



FI000091495B

(B) (11) **KUULUTUSJULKAISU**  
**UTLAGNINGSSKRIFT** 91495

C (45) Patentti myönnetty  
Patent mallelat 11 07 1991

(51) Kv.1k.5 - Int.cl.5

B 22D 19/14

**SUOMI-FINLAND**

(FI)

**Patentti- ja rekisterihallitus**  
**Patent- och registerstyrelsen**

(21) Patentihakemus - Patentansökning	894940
(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag	17.10.89
(24) Alkupäivä - Löpdag	17.10.89
(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig	11.05.90
(44) Nähtävöksipanon ja kuul.julkaisun pvm. - Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad	31.03.94
(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet	
10.11.88 US 269370 P	

(71) Hakija - Sökande

1. Lanxide Technology Company, LP, Tralee Industrial Park, Newark, Del. 19711, USA, (US)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1. Drivedi, Ratnesh Kumar, 2628 Bellows Drive, Wilmington, Del. 19810, USA, (US)

(74) Asiamies - Ombud: Berggren Oy Ab

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

Menetelmä metallimatriisikomposiitin valmistamiseksi sulasta matriisimetallista ja oleellisesti ei-reaktiivisesta täyteaineesta  
Förfarande för tillverkning av en metallmatriiskomposit av smält matrismetall och ett väsentligt icke-reaktivt fyllnadsmedel

(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

EP A 250210 (C 04B 4/88), EP A 291441 (C 22C 1/09), US A 3364976 (164-63),  
US A 2606831 (75-200)

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Esillä oleva keksintö liittyy uuteen menetelmään metallimatriisikomposiittikappaleen muodostamiseksi, sekä sillä tuotettuihin tuotteisiin. Erityisesti muodostetaan läpäisevä täyteainemassa esimuotiksi, jossa ainakin osassa on ontelo. Tunkeutumisen edistäjä ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjä ja/tai tunkeutumisatmosfääri on myös ainakin prosessin jossakin vaiheessa yhteydessä esimuottiin, mikä sallii sulan metallimatriisin spontaanin tunkeutumisen esimuottiin, kun esimuotti asetetaan sulaan matriisimetalliin. Tunkeutumisatmosfääri on yhteydessä esimuotin onteloon ainakin prosessin osan aikana ja sula matriisimetalli saatetaan koskettamaan esimuotin ulkopuolta, niin että sula matriisimetalli tunkeutuu spontaanisti esimuottiin sen ulkopinnalta kohti onteloa.

Föreliggande uppfinning berör ett nytt förfarande för att bilda en metallmatriis-kompositkropp, samt produkter som åstadkommes med det. Närmare bestämt bildas en förform av filler-material, varvid förformen har åtminstone en del som innehåller en ihållighet. En infiltrationsbefrämjare och/eller en föregångare till en infiltrationsbefrämjare och/eller en infiltrationsatmosfär står även i kontakt med förformen åtminstone i något skede under processen, vilket tillåter den smälta matrismetallen att spontant infiltrera förformen, då förformen placeras i smält matrismetall. En infiltrationsatmosfär anordnas i kontakt med ihålligheten i förformen åtminstone under en del av processen och smält matrismetall ställes i beröring med en yttre del av förformen, så att den smälta matrismetallen spontant infiltrerar förformen från dess ytteryta mot ihålligheten.

Menetelmä metallimatriisikomposiitin valmistamiseksi sulasta matriisimetallista ja oleellisesti ei-reaktiivisesta täyteaineesta

5 Esillä oleva keksintö liittyy uuteen menetelmään metallimatriisikomposiittien muodostamiseksi sulasta matriisimetallista ja ei-reaktiivisesta täyteaineesta. Keksinnön erityisen edullisen sovellutuksen mukaan muodostetaan läpäisevä täyteainemassa esimuotiksi, jossa ainakin osassa on ontelo. Tunkeutumisen edistäjä ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjä sekä 10 tunkeutumisatmosfääri on ainakin prosessin jossakin vaiheessa yhteydessä täyteaineeseen, mikä sallii sulan metallimatriisin spontaanin tunkeutumisen täyteaineeseen, kun täyteaine asetetaan sulaan matriisimetalliin. Tunkeutumisatmosfääri on edullisesti yhteydessä täyteaineesta muodostetun esimuotin onteloon ainakin prosessin osan aikana. Lisäksi, kun sula matriisimetalli saatetaan koskettamaan esimuotin ulkopuolta, niin sula matriisimetalli tunkeutuu spontaanisti esimuottiin sen 15 ulkopinnalta kohti siinä olevaa ontelo.

20 Metallimatriisin ja lujittavan tai vahvistavan faasin, kuten keraamisia hiukkasia, kuitukiteitä, kuituja tai vastaavia, käsittävät komposiittituotteet näyttävät lupaavilta moniin eriin sovellutuksiin, koska niissä yhdistyvät osa lujittavan faasin jäykkyydestä ja kulutuskestävyydestä metallimatriisin 25 muovattavuuteen ja sitkeyteen. Yleensä metallimatriisikomposiitilla luodaan parannuksia sellaisissa ominaisuuksissa, kuten lujuus, jäykkyys, hankauskulutuksen kestävyys ja lujuuden pysyminen korkeammassa lämpötiloissa, verrattuna matriisimetalliin sen monoliittisessä muodossa, mutta määrää, johon saakka määrättyä ominaisuutta voidaan parantaa, riippuu suuresti kyseessä olevista ainesosista, niiden tilavuus- tai painosuhteista sekä siitä, miten niitä käsitellään komposiittia muodostettaessa. Eräissä tapauksissa komposiitti voi myös olla 30

kevyempää kuin matriisimetalli sellaisenaan. Alumiinimatriisikomposiitit, jotka on vahvistettu keraamilla, kuten esimerkiksi piikarbidilla hiukkasten, hiutaleiden tai kuitukiteiden muodossa, ovat kiinnostavia johtuen niiden  
5 alumiiniin verrattuna suuremmasta jäykkyydestä, kulutuksen kestävyydestä ja korkean lämpötilan lujuudesta.

Alumiinimatriisikomposiittien valmistamiseksi on kuvattu erilaisia metallurgisia menetelmiä, mukaanlukien menetelmiä, jotka perustuvat jauhemetallurgiatekniikoihin ja  
10 sulan metallin tunkeutumistekniikoihin, joissa käytetään hyväksi painevalua, tyhjövalua, sekoittamista, ja notkistimia. Jauhemetallurgiatekniikoiden avulla jauheen muodossa oleva metalli ja jauheen, kuitukiteiden, leikattujen  
15 kuitujen, jne. muodossa oleva lujittava aine sekoitetaan ja sitten joko kylmäpuristetaan ja sintrataan, tai kuuma-  
puristetaan. Tällä menetelmällä tuotetun piikarbidilla lujitetun alumiinimatriisikomposiitin suurimman keraamin tilavuusosan on ilmoitettu olevan noin 25 tilavuusprosenttia  
20 kuitukiteiden tapauksessa ja noin 40 tilavuusprosenttia hiukkasten tapauksessa.

Metallimatriisikomposiittien tuottaminen jauhemetallurgisia tekniikoita käyttävin tavanomaisin menetelmin asettaa  
25 eräitä rajoituksia aikaansaatavien tuotteiden ominaisuuksille. Komposiitissa olevan keraamifaasin tilavuusosa on tyypillisesti rajoittunut, hiukkasten tapauksessa noin 40 prosenttiin. Samaten asettaa puristustoiminta rajan käytännössä saavutettavalle koolle. Ainoastaan suhteellisen  
30 yksinkertaiset tuotteen muodot ovat mahdollisia ilman jälkeinpäin tapahtuvaa käsittelyä (esim. muotoilua tai koneistusta) tai ottamatta käyttöön monimutkaisia puristimia. Sintrauksen aikana voi myös esiintyä epätasaista  
kutistumista, samoin kuin mikrostruktuurin epätasaisuutta,  
35 johtuen kiintoaineisiin eriytymisestä ja hiukkasten kasvusta.

US-patentissa 3,970,136 kuvataan menetelmä metallimatrii-  
sikomposiitin muodostamiseksi, johon sisältyy kuitumuotoi-  
nen lujite, esim. piikarbidi- tai alumiinioksidikuituki-  
teitä, joilla on ennalta määrätty kuitujen suuntaus.  
5 Komposiitti tehdään sijoittamalla samassa tasossa olevien  
kuitujen samansuuntaisia mattoja tai huopia muottiin  
yhdessä sulan matriisimetallin, esim. alumiinin lähteen  
kanssa ainakin joidenkin mattojen välissä, ja kohdistamalla  
painetta, niin että sula metalli pakotetaan tunkeutumaan  
10 mattoihin ja ympäröimään suunnatut kuidut. Mattojen pinon  
päälle voidaan valaa sulaa metallia, jolloin sitä paineen  
avulla pakotetaan virtaamaan mattojen väliin. Komposiitis-  
sa olevien lujittavien kuitujen jopa 50 % tilavuuspitoi-  
suuksia on ilmoitettu.

15

Edellä olevaan tunkeutumismenetelmään liittyy paineen  
aiheuttamien virtausprosessien yllätyksellisiä vaihtelu-  
ja. ts. mahdollisia epäsäännöllisyyksiä matriisin muodos-  
tumisessa, huokoisuutta, jne, kun otetaan huomioon että se  
20 riippuu ulkoisesta paineesta sulan matriisimetallin pakot-  
tamiseksi kuitupitoisten mattojen läpi. Ominaisuuksien  
epätasaisuus on mahdollinen vaikka sulaa metallia johdet-  
taisiin useammasta kohdasta kuitupitoiseen järjestelyyn.  
Vastaavasti on järjestettävä monimutkaiset matto/lähde-  
25 järjestelyt ja virtausreitit soveltuvan ja tasaisen tun-  
keutumisen aikaansaamiseksi kuitumattojen pinoon. Edellä  
mainittu painetunkeutumismenetelmä mahdollistaa myös ai-  
noastaan suhteellisen pienen lujitusaineen ja matriisiti-  
lavuuden suhteen, johtuen suureen mattotilavuuteen kiin-  
30 teästi liittyvästä tunkeutumisen vaikeudesta. Lisäksi  
muoteissa on oltava sulaa metallia paineen alaisena, joka  
nostaa menetelmän kustannuksia. Lopuksi edellä mainittu  
menetelmä, joka rajoittuu ojennuksessa oleviin hiukkasiin  
tai kuituihin tunkeutumiseen, ei sovellu alumiinimatrii-  
35 sikomposiittien muodostamiseen, jotka on lujitettu satun-  
naisesti suuntautuvista hiukkasista, kuitukiteistä tai  
kuiduista koostuvilla aineilla.

Alumiinimatriisi-alumiinioksiditäytteisten komposiittien valmistuksessa alumiini ei helposti kostuta alumiinioksidia, jolloin on vaikeata muodostaa yhtenäinen tuote. Tähän ongelmaan on ehdotettu erilaisia ratkaisuja. Eräs sellainen lähestyminen on alumiinin päällystäminen metallilla (esim. nikkelillä tai wolframilla), joka sitten kuumapuristetaan yhdessä alumiinin kanssa. Toisessa tekniikassa alumiini seostetaan litiumin kanssa, ja alumiinioksidi voidaan päällystää piidioksidilla. Näillä komposiiteilla kuitenkin ominaisuudet vaihtelevat, tai päällystykset voivat heikentää täytettä, tai matriisi sisältää litiumia, joka voi vaikuttaa matriisin ominaisuuksiin.

US-patentilla 4,232,091 voitetaan eräitä alan vaikeuksia, joita kohdataan valmistettaessa alumiinimatriisi-alumiinioksiditäytteisiä komposiitteja. Tässä patentissa kuvataan 75 - 375 kg/cm<sup>2</sup> paineen kohdistamista pakottamaan sula alumiini (tai sula alumiiniseos) alumiinioksidia olevaan kuitu- tai kuitukidemattoon, joka on esilämmitetty alueelle 700 - 1050 °C. Alumiinioksidin suurin suhde metalliin tuloksena olevassa kiinteässä valukappaleessa oli 0,25:1. Koska tässä menetelmässä ollaan riippuvaisia ulkopuolisesta paineesta tunkeutumisen aikaansaamiseksi, sitä vaivaavat monet samat puutteet kuin US-patenttia 3,970,136.

EP-hakemuksessa 115,742 kuvataan alumiini-alumiinioksidi-komposiittien valmistamista, jotka ovat erityisen käyttökelpoisia elektrolyyttikennokomponentteina, ja joissa esimuotin alumiinioksidimatriisin ontelot täytetään alumiinilla, ja tätä varten käytetään erilaisia tekniikoita alumiinioksidin kustuttamiseksi koko esimuotissa. Alumiinioksidi kustutetaan esimerkiksi titaani-, zirkonium-, hafnium tai niobi-diboridia olevalla kustutusaineella tai metallilla, ts. litiumilla, magnesiumilla, kalsiumilla, titaanilla, kromilla, raudalla, koboltilla, nikkelillä, zirkoniumilla tai hafniumilla. Kostutuksen edistämiseksi käytetään inerttiä atmosfääriä, kuten argonia. Tässä

julkaisussa esitetään myös paineen kohdistaminen sulan alumiinin saamiseksi tunkeutumaan päällystämättömään matriisiin. Tässä suhteessa tunkeutuminen aikaansaadaan saatamalla huokokset ensin tyhjään ja kohdistamalla sitten  
5 sulaan alumiiniin painetta inertissä atmosfäärissä, esim. argonissa. Vaihtoehtoisesti esimuottiin voidaan tunkeutua höyryfaasissa olevalla alumiinipäällystyksellä pintojen kostuttamiseksi ennen onteloiden täyttämistä tunkeutuvalla sulalla alumiinilla. Jotta varmistettaisiin alumiinin  
10 pysyminen esimuotin huokosissa vaaditaan lämpökäsittelyä, esim lämpötilassa 1400 - 1800 °C, joko argonissa tai tyhjiössä. Muutoin joko paineen alaisena tunkeutuneen aineen altistuminen kaasulle, tai tunkeutumispaineen poistaminen, aiheuttaa alumiinin häviämistä kappaleesta.

15

Kostutusaineiden käyttäminen alumiinioksidikomponentin tunkeutumisen aikaansaamiseksi sulaa metallia sisältävään elektrolyyttikennoon on esitetty myös EP-patenttihakemuksessa 94353. Tässä julkaisussa kuvataan alumiinin tuottamista elektrolyysillä kennossa, jossa virranjohdinkatodi on kennon vaippana tai alustana. Tämän alustan suojaamiseksi sulalta kryoliitilta levitetään alumiinioksidialustalle ohut päällystys kostutusaineen ja liukenemisen estävän aineen seoksella ennen kennon käynnistämistä tai  
20 kun se on upotettuna elektrolyysiprosessin tuottamaan sulaan alumiiniin. Kuvattuja kostutusaineita ovat titaani, zirkonium, hafnium, pii, magnesium, vanadiini, kromi, niobi tai kalsium, ja titaani esitetään edullisimmaksi aineeksi. Boorin, hiilen ja typen yhdisteiden selitetään olevan  
25 hyödyllisiä estettäessä kostutusaineiden liukenemista sulaan alumiiniin. Tässä julkaisussa ei kuitenkaan ehdoteta metallimatriisikomposiittien tuottamista, eikä siinä ehdoteta sellaista komposiittien muodostamista esimerkiksi typpi-atmosfäärissä.

30  
35

Paineen ja kostutusaineiden käytön lisäksi on kuvattu tyhjän kohdistamisen edistävän sulan alumiinin tunkeutu-

mista huokoiseen keraamikappaleeseen. Esimerkiksi US-patentissa 3,718,441 raportoidaan keraamiseen kappaleeseen (esim. boorikarbidi, alumiinioksidi ja berylliumoksidi) tunkeutumista joko sulalla alumiinilla, berylliumilla, 5 magnesiumilla, titaanilla, vanadiinilla, nikkellillä tai kromilla, tyhjöissä joka on alle  $10^{-6}$  torr. Välillä  $10^{-2}$  ...  $10^{-6}$  torr oleva tyhjö johti keraamin heikkoon kostuttamiseen sulalla metallilla, niin ettei metalli virrannut vapaasti keraamin ontelotiloihin. Kostuttamisen sanotaan 10 kuitenkin parantuneen, kun tyhjö pienennettiin alle  $10^{-6}$  torr.

Myös US-patentissa 3,864,154 esitetään tyhjön käyttämistä tunkeutumisen aikaansaamiseksi. Tässä patentissa selite- 15 tään kylmäpuristetun  $AlB_{12}$ -jauhekappaleen asettamista kylmäpuristetun alumiinijauheen pedille. Sen jälkeen sijoitettiin lisää alumiinia  $AlB_{12}$ -jauhekappaleen päälle. Sulatusastia, jossa  $AlB_{12}$ -kappale oli "kerrostettuna" alumiinijauhekerrosten väliin, sijoitettiin tyhjöuuniin. Uu- 20 niin järjestettiin noin  $10^{-5}$  torr oleva tyhjö kaasun poistumista varten. Lämpötilaa nostettiin sen jälkeen  $1100^{\circ}C$ :een, jossa se pidettiin 3 tuntia. Näissä oloissa sula alumiini tunkeutui  $AlB_{12}$ -kappaleeseen.

25 US-patentissa 3,364,976 selitetään suunnitelmaa itsestään kehittyvän tyhjön aikaansaamista kappaleeseen, sulan metallin tunkeutumisen lisäämiseksi kappaleeseen. Erityisesti selitetään, että kappale, esim. grafiittimuotti, teräs- muotti tai huokoinen tulenkestävä aine, kokonaan upotetaan 30 sulaan metalliin. Muotin tapauksessa metallin kanssa reagoivan kaasun kanssa täytetty muottiontelo on yhteydessä ulkopuolella sijaitsevaan sulaan metalliin muotissa olevan ainakin yhden aukon kautta. Kun muotti upotetaan sulaan, tapahtuu ontelon täyttyminen itsestään kehittyvän tyhjön 35 syntyessä ontelossa olevan kaasun ja sulan metallin reaktion johdosta. Tyhjö on erityisesti tulosta metallin kiinteän oksidimuodon syntymisestä. Siten tässä julkaisus-

sa esitetään, että on oleellista aikaansaada ontelossa olevan kaasun ja sulan metallin välinen reaktio. Muotin käyttäminen tyhjän luomiseksi ei kuitenkaan välttämättä ole toivottavaa, johtuen muotin käyttöön liittyvistä välittömistä rajoituksista. Muotit on ensin koneistettava määrättyyn muotoon; sitten loppukäsitteltävä, koneistettava hyväksyttävän valupinnan tuottamiseksi muottiin; sitten koottava ennen niiden käyttämistä; sitten purettava niiden käytön jälkeen valukappaleen poistamiseksi niistä; ja sen jälkeen muotti on jälleen saatettava käyttökuuntoon, mikä mitä todennäköisimmin merkitsisi muotin pintojen uudelleen käsittelyä tai muotin poistamista, ellei se enää ole käyttöön hyväksyttävä. Muotin koneistaminen monimutkaiseen muotoon saattaa olla erittäin kallista ja aikaavievää. Lisäksi muodostuneen kappaleen poistaminen monimutkaisen muotoisesta muotista saattaa olla vaikeata (ts. monimutkaisen muotoiset valukappaleet saattavat mennä rikki niitä muotista poistettaessa). Lisäksi, vaikka julkaisussa ehdotetaan, että huokoinen tulenkestävä aine voitaisiin suoraan upottaa sulaan metalliin tarvitsematta käyttää muottia, niin tulenkestävän aineen olisi oltava yhtenäinen kappale, koska ei ole olemassa mahdollisuutta aikaansaada tunkeutumista irralliseen tai erotettuun huokoiseen aineeseen ilman säiliönä olevaa muottia (ts. uskotaan yleisesti, että hiukkasmainen aine tyypillisesti dissosioituisi tai valuisi hajalleen sitä sulaan metalliin sijoitettaessa). Lisäksi, jos haluttaisiin aikaansaada tunkeutuminen hiukkasmaiseen aineeseen tai löyhästi muodostettuun esimuottiin, olisi ryhdyttävä varotoimiin, niin ettei tunkeutuva metalli syrjäyttäisi osaa hiukkasaineesta tai esimuotista, mikä johtaisi epähomogeeniseen mikrostruktuuriin.

Vastaavasti on kauan ollut olemassa tarve saada yksinkertainen ja luotettava menetelmä muotoiltujen metallimatriisi-komposiittien tuottamiseksi, joka ei perustu paineen tai tyhjän käyttämiseen (joko ulkoisesti kohdistettuna tai sisäisesti kehitettynä), tai vahingollisten kostutusainei-



den käyttämiseen metallimatriisin luomiseksi toiseen aineeseen, kuten keraamiseen aineeseen. Lisäksi on pitkään ollut tarve minimoida lopullisten koneistustoimenpiteiden määrää, joita tarvitaan metallimatriisi-komposiittikappaleen aikaansaamiseksi. Esillä oleva keksintö tyydyttää nämä tarpeet aikaansaamalla spontaanin tunkeutumismekanismien tunkeutumisen aikaansaamiseksi aineeseen (esim. keraaminen aine), joka voidaan muotoilla esimuotiksi, jossa on sulaa matriisimetallia (esim. alumiinia) tunkeutumisosmofääriin (esim. typen) läsnäollessa normaalissa ilmanpaineessa, jolloin tunkeutumisen edistäjän edeltäjää ja/tai tunkeutumisen edistäjää on läsnä ainakin jossakin prosessin vaiheessa.

15 Tämän hakemuksen sisältö liittyy useaan rinnakkaiseen hakemukseen. Erityisesti nämä muut rinnakkaiset hakemukset kuvaavat uusia menetelmiä metallimatriisi-komposiittiaineiden tuottamiseksi (niihin viitataan jällempänä eräissä tapauksissa nimellä "rinnakkais-metallimatriisihakemukset").

Uutta menetelmää metallimatriisi-komposiittiaineen tuottamiseksi kuvataan US-hakemuksessamme 049,171, jonka nimityksenä on "Metallimatriisikomposiitteja", nyt US-patentti 4,828,008. Mainitun keksinnön menetelmän mukaisesti metallimatriisikomposiitti tuotetaan tunkeuttamalla lämpäisevään täyteaineeseen (esim. keraamia tai keraamalla päällystettyä ainetta) sulaa alumiinia, joka sisältää ainakin 1 painoprosentin magnesiumia ja edullisesti ainakin 30 3 painoprosenttia magnesiumia. Tunkeutuminen tapahtuu spontaanisti käyttämättä ulkoista painetta tai tyhjöä. Sulan metalliseoksen lähde saatetaan koskettamaan täyteainemassaa lämpötilassa, joka on ainakin noin 675 °C, kun läsnä on kaasua, joka käsittää noin 10 - 100 tilavuusprosenttia, edullisesti ainakin noin 50 tilavuusprosenttia typpeä, jolloin loput, mikäli sitä on, on ei-hapettavaa kaasua, esim. argonia. Näissä oloissa sulaa alumiiniseos

tunkeutuu keraamimassaan normaalissa ilmakehän paineessa muodostaen alumiini- (tai alumiiniseos-) matriisikomposiitin. Kun haluttu määrä täyteainetta on sulan alumiiniseoksen läpätunkemaa, lasketaan lämpötilaa seoksen kiinteyt-

5 tämiseksi, jolloin muodostuu kiinteä metallimatriisirakenne, joka sulkee sisäänsä lujittavan täyteaineen. Tavallisesti, ja edullisesti, syötetty sula seos riittää aikaansaamaan tunkeutumisen etenemisen oleellisesti täyteainemassan rajoille. US-patentin 4,828,008 mukaisesti

10 tuotettujen alumiinimatriisikomposiittien täyteaineen määrä voi olla erittäin suuri. Tässä mielessä voidaan saavuttaa täyteaineen ja seoksen tilavuussuhteita jotka ovat suurempia kuin 1:1.

15 Edellä mainitun US-patentin 4,828,008 mukaisissa prosessioloissa alumiininitridiä voi muodostua epäjatkuvana faasina, joka on jakautunut koko alumiinimatriisiin. Nitridin määrä alumiinimatriisissa voi vaihdella sellaisten tekijöiden, kuten lämpötilan, seoksen koostumuksen,

..  
∴ 20 kaasun koostumuksen ja täyteaineen mukaisesti. Siten voidaan yhtä tai useampaa sellaista järjestelmän tekijää säätämällä räätälöidä määrättyjä komposiitin ominaisuuksia. Joitakin loppukäyttösovellutuksia varten voi kuitenkin olla toivottavaa, että komposiitti sisältää vähän tai

25 oleellisesti ei lainkaan alumiininitridiä.

On havaittu, että korkeammat lämpötilat edistävät tunkeutumista, mutta johtavat siihen, että menetelmässä herkemmin muodostuu nitridiä. US-patentin 4,828,008 mukaisessa keksinnössä sallitaan tunkeutumiskinetiikan ja nitridin muodostumisen välisen tasapainon valitseminen.

30

Esimerkki sopivista estovälineistä käytettäväksi metallimatriisikomposiittien muodostamisen yhteydessä on selitet-

35 ty rinnakkaisessa US-hakemuksessa 141,642, jonka nimityksenä on "Menetelmä metallimatriisikomposiittien valmistamiseksi estoainetta käyttäen". Tämän keksinnön

menetelmän mukaisesti estovälinettä (esim. hiukkasmaista titaanidiboridia tai grafiittiainetta, kuten joustavaa grafiittinauhatuotetta, jota Union Carbide myy tuotenimellä Grafoil (R)) sijoitetaan täyteaineen määrättyllä rajapinnalle ja matriisiseos tunkeutuu estovälineen määrittelemään rajapintaan saakka. Estovälinettä käytetään estämään, torjumaan tai lopettamaan sulan seoksen tunkeutuminen, jolloin aikaansaadaan puhtaita, tai lähes puhtaita muotoja tuloksena olevassa metallimatriisikomposiitissa. Vastaavasti muodostetuilla metallimatriisi-komposiittikappaleilla on ulkomuoto, joka oleellisesti vastaa estovälineen sisämuotoa.

US-patenttihakemuksen 049,171 mukaista menetelmää parannettiin rinnakkaisella US-patenttihakemuksella 168,284, jonka nimityksenä on "Metallimatriisikomposiitteja ja tekniikoita niiden valmistamiseksi". Mainitussa hakemuksessa esitettyjen menetelmien mukaisesti matriisimetalliseos on läsnä metallin ensimmäisenä lähteenä ja matriisimetallin varastolähteenä, joka on yhteydessä sulan metallin ensimmäiseen lähteeseen, esimerkiksi painovoimaisen virtauksen välityksellä. Erityisesti, mainitussa hakemuksessa esitetyissä oloissa, sulan matriisiseoksen lähde alkaa tunkeutua täyteainemassaan normaalissa ilmakehän paineessa ja aloittaa siten metallimatriisikomposiitin muodostuksen. Sulan matriisimetallin ensimmäinen lähde kulutetaan sen tunkeutuessa täyteainemassaan, ja haluttaessa sitä voidaan lisätä, edullisesti jatkuvalla tavalla, sulan matriisimetallin varastolähteestä spontaanin tunkeutumisen jatkuessa. Kun toivottu määrä läpäisevää täyteainetta on sulan matriisiseoksen läpitunkemaa, lasketaan lämpötilaa seoksen kiinteyttämiseksi, jolloin muodostuu kiinteä metallimatriisistruktuuri, joka ympäröi lujittavaa täyteainetta. On ymmärrettävä, että metallivarastolähteen käyttäminen on ainoastaan mainitussa patenttihakemuksessa kuvatun keksinnön eräs suoritusmuoto, eikä varastolähteen suoritusmuodon yhdistäminen jokaiseen siinä esitettyyn

keksinnön vaihtoehtoiseen suoritusmuotoon ole välttämätöntä, joista eräät voisivat myös olla hyödyllisiä käytettynä esillä olevan keksinnön yhteydessä.

5 Metallin varastolähdettä voi olla sellaisena määränä, että se aikaansaa riittävän metallimäärän tunkeutumisen ennalta määrättyssä määrin läpäisevään täyteaineeseen. Vaihtoehtoisesti voi valinnainen estoväline olla kosketuksessa täyteaineen läpäisevään massaan ainakin sen toisella puolella rajapinnan määrittelemiseksi.

Lisäksi, vaikka syötetyn sulan matriisiseoksen määrän tulisi olla riittävä sallimaan spontaanin tunkeutumisen eteneminen ainakin oleellisesti täyteaineen läpäisevän massan rajapintoihin (ts. estopintoihin) saakka, varastolähteessä olevan seoksen määrä voisi ylittää sellaisen riittävän määrän niin, että on olemassa riittävä määrä seosta tunkeutumisen loppuun saattamiseksi, ja sen lisäksi ylimääräinen sula metalliseos voisi jäädä ja kiinnittyä metallimatriisi-komposiittikappaleeseen.

15 Kun siten läsnä on ylimäärä sulaa seosta, tuloksena oleva kappale on kompleksinen komposiittikappale (esim. makrokomposiitti), jossa metallimatriisin läpätunkema keraamikappale suoraan sitoutuu varastolähteeseen jäävään ylimääräiseen metalliin.

25 Jokainen edellä selitetyistä rinnakkais-metallimatriisihakemuksista kuvaa menetelmiä metallimatriisikomposiittikappaleiden tuottamiseksi sekä uusia metallimatriisikomposiittikappaleita, joita niillä tuotetaan.

30 Esillä olevan keksinnön mukaan metallimatriisikomposiitti valmistetaan saattamalla paikallinen tunkeutumisosfääri yhteyteen ainakin täyteaineen osan kanssa tunkeutumisen edistäjän ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjän läsnäollessa; ja saatetaan sula matriisimetalli spontaanisti tunkeutumaan ainakin täyteaineen osaan.

35 Keksinnön mukainen prosessi voidaan toteuttaa siten, että sulatetaan matriisimetallia, jota pidetään sopivassa ei-reagoi-

vassa matriisimetallin astiassa (esim. sopivassa tulenkestävässä säiliössä) sulan matriisimetallikappaleen muodostamiseksi. Täyteaineesta muodostettu ontelon sisältävä esimuotti  
5 voidaan asettaa ainakin osittain sulaan matriisimetalliin, niin että tunkeutumisasfääri voi olla yhteydessä esimuotissa olevaan onteloon ainakin prosessin osan aikana, jotta aikaansaataisiin sulan matriisimetallin spontaani tunkeutuminen esimuotin ulkopinnalta kohti siinä olevaa onteloa.  
10 Tunkeutumisen edistäjä ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjä sekä tunkeutumisasfääri on yhteydessä esimuottiin ainakin prosessin jossakin vaiheessa, mikä sallii tai aiheuttaa sulan matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen esimuottiin, kun esimuotin ulkopinta saatetaan ainakin osittaiseen kosketukseen sulan matriisimetallin kanssa. Tunkeutumisen tuloksena saadaan metallimatriisikomposiittikappale,  
15 joka oleellisesti noudattaa esimuotin geometriaa.

Edullisessa suoritusmuodossa tunkeutumisen edistäjän edeltäjä  
20 jää syötetään jatkuvasti esimuotin onteloon tai sisäosaan. Esimuotin ulko-osa tai -pinta kohtaa sulan matriisimetallin. Oleellisesti samanaikainen esimuotin ontelon altistaminen tunkeutumisasfäärille ja esimuotin ulkopinnan altistaminen sulalle matriisimetallille saattaa sulan matriisimetallin spontaanisti tunkeutumaan esimuottiin, niin kauan kuin  
25 tunkeutumisen edistäjän edeltäjää ja/tai tunkeutumisen edistäjää myös järjestetään spontaaniin järjestelmään ainakin matriisimetalliin ja/tai esimuottiin ja/tai tunkeutumisasfääriin.

30

Toisessa suoritusmuodossa muodostetaan esimuottiin väliaikainen ontelo ennen kuin sulaan matriisimetalliin upotetaan sylinterin muotoinen tai putkimainen esimuotti, joka ei sisällä luonnollista onteloa. Tarkemmin sanoen, voidaan

35

esimerkiksi sulaan matriisimetalliin upotettavan esimuotin avoin pää sulkea tarkoituksenmukaisella tulppavälineellä. Sellainen tulppaväline muodostaa väliaikaisen ontelon esimuottiin. Vastaavasti voi väliaikainen ontelo vastaan-  
5 ottaa ja sisältää tunkeutumisasiatmosfääriä vaadittavan ajan. Tulppaväline voi käsittää ainetta, joka ei oleellisesti reagoi minkään seuraavan tai ainakaan yhden seuraavista kanssa: matriisimetalli ja/tai esimuotti ja/tai tunkeutumisatmosfääri ja/tai tunkeutumisen edistäjä ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjä. Kun sellainen esimuotti sisäl-  
10 tää tulppavälineen väliaikaisen ontelon muodostamiseksi, voi sula matriisimetalli spontaanisti tunkeutua esimuottiin sen ulkopinnalta kohti väliaikaista onteloa.

15 Toisessa edullisessa suoritusmuodossa luonnollisesti muodostunut esimuotin ontelo tai tulppavälineen avulla muodostettu väliaikainen ontelo sisältää toisessa osassaan rajoittavan välineen, joka rajoittaa tai vähentää esimuotin ontelon yhteyttä mahdollisen läsnäolevan ei-tunkeutumisasiatmosfäärin kanssa. Erityisesti, jotta luotaisiin suljetumpi  
20 tai itsenäinen atmosfääri luonnollisesti esiintyvään onteloon tai väliaikaiseen onteloon, rajoitetaan tai suljetaan esimuotin avoin pää ainakin osaksi, niin että onteloon virtaavaksi tarkoitettun tunkeutumisasiatmosfäärin pakenemista rajoitetaan ja/tai voidaan rajoittaa mahdollisen ei-tunkeutumisasiatmosfäärin (esim. hapettimen) yhteyttä onte-  
25 loon. Mainitun rajoitusvälineen käyttö esimuotissa voi edistää sulan matriisimetallin spontaania tunkeutumista esimuottiin esimuotin ulkopuolen osalta kohti esimuotissa  
30 olevaa onteloa.

Eräässä toisessa suoritusmuodossa voidaan hapettimen kerääjä asettaa esimuotin luonnolliseen onteloon tai esimuotin väliaikaiseen onteloon toimimaan mahdollisen kiinteän, nestemäisen tai kaasumaisen hapettimen kerääjänä ja  
35 vangitsijana. Tarkemmin sanoen, saattaa olla toivottavaa sisältää hapettimen kerääjää hapetusreaktiotuotteen muo-

dostumisen minimoimiseksi, joka voi johtua esimerkiksi tunkeutumisatmosfäärissä läsnäolevista tai siihen muodostuvista läsnäolevista hapettavista epäpuhtauksista, jotka halitsemattomina voivat reagoida sulan matriisimetallin kanssa muodostaen reaktiotuotetta.

Spontaanin tunkeutumisen aikaansaamiseksi voidaan välittömästi syöttää tunkeutumisen edistäjän edeltäjää tai tunkeutumisen edistäjää ainakin esimuottiin, ja/tai matriisimetalliin ja/tai tunkeutumisatmosfääriin. Lopuksi, ainakin spontaanin tunkeutumisen aikana, tunkeutumisen edistäjän tulisi kuitenkin sijaita ainakin esimuotin osassa.

Huomattakoon, että tämä hakemus käsittelee pääasiassa alumiinimatriisimetalleja, jotka jossain metallimatriisikomposiittikappaleen muodostumisen aikana ovat kosketuksessa magnesiumiin, joka toimii tunkeutumisen edistäjän edeltäjänä, tunkeutumisatmosfäärinä toimivan typen läsnäollessa. Siten alumiini/magnesium/typpi-järjestelmän matriisimetalli/tunkeutumisen edistäjän edeltäjä/tunkeutumisatmosfääri-järjestelmällä esiintyy spontaania tunkeutumista. Monet muut matriisimetalli/tunkeutumisen edistäjän edeltäjä/tunkeutumisatmosfääri-järjestelmät voivat kuitenkin käyttäytyä samantapaisesti kuin alumiini/magnesium/typpi-järjestelmä. Samantapaista spontaania tunkeutumiskäyttäytymistä on esimerkiksi havaittu alumiini/strontium/typpi-järjestelmässä; alumiini/sinkki/happi-järjestelmässä; sekä alumiini/kalsium/typpi-järjestelmässä. Vastaavasti, vaikka tässä hakemuksessa käsitellään pääasiassa alumiini/magnesium/typpi-järjestelmää, on ymmärrettävä, että muut metallimatriisi/tunkeutumisen edistäjän edeltäjä/tunkeutumisatmosfääri-järjestelmät voivat käyttäytyä samantapaisesti.

Matriisimetallin käsittäessä alumiiniseosta, saatetaan alumiiniseos kosketukseen esimuottiin, joka käsittää täy-

teainetta (esim. alumiinioksidia tai piikarbidia), jolloin mainittuun täyteaineeseen on sekoitettu magnesiumia, ja/tai jolloin se saatetaan magnesiumin vaikutuksen alaiseksi prosessin jossakin kohdassa. Eräässä edullisessa suoritusmuodossa alumiiniseos ja esimuotti pidetään lisäksi typpi-atmosfäärissä ainakin prosessin osan aikana. Matriisimetalli tunkeutuu spontaanisti esimuottiin, ja spontaanin tunkeutumisen ja metallimatriisin muodostumisen määrä tai nopeus vaihtelevat prosessiolojen annetun järjestelyn mukaisesti, johon sisältyy esimerkiksi järjestelmään (esim. alumiiniseokseen ja/tai esimuottiin ja/tai tunkeutumisatmosfääriin) tuotetun magnesiumin pitoisuus, esimuotin hiukkasten koko ja/tai koostumus, typen pitoisuus tunkeutumisatmosfäärissä, aika jona tunkeutumisen annetaan esiintyä, ja/tai lämpötila, jossa tunkeutuminen esiintyy. Spontaanista tunkeutumisesta esiintyy tyypillisesti niin suuressa määrin, että se riittää oleellisen täydellisesti ympäröimään esimuotin.

20 Määritelmiä

"Alumiini" merkitsee ja sisältää tässä käytettynä oleellisesti puhtaan metallin (esim. suhteellisen puhtaan, kaupallisesti saatavan seostamattoman alumiinin) tai metallin ja metalliseosten muita laatuja, kuten kaupallisesti saatavat metallit, joissa on epäpuhtauksia ja/tai jotka sallivat siinä olevan sellaisia ainesosia, kuten rautaa, piitä, kuparia, magnesiumia, mangaania, kromia, sinkkiä, jne. Tämän määritelmän tarkoituksiin oleva alumiiniseos on seos tai metallien muodostama yhdiste, jossa alumiini on pääainesosana.

"Ei-hapettavan kaasun loppuosa" merkitsee tässä käytettynä sitä, että tunkeutumisatmosfäärin muodostavan primäärikaasun lisänä oleva mikä tahansa kaasu on joko inerttiä kaasua tai pelkistävää kaasua, joka oleellisesti ei reagoi matriisimetallin kanssa prosessin olosuhteissa. Kaikkien



kaasussa (kaasuissa) epäpuhtautena mahdollisesti läsnä olevien hapettavien kaasujen määrän tulisi olla riittämätön matriisimetallin hapettamiseen missään oleellisessa määrin prosessin olosuhteissa.

5

"Estoaine" tai "estoväline" merkitsee tässä käytettynä mitä tahansa soveltuvaan välinettä, joka vuorovaikuttaa, estää, torjuu tai lopettaa sulan matriisimetallin kulkeutumisen, siirtymisen tai vastaavan, täyteainemassan tai esimuotin rajapinnan taakse, jolloin mainittu estoväline määrittelee sellaisen rajapinnan. Sopivia estovälineitä voivat olla mitkä tahansa aineet, yhdisteet, alkuaineet, koostumukset tai vastaavat, jotka prosessin olosuhteissa ylläpitävät jonkinasteisen eheyden eivätkä ole oleellisesti haihtuvia (ts. estoaine ei haihdu niin paljon, että siitä tulisi estoaineena hyödytön).

Lisäksi sopivat "estovälineet" sisältävät aineita, joita kulkeutuva sula matriisimetalli käytetyn prosessin aikana ei oleellisesti pysty kostuttamaan. Tämän tyyppisellä estoaineella näyttää olevan oleellisen vähän tai ei lainkaan yhtymispyrkimystä sulaan matriisimetalliin, ja estoväline estää tai torjuu siirtymisen täyteainemassan tai esimuotin määritellyn rajapinnan yli. Estoaine vähentää mahdollista loppukoneistusta tai hiomista, jota voidaan tarvita, ja määrittelee ainakin osan tuloksena olevan metallimatriisi-komposiittituotteen pinnasta. Estoaine voi määrättyissä tapauksissa olla läpäisevää tai huokoista, tai se voidaan saattaa läpäiseväksi esimerkiksi poraamalla reikiä estoaineeseen tai lävistämällä se, niin että kaasu pääsee kosketukseen sulan matriisimetallin kanssa.

"Jäännökset" tai "matriisimetallin jäännökset" viittaa tässä käytettynä alkuperäisen matriisimetallirungon mahdolliseen osaan, joka jää jäljelle ja joka ei ole kulunut metallimatriisi-komposiittikappaleen muodostuksen aikana, ja tyyppillisesti, jos sen annetaan jäähtyä, pysyy ainakin

35

osittaisessa kosketuksessa muodostettuun metallimatriisi-komposiittikappaleeseen. Tulisi ymmärtää, että jäännökset voivat myös sisältää toista tai vierasta ainetta.

5 "Ontelo" merkitsee tässä käytettynä mitä tahansa täyttämätöntä tilaa massassa tai kappaleessa, joka esiintyy joko luonnollisesti, tai joka luodaan keinotekoisesti, eikä se rajoitu mihinkään määrättyyn tilan muotoon. Erityisesti voi ontelo sisältää ne tilat, jotka ovat oleellisesti suljettuja yhteydestä massan tai kappaleen ulkopuolelle, 10 mutta jotka kuitenkin voivat mahdollistaa yhteyden massan tai kappaleen johonkin ulkoiseen osaan. Lisäksi ontelo sisältää ei-luonnollisesti esiintyvän kappaleen osittain suljetun tilan (ts. väliaikaisen ontelon), joka voidaan 15 muodostaa onteloksi asettamalla ainakin ei-suljetun tilan osaan tulppaväline, joka avustaa väliaikaisen ontelon muodostamisessa kappaleeseen.

"Täyteaine" on tässä käytettynä tarkoitettu sisältämään 20 joko yksittäisiä aineksia tai ainesseoksia, jotka oleellisesti eivät reagoi matriisimetallin kanssa ja/tai joilla on rajoitettu liukenevuus matriisimetalliin, ja jotka voivat olla yksi- tai useampifaasisia. Täyteaineita voidaan järjestää lukuisissa eri muodoissa, kuten jauheina, lius- 25 koina, hiutaleina, mikropalloina, kuitukiteinä, kuplina, jne, ja ne voivat olla joko tiiviitä tai huokoisia. Täyteaine voi myös sisältää keraamisia täyteaineita, kuten alumiinioksidia tai piikarbidia kuituina, leikattuina kuituina, hiukkasina, kuitukiteinä, kuplina, kuulina, 30 kuitumattoina, tai vastaavina, ja päällystettyjä täyteaineita, kuten hiilikuituja, jotka on päällystetty alumiinioksidilla tai piikarbidilla hiilen suojaamiseksi esim. sulan perusmetalli-alumiinin syövyttävältä vaikutukselta. Täyteaineet voivat myös käsittää metalleja.

35

"Tunkeutumisasiatmosphääri" tässä käytettynä tarkoittaa sitä atmosfääriä, joka on läsnä ja joka vuorovaikuttaa mat-

riisimetallin ja/tai esimuotin (tai täyteaineen) ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjän ja/tai tunkeutumisen edistäjän kanssa ja sallii tai edistää matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen esiintymisen.

5

"Tunkeutumisen edistäjä" merkitsee tässä käytettynä ainetta, joka edistää tai avustaa matriisimetallin spontaania tunkeutumista täyteaineeseen tai esimuottiin. Tunkeutumisen edistäjä voidaan muodostaa esimerkiksi tunkeutumisen edistäjän edeltäjän reaktiolla tunkeutumisatmosfäärin kanssa 1) kaasun ja/tai 2) tunkeutumisen edistäjän edeltäjän ja tunkeutumisatmosfäärin reaktiotuotteen ja/tai 3) tunkeutumisen edistäjän edeltäjän ja täyteaineen tai esimuotin reaktiotuotteen muodostamiseksi. Lisäksi tunkeutumisen edistäjää voidaan syöttää suoraan ainakin yhteen seuraavista: esimuottiin, ja/tai matriisimetalliin, ja/tai tunkeutumisatmosfääriin; ja se voi toimia oleellisesti samalla tavalla kuin tunkeutumisen edistäjä, joka on muodostunut tunkeutumisen edistäjän edeltäjän ja jonkin toisen aineen reaktiona. Lopuksi ainakin spontaanin tunkeutumisen aikana tunkeutumisen edistäjän tulisi sijaita ainakin osassa täyteainetta tai esimuottia spontaanin tunkeutumisen aikaansaamiseksi.

25 "Tunkeutumisen edistäjän edeltäjä" merkitsee tässä käytettynä ainetta, joka yhdessä matriisimetallin, esimuotin ja/tai tunkeutumisatmosfäärin kanssa käytettynä muodostaa tunkeutumisen edistäjän, joka aiheuttaa tai avustaa matriisimetallin spontaania tunkeutumista täyteaineeseen tai esimuottiin. Haluamatta sitoutua mihinkään määrättyyn teoriaan tai selitykseen, vaikuttaa siltä, että tunkeutumisen edistäjän edeltäjää pitäisi pystyä asettamaan, sen pitäisi sijaita tai sitä pitäisi voida kuljettaa sellaiseen kohtaan, joka sallii tunkeutumisen edistäjän edeltäjän olla vuorovaikutuksessa tunkeutumisatmosfäärin kanssa ja/tai esimuotin tai täyteaineen ja/tai metallin kanssa. Eräissä matriisimetalli/tunkeutumisen edistäjän edeltäjä/tunkeu-

35

tumisatmosfääri-järjestelmissä on esimerkiksi toivottavaa, että tunkeutumisen edistäjän edeltäjä höyrystyy siinä lämpötilassa jossa matriisimetalli sulaa, tämän lämpötilan lähellä, tai eräissä tapauksissa jopa jonkinverran tämän lämpötilan yläpuolella. Sellainen höyrystyminen saattaa johtaa: 1) tunkeutumisen edistäjän edeltäjän reaktioon tunkeutumisatmosfäärin kanssa sellaisen kaasun muodostamiseksi, joka edistää täyteaineen tai esimuotin kostuttamista matriisimetallilla; ja/tai 2) tunkeutumisen edistäjän edeltäjän reaktioon tunkeutumisatmosfäärin kanssa sellaisen kiinteän aineen, nesteen tai kaasun muodossa olevan tunkeutumisen edistäjän muodostamiseksi ainakin täyteaineen tai esimuotin osassa, joka edistää kostuttamista; ja/tai 3) sellaiseen tunkeutumisen edistäjän edeltäjän reaktioon täyteaineessa tai esimuotissa, joka muodostaa kiinteän aineen, nesteen tai kaasun muodossa olevan tunkeutumisen edistäjän ainakin täyteaineen tai esimuotin osassa, joka edistää kostuttamista.

"Matriisimetalli" tai "matriisimetalliseos" merkitsevät tässä käytettynä sitä metallia, jota käytetään metallimatriisikomposiitin muodostamiseksi (esim. ennen tunkeutumista) ja/tai sitä metallia, joka sekoittuu täyteaineeseen metallimatriisi-komposiittikappaleen muodostamiseksi (esim. tunkeutumisen jälkeen). Kun matriisimetalliksi nimetään määrätty metalli, on ymmärrettävä, että sellainen matriisimetalli sisältää tämän metallin oleellisesti puhtaana metallina, kaupallisesti saatavana metallina, jossa on epäpuhtauksia ja/tai seosaineita, metallien muodostaman yhdisteenä tai seoksena, jossa tämä metalli on pääasiallisena osana.

"Matriisimetalli/tunkeutumisen edistäjän edeltäjä/tunkeutumisatmosfääri-järjestelmä" eli "spontaani järjestelmä" viittaa tässä käytettynä siihen aineiden yhdistelmään, jolla esiintyy spontaania tunkeutumista esimuottiin ja täyteaineeseen. On ymmärrettävä, että kun esimerkin mat-

riisimetallin, tunkeutumisen edistäjän edeltäjän ja tunkeutumisasfäärin välissä esiintyy merkki "/", sitä käytetään merkitsemään järjestelmää tai aineiden yhdistelmää, jolla määrättyllä tavalla yhdisteltynä esiintyy spontaania tunkeutumista esimuottiin tai täyteaineeseen.

"Metallimatriisikomposiitti" eli "MMC" merkitsee tässä käytettynä ainetta, joka käsittää kaksi- tai kolmiulotteisesti liittyneen seoksen tai matriisimetallin, joka pitää sisällään esimuottia tai täyteainetta. Matriisimetalli voi sisältää erilaisia seosalkuaineita, joilla aikaansaadaan erityisesti toivotut mekaaniset ja fysikaaliset ominaisuudet tuloksena olevassa komposiitissa.

Matriisimetallista "poikkeava" metalli merkitsee metallia, joka ei sisällä pääasiallisena ainesosana samaa metallia kuin matriisimetalli (jos esimerkiksi matriisimetallin pääasiallisena osana on alumiini, niin "poikkeavan" metallin pääasiallisena osana voisi olla esimerkiksi nikkeli).

"Ei-tunkeutumisasfääri" merkitsee tässä käytettynä sitä atmosfääriä, joka voi vuorovaikuttaa tai joka voi olla vuorovaikuttamatta matriisimetallin ja/tai esimuotin (tai täyteaineen) ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjän ja/tai tunkeutumisen edistäjän kanssa, mutta joka ei salli tai edistä, ja joka jopa voi estää matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen.

"Ei-reaktiivinen astia matriisimetallia varten" merkitsee mitä tahansa astiaa, joka voi sisältää sulaa matriisimetallia prosessin oloissa, ja joka ei reagoi matriisiin ja/tai tunkeutumisasfäärin ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjän ja/tai täyteaineen tai esimuotin kanssa sellaisella tavalla, joka oleellisesti huonontaisi spontaania tunkeutumismekanismeja.

"Hapettimen kerääjä" merkitsee tässä käytettynä mitä tahansa sopivaa ainetta (esim. titaanimellilastuja), jota käytettynä yhdistelmänä matriisimetallin / tunkeutumisen edistäjän / tunkeutumisatmosfäärin kanssa voidaan spontaanin tunkeutumisen prosessioloissa käyttää mahdollisen kiinteän, nestemäisen tai kaasumaisen reaktiojärjestelmässä läsnä olevan hapettimen keräämiseksi tai vangitsemiseksi, joka voisi estää matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen täyteaineeseen tai esimuottiin. Hapettimen kerääjä ei edullisesti reagoi oleellisesti minkään spontaanissa järjestelmässä olevan osatekijän kanssa sellaisella tavalla, joka oleellisesti haitallisesti vaikuttaisi spontaaniin tunkeutumiseen prosessioloissa.

"Tulppaväline" tai "tulppa" merkitse tässä käytettynä mitä tahansa ainetta, jota voidaan käyttää esimuotin yhteydessä, ja joka avustaa väliaikaisen ontelon muodostamista esimuottiin. Edullisesti tulppaväline ei reagoi minkään spontaanissa järjestelmässä olevan osatekijän kanssa sellaisella tavalla, joka oleellisen haitallisesti vaikuttaisi spontaaniin tunkeutumiseen prosessioloissa. Tulppaväline voi olla poistettavissa tai se voi olla sellainen jota ei voida poistaa esimuotista sen jälkeen kun esimuottiin on tapahtunut tunkeutuminen. Lisäksi sula matriisimetalli voi tunkeutua tulppavälineeseen muodostaen kiinteästi esimuottiin kuuluvan osan.

"Esimuotti" tai "läpäisevä esimuotti" merkitse tässä käytettynä sellaista huokoista täytemassaa tai täyteainemassaa, joka valmistetaan ainakin yhdellä rajapinnalla, joka oleellisesti määrittelee tunkeutuvalla matriisimetallille rajapinnan, kuten massaa, joka riittävän hyvin pitää ehjän muotonsa ja tuorelujuuden, niin että se aikaansaa mittapysyvyyden ennen kuin matriisimetalli tunkeutuu siihen. Massan tulisi olla riittävän huokoista, niin että se sallii matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen siihen. Tyypillisesti esimuotti käsittää sidotun ryhmän

tai täyteaineen järjestelyyn, joko homogeenisen tai epähomogeenisen, ja se voi käsittää mitä tahansa soveltuva ainetta (esim. keraamisia ja/tai metallihiukkasia, jauheita, kuituja, kuitukiteitä, jne, sekä mitä tahansa näiden yhdistelmää). Esimuotti voi olla joko erillisenä tai kokoonpanona.

"Varastolähde" tai varasto merkitsee tässä käytettynä erillistä matriisimetallin kappaletta, joka on sijoitettu täyteainemassan tai esimuotin suhteen niin, että kun metalli sulaa, se voi virrata korvaamaan, tai eräissä tapauksissa alunperin aikaansaamaan ja sen jälkeen täydentämään sitä matriisimetallin osaa, segmenttiä tai lähdettä, joka koskettaa täyteainetta tai esimuottia.

"Rajoitusväline" tai "rajoittava väline" merkitsee tässä käytettynä mitä tahansa ainetta, jota voidaan käyttää yhdessä esimuotin kanssa, ja joka avustaa rajoittamaan tunkeutumisatmosfäärin poistumisvirtausta esimuotin ontelosta ja/tai joka rajoittaa tai vähentää esimuotin ontelon yhteyttä mahdollisen läsnäolevan ei-tunkeutumisatmosfäärin kanssa. Edullisesti rajoittava väline ei reagoi minkään spontaanin järjestelmän osatekijän kanssa, mistä voisi aiheutua oleellisesti haitallinen vaikutus spontaaniin tunkeutumiseen.

"Spontaani tunkeutuminen" merkitsee tässä käytettynä matriisimetallin tunkeutumista läpäisevään täyteainemassaan tai esimuottiin, joka tapahtuu vaatimatta paineen tai tyhjän käyttämistä (ei ulkoisesti kohdistettua eikä sisäisesti kehitettyä).

"Väliaikainen ontelo" merkitsee tässä käytettynä onteloa, joka on muodostettu tulppavälineellä, jolloin sellainen ontelo esiintyy esimuotissa ei-luonnollisesti, ja jolloin se on olemassa vain niin kauan kun tulppaväline on kosketuksessa esimuottiin.

Seuraavat kuviot on järjestetty keksinnön ymmärtämisen tueksi, mutta niitä ei ole tarkoitettu rajoittamaan keksinnön suoja-alaa. Kaikissa kuvioissa on käytetty mahdollisuuksien mukaan samoja viitenumeroita osoittamaan  
5 samanlaisia osia, jolloin:

10 Kuvio 1 on kaaviollinen poikkileikkaus ainesjärjestelystä, jota käytetään ulkoa sisäänpäin tapahtuvan tunkeutumisen aikaansaamiseksi esimuottiin;

Kuvio 2 on kaaviollinen poikkileikkaus ainesjärjestelystä, jota käytetään ulkoa sisäänpäin tapahtuvan tunkeutumisen aikaansaamiseksi esimuottiin;

15 Kuvio 3 on kaaviollinen poikkileikkaus ainesjärjestelystä, jota käytetään ulkoa sisäänpäin tapahtuvan tunkeutumisen aikaansaamiseksi esimuottiin;

20 Kuvio 4 on kaaviollinen poikkileikkaus ainesjärjestelystä, jota käytetään esimerkin 1 mukaisesti;

Kuvio 5a on valokuva, joka on otettu esimerkin 1 mukaisesti tuotetun metallimatriisikomposiitin sivulta; ja

25 Kuvio 5b on valokuva, joka on otettu esimerkin 1 mukaisesti tuotetun metallimatriisikomposiitin päältä.

Esillä oleva keksintö liittyy metallimatriisi-komposiittikappaleiden muodostamiseen altistamalla esimuotti ainakin osittain sulalle matriisimetallille. Esimuotti sisältää ainakin osassaan ontelon, joka aluksi ei ole kosketuksessa sulaan matriisimetalliin. Lisäksi esimuotti on kosketuksessa prosessin jossakin vaiheessa ainakin tunkeutumisen edistäjään ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjään ja/tai tunkeutumisatmosfääriin, joka aiheuttaa sulan matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen esimuottiin sen ulkopuolelta kohti onteloa.

35



Erityisesti, kuten kuviossa 1 on esitetty, matriisimetalli sulatetaan ja sitä pidetään tarkoituksenmukaisessa ei-reaktiivisessa matriisimetallin astiassa 21 (esim. sopivassa tulenkestävässä säiliössä) sulan matriisimetallin massan 20. Ontelon 30 sisältävä esimuotti 22 voidaan ainakin osittain sijoittaa sulaan matriisimetalliin 20, niin että tunkeutumisatmosfääri 23 voi olla yhteydessä esimuotin onteloon 30 ainakin prosessin osan aikana sulan matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen aikaansaamiseksi esimuotin ulkopuolelta kohti siinä olevaa onteloa. Tunkeutumisatmosfääri voi virrata ulos esimuotista, kuten on esitetty kohdassa 24.

Lisäksi tunkeutumisen edistäjä ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjä ainakin prosessin jossakin vaiheessa ovat yhteydessä esimuottiin, joka sallii tai aiheuttaa sulan matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen esimuottiin, kun esimuotin ulkopinta asetetaan ainakin osittaiseen kosketukseen sulan matriisimetallin kanssa. Siten sula matriisimetalli tunkeutuu esimuottiin sen ulkopinnalta kohti onteloa tuottaen siten metallimatriisi-komposiittikappaleen, jolla on oleellisesti esimuotin muoto.

Edullisessa suoritusmuodossa tunkeutumisatmosfääriä syötetään oleellisesti jatkuvasti esimuotissa olevaan onteloon tai sisäosaan. Esimuotin ulko-osaan tai pintaan kohdistetaan (esim. upottamalla ainakin osittain) sulaa matriisimetallia. Oleellisesti samanaikainen ontelon altistaminen tunkeutumisatmosfäärille ja esimuotin ulkopinnan altistaminen sulalle matriisimetallille saattaa sulan matriisimetallin spontaanisti tunkeutumaan esimuottiin, niin kauan kun tunkeutumisen edistäjän edeltäjää ja/tai tunkeutumisen edistäjää myös järjestetään spontaaniin järjestelmään ainakin matriisimetalliin ja/tai esimuottiin ja/tai tunkeutumisatmosfääriin.

Eräässä toisessa edullisessa suoritusmuodossa muodostetaan esimuottiin väliaikainen ontelo ennen kuin sulaan matriisimetalliin upotetaan sylinterin muotoinen tai putkimainen esimuotti, joka ei sisällä luonnollista onteloä.

5 Tarkemmin sanoen, kuten kuviossa 2 esitetään, voidaan esimerkiksi sulaan matriisimetalliin 20 upotettavan esimuotin 22 avoin pää sulkea tarkoituksenmukaisella tulppavälineellä 25. Sellainen tulppaväline 25 muodostaa väliaikaisen ontelon 30 esimuottiin 22. Vastaavasti voi

10 väliaikainen ontelo 30 vastaanottaa ja sisältää tunkeutumisatmosfääriä 23 vaadittavan ajan. Tulppaväline 25 voi edullisessa suoritusmuodossa käsittää ainetta, joka ei oleellisesti reagoi minkään seuraavan tai ainakaan yhden seuraavista kanssa: matriisimetalli 20 ja/tai esimuotti 22

15 ja/tai tunkeutumisatmosfääri 23 ja/tai tunkeutumisen edistäjä ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjä. Kun sellainen esimuotti 22 sisältää tulppavälineen 25 väliaikaisen ontelon 30 muodostamiseksi, voi sula matriisimetalli 20 spontaanisti tunkeutua esimuottiin 22 sen ulkopinnalta

20 kohti väliaikaista onteloä 30.

Eräässä toisessa edullisessa suoritusmuodossa tulppaväline 25 voidaan valita siten, että se toimii muodostaen väliaikaisen ontelon 30, ja sen lisäksi sula matriisimetalli 20 voi spontaanisti tunkeutua myös siihen. Tässä tapauksessa tulppaväline 25 muodostuu samaksi kappaleeksi metallimatriisi-komposiittikappaleen kanssa.

Toisessa edullisessa suoritusmuodossa luonnollisesti muodostunut esimuotin ontelo tai tulppavälineen avulla muodostettu väliaikainen ontelo sisältää toisessa osassaan rajoittavan välineen, joka rajoittaa tai vähentää esimuotin ontelon yhteyttä mahdollisen läsnäolevan ei-tunkeutumisatmosfäärin kanssa. Erityisesti, kuten kuviossa 3 esitetään,

30 jotta luotaisiin suljetumpi tai isenäinen atmosfääri luonnollisesti esiintyvään onteloon 30 tai väliaikaiseen onteloon 30, rajoitetaan tai suljetaan esimuotin 22 avoin

35

pää ainakin osaksi rajoittavalla välineellä 26, niin että onteloon 30 virtaavaksi tarkoitettun tunkeutumisasfäärin 23 pakenemista rajoitetaan ja/tai voidaan rajoittaa mahdollisen ei-tunkeutumisasfäärin (esim. hapettimen) yhteyttä onteloon. Mainitun rajoitusvälineen 26 käyttö 5 esimuotissa 22 voi edistää sulan matriisimetallin spontaania tunkeutumista esimuottiin 22 esimuotin ulkopuolelta kohti esimuotissa olevaa onteloa.

10 Eräessä toisessa suoritusmuodossa voidaan hapettimen kerääjä asettaa esimuotin luonnolliiseen onteloon tai esimuotin väliaikaiseen onteloon toimimaan mahdollisen kiinteän, nestemäisen tai kaasumaisen hapettimen kerääjänä ja vangitsijana. Tarkemmin sanoen, saattaa olla toivottavaa 15 sisältää hapettimen kerääjää hapetusreaktiotuotteen muodostumisen minimoimiseksi, joka voi johtua esimerkiksi tunkeutumisasfäärissä läsnäolevista tai siihen muodostuvista läsnäolevista hapettavista epäpuhtauksista, jotka halitsemattomina voivat reagoida sulan matriisimetallin 20 kanssa muodostaen reaktiotuotteen. Vastaavasti, kuten kuviossa 1 esitetään, voidaan hapettimen kerääjää 27 sijoittaa onteloon 30. Hapettimen kerääjät eivät edullisesti oleellisesti reagoi minkään spontaanin järjestelmän osatekijän kanssa sellaisella tavalla, joka oleellisesti 25 haitallisesti vaikuttaisi spontaaniin tunkeutumiseen prosessioloissa.

Lisäksi voidaan spontaanin tunkeutumisen aikaansaamiseksi välittömästi syöttää tunkeutumisen edistäjän edeltäjää tai 30 tunkeutumisen edistäjää ainakin esimuottiin, ja/tai matriisimetalliin ja/tai tunkeutumisasfääriin. Lopuksi, ainakin spontaanin tunkeutumisen aikana, tunkeutumisen edistäjän tulisi kuitenkin sijaita ainakin esimuotin osassa.

Saattaisi myös olla mahdollista altistaa läpäisevä täyteainemassa sulalle matriisimetallille spontaanin tunkeutumisen aikaansaamiseksi täyteaineeseen.

5 Erityisesti voidaan läpäisevä täyteainemassa, joka voi kiinteytyä (esim. sintrautua) kuumennettaessa, asettaa reaktion aikana kuluvaan muottiin (joka esim. haihtuu tai sekoittuu matriisimetalliin) täyteainetta sisältävän muotin aikaansaamiseksi, jossa oleva ontelo ei esiinny  
10 luonnollisesti eikä sitä tehdä keinotekoisesti, ja johon kohdistuu tunkeutumisasiatmosfääriä.

Seosta sisältävä muotti kuumennetaan, joko sijoittamalla se sulaa matriisimetallia sisältävään kuumennettuun uuniin  
15 tai erillisessä vaiheessa, läpäisevän täyteainemassan oleellista kiinteyttämistä varten. Oleellisesti kiinteytynyttä täyteainetta sisältävä muotti altistetaan (esim. upottamalla se ainakin osittain) sulalle matriisiseokselle. Kiinteytyneessä täyteainemassassa olevan ontelon  
20 oleellisesti samanaikainen altistaminen tunkeutumisatmosfäärille ja oleellisesti kiinteytyneen esimuotin ulkopuolen altistaminen aiheuttaa sulan matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen täyteaineeseen, niin kauan kun on tunkeutumisen edistäjän edeltäjää ja/tai tunkeutumisatmosfääriä ja/tai tunkeutumisen edistäjää ja/tai tunkeutumisen  
25 edistäjän edeltäjää. Kun sellainen täyteaine sisältää tulppavälineen väliaikaisen ontelon muodostamiseksi, voi sula matriisimetalli spontaanisti tunkeutua esimuottiin sen ulkopinnalta kohti väliaikaista onteloa.

30 Matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen aikaansaamiseksi täyteaineeseen tai esimuottiin, tulisi spontaaniin järjestelmään järjestää tunkeutumisen edistäjä. Tunkeutumisen edistäjä voisi muodostua tunkeutumisen edistäjän edeltäjästä, joka voitaisiin järjestää 1) matriisimetalliin, ja/tai 2) täyteaineeseen tai esimuottiin, ja/tai 3) tunkeutumisatmosfääristä, ja/tai 4) ulkoisesta lähteestä

spontaaniin järjestelmään. Lisäksi, tunkeutumisen edistäjän edeltäjän sijasta voidaan tunkeutumisen edistäjää syöttää suoraan ainakin joko täyteaineeseen tai esimuottiin, ja/tai matriisimetalliin, ja/tai tunkeutumisatmosfääriin. Lopuksi, ainakin spontaanin tunkeutumisen aikana, tunkeutumisen edistäjän tulisi sijaita ainakin osassa täyteainetta tai esimuottia.

Edullisessa suoritusmuodossa on mahdollista, että tunkeutumisen edistäjän edeltäjän voidaan ainakin osittain antaa reagoida tunkeutumisatmosfäärin kanssa, niin että tunkeutumisen edistäjä voidaan muodostaa ainakin osassa täyteainetta tai esimuottia ennen kuin tai oleellisesti samanaikaisesti kun esimuotti koskettaa sulaa matriisimetallia (esim. jos tunkeutumisen edistäjän edeltäjänä olisi magnesiumia ja tunkeutumisatmosfäärinä typpeä, niin tunkeutumisen edistäjä voisi olla magnesiumnitridiä, joka voisi sijaita ainakin osassa esimuottia tai täyteainetta).

Esimerkkinä matriisimetalli/tunkeutumisen edistäjän edeltäjä/tunkeutumisatmosfääri-järjestelmästä on alumiini/magnesium/typpi-järjestelmä. Erityisesti voidaan alumiinimatriisimetalli asettaa sopivassa tulenkestävässä astiassa olevaan täyteaineeseen, joka astia prosessiooloissa ei reagoi alumiinimatriisimetallin kanssa, kun alumiini sulatetaan. Magnesiumia sisältävä tai magnesiumille altistettu ja ainakin käsittelyn jossakin vaiheessa typpi-atmosfäärille altistettu täyteaine voidaan sitten päästää kosketukseen sulan alumiinimatriisimetallin kanssa. Matriisimetalli tunkeutuu tällöin spontaanisti täyteaineeseen tai esimuottiin.

Niissä oloissa, joita käytetään esillä olevan keksinnön mukaisessa menetelmässä, alumiini/magnesium/typpi-spontaanissa tunkeutumisjärjestelmän tapauksessa tulisi täyteaineen tai esimuotin olla riittävän läpäisevää, jotta typpeä sisältävä kaasu voisi tunkeutua täyteaineeseen tai

esimuottiin prosessin jonkin vaiheen aikana ja/tai koskettaa sulaa matriisimetallia. Lisäksi läpäisevässä täyteaineessa tai esimuotissa voi tapahtua sulan matriisimetallin tunkeutumista, jolloin aiheutuu sulan matriisimetallin spontaani tunkeutuminen typen läpäisemään täyteaineeseen tai esimuottiin, niin että se muodostaa metallimatriisikomposiittikappaleen ja/tai sattaa typen reagoimaan tunkeutumisen edistäjän edeltäjän kanssa tunkeutumisen edistäjän muodostamiseksi täyteaineeseen tai esimuottiin aiheuttaen näin spontaanin tunkeutumisen. Spontaanin tunkeutumisen määrä tai nopeus ja metallimatriisikomposiitin muodostuminen vaihtelee prosessiolojen annetun yhdistelmän mukaisesti, joita ovat mm. magnesiumin määrä alumiiniseoksessa, magnesiumin määrä täyteaineessa tai esimuotissa, magnesiumnitridin määrä esimuotissa tai täyteaineessa, muiden seosalkuaineiden (esim. pii, rauta, kupari, mangaani, kromi, sinkki, ja vastaavat) läsnäolo, täyteaineen keskimääräinen koko (esim. hiukkashalkaisija), täyteaineen pintatila ja tyyppi, tunkeutumisatmosfäärin tyypipitoisuus, tunkeutumiselle annettu aika ja lämpötila, jossa tunkeutuminen tapahtuu. Annettaessa esimerkiksi sulan alumiinimatriisimetallin tunkeutumisen tapahtua spontaanisti, voidaan alumiini seostaa ainakin noin 1 painoprosentilla, ja edullisesti ainakin noin 3 painoprosentilla magnesiumia (joka toimii tunkeutumisen edistäjän edeltäjänä), seoksen painoon verrattuna. Muita lisäseosalkuaineita, kuten edellä on selitetty, voidaan myös sisältää matriisimetalliin sen erityisten ominaisuuksien räätälöimiseksi. (Lisäksi lisäseosalkuaineet voivat vaikuttaa matriisin alumiinimetallissa tarvittavan magnesiumin määrään, niin että se johtaa spontaaniin tunkeutumiseen täyteaineeseen tai esimuottiin.) Magnesiumin häviämistä spontaanista järjestelmästä, esimerkiksi höyrystymisen vuoksi, ei saisi tapahtua niin suuressa määrin, ettei magnesiumia olisi läsnä muodostamaan tunkeutumisen edistäjää. Siten on toivottavaa, että aluksi käytetään riittävää seosalkuaineiden määrää jotta spontaani tunkeutumi-

nen voisi tapahtua höyrystymisen sitä haittaamatta. Lisäksi magnesiumin läsnäolo sekä täyteaineessa tai esimuotissa tai että matriisimetallissa tai pelkästään täyteaineessa tai esimuotissa voi johtaa magnesiumin spontaania tunkeutumista varten vaadittavan määrän pienenemiseen (jota selitetään yksityiskohtaisemmin alempana).

10 Typpi-atmosfäärissä olevan typen määrä vaikuttaa myös metallimatriisi-komposiittikappaleen muodostumisnopeuteen. Erytisesti jos atmosfäärissä on alle 10 tilavuusprosenttia typpeä, niin spontaania tunkeutumista esiintyy hyvin hitaasti tai hyvin vähän. On havaittu, että on edullista kun atmosfäärissä on ainakin 50 tilavuusprosenttia typpeä, jolloin aikaansaadaan lyhyempiä tunkeutumisaikoja paljon suuremmasta tunkeutumismäärästä johtuen. Tunkeutumisasi-atmosfääri (esim. typpeä sisältävä kaasu) voidaan syöttää suoraan täyteaineeseen tai esimuottiin ja/tai matriisimetalliin, tai se voidaan tuottaa aineen hajoamisen tuloksena.

20 Sulan matriisimetallin täyteaineeseen tai esimuottiin tunkeutumisen aikaansaamiseksi vaadittavan magnesiumin vähimmäismäärä riippuu yhdestä tai useammasta tekijästä, kuten prosessin lämpötilasta, ajasta, muiden lisäseosalkuaineiden kuten piin tai sinkin läsnäolosta, täyteaineen luonteesta, magnesiumin sisältymisestä yhteen tai useampaan spontaanin järjestelmän osaan, atmosfäärin typpisisällöstä, ja typpi-atmosfäärin virtausmäärästä. Voidaan käyttää alempia lämpötiloja tai lyhyempiä kuumennusaikoja täydellisen tunkeutumisen aikaansaamiseksi, kun seoksen ja/tai esimuotin magnesiumipitoisuutta nostetaan. Samaten annettulla magnesiumipitoisuudella määrättyjen lisäseosalkuaineiden, kuten sinkin lisääminen mahdollistaa alempien lämpötilojen käyttämisen. Esimerkiksi matriisimetallin magnesiumipitoisuutta toimivan alueen alapäässä, esim välillä noin 1 - 3 painoprosenttia, voidaan käyttää yhdessä ainakin jonkin seuraavien kanssa: vähimmäisprosessilämpö-

tilan ylittävä lämpötila, suuri typpipitoisuus, yksi tai useampia lisäseosalkuaineita. Ellei täyteaineeseen tai esimuottiin lisätä lainkaan magnesiumia, pidetään välillä noin 3 - 5 painoprosenttia magnesiumia sisältäviä seoksia edullisina, johtuen niiden yleisestä käytettävyydestä laajoilla prosessioalojen alueilla, jolloin ainakin 5 painoprosenttia pidetään edullisena käytettäessä alempia lämpötiloja ja lyhyempiä aikoja. Alumiiniseoksessa voidaan käyttää 10 painoprosentin ylittäviä magnesiumipitoisuuksia tunkeutumiseen vaadittavien lämpötilaolojen muuntelemiseksi. Magnesiumipitoisuutta voidaan pienentää muiden seosalkuaineiden yhteydessä, mutta nämä alkuaineet palvelevat ainoastaan lisätoimintoja, ja niitä käytetään edellä mainitun magnesiumin minimimäärän tai sen ylittävän määrän kanssa. Esimerkiksi oleellisesti mitään tunkeutumista ei esiintynyt nimellisesti puhtaalla alumiinilla, jota oli seostettu vain 10 % piillä, 1000 °C lämpötilassa, alustaan 39 Crystolon (99 % puhdasta piikarbidia Norton Co:lta), jonka raekoko oli 500 mesh (mesh = seulan aukkojen lukumäärä tuumaa kohti). Magnesiumin läsnäollessa on kuitenkin piin havaittu edistävän tunkeutumisprosessia. Toisena esimerkkinä magnesiumin määrä muuttuu, jos sitä syötetään yksinomaan esimuottiin tai täyteaineeseen. On havaittu, että spontaani tunkeutuminen tapahtuu, kun spontaaniin järjestelmään syötetään pienempi painoprosentti magnesiumia, jos ainakin jokin määrä syötetyn magnesiumin kokonaismäärästä sijoitetaan esimuottiin tai täyteaineeseen. Saattaa olla toivottavaa, että magnesiumia järjestetään pienempi määrä, jotta vältettäisiin ei-toivottujen metalliyhdisteiden syntyminen metallimatriisi-komposiittikappaleeseen. Esimuotin ollessa piikarbidia on havaittu, että matriisimetalli tunkeutuu spontaanisti esimuottiin, kun esimuotti saatetaan kosketukseen alumiinimatriisimetallin kanssa, esimuotin sisältäessä ainakin 1 painoprosenttia magnesiumia ja oleellisesti puhtaan typpi-atmosfäärin läsnäollessa. Alumiinioksidi-esimuotin tapauksessa hyväksyttävän spontaanin tunkeutumisen saavuttamiseksi vaadittu



magnesiumin määrä on hieman suurempi. Erityisesti on havaittu, että kun samantapainen alumiinimatriisimetalli saatetaan koskettamaan alumiinioksidi-esimuottia, likimain samassa lämpötilassa kuin alumiini joka tunkeutui piikarbidi-esimuottiin, ja saman typpi-atmosfäärin läsnäollessa, niin saatetaan tarvita ainakin noin 3 painoprosenttia magnesiumia samanlaisen spontaanin tunkeutumisen aikaansaamiseksi, kuin se joka saavutettiin juuri edellä kuvatun piikarbidi-esimuotin yhteydessä.

10

On myös havaittu, että on mahdollista syöttää spontaaniin järjestelmään tunkeutumisen edistäjän edeltäjää ja/tai tunkeutumisen edistäjää seoksen pinnalle ja/tai esimuotin tai täyteaineen pinnalle ja/tai esimuottiin tai täyteaineeseen ennen kuin matriisimetallin annetaan tunkeutua täyteaineeseen tai esimuottiin (ts. saattaa olla, ettei syötettyä tunkeutumisen edistäjän edeltäjää tai tunkeutumisen edistäjää tarvitse seostaa matriisimetalliin, vaan että sitä yksinkertaisesti syötetään spontaaniin järjestelmään). Jos magnesiumia levitettäisiin matriisimetallin pinnalle, saattaa olla edullista, että tämä pinta olisi se pinta, joka on lähimpänä tai edullisesti kosketuksessa täyteaineen läpäisevään massaan tai päinvastoin; tai sellaista magnesiumia voitaisiin sekoittaa ainakin esimuotin tai täyteaineen osaan. Lisäksi on mahdollista, että pinnalle levittämisen, seostamisen ja magnesiumin sijoittamisen ainakin esimuotin osaan, joitakin yhdistelmiä voitaisiin käyttää. Sellaiset yhdistelmät tunkeutumisen edistäjän (edistäjien) ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjän (edeltäjien) levittämisessä saattaisivat johtaa alumiinimatriisimetallin esimuottiin tunkeutumisen edistämiseen vaadittavan magnesiumin kokonaispainoprosenttimäärän pienenemiseen, samoinkuin alempien lämpötilojen saavuttamiseen, joissa tunkeutumista voi esiintyä. Lisäksi magnesiumin läsnäolosta johtuva metallien epätoivottujen keskinäisten yhdisteiden muodostuminen voitaisiin myös minimoida.

35

Yhden tai useamman lisäseosalkuaineen käyttäminen ja ympäröivän kaasun typpipitoisuus vaikuttavat myös matriisimetallin nitrautumiseen annetussa lämpötilassa. Esimerkiksi voidaan seokseen sisällyttää tai seoksen pinnalle  
5 levittää sellaisia lisäseosalkuaineita kuin sinkkiä tai rautaa tunkeutumislämpötilan alentamiseksi ja siten muodostuvan nitridin määrän pienentämiseksi, kun taas kaasussa olevan typen pitoisuuden lisäämistä voitaisiin käyttää nitridin muodostumisen edistämiseen.

10

Seoksessa olevan ja/tai seoksen pinnalle levitetyn ja/tai täyteaineeseen tai esimuottiin yhdistetyn magnesiumin pitoisuus pyrkii myös vaikuttamaan tunkeutumisen määrään annetussa lämpötilassa. Vastaavasti eräissä tapauksissa,  
15 joissa pieni määrä tai ei lainkaan magnesiumia saa olla kosketuksessa suoraan esimuottiin tai täyteaineeseen, saattaa olla edullista, että ainakin 3 painoprosenttia magnesiumia sisällytetään seokseen. Tätä arvoa pienemmät seosmäärät, kuten 1 painoprosentti magnesiumia, saattaa  
20 vaatia korkeammat prosessilämpötilat tai lisäseosalkuaineita tunkeutumista varten. Tämän keksinnön spontaanin tunkeutumisprosessin toteuttamiseksi vaadittu lämpötila voi olla alempi: 1) kun yksinomaan seoksen magnesiumipitoisuutta nostetaan, esim. ainakin noin 5 painoprosenttiin;  
25 ja/tai 2) kun seostavia aineita sekoitetaan täyteaineen läpäisevään massaan tai esimuottiin; ja/tai 3) kun alumiiniseoksessa on toista alkuainetta, kuten sinkkiä tai rautaa. Lämpötila voi myös vaihdella eri täyteaineilla. Yleensä esiintyy spontaania ja etenevää tunkeutumista  
30 prosessilämpötilassa, joka on ainakin noin 675 °C, edullisesti prosessilämpötilassa, joka on ainakin noin 750 - 800 °C. Yleensä yli 1200 °C olevat lämpötilat eivät näytä edistävän prosessia, ja erityisen käyttökepoiseksi lämpötilaksi on havaittu alue noin 675 °C - noin 1200 °C.  
35 Kuitenkin yleisenä sääntönä spontaanin tunkeutumisen lämpötila on sellainen lämpötila, joka on matriisimetallin sulamispisteen yläpuolella mutta matriisimetallin höyrys-

tymislämpötilan alapuolella. Lisäksi spontaanin tunkeutumisen lämpötilan tulisi olla täyteaineen sulamispisteen alapuolella. Edelleen, kun lämpötilaa nostetaan, kasvaa pyrkimys matriisimetallin ja tunkeutumisatmosfäärin välisen reaktiotuotteen muodostamiseen (esim. alumiinimatriisimetallin ja typpeä olevan tunkeutumisatmosfäärin tapauksessa saattaa muodostua alumiininitridiä). Sellaiset reaktiotuotteet saattavat olla toivottavia tai ei-toivottuja, riippuen metallimatriisi-komposiittikappaleen aiotusta käytöstä. Lisäksi tyypillisesti käytetään sähkövastuskuumennusta tunkeutumislämpötilojen saavuttamiseksi. Keksinnön yhteydessä käytettäväksi hyväksytään kuitenkin mikä tahansa kuumennusväline, joka voi saattaa matriisimetallin sulamaan ja joka ei vaikuta haitallisesti spontaaniin tunkeutumiseen.

Esillä olevassa menetelmässä esimerkiksi läpäisevä täyteaine tai esimuotti saatetaan kosketukseen sulan alumiinin kanssa typpeä sisältävän kaasun ollessa läsnä ainakin jossakin prosessin vaiheessa. Typpeä sisältävää kaasua voidaan syöttää ylläpitämään jatkuva kaasun virtaus kosketukseen ainakin joko täyteaineeseen tai esimuottiin. Vaikkei typpeä sisältävän kaasun virtausmäärä ole kriittinen, pidetään edullisena että virtausmäärä on riittävä estämään tai torjumaan ilman sisään pääseminen, jolla voi olla hapettava vaikutus sulaan metalliin.

Metallimatriisikomposiitin muodostamismenetelmää voidaan soveltaa täyteaineiden laajaan valikoimaan, ja täyteaineiden valinta riippuu sellaisista tekijöistä, kuten matriisiseoksesta, prosessin olosuhteista, sulan matriisiseoksen reaktiivisuudesta täyteaineen kanssa, sekä lopulliselle komposiittituotteelle haetuista ominaisuuksista. Kun matriisimetallina on esimerkiksi alumiini, lukeutuvat sopiviksi täyteaineiksi a) oksidit, esim. alumiinioksidi, b) karbidit, esim. piikarbidi, c) boridit, esim. alumiinidodekaboridi, ja d) nitridit, esim. alu-

miininitridi. Mikäli täyteaine pyrkii ragoimaan sulan alumiinimatriisimetallin kanssa, tämä voidaan ottaa huomioon minimoimalla tunkeutumisaika ja -lämpötila tai järjestämällä reagoimaton päällystys täyteaineelle. Täyteaine voi käsittää alustan, kuten hiiltä tai ei-keräämistä ainetta, jonka päällä on kerääminen päällystys alustan suojaamiseksi syöpymiseltä tai heikkenemiseltä. Sopivia keräämispäällysteitä ovat mm. oksidit, karbidit, boridit ja nitridit. Esillä olevassa menetelmässä käytettäviksi edullisina pidettyjä keräämiä ovat mm. alumiinioksidi ja piikarbidit hiukkasten, hiutaleiden, kuitukiteiden ja kuitujen muodossa. Kuidut voivat olla epäjatkuvia (leikatussa muodossa) tai jatkuvan säikeen muodossa, kuten monisäikeiset langat. Lisäksi täyteaine tai esimuotti voi olla homogeeninen tai epähomogeeninen.

On myös havaittu, että määrättyillä täyteaineilla esiintyy suurempaa tunkeutumista suhteessa täyteaineisiin, joilla on samantapainen kemiallinen koostumus. Esimerkiksi US-patentissa 4,713,360 (nimitys "Uusia keräämiä aineita ja menetelmiä niiden valmistamiseksi") kuvatulla menetelmällä valmistetuilla murskatuilla alumiinioksidi-kappaleilla on edulliset tunkeutumisominaisuudet verrattuna kaupallisesti saatavilla oleviin alumiinioksidituotteisiin. Lisäksi rinnakkaisessa US-patenttihakemuksessa 819,397 (nimitys: "Komposiittikeräämiä esineitä ja niiden valmistusmenetelmä") esitetyllä menetelmällä tehdyillä murskatuilla alumiinioksidikappaleilla on myös edulliset tunkeutumisominaisuudet verrattuna kaupallisesti saatavilla oleviin alumiinioksidituotteisiin. Edellä mainitut patenttijulkaisut esitetään tässä nimenomaisina viittauksina. Näin ollen on havaittu, että täydellinen tunkeutuminen keräämistä ainetta olevaan läpäisevään massaan voi tapahtua alemmissa tunkeutumislämpötiloissa ja/tai lyhyemmällä tunkeutumisajoilla käyttäen puristettuja tai murskattuja kappaleita, jotka on valmistettu edellä mainittujen patenttijulkaisujen mukaisella menetelmällä.

Täyteaineen koko ja muoto voi olla mikä tahansa sellainen, joka vaaditaan komposiitin toivottujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. Siten aine voi olla hiukkasten, kuituki-  
teiden, hiutaleiden tai kuitujen muodossa, koska täyteai-  
5 neen muoto ei rajoita tunkeutumista. Voidaan käyttää muitakin muotoja, kuten kuulia, pieniä putkia, pellettejä, tulenkestävää kuitukangasta, ja vastaavia. Lisäksi aineen koko ei rajoita tunkeutumista, vaikka pienten hiukkasten massalla saatetaan tunkeutumisen loppuunviemiseksi tarvita  
10 korkeampi lämpötila tai pidempi aika kuin suuremmilla hiukkasilla. Lisäksi (esimuotiksi muotoillun) täyteainemassan tulisi tunkeutumista varten olla läpäisevää (ts. sen tulisi olla sulaa matriisimetallia ja tunkeutumisatmosfääriä läpäisevää).

15

Esillä olevan keksinnön mukainen menetelmä metallimatriisi-komposiittikappaleiden muodostamiseksi sallii oleellisesti yhtenäisten metallimatriisikomposiittien valmistamisen, joilla on suuri tilavuusosa täyteainetta ja pieni  
20 huokoisuus, koska ne eivät ole riippuvaisia paineen käyttämisestä sulan matriisimetallin puristamiseksi esimuottiin tai täyteainemassaan. Suurempia täyteaineen tilavuusosuuksia voidaan aikaansaada käyttämällä alussa täyteainemassaa, jolla on pienempi huokoisuus. Suurempia  
25 tilavuusosuuksia voidaan myös aikaansaada silloin, jos täyteainemassa tiivistetään tai tehdään muulla tavalla tiiviimmäksi, edellyttäen ettei massaa muuteta joko täysin tiiviiksi suljetuin kennohuokosin tai täysin tiiviiksi rakenteeksi, mikä estäisi sulan seoksen tunkeutumisen.

30

On havaittu, että alumiinin tunkeutumista ja matriisin muodostumista varten keraamisen täyteaineen ympärille voi keraamisen täyteaineen kostutus alumiinimatriisimetallilla olla tärkeä osa tunkeutumismekanismista. Lisäksi alhaisissa prosessilämpötiloissa esiintyy erittäin vähän tai  
35 häviävän vähän metallin nitridiksi muuttumista, jonka takia saadaan erittäin vähäinen epäjatkuva alumiininitridin

faasi metallimatriisiin jakautuneena. Kun lähestytään lämpötila-alueen yläpäättä, tapahtuu kuitenkin todennäköisemmin metallin nitridiksi muuttumista. Siten voidaan säätää nitridifaasin osuutta metallimatriisissa muuttamalla lämpötilaa, jossa tunkeutuminen tapahtuu. Se määrätty lämpötila, jossa nitridin muodostuminen tulee merkittävämäksi, muuttuvat myös sellaisista tekijöistä riippuen, kuten käytetty matriisin alumiiniseos ja sen määrä suhteessa täyteaineen tai esimuotin määrään, keraamisen aineen määrä johon tunkeutumisen on tapahduttava, sekä tunkeutumisatmosfäärin typpipitoisuus. Esimerkiksi alumiininitridin muodostumisen määrän uskotaan määrättyssä prosessilämpötilassa kasvavan, kun seoksen kyky keraamisen täyteaineen kostuttamiseen pienenee ja kun atmosfäärin typpipitoisuus kasvaa.

Sen vuoksi on mahdollista räätälöidä metallimatriisin rakennetta komposiitin muodostuksen aikana, niin että voidaan antaa tuloksena olevalle tuotteelle määrättyt ominaisuudet. Annetulla järjestelmällä voidaan prosessin olosuhteet valita nitridin muodostuksen säätämiseksi. Alumiininitridiä sisältävällä komposiittituotteella on eräitä ominaisuuksia, jotka voivat olla edullisia tuotteen suorituskyvylle tai parantaa niitä. Lisäksi alumiiniseoksen spontaanin tunkeutumisen edullinen lämpötila-alue voi vaihdella käytetystä keraamisesta aineesta riippuen. Kun täyteaineena on alumiinioksidia, ei tunkeutumisen lämpötilan tulisi ylittää 1000 °C, mikäli halutaan, ettei matriisin muovattavuus oleellisesti pienene merkittävän nitridin muodostumisen johdosta. Lämpötilan 1000 °C ylittäviä lämpötiloja voidaan kuitenkin käyttää, mikäli halutaan tuottaa komposiitti, jonka matriisilla on heikompi muovattavuus ja suurempi jäykkyys. Piikarbidiin tunkeutumista varten voidaan käyttää korkeampia, noin 1200 °C lämpötiloja, koska piikarbidiä täyteaineena käytettäessä alumiiniseoksesta syntyy vähemmän nitridejä, kuin alumiinioksideja täyteaineena käytettäessä.

Lisäksi on mahdollista käyttää matriisimetallin varastolähdettä täyteaineen täydellisen tunkeutumisen varmistamiseksi ja/tai syöttää toista metallia, jolla on erilainen koostumus kuin matriisimetallin ensimmäisellä lähteellä.

5 Eräissä tapauksissa voi erityisesti olla toivottavaa käyttää varastolähteessä matriisimetallia, joka koostumukseltaan poikkeaa matriisimetallin ensimmäisestä lähteestä. Jos esimerkiksi alumiiniseosta käytetään ensimmäisenä matriisimetallin lähteenä, niin varastolähteen metallina

10 voitaisiin käyttää näennäisesti mitä tahansa toista metallia tai metalliseosta, joka on sulanut prosessilämpötilassa. Sulat metallit ovat usein hyvin sekoittuvia toistensa kanssa, mikä johtaisi varastolähdemetallin sekoittumiseen matriisimetallin ensimmäiseen lähteeseen niin kauan kuin

15 annetaan riittävästi aikaa sekoittumista varten. Käytettäessä ensimmäisen matriisimetallin lähteestä poikkeavan koostumuksen omaavaa varastolähdemetallia, on siten mahdollista räätälöidä metallimatriisin ominaisuuksia erilaisten toimintavaatimusten täyttämiseksi ja siten räätälöidä metallimatriisikomposiitin ominaisuuksia.

20

Estovälinettä voidaan myös käyttää esillä olevan keksinnön yhteydessä. Tämän keksinnön yhteydessä käytettävä estoväline voi erityisesti olla mikä tahansa soveltuva väline,

25 joka vuorovaikuttaa, estää ja lopettaa sulan matriisiseoksen (esim. alumiiniseos) kulkeutumisen, siirtymisen tai vastaavan täyteaineen määritellyn rajapinnan ohi. Sopivia estovälineitä voivat olla mitkä tahansa aineet, yhdisteet, alkuaineet, koostumukset tai vastaavat, jotka prosessin

30 olosuhteissa ylläpitävät jonkinasteisen eheyden eivätkä ole haihtuvia, ja jotka edullisesti ovat prosessissa käytettyä kaasua läpäiseviä, ja jotka samoin pystyvät paikallisesti estämään, pysäyttämään, vuorovaikuttamaan, torjumaan, jne, jatkuvan tunkeutumisen tai minkä tahansa

35 muun liikkeen aineen tai esimuotti-täyteaineen määritellyn rajapinnan ohi.

Soveltuvat estovälineet sisältävät aineita, joita kulkeutuva sula matriisimetalli käytetyn prosessin aikana ei oleellisesti pysty kustuttamaan. Tämän tyyppisellä estoaineella näyttää olevan oleellisen vähän tai ei lainkaan yhtymispyrkimystä sulaan matriisimetalliin, ja estoväline estää tai torjuu siirtymisen täyteainemassan tai esimuotin määritellyn rajapinnan yli. Estoaine vähentää mahdollista loppukoneistusta tai hiomista, jota voidaan tarvita metallimatriisikomposiittituotteella. Kuten edellä mainittiin, tulisi estoaineen edullisesti olla läpäisevää tai huokoista, tai se voidaan saattaa läpäiseväksi esimerkiksi poraamalla reikiä estoaineeseen tai lävistämällä se, niin että kaasu pääsee kosketukseen sulan matriisimetallin kanssa.

15

Soveltuvia estoaineita, jotka ovat erityisen edullisia alumiinimatriisiseoksilla, ovat niitä, jotka sisältävät hiiltä, erityisesti hiilen kiteiset allotrooppiset muodot, jotka tunnetaan grafiittina. Grafiittia ei oleellisesti voida kustuttaa kuvatuissa prosessiolosuhteissa sulalla alumiiniseoksella. Erityisen edullinen grafiitti on grafiittinauhatuote, jota myydään tuotenimellä Grafoil (R), jonka tavaramerkin haltija on Union Carbide. Tällä grafiittinauhalla on tiivistäviä ominaisuuksia, jotka estävät sulaa alumiiniseosta kulkeutumasta täyteaineen määritellyn rajapinnan ohi. Tämä grafiittinauha on myös kuumuutta kestävä ja kemiallisesti inertti. Grafoil (R) -grafiittiaine on taipuisaa, kestävä, mukautuvaa ja joustavaa. Sitä voidaan valmistaa useissa muodoissa sopimaan estoainesovellutuksiin. Grafiittiestovälinettä voidaan kuitenkin käyttää lietteenä tai tahnana tai jopa maalikalvona täyteaineen tai esimuotin rajapinnalla tai sen ympärillä. Grafoil (R) -tuotetta pidetään erityisen edullisena, koska se on taipuisan grafiittiarkin muodossa. Käytössä tämä paperin tapainen grafiitti yksinkertaisesti muovailaan täyteaineen tai esimuotin ympärille.

35



- Muita edullisia estoaineita alumiinimetallimatriisiseoksille tyypissä ovat siirtymämetalliboridit (esim. titaanidiboridi ( $\text{TiB}_2$ )), joita sulat alumiinimetalliseokset eivät tätä ainetta määrättyissä prosessioiloissa käyttäessä pysty kostuttamaan. Tämän tyyppisellä estoaineella prosessilämpötilan ei tulisi ylittää noin  $875^\circ\text{C}$ , koska muutoin estoaineen vaikutus vähenee, ja itse asiassa korkeammassa lämpötilassa esiintyy tunkeutumista estoaineeseen. Siirtymämetalliboridit ovat tyyppillisesti hiukkasmuodossa (1 - 30 mikrometriä). Estoaineet voidaan levittää lietteenä tai tahnana edullisesti esimuotiksi muotoillun läpäisevän keraamisen täyteaineen massan rajapinnoille.
- 15 Alumiinimetallimatriisiseoksia varten tyypissä muut käyttökelpoiset estoaineet sisältävät vaikeasti haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, jotka levitetään kalvona tai kerroksena täyteaineen tai esimuotin ulkopinnalle. Poltettaessa tyypissä, erityisesti tämän keksinnön mukaisissa prosessioiloissa, orgaaninen yhdiste hajoaa, jättäen jälkeensä hiilinokikalvon. Orgaaninen yhdiste voidaan levittää tavanomaisin keinoin, kuten maalaamalla, suihkuttamalla, upottamalla, jne.
- 25 Lisäksi voivat hienoksi jauhetut hiukkasmaiset aineet toimia estoaineena, jos hiukkasmaiseen aineeseen tunkeutuminen esiintyy nopeudella, joka on hitaampi kuin tunkeutumisnopeus täyteaineeseen.
- 30 Siten voidaan estoainetta levittää millä tahansa sopivalla tavalla, kuten peittämällä määriteltä rajapinta estovälineen kerroksella. Sellainen estovälineen kerros voidaan muodostaa maalaamalla, upottamalla, silkkipainatuksella, höyrystämällä, tai levittämällä estovälinettä muilla tavoin neste-, liete- tai tahnamuodossa, tai sputteroimalla 35 höyrystyvää estovälinettä, tai yksinkertaisesti kerrostamalla kiinteän hiukkasmaisen estovälineen kerros, tai

levittämällä estovälineen kiinteä ohut arkki tai kalvo määritellylle rajapinnalle. Kun estoväline on paikallaan, spontaani tunkeutuminen päättyy oleellisesti silloin, kun tunkeutuva matriisimetalli saavuttaa määritellyn rajapinnan ja koskettaa estovälinettä.

Tämän keksinnön menetelmällä aikaansaadaan kustannuksiltaan edullinen metallimatriisi-komposiittikappaleiden tuotanto edellä mainitulla menetelmällä. Erityisesti paikallisen tunkeutumisatmosfäärin lähteen käyttäminen täyteaineen tai esimuotin ontelon sisällä vähentää kalliimpien prosessijärjestelmien tarvetta sallien komposiittien käsittelyn avoimessa atmosfäärissä. Samaten tällä menetelmällä voidaan suorittaa metallimatriisi-komposiittikappaleiden muodostaminen jatkuvalla käsittelyjärjestelmällä. Lisäksi tuotetuilla metallimatriisikomposiiteilla on hyvät puhtaan pinnan tai lähes puhtaan pinnan ominaisuudet.

Välittömästi seuraavassa olevat esimerkit sisältävät esillä olevan keksinnön erilaisia demonstraatioita. Näitä esimerkkejä on kuitenkin pidettävä havainnollistavina, eikä niitä pidä ymmärtää keksinnön suoja-alaa rajoittavina, joka määritellään oheisissa patenttivaatimuksissa.

#### 25 Esimerkki 1

Kuvio 4 esittää poikkileikkauksena järjestelyn, jota voidaan käyttää metallimatriisi-komposiittikappaleen muodostamiseksi ulkoa sisälle tapahtuvan tunkeutumisen edeltäjällä. Erityisesti muodostettiin sylinterin muotoinen esimuotti 3, jolla oli suljettu pää 8, ja ontelo 9 muodostettiin valamalla 1000 grit (seulamitta, grit = noin 75 mikrometriä) piikarbidilietettä (jota toimitti Exolon-ESK Co, Tonawanda, New York, ja jota myydään nimellä Carbolon F1000) alumiinioksidisauvan ympärille, jonka halkaisija oli noin 38 mm ja pituus noin 152 mm. Sen jälkeen liete kuivattiin ja esipoltettiin ilmaunissa noin 1100

°C:ssa noin viiden tunnin ajan esimuotin 3 muodostamiseksi, jonka seinämäpaksuus oli noin 5 mm. Titaanilastuja 5 (joita toimitti Chem Alloy Inc., ja joita myydään merkillä QM4-30) asetettiin esimuotin 3 onteloon 9. Esimuotti 3 asetettiin 5 koskettamaan vähäisesti muunneltua 380.1 alumiiniseosta 2 (jota saatiin Belmont Metalsilta), jonka koostumus oli noin 7,5 - 9,5 % Si, 3,0 - 4,0 % Cu, < 2,9 % Zn, < 6,0 % Fe, < 0,5 % Mn, < 0,5 % Ni, < 0,35 % Sn, ja noin 0,17 - 0,18 % Mg, johon lisättiin 5 painoprosenttia magnesiumia. Alumiiniseos oli wollastoniittijauhepedissä 7 (jota toimitti 10 NYCO, Inc), ja kokonaisuus sijaitsi tulenkestävässä astiassa 1. Wollastoniittijauhetta 7 käytettiin, koska sula alumiini ei helposti kostuta tätä ainetta, ja se toimii sulan alumiinin säiliönä. Tulenkestävä astia 1 sisältöineen 15 kuumennettiin ilmaunissa noin 800 °C lämpötilaan alumiiniseoksen sulattamiseksi. Ohut päällystys tai kerros wollastoniittijauhetta 6 asetettiin sulan seoksen 2 pinnalle, joka ei ollut kosketuksessa osittain uponneeseen esimuottiin 3 sulan seoksen 2 hapettumisen estämiseksi. 20 Alumiinioksidia oleva virtausputki 4 hienojakoi noin 99,9 % puhdasta typpikaasua olevaa tunkeutumisatmosfääriä esimuotin 3 onteloon 9. Siten onteloon 9 muodostettiin paikallinen typpi-atmosfääri. Putki 4 toimi myös pitäen esimuottia 3 noin 101 mm syvällä sulassa seoksessa 2. Uuni 25 pidettiin noin 800 °C:ssa noin 25 tunnin ajan. Esimuotti 3 poistettiin sitten alumiinisulasta 2, mutta jäi uuniin noin 10:ksi tunniksi, kunnes koko järjestely oli jäähtynyt noin huoneenlämpötilaan.

30 Esimuotti 2, johon tunkeutuminen oli tapahtunut, poistettiin järjestelmästä ja se tutkittiin. Kuten kuviossa 5a nähdään, joka on sivulta oleva kuva muodostuneesta metallimatriisikomposiitista 8, oli tunkeutuminen esimuottiin tapahtunut vain noin 101 mm matkalta, mikä vastaa syvyyttä, 35 johon esimuotti 2 oli upotettuna sulaan matriisiseokseen 2. Kuvio 5b, joka on kuva päältäpäin metallimatriisikomposiitista 8, esittää ontelon, joka oli olemassa esimuotis-

sa 2. Vastaavasti kuvioista 2a ja 2b on selvää, että ulkoa sisälle tapahtuva sulan matriisimetallin spontaani tunkeutuminen esimuottiin aikaansaa hyvän puhtaan tai lähes puhtaan muodon.

5

10

15

20

25

30

35

Patenttivaatimukset

1. Menetelmä metallimatriisikomposiitin valmistamiseksi sulasta matriisimetallista ja oleellisesti ei-reaktiivisesta täyteaineesta, **tunnettu** siitä, että  
5 saatetaan paikallinen tunkeutumisatmosfääri yhteyteen ainakin täyteaineen osan kanssa tunkeutumisen edistäjän ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjän läsnäollessa; ja saatetaan sula matriisimetalli spontaanisti tunkeutumaan ainakin täyteaineen osaan.  
10
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että syötetään tunkeutumisen edistäjän edeltäjää ja/tai tunkeutumisen edistäjää matriisimetalliin ja/tai täyteaineeseen ja/tai tunkeutumisatmosfääriin.  
15
3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että syötetään tunkeutumisen edistäjän edeltäjää ja/tai tunkeutumisen edistäjää matriisimetalliin ja/tai täyteaineeseen.  
20
4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että täyteaine muodostaa esimuotin.
5. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu**  
25 siitä, että täyteaine käsittää ainakin yhtä ainetta, joka valitaan ryhmästä, joka käsittää jauheita, hiutaleita, mikrokuulia, kuitukiteitä, kuplia, kuituja, hiukkasia, kuitumattoja, katkaistuja kuituja, kuulia, pellettejä, pieniä putkiaihioita ja tulenkestäviä kankaita.  
30
6. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että täyteaine muodostaa esimuotin, joka rajoittaa ontelon, ja että tunkeutumisatmosfääri on välittömästi yhteydessä onteloon.  
35
7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että onteloa ainakin osittain rajoittaa tulppa, joka on joko poistettavissa tai kiinteä.

8. Patenttivaatimuksen 6 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että tunkeutumisasfääri on yhteydessä onteloon ainakin yhden johdon kautta.
- 5 9. Patenttivaatimuksen 6 tai 8 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että onteloa ainakin osittain rajoittaa sen osan lähellä oleva rajoitusväline.
- 10 10. Patenttivaatimuksen 1 tai 6 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että siinä käytetään hapettimen kerääjää.
- 15 11. Patenttivaatimuksen 1 tai 6 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että spontaani tunkeutuminen aikaansaadaan ympäröimällä esimuotti ainakin osittain sulalla matriisimetallilla.

#### Patentkrav

1. Förfarande för tillverkning av en metallmatriiskomposit av smält matrismetall och ett väsentligt icke-reaktivt  
20 fyllnadsmedel, **kännetecknat** av att den lokala infiltrationsatmosfären sätts i förbindelse åtminstone med en del av fyllnadsmedlet i närvaro av ett infiltrationsfrämjande medel och/eller föregångaren till det infiltrationsfrämjande medlet; och den smälta matrismetallen fås att spontant  
25 infiltrera åtminstone en del av fyllnadsmedlet.
- ∴
2. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att föregångaren till det infiltrationsfrämjande medlet och/eller det infiltrationsfrämjande medlet tillförs mat-  
30 rismetallen och/eller fyllnadsmedlet och/eller infiltrationsatmosfären.
3. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att föregångaren till det infiltrationsfrämjande medlet  
35 och/eller det infiltrationsfrämjande medlet tillförs matriismetallen och/eller fyllnadsmedlet.

4. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att fyllnadsmedlet bildar en förform.

5. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att  
5 fyllnadsmedlet innehåller åtminstone ett ämne valt i gruppen bestående av pulver, flingor, mikrokulor, fiberkristaller, bubblor, fibrer, partiklar, fibermattor, brutna fibrer, kulor, pelletar, små rörämnena och brandbeständiga tyger.

10

6. Förfarande enligt patentkrav 1 eller 2, **kännetecknat** av att fyllnadsmedlet bildar en förform, som avgränsar en hålighet, och att infiltrationsatmosfären står i direkt förbindelse med håligheten.

15

7. Förfarande enligt patentkrav 6, **kännetecknat** av att håligheten åtminstone delvis avgränsas av en propp som antingen är löstagbar eller stationär.

20

8. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att infiltrationsatmosfären står i förbindelse med håligheten åtminstone via en ledning.

25

9. Förfarande enligt patentkrav 6 eller 8, **kännetecknat** av att håligheten åtminstone delvis avgränsas av ett avgränsningsorgan i närheten av en del av det.

30

10. Förfarande enligt patentkrav 1 eller 6, **kännetecknat** av att en uppsamlare för oxideringsmedel används.

11. Förfarande enligt patentkrav 1 eller 6, **kännetecknat** av att den spontana infiltrationen åstadkoms genom att omge förformen åtminstone delvis med smält matrismetall.

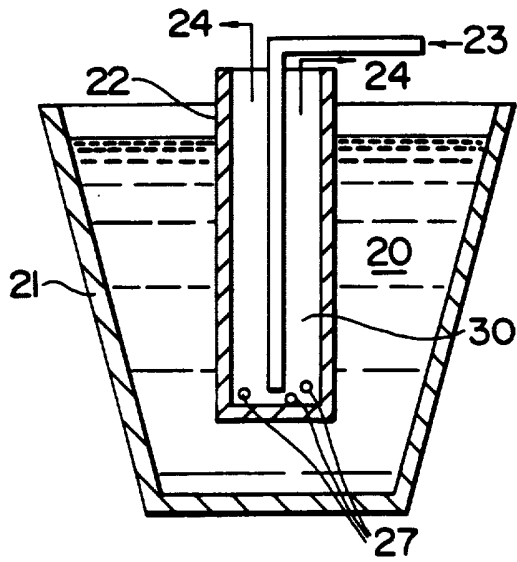


Fig. 1

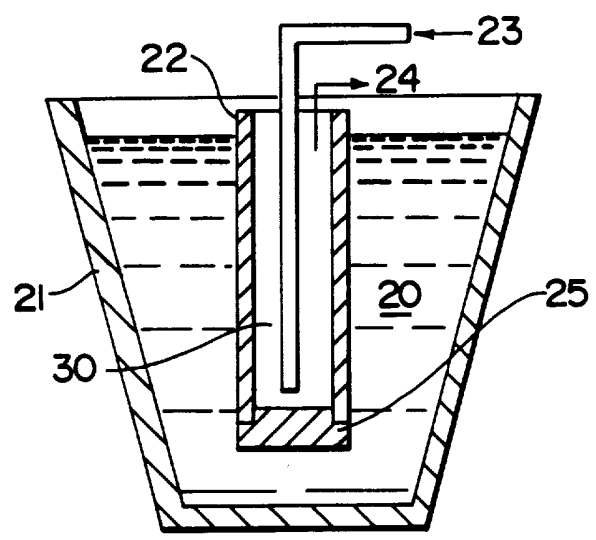


Fig. 2



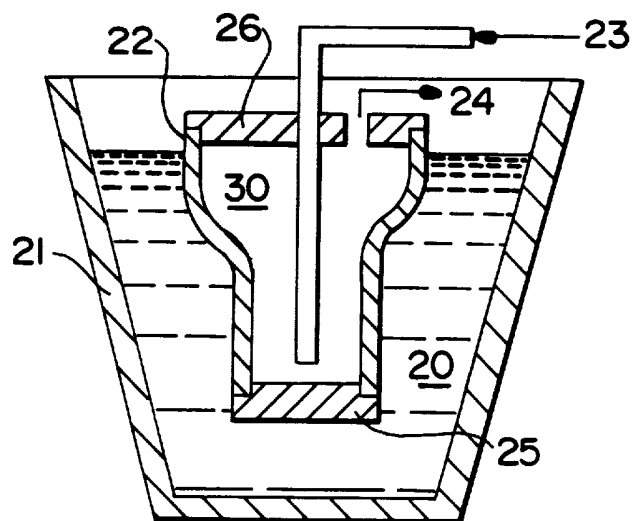


Fig. 3

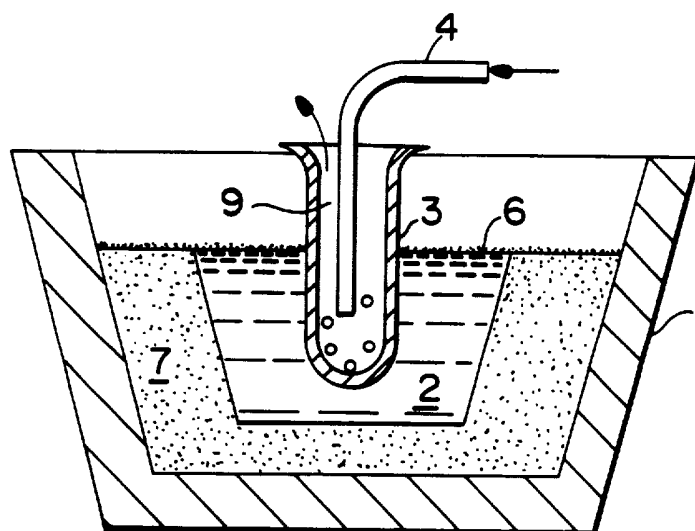


Fig. 4



Fig. 5a



Fig. 5b