



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K PATENTU

209469
(11) (B2)

(51) Int. Cl.³
C 22 C 21/08

(22) Přihlášeno 17 05 74
(21) (PV 3562-74)

(32) (31) (33) Právo přednosti od 17 05 73
(23684/73) a od 05 03 74 (9946/74)
Velká Británie

(40) Zveřejněno 28 11 80

(45) Vydáno 15 05 84

(72)

Autor vynálezu

MORRIS LARRY ROY, YARKER (Kanada)

(73)

Majitel patentu

ALCAN RESEARCH AND DEVELOPMENT LIMITED, MONTREAL
(Kanada)

(54) Způsob výroby výrobků z disperzně vytvrzené hliníkové slitiny

1

Vynález se týká způsobu výroby výrobků z disperzně vytvrzené hliníkové slitiny.

Mechanické vlastnosti výrobků z disperzně vytvrzované slitiny jsou řízeny jemnou disperzí mikroskopicky nerozpustných částic a/nebo dislokační strukturou nebo zrnitou strukturou vznikající z těchto částic. Známé disperzně vytvrzené slitiny mají výhodné vlastnosti, například vysokou pevnost při zvýšených teplotách.

Výrobky z disperzně vytvrzovaných slitin včetně hliníkových se dosud vyrábějí spékáním jemných prášků. K výrobě disperzně vytvrzených materiálů, např. rychlořezných ocelí, se také používá reakčních pochodů v pevné fázi.

Nedostatky odstraňuje způsob výroby výrobků z disperzně vytvrzené hliníkové slitiny podle vynálezu, kde lze odléváním zachovat všechny výhodné vlastnosti této slitiny; podstata vynálezu spočívá v tom, že u odlitku z hliníkové slitiny, obsahujícího 5 až 20 % objemu nesrovnaných intermetalických tyčinek středního průměru 0,1 až 1,5 μm , tvořených intermetalickou sloučeninou hliníku s niklem nebo nejméně s dvěma prvky ze skupiny zahrnující železo, nikl, mangan a křemík, kde popřípadě až 0,5 % kombinovaného obsahu železa a niklu může být nahrazeno odpovídajícím množstvím kobaltu,

2

přičemž odlitek je prost hrubých primárních intermetalických částic, se tvářením zmenšuje průřez nejméně o 60 % původní hodnoty k rozdrčení intermetalických tyčinek na oddělené zlomky.

Výhoda způsobu podle vynálezu spočívá v tom, že umožňuje vyrábět z hliníkových, disperzně vytvrzených slitin plynulým litím odlitky, zatímco dosud se k výrobě polotovárů určených pro další zpracování používalo techniky práškové metalurgie. Výrobky z těchto slitin mají vyšší pevnost a tvárnost než výrobky z dosavadních slitin.

Výhodné mechanické vlastnosti slitin s uvedeným obsahem intermetalických tyčinek se zhorší, když objemová koncentrace klesne pod uvedenou spodní mez 5,0 %; při zvýšení objemové koncentrace nad horní mez 20 % se snižuje tvárnost i houževnatost slitiny. Vlastnosti slitiny jsou také nepříznivě ovlivňovány přítomností hrubých intermetalických částic o průměru větším než 3 μm . Čím stejnoměrněji jsou intermetalické tyčinky dispergovány, tím lepší jsou mechanické vlastnosti konečného výrobku.

Intermetalické tyčinky jsou přednostně tvořeny intermetalickou fází obsahující hliník a nejméně jeden, zpravidla dva prvky ze skupiny železo, nikl a mangan. Intermetalická fáze může také obsahovat křemík.

Střední průměr intermetalických tyčinek je výhodně v mezích 0,1 až 0,8 μm .

Nejvýhodnější způsob vytváření tyčinkových intermetalických fází v hliníkové hmotě spočívá v tom, že se eutektická slitina s obsahem legujících prvků, které při tuhnutí slitiny vytvoří s hliníkem intermetalické fáze, odlévá při podmínkách lití umožňujících tzv. „sdužený růst“. Tento jev je znám a vysvětlen například J. D. Livingstonem v časopise „Material Science Engineering“, sv. 7 (1971) na str. 61–70.

Je známo, že když hmota lité slitiny eutektického nebo přibližně eutektického složení ztuhla odváděním tepla tak, že vznikne teplotní spád směrem k jednomu konci hmoty, mohou v matici kovu růst seřazené lamely nebo tyčinky intermetalických fází, které vytvrzují hmotu, zejména zvyšují její pevnost v tahu ve směru vytvrzujících lamel nebo tyčinek.

K vysvětlení vynálezu slouží přiložené výkresy.

V diagramech na obr. 1 a 2 je na ose úseček vynesena teplota ve $^{\circ}\text{C}$, na první ose pořadnic vlevo poměrné prodloužení v %, na druhé ose pořadnic vlevo pevnost v tahu a mez kluzu v MPa a na ose pořadnic vpravo hodnoty Erichsenovy zkoušky v mm. Na obou grafech znamená křivka a poměrné prodloužení, křivka b mez kluzu, křivka c pevnost v tahu a křivka d hodnoty Erichsenovy zkoušky.

Obr. 3 je 500X zvětšená mikrofotografie ingotu obsahujícího 0,9 % železa, 0,8 % manganu, ostatek hliník komerční čistoty, odlitého za podmínek uvedených v příkladu 2, a obr. 4 je mikrofotografie, rovněž při zvětšení 500, plechu tloušťky 1,27 mm, vyválcovaného z ingotu podle obr. 3. Obr. 5 ukazuje při stejném zvětšení strukturu plechu ze stejné slitiny, ale z ingotu odlévaného v podmínkách, kdy došlo k silné tvorbě hrubých metalických částic. Obr. 6 je přenosový elektronový mikrosnímek při zvětšení 13 000 válcovaného a částečně žíhaného plechu z hliníkové eutektické slitiny s obsahem 6 % niklu a ukazuje mírně protáhlé částice NiAl₃. Obr. 7 a 8 ukazují fázové rozhraní slitin obsahujících hliník, železo a mangan a slitin obsahujících hliník, železo a nikl. Obr. 9 ukazuje při 500násobném zvětšení vhodnou strukturu ingotu ze slitiny z příkladu 3, vyrobeného s velmi rychlým ochlazením, bez dalšího zpracování, a obr. 10 je mikrofotografie téhož materiálu po válcování za studena.

Lamelární a tyčinkové eutektické struktury jsou někdy nazývány také „pravidelná nebo normální eutektika“ k rozlišení od jiných struktur, které ztuhnou z eutektických směsí, avšak s nepravidelnou nebo fazetovou strukturou. Je známo, že „pravidelná“ eutektika, u nichž objemová koncentrace intermetalických fází je poměrně malá (menší než 30 %), mají sklon tuhnout s tyčinkovou strukturou, kdežto eutektika s

vyšší objemovou složkou směsí rostou s destičkovou neboli lamelární strukturou. U některých eutektik se tvoří destičková struktura při nízkých rychlostech růstu a tyčinková struktura při vysokých rychlostech růstu. Nečistoty a průvodní formy „komůrkového“ nebo „koloniového“ růstu mají snahu urychlit tvorbu tyčinkové struktury. Odlévané slitiny s destičkovou strukturou nemají význam pro výrobu dispersně vytvrzených výrobků způsobem podle vynálezu. Intermetalická fáze, popisovaná jako tyčinková, nemusí mít nezbytně tvar válcových tyčinek, které v průřezu mohou mít například také tvar šestiúhelníkový nebo čtyřúhelníkový, s poměrem delší osy ke kratší ose 5:1. Jednotlivé tyčinky mohou být také mírně rozvětvené, avšak v podstatě jsou vždy jednotného průřezu. Jsou vždy zcela odlišné od destičkového typu nebo od hrubých nepravidelných struktur.

Při známých způsobech výroby litých hmot s tyčinkovými intermetalickými fázemi se chlazení nejobvykleji provádí velmi pomalu za podmínek zajišťujících udržování v podstatě rovinného čela tuhnutí, aby všechny vzniklé hrubé tyčinky intermetalických fází byly srovnány ve směru lití. Pomalým jednosměrným tuhnutím vysoce čistých eutektik byly vyrobeny četné směsi s vytvrzujícími vlákny. Tyto materiály jsou silně anisotropické a vytvrzující účinek intermetalických fází se projevuje hlavně ve směru tyčinek. Tyto materiály jsou nejen výrobně drahé v důsledku pomalého ochlazování a vysoké čistoty kovových přísad, nezbytné pro tvorbu seřazených tyčinek, ale mají další nevýhodu v tom, že jsou křehké, poněvadž jsou zeslabovány křehkým lomem nebo rozpadem hrubých intermetalických fází. I když kovové odlitky vytvrzované vlákny jsou už dlouho předmětem intenzivního studia a laboratorních pokusů, jsou dosavadní způsoby jejich výroby tak pracné a pomalé, že získané výrobky mají jen omezený praktický význam.

Na rozdíl od známých odlitků vytvrzených vlákny nejsou podle vynálezu tyčinkové fáze srovnány ve směru osy lití odlitku, nýbrž jsou v nesrovnaném stavu. V důsledku toho nemusí být při lití čelo tuhnutí hmoty v podstatě rovinné. Proto lze vyrábět ingoty běžným plynulým litím do kokil za podmínek zajišťujících sdužený růst intermetalické fáze v tyčinkách žádaného průměru v matici tvořené tvárnějším hliníkem. Velmi uspokojivých dispersně vytvrzených výrobků lze dosáhnout za předpokladu, že se litá hmota vyrábí takovým způsobem, že intermetalická fáze roste ve tvaru těsně vedle sebe uspořádaných tyčinek o středním průměru 0,1 až 1,5 μm , takže tyto tyčinky se mohou následujícím zpracováním přelámat ve stejnoměrně dispergované jemné intermetalické částice.

V lité hmotě nejsou středy tyčinek od se-

be vzdáleny s výhodou více než jeden μm , takže v konečném výrobku je střední vzdálenost částic od sebe velmi malá, přičemž tyto částice mají střední průměr s výhodou 0,2 až 1 μm . Způsob zjišťování středního průměru částic je vysvětlen v další části popisu.

U tvářených výrobků musí být průměr částice dispergované intermetalické fáze dostatečně malý, aby vzdálenost mezi dvěma nejbližšími částicemi byla 3 μm nebo menší, takže tyto částice vytvoří a stabilizují dislokovanou strukturu této velikosti během studené deformace nebo udrží průměr zrna této velikosti po vyžhání.

Přesahuje-li střední vzdálenost částic od sebe 3 μm , snižuje se postupně pevnost výrobku na hodnoty, které mají z obchodního hlediska jen malý význam. Jsou-li částice příliš malé, zejména menší než 0,1 μm , nemohou udržet meze vysokého stupně porušení orientace částic v hliníkové matici a materiál se bude chovat stejně jako běžné slitiny, ve kterých jsou tuhé částice vysráženy z tuhého roztoku působením tepla. Na rozdíl od částic vzniklých rozpadem tyčinek fáze mají částice vysrážené normálním tepelným zpracováním průměr menší než 0,1 μm . Jsou-li ve výrobcích z eutektických slitin s tyčinkovými intermetalickými fázemi intermetalické částice příliš velké nebo nerovnoměrně rozptýlené, působí jako centra koncentrace napětí nebo jako dráhy pro šíření trhlinek a materiál ztrácí svou tuhost nebo tvářitelnost. Rovněž mez průtažnosti a rekrytalizační teplota se sníží. Z téhož důvodu jsou nežádoucí hrubé intermetalické primární částice.

Slitiny, které jsou velmi důležité pro obchodní využití z hlediska pevnosti a tvářitelnosti konečného výrobku, mají 5,0 až 12 procent objemu.

Ačkoli částice se středním průměrem 0,1 až 1,5 μm dávají uspokojivé vlastnosti v konečném výrobku, dává se přednost, jak již zmíněno, částicím se středním průměrem 0,2 až 1,0 μm . Střední průměr částic se určuje z počtu částic v jednotkové ploše na mikrosnímku řezu, přičemž se zanedbají hrubé primární intermetalické částice a jemné částice vysrážené z tuhého roztoku. Takové částice snadno rozpozná zkušený metalurg.

Střední průměr částic je dán vzorcem

$$d = 0,90 \frac{\sqrt{V}}{\sqrt{N_p}}$$

v němž

d je průměr částice,

V je objemový podíl intermetalických fází (0,05 až 0,20) a

N_p je počet částic na jednotkovou plochu řezu.

Tento vzorec vyjadřuje velikost částic průměrem koule stejného objemu. Průměr

protáhlé částice vytvořené lámáním válcovité tyčinky je, vyjádřeno v těchto pojmech, zpravidla větší než průměr tyčinky, ze které vznikl.

Jelikož podle vynálezu nejsou sdružené fáze srovnány v jediném směru, nemusí se při lití potlačit eutektický celulární růst, způsobený segregací nečistot, a proto lze pro výrobu lité slitiny použít hliníku běžné čistoty. Tento komůrkový nebo „koloniový“ způsob tuhnutí hmoty vytvoří neseřazené intermetalické tyčinky. Při výrobě lité slitiny se musí kov odlévat za takových podmínek, aby v odlévaném kovu nedošlo k tvoření krystalizačních zárodků intermetalických fází před styčnou plochou kapalného kovu s tuhým kovem. Až asi do 2 % obj. jsou ještě přípustné hrubé primární intermetalické částice, avšak je velmi žádoucí úplná jejich nepřítomnost. Je-li objem hrubých primárních intermetalických částic menší než 2 % objemu, lze litou slitinu považovat pro účely vynálezu za zcela prostou těchto částic. Ke splnění požadavku na potlačení růstu primárních částic bylo zjištěno, že v roztaveném kovu v bezprostřední blízkosti rozhraní tuhnutí má být teplotní spád (gradient) nejméně 5 °C/cm. Provádě-li se vhodná kontrola teplotního gradientu v oblasti rozhraní tuhnutí kovu, lze dosáhnout žádaného výsledku výroby lité hliníkové slitiny s méně než 2 % objemu primárních intermetalických částic (na rozdíl od tyčinek) z roztaveného kovu, v němž legovací prvky převyšují eutektikum až o 10 % objemu.

Aby se dosáhlo výhodné vzdálenosti intermetalické tyčinky, rovné 1 μm i menší, bylo zjištěno, že rychlost narůstání, tj. rychlost usazování tuhého kovu ve směru kolmém k rozhraní tuhnutí, má být nejméně 10 mm/min. Je tedy zřejmé, že požadavky na postup lití hmoty jsou, jak již bylo zmíněno, takové, že se ingoty žádaných vlastností mohou vyrábět běžným plynulým litím do kokily, při němž se chladivo přivádí přímo na povrch ingotu, když ingot vybíhá z kokily s otevřeným koncem, což je pravý opak požadavků na velmi pomalý a jednosměrný růst dříve popsanych směsí, vytvrzovaných hrubými vlákny. Plynulé odlévání ingotu s přímým chlazením, zejména při použití kokily s hlavovým nástavcem ve spojení s rozdělovačem ze skleněné tkaničky, umožňuje udržovat poměrně stabilní podmínky v blízkosti rozhraní tuhnutí kovu při intenzivním chlazení tuhnutí kovu přiváděním chladiva na povrch ingotu vystupujícího z kokily a při současném přivádění čerstvého roztaveného kovu do kokily.

To umožňuje dosáhnout žádané vysoké rychlosti růstu ve spojení s nezbytným strmým teplotním spádem, požadovaným pro sdružený růst kovové matrice a intermetalické fáze bez tvorby hrubých primárních intermetalických částic.

Výrazu „eutektická směs“ je zde použito

k označení binárních, ternárních i řádově vyšších eutektických směsí a také řady směsí blízkých těmto eutektickým směsím, pomocí nichž lze dosáhnout současného ukládání tvárné kovové hliníkové fáze a jedné nebo více tyčinkových intermetalických fází. Do eutektických směsí patří také směsi blízké rozhraním mezi fázovými oblastmi, které jsou eutektického typu, jako například monovariantní slitina, to jest slitina, která tuhne monovariantní eutektickou reakcí. Obecně lze říci, že požadovaná tyčinková intermetalická fáze může být vytvářena bez nadměrného růstu hrubých primárních intermetalických částic nebo nadměrného růstu primárních hliníkových dendritů v „eutektických směsích“, ve kterých celkový obsah hlavních legovacích prvků je menší než 10 objemových % nad celkovým obsahem těchto prvků nebo 20 objemových procent pod celkovým obsahem těchto prvků v eutektiku nebo v eutektickém žlabu.

Je však výhodné, aby se obsah legovacích prvků rovnal objemové koncentraci 90 až 100 % jejich obsahů požadovaných pro eutektikum. Když je množství legovacích prvků menší než množství potřebné pro eutektikum, vznikají kromě žádané eutektické struktury primární hliníkové dendrity. V tomto případě mikrostruktura hmoty bude tvořena komůrkami hliníkového dendritu, v podstatě bez intermetalických fází, a tyčinkovou eutektickou strukturou vytvářenou na rozhraních dendritových komůrek. Přítomnost velkých ploch bez intermetalických tyčinek má za následek zhoršení stejnoměrné disperse částic, jestliže se litá slitina válcuje nebo jinak deformuje, aby se rozlámala a dispergovala křehká intermetalická fáze. Pro danou rychlost růstu je úplně sdružená růstová struktura optimální. Avšak přítomnost hliníkových dendritů je zcela přijatelná za předpokladu, že střední velikost intermetalických částic a jejich vzdáleností od sebe zůstanou po zpracování stejné, jak již byly dříve stanovené. Je ovšem zřejmé, že čím jsou jemnější dendritové komůrky, to jest čím větší je rychlost růstu, tím větší objemové množství hliníkového dendritu je přípustné k dosažení požadované struktury v konečném výrobku. V některých případech je přípustná objemová koncentrace 50 až 60 % hliníkových dendritů v poměrně tlustých ingotech odlévaných plynulým litím s přímým chlazením, avšak vlastnosti válcovaných výrobků se postupně zhoršují s rostoucím objemem dendritů. Při odlévání tenkého materiálu, to jest až asi do tloušťky 25,4 mm, kde lze dosáhnout výjimečně vysokých rychlostí chlazení, lze připustit i větší procentní množství hliníkových dendritů velmi malých rozměrů (například řádu 5 μm), a za předpokladu, že dendrity jsou dostatečně malé, nejsou mechanické vlastnosti výrobků příliš nepříznivě ovlivňovány.

Při deformování lité slitiny válcováním

nebo protlačováním nezlámou se intermetalické tyčinky zcela nahodile, nýbrž mají snahu se rozdělit stejnoměrně v celé své délce v jednotné, avšak poněkud protáhlé částice, jichž průměr odpovídá průměru původních intermetalických tyčinek. Tyto částice se samy snaží dispersně se rozptýlit stejnoměrně v celé tvárnivé kovové matici při následujícím deformování ingotu. Jelikož jsou částice rozměrově malé, zaujímají jen malý objemový prostor, a jelikož jsou stejnoměrně rozloženy v matici, nepůsobí nepříznivě na tuhost nebo přetvářitelnost materiálu. Tvarový poměr, to jest poměr délky k průměru u většiny částic vytvořených desintegrací intermetalických tyčinek, je v mezích 1:1 až 5:1. Naproti tomu střední délka tyčinkových intermetalických fází v lité slitině je zpravidla značně větší než stonásobek průměru.

Válcované výrobky vyráběné způsobem podle vynálezu mají do jisté míry anizotropické vlastnosti. Je výhodné snížit relativní podíl anizotropie v materiálu přidávkou malých množství mědi a/nebo hořčíku, které zůstanou v tuhém roztoku v hliníkové fázi a mají známé vlastnosti, že zvyšují pevnost.

Ve výrobě válcovaných výrobků dobře tvarovatelných pro takové účely, jako například pro výlisky automobilových karosérií, je přípustné obětovat určitou část potenciální pevnosti výrobku ve prospěch zajištění žádaných znaků tvarovatelnosti a v určitých případech k usnadnění výroby zdravých nepopraskaných ingotů v počátečním stadiu lití. Z toho důvodu a též k dosažení minimální tvorby hrubých primárních intermetalických částic při výrobě válcovaných výrobků způsobem podle vynálezu je výhodné, aby celkový obsah hlavních legovacích prvků byl o něco menší (mezi 90 až 100 %), než vyžaduje eutektikum.

Ve výrobě dispersně vytvrzovaných hliníkových slitin lze způsob podle vynálezu nejobecněji uplatnit u „eutektických směsí“, u nichž je použito dvou nebo více legovacích složek volených ze skupiny prvků: železo, v objemové koncentraci nejméně 1,2 %, nikl v množství nejméně 1,1 %, mangan v množství nejméně 0,3 % a křemík v množství nejméně 0,5 %, přičemž tyto hlavní legovací prvky jsou přítomné v celkovém množství přídavku rovnajícím se 5,0 až 20 % objemu intermetalických fází a slitina obsahuje také jen taková množství jiných prvků, která by nezničila možnost růstu jemných tyčinkových intermetalických fází. Nejspeciálnější použití způsobu podle vynálezu je ve výrobě nových dispersně vytvrzených tvarovatelných výrobků ze slitin hliníku, železa a manganu, a ze slitin hliníku, železa a niklu, vytvořených zpracováním tavenin „eutektických směsí“, které byly vyrobeny pod nezbytnou podmínkou, že intermetalická fáze musí růst ve formě tyčinek vhodné

velikosti a také ve vhodných vzdálenostech od sebe. Při lití slitin obsahujících jako hlavní legovací prvky železo a nikl až do celkového obsahu 0,5 %, může být obsah železa a obsah niklu nahrazen stejným obsahem kobaltu.

Po výrobě lité slitiny potřebné struktury lze přelámat křehkou intermetalickou fází v dispergované částice zpracováním lité slitiny za tepla a/nebo za studena různými způsoby. Pro nezbytnou dispersi částic vzniklých rozlámáním intermetalických tyčinek je zapotřebí nejméně 60% redukce průřezu. Ačkoli se musí dát pozor, aby podmínky závislosti teploty na čase, zvolené pro předběžné zahřátí ingotu před jeho zpracováním za tepla, neměly za následek koalescenci intermetalických fází, nepůsobí zvláštní obtíže volba uspokojivých podmínek. Tak například pro eutektika s obsahem hliníku, železa a niklu může se ingot před zpracováním za tepla zahřívát po dobu jedné hodiny na teplotu 500 °C.

Při výrobě válcovaných výrobků je výhodné provést větší část redukce průřezu původního ingotu válcováním za tepla, nad teplotou 250 °C, avšak je také výhodné použít následujícího válcování za studena k dosažení alespoň další 10% redukce a s výhodou alespoň 50% redukce průřezu za tepla válcovaní plošky k vytvoření žádané dislokační komůrkové struktury v hliníkové matici. Označením „zpracování za studena“ se zde míní, že slitina se může zpracovávat při teplotě nižší než 250 °C.

Slitina, která byla deformována zpracováním za studena, se pak může udržovat na teplotě 200 °C nebo i vyšší k dosažení původního stavu nebo rekrystalizace. I když následující zpracování, jako smaltování nebo pájení, se projeví rekrystalizací v materiálu zpracovaném za studena, udrží se stále ještě poměrně vysoké příznivé vlastnosti. Velmi jemné zrno nebo i částice menší než zrno, vzniklé takovým zpracováním, jsou důležitým příspěvkem ke zvýšení mechanických vlastností materiálu.

Vynález se zvláště dobře hodí k výrobě válcovaného plechu s obvyklými mezními hodnotami tloušťky 2,5 až 0,01 mm.

Zejména se může vynález uplatnit při výrobě plechu z hliníkové slitiny z hlediska legovacích složek poměrně levné; plech je dobře tvarovatelný a má vyšší pevnost po zpracování při zvýšené teplotě, například po smaltování a pájení, než mají slitiny běžně dnes používané k těmto účelům. Hliníkový plech zdokonalený podle vynálezu je založen na použití dříve zmíněných eutektických směsí obsahujících hliník, železo a mangan a hliník, železo a nikl. Tyto slitiny, popřípadě s přídavkem hořčíku a/nebo mědi, a/nebo slitiny tvořené hliníkem, železem a niklem s přídavkem manganu, jsou-li podrobeny po zpracování za studena konečnému tepelnému zpracování při teplotě v mezích 230 až 450 °C, umožňují výrobu válcov-

vaného výrobku s výbornou tvarovatelností vzhledem k získaným vlastnostem mechanické pevnosti.

U výrobků, jako jsou výlisky automobilové karosérie, je velmi žádoucí, aby hliníkový plech měl nejméně tyto mechanické vlastnosti:

Mez kluzu σ_{kl} 0,2	138 MPa
Poměrné prodloužení na délku 50,8 mm	20 %
Zkouška hloubením plechu podle Erichsena	10,26 mm

Zkouška hloubením plechu podle Erichsena je kalíškovací zkouška, při které výstřižek plechu, upnutý vně středu, je deformován vtlačováním kuželového razníku s kulovou hlavou do plechového výstřižku, až se objeví v celé tloušťce výtažku trhlinka. Výška vytvořeného kulového vrchlíku v plechu při vzniku trhliny je měřítkem hlubokotaznosti plechu.

Zkouška je popsána v britských normách: British Standards Institution B. S. 3855; 1965 „Způsob provádění Erichsenovy kalíškovací zkoušky upravené pro zkoušení plechů a kovových pásů.“

Výhodná eutektická směs pro slitinu hliníku se železem a manganem obsahuje v hmotnostní koncentraci železo a mangan v poměrech: 1,9 % železa a 0,3 % manganu, 2,0 % železa a 0,8 % manganu, 1,4 % železa a 1,2 % manganu, 1,4 % železa a 0,6 % manganu. Slitina může také obsahovat: zinek, lithium, měď, hořčík, křemík až do celkového hmotnostního obsahu 1,5 % a až do 1,0 % pro každý prvek; jiné prvky do maximálního obsahu 1,0 % a až do 0,3 % pro každý prvek, ostatek je hliník. Nejvýhodnější alternativou je však, obsahuje-li slitina železo a mangan v hmotnostních poměrech: 1,8 % železa a 0,6 % manganu, 1,8 % železa a 0,8 % manganu, 1,5 % železa a 0,8 % manganu, 1,5 % železa a 1,0 % manganu, 1,5 % železa a 0,7 % manganu, přičemž slitina obsahuje v hmotnostní koncentraci také 0,1 až 0,3 % mědi a až 0,3 % křemíku, přičemž jiné prvky s výhodou v hmotnostním množství menším než celkem 0,15 % (max. 0,1 % každého prvku), ostatek je hliník. Všechny směsi spadající do širšího i užšího rozmezí shora uvedených obsahů železa a manganu jsou v oblasti o 10 proc. nad nebo o 20 % pod eutektickou směsí.

U slitiny tvořené hliníkem, železem a niklem jsou hmotnostní obsahy železa a niklu: 1,9 % železa a 1,1 % niklu, 1,9 % železa a 1,8 % niklu, 1,8 % železa a 2,5 % niklu, 1,2 % železa a 2,5 % niklu, 1,2 % železa a 1,2 % niklu, přičemž slitina obsahuje také mangan až do hmotnostního množství 1,5 % zinek, měď, lithium, hořčík, křemík až do hmotnostního množství celkem 1,5 %, jednotlivě do hmotnostního množství 1,0 %, jiné prvky až maximálně do hmotnostního množství 1,0 % celkem, jed-

notlivě do hmotnostního množství 0,3 %, ostatek je hliník.

Nejvýhodnější směs má hmotnostní obsah železa a niklu v těchto množstvích: 1,7 % železa a 1,2 % niklu, 1,2 % železa a 1,7 % niklu, 1,4 % železa a 2,3 % niklu, 1,4 % železa a 1,2 % niklu, přičemž slitina hmotnostně obsahuje také 0,3 až 0,6 % manganu, až 0,5 % mědi, až 0,5 % hořčíku, až 0,3 % křemíku, ostatní prvky až do celkem 0,15 proc. a až 0,1 % každého prvku zvlášť, ostatek je hliník. Až 0,5 % kobaltu může nahradit ekvivalentní část obsahu železa a/nebo niklu, avšak pro poměrně vysokou cenu kobaltu je nepravděpodobné, že by se této slitiny mohlo použít pro obchodně prakticky prodejnou slitinu.

Strukturu ingotu eutektické směsi hliníku, železa a manganu, ztuhne-li při větších rychlostech růstu než 1 mm/min a teplotních spádech v kapalně fázi větších než 5 st. Celsia/mm, je tvořena komůrkovou „eutektickou“ strukturou obsahující jemné tyčinky fáze $(\text{Fe,Mn})\text{Al}_6$ o středním průměru menším než 1 μm . U velkých ingotů odlévaných plynulým litím s přímým chlazením mění se rychlosti růstu od středu k okraji a teplotní spády v kapalně fázi nejsou ostře vyhraněny a snižují se konvekčním mícháním v ještě tekuté části odlévaného kovu v ingotu během odlévání.

Při válcování za tepla nebo protlačování ingotu správné struktury přeláme se tyčinková fáze $(\text{Fe,Mn})\text{Al}_6$ v jemné stejnoměrně dispergované částice v hliníkové matici. Zpracovává-li se tento materiál za studena, zvyšuje se pevnost materiálu a tato zvýšená pevnost se částečně udrží i po následující regeneraci nebo rekrytalizaci v důsledku vzniku velmi jemného zrna nebo částic menších než zrno, které jsou stabilizovány intermetalickou disperzí.

Mnoho jiných eutektických směsí lze použít k výrobě disperzně vytvrzených výrobků způsobem podle vynálezu. Jedním z dalších příkladů takové eutektické směsi, která se může odlévat a zpracovat uvedeným způsobem, je hliníková slitina obsahující železo, mangan a křemík. Výhodné hmotnostní složení takové slitiny je: 1,4 až 2,2 % železa, 0,5 až 2,0 % křemíku, 0,1 až 1,0 % manganu, až 1,5 % celkově (1,0 % maximálně pro každý prvek): zinku, mědi, lithia, hořčíku až 1,0 % celkem (0,3 % maximálně pro každý jednotlivý prvek) jiných prvků, ostatek hliník. Nejvýhodnější rozmezí je 1,7 až 2,0 % železa, 0,5 až 1,0 % křemíku, 0,5 až 0,9 % manganu, až 0,3 % mědi, až 0,3 % hořčíku, až 0,15 % celkem (0,1 % maximálně každého prvku) ostatek hliník.

Dalším příkladem vhodného eutektického složení je eutektické složení hliníku s niklem a manganem, obsahující v hmotnostní koncentraci 4,5 až 6,5 % niklu, a 0,3 až 2,5 proc. manganu. Ve slitině jsou přípustné prvky, zinek, měď, lithium, hořčík, železo

a křemík v celkovém množství 1,5 % a jednotlivě v množství 1,0 %. Hlavní legovací prvky nikl a mangan jsou s výhodou udržovány v mezích 5,5 až 6,0 % niklu a 1,0 až 2,0 % manganu. S výhodou je každý prvek měď, hořčík, železo a křemík udržován ve slitině pod 0,3% množstvím, ostatní prvky v celkovém hmotnostním množství menším než 1,5 %, s výhodou menším než 0,15 %, a jednotlivě v množství menším než 0,3 %, s výhodou menším než 0,1 %.

Ještě jiným příkladem vhodného eutektického složení je eutektická slitina hliníku se železem a křemíkem. Má vhodné hmotnostní složení 1,8 % železa a 3 % křemíku. Ačkoli může obsahovat také až celkově 1,5 %, 1,0 proc. jednotlivě: zinek, měď, lithium, hořčík, mangan, a až celkově 1,0 %, 0,3 % jednotlivě jiných prvků, je výhodné udržovat tyto maximální hodnoty pro přídavné legovací prvky: až 0,5 % mědi, až 0,5 % hořčíku, až 0,5 % manganu, až 0,15 % celkově, maximálně 0,1 % jednotlivě, jiných prvků.

Ještě dalším příkladem je slitina hliníku s manganem a křemíkem eutektického složení. Vhodná směs obsahuje v hmotnostní koncentraci 2 % manganu a 2 % křemíku. Ačkoli slitina může obsahovat až celkově 1,5 %, jednotlivě maximálně 1,0 % zinku, mědi, lithia, hořčíku, a železa a až celkově 1,0 %, jednotlivě maximálně 0,3 % jiných prvků, je výhodné udržovat následující maxima pro přídavné legovací prvky: až 0,5 % mědi, až 0,5 % hořčíku, až 0,5 % železa, až 1,0 % celkově, maximálně 0,3 % jednotlivě, jiných prvků.

V následujících příkladech jsou v příkladech 1 až 3 popsány zkoušky k zjištění výhod dosažených způsobem podle vynálezu se zřetelem k eutektickému složení hliníkové slitiny se železem a manganem, které mohou prokázat účinek struktury, výsledky výrobních pokusů a vliv modifikací na základní slitinu.

Příklad 1

Účinek struktury na pevnost v tahu

Hmotnostní složení:

1,8 % železa, 1,0 % manganu, 0,1 % křemíku, jiné prvky v množství jednotlivě menším než 0,01 %, ostatní hmotou je hliník.

Odlévání:

Ingot A o průměru 6,350 mm, rostoucí z vodou chlazené základny. Intermetalická fáze $(\text{Fe,Mn})\text{Al}_6$ byla přítomna ve formě tyčinek o průměru 0,5 μm .

Ingot B, odlévaný jako tlusté ingoty o průměru 31,8 mm v ocelové chlazené kokile. Intermetalická fáze byla tvořena hrubými částicemi velikosti až 10 μm , nerovnoměrně rozptýlenými.

Zpracování:

Oba ingoty byly zahřívány po dobu jedné hodiny na teplotu 500 °C. Potom byly rozválcovány za tepla na tloušťku 3,81 mm a za studena na plech tloušťky 1,27 mm.

Vzorky na pevnost v tahu byly vystřiženy z plechu a byly žíhány 100 hodin při teplotách uvedených v tabulce 1.

Tabulka 1

Účinek struktury na pevnost v tahu*) u hliníkové slitiny obsahující 1,8 % železa a 1 % manganu

Ingot	Za studena vyvácovaný (na 67 %)		100 hod. ohřev na 300 °C		100 hod. ohřev na 400 °C		100 hod. ohřev na 500 °C	
	Max. pevnost v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Poměrné prodloužení %***)	Max. pevnost v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Poměrné prodloužení %	Max. pevnost v tahu MPa	Poměrné prodloužení %
A	296,5	214	4 %	179	172	23 %	152	32 %
B	183	155	11 %	128	79	30 %	117	40 %

*) Pevnost v tahu v této a dalších tabulkách je v podélném směru, není-li jiná poznámka.

**) Mez kluzu v této a dalších tabulkách je vyjádřena při poměrném trvalém protažení 0,2 % měřené délky při zkoušce v tahu.

***) Poměrné prodloužení v této a dalších tabulkách je vyjádřeno na délku 25 mm nebo 50 mm.

Pevnostní vlastnosti plechu vyválnovaného z ingotu B jsou jako pevnostní vlastnosti běžných plechů. Velmi markantní zlepšení pevnostních vlastností plechu získaného z ingotu A oproti vlastnostem plechu z ingotu B je patrné z uvedených hodnot v tabulce 1.

Příklad 2

Zkouška přímo chlazeného ingotu, litého do kokily

Hmotnostní složení:

1,65 % železa, 0,95 % manganu, 0,09 % křemíku, menší obsah každého jiného prvku než 0,01 %, ostatní hmotou je hliník.

Odlévání:

Přímo ochlazovaný ingot rozměrů 127 mm X

X508 mm byl odléván rychlostí 76,2 mm/min v kokile s hlavovým nástavcem, dlouhé 25,4 mm. Plovák na ponořeném konci trubky, kterou vstupuje kov do kokily, byl obklopen skleněnou tkaninou. Teplota roztaveného kovu byla 725 °C.

Zpracování:

Ingot předeřřátý na 500 °C byl válcován za tepla na tloušťku 6,64 mm. Potom 1) za tepla vyválnovaná ploska byla válcována za studena na tloušťku 3,81 mm, pak byla žíhána po dobu jedné hodiny při teplotě 400 st. Celsia a opět válcována za studena na plech tloušťky 1,27 mm; 2) za tepla vyválnovaná ploska byla mezi opakovanými 15% redukcemi tloušťky válcováním za studena částečně žíhána po dobu jedné hodiny při teplotě 250 °C.

Při rozboru struktury ingotu v odlitém stavu bylo zjištěno, že intermetalická fáze (Fe,Mn)Al₆ byla přítomna ve tvaru tyčinek o průměru 1/2 μm v matrici kovu.

Po zpracování ingotu válcováním za tepla a za studena ukázaly zkoušky plechu, že intermetalická fáze byla přelámána ve stejnoměrnou dispersi jemných částic o středním průměru 0,7 μm .

Příklad 3

Účinek jiných prvků

Hmotnostní složení:

1,7 % železa, 1,0 % manganu, 0,1 % křemíku, množství každého jiného prvku menší než 0,01 %, ostatní hmota hliník s uvedenými přísadami.

Odlévání:

Ingot o průměru 31,8 mm byl odléván stejně jako ingot A v příkladu 1.

Zpracování:

Stejně jako v příkladu 1.

Tabulka 3

Účinek přidání prvků na mechanické vlastnosti plechu tloušťky 1,27 mm

Slitina	Válcovaný za studena (67 %)			Žíhaný 100 hodin při 300 °C		
	Max. pev. v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Poměr. prod- louž. %	Max. pev. v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Poměr. prodlouž. %
Základní slitina	255	214	6 %	172	159	23 %
+ 0,2 % mědi	290	234	6 %	193	165	24 %
+ 0,3 % hořčíku	331	269	4 %	200	165	20 %

Vyšetřováním struktury ingotů a válcovaných výrobků byla zjištěna virtuálně stejná struktura se strukturou získanou u ingotu A v příkladu 1. Přídavky mědi a manganu nepřekážely růstu tyčinkové fáze (Fe,Mn)Al₆.

Dále jsou uvedeny příklady mechanických vlastností určitých binárních a vyšších eutektických slitin zpracovaných způsobem podle vynálezu.

Příklad 4

Slitina:

Hliník se 6,3 % niklu a asi 0,2 % nečistot

Odlévání:

Přímo chlazený ingot rozměrů 229 × 89 mm byl odléván rychlostí 152,4 mm/min.

Mechanické vlastnosti:*)

a) Ingot předehříván na 525 °C a za tepla vyválcován v plosku tloušťky 6,4 mm

Vzorek	Max pev.*) v tahu MPa	Mez*.) kluzu MPa	Poměr.*.) prodl. %	Poměr. účinnost**.)	
				meze pev. s vrubem %	v tah na tyči
v podélném směru	264,1	229,6	7,8	87 %	100 %
v příčném směru	230,3	189,6	6,5	96 %	117 %

b) Za tepla vyválcovaná ploska tloušťky 6,4 mm byla vyválcována za studena na tloušťku 1,27 mm

v podélném směru	291	237,2	5,8	85 %	115 %
v příčném směru	262	195,1	4,5	72 %	88 %

*) Průměrné hodnoty ze 3 naměřených hodnot vzorků zatížených při standardní zkoušce pevnosti v tahu

**) Poměrná účinnost meze pevnosti v tahu na tyči s vrubem zjištěna Kahnovou zkouškou na roztržení.

Příklad 5

Hmotnostní složení:

Slitina A 5,5 % niklu, 0,95 % manganu, ostatní hliník (99,8 % čistoty)

Plech válcovaný za studena

	Max. pevn. v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Poměr prodl. %
Alternativa 1)			
Slitina A	3234	2461	8 %
Slitina B	3726	2742	5 %
Alternativa 2)			
Slitina A	3304	2531	10 %
Slitina B	3726	2953	5 %

Příklad 6

Hmotnostní složení:

Slitina A:

1,5 % železo, 0,0 % mangan, 2,0 % nikl, 0,1 % křemík, množství každého jednotlivého dalšího prvku menší než 0,01 %, ostatní hmota hliník.

Slitina B:

1,5 % železo, 0,5 % mangan, 2,0 % nikl, 0,1 % křemík, množství každého dalšího jednotlivého prvku menší 0,01 %, ostatní hmota hliník.

Plech za studena válcovaný

	Max. pevn. v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Poměr. prodl. %
Slitina A	269	214	10
Slitina B	297	241	8
Slitina C	310	255	7

Slitina B 6,0 % niklu, 2,0 % manganu, hlavní hmota hliník (99,8 % čistoty)

Odlévání:

Přímo chlazený ingot rozměrů 127 mm × 508 mm byl odléván postupem podle příkladu 2.

Zpracování:

Stejně jako v příkladu 2.

Mechanické vlastnosti plechu tloušťky 1,27 mm:

Plech žíhaný 100 hodin při teplotě 300 °C

	Max. pevn. v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Poměr. prodl. %
--	--------------------------	------------------	--------------------

Slitina C:

1,5 % železo, 1,0 % mangan, 2,2 % nikl, 0,1 % křemík, množství každého dalšího jednotlivého prvku menší než 0,01 %, ostatní hmota hliník.

Odlévání:

Ingot o průměru 31,8 mm jako ingot v příkladu 1.

Zpracování:

jako v příkladu 1.

Mechanické vlastnosti plechu tloušťky 1,27 mm.

Plech žíhaný 100 hodin při teplotě 300 °C

	Max. pevn. v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Poměr. prodl. %	Max. pevn. v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Poměr. prodl. %
Slitina A	269	214	10	200	193	25
Slitina B	297	241	8	241	241	7
Slitina C	310	255	7	241	228	8

V tomto příkladu byl u slitiny B střední průměr částic ve vyválcovaném plechu 0,5 μm (maximálně 2 μm).

Příklad 7

V tomto příkladu jsou uvedeny změny mechanických vlastností slitiny při přidavcích mědi, mědi a manganu, a hořčíku do hliníkové slitiny se železem a niklem typu popsaného v příkladu 6.

Hmotnostní složení:

A
1,6 % železa, 1,8 % niklu, 0,6 % mědi, méně než 0,1 % každého dalšího prvku a méně než 0,2 % všech těchto dalších prvků.

B
1,5 % železa, 1,9 % niklu, 0,6 % mědi, 0,6 proc. manganu, méně než 0,1 % každého

Mechanické vlastnosti plechu tloušťky 1,016 mm

Slitina	Max. pevnost v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Poměrné prodloužení %	Hloubka důlku při Erichsenově zkoušce mm
A	214	165	18	9,1
B	221	138	19	8,6
C	200	186	19	8,4

Příklad 8

Plech ze slitin hliník, železo, mangan, křemík

Hmotnostní složení:

A
1,8 % železo, 0,8 % mangan, 0,5 % křemík, méně než 0,01 % každého dalšího prvku, méně než 0,2 % všech dalších prvků.

B
2,0 % železo, 0,8 % mangan, 1,0 % křemík, méně než 0,01 % každého dalšího prvku, méně než 0,2 % všech dalších prvků.

C
2,1 % železo, 0,5 % mangan, 1,7 % křemík, méně než 0,01 % každého dalšího prvku, méně než 0,2 % všech dalších prvků.

Mechanické vlastnosti

Slitina	Ve válcovaném stavu			100 hod. žíhání při 300 °C		
	Max. pevnost v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Poměr prodl. %	Max. pevn. v tahu MPa	Mez kluzu v tahu MPa	Poměrné prodloužení %
A	248	193	7	145	110	32
B	262	200	5	152	103	23
C	248	172	7	131	62	26

dalšího prvku, méně než 0,2 % všech těchto dalších prvků.

C
1,7 % železo, 1,7 % nikl, 0,3 % hořčík, méně než 0,1 % každého dalšího prvku, méně než 0,2 % všech dalších prvků.

Odlévání:

Přímo chlazený ingot rozměrů 95,3 X 229 mm byl odléván v kokile s hlavovým nástavcem při teplotě kovu 730 °C rychlostí 102 mm/min.

Zpracování:

Po odstranění kůry byl ingot přehřát na 500 °C, válcován za tepla na plosku tloušťky 3,2 mm, pak byl vyválcován za studena na plech tloušťky 1 mm, nakonec částečně žíhán po dvě hodiny při teplotě 30 °C.

Odlévání:

Byl odléván ingot průměru 31,8 mm, rychlost růstu 102 mm/min.

Zpracování:

Ingoty byly přehřáté na 500 °C, válcovány za tepla na tloušťku 9,53 mm a za studena na plech tloušťky 1,27 mm.

Struktura:

Ingot se zdvojeným růstem, tvořený jemnými tyčinkami $\alpha\text{-Al-Fe-Mn-Si}$.

Plech obsahující jemné částice středního průměru menšího než 1 μm .

Zkoušky ingotů v odlitém stavu a zkoušky výrobků získaných válcováním v příkladech 4 až 8 ukázaly, že ingoty i výrobky měly stejnou strukturu jako ingot A v příkladu 1.

K vysvětlení vynálezu slouží výkresy, kde obr. 1 a 2 ukazují vliv konečného tepelného zpracování, prováděného po dobu 2 hod. při teplotách v rozmezí 250 až 450 °C, na vlastnosti hliníkové slitiny s hmotnostním obsahem 1,65 % železa, 0,91 % manganu, 0,20 proc. mědi, což je slitina z příkladu 2 s přídavkem 0,20 % mědi, a na hliníkové slitiny s hmotnostním obsahem 1,6 % železa, 1,9 % niklu, 0,5 % manganu, což je slitina s analogickým složením jako slitina B z příkladu 6. Obr. 3 je 500X zvětšená mikrofotografie ingotu obsahujícího hmotnostně 0,9 % železa, 0,8 % manganu, ostatek hliník komerční čistoty, odlitého za podmínek uvedených v příkladu 2, a obr. 4 je mikrofotografie, rovněž při zvětšení 500, plechu tloušťky 1,27 mm vyválcovaného z ingotu podle obr. 3. Obr. 5 ukazuje při stejném zvětšení strukturu plechu ze stejné slitiny, ale z ingotu odlévaného v podmínkách, kdy došlo k silné tvorbě hrubých metalických částic. Obr. 6 je přenosový elektronový mikrosnímek při zvětšení 13 000 válcovaného a částečně žíhaného plechu z hliníkové eutektické slitiny s obsahem 6 % niklu a ukazuje mírně protáhlé částice NiAl₃. Obr. 7 a 8 ukazují fázové rozhraní slitin obsahujících hliník, železo a mangan, a slitin obsahujících hliník, železo a nikl. Obr. 9 ukazuje při 500násobném zvětšení vhodnou strukturu ingotu ze slitiny z příkladu 3, vyrobeného s velmi rychlým ochlazením, bez dalšího zpracování, a obr. 10 je mikrofotografie téhož materiálu po válcování za studena.

V diagramech na obr. 1 a 2 je na ose úseček vynesena teplota ve °C, na první ose pořadnic vlevo poměrné prodloužení v %, na druhé ose pořadnic vlevo pevnost v tahu a mez kluzu v MPa, a na ose pořadnic vpravo hodnoty Erichsenovy zkoušky v mm. Na obou grafech znamená křivka **a** poměrné prodloužení, křivka **b** mez kluzu, křivka **c** pevnost v tahu a křivka **d** hodnoty Erichsenovy zkoušky. Diagramy ukazují, jaký vliv má konečné dvouhodinové tepelné zpracování při různých teplotách v rozmezí 250 až 450 °C na mechanické vlastnosti hliníkové slitiny s 1,65 % železa, 0,91 % manganu, 0,20 % mědi (slitina z příkladu 2 s přídavkem 0,2 % mědi) a hliníkové slitiny s 1,6 % železa, 1,9 proc. niklu, 0,5 % manganu (stejného složení B jako v příkladu 6).

Dříve než byl materiál podroben naznačenému tepelnému zpracování, byl odlit v přímo chlazený ingot rozměrů 127 X 508 mm, který po stažení kůry byl znovu zahřát na teplotu 500 °C a válcován za tepla na plošku tloušťky 6,4 mm, potom za studena na tloušťku 3,8 mm, mezitím žíhán dvě hodiny při teplotě 350 °C a válcován za studena na plech tloušťky 1,27 mm. Z diagramů je zřej-

mé, že konečným tepelným zpracováním při teplotách 250 °C lze dosáhnout žádané kombinace mechanických vlastností u hliníkové slitiny se železem a manganem, kdežto zpracování při teplotách 400 °C jsou výhodná pro hliníkové slitiny se železem, niklem a manganem.

Veškerá procentní označení ve složení slitin jsou hmotnostní procenta.

Vynález je dále objasněn mikrosnímky na obr. 3 až 6; na obr. 3 je 500X zvětšený mikrosnímek ingotu z hliníku běžné čistoty s 1,8 % železa a 0,8 % manganu, odlitého za podmínek podle příkladu 2. Obr. 4 ukazuje 500X zvětšený mikrosnímek plechu tloušťky 1,27 mm, vyválcovaného z ingotu podle obr. 3. Na obr. 5 je jako protiklad znázorněna ve stejném zvětšení struktura plechu vyrobeného ze stejné slitiny, ale z ingotu odlévaného za takových podmínek, že v něm vznikly velké shluky hrubých intermetalických částic.

Z obr. 6, který ukazuje 13 000X zvětšený přenosový elektronový mikrosnímek válcovaného a částečně žíhaného plechu z hliníku s 6 % niklu eutektického složení, je vidět poněkud prodloužené částice sloučeniny NiAl₃.

Diagram na obr. 7, kde na ose x jsou vyneseny hmotnostní obsahy % manganu a na ose y % železa, znázorňuje zjednodušeně fázové rozhraní mezi Al-FeAl₃ a Al-MnAl₆. Plocha ohraničená vnější přerušovanou čarou 1 vymezuje oblast eutektických směsí, jichž lze bez obtíží použít pro výrobu litých slitin s tyčinkovými intermetalickými fázemi žádaného průměru pro výrobu dispersně vytvrzených tvářených výrobků z hliníkové slitiny podle vynálezu. Plocha ohraničená vnitřní plnou čarou 2 vymezuje výhodnou oblast směsí, z nichž lze snadněji vyrobit lité slitiny s žádanými tyčinkovými fázemi bez růstu nežádoucích hrubých intermetalických částic.

V diagramu na obr. 8, kde jsou na ose úseček vynesena hmot. % niklu, jsou hranice běžných a výhodných oblastí směsí pro slitinu: hliník, železo, nikl stejně vymezeny vnějšími přerušovanými čarami 3 a vnitřními plnými čarami 4 se zřetelem k fázovému rozhraní Al-FeAl₃ a Al-(Fe,Ni)₂Al₃.

Ačkoli je výhodné u způsobu podle vynálezu vycházet od litého materiálu, ve kterém se tyčinkové intermetalické fáze vyvinuly zdvojeným růstem eutektické struktury, lze také vyjít od litého materiálu, ve kterém je velké množství hliníkových dendritů. Jak již bylo uvedeno, litý materiál může obsahovat tato velká množství hliníkových dendritů, proběhne-li ztuhnutí velmi rychle a dendrity jsou dostatečně malé.

Na obr. 9 je 500X zvětšený mikrosnímek znázorňující přijatelnou strukturu plošky, odlité ze slitiny: hliník, železo, mangan a měď podle příkladu 3, vyrobené zvláště rychlým ochlazením. Světlo plochy na tomto mik-

rosnímku odpovídají jednotlivým hliníkovým dendritům rozměrů 3 až 5 μm , kdežto tmavé plochy zobrazují shluky velmi jemných tyčinkových fází o průměru 0,2 μm .

Na obr. 10 je mikrosnímek stejného materiálu po vyválnování za studena z tloušťky 7,1 mm na tloušťku 1 mm. Slitina byla odlévána mezi dvojicí chlazených ocelových válců ve stroji firmy Hunter Engineering Company.

V následujícím příkladu 9 jsou uvedeny typické podmínky pro výrobu materiálu se strukturou podle obr. 9 a 10 a mechanické vlastnosti výsledných výrobků.

Příklad 9

Plech vyrobený z plosky odlité licím strojem s dvojicí ocelových válců

Hmotnostní složení:

1,65 % železa, 0,90 % manganu, 0,24 % mědi, 0,12 % křemíku, méně než 0,01 % jiných jednotlivých prvků, ostatní hmotou je hliník.

Odlévání:

Plynule odlévaná ploska měla v odlitém stavu rozměry: šířku 838,2 mm, tloušťku 7,12 mm, rychlost odlévání 838,2 mm/min. Teplotu kovu 710 °C.

Zpracování:

A

Ploska v odlitém stavu byla válcována za studena na tloušťku 1 mm a potom na plech tloušťky 0,3 mm.

B

Ploska v odlitém stavu byla válcována na tloušťku 3,8 mm, dvě hodiny byla žíhána při teplotě 350 °C, pak válcována na tloušťku 1 mm a na plech tloušťky 0,3 mm.

C

Ploska v odlitém stavu byla válcována na tloušťku 3,8 mm, žíhána dvě hodiny při teplotě 500 °C, válcována za studena na tloušťku 1 mm a pak na plech tloušťky 0,3 mm.

Struktura:

Ingot sestával z velmi jemných hliníkových dendritů s velikostí komůrek 5 μm , obklopených velmi jemnými intermetalickými tyčinkami středního průměru 0,2 μm . Tyčinky byly rozlámány a částice dispergovány v plechu během válcování za studena na tloušťku 1 mm. Velikost částic vzrůstala s teplotou žíhání, avšak zůstávala menší než 1 μm na průměr.

Mechanické vlastnosti — Poměrné prodloužení na délce 50 mm

Po vyválnování plochy	Ve válcovaném stavu			Koncové dvouhodinové žhání při 350 °C			Pom. prodl. %	Max. pevnost v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Pom. prodl. %
	Max. pevn. v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Poměr prodl. %	Max. pevn. v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Pom. prodl. %				
A. tlouška 1 mm	324	297	5	241	90	6		207	172	13
tlouška 0,3 mm	359	310	4	241	221	7		200	179	12
B. tlouška 1 mm	290	241	6	234	207	10		207	179	15
tlouška 0,3 mm	303	248	5	234	214	7		214	186	14
C. tlouška 1 mm	248	214	6	152	110	22		145	69	28
tlouška 0,3 mm	255	214	5	165	138	25		152	110	23

Ačkoli je zcela jednoduché odlévat válcovaný ingot hliníkové slitiny čtyřúhelníkového průřezu až do tloušťky 150 mm plynulým odléváním s přímým chlazením za podmínek, které způsobí v podstatě úplný zdvojený růst ve výhodných eutektických slitinách podle vynálezu, není tak snadné dosáhnout stejných výsledků u daleko tlustších ingotů všeobecně používaných pro výrobu plechových výrobků z hliníkové slitiny. Avšak poněvadž tlusté výrobky, například tloušťky 450 mm, se velmi silně zeslabují při zpracování v plech, jsou přípustné v lité slitině velmi velké dendrity.

Příklad 10

Plech vyválnovaný z tlustého přímo chlazeného ingotu

Hmotnostní složení: 1,6 % železo, 0,4 % mangan, 1,4 % nikl, 0,1 % křemík, 0,02 % galia (nečistoty), méně než 0,01 % každého jednotlivého dalšího prvku, ostatní hmotnost hliník.

Mechanické vlastnosti

Materiál plech tloušťky 1 mm po částečném žihání při	Max. pevnost v tahu MPa	Mez kluzu MPa	Poměr prodloužení %	Hloubka důlku při Erichsenově zkoušce mm
315 °C	182	174	22	9,7

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Způsob výroby výrobků z disperzně vytvrzené hliníkové slitiny, vyznačený tím, že u odlitku z hliníkové slitiny obsahujícího 5 až 20 % objemu nesrovnaných intermetalických tyčinek středního průměru 0,1 až 1,5 μm tvořených intermetalickou sloučeninou hliníku s niklem nebo nejméně s dvěma prvky ze skupiny zahrnující železo, nikl, mangan a křemík, kde popřípadě až 0,5 % kombinovaného obsahu železa a niklu může být nahrazeno odpovídajícím množstvím kobaltu, přičemž odlitek je prost hrubých primárních intermetalických částic, se tvářením zmenšuje průřez nejméně o 60 % původní hodnoty k rozdrčení intermetalických tyčinek na oddělené zlomky.

2. Způsob podle bodu 1, vyznačený se tím, že tvářením se provádí za tepla při teplotách nad 250 °C.

Odlévání: Ingot byl odléván s přímým chlazením a s použitím v kokile velkého rozváděče ze skleněné tkaniny pro zmenšení turbulence ve snaze zvýšit tepelný spád v jímce tekutého kovu. Teplota kovu 735 °C, rychlost odlévání 76 mm/min. Rozměry ingotu: tloušťka 457 mm, šířka 137 mm, délka 2540 mm.

Zpracování: Ingot byl předeřhát na teplotu 475 °C, válcován za tepla z tloušťky 457 milimetrů na tloušťku 3,2 mm, válcován za studena z tloušťky 3,2 na tloušťku 1 mm a pak byl nakonec částečně žihán dvě hodiny při teplotě 315 °C.

Struktura: Ingot obsahoval velké oblasti tyčinkového eutektika $(\text{Fe,Ni})_2\text{Al}_3$ a asi 40 procent objemových primárních hliníkových dendritů s velikostí komůrek asi 20 μm . Střední průměr tyčinek byl 0,4 μm .

Během deformace se intermetalické tyčinky přelámaly a částice dispergovaly. V plechu tloušťky 1 mm nebyly zjištěny oblasti prosté částic z původních hliníkových dendritů.

3. Způsob podle bodu 2, vyznačený se tím, že po tvářením za tepla se průřez redukováného odlitku dále zmenší alespoň o 10 procent tvářením za studena.

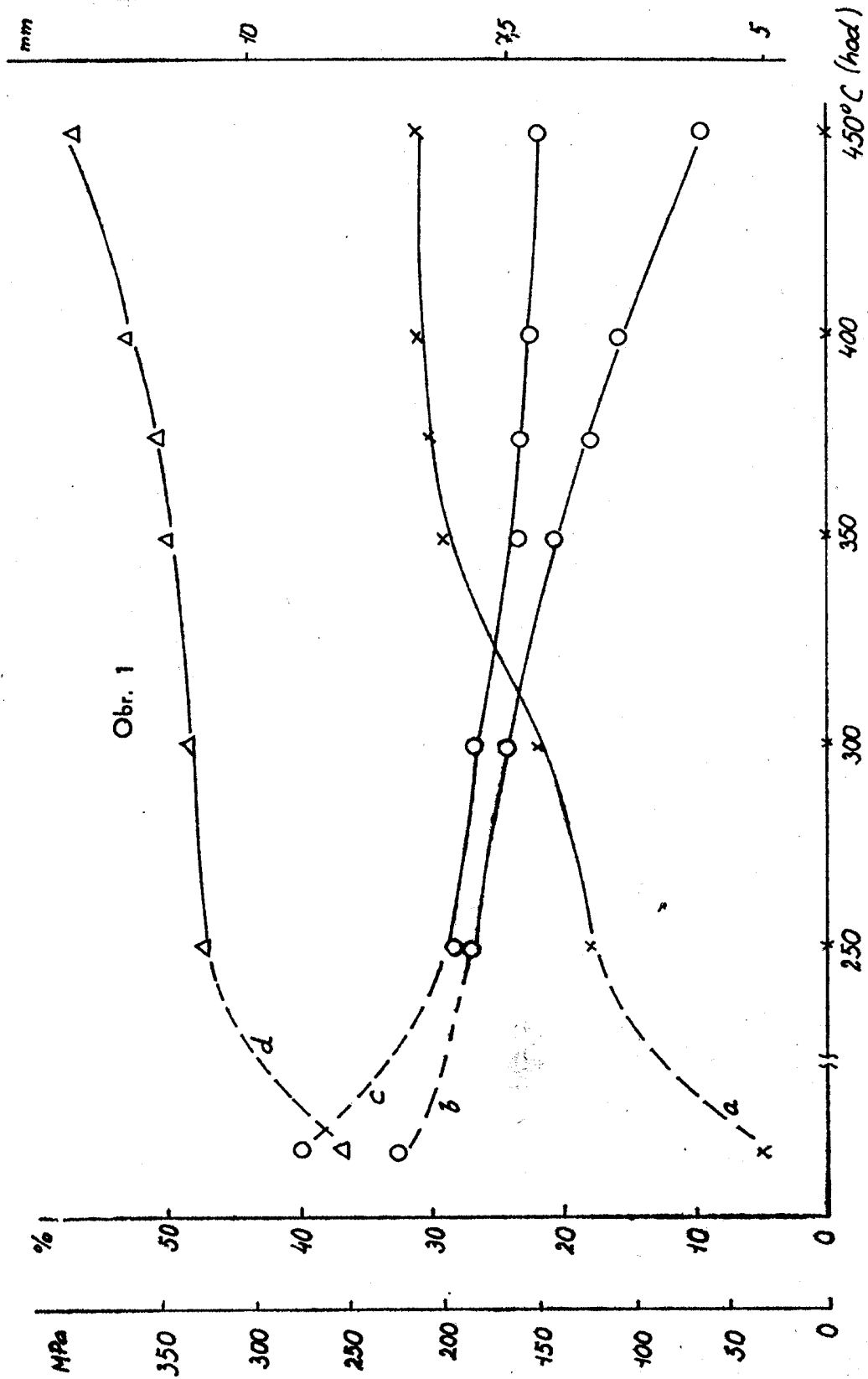
4. Způsob podle bodu 1, vyznačený se tím, že tvářením odlitku se provádí za studena.

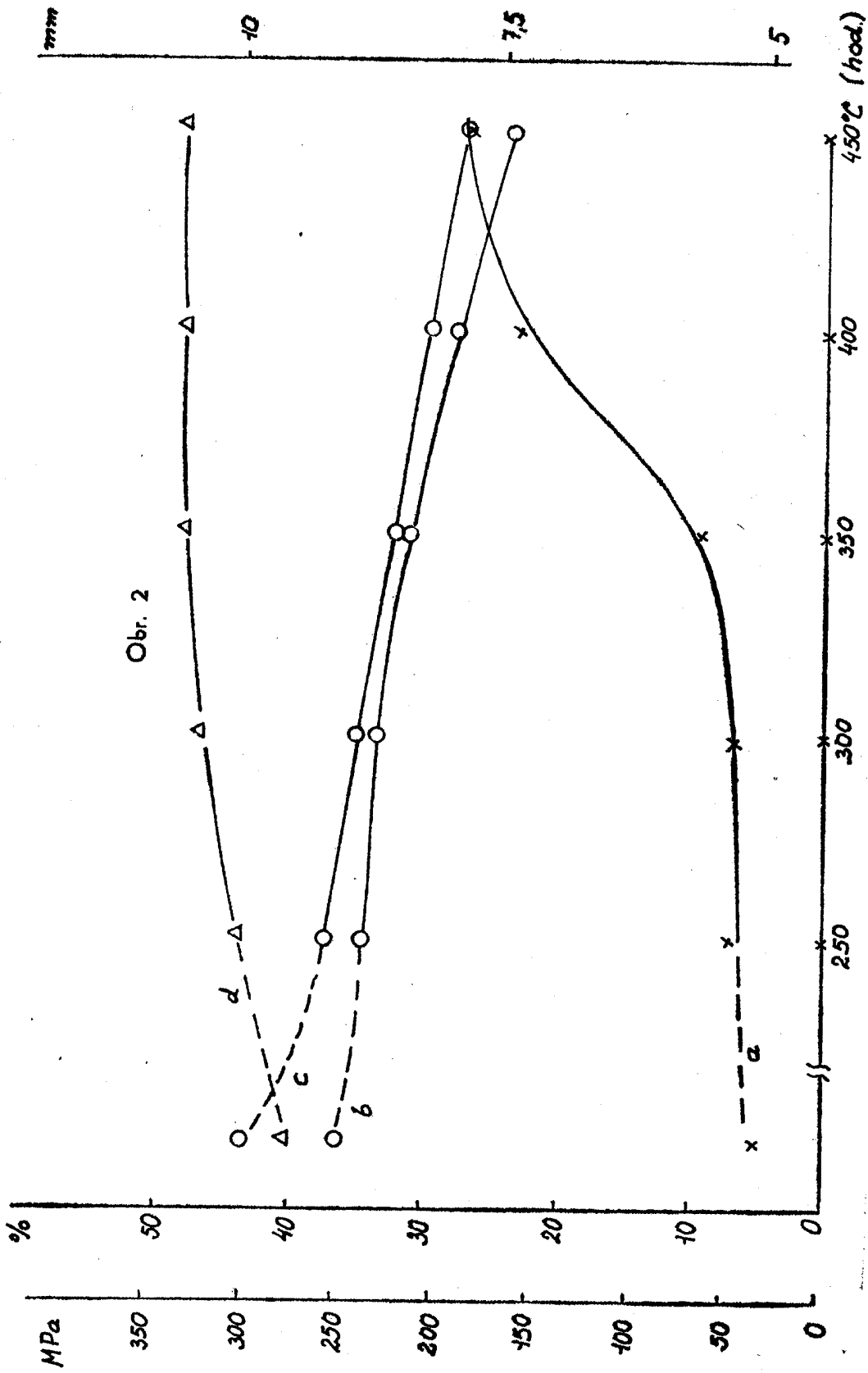
5. Způsob podle jednoho z bodů 1 až 4, vyznačený se tím, že po tvářením se odlitek podrobí konečnému tepelnému zpracování při teplotách 230 až 450 °C.

6. Způsob podle bodu 1, vyznačený tím, že se hliníková slitina odlévá při narůstání ztuhlé vrstvy na fázovém rozhraní rychlostí alespoň 1 cm/min.

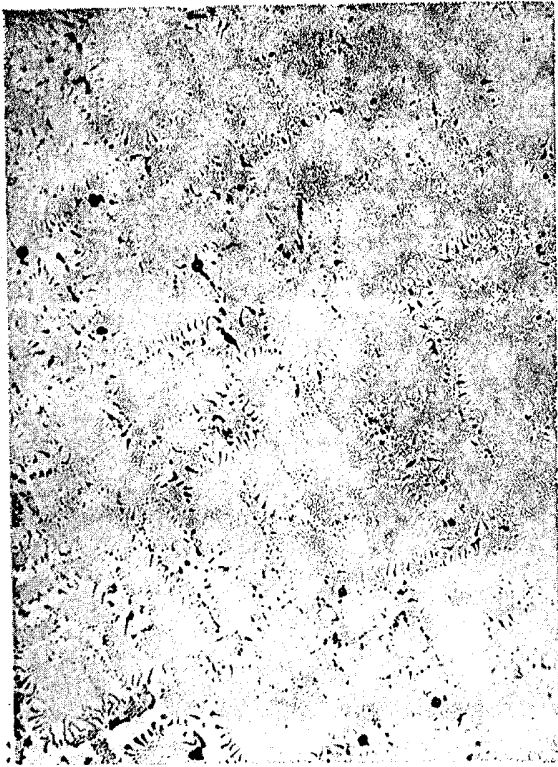
7. Způsob podle bodu 1, vyznačený tím, že se hliníková slitina odlévá plynulým litím za přímého chlazení.

6 listů výkresů





Obr. 3



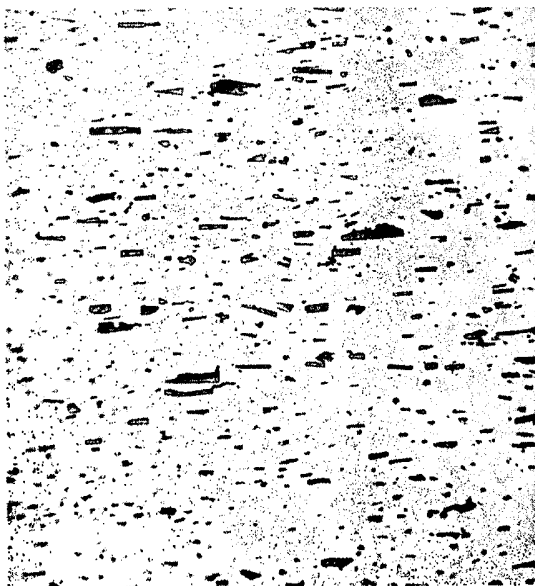
Obr. 4



Obr. 6



Obr. 5

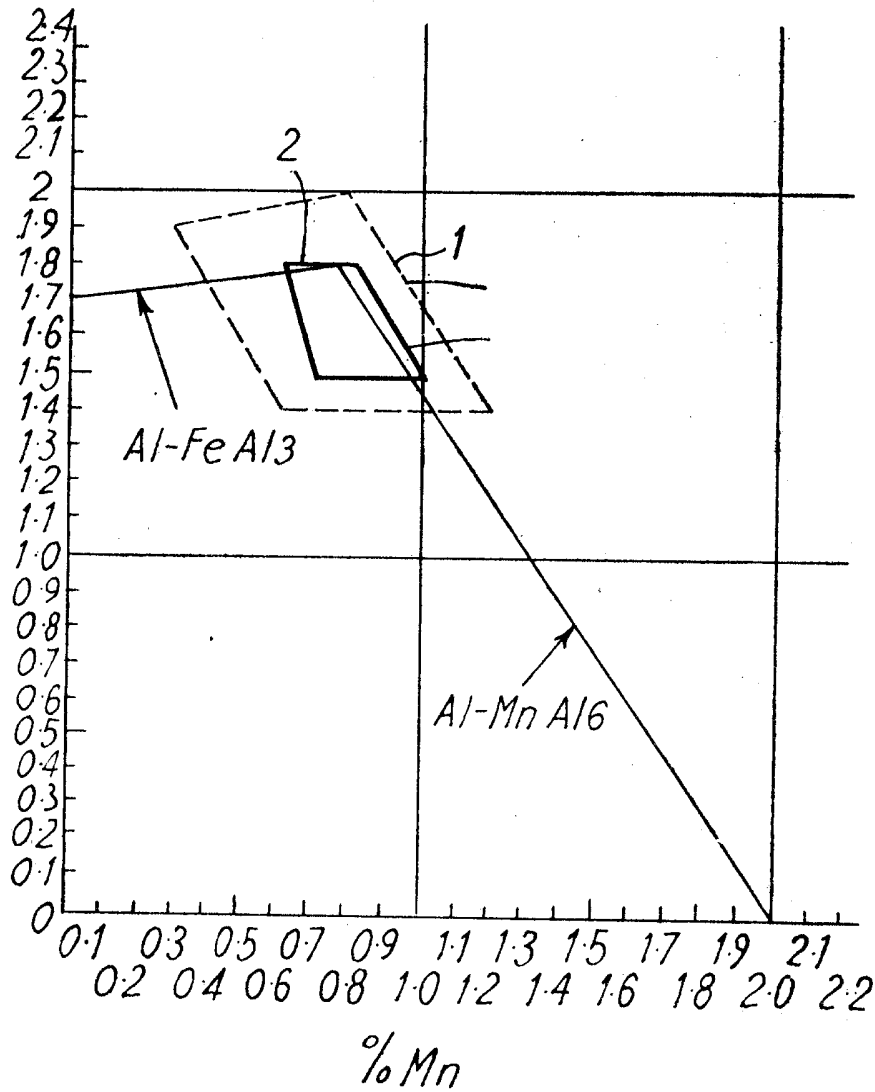


Obr. 7

Al-Fe-Mn

Eut: 1.8 Fe - 0.75 Mn

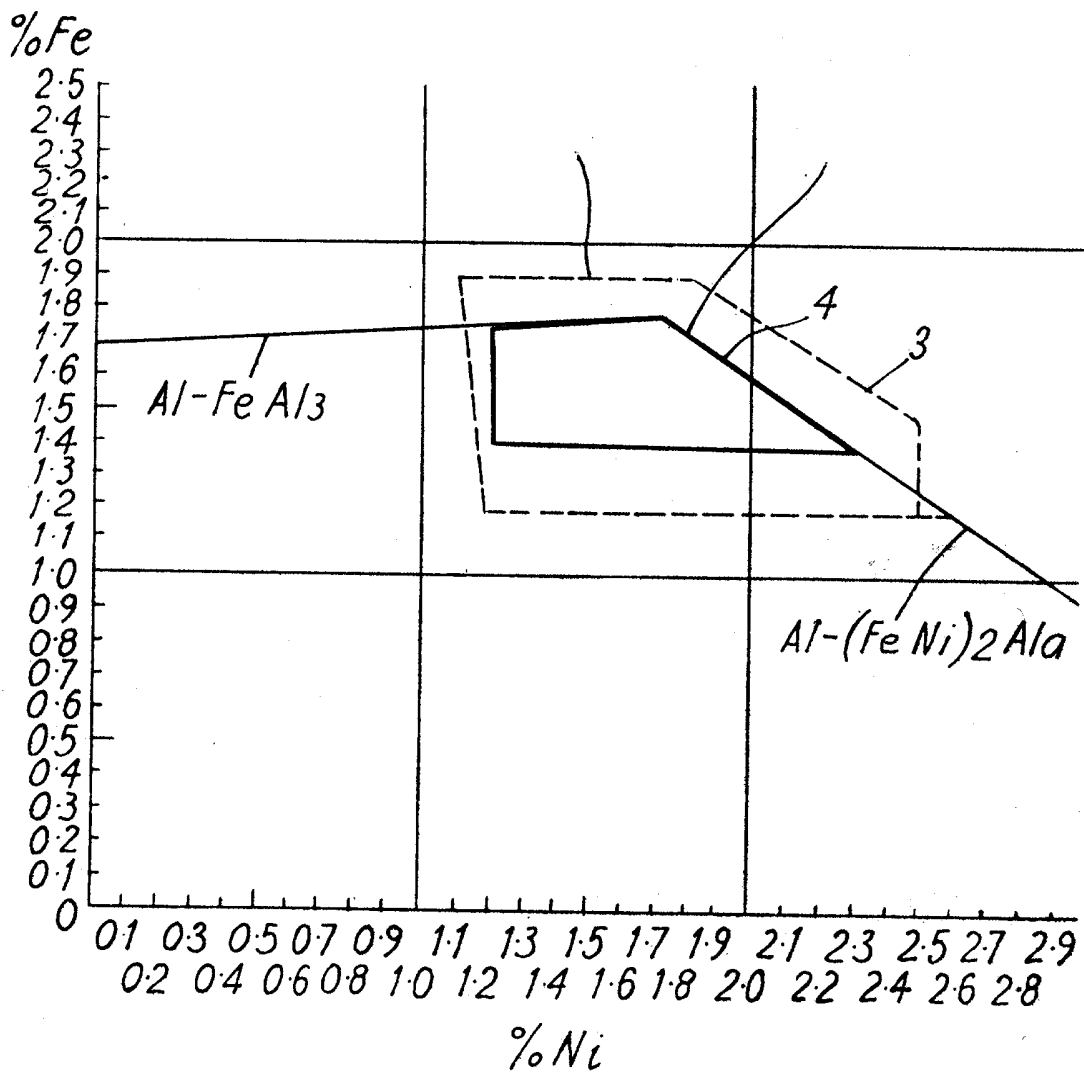
%Fe



Obr. 8

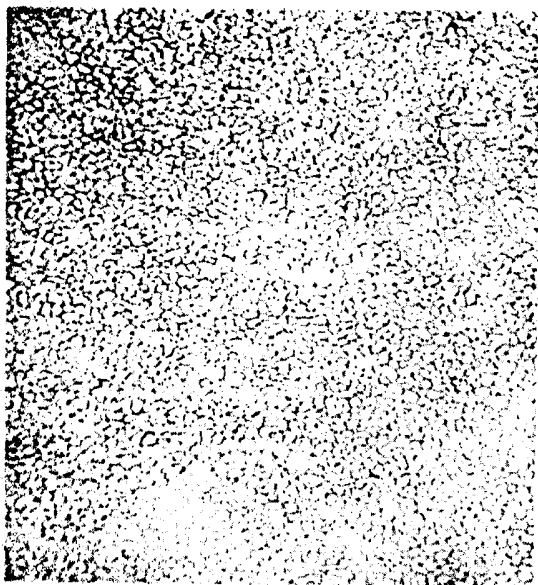
Al-Fe-Ni

Pt 1.8 Fe - 1.7 Ni



209489

Obr. 9



Obr. 10

