{2\pi r n}{\sqrt{r t_i}} \sqrt{\frac{t_i - t_f}{t_i}} \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{t_i - t_f}{t_i} \right) \right] \quad /6/$$

Rovnice /6/ lze upravit, zjednodušit a zkombinovat s rovnicí /5/ substitucí $\dot{\xi}$ za ξ

$$\frac{\xi}{K'} = \left\{ \frac{2\pi n}{t_i} \sqrt{r(t_i - t_f)} \left[1,25 - \frac{t_f}{4 t_i} \right] \right\}^{0,15} \exp \left(\frac{7616}{T_{PR}} \right) \cdot \ln \left(\frac{t_i}{t_f} \right) \quad /7/.$$

Konečným členem modelu je závislost mezi válcovací deformací / ξ /, velikostí zrna d_{REX} po novém ohřevu T_{SR} /

$$d_{REX} = \xi^{-1} d_o^{0,67} D \quad /8/,$$

kde

ξ = deformace

d_o = výchozí velikost zrna

D = rychlost tvoření rekrytalizačních zárodků a růstu zrna

$$D = D_o \exp \left[\frac{-Q_{REX}}{R T_{SR}} \right] \quad /9/,$$

kde

R = Boltzmannova konstanta

Q_{REX} = aktivací energie tvoření zárodků a růstu zrn

T_{SR} = teplota ohřevu bramy /K/.

Pro účely tohoto vynálezu bylo zjištěno, že změny d_0 nemají významný vliv, takže d_0 se dá z rovnice 8 vypustit, jak vysvětlíme dále. Rovnice 8 se tak zredukuje na tvar

$$d_{\text{REX}} = C \xi^{-1} D \quad /8a/,$$

kde

C = konstanta.

Rovnici 8a lze upravit na

$$\frac{1}{T_{\text{SR}}} = \left(\frac{R}{-Q} \right) \ln \cdot \frac{d_{\text{REX}} \xi}{C} \quad /10/.$$

Za předpokladu, že požadujeme, aby velikost rekrystalizovaného zrna byla konstantní [$d_{\text{REX}} \leq 9 \text{ mm}$], dá se rovnice /10/ psát takto:

$$\frac{1}{T_{\text{SR}}} = C' \ln \xi \quad /10a/,$$

kde

$$C' = - \frac{R}{Q} \ln \frac{d_{\text{REX}}}{C} = \text{konst.}, \text{ nebo}$$

$$\frac{1}{C'} = T_{\text{SR}} \ln \xi \quad /10 b/.$$

Substitucí rovnice 5 do rovnice 10b dostaneme jediný sjednocený výraz:

$$/K^*/^{-1} = (T_{\text{SR}}) \ln \left[\dot{\xi}^{0,15} \exp\left(\frac{7616}{T_{\text{PR}}}\right) \ln \left(\frac{t_i}{t_f}\right) \right] \quad /11/,$$

kde

$/K^*/^{-1}$ = parametr deformace/rekrystalizace

$$\frac{a}{/K^*/^{-1}} = T_{\text{SR}} \ln \xi \quad /11a/.$$

Byla provedena řada oddělených pokusů s předválcováním a následným ohřevem, kde byly vzorky bram odebrány z povrchové oblasti s kolumnárními zrny bram v litém stavu. Na obr. 1 je oblast s kolumnárními zrny na každém povrchu. Vzorky byly rozře-

zány na krychle s jmenovitou hranou 70 mm a ohřáty na teplotu předválcování za 1 hod. v atmosféře dusíku, předválcovány jedním tahem a pak bezprostředně přeloženy a znovu ohřáty na požadovanou teplotu ohřevu brám za 1 hod. v atmosféře dusíku. Předválcovacím strojem byla laboratorní válcovací stolice k válcování za tepla s válci o ϕ 24,1 cm pracující s $n = 32$ ot/min. Po ochlazení na vzduchu byly vzorky přeríznuty na polovinu, napříč směru válcování a leptány v kyselině chlorovodíkové a fluorovodíkové k vyvolání struktury zrna.

Složení taveb, použitých při těchto zkouškách, je v tabulce I.

Pokus číslo 1 se týká předválcovací teploty a redukce s následným ohřevem bramy na 1400 °C /1673 K/.

Pokus číslo 2 studuje předválcovací teplotu a redukci s následným ohřevem bramy na 1290 °C /1563 K/.

Pokus číslo 3 se týká předválcovací teploty a interakce s teplotou následného ohřevu.

V následujících tabulkách jsou shrnuty podmínky všech tří pokusů.

Pokus č.1

Teplota následného ohřevu bramy 1400 °C /1673 K/

Materiál Označení A, B, C D, H, X	Předválcovací teplota °C	Procento redukce předválcování
	1150	1423
	1232	1505
	1288	1561
	1316	1589
	1371	1644
		10, 20, 25, 30, 50
		25
		10, 20, 25, 30, 50
		25
		10, 20, 25, 30, 50

Pokus č. 2

Teplota následného ohřevu bramy 1563 K /1290 °C/

Materiál Označení I, M	Předválcovací teplota °C	Procento redukce předválcování
	982	1255
	1149	1422
	1204	1477
	1288	1561
	1316	1589
	1371	1644
		25
		25
		25
		10, 25, 30
		10, 25, 30
		25

Pokus č. 3

Materiál	Předválcovací teplota		Procento redukce předválcování	Teplota násled- ného ohřevu bramy	
	°C	K		°C	K
Označení I, M	982	1255	30, 50	1290	1563
	1150	1423	30, 50	1290	1563
				1400	1673
	1204	1477	30	1290	1563
	1212	1485	30	1400	1673
	1290	1563	30, 50	1260	1533
				1290	1563
				1304	1577
				1316	1589
				1400	1673
	1316	1589	30, 50	1290	1563
				1304	1577
				1316	1589
				1346	1619
				1400	1673
	1346	1619	30	1290	1563
				1304	1577
				1316	1589
				1345	1618
				1400	1673
	1400	1673	30, 50	1290	1563
				1400	1673

Na obr. 2a až 2j jsou výsledky teplot následného ohřevu 1230 °C, 1260 °C, 1290 °C, 1345 °C, 1400 °C /1503 K, 1533 K, 1563 K, 1618 K, 1673 K/ bez předválcování. Přesto, že tyto tavby byly odlity za teploty velmi blízké teplotě tuhnutí, je zřejmé, že velikost zrna je velká. Na obr. 3a až 3c /v horní polovině každého snímku/ jsou zrna těsně před předválcováním /50% redukce/ při třech různých předválcovacích teplotách, 1150 °C /1423 K/ na obr. 3a; 1290 °C /1563 K/ na obr. 3b; a 1370 °C /1643 K/ na obr. 3c. Rozdíly velikosti zrna jsou zřetelně patrné. V dolní polovině každého obr. 3a až 3c jsou zrna po předválcování a následném ohřevu při 1400 °C /1673 K/ jakožto přípravě pro válcování za tepla. Velikost těchto zrn je ve všech případech v podstatě stejná a v průměru má méně než 9 mm. To podporuje uvedené konstatování, že výchozí velikost zrna před předválcováním / d_0 v rovnici 8/ nemá významného vlivu.

Výsledky pokusu číslo 1 jsou uvedeny v tabulce II a na obr. 4 a ukazují vliv teploty předválcování a procenta redukce na velikost zrna po následném ohřevu při 1400 °C /1673 K/. Na obr. 4 jsou také čárkovně znázorněny okrajové podmínky uvedeného patentu USA číslo 3 746 406. Je patrné, že při redukcích 25 % až 50 % jsou přípustné předválcovací teploty nad horní mezí podle USA patentu číslo 3 746 406 při následném ohřevu bramy na 1400 °C /1673 K/. Křivky, vytvořené počítačem na obr. 4, také ukazují, že

se získají obrysy pro různá procenta redukce a pro různé předválcovací teploty. Konkrétně při předválcovacích teplotách vyšších než přibližně 1250 až 1370 °C /1523 až 1643 K/ by redukce 30 až 50 % při předválcování vytvořila rekrytalizovaná zrna o středním průměru nepřesahujícím 9 mm po následném ohřevu bramy na 1400 °C /1673 K/.

V tabulce III a na obr. 5 jsou shrnuty výsledky pokusu číslo 2. Ukazují vliv procenta redukce a předválcovací teploty na velikost zrna po následném ohřevu bramy na 1290 °C /1563 K/. Teploty předválcování 1253 K až 1473 K a redukce 25 % až 50 % vedou ke střednímu průměru rekrytalizovaných zrn maximálně 7 mm. Na obr. 5 jsou křivky vytvořené počítačem s obrysy podobnými jako na obr. 4 avšak při předválcovacích teplotách 1250 °C až 1370 °C /1523 K až 1643 K/ nevedou redukce 25 % až 30 % při předválcování ke zjemnění zrna. Žádoucí efekt však přinesla redukce 50 % při předválcování v celém rozmezí předválcovacích teplot.

Údaje z pokusů 1 a 2 naznačují, že vypočítaná deformace potřebná k vyvolání stejného rozsahu rekrytalizace a růstu zrn při 1290 °C /1563 K/ je podstatně vyšší než deformace nutná při 1400 °C /1673 K/. Jednoduše řečeno, k dosažení téhož rozsahu rekrytalizace a růstu zrna /to je k dosažení téže velikosti zrna/ je třeba větší deformace při nižší teplotě následného ohřevu bramy.

Na základě uvedených poznatků byl podniknut pokus číslo 3 k podrobnějšímu průzkumu parametrů. V tabulce IV a na obr. 6 jsou shrnuty výsledky pokusu číslo 3. Z těchto údajů vyplývá, že jestliže $/K^*/^{-1}$ je menší než 6400, nastane neúplná nebo chybná rekrytalizace. Jestliže však $/K^*/^{-1}$ je větší než 6400, dosáhne se konzistentně úplně rekrytalizace. Žádoucím stavem je úplná rekrytalizace bramy před válcováním za tepla a tento vynález empiricky stanovuje, že je-li parametr deformace/rekrytalizace, tedy $/K^*/^{-1}$ roven 6400, vedou podmínky předválcování a následného ohřevu bramy k zajištění žádoucí velikosti zrna nepřesahující přibližně 9 mm a s výhodou nepřesahující asi 7 mm po následném ohřevu.

Podle vynálezu je možno ze shora uvedených rovnic vypočíst optimální podmínky jakožto funkci příslušné říditelné proměnné. Například maximální teplota předválcování se dá vyšetřit z předem stanoveného procenta předválcovací redukce a předem stanovené teploty následného ohřevu bramy, přičemž předem stanovené parametry jsou v některých případech určeny zařízením, které je k dispozici. Jestliže je například k dispozici válcovací zařízení pro redukci 25 až 30 % v jednom tahu, a jestliže teplota následného ohřevu bramy je 1400 °C /1673 K/ jakožto maximální praktická teplota, pak je maximální přípustná teplota předehřevu k předválcování 1343 °C /1615 K/. V tabulce V je řada výpočtů udávajících maximální přípustné předválcovací teploty pro různé teploty následného ohřevu bramy při redukci 25 a 30 % v jednom tahu za použití jednostojanové laboratorní válcovací stolice k válcování

za tepla s válci o průměru 24,1 cm při otáčkách 32 ot/min. Uznává se ovšem, že provede-li se redukce větší v jednom nebo ve dvou tazích, budou přípustné ještě vyšší teploty předehřevu pro předválcování, stejně jako větší rychlosti deformace při předválcování při vyšších otáčkách válců a při větších průměrech válců.

Použití vyšších předválcovacích teplot snižuje zatížení hrubovací válcovací stolice a umožňuje rychlejší ohřev bramy před válcováním za tepla, jelikož teplota přicházející bramy bude vyšší. Tyto přednosti snižují nejenom náklady na proces, ale vedou také k rovnoměrnějším a konsistentnějším magnetickým vlastnostem konečného výrobku.

Složení křemíkové oceli, která může být podrobena tomuto způsobu podle vynálezu, není rozhodující a může odpovídat běžnému složení používanému pro obvyklé třídy elektrických ocelí a pro třídy s vysokou permeabilitou. Pro orientovaný materiál obvyklé třídy je výhodné toto složení v litém stavu: /hmotnostní procenta/ 0,001 % až 0,085 % uhlíku, 0,04 % až 0,15 % manganu, 0,01 % až 0,03 % síry a/nebo selenu, 2,95 % až 3,35 % křemíku, 0,001 % až 0,065 % hliníku, 0,001 % až 0,010 % dusíku a zbytek v podstatě železo. Pro orientovaný materiál s vysokou permeabilitou se příkladně uvádí toto složení v litém stavu ve hmotnostních procentech: až do přibližně 0,07 % uhlíku, přibližně 2,7 % až 3,3 % křemíku, přibližně 0,05 % až přibližně 0,15 % manganu, přibližně 0,02 % až přibližně 0,035 % síry a/nebo selenu, přibližně 0,001 % až přibližně 0,060 % hliníku celkem, přibližně 0,0005 % až přibližně 0,009 % dusíku a zbytek v podstatě železo. Bor, měď, cín, antimon a podobné prvky mohou být přisazeny ke zlepšení řízení velikosti zrna. Složení, uvedená v tabulce I, jsou obecně reprezentativní s malými odchylkami od výhodných rozmezí v některých případech, což vážně nesnižuje žádoucí vlastnosti.

Trvání předehřevu bramy před předválcováním a trvání následného ohřevu bramy před válcováním za tepla není rozhodující a s výhodou je řádově jedna hodina. Experimentální údaje zde uvedené jsou založeny na době ohřevu jedna hodina a zjistilo se, že prodloužení doby až na 4 hodiny má malý vliv. Při ohřevu je výhodné použít inertní atmosféry.

Pracovníkům v oboru je z uvedeného popisu zřejmé, že tento vynález má hlavní přednost pro zařízení vybavená válcováním v lince s kontinuálním litím.

Tabulka I

Chemické složení - hmotnostní % - analýza vzorku z pánve						
Označení	C	Mn	S	Si	Al	N
A	0,027	0,060	0,022	3,14	0,0013	0,0049
B	0,038	0,064	0,022	3,15	0,0011	0,0045
C	0,027	0,077	0,022	3,18	0,0019	0,0057
D	0,027	0,060	0,023	3,16	0,0010	0,0072
H	0,028	0,058	0,026	3,19	0,011	0,0045
X	0,043	0,035	0,025	2,93	0,030	0,0071
I	0,027	0,068	0,021	3,12	0,0024	0,0028
M	0,028	0,059	0,022	3,13	0,0071	0,0029

Tabulka II

Velikost zrna v bramě / d_{REX} / po opětném ohřevu na 1673 K (1400 °C)
/velikosti zrna vypočteny na základě ekvivalentních kruhů - v mm/

Procento redukce při předválcování /jeden tah/

Materiál teplota K	Předválcování	E	Redukce 10 %		E	Redukce 20 %		E	Redukce 25 %		E	Redukce 30 %		E	Redukce 50 %	
			$(K^*)^{-1}$	d_{REX}		$(K^*)^{-1}$	d_{REX}		$(K^*)^{-1}$	d_{REX}		$(K^*)^{-1}$	d_{REX}		$(K^*)^{-1}$	d_{REX}
Označení	A	1422	24	5282	11	53	6630	7,5	69	7085	5,5	87	7471	3,9	177	8657
	B	"			15			4,8			4,8			3,7		4,0;5,2
	C	"			12			4,8			4,2			3,9		5,7;5,7
	D	"			10			5,5			5,3			4,4		
	H	"			6,7			5,1			4,1			3,7		
	X	"			17			4,8			3,9			3,3		
/střed/					(11,9)			(4,6)			(4,6)			(3,8)		(5,2)
A	1505								52	6591	7,2					
	B	"									5,2					
	C	"									4,8					
	D	"									7,0					
	H	"									4,0					
	X	"									4,0					
/střed/											(5,4)					

Tabulka II /pokračování/

Procento redukce při předválcování /jeden tah/

Označení	Předválcování - Materiál teplota K	Redukce 10 %		Redukce 20 %		Redukce 25 %		Redukce 30 %		Redukce 50 %	
		E	$(K^*)^{-1}$	E	$(K^*)^{-1}$	E	$(K^*)^{-1}$	E	$(K^*)^{-1}$	E	$(K^*)^{-1}$
A	1561	15	4485	28	5832	16	6288	14	6673	10	7860
B	"			15		6,5		6,8		5,3	
C	"			13		11		9,1		9,1	
D	"			11		7,8		7,2		7,2	
H	"			20		10		8,5		5,0	
X	"			17		10		7,0		5,9	
/střed/				(17,3)		(10,2)		(8,8)		(7,1)	(5,6)
A	1589										
B	"					39	6144	13			
C	"							7,2			
D	"					10		10			
H	"							7,2			
X	"							8,5			
/střed/								9,5			
								(9,2)			

4,9;5,5;6
5,5;6,3

Procento redukce při předválcování /jeden tah/																
Označení	Předválcování Materiál teplota K	Redukce 10 %		Redukce 20 %		Redukce 25 %		Redukce 30 %		Redukce 50 %						
		E	$(K^*)^{-1} d_{\text{REX}}$	E	$(K^*)^{-1} d_{\text{REX}}$	E	$(K^*)^{-1} d_{\text{REX}}$	E	$(K^*)^{-1} d_{\text{REX}}$	E	$(K^*)^{-1} d_{\text{REX}}$					
A	1644	11	4073	30	26	5420	20	34	5876	14	42	6262	10	860	7448	5,5;
B	"			20			14			10						5,5;
C																
D																
H																
X																
/střed/				(25)			(17)			(12)			(9,0)			(6,0)

Tabulka III

Velikost zrna v bramě $/d_{\text{REX}}/$ po opětovném ohřevu na 1563 K (1290 °C)

/velikosti zrna vypočteny na základě ekvivalentních kruhů - v mm/

Materiál teplota K		Procento redukce při předválcování /jeden tah/					
Předválcování	teplota K	Redukce 10 %			Redukce 25 %		
		E	$(K^*)^{-1}$	d_{REX}	E	$(K^*)^{-1}$	d_{REX}
I	1255				141	7727	3,0
M	"						3,0
I	1422				69	6615	3,0
M	"						9,0
I	1477				57	6303	4,0
M	"						6,0
I	1561	15	4187	44	43	5870	19
M	"			35			17
I	1589	13	4053	38	39	5736	35
M	"			25			15
I	1644				34	5486	25
M	"						22
							50
							14
							24
							19

Tabulka IV /pokračování/¹⁾

Materiál	Předvácování teplota K	Převácování & redukce	E	Teplota opětného ohřevu bramy K					
				1533 (K*) ⁻¹ d _{REX}	1561 (K*) ⁻¹ d _{REX}	1577 (K*) ⁻¹ d _{REX}	1589 (K*) ⁻¹ d _{REX}	1672 (K*) ⁻¹ d _{REX}	
I M	1617 "	30 "	46		5967	24 -	6028 21	6391	7,1 -
I M	1644 "	" "	42		5846	21 25		6262	12 9
I M	1255 "	" "	362		9195	6,0 -			
I M	1422 "	" "	177		8082	6,8 5,3		8657	- 5,2
I M	1561 "	" "	110	7206	2,5 4,0;5,2	7338	3,0 6,2	7413	3,9 6,5
I M	1589 "	" "	101		7204	7,1 7,0	7278	7333	4,3 5,6
I M	1644 "	" "	86					7448	6,0

Tabulka V

Vypočtená maximální předválcovací teplota v závislosti na teplotě následného ohřevu bramy a procentu redukce při předválcování - redukce v jednom tahu

Teplota opětného ohřevu bramy K	Procento redukce při předválcování	
	25 %	30 %
	maximální předválcovací teplota, K	
1561	1425	1527
1589	1480	1549
1616	1500	1571
1673	1540	1615

P A T E N T O V É N Á R O K Y

1. Způsob výroby orientovaného pásku nebo plechu z křemíkové oceli a orientací ve směru hrany elementární krychle z kontinuálně litých bram, při kterém se kontinuálně lité bramy s obsahem křemíku 2 až 4 % o tloušťce 10 až 20 cm předválcovávají při zvýšené teplotě s redukcí tloušťky až 50 %, načež se takto předválcované bramy opětně ohřejí na teplotu 1260 až 1400 °C /1533 až 1673 K/, válcují se za tepla po tomto ohřevu na tloušťce pásku nebo plechu válcovaného za tepla, redukují se válcováním za studena na konečnou tloušťku nejméně jedním stupněm válcování, dekarburizují se a nakonec se žíhají za podmínek ovlivňujících sekundární rekrytalizaci, vyznačený tím, že teplota předválcování se omezí na maximálně 1400 °C /1673 K/, přičemž teplota předválcování, procento redukce při předválcování a teplota opětného ohřevu se volí na sobě závisle, čímž se řídí míra deformace při předválcování k získání středního průměru zrna maximálně 9 mm po uvedeném opětném ohřevu podle rovnice

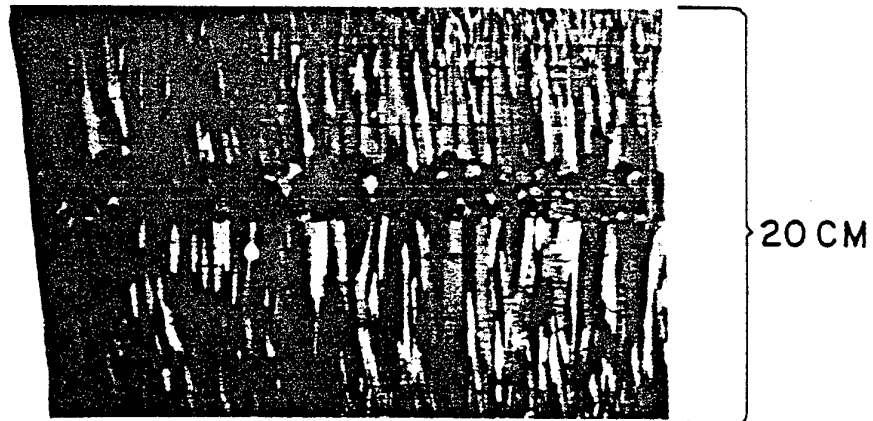
$$/K^*/^{-1} = /T_{SR}/ \times \ln \left[\xi \cdot 0,15 \exp \frac{7616}{T_{PR}} \ln \frac{t_i}{t_f} \right] \geq 6400,$$

kde znamená

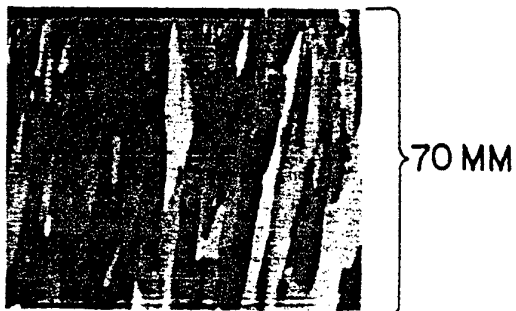
$/K^*/^{-1}$	parametr deformace/rekrytalizace
T_{SR}	teplota opětného ohřevu bramy ve K
ξ	míra deformace při předválcování
T_{PR}	předválcovací teplota ve K
t_i	tloušťka bramy v litém stavu
t_f	tloušťka bramy po předválcování

2. Způsob podle nároku 1, vyznačený tím, že se brama předválcovává při teplotě 1088 až 1643 K.
3. Způsob podle nároku 1, vyznačený tím, že redukce při předválcování je 20 až 50 %.
4. Způsob podle nároku 1, vyznačený tím, že se předválcovaná brama opětně ohřívá na teplotu 1563 až 1673 K.
5. Způsob podle nároku 1, vyznačený tím, že se brama předválcovává při teplotě 1223 až 1673 °C s redukcí 25 až 40 % a pak se opětně ohřívá na teplotu 1623 až 1673 °C, čímž se získá po tomto ohřevu střední průměr zrna maximálně 7 mm.
6. Způsob podle nároku 1, vyznačený tím, že při předválcování v jednom stupni je redukce 25 až 30 %, maximální předválcovací teplota se udržuje 1425 až 1615 K a teplota opětného ohřevu bramy je 1560 až 1673 K.
7. Způsob podle nároku 1, vyznačený tím, že procento redukce při předválcování se udržuje 30 až 50 %, předválcovací teplota se udržuje maximálně 1523 až 1643 °C a teplota zpětného ohřevu bramy se udržuje 1673 K.

6 výkresů



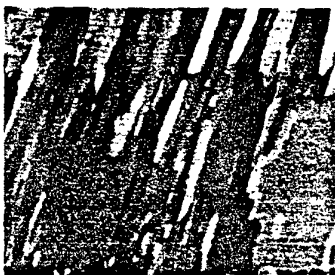
| 0.25X



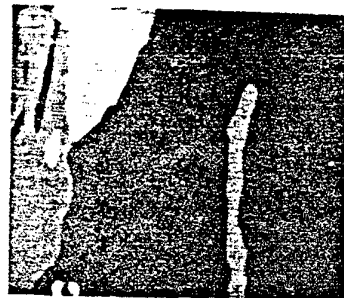
2A



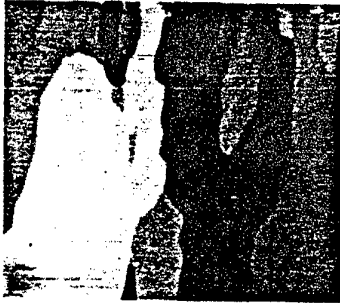
2C



2B



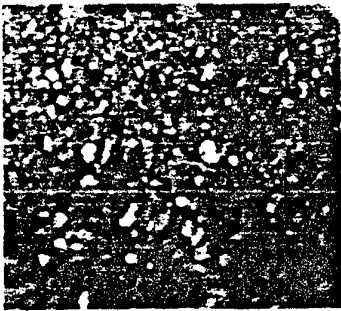
2D



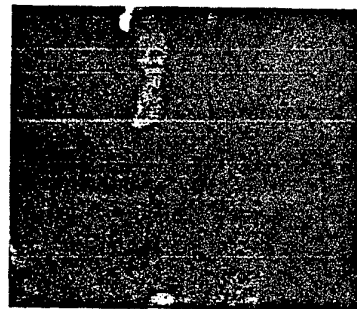
2E



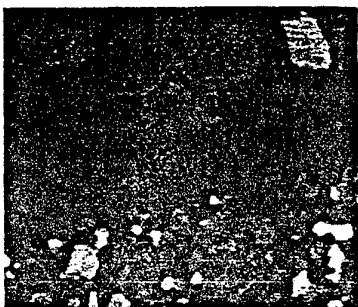
2H



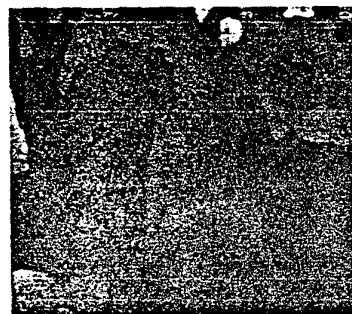
2F



2I



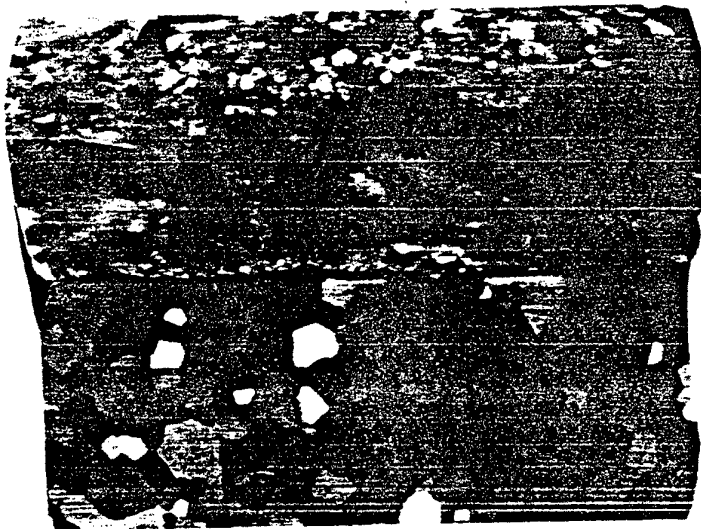
2G



2J



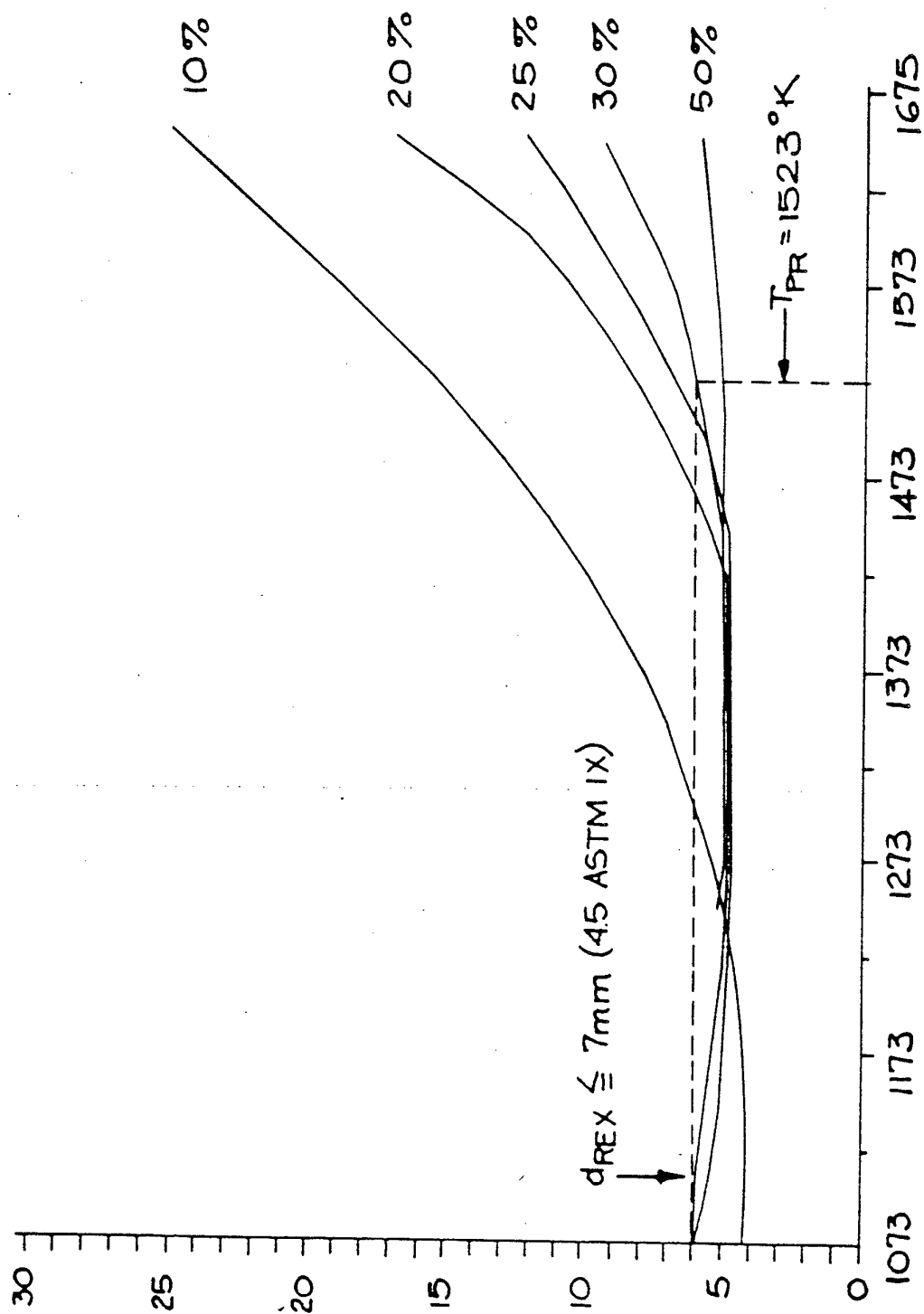
3A

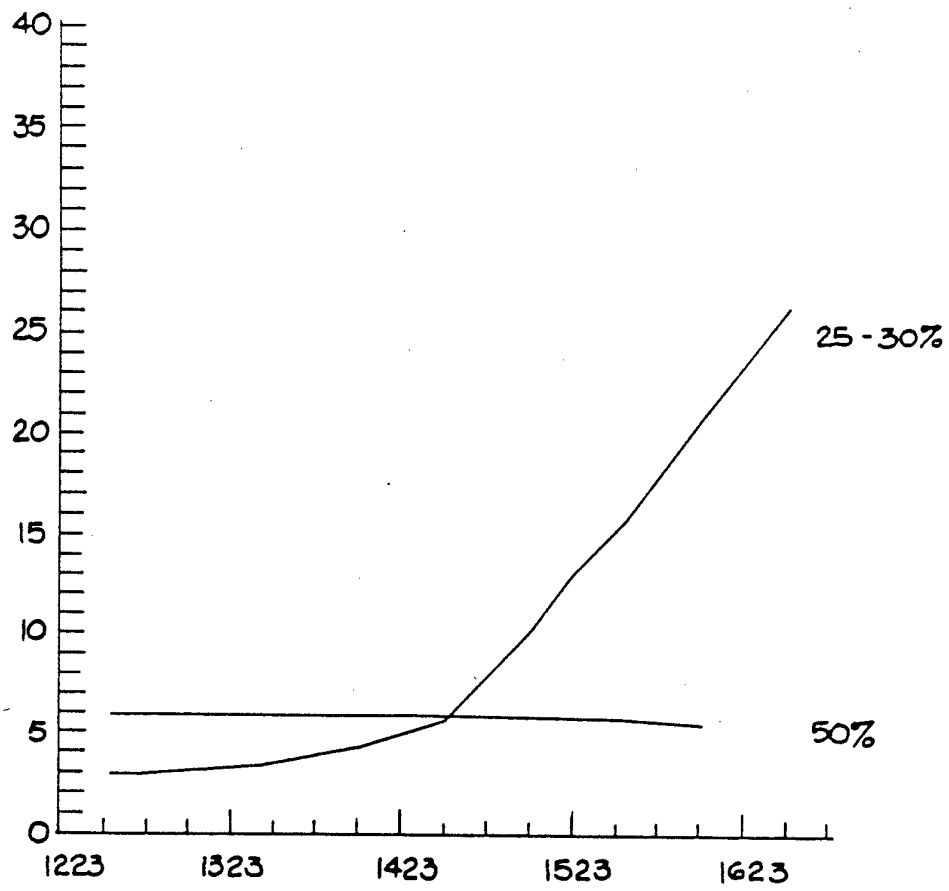


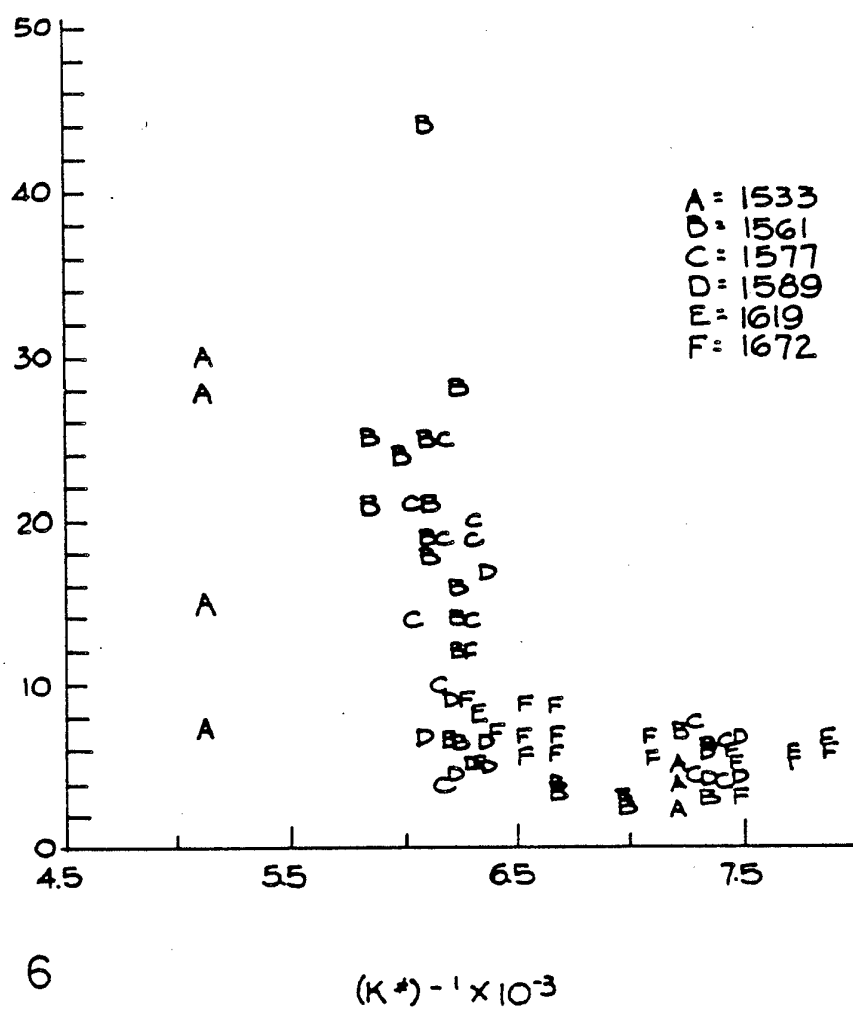
3B



3C







Konec dokumentu