



FI0000916108

**(B) (11) KUULUTUSJULKAISU
UTLAGGNINGSSKRIFT****91610****C (45) Patentti myönnetty**
Patent meddelat 25 07 1994**(51) Kv.1k.5 - Int.cl.5****B 22D 19/14****SUOMI-FINLAND****(FI)****Patentti- ja rekisterihallitus**
Patent- och registerstyrelsen

(21) Patentihakemus - Patentansökning	894943
(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag	17.10.89
(24) Alkupäivä - Löpdag	17.10.89
(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig	11.05.90
(44) Nähtäväksipanon ja kuul.julkaisun pvm. - Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad	15.04.94
(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet	
10.11.88 US 269311 P	09.05.89 US 349590 P
06.10.89 US 416327 P	

(71) Hakija - Sökande**1. Lanxide Technology Company, LP, Tralee Industrial Park, Newark, Del. 19714-6077, USA, (US)****(72) Keksijä - Uppfinnare****1. Aghajanian, Michael Kevork, 604 Helmsdale Court, Bel Air, Md. 21014, USA, (US)**
2. Hannon, Gregory Eugene, 1310 Greenwich Court, New Castle, Del. 19720, USA, (US)
3. Smith, Russell Guy, 5518 E. Timberview Court, Wilmington, Del. 19808, USA, (US)
4. Biel, Jr., John Peter, 1002 Greystone Lane #2B, Newark, Del. 19711, USA, (US)
5. Burke, John Thomas, 118 Cheltenham Road, Hockessin, Del. 19707, USA, (UA)
6. Kennedy, Christopher Robin, 17 Welwyn Road, Newark, Del. 19711, USA, (US)**(74) Asiamies - Ombud: Berggren Oy Ab****(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning****Menetelmä metallimatriisikomposiitin valmistamiseksi spontaanin tunkeutumisprosessin avulla**
Förfarande för tillverkning av en metallmatriiskomposit medelst en spontan infiltreringsprocess**(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer****EP A 250210 (C 04B 41/88), EP A 261055 (C 04B 35/65), EP A 111080 (C 04B 35/71),**
FR A 1037894 (Gr. 8-C1 2), FR A 2155565, GB A 2156718 (B 22D 19/00),
US A 4570316 (B 23P 15/00), US A 4491558 (B 22F 3/26), US A 3138837 (29-471.1)**(57) Tiivistelmä - Sammandrag**

Esillä oleva keksintö liittyy uuteen menetelmään metallimatriisi-komposiittikappaleiden muodostamiseksi. Erityisesti tunkeutumisen edistäjä ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjä ja/tai tunkeutumisatmosfääri ovat yhteydessä täyteaineeseen tai esimuottiin, ainakin prosessin jossakin vaiheessa, mikä sallii sulan matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen täyteaineeseen tai esimuottiin. Sellainen spontaani tunkeutuminen tapahtuu vaatimatta mitään painetta tai tyhjiötä.

Föreliggande uppfinning berör ett nytt förfarande för att bilda metallmatriiskompositkroppar. Närmare bestämt står en infiltrationsbefrämjare och/eller en föregångare till en infiltrationsbefrämjare och/eller en infiltrationsatmosfär åtminstone i något skede under processen i kontakt med fillermaterialet eller förformen, vilket tillåter den smälta matriisimetallen att spontant infiltrera fillermaterialet eller förformen. En sådan spontan infiltration sker utan att kräva användning av något tryck eller vakuum.

Menetelmä metallimatriisikomposiitin valmistamiseksi
spontaanin tunkeutumisprosessin avulla

5

Esillä oleva keksintö liittyy uuteen menetelmään metallimatriisikomposiittikappaleiden muodostamiseksi. Keksinnön mukaan tunkeutumisen edistäjä ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjä sekä tunkeutumisatmosfääri ainakin prosessin jossakin vaiheessa on yhteydessä täyteaineeseen tai esimuottiin, mikä sallii sulan metallimatriisin spontaanin tunkeutumisen täyteaineeseen tai esimuottiin. Sellainen spontaani tunkeutuminen tapahtuu vaatimatta paineen tai tyhjiön käyttämistä.

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 muovattavuuteen ja sitkeyteen. Yleensä metallimatriisikomposiitilla luodaan parannuksia sellaisissa ominaisuuksissa, kuten lujuus, jäykkyys, hankauskulutuksen kestävyys, lämpölaajenemiskerroin (CTE, coefficient of thermal expansion), tiheys, lämmönjohtavuus ja lujuuden pysyvyys korkeammissa 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 kevyempää kuin

matriisimetalli sellaisenaan. Alumiinimatriisikomposiitit, jotka on vahvistettu keraamilla, kuten esimerkiksi piikarbidilla hiukkasten, hiutaleiden tai kuitukiteiden muodossa, ovat kiinnostavia johtuen niiden alumiiniin verrattuna suuremmasta ominaisjäykkyydestä (ts. kimmoduli jaettuna tiheydellä), kulutuksen kestävydestä, lämmönjohtavuudesta, pienestä lämpölaajenemiskertoimesta (CTE) ja korkean lämpötilan lujuudesta ja/tai ominaislujuudesta (esim. lujuus jaettuna tiheydellä).

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

Metallimatriisikomposiittien tuottaminen jauhemetallurgisia tekniikoita käyttävin tavanomaisin menetelmin asettaa 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

yksinkertaiset tuotteen muodot ovat mahdollisia ilman jälkeensä tapahtuvaa käsittelyä (esim. muotoilua tai koneistusta) tai ottamatta käyttöön monimutkaisia puristimia. Sintrauksen aikana voi myös esiintyä epätasaista kutistumista, samoin kuin mikrostruktuurin epätasaisuutta, johtuen kiintoaineisiin eriytymisestä ja hiukkasten kasvusta.

US-patentissa 3,970,136 kuvataan menetelmä metallimatriisikomposiitin muodostamiseksi, johon sisältyy kuitumuotoinen lujite, esim. piikarbidi- tai alumiinioksidikuituita, joilla on ennalta määrätty kuitujen suuntaus. 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 mattoihin ja ympäröimään suunnatut kuidut. Mattojen pinon päälle voidaan valaa sulaa metallia, jolloin sitä paineen avulla pakotetaan virtaamaan mattojen väliin. Komposiitissa olevien lujittavien kuitujen jopa 50 % tilavuuspitoisuuksia on ilmoitettu.

Edellä olevaan tunkeutumismenetelmään liittyy paineen aiheuttamien virtausprosessien yllätyksellisiä vaihteluja. ts. mahdollisia epäsäännöllisyyksiä matriisin muodostumisessa, huokoisuutta, jne, kun otetaan huomioon että se riippuu ulkoisesta paineesta sulan matriisimetallin pakottamiseksi kuitupitoisten mattojen läpi. Ominaisuuksien epätasaisuus on mahdollinen vaikka sulaa metallia johdetaisiin useammasta kohdasta kuitupitoiseen järjestelyyn. Vastaavasti on järjestettävä monimutkaiset matto/lähdējärjestelyt ja virtausreitit soveltuvan ja tasaisen tunkeutumisen aikaansaamiseksi kuitumattojen pinoon. Edellä mainittu painetunkeutumismenetelmä mahdollistaa myös ainoastaan suhteellisen pienen lujitusaineen ja matriisitiilavuuden suhteen, johtuen suureen mattotilavuuteen kiin-

teästi liittyvästä tunkeutumisen vaikeudesta. Lisäksi muoteissa on oltava sula metallia paineen alaisena, joka nostaa menetelmän kustannuksia. Lopuksi edellä mainittu menetelmä, joka rajoittuu ojennuksessa oleviin hiukkasiin tai kuituihin tunkeutumiseen, ei sovellu alumiinimatrii-

5 sikomposiittien muodostamiseen, jotka on lujitettu satunnaisesti suuntautuvista hiukkasista, kuitukiteistä tai kuiduista koostuvilla aineilla.

10 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.

15 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

20 vaikuttaa matriisin ominaisuuksiin.

US-patentilla 4,232,091 voitetaan eräitä alan vaikeuksia, joita kohdataan valmistettaessa alumiinimatriisi-alumiinioksiditäytteisiä komposiitteja. Tässä patentissa kuvataan 75 - 375 kg/cm² paineen kohdistamista pakottamaan sula alumiini (tai sula alumiiniseos) alumiinioksidia olevaan kuitu- tai kuitukidemattoon, joka on esilämmitetty alueelle 700 - 1050°C. Alumiinioksidin suurin suhde

25 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.

35

EP-hakemuksessa 115,742 kuvataan alumiini-alumiinioksidikomposiittien valmistamista, jotka ovat erityisen käyttö-

kelpoisia elektrolyyttikennokomponentteina, ja joissa esimuotin alumiinioksidimatriisin ontelot täytetään alumiinilla, ja tätä varten käytetään erilaisia tekniikoita alumiinioksidin kostuttamiseksi koko esimuotissa. Alumiinioksidi kostutetaan esimerkiksi titaani-, zirkonium-, hafnium tai niobi-diboridia olevalla kostutusaineella 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 huokoset ensin tyhjään ja kohdistamalla sitten 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 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.

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 kun se on upotettuna elektrolyysiprosessin tuottamaan sulaan alumiiniin. Kuvattuja kostutusaineita ovat titaani, zirkonium, hafnium, pii, magnesium, vanadiini, kromi, niobi

5 tai kalsium, ja titaani esitetään edullisimmaksi aineeksi. Boorin, hiilen ja typen yhdisteiden selitetään olevan hyödyllisiä estettäessä kostutusaineiden liukenemista sulaan alumiiniin. Tässä julkaisussa ei kuitenkaan ehdoteta metallimatriisikomposiittien tuottamista, eikä siinä eh-

10 dotetaa sellaisten komposiittien muodostamista esimerkiksi typpi-atmosfäärissä.

Paineen ja kostutusaineiden käytön lisäksi on kuvattu

10 tyhjän kohdistamisen edistävän sulan alumiinin tunkeutumista huokoiseen keraamikappaleeseen. Esimerkiksi US-patentissa 3,718,441 raportoidaan keraamiseen kappaleeseen (esim. boorikarbidi, alumiinioksidi ja berylliumoksidi) tunkeutumista joko sulalla alumiinilla, berylliumilla,

15 magnesiumilla, titaanilla, vanadiinilla, nikkelillä 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

20 kuitenkin parantuneen, kun tyhjö pienennettiin alle 10^{-6} torr.

Myös US-patentissa 3,864,154 esitetään tyhjän käyttämistä tunkeutumisen aikaansaamiseksi. Tässä patentissa selite-

25 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-

30 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.

35 US-patentissa 3,364,976 selitetään suunnitelmaa itsestään kehittyvän tyhjän aikaansaamista kappaleeseen, sulan metallin tunkeutumisen lisäämiseksi kappaleeseen. Erityises-

ti selitetään, että kappale, esim. grafiittimuotti, teräs-
muotti tai huokoinen tulenkestävä aine, kokonaan upotetaan
sulaan metalliin. Muotin tapauksessa metallin kanssa
reagoivan kaasun kanssa täytetty muottiontelo on yhteydessä
5 ulkopuolella sijaitsevaan sulaan metalliin muotissa olevan
ainakin yhden aukon kautta. Kun muotti upotetaan sulaan,
tapahtuu ontelon täyttyminen itsestään kehittyvän tyhjän
syntyessä ontelossa olevan kaasun ja sulan metallin
reaktion johdosta. Tyhjä on erityisesti tulosta metallin
10 kiinteään 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
15 välittömistä rajoituksista. Muotit on ensin koneistettava
määrättyyn muotoon; sitten loppukäsiteltävä, koneistettava
hyväksyttävän valupinnan tuottamiseksi muottiin; sitten
koottava ennen niiden käyttämistä; sitten purettava niiden
käytön jälkeen valukappaleen poistamiseksi niistä; ja sen
20 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.
25 Lisäksi muodostuneen kappaleen poistaminen monimutkaisen
muotoisesta muotista saattaa olla vaikeata (ts. monimut-
kaisen muotoiset valukappaleet saattavat mennä rikki niitä
muotista poistettaessa). Lisäksi, vaikka julkaisussa eh-
dotetaan, että huokoinen tulenkestävä aine voitaisiin
30 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 ainee-
seen ilman säiliönä olevaa muottia (ts. uskotaan yleisesti,
35 että hiukkasmainen aine tyypillisesti dissosioituisi tai
valuisi hajalleen sitä sulaan metalliin sijoitettaessa).
Lisäksi, jos haluttaisiin aikaansaada tunkeutuminen hiuk-

kasmaiseen aineeseen tai löyhästi muodostettuun esimuottiin, olisi ryhdyttävä varotoimiin, niin ettei tunkeutuva metalli syrjäyttäisi osaa hiukkasaineesta tai esimuotista, mikä johtaisi epähomogeeniseen mikrostruktuuriin.

5

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 kustutusaineiden 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 tunkeutumismekanismin tunkeutumisen aikaansaamiseksi aineeseen (esim. keraaminen aine), joka voidaan muotoilla esimuotiksi, jossa on sulaa matriisimetallia (esim. alumiinia) tunkeutumisatmosfäärin (esim. typen) läsnäollessa normaalissa ilmanpaineessa, jolloin tunkeutumisen edistäjän edeltäjää ja/tai tunkeutumisen edistäjää on läsnä ainakin jossakin prosessin vaiheessa.

25 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").

30

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 läpäisevään täyteaineeseen (esim. keraamia tai keraamilla

35

- päällystettyä ainetta) sulaa alumiinia, joka sisältää ainakin 1 painoprosentin magnesiumia ja edullisesti ainakin 3 painoprosenttia magnesiumia. Tunkeutuminen tapahtuu spontaanisti käyttämättä ulkoista painetta tai tyhjiä.
- 5 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 tyyppiä, jolloin loput, mikäli sitä on, on ei-hapettavaa
- 10 kaasua, esim. argonia. Näissä oloissa sula alumiiniseos tunkeutuu keraamimassaan normaalissa ilmakehän paineessa muodostaen alumiini- (tai alumiiniseos-) matriisikomposiitin. Kun haluttu määrä täyteainetta on sulan alumiiniseoksen läpätunkemaa, lasketaan lämpötilaa seoksen kiinteyttämiseksi, jolloin muodostuu kiinteä
- 15 metallimatriisirakenne, joka sulkee sisäänsä lujittavan täyteaineen. Tavallisesti, ja edullisesti, syötetty sula seos riittää aikaansaamaan tunkeutumisen etenemisen oleellisesti täyteainemassan rajoille. US-patentin 4,828,008
- 20 mukaisesti tuotettujen alumiinimatriisikomposiittien täyteaineen määrä voi olla erittäin suuri. Tässä mielessä voidaan saavuttaa täyteaineen ja seoksen tilavuussuhteita jotka ovat suurempia kuin 1:1.
- 25 Edellä mainitun US-patentin 4,828,008 mukaisissa prosessioiloissa alumiininitridiä voi muodostua epäjatkuvana faasina, joka on jakautunut koko alumiinimatriisiin. Nitridin määrä alumiinimatriisissa voi vaihdella sellaisten tekijöiden, kuten lämpötilan, seoksen koostumuksen,
- 30 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
- 35 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.

Esimerkki sopivista estovälineistä käytettäväksi metallimatriisikomposiittien muodostamisen yhteydessä on selitetty US-patenttihakemuksessa 141,642, jonka nimityksenä on "Menetelmä metallimatriisikomposiittien valmistamiseksi estoainetta käyttäen". Tämän keksinnön menetelmän mukaisesti estovälinettä (esim. hiukkasmaista titaanidiboridia tai grafiittiaainetta, kuten joustavaa grafiittikalvo-tuotetta, jota Union Carbide myy tuotenimellä Grafoil (R)) sijoitetaan täyteaineen määrätyllä rajapinnalle ja matriisiseos tunkeutuu estovälineen määrittelemään rajapintaan saakka. Estovälinettä käytetään estämään, torjumaan tai lopettamaan sulan seoksen tunkeutuminen, jolloin aikaansaadaan verkon, tai lähes verkon muotoja tuloksena olevassa metallimatriisikomposiitissa. Vastaavasti muodostetuilla metallimatriisi-komposiittikappaleilla on ulkomuoto, joka oleellisesti vastaa estovälineen sisämuotoa.

US-patentin 4,828,008 mukaista menetelmää parannettiin rinnakkaisella US-patenttihakemuksella 168,284, jonka nimityksenä on "Metallimatriisikomposiitteja ja tekniikoita niiden valmistamiseksi". Mainituissa 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, mainituissa 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 jatkue-
sa. Kun toivottu määrä läpäisevää täyteainetta on sulan
matriisiseoksen läpätunkemaa, lasketaan lämpötilaa seoksen
5 kiinteyttämiseksi, jolloin muodostuu kiinteä metallimat-
riisistruktuuri, joka ympäröi lujittavaa täyteainetta. On
ymmärrettävä, että metallivarastolähteen käyttäminen on
ainoastaan mainitussa patenttihakemuksessa kuvatun keksin-
nön eräs suoritusmuoto, eikä varastolähteen suoritusmuodon
10 yhdistäminen jokaiseen siinä esitettyyn keksinnön vaih-
toehtoiseen suoritusmuotoon ole välttämätöntä, joista
eräät voisivat myös olla hyödyllisiä käytettynä esillä
olevan keksinnön yhteydessä.

15 Metallin varastolähdettä voi olla sellaisena määränä, että
se aikaansaa riittävän metallimäärän tunkeutumisen ennalta
määrätyssä määrin läpäisevään täyteaineeseen. Vaihtoehtoi-
sesti voi valinnainen estoväline olla kosketuksessa täy-
teaineen läpäisevään massaansa ainakin sen toisella puolella
20 rajapinnan määrittämiseksi.

Lisäksi, vaikka syötetyn sulan matriisiseoksen määrän
tulisi olla riittävä sallimaan spontaanin tunkeutumisen
eteneminen ainakin oleellisesti täyteaineen läpäisevän
25 massan rajapintoihin (ts. estopintoihin) saakka, varasto-
lähteessä 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
30 metallimatriisi-komposiittikappaleeseen. Kun siten läsnä
on ylimäärä sulaa seosta, tuloksena oleva kappale on
kompleksinen komposiittikappale (esim. makrokomposiitti),
jossa metallimatriisin läpätunkema keraamikappale suoraan
sitoutuu varastolähteeseen jäävään ylimääräiseen metal-
35 liin.

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

Esillä olevan keksinnön mukaiselle menetelmälle metallimatriisikomposiitin valmistamiseksi on tunnusomaista se, että matriisimetallin spontaani tunkeutuminen ainakin osaan täyteainetta aikaansaadaan tai sitä tehostetaan käyttämällä tunkeutumisatmosfääriä sekä lisäksi tunkeutumisen edistäjää ja/tai sellaisen edeltäjää.

Ensimmäisessä edullisessa suoritusmuodossa tunkeutumisen edistäjän edeltäjä voidaan syöttää ainakin yhteen, täyteaineeseen tai esimuottiin, ja/tai matriisimetalliin ja/tai tunkeutumisatmosfääriin. Syötetty tunkeutumisen edistäjän edeltäjä voi sen jälkeen reagoida ainakin jonkin näistä, täyteaineen tai esimuotin, ja/tai matriisimetallin ja/tai tunkeutumisatmosfääriin, kanssa, tuottaen tunkeutumisen edistäjän ainakin osassa täyteainetta tai esimuottia tai sen osan päällä. Lopuksi, ainakin spontaanin tunkeutumisen aikana, tunkeutumisen edistäjän tulisi olla kosketuksessa ainakin osaan täyteainetta tai esimuottia.

Keksinnön toisessa edullisessa suoritusmuodossa voidaan tunkeutumisen edistäjän edeltäjän syöttämisen sijasta syöttää tunkeutumisen edistäjää ainakin yhteen, täyteaineeseen tai esimuottiin, ja/tai matriisimetalliin ja/tai tunkeutumisatmosfääriin. Lopuksi, ainakin spontaanin tunkeutumisen aikana, tunkeutumisen edistäjän tulisi olla kosketuksessa ainakin osaan täyteainetta tai esimuottia.

Tässä hakemuksessa käsitellään erilaisia esimerkkejä matriisimetalleista, jotka metallimatriisikomposiitin muodostumisen jossakin vaiheessa ovat kosketuksessa tunkeutumisen edistäjän edeltäjään tunkeutumisatmosfääriin läsnäollessa. Siten viitataan määrättyihin matriisimetalli/tunkeutumisen edistäjän edeltäjä/tunkeutumisatmosfääri-järjestelmiin, joissa esiintyy spontaania tunkeutumista. On kuitenkin ajateltavissa, että monet muut matriisimetalli/tunkeutumisen edistäjän edeltäjä/tunkeutumisatmosfääri-järjestelmät kuin nämä tässä hakemuksessa käsiteltyt, voisivat käyttäytyä samantapaisesti kuin tässä käsiteltyt järjestelmät. Erityisesti on havaittu spontaania tunkeutumiskäyttäytymistä alumiini/magnesium/typpi-järjestelmässä; alumiini/strontium/typpi-järjestelmässä; alumiini/sinkki/happi-järjestelmässä; sekä alumiini/kalsium/typpi-järjestelmässä. Vastaavasti, vaikka tässä hakemuksessa käsitellään ainoastaan tässä viitattuja järjestelmiä, on ymmärrettävä, että muut matriisimetalli/tunkeutumisen edistäjän edeltäjä/tunkeutumisatmosfääri-järjestelmät voivat käyttäytyä samantapaisesti.

Edullisessa suoritusmuodossa spontaanin tunkeutumisen aikaansaamiseksi läpäisevään täyteainemassaan tai esimuottiin saatetaan esimuotti tai täyteaine koskettamaan sulaa matriisimetallia. Esimuotti tai täyteaine voidaan sekoittaa siihen ja/tai prosessin samassa vaiheessa se voidaan altistaa tunkeutumisen edistäjän edeltäjälle. Lisäksi, edullisessa suoritusmuodossa, sula matriisimetalli ja/tai esimuotti tai täyteaine ovat yhteydessä tunkeutumisatmosfääriin ainakin prosessin osan aikana. Toisessa edullisessa suoritusmuodossa matriisimetalli ja/tai esimuotti tai täyteaine ovat yhteydessä tunkeutumisatmosfääriin oleellisesti koko prosessin suorittamisen ajan. Esimuottiin tai täyteaineeseen tunkeutuu spontaanisti sulaa matriisimetallia ja spontaanin tunkeutumisen ja metallimatriisin muodostumisen määrä tai nopeus muuttuu annetun prosessiolojen järjestelyn mukaisesti, johon sisältyy esimerkiksi järjes-

telmään (esim. sulaan matriisiseokseen ja/tai täyteaineeseen tai esimuottiin ja/tai tunkeutumisatmosfääriin) tuotetun tunkeutumisen edistäjän edeltäjän pitoisuus, täyteaineen koko ja/tai koostumus, esimuotin hiukkasten koko ja/tai koostumus, käsillä oleva huokoisuus esimuottiin tai täyteaineeseen tunkeutumista varten, aika jona tunkeutumisen annetaan esiintyä, ja/tai lämpötila, jossa tunkeutuminen esiintyy. Spontaania tunkeutumista esiintyy tyypillisesti niin suuressa määrin, että se riittää oleellin täydellisesti ympäröimään esimuotin tai täyteaineen.

Lisäksi, muuttamalla matriisimetallin koostumusta ja/tai prosessiolosuhteita voidaan muodostettujen metallimatriisi-komposiittikappaleiden fyysisiä ja mekaanisia ominaisuuksia sovittaa määrättyyn sovellutukseen tai tarpeeseen. Lisäksi, johtamalla muodostettu metallimatriisi-komposiittikappale jälkikäsittelyprosessiin (esim. suuntautuneeseen kiinteytymiseen, lämpökäsittelyyn, jne), voidaan mekaanisia ja/tai fyysisiä ominaisuuksia edelleen sovittaa määrätyn sovellutuksen tai tarpeen vaatimukseen. Edelleen, säätämällä käsittelyolosuhteita metallimatriisikomposiitin muodostuessa, voidaan muodostuneen metallimatriisikomposiitin tyypipitoisuus sovittaa moniin teollisuussovellutuksiin.

Säätämällä täyteaineen tai esimuotin muodostavan aineen koostumusta ja/tai kokoa (esim. hiukkasten halkaisijaa) ja/tai geometriaa, voidaan lisäksi muodostuneen metallimatriisikomposiitin fyysisiä ja/tai mekaanisia ominaisuuksia säätää tai sovittaa täyttämään mitkä tahansa teollisuusvaatimukset. On esimerkiksi havaittu, että metallimatriisikomposiitin kulutuskestävyyttä voidaan nostaa kasvattamalla täyteaineen kokoa (esim. kasvattamalla täyteainehiukkasten keskimääräistä halkaisijaa), edellyttäen että täyteaineen kulutuskestävyys on suurempi kuin matriisimetallin. Lujuus ja/tai sitkeys voivat kuitenkin pyrkiä kasvamaan täyteaineen kokoa pienennettäessä. Lisäk-

si metallimatriisikomposiitin lämpölaajenemiskerroin pienenee täyteainemäärän kasvaessa, edellyttäen että täyteaineen lämpölaajenemiskerroin on pienempi kuin matriisimetallin lämpölaajenemiskerroin. Edelleen muodostetun metallimatriisi-komposiittikappaleen mekaanisia ja/tai fyysisiä ominaisuuksia (esim. tiheys, kimmo- ja/tai ominaismoduuli, lujuus ja/tai ominaislujuus, jne) voidaan sovittaa riippuen täyteaineen määrästä esimuotissa tai irtonaisessa massassa. Järjestämällä esimerkiksi sellainen irtonainen massa tai esimuotti, joka käsittää sekoituksen eri kokoisia ja/tai muotoisia täytehiukkasia, ja jossa täyteaineen tiheys on suurempi kuin matriisimetallin, voidaan saavuttaa suurempi täyteaineen määrä, joka sitten johtaa metallimatriisi-komposiittikappaleeseen, jolla on suurempi tiheys. Käyttäen hyväksi esillä olevan keksinnön oppia, voi sellaisen täyteaineen tai esimuotin tilavuusprosentti vaihdella laajalla alueella, johon tunkeutuminen tapahtuu. Täyteaineen määrän alaraja, johon tunkeutuminen tapahtuu, määräytyy ensi sijassa huokoisen täyteaineen tai esimuotin muodostamiskyvystä (esim. noin 10 tilavuusprosenttia); toisaalta täyteaineen määrän ylärajan, johon tunkeutuminen tapahtuu, määrää ensi sijassa sellaisen tiiviin täyteaineen tai esimuotin muodostamiskyky, jossa on ainakin jonkin verran yhteenliittyvää huokoisuutta (esim. noin 95 tilavuusprosenttia). Vastaavasti, soveltamalla jotain edellä esitetyistä opeista, erikseen tai yhdessä, voidaan järjestää niin, että metallimatriisikomposiitti sisältää halutun ominaisuuksien yhdistelmän.

30 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.

5

"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.

15

"Estoaaine" 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. estoaaine ei haihdu niin paljon, että siitä tulisi estoaaineena hyödytön).

25

Lisäksi sopivat "estovälineet" sisältävät aineita, joita kulkeutuva sula matriisimetalli käytetyn prosessin aikana ei oleellisesti pysty kustuttamaan. Tämän tyyppisellä estoaaineella näyttää olevan oleellisen vähän tai ei lainkaan yhtymispyrkimystä sulaan matriisimetalliin, ja estoväline estää tai torjuu siirtymisen täyteainemassan tai esimuotin määritellyn rajapinnan yli. Estoaaine vähentää mahdollista loppukoneistusta tai hiomista, jota voidaan tarvita, ja määrittelee ainakin osan tuloksena olevan metallimatriisi-komposiittituotteen pinnasta. Estoaaine

30

35

voi määrätyissä 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.

5

"Jäännökset" tai "matriisimetallin jäännökset" viittaa tässä käytettynä alkuperäisen matriisimetallirungon mahdolliseen osaan, joka jää jäljelle ja joka ei ole kulunut metallimatriisi-komposiittikappaleen muodostuksen aikana, ja tyypillisesti, jos sen annetaan jäähtyä, pysyy ainakin osittaisessa kosketuksessa muodostettuun metallimatriisi-komposiittikappaleeseen. Tulisi ymmärtää, että jäännökset voivat myös sisältää toista tai vierasta ainetta.

15 "Täyteaine" on tässä käytettynä tarkoitettu sisältämään 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
20 järjestää lukuisissa eri muodoissa, kuten jauheina, liuskoina, 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
25 kuituina, hiukkasina, kuitukiteinä, kuplina, kuulina, kuitumattoina, tai vastaavina, ja päällystettyjä täyteaineita, kuten hiilikuituja, jotka on päällystetty alumiinioksidilla tai piikarbidilla hiilen suojaamiseksi esim. sulan perusmetalli-alumiinin syövyttävältä vaikutuk-
30 selta. Täyteaineet voivat myös käsittää metalleja.

"Kuumapäälllystys" viittaa tässä käytettynä aineen asettamiseen ainakin osittain muodostuneen metallimatriisikomposiitin toiseen päähän ("päälllystys"-pää), jolloin metallimatriisikomposiitti lämpöä kehittäen reagoi ainakin matriisimetallin ja/tai täyteaineen ja/tai päälllystyspään syötetyn toisen aineen kanssa. Tämän eksotermisen

reaktion tulisi tuottaa niin paljon lämpöä, että se riittää pitämään päällystyspäässä olevan matriisimetallin sulana sinä aikana, kun komposiitin matriisimetallin loppuosa jäähtyy kiinteytymislämpötilaan.

5

"Tunkeutumisatmosfääri" tässä käytettynä tarkoittaa sitä atmosfääriä, joka on läsnä ja joka vuorovaikuttaa matriisimetallin ja/tai esimuotin (tai täyteaineen) ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjän ja/tai tunkeutumisen edistäjän kanssa ja sallii tai edistää matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen esiintymisen.

"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.

30

"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

35

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

5 vuorovaikutuksessa tunkeutumisatmosfäärin kanssa ja/tai esimuotin tai täyteaineen ja/tai matriisimetallin kanssa. Eräissä matriisimetalli/tunkeutumisen edistäjän edeltäjä/tunkeutumisatmosfääri-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

15 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

20 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

25 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

35 on epäpuhtauksia ja/tai seosaineita, metallien muodostaman

yhdisteenä tai seoksena, jossa tämä metalli on pääasiallisena osana.

5 "Matriisimetalli/tunkeutumisen edistäjän edeltäjä/tunkeutumisas-
tumisatmosfääri-järjestelmä" eli "spontaani järjestelmä" viittaa tässä käytettynä siihen aineiden yhdistelmään, jolla esiintyy spontaania tunkeutumista esimuottiin ja täyteaineeseen. On ymmärrettävä, että kun esimerkin matriisimetallin, tunkeutumisen edistäjän edeltäjän ja tun-
10 keutumisas-
tumisatmosfäärin välissä esiintyy merkki "/", sitä käytetään merkitsemään järjestelmää tai aineiden yhdistelmää, jolla määrätyllä tavalla yhdisteltynä esiintyy spontaania tunkeutumista esimuottiin tai täyteaineeseen.

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

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

"Ei-reaktiivinen astia matriisimetallia varten" merkitsee
30 mitä tahansa astiaa, joka voi sisältää täyteainetta (tai esimuotin) ja/tai sulaa matriisimetallia prosessin oloissa, ja joka ei reagoi matriisin ja/tai tunkeutumisas-
tumisatmosfäärin ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjän ja/tai täyteaineen tai esimuotin kanssa sellaisella tavalla, joka
35 oleellisesti huonontaisi spontaania tunkeutumismekanismeja. Ei-reaktiivinen astia voi olla kertakäyttöinen ja

poistettavissa, sen jälkeen kun sulan matriisimetallin tunkeutuminen on saatettu loppuun.

"Esimuotti" tai "läpäisevä esimuotti" merkitse tässä
5 käytettynä sellaista huokoista täytemassaa tai täyte-
ainemassaa, joka valmistetaan ainakin yhdellä rajapinnal-
la, joka oleellisesti määrittelee tunkeutuvalle mat-
riisimetallille rajapinnan, kuten massaa, joka riittävän
10 hyvin pitää ehjän muotonsa ja tuorelujuuden, niin että se
aikaansaa mittapysyvyyden ennen kuin matriisimetalli tun-
keutuu siihen. Massan tulisi olla riittävän huokoista, niin
että se sallii matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen
siihen. Tyypillisesti esimuotti käsittää sidotun ryhmän
tai täyteaineen järjestelyn, joko homogeenisen tai epäho-
15 mogeenisen, ja se voi käsittää mitä tahansa soveltuva
ainetta (esim. keraamisia ja/tai metallihiukkasia, jauhei-
ta, kuituja, kuitukiteitä, jne, sekä mitä tahansa näiden
yhdistelmää). Esimuotti voi olla joko erillisenä tai
kokoonpanona.

20 "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
25 tapauksissa alunperin aikaansaamaan ja sen jälkeen täyden-
tämään sitä matriisimetallin osaa, segmenttiä tai lähdettä,
joka koskettaa täyteainetta tai esimuottia.

"Spontaani tunkeutuminen" merkitsee tässä käytettynä mat-
30 riisimetallin tunkeutumista läpäisevään täyteainemassan
tai esimuottiin, joka tapahtuu vaatimatta paineen tai
tyhjän käyttämistä (ei ulkoisesti kohdistettua eikä sisäi-
sesti kehitettyä).

35 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 samanlaisia osia, jolloin:

5 Kuvio 1 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spontaanilla tunkeutumisella;

10 Kuvio 2 on mikrovalokuva esimerkin 1 mukaisesti tuotetusta metallimatriisikomposiitista;

Kuvio 3 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spontaanilla tunkeutumisella;

15 Kuvio 4 on mikrovalokuva esimerkin 2 mukaisesti tuotetusta metallimatriisikomposiitista;

20 Kuvio 5 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spontaanilla tunkeutumisella;

Kuvio 6 on mikrovalokuva esimerkin 3 mukaisesti tuotetusta metallimatriisikomposiitista;

25 Kuvio 7 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spontaanilla tunkeutumisella;

30 Kuvio 8 on mikrovalokuva esimerkin 4 mukaisesti tuotetusta metallimatriisikomposiitista.

35 Kuvio 9 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spontaanilla tunkeutumisella esimerkin 5 mukaisesti;

- Kuvio 10 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spontaanilla tunkeutumisella esimerkin 5 mukaisesti;
- 5 Kuvio 11 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spontaanilla tunkeutumisella esimerkin 5 mukaisesti;
- 10 Kuvio 12 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spontaanilla tunkeutumisella esimerkin 5 mukaisesti;
- 15 Kuvio 13 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spontaanilla tunkeutumisella esimerkin 5 mukaisesti;
- 20 Kuvio 14 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spontaanilla tunkeutumisella esimerkin 5 mukaisesti;
- 25 Kuvio 15 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spontaanilla tunkeutumisella esimerkin 5 mukaisesti;
- 30 Kuvio 16 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spontaanilla tunkeutumisella esimerkin 5 mukaisesti;
- Kuvio 17a on mikrovalokuva metallimatriisikomposiitista, joka vastaa näytettä A;
- Kuvio 17b on mikrovalokuva metallimatriisikomposiitista, joka vastaa näytettä B;
- 35 Kuvio 17c on mikrovalokuva metallimatriisikomposiitista, joka vastaa näytettä C;

- Kuvio 17d on mikrovalokuva metallimatriisikomposiitista,
joka vastaa näytettä D;
- 5 Kuvio 17e on mikrovalokuva metallimatriisikomposiitista,
joka vastaa näytettä E;
- Kuvio 17f on mikrovalokuva metallimatriisikomposiitista,
joka vastaa näytettä F;
- 10 Kuvio 17g on mikrovalokuva metallimatriisikomposiitista,
joka vastaa näytettä G;
- Kuvio 17h on mikrovalokuva metallimatriisikomposiitista,
joka vastaa näytettä H;
- 15 Kuvio 17i on mikrovalokuva metallimatriisikomposiitista,
joka vastaa näytettä I;
- Kuvio 18 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä
20 metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spon-
taanilla tunkeutumisella esimerkin 6 mukaisesti;
- Kuvio 19 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä
25 metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spon-
taanilla tunkeutumisella esimerkin 6 mukaisesti;
- Kuvio 20 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä
30 metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spon-
taanilla tunkeutumisella esimerkin 6 mukaisesti;
- Kuvio 21a on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä J;
- 35 Kuvio 21b on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä N;

- Kuvio 21c on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä O;
- 5 Kuvio 22a on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä Q;
- Kuvio 22b on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä R;
- 10 Kuvio 22c on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä S;
- Kuvio 22d on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä T;
- 15 Kuvio 22e on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä U;
- Kuvio 22f on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä V;
- 20 Kuvio 22g on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä W;
- 25 Kuvio 22h on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä X;
- Kuvio 22i on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä Y;
- 30 Kuvio 22j on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä AC;
- Kuvio 22k on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä AD;
- 35

- Kuvio 22l on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä AE;
- 5 Kuvio 22m on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä AF;
- Kuvio 22n on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä AG;
- 10 Kuvio 22o on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä AH;
- Kuvio 23a on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä AO;
- 15 Kuvio 23b on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä AP;
- Kuvio 23c on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä AQ;
- 20 Kuvio 23d on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä AR;
- 25 Kuvio 23e on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä AS;
- Kuvio 23f on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä AT;
- 30 Kuvio 23g on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä AU;
- Kuvio 23h on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikap-
paleesta, joka vastaa näytettä AV;
- 35

- Kuvio 24a on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikappaleesta, joka vastaa näytettä BT;
- 5 Kuvio 24b on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikappaleesta, joka vastaa näytettä BU;
- Kuvio 24c on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikappaleesta, joka vastaa näytettä BV;
- 10 Kuvio 25 on kaaviollinen poikkileikkaus järjestelystä metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spontaanilla tunkeutumisella esimerkin 16 mukaisesti;
- 15 Kuvio 26a on mikrovalokuva metallimatriisi-komposiittikappaleesta, joka vastaa esimerkkiä 16; ja
- Kuvio 26b on mikrovalokuva esimerkkiä 16 vastaavan metallimatriisi-komposiittikappaleen etsatusta metallista.
- 20
- Esillä oleva keksintö liittyy metallimatriisikomposiitin muodostamiseen antamalla sulan matriisimetallin spontaanisti tunkeutua täyteaineeseen tai esimuottiin. Erityisesti tunkeutumisen edistäjä ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjä ja/tai tunkeutuva atmosfääri ainakin prosessin jossakin vaiheessa on yhteydessä täyteaineeseen tai esimuottiin, mikä sallii sulan matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen täyteaineeseen tai esimuottiin.
- 25
- 30 Kuvioon 1 viitaten havainnollistetaan yksinkertaista järjestelyä 10 metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi spontaanilla tunkeutumisella. Tarkemmin ottaen sopivaa ainetta oleva, kuten alla selitetään, täyteaine tai esimuotti 1 sijoitetaan ei-reaktiiviseen astiaan 2 matriisimetallia
- 35 ja/tai täyteainetta varten. Matriisimetalli 3 sijoitetaan täyteaineen tai esimuotin 1 päälle tai sen lähelle.

Järjestely sijoitetaan sen jälkeen uuniin spontaanin tunkeutumisen aloittamiseksi.

Haluumatta sitoutua mihinkään määrättyyn teoriaan tai selitykseen, kun käytetään tunkeutumisen edistäjän edeltäjää yhdessä ainakin joko matriisimetallin ja/tai täyteaineen tai esimuotin ja/tai tunkeutumisatmosfäärin kanssa, niin tunkeutumisen edistäjän edeltäjä voi reagoida muodostaen tunkeutumisen edistäjän, joka edistää sulan matriisimetallin spontaania tunkeutumista täyteaineeseen tai esimuottiin. Lisäksi 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 joko tunkeutumisatmosfäärin kanssa ja/tai esimuotin tai täyteaineen ja/tai sulan matriisimetallin kanssa. Eräissä matriisimetalli/tunkeutumisen edistäjän edeltäjä/tunkeutumisatmosfääri-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.

Jos siten esimerkiksi tunkeutumisen edistäjän edeltäjää käytettäisiin tai yhdistettäisiin, ainakin prosessin jossain vaiheessa, sulan matriisimetallin kanssa, on mahdollista että tunkeutumisen edistäjä voisi höyrystyä sulasta matriisimetallista ja reagoida ainakin joko täyteaineen tai esimuotin ja/tai tunkeutumisatmosfäärin kanssa. Sellainen reaktio voisi johtaa kiinteän aineen muodostumiseen, mikäli sellainen kiinteä aine olisi pysyvää tunkeutumislämpötilassa, jolloin mainittu kiinteä aine voisi kerrostua ainakin osalle täyteainetta tai esimuottia esimerkiksi päällystykseksi.

Lisäksi on ajateltavissa että sellaisia kiinteitä aineita voisi olla läsnä havaittavissa olevana kiinteänä aineena ainakin osassa esimuottia tai täyteainetta. Mikäli sellaista kiinteätä ainetta muodostuisi, voisi sulalla matriisimetallilla olla taipumus reagoida (esim. sula matriisimetalli voi pelkistää muodostuvaa kiinteätä ainetta) niin, että tunkeutumisen edistäjän edeltäjä voi liittyä (esim. liueta tai seostua) sulaan matriisimetalliin. Vastaavasti tällöin voi lisää tunkeutumisen edistäjän edeltäjää höyrystyä ja reagoida toisen aineen kanssa (esim. täyteaineen tai esimuotin ja/tai tunkeutumisatmosfäärin) kanssa ja muodostaa jälleen samantapaisia kiinteitä aineita. On ajateltavissa, että tunkeutumisen edistäjän edeltäjän jatkuva muuttuminen tunkeutumisen edistäjäksi, jota seuraa tunkeutumisen edistäjän reaktio sulan matriisimetallin kanssa, josta edelleen muodostuu lisää tunkeutumisen edistäjää, ja niin edelleen, voisi esiintyä kunnes tuloksena on aikaansaatu metallimatriisikomposiitti spontaanilla tunkeutumisella.

Matriisimetallin spontaanin tunkeutumisen aikaansaamiseksi täyteaineeseen tai esimuottiin, tulisi spontaaniin järjestelmään järjestää tunkeutumisen edistäjä. Tunkeutumisen edistäjä voisi muodostua tunkeutumisen edistäjän edeltäjästä, joka voitaisiin järjestää 1) matriisimetal-

liin, 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
5 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.

10

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

Esimerkkinä matriisimetalli/tunkeutumisen edistäjän edeltäjä/tunkeutumisatmosfääri-järjestelmästä on alumiini/magnesium/typpi-järjestelmä. Erityisesti voidaan alumiinimatriisimetalli asettaa sopivassa tulenkestävässä
25 astiassa olevaan täyteaineeseen, joka astia prosessioloisissa ei haitallisesti reagoi alumiinimatriisimetallin ja/tai täyteaineen kanssa, kun alumiini sulatetaan. Täyteaine tai esimuotti voidaan sen jälkeen päästää kosketukseen sulan alumiinimatriisimetallin kanssa ja antaa spontaanin tunkeutumisen tapahtua.
30

Lisäksi tunkeutumisen edistäjän edeltäjän syöttämisen sijasta voidaan syöttää tunkeutumisen edistäjää suoraan
35 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.

- 5 Niissä oloissa, joita käytetään esillä olevan keksinnön mukaisessa menetelmässä, alumiini/magnesium/typpi-spontaanissa tunkeutumisjärjestelmän tapauksessa esimuotin tai täyteaineen tulisi olla riittävän läpäisevää, jotta tyypeä 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 esimuottiin, niin
- 10 että se muodostaa metallimatriisi-komposiittikappaleen ja/tai sattaa typen reagoimaan tunkeutumisen edistäjän edeltäjän kanssa tunkeutumisen edistäjän muodostamiseksi täyteaineeseen tai esimuottiin aiheuttaen näin spontaanin tunkeutumisen. Spontaanin tunkeutumisen määrä 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
- 15 (esim. pii, rauta, kupari, mangaani, kromi, sinkki, ja vastaavat) läsnäolo, esimuotin tai täyteaineen muodostavan täyteaineen keskimääräinen koko (esim. hiukkashalkaisija), täyteaineen tai esimuotin pintatila ja tyyppi, tunkeutumisatmosfäärin typpipitoisuus, tunkeutumiselle annettu
- 20 aika ja lämpötila, jossa tunkeutuminen tapahtuu. Annettaessa esimerkiksi sulan alumiinimatriisimetallin tunkeutuksen tapahtua spontaanisti, voidaan alumiini seostaa ainakin noin 1 painoprosentilla, ja edullisesti ainakin noin 3 painoprosentilla magnesiumia (joka toimii tunkeutumisen edistäjän edeltäjänä), seoksen painoon verrattuna.
- 25 Muita lisäseosalkuaineita, kuten edellä on selitetty, voidaan myös sisältää matriisimetalliin sen erityisten
- 30
- 35

ominaisuuksien räätälöimiseksi. Lisäksi lisäseosalkuai-
neet voivat vaikuttaa matriisin alumiinimetallissa tarvit-
tavan magnesiumin määrään, niin että se johtaa spontaaniin
tunkeutumiseen täyteaineeseen tai esimuottiin. Magnesiumin
5 häviämistä spontaanista järjestelmästä, esimerkiksi höy-
rystymisen vuoksi, ei saisi tapahtua niin suuressa määrin,
ettei magnesiumia ole läsnä muodostamaan tunkeutumisen
edistäjää. Siten on toivottavaa, että aluksi käytetään
riittävää seosalkuaineiden määrää jotta spontaani tunkeu-
10 tuminen voisi tapahtua höyrystymisen sitä haittaamatta.
Lisäksi magnesiumin läsnäolo sekä esimuotissa (tai täyte-
aineessa) että matriisimetallissa tai pelkästään esi-
muotissa (tai täyteaineessa) voi johtaa magnesiumin spon-
taania tunkeutumista varten vaadittavan määrän
15 pienenemiseen (jota selitetään yksityiskohtaisemmin alem-
pana).

Tunkeutumisatmosfäärissä olevan typen määrä vaikuttaa myös
metallimatriisi-komposiittikappaleen muodostumisno-
20 peuteen. Erityisesti jos atmosfäärissä on alle 10 tila-
vuusprosenttia typpeä, niin spontaania tunkeutumista
esiintyy hyvin hitaasti tai hyvin vähän. On havaittu, että
on edullista kun atmosfäärissä on ainakin 50 tilavuus-
prosenttia typpeä, jolloin aikaansaadaan lyhyempiä tunkeu-
25 tumisaikoja paljon suuremmasta tunkeutumismäärästä joh-
tuen. Tunkeutumisatmosfääri (esim. typpeä sisältävä kaasu)
voidaan syöttää suoraan täyteaineeseen tai esimuottiin
ja/tai matriisimetalliin, tai se voidaan tuottaa aineen
hajoamisen tuloksena.

30 Sulan matriisimetallin täyteaineeseen tai esimuottiin tun-
keutumisen aikaansaamiseksi vaadittavan magnesiumin vähim-
mäismäärä riippuu yhdestä tai useammasta tekijästä, kuten
prosessin lämpötilasta, ajasta, muiden lisäseosalkuainei-
35 den kuten piin tai sinkin läsnäolosta, täyteaineen luon-
teesta, magnesiumin sisältymisestä yhteen tai useampaan
spontaanin järjestelmän osaan, atmosfäärin typpisisällös-

tä, ja tyypiatmosfäärin virtausmäärästä. Voidaan käyttää alempia lämpötiloja tai lyhyempiä kuumennusaikoja täydellisen tunkeutumisen aikaansaamiseksi, kun seoksen ja/tai esimuotin magnesiumpitoisuutta nostetaan. Samaten annettula magnesiumpitoisuudella määrättyjen lisäseosalkuaineiden, kuten sinkin lisääminen mahdollistaa alempien lämpötilojen käyttämisen. Esimerkiksi matriisimetallin magnesiumpitoisuutta toimivan alueen alapäässä, esim välillä noin 1 - 3 painoprosenttia, voidaan käyttää yhdessä ainakin jonkin seuraavien kanssa: vähimmäisprosessilämpötilan ylittävä lämpötila, suuri tyypipitoisuus, yksi tai useampia lisäseosalkuaineita. Ellei esimuottiin lisätä lainkaan magnesiumia, pidetään välillä noin 3 - 5 painoprosenttia magnesiumia sisältäviä seoksia edullisina, johtuen niiden yleisestä käytettävyydestä laajoilla prosessiolojen alueilla, jolloin ainakin 5 painoprosenttia pidetään edullisena käytettäessä alempia lämpötiloja ja lyhyempiä aikoja. Alumiiniseoksessa voidaan käyttää 10 painoprosentin ylittäviä magnesiumpitoisuuksia tunkeutumiseen vaadittavien lämpötilaolojen muuntelemiseksi. Magnesiumpitoisuutta 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 toi-

vottavaa, että magnesiumia järjestetään pienempi määrä, jotta vältettäisiin ei-toivottujen metalliyhdisteiden syntyminen metallimatriisi-komposiittikappaleeseen. Esi-
muotin ollessa piikarbidia on havaittu, että matriisime-
5 talli tunkeutuu spontaanisti esimuottiin, kun esimuotti
saatetaan kosketukseen alumiinimatriisimetallin kanssa,
esimuotin sisältäessä ainakin 1 painoprosenttia mag-
nesiumia ja oleellisesti puhtaan typpi-atmosfäärin läsnä-
ollessa. Alumiinioksidi-esimuotin tapauksessa hyväksyttä-
10 vän spontaanin tunkeutumisen saavuttamiseksi vaadittu
magnesiumin määrä on hieman suurempi. Erityisesti on
havaittu, että kun samantapainen alumiinimatriisimetalli
saatetaan koskettamaan alumiinioksidi-esimuottia, liki-
main samassa lämpötilassa kuin alumiini joka tunkeutui
15 piikarbidi-esimuottiin, ja saman typpi-atmosfäärin läsnä-
ollessa, niin saatetaan tarvita ainakin noin 3 paino-
prosenttia magnesiumia samanlaisen spontaanin tunkeutumi-
sen aikaansaamiseksi, kuin se joka saavutettiin juuri
edellä kuvatun piikarbidi-esimuotin yhteydessä.

20 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 täyteai-
25 neeseen ennen kuin matriisimetallin annetaan tunkeutua
täyteaineeseen tai esimuottiin (ts. saattaa olla, ettei
syötettyä tunkeutumisen edistäjän edeltäjää tai tunkeutu-
misen edistäjää tarvitse seostaa matriisimetalliin, vaan
että sitä yksinkertaisesti syötetään spontaaniin järjes-
30 telmään). Jos esimerkiksi alumiini/magnesium/typpi-jär-
jestelmässä 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
35 sellaista magnesiumia voitaisiin sekoittaa ainakin esi-
muotin tai täyteaineen osaan. Lisäksi on mahdollista, että
pinnalle levittämisen, seostamisen ja magnesiumin sijoit-

tamisen ainakin esimuotin osaan, joitakin yhdistelmiä voitaisiin käyttää. Sellaiset yhdistelmät tunkeutumisen edistäjän (edistäjien) ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjän (edeltäjien) levittämisessä saattaisivat johtaa
5 alumiinimatriisimetallin esimuottiin tunkeutumisen edistämiseen vaadittavan magnesiumin kokonaispainoprosenttimäärän pienenemiseen, samoinkuin alempien lämpötilojen saavuttamiseen, joissa tunkeutumisesta voi esiintyä. Lisäksi magnesiumin läsnäolosta johtuva metallien epätoivottujen
10 keskinäisten yhdisteiden muodostuminen voitaisiin myös minimoida.

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

Seoksessa olevan ja/tai seoksen pinnalle levitetyn ja/tai täyteaineeseen tai esimuottiin yhdistetyn magnesiumin
25 pitoisuus pyrkii myös vaikuttamaan tunkeutumisen määrään annetussa lämpötilassa. Vastaavasti eräissä tapauksissa, joissa pieni määrä tai ei lainkaan magnesiumia saa olla kosketuksessa suoraan esimuottiin tai täyteaineeseen, saattaa olla edullista, että ainakin 3 painoprosenttia
30 magnesiumia sisällytetään seokseen. Tätä arvoa pienemmät seosmäärät, kuten 1 painoprosentti magnesiumia, saattaa vaatia korkeammat prosessilämpötilat tai lisäseosalkuaineita tunkeutumisesta varten. Tämän keksinnön spontaanin tunkeutumisprosessin toteuttamiseksi vaadittu lämpötila
35 voi olla alempi: 1) kun yksinomaan seoksen magnesiumipitoisuutta nostetaan, esim. ainakin noin 5 painoprosenttiin; 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 alumiini/magnesium/typpi-järjestelmässä esiintyy spontaania ja etenevää tunkeutumista prosessilämpötilassa, joka on ainakin noin 675°C , edullisesti prosessilämpötilassa, joka on ainakin noin $750 - 800^{\circ}\text{C}$. Yleensä yli 1200°C olevat lämpötilat eivät näytä edistävän prosessia, ja erityisen käyttökepoiseksi lämpötilaksi on havaittu alue noin $675^{\circ}\text{C} - \text{noin } 1000^{\circ}\text{C}$. Kuitenkin yleisenä sääntönä spontaanin tunkeutumisen lämpötila on sellainen lämpötila, joka on matriisimetallin sulamispisteen yläpuolella mutta matriisimetallin höyrystymislämpötilan 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 metallimatriisikomposiittikappaleen aiotusta käytöstä. Lisäksi tyypillisesti käytetään sähkövastuskuumennusta tunkeutumislämpötilojen saavuttamiseksi. Keksinnön yhteydessä käytettäväksi hyväksytään kuitenkin mikä tahansa kuumenusväline, 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 ja/tai sulaan alumiinimatriisimetalliin. Vaikkei typpeä sisältävän kaasun virtausmäärä ole kriittinen, pidetään edullisena että virtausmäärä on riittävä kompensoimaan

minkä tahansa nitridin muodostumisesta johtuva mahdollinen typen häviäminen atmosfääristä, sekä estämään tai torjumaan ilman sisään pääseminen, jolla voi olla hapettava vaikutus sulaan metalliin.

5

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, magnesiumoksidi, zirkoniumoksidi, b) karbidit, esim. piikarbidi, c) boridit, esim. alumiinidodekaboridi, titaniumdiboridi, ja d) nitridit, esim. alumiininitridi, ja e) näiden seokset. Mikäli täyteaine pyrkii reagoimaan 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 keraaminen päällystys alustan suojaamiseksi syöpymiseltä tai heikkenemiseltä. Sopivia keraamipäällysteitä ovat mm. oksidit, karbidit, boridit ja nitridit. Esillä olevassa menetelmässä käytettäviksi edullisina pidettyjä keraameja ovat mm. alumiinioksidi ja piikarbidi 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 määrätyillä täyteaineilla esiintyy suurempaa tunkeutumista suhteessa täyteaineisiin, joilla on samantapainen kemiallinen koostumus. Esimerkiksi US-patentissa 4,713,360 (nimitys "Uusia keraamisia 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: 5 "Komposiittikeraamisia 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 10 ollen on havaittu, että täydellinen tunkeutuminen keraamista ainetta olevaan läpäisevään massaan voi tapahtua alemmissa tunkeutumislämpötiloissa ja/tai lyhyemmillä tunkeutumisajoilla käyttäen puristettuja tai murskattuja 15 kappaleita, jotka on valmistettu edellä mainittujen patenttijulkaisujen mukaisella menetelmällä.

Täyteaineen koko, muoto, kemiallinen koostumus ja tilavuusprosentti voi olla mikä tahansa sellainen, joka 20 vaaditaan komposiitin toivottujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. Siten täyteaine voi olla hiukkasten, kuitukiteiden, hiutaleiden tai kuitujen muodossa, koska täyteaineen muoto ei rajoita tunkeutumista. Voidaan käyttää muitakin muotoja, kuten kuulia, pieniä putkia, pellettejä, 25 tulenkestävää kuitukangasta, ja vastaavia. Lisäksi täyteaineen koko ei rajoita tunkeutumista, vaikka pienten hiukkasten massalla saatetaan tunkeutumisen loppuunviemiseksi tarvita korkeampi lämpötila tai pidempi aika kuin suuremmilla hiukkasilla tai päinvastoin, riippuen kulloisistakin reaktio-olosuhteista. Keskimääräisiä hiukkashal- 30 kaisijoita alueella yksi mikrometri ja alle 1100 mikrometriä voidaan menestyksellä käyttää esillä olevassa keksinnössä, jolloin aluetta noin 2 mikrometriä - noin 1000 mikrometriä pidetään edullisena kaupallisten sovellutusten 35 pääosalle. Lisäksi täyteainemassan (tai esimuotin), johon tunkeutuminen suoritetaan, tulisi olla läpäisevää (ts. sen tulisi sisältää ainakin jonkin verran yhteen liitynyttä

huokoisuutta, niin että se olisi sulaa matriisimetallia ja tunkeutumisasfääriä läpäisevää). Säättämällä täyteaineen tai esimuotin muodostavan aineen koostumusta ja/tai kokoa (esim. hiukkasten halkaisijaa) ja/tai geometriaa, voidaan lisäksi muodostuneen metallimatriisikomposiitin fyysisiä ja/tai mekaanisia ominaisuuksia säätää tai sovittaa täyttämään mitkä tahansa teollisuusvaatimukset. Esimerkiksi metallimatriisikomposiitin kulutuskestävyyttä voidaan nostaa kasvattamalla täyteaineen kokoa (esim. kasvattamalla täyteainehiukkasten keskimääräistä halkaisijaa), edellyttäen että täyteaineen kulutuskestävyys on suurempi kuin matriisimetallin. Lujuus ja/tai sitkeys voivat kuitenkin pyrkiä kasvamaan täyteaineen kokoa pienennettäessä. Lisäksi metallimatriisikomposiitin lämpölaajenemiskerroin pienenee täyteainemäärän kasvaessa, edellyttäen että täyteaineen lämpölaajenemiskerroin on pienempi kuin matriisimetallin lämpölaajenemiskerroin. (Vastaavasti esillä oleva keksintö sallii metallimatriisikomposiitin sovittamisen niin, että aikaansaadaan toivottu sovitettujen ominaisuuksien yhdistelmä). Edelleen muodostetun metallimatriisi-komposiittikappaleen mekaanisia ja/tai fyysisiä ominaisuuksia (esim. tiheys, kimmoja/tai ominaismoduuli, lujuus ja/tai ominaislujuus, jne) voidaan sovittaa riippuen täyteaineen määrästä esimuotissa tai irtonaisessa massassa. Järjestämällä esimerkiksi sellainen irtonainen massa tai esimuotti, joka käsittää sekoituksen eri kokoisia ja/tai muotoisia täytehiukkasia, ja jossa täyteaineen tiheys on suurempi kuin matriisimetallin, voidaan saavuttaa suurempi täyteaineen määrä, joka sitten johtaa metallimatriisi-komposiittikappaleeseen, jolla on suurempi tiheys. Käyttäen hyväksi esillä olevan keksinnön oppia, voi tilavuusprosentti vaihdella laajalla alueella sellaisella täyteaineella tai esimuotilla, johon tunkeutuminen tapahtuu. Täyteaineen määrän, johon tunkeutuminen tapahtuu, alaraja määräytyy ensi sijassa huokoisen täyteaineen tai esimuotin muodostamiskyvystä (esim. noin 10 tilavuusprosenttia); toisaalta täyteaineen määrän,

- johon tunkeutuminen tapahtuu, ylärajan määrää ensi sijassa sellaisen tiiviin täyteaineen tai esimuotin muodostamiskyky, jossa on ainakin jonkin verran yhteenliittyvää huokoisuutta (esim. noin 95 tilavuusprosenttia). Vastaa-
- 5 vasti, soveltamalla jotain edellä esitetyistä opeista, erikseen tai yhdessä, voidaan järjestää niin, että metallimatriisikomposiitti sisältää halutun ominaisuuksien yhdistelmän.
- 10 Esillä olevan keksinnön mukainen menetelmä metallimatriisi-komposiittikappaleiden muodostamiseksi sallii oleellisesti yhtenäisten metallimatriisikomposiittien valmistamisen, joilla on suuri tilavuusosa täyteainetta ja pieni huokoisuus, koska ne eivät ole riippuvaisia paineen
- 15 käyttämisestä sulan matriisimetallin puristamiseksi esimuottiin tai täyteainemassaan. Suurempia täyteaineen tilavuusosuuksia voidaan aikaansaada käyttämällä alussa täyteainemassaa, jolla on pienempi huokoisuus. Suurempia tilavuusosuuksia voidaan myös aikaansaada silloin, jos
- 20 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. Erityisesti voidaan saavuttaa tilavuusosuuksia, jotka ovat
- 25 suuruusluokkaa 60 - 80 tilavuusprosenttia, menetelmillä kuten tärytiivistys, hiukkaskoon jakautumisen säätäminen, jne. Vaihteohtoisia menetelmiä voidaan kuitenkin käyttää vielä suurempien täyteaineosuuksien saavuttamiseksi. Suuruusluokkaa 40 - 50 % olevia täyteainemassan tilavuusosuuksia pidetään esillä olevan keksinnön mukaisesti lämpömuok-
- 30 kausta ajatellen edullisina. Sellaisilla tilavuusosuuksilla tunkeutumisella aikaansaatu komposiitti säilyttää tai oleellisesti säilyttää muotonsa, jolloin edistetään sekundääristä käsittelyä. Voitaisiin kuitenkin käyttää
- 35 suurempia tai pienempiä hiukkasten määriä tai tilavuusosuuksia, riippuen lopullisen komposiitin toivotusta painosisällöstä lämpömuovauksen jälkeen. Lisäksi voidaan

käyttää menetelmiä hiukkasten määrän vähentämiseksi esillä olevan keksinnön mukaisten lämpömuovausprosessien yhteydessä pienempien hiukkasmäärien aikaansaamiseksi.

5 On havaittu, että alumiinin tunkeutumista ja matriisin muodostumista varten keraamisen täyteaineen ympärille voi keraamisen täyteaineen kostutus alumiinimatriisimetallilla olla tärkeä osa tunkeutumismekanismista. Täyteaineen
10 kostuttaminen sulalla matriisimetallilla voi lisäksi sallia täyteaineen tasaisen dispergoitumisen muodostuneeseen metallimatriisikomposiittiin ja parantaa täyteaineen situoutumista matriisimetalliin. Lisäksi alhaisissa prosessilämpötiloissa esiintyy erittäin vähän tai häviävän vähän metallin nitridiksi muuttumista, jonka takia saadaan
15 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
20 tunkeutuminen tapahtuu. Ne määrätyt lämpötilat, joissa nitridin muodostuminen tulee merkittävämmäksi, muuttuvat myös sellaisista tekijöistä riippuen, kuten käytetty matriisin alumiiniseos ja sen määrä suhteessa täyteaineen tai esimuotin määrään, täyteaineen määrä johon tunkeutumisen on tapahduttava, sekä tunkeutumisatmosfäärin typpipitoisuus. Esimerkiksi alumiininitridin muodostumisen määrän
25 uskotaan määrätyssä prosessilämpötilassa kasvavan, kun seoksen kyky täyteaineen kostuttamiseen pienenee ja kun atmosfäärin typpipitoisuus kasvaa.

30

Sen vuoksi on mahdollista räätälöidä metallimatriisin rakennetta komposiitin muodostuksen aikana, niin että voidaan antaa tuloksena olevalle tuotteelle määrätyt ominaisuudet. Annetulla järjestelmällä voidaan prosessin
35 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 piikarbidia täyteaineena käytettäessä alumiiniseoksesta syntyy vähemmän nitridejä, kuin alumiinioksidgeja täyteaineena käytettäessä.

Lisäksi voidaan muuntaa metallimatriisikomposiitissa olevan matriisimetallin koostumusta ja virheitä, esimerkiksi huokoisuutta, säätämällä metallimatriisikomposiitin jäähtymisnopeutta. Esimerkiksi voidaan metallimatriisikomposiitin antaa suuntautuneesti kiinteytyä eri menetelmillä, mukaanlukien seuraavat: asetetaan metallimatriisikomposiittia sisältävä säiliö jäähdytyslevylle; ja/tai asetetaan selektiivisesti eristäviä aineita säiliön ympärille. Lisäksi metallimatriisin koostumusta voidaan muunnella metallimatriisikomposiitin muodostumisen jälkeen. Muodostuneen metallimatriisikomposiitin alistaminen lämpökäsittelyyn voi esimerkiksi parantaa metallimatriisikomposiitin vetolujuutta. (Vetomurtolujuuden vakiotesti on ASTM-D3552-77 (hyväksytty 1982)).

Matriisimetallina 520.0 alumiiniseosta sisältävän metallimatriisikomposiitin toivottava lämpökäsittely voi esimerkiksi sisältää metallimatriisikomposiitin kuumentamisen korkeaan lämpötilaan, esimerkiksi noin 430°C lämpötilaan, joka ylläpidetään pidemmän aikaa (esim. 18 - 20 tuntia). Metallimatriisi voidaan sitten äkkiä jäähdyttää noin 100°C kiehuvaan veteen noin 20 s ajan (ts. T-4

lämpökäsittely), joka voi päästää metallin eli parantaa komposiitin kykyä kestää vetorasituksia.

- Lisäksi on mahdollista käyttää matriisimetallin varastolähdettä täyteaineen täydellisen tunkeutumisen varmistamiseksi ja/tai syöttää toista metallia, jolla on erilainen koostumus kuin matriisimetallin ensimmäisellä lähteellä. 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 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 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.
- Estovälinettä voidaan myös käyttää esillä olevan keksinnön yhteydessä. Tämän keksinnön yhteydessä käytettävä estoväline voi erityisesti olla mikä tahansa soveltuva väline, 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 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

muun liikkeen keraamisen täyteaineen määritellyn rajapinnan ohi. Estovälineitä voidaan käyttää spontaanin tunkeutumisen aikana tai muoteissa tai muissa laitteissa, joita käytetään spontaanin tunkeutumisen metallimatriisikomposiitin lämpömuovauksen yhteydessä, kuten alla yksityiskohtaisemmin selitetään.

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.

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 grafiittikalvotuote, jota myydään tavaramerkillä Grafoil (R), jonka haltija on Union Carbide. Tällä grafiittikalvolla on tiivistäviä ominaisuuksia, jotka estävät sulaa alumiiniseosta kulkeutumasta täyteaineen määritellyn rajapinnan ohi. Tämä grafiittikalvo on myös kuumuutta kestävä ja kemiallisesti inertti. Grafoil (R) -grafiittikalvo 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
5 tapainen grafiitti yksinkertaisesti muovailleen täyteai-
neen tai esimuotin ympärille.

Muita edullisia estoaineita alumiinimetallimatriisiseok-
sille tyypissä ovat siirtymämetalliboridit (esim. ti-
10 taanidiboridi (TiB_2)), joita sulat alumiinimetalliseokset
eivät tätä ainetta määrätyissä prosessioloissa käytettä-
essä pysty kostuttamaan. Tämän tyyppisellä estoaineella
prosessilämpötilan ei tulisi ylittää noin $875^{\circ}C$, koska
muutoin estoaineen vaikutus vähenee, ja itse asiassa
15 korkeammassa lämpötilassa esiintyy tunkeutumista estoai-
neeseen. Estoaineen hiukkaskoko voi lisäksi vaikuttaa
aineen kykyyn estää spontaania tunkeutumista. Siirtymäme-
talliboridit ovat tyyppillisesti hiukkasmuodossa (1 - 30
mikrometriä). Estoaineet voidaan levittää lietteenä tai
20 tahnana edullisesti esimuotiksi muotoillun läpäisevän
keraamisen täyteaineen massan rajapinnoille.

Alumiinimetallimatriisiseoksia varten tyypissä muut käyt-
tökelpoiset estoaineet sisältävät vaikeasti haihtuvia
25 orgaanisia yhdisteitä, jotka levitetään kalvona tai ker-
roksena täyteaineen tai esimuotin ulkopinnalle. Poltetta-
essa tyypissä, erityisesti tämän keksinnön mukaisissa
prosessioloissa, orgaaninen yhdiste hajoaa, jättäen jäl-
keensä hiilinokikalvon. Orgaaninen yhdiste voidaan levit-
30 tää tavanomaisin keinoin, kuten maalaamalla, suihkuttamal-
la, upottamalla, jne.

Lisäksi voivat hienoksi jauhetut hiukkasmaiset aineet
toimia estoaineena, jos hiukkasmaiseen aineeseen tunkeu-
35 tuminen esiintyy nopeudella, joka on hitaampi kuin tunkeu-
tumisnopeus täyteaineeseen.

Siten voidaan estoainetta levittää millä tahansa sopivalla tavalla, kuten peittämällä määriteltä rajapinta estovälineen kerroksella. Sellainen estovälineen kerros voidaan muodostaa maalaamalla, upottamalla, silkkipainatuksella, 5 höyrystämällä, tai levittämällä estovälinettä muilla tavoin neste-, liete- tai tahnamuodossa, tai sputteroimalla höyrystyvää estovälinettä, tai yksinkertaisesti kerrostamalla kiinteän hiukkasmaisen estovälineen kerros, tai levittämällä estovälineen kiinteä ohut arkki tai kalvo 10 määritellylle rajapinnalle. Kun estoväline on paikallaan, spontaani tunkeutuminen päättyy oleellisesti silloin, kun tunkeutuva matriisimetalli saavuttaa määritellyn rajapinnan ja koskettaa estovälinettä.

15 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.

20

Esimerkki 1

Kuvio 1 esittää poikkileikkauksena järjestelyn, jota käytettiin metallimatriisi-komposiittikappaleen muodostamiseksi spontaanilla tunkeutumisella esillä olevan keksinnön mukaisesti. Tarkemmin ottaen styreenivaahdomalja, 25 jonka likimääräiset mitat olivat: korkeus 83 mm, sisähalkaisija laajassa päässä noin 70 mm ja sisähalkaisija kapeassa päässä noin 40 mm; upotettiin suspensioon tai lietteeseen, joka käsitti oleellisesti yhtä suuret painomäärät kolloidista 20 prosenttista alumiinioksidia, jota toimittaa Remet Co., sekä 1000 grit (seulamitta, grit = noin 75 mikrometriä) piikarbidijauhetta, jota toimittaa Norton Co. ja jota myydään tuotenimellä 37 Crystolon. 35 Lietteellä päällystetty irrotettava valusydän pölytettiin sen jälkeen kuivalla 90 grit piikarbidijauheella (37 Crystolon), joka kiinnittyi lietepäällystykseen. Peräkkäi-

set upotus-pölytysvaiheet toistettiin kolme kertaa, jonka jälkeen pölytysjauhe vaihdettiin 24 grit piikarbidiksi (37 Crystolon). Peräkkäiset upotus-pölytysvaiheet toistettiin sitten toiset kolme kertaa. Kehittyvää mallikuorta kuivat-
5 tiin noin 65°C:ssa noin puolen tunnin ajan jokaisen upotus-pölytysvaiheen jälkeen.

Viimeisen upotus-pölytysvaiheen jälkeen mallikuori poltettiin ilmauunissa noin 850°C lämpötilassa noin 1 tunnin ajan
10 styreenimaljan poistamiseksi höyrystämällä. Tuloksena oleva mallikuori 4, jonka paksuus oli noin 4,8 mm, täytettiin sen jälkeen likimain puoleenväliin saakka täyteaineen petillä 2, joka käsitti 1000 grit tuoreen piikarbidin sekoitusta, jota myydään tuotenimellä 39 Crystolon, ja jota
15 tuottaa Norton Co., sekä noin 2 painoprosenttia -350 mesh magnesiumjauheen sekoitusta, jota viimeksimainittua toimittaa Aesar, Johnson Mathey Co.:n divisioona. Tämä sekoitus oli edeltä käsin huolellisesti sekoitettu kuulamyllyssä noin 24 tuntia. Täyteaineen 2 peti tiivistettiin
20 sen jälkeen kevyesti (käsin painamalla) tiiviimmän kappaleen muodostamiseksi täyteaineesta mallikuoreen 4. Tämän puristusvaiheen jälkeen täyteaineen 2 pedille asetettiin valanne 3, joka käsitti paino-osuuksien mukaan noin 15 % piitä, 5 % magnesiumia, lopun ollessa alumiinia, ja jonka
25 mitat olivat likimain 38 mm x 38 mm x 25 mm. Ennen matriisiseosvalanteen 3 asettamista täyteaineen pedille valanne ensin hiekkapuhallettiin kevyesti ja pestiin etanolilla mahdollisten läsnäolevien pinnan epäpuhtauksien, kuten leikkausöljyjen poistamiseksi.

30

Matriisiseosvalanteen 3 ja täyteainetta 2 sisältävä mallikuori 4 asetettiin tulenkestävien hiukkasten pedille 5, niin että tulenkestävien hiukkasten peti ulottui likimain mallikuoren 2 kyljen puoleenväliin saakka. Tulenkestävät
35 hiukkaset, jotka olivat grafiittia olevassa veneen muotoisessa astiassa 1, koostui 24 grit alumiinioksidimateriaa-

lista, joka tunnetaan tuotenimellä 38 Alundum, ja jota tuottaa Norton Co.

5 Grafiittia olevasta tulenkestävästä astiasta ja sen sisäl-
löstä koostuva järjestely asetettiin sitten säädetyssä
atmosfäärissä huoneenlämpötilassa olevaan sähkövastuksil-
la kuumennettuun tyhjöuuniin, johon muodostettiin suuri
tyhjö (likimain 1×10^{-4} torr). Uuniin palautettiin typpeä
noin 1 ilmakehän paineeseen, ja uuniin muodostettiin
10 jatkuva n. 1,5 l/minuutti typpikaasun virtaus. Uunin
lämpötila nostettiin sitten noin 750°C lämpötilaan noin 3
tunnin kuluessa ja pidettiin noin 750°C :ssa noin 20 tunnin
ajan. Tämän 20 tunnin kuumennusajan jälkeen virta kytket-
tiin päältä ja järjestelyn annettiin uunissa ollen jäähtyä
15 luonnonmukaisesti noin 40°C lämpötilaan noin 12 tunnin
kuluessa. Kun järjestelyn lämpötila oli 40°C , se poistet-
tiin uunista ja purettiin. Järjestelystä otettiin talteen
metallimatriisi-komposiittikappale, joka käsitti täyteai-
neen sekoitusta ympäröivän matriisimetallin.

20

Kuvio 2 on mikrovalokuva esimerkin 1 mukaisesti tuotetusta metallimatriisikomposiitista.

25 Siten tämä esimerkki osoittaa, että on mahdollista aikaan-
saada spontaani tunkeutuminen täyteaineeseen alu-
miiniseos/magnesium/typpi-järjestelmässä metallimatriisi-
komposiitin muodostamiseksi.

Esimerkki 2

30

Kuvio 3 esittää poikkileikkauksena järjestelyn, jota
käytettiin metallimatriisi-komposiittikappaleen muodosta-
miseksi spontaanilla tunkeutumisella esillä olevan keksin-
nön mukaisesti. Tarkemmin ottaen 0,38 mm paksusta laatua
35 GTB olevasta grafiittikalvotuotteesta, jota tuottaa Union
Carbide ja jota myydään tavaramerkillä Grafoil (R),
muodostettiin laatikko 2, jonka likimääräiset mitat olivat

51 mm x 25 mm x 51 mm. Laatikko tehtiin järjestämällä sopivan kokoisa Grafoil (R)-kappaleita yhteen ja sulkemalla Grafoil (R)-laatikon saumat lietteellä, joka tehtiin sekoittamalla grafiittijauhetta (Grade KS-44, Lonza Inc.) ja kolloidista piidioksidia (Ludox HS, DuPont). Grafiitin painosuhte kolloidiseen piidioksidiin oli noin 1:3. Grafoil (R)-laatikko asetettiin n. 13 mm paksun hiukkasmaista boorikarbidia (Atlantic Equipment Engineers) olevan kerroksen 3 päälle, joka oli alumiinioksidia olevassa tulenkestävässä veneen muotoisessa astiassa 1. Grafoil (R)-laatikon pohjalle asetettiin matriisimetallivalanne 4, jonka mitat olivat likimääräisesti 51 mm x 25 mm x 13 mm, ja joka käsitti noin 3 painoprosenttia kalsiumia, lopun ollessa alumiinia. Norton Co.:n tuottamaa tuotenimellä 38 Alundum tunnettua 220 grit alumiinioksidimateriaalia 5 kaadettiin Grafoil (R)-laatikkoon 2 matriisimetallivalanteen 4 päälle, kunnes valanne peittyi likimain 25 mm paksulla 38 Alundum-täyteaineen kerroksella 5. Sen jälkeen lisättiin boorikarbidia 3 tulenkestävään alumiinioksidi-astiaan, Grafoil (R)-laatikon 2 ulkopuolelle, kunnes boorikarbidipedin pinta oli hieman Grafoil (R)-laatikon 2 yläreunan alapuolella.

Alumiinioksidia olevasta tulenkestävästä astiasta ja sen sisällöstä koostuva järjestely asetettiin sähkövastuksin kuumennettavaan putkiuuniin huoneenlämpötilassa. Uuniin muodostettiin noin 1×10^{-1} torr tyhjö, jonka jälkeen siihen huoneenlämpötilassa palautettiin typpeä noin 1 ilmakehän paineeseen. Kun uuniin oli palautettu typpeä, siihen muodostettiin jatkuva n. 0,8 l/minuutti typpikaasun virtaus. Uunin lämpötila nostettiin sitten noin 900°C lämpötilaan noin 250°C/h nopeudella; pidettiin noin 900°C:ssa noin 5 tunnin ajan; ja laskettiin sitten huoneenlämpötilaan noin 250°C/h nopeudella. Kun järjestely saavutti huoneenlämpötilan, se poistettiin uunista ja purettiin. Otettiin talteen metallimatriisi-komposiitti, joka käsitti 38 Alundum -täyteainetta ympäröivän matriisimetallin.

Kuvio 4 on mikrovalokuva esimerkin 2 mukaisesti tuotetusta metallimatriisikomposiitista.

- 5 Siten tämä esimerkki osoittaa, että on mahdollista aikaan-
saada spontaani tunkeutuminen täyteainemassaan alumiini-
seos/kalsium/typpi-järjestelmässä.

Esimerkki 3

- 10 Kuvio 5 esittää poikkileikkauksena järjestelyn, jota
käytettiin metallimatriisi-komposiittikappaleen muodosta-
miseksi spontaanilla tunkeutumisella esillä olevan keksin-
nön mukaisesti. Esimuotin tekemiseksi sekoitettiin 100 %
etanoliin likimain 94 painoprosenttia alumiininitridi-
15 jauhetta (Herman Starck "A" jauhe), 5 painoprosenttia
piinitridijauhetta (Atlantic Equipment Engineers), ja
likimain 1 painoprosentti PVPK 30 (polyvinyyliipryoleeni,
molekyyllipaino 30, GAF Corp.), lietteen muodostamiseksi,
joka käsitti likimain 50 tilavuusprosenttia kiintoaineita
20 ja 50 tilavuusprosenttia etanolia. Liete kaadettiin sitten
muottiin, jonka likimääräiset mitat olivat 76 mm x 76 mm
x 25 mm, ja joka muodostui nelisivuisesta teräskehikosta
ja kipsilevyä olevasta pohjapinnasta. Nelisivuinen teräs-
kehikko ei ollut kytkettynä kipsilevyyn, ja se voitiin
25 poistaa helposti, esimerkiksi nostamalla. Kipsilevyä käy-
tettiin kosteuden poistamiseksi lietteestä. Kuivuttuaan
liete muodosti esimuotin, jonka mitat olivat likimain 76
mm x 76 mm x 25 mm. Noin 38 mm x 19 mm x 38 mm kokoinen
esimuotti 5 leikattiin isommasta esimuotista. Kooltaan noin
30 39 mm x 51 mm x 25 mm valanne matriisimetallista 3, joka
painon mukaisesti käsitti noin 3 % strontiumia, 8 % piitä,
8 % nikkeliä ja loput alumiinia, päällystettiin yhdeltä
pinnaltaan likimain 0,25 mm vahvalla kerroksella 4 sekoi-
tusta, joka käsitti 50 painoprosenttia rautajauhetta (Serac
35 Inc., Milwaukee, Wisconsin) ja 50 painoprosenttia alu-
miininitridijauhetta (Exolon-ESK Company, Tornawanda, New
York). Esimuotti 5 asetettiin sitten tämän alumiininitri-

di/rautajauhe-kerroksen 4 päälle, ja metallimatriisi/esimuotti-kokoonpano sijoitettiin likimain 25 mm paksun hiukkasmaisen boorikarbidikerroksen 6 (Atlantic Equipment Engineers) päälle, joka oli laatikossa 2, joka laatikko
5 oli tehty 0,38 mm vahvasta luokkaa GTB olevasta grafiittinauhatuotteesta, jota tuottaa Union Carbide ja jota myydään tavaramerkillä Grafoil (R). Laatikko tehtiin järjestämällä sopivan kokoisa Grafoil (R)-kappaleita yhteen ja sulkemalla Grafoil (R)-laatikon saumat lietteellä,
10 joka tehtiin sekoittamalla grafiittijauhetta (Grade KS-44, Lonza Inc.) ja kolloidista piidioksidia (Ludox HS, DuPont). Grafiitin painosuhde kolloidiseen piidioksidiin oli noin 1:3. Laatikko 2 oli niin iso, että matriisimetalli/esimuotti-kokoonpano mahtui siihen koskettamatta sitä. Grafoil (R)-laatikko lepäsi tulenkestävän alumiinioksidias-
15 tian 1 pohjalla. Lisättiin boorikarbidia 6 Grafoil (R)-laatikkoon 2, kunnes matriisimetalli/esimuotti-kokoonpano oli täysin boorikarbidin 6 ympäröimänä ja upotettuna siihen. Noin 13 mm paksu boorikarbidikerros peitti esimuotin yläpintaa.
20

Alumiinioksidia olevasta tulenkestävästä astiasta ja sen sisällöstä koostuva järjestely asetettiin sähkövastuksin kuumennettavaan putkiuuniin huoneenlämpötilassa. Uuniin
25 muodostettiin noin 1×10^{-1} torr tyhjö, jonka jälkeen siihen huoneenlämpötilassa palautettiin typpeä noin 1 ilmakehän paineeseen. Kun uuniin oli palautettu typpeä, siihen muodostettiin jatkuva n. 0,6 l/minuutti typpikaasun virtaus. Uunin lämpötila nostettiin sitten noin 1200°C
30 lämpötilaan noin 200°C/h nopeudella. Uunin lämpötila pidettiin noin 1200°C:ssa noin 10 ajan, ja laskettiin sitten huoneenlämpötilaan noin 250°C/h nopeudella. Kun järjestely saavutti huoneenlämpötilan, se poistettiin uunista ja purettiin. Saatiin metallimatriisi-komposiitti, joka kä-
35 sitti esimuotin ympäröivän matriisimetallin.

Kuvio 6 on mikrovalokuva esimerkin 3 mukaisesti tuotetusta metallimatriisikomposiitista.

- 5 Siten tämä esimerkki osoittaa, että on mahdollista aikaansaada matriisimetallin spontaani tunkeutuminen täyteainemassaan alumiiniseos/strontium/typpi-järjestelmässä.

Esimerkki 4

- 10 Kuvio 7 esittää poikkileikkauksena järjestelyn, jota käytettiin metallimatriisi-komposiittikappaleen muodostamiseksi spontaanilla tunkeutumisella esillä olevan keksinnön mukaisesti. Esimuotin tekemiseksi sekoitettiin lietteen muodostamiseksi noin 85 painoprosenttia A-17
- 15 kalsinoitua alumiinioksidia, Alcoa:lta, noin 15 painoprosenttiin vettä, joka sisälsi vähäisen määrän Darwin-821A:ta (jonka toimitti R.T.Vanderbilt and Co., Norwalk, Connecticut) dispergoivana aineena. Liete valettiin suorakulmaiseen kipsi- tai liitumuottiin, jonka mitat olivat
- 20 likimain 76 mm x 51 mm x 13 mm. Lietteen annettiin kuivua 8 tuntia muotissa, ennenkuin se poistettiin esimuottina 3. Esimuotin 3 annettiin sitten kuivua ilmassa 24 tuntia lisää ennen sen käyttöä esillä olevassa keksinnössä.
- 25 Matriisimetallivalanteiden 2 pino 3, joiden jokaisen koko oli noin 76 mm x 51 mm x 13 mm, ja jotka koostuivat kaupallisesti saatavilla olevasta 170.1 alumiiniseoksesta, joka käsitti likimain 3 painoprosenttia sinkkiä alkuperäiseen seokseen sisältyvän mahdollisen sinkin lisäksi,
- 30 maalattiin ylimpänä olevan valanteen yläpinnalta noin 1,3 mm paksulla kerroksella 5 tulenkestävää ainetta, joka tunnetaan nimellä Leecote (R) LX-60 WPS (Acme Resin Corporation, Madison, Ohio). Esimuotti 3 sijoitettiin sitten tämän Leecote-kerroksen 5 päälle ja matriisiseos-
- 35 valanteet/esimuotti-järjestely sijoitettiin noin 13 mm paksun Nyad SP karkea-grit wollastoniitti (NYCO Inc.) -hiukkaskerroksen 4 päälle, joka oli tulenkestävässä

alumiinioksidiaastiassa 1. Matriisiseosvalanteet/esimuoti-järjestely sijoitettiin wollastoniittikerroksen rinnalle siten, että alin matriisiseosvalanne oli kosketuksessa kerrokseen. Sen jälkeen lisättiin tulenkestävään alumiiniastiaan 1 lisää wollastoniittia 4, kunnes wollastoniitin pinta oli likimain samassa tasossa esimuotin 3 yläpinnan kanssa.

Alumiinioksidia olevasta tulenkestävästä astiasta ja sen sisällöstä koostuva järjestely asetettiin sähkövastuksilla kuumennettuun uuniin, jonka atmosfääri oli normaalissa ilmanpaineessa. Uunin lämpötila nostettiin noin 1050°C lämpötilaan noin 10 tunnin kuluessa; sitä pidettiin noin 1050°C:ssa noin 60 tuntia; ja laskettiin sitten noin 40°C lämpötilaan noin 10 tunnin kuluessa. Kun järjestelyn lämpötila oli 40°C, se poistettiin uunista ja purettiin. Otettiin talteen metallimatriisi-komposiittikappale, joka käsitti täyteaineen sekoitusta ympäröivän matriisimetallin.

Kuvio 8 on mikrovalokuva esimerkin 4 mukaisesti tuotetusta metallimatriisikomposiitista.

Siten tämä esimerkki osoittaa, että on mahdollista aikaansaada spontaani tunkeutuminen täyteaineeseen alumiini-seos/sinkki/happi-järjestelmässä.

Esimerkki 5

Tämä esimerkki osoittaa, että menestyksellä voidaan käyttää monia täyteaineen rakenteita metallimatriisi-komposiittikappaleiden muodostamiseksi spontaanilla tunkeutumis-menetelmällä. Taulukko I sisältää yhteenvedot koeolosuhteista, joita on käytetty muodostamaan useita metallimatriisi-komposiittikappaleita, mukaanlukien erilaiset matriisimetallit, täyteaineen rakenteet, käsittelylämpötilat ja käsittelyajat.

Näyte A (011189-AAI)

Kuvio 9 esittää kaaviollisen poikkileikkauksen järjeste-
lystä, jota käytettiin metallimatriisikomposiittinäytteen
5 tuottamiseksi, kuten alla selitetään. Tarkemmin ottaen
valmistettiin piidioksidimuotti 10, jossa oli sisäinen
ontelo, joka mitoiltaan oli 127 mm pitkä, 127 mm leveä ja
83 mm syvä, ja jossa oli viisi reikää 11, halkaisijaltaan
noin 19 mm ja noin 19 mm syvät, piidioksidimuotin pohjalla.
10 Muotti muodostettiin sekoittamalla ensin liete, joka
paino-osuuksin käsitti noin 2,5 - 3 osaa piidioksidijauhet-
ta (RANCO-SIL (TM) 4, Ransom&Randolph, Maunee, OH), noin
1 osa kolloidista piidioksidia (Nyacol (R) 830, Nyacol
Products, Inc., Ashland, MA), ja noin 1 - 1,5 osaa
15 piidioksidia ja hiekkaa (RANCO-SIL (TM) A, Ransom&Randolph,
Maunee, OH). Lieteseos kaadettiin kumimuottiin, joka
muodoltaan oli käänteinen halutun piidioksidimuotin sisä-
ontelon suhteen, ja asetettiin pakastimeen yön yli (noin
14 tuntia). Piidioksidimuotti 10 erotettiin sen jälkeen
20 kumimuotista, poltettiin noin 800°C lämpötilassa ilma-at-
mosfääriuunissa noin 1 tunnin ajan, ja jäähdytettiin
huoneenlämpötilaan.

Muodostetun piidioksidimuotin 10 pohjan pinta peitettiin
25 grafiittikalvon (Perma-Foil, TT America, Portland, OR)
kappaleella 12, jonka mitat olivat pituus noin 127 mm,
leveys noin 127 mm ja paksuus noin 0,25 mm. Noin 19 mm
halkaisijaltaan olevat reiät 13 leikattiin grafiittikal-
voon piidioksidimuotin 10 pohjassa olevien reikien 11
30 paikkoja vastaten. Piidioksidimuotin 10 pohjassa olevat
reiät täytettiin matriisimetallisyntereillä 14, joiden
halkaisija oli noin 19 mm ja paksuus noin 19 mm, ja joiden
koostumus oli sama kuin alla selitetyn matriisimetallin.
Noin 826 g täyteaineseosta 15, joka painon mukaan käsitti
35 noin 95% 220 grit alumiinioksidia (38 Alundum, Norton, Co.,
Worcester, MA) ja noin 5% -325 magnesiumjauhetta (jota myy
Aesar (R), Johnson Matthey, Seabrook, NH), valmistettiin

noin 4 litran muoviastiassa sekoittaen käsin noin 15 minuutin ajan. Täyteaineseos 15 kaadettiin sitten piidioksidimuotin 10 pohjalle noin 19 mm paksuuteen, ja sitä kopautettiin kevyesti täyteaineseoksen pinnan tasoittamiseksi. Noin 1220 g matriisimetallia 16, joka painon mukaan käsitti likimääräisesti alle 0,25% Si, alle 0,30% Fe, alle 0,25% Cu, alle 0,15% Mn, 9,5 - 10,6% Mg, alle 0,15% Zn, alle 0,25% Ti ja loppuosan alumiinia, asetettiin täyteaineseoksen 15 päälle piidioksidimuottiin 10. Piidioksidimuotti 10 sisältöineen asetettiin sitten ruostumatonta terästä olevaan säiliöön 17, jonka mitat olivat pituus noin 254 mm, leveys noin 254 mm ja korkeus noin 203 mm. Titaanisieniatinetta 18, painoltaan noin 15 g (Chemalloy Inc., Bryn Mawr, PA) ripoteltiin piidioksidimuotin 10 päälle ruostumatonta terästä olevassa säiliössä 17. Kuparikalvo 19 asetettiin ruostumatonta terästä olevan säiliön 17 aukon päälle eristetyn kammion muodostamiseksi. Typpityhjennysputki 20 järjestettiin kuparikalvon 19 läpi, ja ruostumatonta terästä oleva säiliö 17 sisältöineen asetettiin ilma-atmosfäärissä vastuksin kuumennettavaan laatikkouuniin.

Uunin lämpötila nostettiin huoneenlämpötilasta noin 600°C lämpötilaan nopeudella noin 400°C/h, typen virtausmäärän ollessa noin 10 l/minuutti (huomaa, ettei eristetty kammio ole kaasutiivis, jolloin se päästää jonkin verran typpeä), kuumennettiin sitten noin 600°C lämpötilasta noin 750°C lämpötilaan nopeudella noin 400°C/h, typen virtausmäärän ollessa noin 2 l/minuutti. Kun järjestelmää oli pidetty noin 775°C:ssa noin 1,5 tuntia typen virtausmäärän ollessa noin 2 l/minuutti, ruostumatonta terästä oleva säiliö 17 sisältöineen poistettiin uunista. Piidioksidimuotti 10 poistettiin ruostumatonta terästä olevasta säiliöstä 17 ja osa jäljelle jäänyttä matriisimetallia kaadettiin pois piidioksidimuotista 10. Huoneenlämpötilassa oleva kuparilevy, jonka pituus oli noin 127 mm, leveys noin 127 mm ja paksuus noin 25 mm, asetettiin piidioksidimuottiin 10, niin

että se kosketti jäljelle jääneen matriisimetallin yläosaa, muodostuneen metallimatriisikomposiitin suunnattua kiinteyttämistä varten.

5 Näyte B (011889-AX)

- Kuvio 10 esittää kaaviollisen poikkileikkauksen järjesty-
lystä, jota käytettiin metallimatriisikomposiittinäytteen
tuottamiseksi, kuten alla selitetään. Tarkemmin ottaen
10 valmistettiin teräslaatikko 32 asettamalla teräsrunko 30,
jossa oli sisäinen ontelo, joka mitoiltaan oli 127 mm pitkä,
127 mm leveä ja 70 mm syvä, ja jonka seinämäpaksuus oli
noin 7,9 mm, teräslevyn 31 päälle, joka mitoiltaan oli noin
178 mm leveä, noin 178 mm pitkä ja noin 6,4 mm paksu.
15 Teräslaatikko 32 vuorattiin grafiittikalvolaatikolla, joka
mitoiltaan oli noin 127 mm pitkä, 127 mm leveä ja 76 mm
korkea. Grafiittikalvolaatikko 33 valmistettiin grafiit-
tikalvokappaleesta (Perma-Foil, TT America, Portland, OR),
joka oli noin 279 mm pitkä, noin 279 mm leveä ja noin 0,25
20 mm paksu. Grafiittikalvoon tehtiin neljä samansuuntaista
viiltoa noin 76 mm reunasta ja noin 76 mm pitkät. Leikattu
grafiittikalvo taitettiin sitten ja liitettiin grafiitti-
kalvolaatikon 33 muodostamiseksi.
- 25 Noin 782 g täyteaineseosta 34, joka painon mukaan käsitti
noin 95% alumiinioksidia (C-75 RG, Alcan Dchemicals,
Montreal, Canada) ja noin 5% -325 magnesiumjauhetta (jota
myy Aesar (R), Johnson Matthey, Seabrook, NH), valmistet-
tiin yhdistämällä aineet muoviastiaan ja sekoittaen käsin
30 noin 15 minuutin ajan. Täyteaineseos 34 kaadettiin sitten
grafiittikalvolaatikkoon 33 noin 19 mm paksusti, ja
sekoitusta kopautettiin kevyesti pinnan tasoittamiseksi.
Täyteaineseoksen 34 pinta päällystettiin noin 4 grammalla
-50 mesh magnesiumjauhetta 35 (jota myy Alpha Products,
35 Morton Thiokol, Danvers, MA). Noin 1268 g matriisimetallia
36, joka painon mukaan käsitti likimääräisesti alle 0,25%
Si, alle 0,30% Fe, alle 0,25% Cu, alle 0,15% Mn, 9,5 -

10,6% Mg, alle 0,15% Zn, alle 0,25% Ti ja loppuosan alumiinia, asetettiin magnesiumjauheella päällystetyn täyteaineseoksen 34 päälle.

- 5 Teräslaatikko 32 sisältöineen asetettiin sitten ruostumatonta terästä olevaan säiliöön 37, jonka mitat olivat: pituus noin 254 mm, leveys noin 254 mm ja korkeus noin 203 mm. Ruostumatonta terästä olevan säiliön 37 pohja oli valmisteltu peittämällä laatikon pohja grafiittikalvon 38
- 10 kappaleella jonka mitat olivat pituus noin 254 mm, leveys noin 254 mm ja paksuus noin 0,25 mm, ja tulenkestävä tiili 39 oli asetettu grafiittikalvon 38 päälle teräslaatikon 32 tukemiseksi ruostumatonta terästä olevassa säiliössä 37. Noin 20 g titaanisieniatinaa 40 (Chemalloy Inc., Bryn
- 15 Mawr, PA) ruiskutettiin grafiittikalvon 38 päälle ruostumatonta terästä olevan säiliön 37 pohjalla tulenkestävän tiilen 39 ympärille, joka tuki teräslaatikkoa 32. Kuparikalvo 41 asetettiin ruostumatonta terästä olevan säiliön 37 aukon päälle eristetyn kammion muodostamiseksi. Typpi-
- 20 tyhjennysputki 20 järjestettiin kuparikalvon 41 läpi. Ruostumatonta terästä oleva säiliö 37 sisältöineen asetettiin ilma-atmosfäärissä vastuksin kuumennettavaan laatikkouuniin.
- 25 Uuni kuumennettiin huoneenlämpötilasta noin 600°C lämpötilaan nopeudella noin 400°C/h, typen virtausmäärän putkessa 42 ollessa noin 10 l/minuutti, kuumennettiin sitten noin 600°C lämpötilasta noin 800°C lämpötilaan nopeudella noin 400°C/h, typen virtausmäärän ollessa noin 2 l/minuutti.
- 30 Järjestelmä pidettiin 800°C:ssa noin 2 tunnin ajan typen virtausmäärän ollessa noin 2 l/minuutti. Sen jälkeen ruostumatonta terästä oleva säiliö 37 sisältöineen poistettiin uunista ja teräslaatikko 32 poistettiin ruostumatonta terästä olevasta säiliöstä 37 ja asetettiin huoneen-
- 35 lämpötilassa olevan veden jäähdyttämälle jäähdytyslevylle, jonka mitat olivat pituus noin 203 mm, leveys noin 203 mm

ja paksuus noin 13 mm, metallimatriisikomposiitin suunnattua kiinteyttämistä varten.

Näyte C (022189DAH1)

5

Kuvio 11 esittää kaaviollisen poikkileikkauksen järjesty-
lystä, jota käytettiin metallimatriisikomposiittinäytteen
tuottamiseksi, kuten alla selitetään. Tarkemmin ottaen
järjestettiin veneen muotoinen grafiittiastia 50, jossa
10 oli sisäinen ontelo, joka mitoiltaan oli noin 305 mm pitkä,
noin 203 mm leveä ja noin 13,3 mm korkea, ATJ -grafiitista,
jota valmistaa Union Carbide. Kolme grafiittikalvolaatik-
koa 52, mitoiltaan noin 203 mm pitkät, noin 102 mm leveät
ja noin 127 mm korkeat, sijoitettiin grafiittiastian 50
15 pohjalle. Grafiittikalvolaatikko 52 tehtiin grafiittikal-
vokappaleesta (Grafoil (R) Union Carbidelta), mitoiltaan
noin 356 mm pitkä, noin 318 mm leveä ja noin 0,38 mm paksu.
Grafiittikalvoon tehtiin neljä samansuuntaista viiltoa
noin 127 mm sivusta ja noin 127 mm pitkät. Leikattu
20 grafiittikalvo taitettiin sitten grafiittikalvolaatikoksi
52, joka liimattiin seoksella, joka käsitti painon mukaan
noin yhden osan grafiittijauhetta (KS-44, Lonza Inc., Fair
Lawn, NJ) ja noin 3 osaa kolloidista piidioksidia (LUDOX
(R) SM, E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc. Wilmington,
25 DE), ja liitettiin laatikon koossa pitämiseksi. Grafiit-
tikalvolaatikon 52 pohja päällystettiin tasaisesti kerrok-
sella -50 mesh magnesiumjauhetta 53 (jota myy Alpha
Products, Morton Thiokol, Danvers, MA). Magnesiumjauhe 53
kiinnitettiin grafiittikalvolaatikon 52 pohjaan seoksella,
30 joka tilavuuden suhteen käsitti noin 25 - 50% grafiit-
tisementtiä (RIGIDLOCK (TM), Polycarbon, Valencia, CA) ja
lopun etyylialkoholia.

Noin 1000 g täyteaineseosta 54, joka käsitti noin 98% -60
35 grit levymäistä alumiinioksidia (T-64, Alcoa Industrial
Chemicals Division, Bauxite, AR) ja noin 2% -325 mesh
magnesiumjauhetta (jota myy Aesar (R), Johnson Matthey,

Seabrook, NH), asetettiin muoviastiaan ja sekoitettiin kuulamylyssä ainakin 2 tuntia. Täyteaineseos 54 kaadettiin sitten grafiittikalvolaatikon 52 pohjalle, joka vuorasi grafiittiastian, tiivistettiin käsin ja päällystettiin 6 g kerroksella -50 mesh magnesiumjauhetta 56 (Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA). Noin 1239 g matriisimetallia 55, joka painon mukaan käsitti likimääräisesti alle 0,35% Si, alle 0,40% Fe, 1,6 - 2,6% Cu, alle 0,2% Mn, 2,6 - 3,4% Mg, 0,18 - 0,35% Cr, 6,8 - 8,0% Zn, alle 0,20% Ti ja loput alumiinia, täyteaineseoksen 54 päälle grafiittikalvolaatikkoon 52.

Grafiittiastia 50 sisältöineen asetettiin huoneenlämpötilassa vuorattuun vastuksin kuumennettavaan retorttiuuniin. Retorttiovi suljettiin ja retorttiin muodostettiin tyhjä vähintään 762 mm Hg. Kun tyhjä oli saavutettu, retorttikammioon johdettiin tyyppä määränä noin 3,5 l/minuutti. Vuorattu retorttiuuni kuumennettiin sitten noin 700°C lämpötilaan nopeudella noin 120°C/h ja pidettiin noin 10 h 700°C:ssa noin 2,5 l/minuutti virtaavassa typpiatmosfäärissä. Retorttivuoratuun uunin lämpötila laskettiin sitten noin 700°C:sta noin 675°C:seen nopeudella noin 150°C/h. Noin 675°C lämpötilassa grafiittiastia sisältöineen poistettiin retortista ja suoritettiin suunnattu kiinteyttäminen. Erityisesti, grafiittiastia sijoitettiin huoneenlämpötilassa olevan grafiittilevyn päälle ja noin 500 ml ulkoista kuumapäällystysainetta (Feedol (R)-9, jota myy Foseco Inc., Brook Park, OH) kaadettiin grafiittikalvolaatikossa 52 olevan sulan matriisimetallin päälle, ja noin 51 mm paksu keraaminen kuitupeite (CERABLANKET (TM), Manville Refractory Products) käärittiin grafiittiastian 50 ympärille. Huoneenlämpötilassa grafiittiastia purettiin, ja havaittiin että oli muodostunut metallimatriisi-komposiittikappale.

Näyte D (060889DAE3)

Kuvio 12 esittää kaaviollisen poikkileikkauksen järjestelystä, jota käytettiin metallimatriisikomposiittinäytteen tuottamiseksi, kuten alla selitetään. Tarkemmin ottaen järjestettiin veneen muotoinen grafiittiastia 70, jossa oli sisäinen ontelo, joka mitoiltaan oli noin 203 mm pitkä, noin 102 mm leveä ja noin 63 mm syvä, ja joka oli tehty ATJ -grafiitista, jota valmistaa Union Carbide. Grafiittikalvolaatikko 71, mitoiltaan noin 203 mm pitkä, noin 38 mm leveä ja noin 76 korkea, sijoitettiin grafiittiastiaan 70. Grafiittikalvolaatikko 71 tehtiin grafiittikalvokappaleesta (Grafoil (R) Union Carbidelta), mitoiltaan noin 356 mm pitkä, noin 191 mm leveä ja noin 0,38 mm paksu. Grafiittikalvoon tehtiin neljä samansuuntaista viiltoa noin 76 mm sivusta ja noin 76 pitkät. Grafiittikalvo taitettiin sitten grafiittikalvolaatikoksi 71, liimattiin grafiittisementillä (RIGIDLOCK (TM), Polycarbon, Valencia, CA) ja liitettiin yhteen. Riittävästi kuivuneena grafiittikalvolaatikko asetettiin grafiittiastiaan 70.

Noin 1000 g täyteaineseosta 73, joka painon mukaan noin 96% halkaisijaltaan noin 10 mikrometrin ja noin 2 mikrometriä paksuja alumiinioksidihiutaleita (kehitysvaiheessa olevia laatu F alfa- Al_2O_3 hiutaleita, jotka toimitti E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE), ja noin 4% -325 mesh magnesiumjauhetta (Aesar (R), Johnson Matthey, Seabrook, NH), asetettiin noin 4 litran muoviastian ja loppuosa muoviastian tilavuudesta täytettiin etyylialkoholilla lieteseoksen muodostamiseksi. Muoviastia sisältöineen sijoitettiin sitten kuulamyyllylle ainakin 3 tunniksi. Lieteseokseen kohdistettiin tyhjösuodatus etyylialkoholin erottamiseksi täyteaineseoksesta 73. Sen jälkeen kun etyylialkoholi oleellisesti oli erotettu, täyteaineseos 73 asetettiin noin 110°C lämpötilaan asetettuun ilmauuniin ja kuivattiin yön yli. Täyteaineseos 73 pakotettiin sen jälkeen 40 mesh seulan läpi valmistuksen loppuun viemisek-

si. Tätä nestedispersiomenetelmää kutsutaan tästä lähin LD-menetelmäksi.

5 Grafiittikalvolaatikon 71 pohja päällystettiin likimain 1,5 g kerroksella -50 mesh magnesiumjauhetta 74 (Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA), ja se kiinnitettiin grafiittikalvolaatikon 71 pohjaan grafiittisementillä (RIGIDLOCK (TM), jota myy Polycarbon, Valencia, CA). Täyte-
10 aineseos 73 kaadettiin sitten grafiittikalvolaatikon 71 pohjalle, tiivistettiin käsin ja päällystettiin 1,5 g kerroksella -50 mesh magnesiumjauhetta 75 (Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA). Noin 644 g matriisimetallia 72, joka painon mukaan käsitti alle 0,25% Si, alle 0,30% Fe, alle 0,25% Cu, alle 0,15% Mn, 9,5 - 10,6% Mg, alle
15 0,15% Zn, alle 0,25% Ti ja loppuosan alumiinia, asetettiin täyteaineseoksen 73 päälle grafiittikalvolaatikkoon 71. Kaksi grafiittitukilevyä 76, noin 203 mm pitkät, noin 76 mm leveät ja noin 13 paksut, asetettiin grafiittikalvolaatikon 71 ulkosivuja pitkin, kuten kuviossa 12 esitetään.
20 220 grit alumiinioksidiainetta 77, (38 Alundum, Norton Co., Worcester, MA) asetettiin grafiittiastiaan grafiittilevyjen 76 ympäri.

Järjestelmä, joka käsitti grafiittiastian 70 sisältöineen,
25 asetettiin huoneenlämpötilassa retorttivuorattuun vastuksin kuumennettavaan uuniin. Retorttiovi suljettiin ja retorttiin muodostettiin tyhjä 508 mm HG. Vuorattu retorttiuuni kuumennettiin sitten noin 775°C lämpötilaan nopeudella noin 100 typpivirtauksen ollessa noin 4 l/minuutti.
30 Noin 10 tunnin kuluttua noin 775°C:ssa, typpivirtauksen ollessa noin 4 l/minuutti, grafiittiastia 70 sisältöineen poistettiin retorttiuunista ja suoritettiin suunnattu kiinteyttäminen. Erityisesti, grafiittiastia 70 sijoitettiin huoneenlämpötilassa olevan veden jäähdyttämälle alumiinioksidijäähdytyslevylle ja noin 500 ml ulkoista kuumapääällystysainetta (Feedol (R)-9, jota myy Foseco Inc., Brook Park, OH) kaadettiin grafiittikalvolaatikossa 70
35

olevan sulan matriisimetallin päälle, ja noin 51 mm paksu keraaminen kuitupeite (CERABLANKET (TM), Manville Refractory Products) käärittiin grafiittiastian 70 ympärille. Huoneenlämpötilassa grafiittiastia purettiin, ja havaittiin että oli muodostunut metallimatriisi-komposiittikapale.

Muodostunut metallimatriisikomposiittia lämpökäsiteltiin sen jälkeen. Tarkemmin ottaen komposiitti asetettiin ruostumatonta terästä olevaan lankakoriin, joka sitten asetettiin vastuskuumennettuun ilma-atmosfääriuuniin. Uunin lämpötila nostettiin noin 435°C lämpötilaan noin 40 minuutissa, pidettiin siinä noin 18 h, jonka jälkeen komposiitti poistettiin uunista ja jäähdytettiin nopeasti huoneenlämpötilassa olevassa vesikylvyssä.

Esimerkki E (072988TAM)

Kuvio 13 esittää kaaviollisen poikkileikkauksen järjestyksestä, jota käytettiin metallimatriisikomposiittinäytteen tuottamiseksi, kuten alla selitetään. Tarkemmin ottaen valmistettiin ruostumatonta terästä oleva teräslatikko 90, joka mitoiltaan oli noin 152 mm pitkä, noin 76 mm ja noin 127 mm korkea, hitsaamalla yhteen 300 -sarjan ruostumatonta terästä olevia levyjä. Ruostumatonta terästä oleva laatikko 90 vuorattiin grafiittikalvolaatikolla 91, joka mitoiltaan oli noin 152 mm pitkä, noin 76 mm ja noin 127 mm korkea. Grafiittikalvolaatikko 91 tehtiin grafiittikalvokappaleesta (Grafoil (R), Union Carbide:lta), joka mitoiltaan oli noin 406 mm pitkä, noin 330 mm leveä ja noin 38 mm paksu. Grafiittikalvoon tehtiin neljä samansuuntaista viiltoa noin 127 mm sivulta ja noin 127 mm pitkät. Grafiittikalvo taitettiin ja liitettiin grafiittikalvolatikon 91 muodostamiseksi ja asetettiin sitten ruostumatonta terästä olevaan laatikkoon 90.

- Täyteaineseos 92 valmistettiin sekoittamalla neljän litran muoviastiassa noin 600 g sekoitusta, joka käsitti noin 73 painoprosenttia 1000 grit piikarbidia (39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA), noin 24 painoprosenttia piikarbidikuitukiteitä (NIKKEI TECHNO-RESEARCH Co., LTD, Japan), ja noi 3 painoprosenttia -325 mesh magnesiumjauhetta (Aesar (R), Johnson Matthey, Seabrook, NH), ja asettamalla astia kuulamylllyyn noin tunnin ajaksi.
- 10 Noin 19 mm paksu kerros täyteaineseosta 92 kaadettiin ruostumatonta terästä olevassa laatikossa olevan grafiittikalvolaatikon 91 pohjalle. Matriisimetallivalanteita 93, jotka käsittivät painon mukaan noin 10% piitä, 5% kuparia ja loput alumiinia, ja joiden kokonaispaino oli noin 1216 g, asetettiin grafiittikalvolaatikossa 91 olevan täyteaineseoksen 92 päälle. Ruostumatonta terästä oleva laatikko 90 sisältöineen asetettiin ulompaan ruostumatonta terästä olevaan säiliöön 94, mitoiltaan noin 254 mm pitkä, noin 203 leveä ja noin 203 mm syvä. Noin 15 g titaanisienianinetta 20 95 (Chemalloy Company Inc., Bryn Mawr, PA) ja noin 15 g -50 mesh magnesiumjauhetta 96 (Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA), ruiskutettiin ulompaan ruostumatonta terästä olevaan säiliöön 94 ruostumatonta terästä olevan laatikon 90 ympäri. Kuparikalvoarkki 97 asetettiin ulomman 25 ruostumatonta terästä olevan säiliön 94 aukon päälle. Typpityhjennysputki 98 järjestettiin kuparikalvon 97 läpi.
- Ruostumatonta terästä olevan säiliön 94 ja sen sisällön muodostama järjestelmä asetettiin vastuusin kuumennettavaan ilma-atmosfääriuuniin. Uuni kuumennettiin noin 800°C lämpötilaan nopeudella noin 550°C/h, typen virtausmäärän ruostumatonta terästä olevaan säiliöön 94 ollessa noin 2,5 l/minuutti. Noin 2,5 tunnin jälkeen noin 800°C:ssa typen virtauksen oltua noin 2,5 l/minuutti, ulompi ruostumatonta 35 terästä oleva säiliö 94 sisältöineen poistettiin uunista. Grafiittikalvolla vuorattu ruostumatonta terästä oleva säiliö 94 sisältöineen asetettiin huoneenlämpötilassa

olevalle jäähdytyslevylle, joka mitoiltaan oli noin 203 mm pitkä, noin 203 mm leveä ja noin 13 mm korkea, metallimatriisikomposiitin suunnattua kiinteyttämistä varten. Huoneenlämpötilassa grafiittikalvolaatikko 91 purettiin, ja
5 havaittiin metallimatriisikomposiitin muodostuneen.

Näyte F (090789DU)

Kuvio 14 esittää kaaviollisen poikkileikkauksen järjesty-
10 lystä, jota käytettiin metallimatriisikomposiittinäytteen tuottamiseksi, kuten alla selitetään. Tarkemmin ottaen käytettiin alumiinioksidiaa, jossa oli sisäinen onte-
lo, joka mitoiltaan oli noin 95 mm pitkä, noin 45 mm leveä ja noin 20 mm syvä. Likimain 3,2 mm vahva kerros
15 täyteainetta 111, joka käsitti onttoja alumiinioksidikuulia (Aerospheres, jota myi Ceramic Fillers Inc., Atlanta, GA), asetettiin alumiinioksidia 110 pohjalle. Matriisimetallivalanteita 112, jotka käsittivät painon mukaan
alle 0,25% Si, alle 0,30% Fe, alle 0,25% Cu, alle 0,15%
20 Mn, 9,5 - 10,6% Mg, alle 0,15% Zn, alle 0,25% Ti ja loppuosan alumiinia, asetettiin täyteainekerroksen 111 päälle alumiinioksidia 110.

Alumiinioksidia 110 sisältöineen asetettiin huoneen-
25 lämpötilassa vastuksin kuumennettavaan putkiuuniin. Putkiuuni suljettiin oleellisesti tiiviisti, ja putkeen aikaansaatiin ainakin 762 mm Hg oleva tyhjö. Sen jälkeen putkeen syötettiin typpeä määränä noin 0,5 l/minuutti, ja putkiuuni kuumennettiin noin 800°C lämpötilaan nopeudella
30 noin 300°C/h, typen virtausmäärän ollessa noin 0,5 l/minuutti. Sen jälkeen uunia jäähdytettiin huoneenlämpötilaan nopeudella noin 300°C/minuutti. Huoneenlämpötilassa alumiinioksidia 110 poistettiin putkiuunista, ja havaittiin että metallimatriisi-komposiittikappale oli muodostunut.
35

Näyte G (123187-DE)

Kuvio 15 esittää kaaviollisen poikkileikkauksen järjeste-
lystä, jota käytettiin metallimatriisikomposiittinäytteen
5 tuottamiseksi, kuten alla selitetään. Tarkemmin ottaen
järjestettiin veneen muotoinen grafiittiastia 130, joka
mitoiltaan oli noin 102 mm pitkä, noin 102 mm leveä ja noin
76 mm korkea, ja tehty ATJ -grafiitista, jota valmistaa
Union Carbide. 24 grit alumiinioksidiaainetta 131 (38
10 Alundum, Norton Co., Worcester, MA) asetettiin grafiit-
tiastian 130 pohjalle. Grafiittikalvolaatikko 132, mitoil-
taan noin 51 pitkä, noin 51 mm leveä ja noin 76 mm korkea,
asetettiin 24 grit alumiinioksidille 131, joka päällysti
grafiittiastian 130 pohjaa, ja grafiittilaatikko ympäröi-
15 tiin lisäämällä 24 alumiinioksidia 131. Grafiittikalvolaa-
tikko 132 tehtiin grafiittikalvokappaleesta (Grafoil (R)
Union Carbidelta), mitoiltaan noin 203 mm pitkä, noin 203
mm leveä ja noin 0,38 mm paksu. Grafiittikalvoon tehtiin
neljä samansuuntaista viiltoa noin 51 mm sivusta ja noin
20 76 mm pitkät. Leikattu grafiittikalvo taitettiin, liimat-
tiin seoksella, joka käsitti painon mukaan noin yhden osan
grafiittijauhetta (KS-44, Lonza Inc., Fair Lawn, NJ) ja
noin 3 osaa kolloidista piidioksidia (LUDOX (R) SM, E.I.
du Pont de Nemours & Co., Inc. Wilmington, DE), ja
25 liitettiin grafiittikalvolaatikon 132 muodostamiseksi.

Alumiinioksidikuituesimuotti 133, mitoiltaan noin 51 mm
pitkä, noin 51 mm leveä ja noin 20 mm paksu, tehtiin seoksesta,
joka painon mukaan käsitti noin 90 painoprosenttia kat-
30 kaistuja, halkaisijaltaan noin 20 mikrometriä olevia
alumiinioksidikuituja (Fiber FP (R), E.I. du Pont de
Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE), noin 10 painoprosent-
tia halkaisijaltaan noin 3 mikrometriä olevia alumiiniok-
sidikuituja (nimeltään Saffil (R), yhtiöltä ICI Americas,
35 Wilmington, DE), ja joka sidottiin kolloidisella alu-
miinioksidilla. Alumiinioksidikuituesimuotti 133, joka
käsitti noin 12 tilavuusprosenttia keraamisia kuituja,

- asetettiin grafiittikalvolaatikon 132 pohjalle grafiittiastiaan 130. Kaksi matriisimetallivalannetta 134, jotka mitoiltaan olivat noin 51 mm pitkät, noin 51 mm leveät ja noin 25 mm korkeat, ja jotka painon mukaan käsittivät noin 10,5% Mg, 4% Zn, 0,5% Si, 0,5% Cu ja loput alumiinia, asetettiin grafiittikalvolaatikossa 132 olevan alumiinioksidikuituesimuotin 133 päälle. Matriisimetallivalanteiden 134 kehän ja grafiittikalvolaatikon 132 sivuseinien välinen tila täytettiin tahnamaisella grafiittiseoksella 135, joka painon mukaan käsitti noin yhden osan grafiittijauhetta (KS-44, Lonza Inc., Fair Lawn, NJ) ja noin 3 osaa kolloidista piidioksidia (LUDOX (R) SM, E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc. Wilmington, DE).
- 15 Grafiittiastia 130 sisältöineen asetettiin huoneenlämpötilassa uuniin säädetyllä atmosfäärillä. Uunin ovi suljettiin, ja uuniin aikaansaatiin ainakin 762 mm Hg oleva tyhjä. Uuni kuumennettiin sitten noin 200°C lämpötilaan noin 0,75 tunnissa. Ainakin noin 2 tunnin jälkeen noin 200°C:ssa, ja ainakin noin 762 mm Hg tyhjöllä, uuniin syötettiin typpeä määränä noin 2 l/minuutti, ja se kuumennettiin noin 675°C:seen noin 5 tunnissa. Noin 20 tunnin jälkeen noin 675°C:ssa, typen virtauksen ollessa noin 2 l/minuutti, uuni kytkettiin päältä ja jäähdytettiin huoneenlämpötilaan.
- 25 Huoneenlämpötilassa grafiittikalvolaatikko 132 purettiin ja havaittiin että oli muodostunut metallimatriisi-komposiittikappale.

Näyte H (042088-DN)

- 30 Kuvio 16 esittää kaaviollisen poikkileikkauksen järjestyistä, jota käytettiin kuituvahvisteisen metallimatriisi-komposiittinäytteen tuottamiseksi, kuten alla selitetään. Ruostumatonta terästä oleva säiliö 150, noin 165 mm pitkä, noin 165 mm leveä ja noin 76 mm korkea, tehtiin hitsaamalla yhteeseen 300 -sarjan ruostumatonta terästä olevia levyjä. Ruostumatonta terästä oleva säiliö 150 vuorattiin grafiit-

- tikalvolaatikolla 151, joka mitoiltaan oli noin 152 mm pitkä, noin 152 mm leveä ja noin 76 mm korkea. Grafiittikalvolaatikko 151 tehtiin grafiittikalvokappaleesta (Grafoil (R), Union Carbide:lta), joka mitoiltaan oli noin 229 mm pitkä, noin 229 mm leveä ja noin 38 mm paksu. Grafiittikalvoon tehtiin neljä samansuuntaista viiltoa noin 76 mm sivulta ja noin 76 mm pitkät. Leikattu grafiittikalvo taitettiin, liimattiin seoksella, joka käsitti painon mukaan noin yhden osan grafiittijauhetta (KS-44, Lonza Inc., Fair Lawn, NJ) ja noin 3 osaa kolloidista piidioksidia (LUDOX (R) SM, E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc. Wilmington, DE), ja liitettiin grafiittikalvolaatikon 151 muodostamiseksi. Sen jälkeen kun liima oli oleellisesti kuivunut, grafiittikalvolaatikko 151 asetettiin ruostumatonta terästä olevan säiliön 150 pohjalle. Noin 6,4 mm paksu kerros 90 grit ainetta SiC 152 (39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA), kaadettiin grafiittikalvolaatikon 151 pohjalle.
- 20 Jatkuvakuituinen esimuotti 153, mitoiltaan noin 152 pitkä, noin 152 leveä ja noin 13 paksu, joka olit tehty halkaisijaltaan noin 20 mikrometriä olevia (Fiber FP (R), E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE) alumiinioksidikuiduista, asetettiin ruostumatonta terästä olevaa säilötä 150 vuoraavassa grafiittikalvolaatikossa 151 olevan 90 grit SiC-kerroksen 152 päälle. Grafiittikalvoarkki 155 (Grafoil (R), Union Carbide:lta), mitoiltaan noin 152 mm x 152 mm x 0,38 mm, ja jossa oli halkaisijaltaan noin 51 mm reikä 156 keskellä grafiittiarkkia, asetettiin 30 jatkuvakuituisen esimuottin 153 päälle. Matriisimetallivalanteita 154, jokainen mitoiltaan noin 89 mm pitkät, 89 mm leveät ja noin 13 mm paksut, jotka painon mukaan käsittivät alle 0,25% Si, alle 0,30% Fe, alle 0,25% Cu, alle 0,15% Mn, 9,5 - 10,6% Mg, alle 0,15% Zn, alle 0,25% 35 Ti ja loppuosan alumiinia, asetettiin grafiittiarkille 155.

Ruostumatonta terästä oleva säiliö 150 sisältöineen asetettiin huoneenlämpötilassa retorttivuorattuun vastuksiin kuumennettavaan uuniin. Retorttiovi suljettiin ja retorttiin muodostettiin tyhjä vähintään 762 mm Hg. Vuorattu retorttiuuni kuumennettiin sitten noin 200°C lämpötilaan 0,75 tunnissa. Noin 2 tunnin jälkeen noin 200:ssa, tyhjässä noin 762 mm Hg, tyhjään saatettuun retorttiin syötettiin typpeä nopeudella noin 2,5 l/minuutti. Vuorattu retorttiuuni kuumennettiin sitten noin 725°C lämpötilaan nopeudella noin 150°C/h, typen virtauksen ollessa noin 2,5 l/minuutti. Järjestelmä pidettiin noin 725°C:ssa noin 25 tunnin ajan, typen virtauksen ollessa noin 2,5 l/minuutti. Sitten ruostumatonta terästä oleva säiliö 150 poistettiin retortista. Sitten suoritettiin suunnattu kiinteyttäminen asettamalla ruostumatonta terästä oleva säiliö 150 grafiitti-levyjen päälle ja kaatamalla 90 grit alumiinioksidia (38 Alundum, jota myy Norton Co., Worcester, MA), joka oli esikuumennettu ainakin 700°C:seen, jäljelle jääneen sulan matriisimetallin päälle, ja ruostumatonta terästä oleva säiliö sisältöineen peitettiin keraamisella kuitupeitteellä (CERABLANKET (TM), Manville Refractory Products). Huoneenlämpötilassa järjestely purettiin ja havaittiin jatkuvilla kuiduilla vahvistetun metallimatriisikomposiitin muodostuneen.

25

Näyte I (083187-VG-7)

Käytettiin samanlaista järjestelyä kuin näytettä G varten, joka esitettiin kuviossa 15, metallimatriisikomposiittinäytteen tuottamiseksi, kuten alla selitetään. Tarkemmin ottaen käytettiin veneen muotoista grafiittias-tiaa, joka mitoiltaan oli noin 578 mm pitkä, noin 248 mm leveä ja noin 152 mm korkea, ja joka oli valmistettu ATJ-grafiitista, jota myy Union Carbide. Grafiittikalvolaa-tikko mitoiltaan noin 452 mm pitkä ja noin 25 mm leveä ja noin 25 mm korkea, tehtiin grafiittikalvokappaleesta

(Grafoil (R), Union Carbide:lta), kuten selitettiin näytteen G osalta.

5 Grafiittikalvolaatikko asetettiin grafiittiastiaan ja se ympäröitiin 24 grit alumiinioksidilla (38 Alundum, jota myy Norton Co., Worcester, MA). Grafiittikalvolaatikon pohjalle asetettiin irtonaista CVD piikarbidipäälysteisiä grafiittikuituja (Thornel T 300 Grade 309 ST Carbon Pitch Fibers, Amoco Performance Products, Inc.). Samaa grafiittijauhe/kolloidista piidioksidi-seosta, jota käytettiin grafiittikalvolaatikon kokoonliimaamiseksi, käytettiin CVD piikarbidipäälystettyjen grafiittikuitujen päiden päälystämiseksi. Matriisimetallivalanne, mitoiltaan noin 305 mm pitkä, noin 19 mm leveä ja noin 25 paksu, ja jonka 15 painosta oli noin 6% Mg, 5% Zn, 12% Si ja loput alumiinia, asetettiin irrallisten piikarbidipäälysteisten grafiittikuitujen päälle grafiittikalvolaatikkoon. Grafiittiastia sisältöineen sijoitettiin huoneenlämpötilassa säädetyn atmosfäärin uuniin. Uunin ovi suljettiin ja kammioon 20 muodostettiin ainakin 762 mm Hg tyhjä huoneenlämpötilassa. Sen jälkeen uuni kuumennettiin noin 200°C lämpötilaan noin 0,75 tunnissa. Noin 2 tunnin jälkeen noin 200°C:ssa, ja ainakin noin 762 mm Hg tyhjöllä, uuniin syötettiin typpeä määränä noin 1,5 l/minuutti. Sen jälkeen uunin lämpötila 25 nostettiin noin 850°C:seen noin 5 tunnissa. Oltuaan noin 10 tuntia noin 850°C:ssa, typpi-atmosfäärissä virtauksella noin 1,5 l/minuutti, uuni jäähdytettiin huoneenlämpötilaan noin 3 tunnissa. Huoneenlämpötilassa grafiittikalvolaatikko purettiin ja havaittiin että oli muodostunut metalli- 30 matriisikomposiitti.

Sen jälkeen kun jokainen edellä kuvatuista näytteistä A - I oli jäähtynyt huoneenlämpötilaan, jokainen leikattiin poikki, jotta voitaisiin määrittää oliko muodostunut 35 metallimatriisi-komposiittikappale. Kaikkien tämän esimerkin näytteiden A - I havaittiin muodostavan metallimatriisikomposiitteja. Erityisesti kuvio 17a on mikrovalokuva

50-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä A; kuvio 17b on mikrovalokuva 1000-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä B; kuvio 17c on mikrovalokuva 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä C; kuvio 17d on
5 mikrovalokuva 1000-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä D; kuvio 17e on mikrovalokuva komposiitin kuitukitein vahvistetulta alueelta 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä E; kuvio 17f on mikrovalokuva noin 15-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä F; kuvio
10 17g on mikrovalokuva noin 50-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä G; kuvio 17h on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä H; ja kuvio 17i on mikrovalokuva noin 1000-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä I. Jokaisessa edellä mainitussa
15 kuviossa matriisimetalli osoitetaan viitenumerolla 170 ja täyteaine viitenumerolla 171.

20

25

30

35

Taulukko I

Näyte	Matriisi- metalli	Täyte aine	Käsittely- aika (h)	l-tila (°C)	Kuvion numero
A	520 ⁺	220# sulatettu Al ₂ O ₃ ¹	1,5	775	17a
B	520.0 ⁺	kalsinoitu Al ₂ O ₃ ²	2,0	800	17b
C	7001 [#]	liuske Al ₂ O ₃ ³	10	700	17c
D	520.0 ⁺	Al ₂ O ₃ hiutaleita ⁴	10	775	17d
E	Al-10Si-5Cu ja 100# SiC	SiC kuitukiteitä ⁵ ja hiukkasia ⁶	2,5	775	17e
F	520.0 ⁺	Al ₂ O ₃ mikrokuulia ⁷	0,5	800	17f
G	Al-10,5Mg-4Zn -0,5Si-0,5Cu	Al ₂ O ₃ katkaistu kuituja ⁸ ja ⁹	20	675	17g
H	520.0 ⁺	Al ₂ O ₃ jatkuvia kuituja ⁸	25	725	17h
I	Al-12Si-6Mg-5Zn	SiC päällystetty hiili ¹⁰	10	850	17i

Huom:

- 38 Alundum, Norton Co., Worcester, MA
- C-75 RG, Alcan Chemicals, Montreal, Canada
- T-64 liuskeinen alumiinioksidi, Alcoa, Pittsburgh, PA.
- Kehityslaatua F alfa-Al₂O₃ hiutaleita, E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE.
- NIKKEI TECHNO-RESEARCH CO., LTD, Japan.
- 39 Crysotolon, Norton Co., Worcester, MA.
- Aerospheres, Ceramic Fillers Inc., Atlanta, GA.
- Fiber FP(R) alumiinioksidikuituja, E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE.
- Saffil (R) alumiinioksidikuituja, ICI Americas, Wilmington, DE.
- Thornel (R) T 300 Grade 309 ST Carbon Pitch Fibers, Amoco Performance Products, Inc., Greenville, SC.
- + ≤0,25% Si, ≤0,30% Fe, ≤0,25% Cu, ≤0,15% Mn, 9,5 - 10,6% Mg, ≤0,15% Zn, ≤0,25% Ti, loput Al
- # ≤0,35% Si, ≤0,40% Fe, 1,6 - 2,6% Cu, ≤0,20% Mn, 2,6 - 3,4% Mg, 0,18 - 0,35% Cr, 6.8 - 8,0% Zn, ≤0,20% Ti, loput Al

Esimerkki 6

Tämä esimerkki osoittaa, että menestyksellä voidaan käyttää monia täyteaineen koostumuksia metallimatriisi-komposiittikappaleiden muodostamiseksi spontaanilla tunkeutumismenetelmällä. Taulukko II sisältää yhteenvedot koeolosuhteista, joita on käytetty muodostamaan useita metallimatriisi-komposiittikappaleita, mukaanlukien erilaiset matriisimetallit, täyteaineen rakenteet, käsittelylämpötilat ja käsittelyajat.

Näytteet A - D

Näytteet A - D muodostettiin, kuten esimerkissä 5 selitettiin, käyttäen sulatettua alumiinioksiditäyteainetta ja vastaavasti hiutaleista alumiinioksiditäyteainetta. Jokainen näytteistä A - D sisältyy taulukkoon II

Näyte J (030689-DAF)

Tämä näyte muodostettiin järjestelyllä, joka on oleellisesti samanlainen kuin näytteellä C, kuten esitetään kuviossa 11. Tarkemmin ottaen grafiittikalvolaatikko, noin 102 mm pitkä, noin 102 mm leveä ja noin 76 mm korkea (tehty Grafoil (R):sta, Union Carbide Corporation:in tuote) asetettiin grafiittiastiaan. Noin 300 g magnesiumoksidijauhetta (TECO MgO, Grade 120S, C-E Minerals, Greenville, SC) asetettiin grafiittiastiaa vuoraavan grafiittikalvolaatikon pohjalle. Magnesiumoksidijauheen pinta peitettiin oleellisesti -50 mesh magnesiumjauheella (Alpha Products Inc., Morton Thiokol, Danvers, MA). Matriisimetallivalanne, joka käsitti painon mukaan alle 0,25% Si, alle 0,30% Fe, alle 0,25% Cu, alle 0,15% Mn, 9,5 - 10,6% Mg, alle 0,15% Zn, alle 0,25% Ti ja loppuosan alumiinia, ja joka mitoiltaan oli noin 114 pitkä, noin 38 mm leveä ja noin 38 mm korkea, asetettiin magnesiumoksidijauheeseen ja -50 mesh magnesiumjauheeseen grafiittikalvolaatikkoon.

Grafiittiastia sisältöineen asetettiin vastuksin kuumenttuun vuorattuun retorttiuuniin. Retorttiovi suljettiin ja huoneenlämpötilassa retorttiin muodostettiin tyhjö vähintään 762 mm Hg. Kun tyhjö oli saavutettu, retorttikammioon johdettiin typpeä määränä noin 4 l/minuutti. Vuorattu retorttiuuni kuumentettiin sitten noin 750°C lämpötilaan nopeudella noin 200°C/h typen virtauksen ollessa noin 4 l/minuutti. Noin 19 tunnin jälkeen noin 750°C:ssa typen virtauksen ollessa noin 4 l/minuutti retorttiuuni jäähdytettiin noin 650°C:seen nopeudella noin 200°C/h. Noin 650°C:ssa retorttiovi avattiin, ja grafiittiastia sisältöineen poistettiin ja saatettiin kosketukseen grafiittilevyyn metallimatriisikomposiitin ja jäljelle jääneen matriisimetallin suunnattua kiinteyttämistä varten. Huoneenlämpötilassa grafiittikalvolaatikko purettiin, ja havaittiin että oli muodostunut magnesiumoksiditäyteainetta sisältävä metallimatriisikomposiitti.

Näyte K (042089-AAI-1)

20 Kuvio 18 kaaviollisen poikkileikkauksen järjestelystä, jota käytettiin metallimatriisikomposiittinäytteen tuottamiseksi, kuten alla selitetään. Tarkemmin ottaen 1,9 mm paksusta hiiliteräksestä tehtiin teräsmuotti 190 puolisuunnikkaan muotoisella poikkileikkauksella suljetun 25 pään mittojen ollessa: pituus noin 76 mm, leveys noin 76 mm ja korkeus noin 64 mm. Teräsmuotin sisäpinta päällystettiin grafiittiseoksella 191, joka käsitti noin 1,5 tilavuusosaa etanolia (Pharmco Products, Inc., Byon NJ) ja 30 noin yhden tilavuusosan DAG-154 kolloidista grafiittia (Acheson Colloid, Port Huron, MI). Ainakin kolme kerrosta grafiittiseosta levitettiin ilmasuihkulla säiliön sisäpintaan. Grafiittiseoksen jokaisen kerroksen annettiin kuivua ennen seuraavan kerroksen levittämistä. Teräsmuotti asetettiin vastuskuumenttuun, ilma-atmosfääriuuniin, joka 35 oli säädetty noin 330°C:seen, kolloidisen grafiittipääl-

lystyksen 191 kuivaamiseksi ja sen kiinnittämiseksi teräsmuottiin 190.

Noin 1 kg osittain stabiloitua zirkoniumoksidia (HSY-3SD, 5 Zirconia Sales, Inc., Atlanta, GA) esipoltettiin alumiinioksidipuokkaassa, joka oli noin 177,8 mm korkea, ylähalkaisijan ollessa noin 159 mm ja pohjan halkaisijan ollessa noin 95 mm, noin 1 tunnin ajan noin 1350°C:ssa. Täyteaineseos 192 tehtiin sekoittamalla 4 litran muovias- 10 tiassa noin 600 g sekoitusta, joka käsitti noin 95 painoprosenttia esipoltettua ZrO_2 ja noin 5 painoprosenttia -325 mesh magnesiumjauhetta (Reede Manufacturing Company, Lake Hurst, NJ). Sekoitusta jauhettiin kuulamyllyssä noin tunnin ajan, ja sekoitettiin sitten käsin vielä noin 10 15 minuuttia.

Täyteaineen kerros 192 kaadettiin kolloidisella grafiitilla päällystetyn muotin 190 pohjalle noin 19 mm korkeudelle. Täyteaine peitettiin oleellisesti kokonaan -50 mesh Mg- 20 jauhekerroksella 193 (Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA). Matriisimetallivalanteita, jotka käsittivät noin 99,7 painoprosenttia alumiinia ja loput merkkiaineita, kokonaispainoltaan noin 537 g, asetettiin kolloidisella grafiitilla päällystetyssä teräsmuotissa 190 olevan täy- 25 teaineseoksen 192 ja magnesiumjauhekerroksen 193 päälle. 16,9 g toista matriisimetallia 195, joka käsitti noin 15 painoprosenttia piitä ja loput alumiinia, lisättiin alku- peräisen matriisimetallin 194 päälle. Muotti 194 sisältöi- neen asetettiin sitten ulompaan hiiliterässäiliöön 196, 30 joka mitoiltaan oli noin 305 mm pitkä ja noin 254 mm leveä ja noin 254 mm korkea. Grafiittikalvokappale 197 (nimeltään PF-25-H, jota myydään tuotenimellä Perma-Foil, yhtiöstä TT America, Portland, OR), mitoiltaan noin 305 mm pitkä ja noin 254 mm leveä sekä noin 0,25 mm paksu, peitti ulomman 35 hiiliterässäiliön 196 sisällä olevan ontelon pohjaa. Titaanisieniainetta 198, painoltaan noin 20 g (Chemalloy Inc., Bryn Mawr, PA), ja -50 mesh magnesiumjauhetta 193

(Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA), painoltaan noin 0,8 g, suihkutettiin ulompaan hiiliterässäiliöön 196 kolloidisella grafiitilla päällystetyn teräsmuotin 190 ympärille ja grafiittikalvolle 197. Kupariarkki 200 asetettiin ulomman terässäiliön 196 aukon päälle. Typpityhjennysputki 201 järjestettiin ulomman hiiliterässäiliön 196 sivuseinään. Ulompi terässäiliö 196 sisältöineen asetettiin vastuskuumennettuun yleiskäyttöiseen uuniin. Uunin lämpötilaa nostettiin huoneenlämpötilasta noin 10 600°C:seen nopeudella noin 400 °C/h, typen virtausmäärän ollessa noin 10 l/minuutti, sitten noin 600°C:sta noin 800°C:seen nopeudella noin 400 °C/h, typen virtausmäärän ollessa noin 2 l/minuutti. Uuni pidettiin noin 800°C:ssa noin tunnin ajan typen virtausmäärän ollessa noin 2 1/minuutti. Ulompi hiiliterässäiliö 196 sisältöineen poistettiin uunista, Kolloidisella grafiitilla päällystetty teräsmuotti 190 poistettiin ulommasta terässäiliöstä ja saatettiin koskettamaan huoneenlämpötilassa olevaa kuparijäähdytyslevyä, joka mitoiltaan oli noin 203 mm pitkä, noin 203 leveä ja noin 13 mm korkea, muodostuneen metallimatriisikomposiitin suunattua kiinteyttämistä varten.

Näyte L (042789-AX-1)

25 Näyte L tehtiin käyttäen järjestelyä, joka oli samanlainen kuin kuviossa 18 näytteen K osalta esitettiin. Puolisuunnikkaan muotoisella poikkileikkauksella oleva muotti valmistettiin samalla tavalla kuin näytteellä K, paitsi että 30 muotti poltettiin 2 tunnin ajan kolloidisen grafiittipäällystyksen asettamiseksi.

Likimain 1 kg ZrO₂:lla lujitettua Al₂O₃ (ZTA-85, Zirconia Sales, Inc., Atlanta, GA) valmistettiin samalla tavalla 35 kuin näytteen K täyteaine. Kerros täyteaineseosta kaadettiin kolloidisella grafiitilla päällystettyyn teräsmuottiin noin 19 mm korkeudelle. Täyteaine peitettiin oleel-

- lisesti kokonaan kerroksella -50 mesh magnesiumjauhetta (Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA). Matriisimetallivalanteita, jotka käsittivät noin 99,7 painoprosenttia alumiinia ja loput merkkiaineita, ja jotka painoivat
- 5 noin 386 g, magnesiumjauhekerroksen peittämän magnesiumjauhekerroksen päälle. Toinen matriisimetalli, jonka painosta noin 15% oli piitä ja loput alumiinia, ja joka painoin noin 17,11 g, asetettiin ensimmäisen matriisimetallin päälle. Kolloidisella grafiitilla päällystetty teräsmuotti
- 10 sisältöineen asetettiin ulompaan hiiliterässäiliöön, mitoiltaan noin 305 mm pitkä ja noin 254 mm leveä ja noin 254 mm korkea. Grafiittinauhatuotteen kappale PF-25-H, jota myydään tuotenimellä Perma-Foil, yhtiöstä TT America, Portland, OR), mitoiltaan noin 305 mm pitkä ja noin 254 mm
- 15 leveä sekä noin 0,25 mm paksu, peitti ulomman hiiliterässäiliön sisällä olevan ontelon pohjaa. Titaanisieniatetta, painoltaan noin 20 g (Chemalloy Inc., Bryn Mawr, PA), ja -50 mesh magnesiumjauhetta, painoltaan noin 2 g, suihkutettiin ulompaan hiiliterässäiliöön asetettujen,
- 20 kolloidisella grafiitilla päällystetyn teräsmuotin ympärille ja grafiittinauhatuotteelle. Kupariarkki asetettiin ulomman terässäiliön aukon päälle. Typpityhjennysputki järjestettiin ulomman hiiliterässäiliön sivuseinään.
- 25 Peitetty terässäiliö sisältöineen asetettiin vastuskuumennettuun yleiskäyttöiseen uuniin. Uunin lämpötilaa nostettiin huoneenlämpötilasta noin 600°C:seen nopeudella noin 400 °C/h, typen virtausmäärän ollessa noin 10 l/minuutti, sitten noin 600°C:sta noin 800°C:seen nopeudella noin 400
- 30 °C/h, typen virtausmäärän ollessa noin 2 l/minuutti. Uuni pidettiin noin 800°C:ssa noin tunnin ajan typen virtausmäärän ollessa noin 2 l/minuutti, ja jäähdytettiin sitten noin 580°C:seen. Ulompi hiiliterässäiliö sisältöineen poistettiin sitten uunista, ja kolloidisella grafiitilla
- 35 päällystetty teräsmuotti poistettiin ulommasta terässäiliöstä ja saatettiin koskettamaan huoneenlämpötilassa olevaa kuparijäähdytyslevyä, joka mitoiltaan oli noin 203

mm pitkä, noin 203 leveä ja noin 13 mm korkea, muodostuneen metallimatriisikomposiitin suunattua kiinteyttämistä varten.

5 Näyte M

Kuvio 19 kaaviollisen poikkileikkauksen järjestelystä, jota käytettiin metallimatriisikomposiittinäytteen tuottamiseksi, kuten alla selitetään. Tarkemmin ottaen järjestettiin veneen muotoinen grafiittiastia 210, jossa olevan sisätilan mitat olivat pituus noin 305 mm, leveys noin 229 mm ja korkeus noin 140 mm (ATJ-laatua Union Carbide:lta, valmistaja MGP, Inc., Womelsdorf, PA). Muodostettiin noin 203 mm pitkä, 102 mm leveä ja 76 mm syvä grafiittikalvolaatikko (Grafoil (R), Union Carbide:lta), kuten selitetään näytteellä C. Noin 1 g -50 mesh magnesiumjauhetta 211 (Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA) asetettiin laatikon 217 pohjalle. Ohut suihkepäällystys (ei esitetä kuviossa 19) grafiittisementtiä (RIGIDLOCK (TM), Polycarbon, Valencia, CA) järjestettiin grafiittikalvolaatikon 217 pohjalle magnesiumjauheen kiinnittämiseksi laatikon 217 pohjaan.

Täyteaineseosta 212 valmistettiin sekoittamalla noin 763 g sekoitusta, joka käsitti noin 98 painoprosenttia 1000 mesh piikarbidia (39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA) ja noin 2 painoprosenttia -325 mesh magnesiumjauhetta (Aesar (R), Johnson Matthey, Seabrook, NH) etanoliliitteeseen (LD-menetelmällä, jota selitettiin esimerkin 5 D-näytteellä). Tämä täyteaineen seos 212 asetettiin sitten grafiittilaatikkoon 217 magnesiumjauheen 211 päälle.

Kerros grafiittikalvoa 213 (Grafoil (R), Union Carbide:lta), joka mitoiltaan oli noin 203 mm pitkä, 102 mm leveä ja 0,38 mm paksu, ja jossa oli halkaisijaltaan noin 32 mm reikä 2214 grafiittikalvon keskellä, asetettiin grafiittiastiassa 210 olevan piikarbiditäyteaineen 212 pinnalle. Noin 1 g -50 mesh magnesiumjauhetta (Alpha

Products, Morton Thiokol, Danvers, MA) asetettiin täyteaineen 212 paljaalle pinnalle grafiittikalvossa 213 olevan reiän 214 kohdalle.

- 5 Noin 1237 g painava matriisimetallivalanne, joka käsitti 413.0-seosta (jonka nimellinen koostumus on likimain 11, 0 - 13,0% Si, alle 2,0% Fe, alle 1,0% Cu, alle 0,35% Mn, alle 1,0% Mg, alle 0,50% Ni alle 0,50% Zn, alle 0,15% Sn ja loput alumiinia), asetettiin grafiittikalvon 213 pin-
- 10 nalle, niin että seos 216 peitti grafiittikalvossa 213 olevan reiän 214.

- Astian 210 sisältöineen käsittävä reaktiojärjestelmä asetettiin vuorattuun vastuksin kuumennettavaan retortti-
- 15 uuniin. Uuniin muodostettiin tyhjä vähintään 508 mm Hg, jonka jälkeen siihen johdettiin typpikaasua virtausnopeudella noin 4,5 l/minuutti. Uunin lämpötilaa nostettiin huoneenlämpötilasta noin 775°C:seen nopeudella noin 200°C/h. Järjestelmä pidettiin noin 775°C:ssa noin 20
- 20 tunnin ajan, jonka jälkeen lämpötila laskettiin noin 760°C:seen nopeudella noin 150°C/h. Noin 760°C lämpötilassa järjestelmä poistettiin uunista ja asetettiin vedellä jäähdytetyn nopean jäähdytyksen alumiinilevyn päälle. Noin 500 ml eksotermistä kuumapäällystysainetta (Feedol (R)-9,
- 25 jota myy Foseco Inc., Brook Park, OH) ruiskutettiin järjestelyn päälle, ja keraaminen kuitupeite (CERABLANKET (TM), Manville Refractory Products) käärittiin grafiittiastian ympärille. Feedal (R)-9 -ainetta käytettiin muodostamaan lämpöä kehittävä reaktio järjestelyn päällä,
- 30 niin että pakotettiin metallimatriisikomposiitti kiinteytymään suunnatusti, kun se jäähdyi, estäen näin kutistumishuokoisuuden syntymistä metallimatriisikomposiittiin.

Näyte N (060889-DAE-4)

35

Tämä näyte muodostettiin järjestelyllä, joka oli oleellisesti samanlainen kuin se, jota selitettiin esimerkin 5

- D-näytteen osalta, ja kuten esitetään kuviossa 12. Tarkemmin ottaen kaksi ATJ-laatua olevaa grafiittilevyä, mitoiltaan noin 203 mm pitkät, 76 mm leveät ja 0,3 mm paksut, asetettiin noin 203 mm pitkän, 102 mm leveän ja 76 mm korkean
- 5 veneen muotoisen grafiittiastian sisään ontelon muodostamiseksi grafiittiastiaan, jonka ontelon mitat olivat pituus noin 203, leveys noin 50,8 mm ja korkeus noin 76 mm. Grafiittilevyjen ulkopuolella oleva osa grafiittiastiasta täytettiin 220 grit alumiinioksidilla (38 Alundum, Norton
- 10 Company). Alumiinioksidilevyjen vierellä olevaan onkaloon asetettiin mitoiltaan noin 203 mm x 50,8 mm x 76 mm oleva grafiittikalvolaatikko (Grafoil (R), Union Carbide:lta), joka muodostettiin, kuten näytteen C osalta selitettiin. Grafiittikalvolaatikon sisälle asetettiin noin 1,5 g -50
- 15 mesh magnesiumjauhetta (Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA), kiinnitetyinä grafiittikalvolaatikon pohjaan grafiittisementillä (RIGIDLOCK (TM), Polycarbon, Ltd., Valencia, CA).
- 20 Piikarbidihutale-täyteaineseos valmistettiin LD-menetelmällä, jota selitettiin esimerkin 5 D-näytteen kohdalla, jolloin noin 303 g sekoitusta, jossa oli halkaisijaltaan noin 50 mikrometriä ja paksuudeltaan noin 10 mikrometriä olevia piikarbidihutaleita 96 painoprosenttia (C-Axis
- 25 Technology, Ltd., Jonquiere, Quebec, Kanada) ja noin 4 painoprosenttia -325 mesh magnesiumjauhetta (Aesar (R), Johnson Matthey, Seabrook, NH). Tämä täyteaineseos asetettiin grafiittiastiassa olevan magnesiumkerroksen päälle. Toinen noin 1,5 g kerros -50 mesh magnesiumjauhetta (Alpha
- 30 Products, Morton Thiokol, Danvers, MA) asetettiin piikarbiditäyteaineseoksen päälle. Valanne, joka painoi noin 644 g, käsittäen 413.0 -seosta, ja jonka koostumus oli taulukon II alaosassa esitetty, asetettiin järjestelmään magnesiumkerroksen päälle.
- 35 Grafiittiastian sisältöineen käsittävä järjestelmä asetettiin vuorattuun vastuksiin kuumennettavaan retorttiuuniin.

Uuniin muodostettiin tyhjä vähintään 508 mm Hg, jonka jälkeen siihen johdettiin typpikaasua virtausnopeudella noin 4,0 l/minuutti. Uunin lämpötilaa nostettiin huoneenlämpötilasta noin 775°C:seen nopeudella noin 100°C/h.

5 Järjestelmä pidettiin noin 775°C:ssa noin 10 tunnin ajan, jonka jälkeen lämpötila laskettiin noin 760°C:seen nopeudella noin 200°C/h. Noin 760°C lämpötilassa järjestelmä poistettiin uunista ja asetettiin vedellä jäähdytetyn nopean jäähdytyksen alumiinilevyn päälle. Noin 500 ml

10 eksotermistakuumapäällystysainetta (Feedol (R)-9, jota myy Foseco Inc., Brook Park, OH) ruiskutettiin järjestelyn päälle, jakeraaminen kuitupeite (CERABLANKET (TM), Manville Refractory Products) käärittiin grafiittiastian ympärille. Feedal (R)-9 -ainetta käytettiin muodostamaan lämpöä

15 kehittävä reaktio järjestelyn päällä, niin että pakotettiin metallimatriisikomposiitti kiinteytymään suunnatusti, kun se jäähdyi, estäen näin kutistumishuokoisuuden syntymistä metallimatriisikomposiittiin.

20 Näyte O (050289DAE-3)

Tämä näyte valmistettiin näytteen M kaaviollisen järjestelyn mukaisesti, kuten kuviossa 19 esitetään. Tarkemmin ottan järjestettiin veneen muotoinen grafiittiastia, jossa

25 olevan sisätilan mitat olivat pituus 305 mm, leveys noin 229 mm ja korkeus noin 140 mm (ATJ-laatus Union Carbide:lta, valmistaja MGP, Inc., Womelsdorf, PA). Muodostettiin noin 203 mm pitkä, 102 mm leveä ja 76 mm syvä grafiittikalvolaatikko (Grafoil (R), Union Carbide:lta), kuten selitetään

30 näytteellä C. Noin 1 g -50 mesh magnesiumjauhetta (Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA) asetettiin grafiittikalvolaatikon phjalle. Ohut suihkepäällystys grafiittisementtiä (RIGIDLOCK (TM), Polycarbon, Valencia, CA) järjestettiin grafiittikalvolaatikon pohjalle magnesium-

35 jauheen kiinnittämiseksi laatikon pohjaan.

- Täyteaineseosta valmistettiin sekoittamalla noin 94 painoprosenttia titaanidiboridikiutaleita, joiden halkaisija oli noin 10 mikrometriä ja paksuus noin 2,5 mikrometriä (HTC-30, Union Carbide:lta) ja noin 6 painoprosenttia -325 mesh magnesiumjauhetta (Aesar (R), Johnson Matthey, Seabrook, NH) LD-menetelmällä, jota selitettiin esimerkin 5 D-näytteellä. Tämä täyteaineen seos kaadettiin sitten grafiittikalvolaatikossa olevan magnesiumjauheen päälle.
- 10 Kerros grafiittikalvoa 213 (Grafoil (R), Union Carbide:lta), joka mitoiltaan oli noin 203 mm pitkä, 102 mm leveä ja 0,38 mm paksu, ja jossa oli halkaisijaltaan noin 32 mm reikä grafiittikalvon keskellä, asetettiin täyteaineen päälle. Noin 1 g -50 mesh magnesiumjauhetta (Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA) asetettiin täyteaineen pinnalle grafiittikalvossa olevan reiän kautta. Noin 1498 g painava matriisimetallivalanne, joka käsitti 520 -seosta (joka käsitti paino-osuuksin alle 0,25% Si, alle 0,35% Fe, alle 0,25% Cu, alle 0,15% Mn, 9,5 - 10,6% Mg, 20 alle 0,15% Zn, alle 0,25% Ti ja loppuosan alumiinia) asetettiin grafiittikalvon päälle.
- Astia sisältöineen asetettiin huoneenlämpötilassa vuorattuun vastuksiin kuumennettavaan retorttiuuniin. Uunin ovi 25 suljettiin ja uuniin muodostettiin tyhjö vähintään 508 mm Hg, jonka jälkeen siihen johdettiin typpeä virtausnopeudella noin 4,5 l/minuutti. Vuorattua retorttiuunia kuumennettiin sitten huoneenlämpötilasta noin 775°C: 775°C:ssa een nopeudella noin 200°C/h. Noin 20 h jälkeen 775°C lämpötilassa uuni jäähdytettiin noin 760°C:seen nopeudella noin 30 150°C/h. Noin 760°C lämpötilassa retorttiovi avattiin ja grafiittiastia sisältöineen poistettiin uunista ja asetettiin huoneenlämpöisellä vedellä jäähdytetyn alumiinilevyn päälle, joka mitoiltaan oli noin 305 mm pitkä, noin 229 mm 35 leveä ja noin 51 mm paksu. Noin 500 ml eksotermista kuumapäälystysainetta (Feedol (R)-9, jota myy Foseco Inc., Brook Park, OH) ruiskutettiin järjestelyn päälle, ja

keraaminen kuitupeite (CERABLANKET (TM), Manville Refractory Products) käärittiin grafiittiastian ympärille. Kuupäällystysainetta käytettiin muodostamaan lämpöä kehittävä reaktio jäännösmatriisimetallin päällä edistämään metallimatriisikomposiitin suunnattua kiinteytymistä sen jäähtyessä, estäen näin kutistumishuokoisuuden syntymistä metallimatriisikomposiittiin.

Näyte P (9071489-DAF-1)

10

Kuvio 20 esittää kaaviollisen poikkileikkauksen järjestyistä, jota käytettiin metallimatriisi-komposiittikappaleen muodostamiseksi, kuten alla selitetään. Tarkemmin, ruostumatonta terästä oleva säiliö 230, joka mitoiltaan oli noin 152 mm pitkä, 152 mm leveä ja 191 mm syvä, vuorattiin grafiittikalvolaatikolla 231, joka mitoiltaan oli noin 152 mm pitkä, 152 mm leveä ja 191 mm syvä, ja joka oli valmistettu edellä selitettyjen esimerkkien mukaisesti. Noin 2 g -325 mesh magnesiumjauhetta 232 (Aesar (R), Johnson Matthey, Seabrook, NH) kiinnitettiin grafiittilaatikon pohjalle grafiittisementillä (RIGIDLOCK (TM), Polycarbon, Valencia, CA). Noin 500 g seos, jossa oli noin 95 painoprosenttia alumiininitridijauhetta, jonka keskimääräinen hiukkashalkaisija oli noin 3 - 6 mikrometriä (A-200 AlN, Advanced Refractory Technology, Inc., Buffalo, NY) ja noin 5 painoprosenttia -325 mesh magnesiumjauhetta (Aesar (R), Johnson Matthey, Seabrook, NH), sekoitettiin mekaanisesti neljän litran muoviastiassa ainakin noin 2 tunnin ajan tasaisen täyteaineseoksen 233 aikaansaamiseksi. Tämä täyteaineseos 233 asetettiin grafiittikalvolaatikkoon 231. Pituudeltaan noin 25 mm ja sisähalkaisijaltaan noin 51 mm oleva grafiittiputkiportti 234 asetettiin täyteaineen 233 päälle. 220 grit irtoainealumiinioksidia 235 (E-38 Alundum, Norton Co.) oleva peti kaadettiin grafiittiputkiportin 234 ulkokehän ympärille, joka oli keskitetty täyteaineen 233 päälle grafiittilaatikossa 230. Riittävästi 235 grit alumiinioksidia 235 lisättiin, niin että se oleellisesti

ympäröi grafiittiputkiportin 234. Noin 5 g -50 mesh magnesiumjauhetta 236 (Alpha Products, Morton Thiokol, Danvers, MA) asetettiin grafiittiputkiportin sisäosaan täyteaineen 233 rajapinnan peittämiseksi. Noin 1210 g
5 matriisimetalliseosta 237, jolla oli nimellinen koostumus 413.0, käsittäen paino-osuuksin noin 11, 0 - 13,0% Si, alle 2,0% Fe, alle 1,0% Cu, alle 0,35% Mn, alle 0,10% Mg, alle 0,50% Ni, alle 0,50% Zn, alle 0,15% Sn ja loput alumiinia, asetettiin reaktion osatekijöiden päälle, kuten kuviossa
10 20 esitetään.

Terässäiliön 230 sisältöineen käsittävä järjestelmä asetettiin vuorattuun vastuksiin kuumennettavaan retortti-uuniin, ja uuniin muodostettiin ainakin 508 mm Hg tyhjä,
15 jonka jälkeen siihen johdettiin typpikaasua, joka virtasi määränä noin 4,0 l/minuutti. Uunin lämpötilaa nostettiin huoneenlämpötilasta noin 200°C:seen nopeudella noin 200°C/h, pidettiin noin 200°C:ssa noin 49 tunnin ajan, nostettiin sitten noin 550°C:seen nopeudella noin 200°C/h,
20 pidettiin noin 550°C:ssa noin 1 tunnin, ja nostettiin sitten noin 775°C:seen nopeudella noin 150°C/h. Järjestelmä pidettiin noin 775°C:ssa noin 10 tunnin ajan, ja annettiin sitten jäähtyä noin 760°C:seen nopeudella noin 150°C/h. Noin 760°C lämpötilassa järjestelmä poistettiin uunista ja
25 saatettiin kuumapäällystämällä kiinteytymään suunnatus- ti. Tarkemmin sanoen järjestelmä asetettiin vedellä jäähdytetyn alumiinijäähdytyslevyn päälle, joka mitoiltaan oli noin 305 mm pitkä, noin 229 mm leveä ja noin 51 mm paksu. Noin 500 ml eksotermista kuumapäällystysainetta (Feedol
30 (R)-9, jota myy Foseco Inc., Brook Park, OH) ruiskutettiin järjestelyn päälle. Keraaminen kuitupeite (CERABLANKET, Manville Refractory Products) käärittiin ruostumatonta terästä olevan säiliön ympärille järjestelmän eristämiseksi. Kuumapäällystysainetta käytettiin muodostamaan lämpöä
35 kehittävä reaktio jäännösmatriisimetallin päällä edistämään metallimatriisikomposiitin suunnattua kiinteytymistä

sen jäähtyessä, estäen näin kutistumishuokoisuuden syntymistä metallimatriisikomposiittiin.

5 Eräiden tämän esimerkin mukaisesti muodostettujen metallimatriisi-komposiittikappaleiden mekaaniset ominaisuudet on esitetty taulukossa II. Alla esitetään selitys niistä menetelmistä, joita käytettiin mekaanisten ominaisuuksien määrittämiseksi.

10 Vetomurtolujuuden (U.T.S.) mittaaminen

Eräiden metallimatriisikomposiittien vetomurtolujuus määritettiin käyttäen ASTM #B557-84 "Standard Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum and Magnesium Products" (vakiomenetelmiä taottujen ja valettujen alumiini- ja magnesiumtuotteiden vetolujuuden koestamiseksi). Käytettiin suorakaiteen muotoisia vetolujuustestikappaleita, jotka mitoiltaan olivat noin 154 mm pitkät, 13 mm leveät ja 2,5 mm paksut. Vetolujuustestikappaleiden mitausala oli mitoiltaan noin 10 mm leveä ja noin 19 mm pitkä, ja säteet päätyleikkauksesta mittaussleikkaukseen olivat noin 76 mm. Neljä alumiinia olevaa tartuntaliuskaa, mitoiltaan noin 51 mm pitkät, noin 13 mm leveät ja noin 7,6 mm paksut, kiinnitettiin jokaisen suorakaiteen muotoisen vetolujuuden testikappaleen päätyleikkauksiin epoksilla (nimeltään Epoxy-patch (TM), Dexter Corporation of High Sol Aerospace and Industrial Products, Seabrook, NH). Suorakaiteen muotoisten vetolujuuden testikappaleiden venymä mitattiin venymäliuskoilla (350 ohm sillat) merkkiä CEA-06-375UW-350, yhtiöstä Micromasurements, Raleigh, NC. Suorakaiteen muotoiset vetolujuuden testikappaleet, mukaan lukien tartuntaliuskat, asetettiin Syntec 2269 kg kuormituskennon (Universal Testing Machine, Model No. CITS 2000/6, jota valmistaa System Integration Technology Inc., Straton, MA) leukoihin. Tietokonekäyttöinen tiedonkeruujärjestelmä liitettiin mittausyksikköön, ja venymäliuskat tallettivat testivasteet. Suorakaiteen muotoisten testi-

kappaleiden muotoa muutettiin vakionopeudella 1 mm/minuutti murtumiseen saakka. Suurin jännitys, suurin venymä ja murtovenymä laskettiin näytteen geometrian talletettujen vasteiden perusteella ja tietokoneeseen talletetuilla ohjelmilla.

Kimmomoduulin mittaaminen resonanssimenetelmällä

Metallimatriisikomposiittien kimmomoduuli määritettiin
10 ääniresonanssimenetelmällä, joka on oleellisesti sama kuin ASTM-menetelmä C848-88. Tarkemmin sanoen komposiittinäyte, joka mitoiltaan oli noin 45 - 55 mm pitkä, noin 6 mm leveä ja noin 4,8 mm paksu, asetettiin kahden muuntimen väliin, jotka oli eristetty huoneen värähtelyistä graniittikiveä
15 kannattavalla ilmapöydällä. Toista muunninta käytettiin taajuuksien aikaansaamiseen komposiittinäytteeseen, ja toista käytettiin metallimatriisikomposiitin taajuusvas- teen valvomiseen. Pyyhkimällä taajuuksien läpi, valvomalla ja tallettamalla vastetasot jokaisella taajuudella, sekä
20 merkitsemällä muistiin resonanssitaajuus, määritettiin kimmomoduuli.

Metallimatriisiaineen murtolujuuden mittaus käyttäen lo-
vettua näytettä

25 Munz, Shannon, Bubsey:n menetelmää käytettiin metallimat- riisiaineiden murtolujuuden määrittämiseksi. Murtolujuus laskettiin lovetun näytteen maksimikuormasta nelipiste- kuormituksella. Tarkemmin sanoen lovetun näytteen mitat
30 olivat: pituus noin 45 - 55 mm, leveys noin 4,8 mm ja korkeus noin 6 mm. Lovi leikattiin timanttisahalla, niin että saataisiin halkeama etenemään näytteen läpi. Lovetut näytteet, joiden lovien kärki osoitti alaspäin, asetettiin kiinnityksiin Universal-koestuskoneeseen. Lovetun näyt-
35 teen lovi asetettiin kahden 40 mm toisistaan olevan tapin väliin ja likimain 20 mm kummastakin tapista. Lovetun näytteen yläpuolta vastaan asetettiin kaksi 20 mm etäisyy-

dellä toisistaan olevaa tappia noin 10 mm lovesta. Maksimikuorman mittaukset tehtiin laitteella Sintec Model CITS-2000/6 Universal Testing Machine, jota valmistaa System Integration Technology Inc., Straton, MA. Kiinnityspään nopeutena käytettiin 0,58 mm/s. Universal koestuskoneen kuormituskenno liitettiin tietokonekäyttöiseen tiedonkeruujärjestelmään. Lovetun näytteen geometriaa ja suurinta kuormaa käytettiin aineen murtolujuuden laskemiseksi. Käytettiin useita näytteitä annetun aineen keskimääräisen murtolujuuden määrittämiseksi.

Kvantitatiivinen kuva-analyysi (QIA)

Täyteaineen tilavuusosuus, matriisimetallin tilavuusosuus, ja huokoisuuden tilavuusosuus määritettiin kvantitatiivisella kuva-analyysillä. Edustava näyte komposiittiainetta kiinnitettiin ja kiillotettiin. Kiillotettu näyte asetettiin objektipöydälle optiseen Nikon Microphoto-FX mikroskooppiin, jossa yläaukkoon oli kiinnitetty DAGE-MTI Series 68 videokamera, valmistettu Michigan City:ssä, IN. Videokameran signaali johdettiin järjestelmään Model DV-4400 Scientific Optical Analysis System, jonka oli valmistanut Lamont Scientific, State College, PA. Sopivalla suurennoksella optisella mikroskoopilla saatiin mikrostruktuurista kymmenen videokuvaa, jotka talletettiin Lamont Scientific Optical Analysis System-järjestelmään. Videokuvat, jotka saatiin 50 - 100 -kertaisella, eräissä tapauksissa 200-kertaisella suurennuksella, käsiteltiin digitaalisesti valaistuksen tasoittamiseksi. Tasaisella valaistuksella varustetuissa videokuvissa määrätyt värin ja harmaatason intensiteettialueet liitettiin määrättyihin mikrorakenteen ominaisuuksiin, määrättyihin täyteaineisiin, matriisimetalliin tai huokoisuuteen, jne. Värin ja intensiteetin oikean määrittämisen varmistamiseksi tehtiin vertailu ominaisuustiedoin varustetun videokuvan ja alkuperäisen videokuvan välillä. Jos poikkeavuuksia havaittiin, niin ominaisuustiedoin varustettuihin video-

kuviin tehtiin korjaukset manuaalisella digitointikynällä ja digitointipöydällä. Edustavat videokuvat ominaisuustiedoin analysoitiin automaattisesti tietokoneen ohjelmistolla, joka sisältyi Lamont Scientific Optical Analysis System-järjestelmään, niin että saatiin täyteaineen alan osuus, matriisimetallin alan osuus ja huokoisuuden alan osuus, jotka oleellisesti vastaavat tilavuusprosentteja.

Sen jälkeen kun edellä käsiteltyt näytteet olivat jäähtyneet huoneenlämpötilaan, leikattiin jokainen halki jotta voitaisiin määrittää, oliko metallimatriisi-komposiittikappale muodostunut. Kaikissa näytteissä A - C ja J - P tässä esimerkissä havaittiin muodostuvan alumiinimetallimatriisikomposiitteja. Täsmällisemmin on kuvio 17a mikrovalokuva 50-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä A; kuvio 17b on mikrovalokuva 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä B; kuvio 17c on mikrovalokuva 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä C; kuvio 21a on mikrovalokuva 100-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä J; kuvio 21b on mikrovalokuva 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä N; kuvio 21c on mikrovalokuva 1000-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä O.

Jokaisessa edellä mainitussa kuviossa matriisimetalli osoitetaan viitenumerolla 170 ja täyteaine viitenumerolla 171. Taulukossa II on lisäksi lueteltu näytteiden mekaanisia ominaisuuksia.

30

35

Taulukko II

Näyte	Matriisi- metalli	Täyte aine	Käsittely-		Mekaaniset ominaisuudet				Täyteaine- tilavuus (%)
			aika (h)	l-tila (°C)	U.T.S. (MPa)	Kimmo- raja (MPa)	Murto- venymä (%)	Kimmo- moduuli (GPa)	Veto- lujuus (MPa x m ^{1/2})
A	520 ⁺	500 [#] sula- tettu Al ₂ O ₃ ¹	1,5	775	--	--	--	--	41
B	520 ⁺	kalsinoitu Al ₂ O ₃ ²	2,0	800	--	--	--	--	36
C	7001 [#]	liuske Al ₂ O ₃ ³	10	700	256(5)	--	0,164	176	13,04
D	520.0 ⁺	Al ₂ O ₃ hiutaleita ⁴	10	775	453±28(6)	181±12(6)	0,641	128	20 - 30
J	520.0 ⁺	MgO ¹¹	19	750	--	--	--	--	--
K	170.1 ⁺⁺	ZrO ₂ ¹² & Al-15Si	1	800	--	--	--	--	--
Huom:									
1	38 Alundum, Norton Co., Worcester, MA								
2	C-75 RG, Alcan, Montreal, Canada								
3	T-64 liuskeinen alumiinioksid, Alcoa, Pittsburgh, PA.								
4	Kehityslaatua F alfa-Al ₂ O ₃ hiutaleita, E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE.								
11	TECO MgO, laatu 120S, C-E Minerals, Greenville, TN.								
12	HSY-3SD, Zirconia Sales Inc., Atlanta, GA								
+	≤0,25% Si, ≤0,30% Fe, ≤0,25% Cu, ≤0,15% Mn, 9,5 - 10,6% Mg, ≤0,15% Zn, ≤0,25% Ti, loput Al								
#	≤0,35% Si, ≤0,40% Fe, 1,6 - 2,6% Cu, ≤0,20% Mn, 2,6 - 3,4% Mg, 0,18 - 0,35% Cr, 6.8 - 8.0% Zn, ≤0,20% Ti, loput Al								
E	11,0 - 13,0% Si, ≤2,0% Fe, ≤1,0% Cu, ≤0,35% Mn, ≤0,10% Mg, ≤0,50% Ni, ≤0,50% Zn, ≤0,15% Sn, ja loput Al								
++	99,7% Al ja loput jälkiaineita.								

Taulukko II Sivun 2

Näyte	Matriisi- metalli	Täyte aine	Käsittely-		U.T.S. (MPa)	Kimmo- raja (MPa)	Mekaaniset ominaisuudet		
			aika (h)	(°C)			Murto- venymä (%)	Kimmo- moduuli (GPa)	Veto- lujuus (MPa x m ^{1/2})
L	520 ⁺	ZrO ₂ luji-	1	800	--	--	--	--	--
		&Al-15Si tettu Al ₂ O ₃ ¹³							
M	Al-12Si	SiC	20	775	265±40(6)	62±9(6)	0,392	136	12,7±0,5(7)
		hiukkasia ¹⁴							
N	Al-12Si	SiC	10	775	156±22(6)	82±18(6)	0,116	146	46
		hiutaleita ¹⁵							
O	520.0 ⁺	TiB ₂	20	775	461±36(10)	143±9(10)	0,754	135	19,1±0,9(9) 48
		hiutaleita ¹⁶							
P	413.0 ^f	AlN ¹⁷	10	775	--	--	--	--	--
13	ZTA-85,	Zirconia Sales Inc., Atlanta, GA							
14	-1000#	39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA							
15	C-Axis	Technology Ltd, Jonquiere, Quebec, Kanada							
16	HTC-30,	Union Carbide							
17	A-200,	Advanced Refractory Technologies, Inc., Buffalo, NY							
+	±0,25% Si,	±0,30% Fe, ±0,25% Cu, ±0,15% Mn, 9,5 - 10,6% Mg, ±0,15% Zn, ±0,25% Ti, loput Al							
f	11,0 - 13,0% Si,	±2,0% Fe, ±1,0% Cu, ±0,35% Mn, ±0,10% Mg, ±0,50% Ni, ±0,50% Zn, ±0,15% Sn, ja loput Al							

Esimerkki 7

Tämä esimerkki osoittaa, että menestyksellä voidaan käyttää monia piikarbidia olevia täyteaineita metallimatriisi-komposiittikappaleiden muodostamiseksi spontaanilla tunkeutumismenetelmällä. Voidaan lisäksi aikaansaada vaihtelevia täyteaineen osuuksia, riippuen täyteaineen koosta ja/tai käytetyistä prosessiolosuhteista. Taulukko III sisältää yhteenvedot koeolosuhteista, joita on käytetty muodostamaan tämän esimerkin metallimatriisi-komposiittikappaleita, mukaanlukien erilaiset matriisimetallit, täyteaineen rakenteet, käsittelylämpötilat ja käsittelyajat.

Näytteet Q - AH

Nämä näytteet muodostettiin tavalla, joka oleellisesti on samanlainen kuin esimerkissä 5 näytteen C osalta, ja kuten esitetään kaaviollisessa poikkileikkauksessa kuviossa 11, paitsi ettei magnesiumjauhetta asetettu grafiittikalvolaahtikon pohjalle ennen täyteaineen lisäämistä.

Esimerkki AI - AJ

Nämä näytteet muodostettiin tavalla, joka oleellisesti on samanlainen kuin esimerkissä 5 näytteen K osalta, ja kuten esitetään kaaviollisessa poikkileikkauksessa kuviossa 18.

Sen jälkeen kun edellä käsiteltyt näytteet olivat jäähtyneet huoneenlämpötilaan, leikattiin jokainen halki jotta voitaisiin määrittää, oliko metallimatriisi-komposiittikappale muodostunut. Kaikissa näytteissä Q - AJ tässä esimerkissä havaittiin muodostuvan alumiinimetallimatriisikomposiitteja. Kuvio 22a on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä Q; kuvio 22b on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä R; kuvio 22c on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä S; kuvio 22d on mikrova-

lokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä T; kuvio 22e on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä U; kuvio 22f on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä V; kuvio 22g on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä W; kuvio 22h on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä X; kuvio 22i on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä Y; kuvio 22j on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä AC; kuvio 22k on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä AD; kuvio 22l on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä AE; kuvio 22m on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä AF; kuvio 22n on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä AG; kuvio 22o mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä AH. Jokaisessa edellä mainitussa kuviossa matriisimetalli osoitetaan viitenumerolla 170 ja täyteaine viitenumerolla 171.

Näytteiden mekaaniset ominaisuudet mitattiin vakiokoestusmenetelmin, kuten aikaisemmin selitettiin, ja näytteiden mekaaniset ominaisuudet on esitetty taulukossa III.

Taulukko III

Näyte	Matriisi- metalli	Täyte aine	Käsittely- aika l-tila (h)	Mekaaniset ominaisuudet				Tiheys 10^{-6} (g/cm ³)	Täyteaine- tilavuus (%)
				Murto- aika U.T.S. (MPa)	Kimmo- venymä (%)	CTE ^c /°C ($\times 10^{-6}$)	Murto- lujuus (MPa $\times m^{1/2}$)		
Q	Al-12Si-2Mg	220# SiC ⁶	15	750	145(6) ^d	0,133	164	12,2	2,87
R	Al-12Si-2Mg	(75% 220#, 15% 800#)SiC ⁶	15	750	182(6)	0,161	165	11,4	2,84
S	Al-12Si-2Mg	(85% 220#, 15% 800#)SiC ⁶	15	750	160(5)	0,133	183	11,4	2,89
T	336.0 [*]	220# SiC ⁶	15	750	155(4)	0,110	198	10,6	2,91
U	336.0 [*]	(75% 220#, 15% 800#)SiC ⁶	15	750	143(5)	0,094	185	9,5	2,92
V	336.0 [*]	(85% 220#, 15% 800#)SiC ⁶	15	750	176(5)	0,135	195	10,4	2,91
W	390.2 ^e	220# SiC ⁶	15	750	86(6)	0,055	190	10,0	2,95
X	390.2 ^e	(75% 220#, 15% 800#)SiC ⁶	15	750	138(6)	0,078	219	9,7	2,93
Y	390.2 ^e	(85% 220#, 15% 800#)SiC ⁶	15	750	169(5)	0,098	197	9,8	2,91
Z	413.0 ^f	220# SiC ⁶	15	750	182(5)	0,184	174	11,3	2,89

Huom:

- 6 39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA
- c C.T.E. keskiarvo välillä 20 - 500°C, laitteella Model DI-24 Dilometer, Adamel Lhomargy, Ranska
- d Numerot suluissa osoittavat testattujen näytteiden lukumäärän
- * 11,0 - 13,0% Si, $\leq 1,2\%$ Fe, 0,5 - 1,5% Cu, $\leq 0,35\%$ Mn, 0,7 - 1,3% Mg, 2,0 - 3,0% Ni, $\leq 0,35\%$ Zn, $\leq 0,25\%$ Ti, loput alumiinia
- & 16,0 - 18,0% Si, 0,6 - 1,0% Fe, 4,0 - 5,0% Cu, $\leq 0,10\%$ Mn, 0,5 - 0,65% Mg, $\leq 0,10\%$ Zn, $\leq 0,20\%$ Ti, loput alumiinia
- f 11,0 - 13,0% Si, $\leq 2,0\%$ Fe, $\leq 1,0\%$ Cu, $\leq 0,35\%$ Mn, $\leq 0,10\%$ Mg, $\leq 0,50\%$ Ni, $\leq 0,50\%$ Zn, $\leq 0,25\%$ Sn, loput alumiinia

Taulukko III sivu 2

Näyte	Matriisi- metalli	Täyte- aine	Käsittely- aika l-tila		Murto- venymä (%)	Mekaaniset ominaisuudet		Murto- lujuus (MPa x m ^{1/2})	Tiheys tilavuus (g/cm ³) (%)	Täyteaine- tilavuus
			(h)	(°C)		CTE ^c (x10 ⁻⁶)	Kimmo- moduuli (GPa)			
AA	413.0 ^f	(85% 220#, 15% 800#)SiC ⁶	15	750	178(5)	0,149	175	11,2	9,99(9)	2,90 --
AB	413.0 ^f	(75% 220#, 25% 800#)SiC ⁶	15	750	230(5)	0,228	209	10,8	10,41(5)	2,89 --
AC	Al-12Si-5Zn	220# SiC ⁶	15	750	203(5)	0,165	160	13,4	9,63(5)	2,96 54
AD	Al-12Si-5Cu	(85% 220#, 15% 800#)SiC ⁶	15	750	201(6)	0,135	177	11,9	10,51(5)	2,95 57
AE	Al-12Si-5Cu	(75% 220#, 5% 800#)SiC ⁶	15	750	232(6)	0,163	176	11,7	10,38(6)	3,02 57
AF	Al-12Si-2Mg	SiC-seos ¹⁸	15	750	122(4)	0,087	190	10,2	8,76(6)	3,06 67
AG	413.0 ^f	SiC-seos ¹⁸	15	750	148(5)	0,096	210	10,2	10,18(6)	2,90 65
AH	336.2 [*]	SiC-seos ¹⁸	15	750	123(5)	0,079	188	8,7	7,52(6)	2,95 65
AI	Al-15Si	SiC-seos ¹⁸	1,5	800	--	--	--	--	--	72
AJ	Al-15Si	SiC-seos ¹⁸	1,5	800	--	--	--	--	--	71

Huom

- 6 39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA
- 18 55% 54# SiC, 20% 90# SiC, 15% 180# SiC₂ ja 10% 500# SiC, 39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA
- c C.T.E. keskiarvo välillä 20 - 500°C, laitteella Model DI-24 Dilatometer, Adamel Lhomargy, Ranska
- d Numerot suluissa osoittavat testattujen näytteiden lukumäärän
- * 11,0 - 13,0% Si, ≤1,2% Fe, 0,5 - 1,5% Cu, ≤3,5% Mn, 0,7 - 1,3% Mg, 2,0 - 3,0% Ni, ≤0,35% Zn, ≤0,25% Ti, loput alumiinia
- f 11,0 - 13,0% Si, ≤2,0% Fe, ≤1,0% Cu, ≤0,35% Mn, ≤0,10% Mg, ≤0,50% Ni, ≤0,50% Zn, ≤0,25% Sn, loput alumiinia

Esimerkki 8

Tämä esimerkki osoittaa, että metallimatriisi-komposiittikappaleita voidaan muodostaa monilla eri käsittelyajoilla. Täsmällisemmin sanoen voidaan halutusta tuloksesta riippuen muunnella sitä aikaa, jolloin matriisimetalli spontaanisti tunkeutuu täyteaineeseen tunkeutumisatmosfääriin ja tunkeutumisen edistäjän tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjän läsnäollessa. Taulukko IV sisältää yhteenvedot koeolosuhteista, joita on käytetty muodostamaan tämän esimerkin metallimatriisi-komposiittikappaleita erilaisilla käsittelyajoilla, mukaanlukien erilaiset matriisimetallit, täyteaineet ja käsittelyolosuhteet.

15 Näytteet AL - AN

Nämä näytteet muodostettiin tavalla, joka oleellisesti on samanlainen kuin esimerkissä 5 näytteen C osalta, ja kuten esitetään kaaviollisessa poikkileikkauksessa kuviossa 11, paitsi että grafiittiastia päällystettiin kolloidisella grafiitilla (DAG-154, yhtiöltä Acheson Colloid, Port Huron, MI) sen sijaan että se olisi vuorattu grafiittikalvolauatikolla. Järjestelmä kuumennettiin huoneenlämpötilasta noin 350°C:seen nopeudella noin 200°C/h, pidettiin noin 350°C:ssa noin 7 tunnin ajan, kuumennettiin sitten noin 550°C:seen nopeudella noin 200°C/h, pidettiin noin 550:ssa noin tunnin ajan, kuumennettiin sitten noin 750°C:seen nopeudella noin 150°C/h, pidettiin noin 750°C:ssa taulukon IV osoittamat ajat. Lisäksi, kun reaktiojärjestelmä poistettiin uunista, muodostettu komposiitti asetettiin vesijäähdytteiselle nopean jäähdytyksen alumiinilevylle komposiitin suunnattua kiinteyttämistä varten.

Taulukko IV

Näyte	Matriisi- metalli	Täyte aine	Käsittely- aika (h)	l-tila (°C)
AL	520 ⁺	-325 Al ₂ O ₃ ³	2	775
AM	520 ⁺	-325 Al ₂ O ₃ ³	4	775
AN	520 ⁺	-325 Al ₂ O ₃ ³	8	775

Huom:

- 3 T-64 liuskeinen alumiinioksidi, Alcoa, Pittsburgh, PA.
 + ≤0,25% Si, ≤0,30% Fe, ≤0,25% Cu, ≤0,15% Mn, 9,5 - 10,6% Mg, ≤0,15% Zn, ≤0,25% Ti, loput Al

Esimerkki 9

Tämä esimerkki osoittaa, että metallimatriisi-komposiittikappaleiden mekaanisia ominaisuuksia voidaan muuttaa suunnatulla kiinteyttämisellä ja/tai jälkilämpökäsittelyllä. Taulukko V sisältää yhteenvedot koeolosuhteista, joita on käytetty muodostamaan useita metallimatriisi-komposiittikappaleita ja muodostuneilla metallimatriisi-komposiittikappaleilla saatuja mekaanisia ominaisuuksia.

Näytteet C, AO - AS

Nämä näytteet muodostettiin samalla tavalla kuin selitettiin esimerkin 5 näytteen C osalta, ja kuvion 11 mukaisella kaaviollisella poikkileikkauksella. Näytteet AQ - AS käsiteltiin T-6 lämpökäsittelyllä, kuten alla selitetään.

T-6 lämpökäsittely

Komposiitit asetettiin ruostumatonta terästä olevaan lanakoriin, joka sitten asetettiin vastuksiin kuumennettuun ilma-atmosfääriuuniin, joka oli säädetty noin 500°C lämpötilaan. Komposiitteja kuumennettiin noin tunnin ajan noin 500°C:ssa, jonka jälkeen ne poistettiin uunista ja jäähdytettiin nopeasti huoneenlämpötilassa olevassa vesikylvyssä. Jotta erkautuminen voisi tapahtua, komposiitit vanhennettiin joko keinotekoisesti 160°C lämpötilassa 10 tunnin ajan tai luonnollisesti huoneenlämpötilassa noin viikon ajan.

Näytteet AT - AY

Nämä näytteet muodostettiin tavalla, joka on oleellisesti samanlainen kuin näytteellä C, esimerkissä 5 näytteen C osalta, paitsi että 1) magnesiumia ei asetettu käytetyn grafiittikalvolaatikon pohjalle, ja 2) rektiojärjestelmää pidettiin noin 750°C:ssa noin 15 tuntia. Näytteet AW - AY

käsiteltiin T4-lämpökäsittelyllä, kuten selitettiin simerkin 5 näytteen E kohdalla.

Sen jälkeen kun edellä käsiteltyt näytteet olivat jäähtyneet huoneenlämpötilaan, leikattiin jokainen halki muodostuneen metallimatriisi-komposiittikappaleen esittämiseksi. Täsmällisemmin kuvio 17c on mikrovalokuva 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä C; Kuvio 23a on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä AO; kuvio 23b on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä AP; kuvio 23c on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä AQ; kuvio 23d on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä AR; kuvio 23e on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä AS; kuvio 23f on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä AT; kuvio 23g on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä AU; kuvio 23h on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä AV. Jokaisessa edellä mainitussa kuviossa matriisimetalli osoitetaan viitenumerolla 170 ja täyteaine viitenumerolla 171.

25

30

35

Taulukko V

Näyte	Matriisi- metalli	Täyte aine	Mekaaniset ominaisuudet		Murto- venymä (%)	Kimmo- moduuli (GPa)	CTE ^c /°C (x10 ⁻⁶)	Murto- lujuus (MPa x m ^{1/2})	Tiheystilavuus (g/cm ³) (%)	Täyteaine- tilavuus
			Lämpö- käsittely	U.T.S. (MPa)						
C	70001#	-60# AS ₂ O ₃ ³ Ei		256(5) ^d	0,164	176	--	13,0(4)	3,34	57
AO	70001#	-100# AS ₂ O ₃ ³ Ei		280(5)	0,177	176	--	13,3(4)	3,37	59
AP	70001#	-325# AS ₂ O ₃ ³ Ei		300(5) ^d	0,263	149	--	17,5(7)	3,39	54
AQ	70001#	-60# AS ₂ O ₃ ³ T6		238(6)	0,169	172	11,4	12,3(6)	3,37	60
AR	70001#	-100# AS ₂ O ₃ ³ T6		300(6)	0,168	190	11,3	12,5(6)	3,45	59
AS	70001#	-325# AS ₂ O ₃ ³ T6	--	--	--	--	13,6	15,8(6)	3,36	59
AT	520.0 ⁺	-60# AS ₂ O ₃ ³ Ei		242(5)	0,169	177	14,5	12,1(6)	3,11	58
AU	520.0 ⁺	-100# AS ₂ O ₃ ³ Ei		285(3)	0,201	175	14,0	13,3(4)	3,03	56
AV	520.0 ⁺	-325# AS ₂ O ₃ ³ Ei		442(3)	0,637	140	17,7	18,2(4)	3,12	57
AW	520.0 ⁺	-60# AS ₂ O ₃ ³ T4		286(2) ^d	0,185	228	--	14,0(4)	3,24	--
AX	520.0 ⁺	-100# AS ₂ O ₃ ³ T4		318(3)	0,236	179	--	13,9(4)	3,20	--
AY	520.0 ⁺	-325# AS ₂ O ₃ ³ T4		460(5)	0,671	148	--	18,1(4)	3,14	--

Huom:

- c C.T.E. keskiarvo välillä 20 - 500°C, laitteella Model DI-24 Dilatometer, Adamel Lhomargy, Ranska
- d Numerot suluissa osoittavat testattujen näytteiden lukumäärän
- 3 T-64 liuskeinen alumiinioksidi, Alcoa, Pittsburgh, PA.
- + ≤0,25% Si, ≤0,30% Fe, ≤0,25% Cu, ≤0,15% Mn, 9,5 - 10,6% Mg, ≤0,15% Zn, ≤0,25% Ti, loput Al
- # ≤0,35% Si, ≤0,40% Fe, 1,6 - 2,6% Cu, ≤0,20% Mn, 2,6 - 3,4% Mg, 0,18 - 0,35% Cr, 6.8 - 8.0% Zn, ≤0,20% Ti, loput Al

Esimerkki 10

Tämä esimerkki osoittaa, että voidaan muunnella typen pitoisuutta metallimatriisi-komposiittikappaleessa, joka on muodostettu spontaanilla tunkeutumisella. Tarkemmin sanoen, riippuen matriisimetallin, täyteaineen, tunkeutumisatmosfäärin ja tunkeutumisen edistäjän tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjän yhdistelmästä, ja prosessiolosuhteista, voidaan muodostuneen metallimatriisi-komposiittikappaleen typpipitoisuutta räätälöidä. Taulukko VI sisältää yhteenvedon koeolosuhteista, joita on käytetty muodostamaan tämän esimerkin metallimatriisi-komposiittikappaleita, mukaanlukien matriisimetallit, täyteaineet, käsittelylämpötilat ja käsittelyajat, sekä kunkin muodostetun metallimatriisi-komposiittikappaleen typpipitoisuuden.

Näytteet AZ - BB

Nämä näytteet muodostettiin tavalla, joka oleellisesti on samanlainen kuin esimerkissä 5 näytteen C osalta, ja kuten esitetään kaaviollisessa poikkileikkauksessa kuviossa 14.

Näyte BC

Tämä näyte muodostettiin tavalla, joka oleellisesti on samanlainen kuin esimerkissä 5 näytteen C osalta, ja kuten esitetään kaaviollisessa poikkileikkauksessa kuviossa 10.

Näyte BD

Tämä näyte muodostettiin tavalla, joka oleellisesti on samanlainen kuin esimerkissä 6 näytteen K osalta, ja kuten esitetään kaaviollisessa poikkileikkauksessa kuviossa 18, paitsi että teräsmuotin sisäosa päällystettiin suihkuttamalla grafiittiainetta (Dylon grade AE, Dylon Industries, Inc., Berea, OH) ja poltettiin noin 260°C:ssa noin tunnin

ajan, sen sijasta että teräsmuotti olisi vuorattu grafiittikalvolaatikolla.

Näyte BE

5

Tämä näyte oli tarkistusnäyte, jota käytettiin määrittämään alumiiniseoksen typpipitoisuutta alumiiniseoksessa, joka ei sisällä täyteainetta. Tarkemmin sanoen sisäosat teräsmuotissa, joka oli oleellisesti samanlainen kuin näytteellä BD käytetty, päällystettiin grafiittiaineella (Dylon grade AE, Dylon Industries, Inc., Berea, OH). Alumiiniseosta 520.0 asetettiin sitten teräsmuottiin, ja reaktiojärjestelmä kuumennettiin taulukon IV esittämällä tavalla.

10

15

20

25

30

35

Sen jälkeen kun edellä käsitellyt näytteet olivat jäähtyneet huoneenlämpötilaan, määritettiin komposiittikappaleiden typpipitoisuus. Tarkemmin sanoen metallimatriisikomposiittien typpipitoisuus mitattiin ASTM-menetelmällä E 1019-87A "Determination of Carbon, Sulphur, Nitrogen, Oxygen and Hydrogen in Steels and in Iron, Nickel and Cobalt Alloys". Tässä menetelmässä käytetään inertti kaasu-sulamis-lämmönjohtavuutta typpipitoisuuden mittaamiseksi. Täsmällisemmin, näyte asetettiin pieneen grafiittiupokkaan ja sen annettiin yhtyä joko kupariin tai nikkeliin virtaavassa helium-atmosfäärissä vähintään 1900°C:ssa. Näytteessä oleva typpi erkani molekyyli muodossa ja erotettiin muista molekyyliaineista (esim. vedystä ja hiili-monoksidista), ja typpi-heliumkaasuseoksen lämmönjohtavuus mitattiin. Tämä testi suoritettiin kaupallisella Leco TC436 happi-typpi-analyysilaitteistolla, joka on suunniteltu automaattiseen käyttöön ja kalibroitu tunnetun typpipitoisuuden mittausstandardeilla (NIST vakio vertailuaine 736, jonka N₂-pitoisuus on 0,037% ja AlN, jonka N₂-pitoisuus on 32,6%).

Taulukko VI

Näyte	Matriisi- metalli	Täyte aine	Käsittely- aika (h)	1-tila (°C)	Typi (paino-%)
AZ	Al-2Mg	500# Al ₂ O ₃ ¹	4	1000	11,195
BA	Al-6Mg	220# Al ₂ O ₃ ¹	4	900	0,895
BB	Al-10,5Mg	220# Al ₂ O ₃ ¹	4	800	0,43
BC	Al-15Si	1000# SiC ⁶	2,5	800	0,277
BD	520.0 ⁺	500# Al ₂ O ₃ ¹	1	800	1,23
BE	520.0 ⁺	Ei	1	800	0,0011

Huom:

- 1 38 Alundum, Norton Co., Worcester, MA
 6 39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA
 + ≤0,25% Si, ≤0,30% Fe, ≤0,25% Cu, ≤0,15% Mn, 9,5 - 10,6% Mg, ≤0,15% Zn, ≤0,25% Ti, loput Al

Esimerkki 11

Tämä esimerkki osoittaa, että muodostuneen metallimatriisi-komposiittikappaleen kulutuskestävyyttä voidaan muunnella, riippuen käytetystä alumiinioksiditäyteaineesta. Käytettiin tarkemmin ottaen erilaisia alumiinioksiditäyteaineita yhdistelmänä matriisimetallin, tunkeutumisatmosfäärin ja tunkeutumisen edistäjän tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjän kanssa esillä olevan esimerkin metallimatriisi-komposiittikappaleiden muodostamiseksi spontaanilla tunkeutumisella. Taulukko VII sisältää yhteenvedon matriisimetallin, täyteaineen, prosessiolosuhteiden ja tässä esimerkissä muodostettujen metallimatriisi-komposiittikappaleiden kulumisnopeuden osalta, samoin kuin käsittelemättömän metallin (näyte BL) kulumisnopeuden osalta.

Näytteet A, BF, BG

Nämä näytteet muodostettiin oleellisesti samalla tavalla kuin selitettiin esimerkin 5 näytteen A osalta, ja kuten esitetään kuviossa 9.

Näytteet BH - BK, B

Nämä näytteet muodostettiin oleellisesti samalla tavalla kuin selitettiin esimerkin 5 näytteen B osalta, ja kuten esitetään kuviossa 10.

Näyte BL

Tämä näyte oli vertaileva tarkistusnäyte, jossa 520.0 alumiiniseosta käytettiin kulutustestissä, kuten alla selitetään.

Lueteltujen näytteiden kulutustestaus toteutettiin menetelmällä Sliding Abrasion Test (liukuva hankaustesti), joka

on muunnos testistä ASTM G75-82 "Slurry Abrasively by Miller Number Test", ja joka sisältyy ASTM Standard Volume 3.02:een. Tällä muunnetulla testillä määritetään va-
kiolietteellä koeaineiden kulumisen nopeus. Tämän tyyppi-
5 nen liukuvan lietteen hankaustesti on suosittu lietepump-
pujen valmistajien keskuudessa, ja sitä käytetään ehdolla
olevien aineiden arvioimiseksi, joita harkitaan lietepump-
pujen sovellutuksiin.

10 (a) Testilaitteisto

Testilaitteisto käsittää neljä mekaanista vartta, joihin
jokaiseen on asennettu kulutuskappaleet. Mekaaniset varret
on vapaasti nivelletty ristipäähän, joka on kytketty
15 kampeen, jota puolestaan pyöritetään 48 kierrosta minuut-
tissa sopivasti liittyvällä tangolla ja moottorilla. Tällä
mekanismilla aikaansaadaan kulutusvarsille vaakasuora,
edestakainen noin 203 mm harmoninen liike. Jokaista
mekaanista vartta kuormitetaan noin 2,3 kg painolla
20 välittömästi kulutuskappaleen kohdalla. Nokka on järestit-
ty hetkellisesti nostamaan jokaista mekaanista vartta ja
siten kulutuskappaletta irti kumilaikalta joka jakson
lopussa. Muovikaukaloita, mitoiltaan noin 381 mm pitkät,
noin 76 leveät ja noin 51 mm korkeat, käytetään hiomis-
25 lietteen säilyttämiseksi, ja jokaisella mekaanisella var-
rella on erillinen kaukalo. Noin 3,2 mm paksu neopreeniku-
mia oleva laikka on asennettu jokaisen kaukalon pohjalle.
Muokattua elastomeeria käytetään pitämään kumilaikkaa
paikallaan kaukalon pohjalla ja muodostamaan V-muotoisen
30 kaukalon pitkin kulutuskappaleen liikematkaa. Jakson nok-
kalopussa oleva 45° kallistus aiheuttaa lietteen aallon
eli paluuvirtaaman nostetun kulutuskappaleen alle. Kulu-
tuskappaleen pidikkeet, mitoiltaan noin 52 mm pitkät, 51
mm leveät ja noin 13 mm paksut, koneistettiin muovista niin
35 että niissä oli aukko kulutuskappaletta varten sekä rako,
jolla kulutuskappale voitiin kiinnittää kiristyspultilla
pidikkeen läpi. Kulutuskappaleen pidike asennetaan me-

kaaniseen varten siten, että se sallii kulutuskappaleen säätämisen pystysuunnassa ja samansuuntaisesti kumilaikan kanssa. Testilaitteisto voi toimia oleellisesti ilman valvontaa äärettömän kauan.

5

(b) Testiolosuhteet

Testiolosuhteiden mahdolliset aluevaihtelut ovat:

- 10 I. Hiukkastyyppi: mikä tahansa (piidioksidi, alumiini, jne)
II. Hiukkaskoko: 500 - 5000 mikrometriä
III. Hiukkaspitoisuus: 0 - 100 painoprosenttia kiintoaineita
15 IV. Lietetilavuus: 0 - 200 ml
V. Lietteiden lämpötila: 30°C (huoneenlämpötila)
VI. Lietteiden pH: 1 - 14 (muunnelmin)
VII. Kulutuskappaleen kuormitus: 0 - 2,3 kg
VIII. Aika: ääretön, tyyppillisesti neljä tuntia.

20

(c) Näytekappale

- Kulutuskappaleet leikattiin pyörivällä timanttiterällä suuremmasta kappaleesta ja tarkkuushiottiin pintahioma-
25 laitteella lopullisiin mittoihin: pituus 25 mm, leveys 13 mm ja korkeus 5 - 9 mm.

(d) Testimenetelmä

- 30 Kulutuskappaleet puhdistettiin ultraäänellä metanolissa viidentoista minuutin ajan, kuivattiin ainakin viidentoista minuutin ajan tyhjöuunissa, joka oli säädetty 150°C:seen, annettiin tasoittua huoneenlämpötilaan kuivauslaitteessa noin viidentoista minuutin ajan, ja punnittiin sitten 0,1 mg tarkkuudella. Kulutuskappaleet asennettiin sitten kulutuskappalepidikkeisiin, ja niiden oikea pysty- ja vaakasuuntainen suuntaus tarkistettiin. Sopiva
- 35

määrä hiontahiukkasia ja vettä punnittiin 0,1 g tarkkuudella, sekoitettiin ja kaadettiin sitten muovisiin lietekaualoihin. Mekaaniset varret laskettiin paikalleen, jolloin kulutuskappaleet laskettiin hiovaan lietteeseen, ja edestakainen liike käynnistettiin käynnistämällä sähkömoottori.

Kulutuskappaleiden annettiin liikkua edestakaisin hiovan lietteen läpi ennalta määrätyllä taajuudella ennalta määrätyn jakson ajan (tyypillisesti neljä tuntia). Ennalta määrätyn jakson jälkeen mekaaniset varret nostettiin ja kulutuskappaleet poistettiin. Sen jälkeen kulutuskappaleet puhdistettiin, kuivattiin ja punnittiin jälleen oleellisesti saman menetelmän mukaisesti kuin mitä käytettiin testin alussa. Kulutuskappaleiden painon menetystä ja tiheyttä käytettiin tilavuusmenetyksen, ja viime kädessä kulumisnopeuden laskemiseksi kuutiosenttimetreinä tunnissa (cm^3/h). Lietteiden pH ja lämpötila mitattiin testin alussa ja lopussa.

20

25

30

35

Taulukko VII

Näyte	Matriisi- metalli	Täyte aine	Käsittely aika (h)	l-tila (°C)	Muotti	Tiheys (g/cm ³)	Täyteaine tilavuus (%)	Kulutus- nopeusx10 ⁻⁵ (cm ³ /h)
A	520 ⁺	220# Al ₂ O ₃ ¹	1,5	775	piidioksidi	3,06	41	1242
BF	520 ⁺	500# Al ₂ O ₃ ¹	1,5	775	piidioksidi	3,12	46	2205
BG	520 ⁺	1000# Al ₂ O ₃ ¹	1,5	775	piidioksidi	2,87	42	2251
BH	520 ⁺	24# Al ₂ O ₃ ¹⁹	1,5	800	teräs	2,94	48	724
BI	520 ⁺	220# Al ₂ O ₃ ¹⁹	2,0	800	teräs	3,0	45	510
BJ	520 ⁺	500# Al ₂ O ₃ ¹	2,25	775-800	teräs	2,91	49	2235
BK	520 ⁺	1000# Al ₂ O ₃ ¹⁹	2,0	800	teräs	2,59	37	2256
B	520 ⁺	C75RG ²	2,0	800	teräs	2,94	36	1901
BL(mat- riisimetalli)	520 ⁺	Ei	--	--	--	2,7	0	2289

Huom:

- 1 38 Alundum, Norton Co., Worcester, MA
- 2 C-75 RG, Alcan Chemicals, Montreal, Canada
- 19 E-67 liuskemainen alumiinioksidi, Norton Co., Worcester, MA
- + ≤0,25% Si, ≤0,30% Fe, ≤0,25% Cu, ≤0,15% Mn, 9,5 - 10,6% Mg, ≤0,15% Zn, ≤0,25% Ti, loput Al

Esimerkki 12

Tämä esimerkki osoittaa, että muodostuneen metallimatriisi-komposiittikappaleen kulutuskestävyyttä voidaan muunnella, riippuen täyteaineena käytetystä piidioksidista. Käytettiin tarkemmin ottaen erilaisia piidioksiditäyteaineita yhdistelmänä matriisimetallin, tunkeutumisatmosfäärin ja tunkeutumisen edistäjän tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjän kanssa esillä olevan esimerkin metallimatriisi-komposiittikappaleiden muodostamiseksi spontaanilla tunkeutumisella. Taulukko VIII sisältää yhteenvedon matriisimetallin, täyteaineen, prosessiolosuhteiden ja tässä esimerkissä muodostettujen metallimatriisi-komposiittikappaleiden kulumisnopeuden osalta, samoinkuin käsittelemättömän metallin (näyte BL) kulumisnopeuden osalta.

Näytteet BM, BN

Nämä näytteet muodostettiin oleellisesti samalla tavalla kuin selitettiin esimerkin 5 näytteen A osalta, ja kuten esitetään kuviossa 9.

Näytteet BO - BQ

Nämä näytteet muodostettiin oleellisesti samalla tavalla kuin selitettiin esimerkin 5 näytteen B osalta, ja kuten esitetään kuviossa 10.

Näyte BR

Tämä näyte muodostettiin oleellisesti samalla tavalla kuin selitettiin esimerkin 6 näytteen K osalta, ja kuten esitettiin kuviossa 18.

Näyte BS

Tämä näyte oli vertaileva tarkistusnäyte, johon kohdistettiin esimerkin 12 testimenetelmä.

Taulukko VIII

Näyte	Matriisi- metalli	Täyte aine	Käsittely aika (h)	l-tila (°C)	Muotti	Tiheys (g/cm ³)	Täyteaine tilavuus (%)	Kulutus- nopeusx10 ⁻⁵ (cm ³ /h)
BM	Al-10Si-5Cu	220# SiC ⁶	2	775	piidioksidi	49	3,09	555
BN	Al-10Si-5Cu	500# SiC ⁶	2	775	piidioksidi	46	2,90	3035
BO	Al-10Si-5Cu	24# SiC ⁶	2	800	teräs	47	3,21	637
BP	Al-10Si-5Cu	220# SiC ⁶	2,5	800	teräs	47	2,72	1028
BQ	Al-10Si-5Cu	1000# SiC ⁶	2,5	800	teräs	42	2,80	2355
BR	Al-12Si	SiC ¹⁸	1	800	teräs	--	2,95	313
BS(mat- riisimetalli)	Al-10Si-5Cu	Ei	--	--	--	0	2,7	2958

Huom:

6 39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA
18 55% 54# SiC, 20% 90# SiC, 15% 180# SiC ja 10% 500# SiC, 39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA

Esimerkki 13

Tämä esimerkki osoittaa, että muodostuneen metallimatrii-
si-komposiittikappaleen kulutuskestävyyttä voidaan muun-
5 nella, riippuen täyteaineen koosta. Taulukko IX sisältää
yhteenvedon matriisimetallin, täyteaineen, proses-
siolosuhteiden ja tässä esimerkissä spontaanilla tunkeu-
tumisella muodostettujen metallimatriisi-komposiittikap-
paleiden ominaisuuksista.

10

Näytteet BT, BU, O, BV

Nämä näytteet muodostettiin oleellisesti samalla tavalla
kuin selitettiin esimerkin 5 näytteen C osalta, sekä kuvion
15 11 poikkileikkauksen mukaisella järjestelyllä, paitsi
ettei magnesiumjauhetta järjestetty grafiittikalvolaati-
kon pohjalle ennen täyteaineen lisäämistä.

Tässä esimerkissä muodostetut metallimatriisi-komposiit-
20 tikappaleet leikattiin ja otettiin valokuvat mikroraken-
teesta. Erityisesti kuvio 24a on mikrovalokuva noin
400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä BT; kuvio
24b on mikrovalokuva noin 400-kertaisella suurennoksella
vastaten näytettä BU; kuvio 24c on mikrovalokuva noin
25 400-kertaisella suurennoksella vastaten näytettä BV. Jo-
kaisessa edellä mainitussa kuviossa matriisimetalli osoi-
tetaan viitenumerolla 170 ja täyteaine viitenumerolla 171.

30

35

..
..

Taulukko IX

Näyte	Matriisi- metalli	Täyte aine	U.T.S. (MPa)	Mekaaniset ominaisuudet			Täyteaine- Tiheystilavuus (g/cm ³)(%)
				Murto- venymä (%)	Kimmo- moduuli (GPa)	CTE ^c Murto- lujuus (x10 ⁻⁶)(MPa x m ^{1/2})	
BT	Al-12Si-2Mg	54# SiC ⁶	143(5)	0,126 201	12,2	9,2(4)	2,77 58
BU	Al-12Si-2Mg	90# SiC ⁶	153(5)	0,143 173	13,1	10,4(6)	3,02 53
Q	Al-12Si-2Mg	220# SiC ⁶	145(6)	0,133 164	12,2	10,4(5)	2,87 51
BV	Al-12Si-2Mg	500# SiC ⁶	176(5)	0,176 145	11,6	8,2(8)	2,84 56

Huom:

- 6 39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA
c C.T.E. keskiarvo välillä 20 - 500°C, laitteella Model DI-24 Diltometer, Adamel Lhomargy, Ranska
d Numerot suluissa () osoittavat testattujen näytteiden lukumäärän

Esimerkki 14

Tämä esimerkki osoittaa, että spontaanilla tunkeutumisella muodostuneen täyteaineena piikarbidia sisältävän metalli-
5 matriisi-komposiittikappaleen lämpölaajenemiskerrointa voidaan muuttaa täyteaineen hiukkaskoosta riippuen. Taulukko X esittää erityisesti matriisimetallin, täyteaineen, prosessiolosuhteet ja lämpölaajenemiskertoimen tässä esimerkissä muodostetuilla näytteillä.

10

Näytteet BW - CS

Nämä näytteet muodostettiin oleellisesti samalla tavalla kuin esimerkin 6 näytteen N osalta, kaaviollisella poik-
15 kileikkauksella, kuten kuviossa 19 esitetään. Taulukossa X luetellaan reaktiokomponentit ja prosessiolosuhteet jokaiselle näytteelle. Näytteellä CF asetettiin, grafiittiastiassa olevan grafiittikalvolaatikon käyttämisen sijasta, grafiittipäällystettä (DAG-154, Acheson Colloid,
20 Port Huron, MI) grafiittiastian sisällä olevaan onteloon. Sen jälkeen asetettiin täyteainetta grafiittiastiaan, oleellisesti samalla tavalla kuin kuviossa 19 esitetään.

Mekaaniset ominaisuudet saatiin edellä kuvatuilla mekaani-
25 silla testausmenetelmillä.

30

35

Taulukko X

Näyte	Matriisi- Täyte		Käsittely-		Täyteaine- tilavuus(%)	CTE ^c /°C(x10 ⁻⁶)
	metalli	aine(%)	aika (h)	l-tila (°C)		
BW	413.0E	24# sic ⁶	20	775	66	7,64
BX	413.0E	54# sic ⁶	15	750	61	9,36
BY	413.0E	90# sic ⁶	15	775	62	9,45
BZ	413.0E	220# sic ⁶	15	775	56	9,70
CA	413.0E	500# sic ⁶	15	775	58	9,75
CB	413.0E	70% 24# sic ⁶ 15 ja 30% 54# sic ⁶	15	775	--	7,70
CC	413.0E	70% 54# sic ⁶ 15 ja 30% 90# sic ⁶	15	775	64	8,30
CD	413.0E	70% 90# sic ⁶ 15 ja 30% 180# sic ⁶	15	775	61	9,15
CE	413.0E	70% 220# sic ⁶ 15 ja 30% 500# sic ⁶	15	775	59	9,38
CF	413.0E	70% 220# sic ⁶ 15 ja 30% 800# sic ⁶	15	775	--	9,41
CG	413.0E	65% 24# 15 ja 25% 220# ja 10% 500# sic ⁶	15	775	--	8,03

Huom:

6 39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA.

c C.T.E. keskiarvo välillä 20 - 100°C

E 11,0 - 13,0% Si, ≤2,0% Fe, ≤1,0% Cu, ≤0,35% Mn, ≤0,10% Mg, ≤0,50% Ni, ≤0,50% Zn, ≤0,15% Sn, ja loput Al

Taulukko X sivu 2

Näyte	Matriisi- metalli	Täyte aine(%)	Käsittely- aika (h)	l-tila (°C)	Täyteaine- tilavuus	CTE ^c /°C(x10 ⁻⁶)
CH	Al-12Si-2,5Ni-1Cu	24# SiC ⁶	15	775	69	7,63
CI	Al-12Si-2,5Ni-1Cu	54# SiC ⁶	15	775	--	8,10
CJ	Al-12Si-2,5Ni-1Cu	90# SiC ⁶	15	775	63	8,06
CK	Al-12Si-2,5Ni-1Cu	220# SiC ⁶	15	775	56	8,34
CL	Al-12Si-2,5Ni-1Cu	500# SiC ⁶	15	775	53	9,27
CM	Al-12Si-2,5Ni-1Cu	70% 24# SiC ⁶ 15 ja 30% 54# SiC ⁶	15	775	67	7,39
CN	Al-12Si-2,5Ni-1Cu	70% 54# SiC ⁶ 15 ja 30% 90# SiC ⁶	15	775	68	7,55
CO	Al-12Si-2,5Ni-1Cu	70% 90# SiC ⁶ 15 ja 30% 180# SiC ⁶	15	775	60	8,75
CP	Al-12Si-2,5Ni-1Cu	70% 180# SiC ⁶ 15 30% 220# SiC ⁶	15	775	56	9,17
CQ	Al-12Si-2,5Ni-1Cu	70% 220# SiC ⁶ 15 ja 30% 500# SiC ⁶	15	775	61	8,36
CR	Al-12Si-2,5Ni-1Cu 30% 800# SiC ⁶	70% 220# SiC ⁶ 15	15	775	62	8,29
CS	Al-12Si-2,5Ni-1Cu	65% 24# 15 ja 25% 220# ja 10% 500# SiC ⁶	15	775	--	8,29

Huom:

6 39 Crystolon, Norton Co., Worcester, MA.
c C.T.E. keskiarvo välillä 20 - 100°C

Esimerkki 15

Tämä esimerkki osoittaa, että kuituvahvisteisia metalli-
matriisi-komposiittikappaleita voidaan muodostaa spon-
5 taanilla tunkeutumisella. Taulukko XI esittää erityisesti
matriisimetallin, täyteaineen, ja reaktio-olosuhteet, joi-
ta käytettiin lueteltujen näytteiden metallimatriisi-kom-
posiittikappaleiden muodostamiseksi. lisäksi taulukossa XI
esitetään kulloisenkin komposiittikappaleen jäähdytys-
10 menetelmä, sellaista käytettäessä.

Näytteet CT - CY

Nämä näytteet muodostettiin oleellisesti samalla tavalla
15 kuin esimerkin 5 näytteellä G, ja kuten kuviossa 15
esitetään.

Näytteet CZ - DA

20 Nämä näytteet muodostettiin oleellisesti samalla tavalla
kuin esimerkin 5 näytteellä C, ja kuten kuviossa 11
esitetään, paitsi että: 1) magnesiumjauhetta ei käytetty;
2) säiliö tehtiin ruostumatonta terästä olevasta aineesta,
eikä grafiitista; ja 3) kuumennuksen ajaksi säiliön ympäri
25 asetettiin keraaminen kuitupeite.

Näytteet DB - DD

Nämä näytteet muodostettiin oleellisesti samalla tavalla
30 kuin esimerkin 5 näytteellä G, kuten kuviossa 15 esitetään,
paitsi että grafiittikalvolaatikon alle asetettiin teräs-
levy, ja että keskeltä noin 51 mm halkaisijaisella reiällä
varustettu grafiittikalvon arkki asetettiin täyteaineen ja
matriisimetallin väliin.

Näytteet DE - DG

Nämä näytteet muodostettiin oleellisesti samalla tavalla kuin esimerkin 5 näytteellä H, ja kuten kuviossa 16
5 esitetään, paitsi että noin 13 mm piikarbidikerros asetettiin ruostumatonta terästä olevan säiliön pohjalle, eikä grafiittikalvolaatikkoon, ja grafiittikalvon aukko matriisimetallin ja täyteaineen välillä käsitti noin 13 leveän ja noin 127 pitkän raon, jonka keskellä oli noin 51 mm
10 halkaisijaltaan oleva reikä.

Näytteet DH - DI

Nämä näytteet muodostettiin oleellisesti samalla tavalla
15 kuin näytteet DE - DG, paitsi ettei järjestelmään sovitettu piikarbidikerrosta.

Metallimatriisi-komposiittikappaleiden mekaaniset ominaisuudet saatiin edellä kuvatulla mekaanisella testauksella,
20 ja ne esitetään taulukossa XI. Näiden komposiittikappaleiden mekaaniset ominaisuudet mitattiin menetelmällä, joka oli oleellisesti samanlainen kuin ASTM Standard D-3552.

25

30

35

Taulukko XI

Näyte	Matriisi- Kuitu- metalli päällystys	Täyte- aine	Käsittely- aika l-tila (h) (°C)	Lämpö- käsittely	Muuta	U.T.S. (MPa)
CT	Al-5Si	Ei	Al ₂ O ₃ katkaistu- jauha ⁸ ja ⁹ 18	885	T4	Uuni- 157±21 jäähdytys
CU	-5Zn-7Mg-2Cu	Ei	Al ₂ O ₃ katkaistu- jauha ⁸ ja ⁹ 18	885	Ei	Uuni- 136±15 jäähdytys
CV	Al-10,5Mg-4Zn	Ei	Al ₂ O ₃ katkaistu- jauha ⁸ ja ⁹ 20	675	Ei	Uuni- 94 ±26 jäähdytys
CW	Al-10,5Mg-4Zn	Ei	Al ₂ O ₃ katkaistu- jauha ⁸ ja ⁹ 20	675	T4	Uuni- 230 ±15 jäähdytys
CX	520.0 ⁺	Ei	Al ₂ O ₃ katkaistu- jauha ⁸ ja ⁹ 20	700	Ei	Uuni- 166 (maks) jäähdytys
CY	520.0 ⁺	Ei	Al ₂ O ₃ katkaistu- jauha ⁸ ja ⁹ 20	700	T4	Uuni- 152 (maks) jäähdytys
CZ	520.0 ⁺	Ei	Al ₂ O ₃ katkaistu- jauha ⁸ ja ⁹ 15	725	Ei	Suunnattu 250 ±5 kiinteytyminen
DA	520.0 ⁺	Ei	Al ₂ O ₃ katkaistu- jauha ⁸ ja ⁹ 15	725	T4	Suunnattu 278 ±6 kiinteytyminen
DB	520.0 ⁺	SiO ₂	Al ₂ O ₃ jatkuvia kuituja ⁸ 30	725	Ei	Uuni- 293 jäähdytys
DC	520.0 ⁺	SiO ₂	Al ₂ O ₃ jatkuvia kuituja ⁸ 30	775	Ei	Uuni- 234 jäähdytys

PituussuuntaanPoikittain

Huom:

- 8 Fiber FP(R) alumiinioksidikuituja, E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE)
 9 Saffil (R) alumiinioksidikuituja, ICI Americas, Wilmington, DE
 + ≤0,25% Si, ≤0,30% Fe, ≤0,25% Cu, ≤0,15% Mn, 9,5 - 10,6% Mg, ≤0,15% Zn, ≤0,25% Ti, loput Al

Taulukko XI, sivu 2

Näyte	Matriisi- Kuitu- metalli päällystys	Täyte- aine	Käsittely- aika l-tila (h) (°C)	Lämpö- käsittely	Muuta	U.T.S. (MPa)
DD	520.0 ⁺	Ei	Al ₂ O ₃ jatkuvia kuituja ⁸	30 725	Ei	Uuni- 248 jäähdytys 98
DE	520.0 ⁺	SiO ₂	Al ₂ O ₃ jatkuvia kuituja ⁸	28 735	Ei	Suunnattu 251 171
DF	520.0 ⁺	Ei	Al ₂ O ₃ jatkuvia kuituja ⁸	28 735	Ei	kiinteytyminen Suunnattu 327 158
DG	520.0 ⁺	Ei	Al ₂ O ₃ jatkuvia kuituja ⁸	28 735	T4	kiinteytyminen Uuni- 303 --
DH	520.0 ⁺	SiO ₂	Al ₂ O ₃ jatkuvia kuituja ⁸	20 760	Ei	Uuni- 274 jäähdytys 137
DI	520.0 ⁺	Ei	Al ₂ O ₃ jatkuvia kuituja ⁸	20 760	Ei	Uuni- 270 jäähdytys 211

Huom:

- 8 Fiber FP(R) alumiinioksidikuituja, E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE)
9 Saffil (R) alumiinioksidikuituja, ICI Americas, Wilmington, DE
+ $\leq 0,25\%$ Si, $\leq 0,30\%$ Fe, $\leq 0,25\%$ Cu, $\leq 0,15\%$ Mn, 9,5 - 10,6% Mg, $\leq 0,15\%$ Zn, $\leq 0,25\%$ Ti, loput Al

Esimerkki 16

Tämä esimerkki osoittaa, että spontaani tunkeutuminen voidaan aikaansaada esimuotteihin, joilla on suuri tilavuusosa täyteainetta, metallimatriisi-komposiittikappaleiden muodostamiseksi. Kuvio 25 esittää kaaviollisen poikkileikkauksen järjestelystä, jota käytettiin tämän esimerkin metallimatriisikomposiitin tuottamiseksi, kuten alla selitetään. Lähemmin tarkasteltuna valmistettiin teräsmuotti 250, jossa oli sisäinen ontelo, joka mitoiltaan oli noin 152 mm pitkä, noin 152 mm leveä ja noin 152 mm syvä. Teräsmuotin 250 pohjapinta peitettiin grafiittikalvon kappaleella 251 (Grafoil (R), Union Carbide:lta), joka mitoiltaan oli noin 76 mm pitkä, noin 76 mm leveä ja noin 0,38 mm paksu. Piikarbidiesimuotti 252 (joka saatiin yhtiöltä I Squared R Element, Inc., Akron, NY), jonka ulkohalkaisija oli noin 45 mm ja sisähalkaisija noin 19 mm, ja joka oli katkaistu noin 76 mm pituiseksi, käärittiin grafiittikalvon kappaleeseen 253 ja asetettiin teräsmuotissa 250 olevalle grafiittikalvolle 251. 90 grit alumiinioksidiainetta 254 (38 Alundum, Norton Co., Worcester, MA) kaadettiin piikarbidiesimuotin 252 ja teräsmuotin 250 väliseen tilaan. Piikarbidiesimuotin sisätila täytettiin oleellisesti kokonaan grafiittijauheella 255 (KS-44 yhtiöstä Lonza, Inc., Fair Lawn, NJ). Grafiittikalvolaatikko 256, joka mitoiltaan oli noin 146 mm pitkä, noin 146 mm leveä ja noin 76 mm syvä, tehtiin esimerkin 5 näytteen C yhteydessä kuvatulla menetelmällä. Halkaisijaltaan noin 43 mm oleva reikä 257, joka vastasi piikarbidiesimuotin 252 ulkohalkaisijaa, leikattiin grafiittikalvolaatikon 256 pohjaan, ja grafiittikalvolaatikko 256 asetettiin piikarbidiesimuotin 252 yläpään ympäri teräsmuotissa 250. -100 mesh magnesiumjauhetta 258 (yhtiöstä Hart Corporation, Tamaqua, PA) asetettiin piikarbidiesimuotin 252 yläpinnalle, joka ulottui grafiittikalvolaatikkoon 256. Matriisimetalli, jonka painosta oli 12% piitä, 6% magnesiumia ja

lopun alumiinia, asetettiin teräsmuotissa 250 olevaan grafiittikalvolaatikkoon 256.

Teräsmuotti 250 sisältöineen asetettiin huoneenlämpötilassa vastuskuumennettuun vuorattuun retorttiuuniin. Retortin ovi suljettiin ja retorttiin muodostettiin tyhjä ainakin 762 mm Hg. Kun tyhjä oli saavutettu, retorttikammioon tuotiin typpeä virtausnopeudella noin 3 l/minuutti. Vuorattu retorttiuuni kuumennettiin sitten noin 800°C:seen nopeudella noin 200°C/h ja pidettiin noin 10 tuntia noin 800°C:ssa noin 3 l/minuutti virtaavassa typpiatmosfäärissä. Retorttiuuni jäähdytettiin sitten noin 800°C:sta noin 675°C:seen nopeudella noin 200°C/h. Noin 675°C:ssa teräsmuotti 250 sisältöineen poistettiin ja asetettiin huoneenlämpötilassa olevalle grafiittilevylle metallimatriisikomposiitin ja jäännösmatriisimetallin suunnattua kiinteyttämistä varten. Huoneenlämpötilassa järjestely purettiin, ja havaittiin että matriisimetalli oli spontaanisti tunkeutunut esimuottiin.

20

Sen jälkeen muodostunut metallimatriisikomposiitti leikattiin, kiinnitettiin, kiillotettiin ja saatettiin kvantitatiiviseen kuva-analyysiin. Kuvio 26a esittää mikrovalokuvan komposiitin mikrorakenteesta 50-kertaisella suurennoksella, ja kuvio 26b esittää 1000-kertaisella suurennoksella mikrovalokuvan järjestelmässä olevasta etosatusta matriisimetallista. Kvantitatiivisen kuva-analyysin tulokset osoittivat, että piikarbidilla vahvistetun komposiitin pitoisuus oli noin 78 tilavuusprosenttia, mikä osoittaa että metallimatriisikomposiitteja voidaan muodostaa spontaanilla tunkeutumisella sellaiseen esimuottiin, jossa on suuria täyteaineen tilavuusosuuksia.

35

Patenttivaatimukset

1. Menetelmä metallimatriisikomposiitin valmistamiseksi, jossa menetelmässä sula matriisimetalli saatetaan spontaanisti tunkeutumaan ainakin osaan oleellisesti ei-reaktiivista täyte-
5 ainetta, **tunnettu** siitä, että matriisimetallin spontaani tunkeutuminen ainakin osaan täyteainetta aikaansaadaan tai sitä tehostetaan käyttämällä tunkeutumisatmosfääriä sekä lisäksi tunkeutumisen edistäjää ja/tai sellaisen edeltäjää.
- 10 2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että tunkeutumisatmosfääri on yhteydessä täyteaineeseen ja/tai matriisimetalliin ainakin tunkeutumisen jossakin vaiheessa.
3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä,
15 että tunkeutumisen edistäjää ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjää lisätään matriisimetalliin, täyteaineeseen ja/tai tunkeutumisatmosfääriin.
4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä,
20 että tunkeutumisen edistäjä muodostuu saattamalla tunkeutumisen edistäjän edeltäjä reagoimaan ainakin yhteen aineeseen, joka on valittu ryhmästä, joka käsittää tunkeutumisatmosfäärin, täyteaineen ja matriisimetallin.
- 25 5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että tunkeutumisen edistäjän edeltäjä haihtuu tunkeutumisen aikana.
6. Patenttivaatimuksen 5 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä,
30 että haihtunut tunkeutumisen edistäjän edeltäjä reagoi muodostaen reaktiotuotteen ainakin täyteaineen osaan.
7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä,
35 että mainittu sula matriisimetalli ainakin osaksi voi pelkistää mainitun reaktiotuotteen.

8. Patenttivaatimuksen 7 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainittu reaktiotuote muodostuu päällystykseenä ainakin mainitun täyteaineen osalle.
- 5 9. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että täyteaine käsittää esimuotin.
10. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että se lisäksi käsittää vaiheen, jossa määritellään täyteai-
10 neen rajapinta estoaineella, jolloin matriisimetalli spon-
taanisti tunkeutuu estoaineeseen saakka.
11. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että täyteaine käsittää ainakin yhden aineen, joka on valittu
15 ryhmästä, joka käsittää jauheet, hiutaleet, mikrokuulat, kui-
tukiteet, kuplat, kuidut, hiukkasaineet, kuitumatot, leikatut
kuidut, kuulat, pelletit, pienet putket ja tulenkestävän kan-
kaan.
- 20 12. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että tunkeutumisen edistäjän edeltäjää on seostettu mainittuun matriisimetalliin.
13. Patenttivaatimuksen 12 mukainen menetelmä, **tunnettu** sii-
25 tä, että matriisimetalli käsittää alumiinia, että tunkeutumi-
sen edistäjän edeltäjä käsittää strontiumia ja/tai magnesi-
umia, ja että tunkeutumisatmosfäärin muodostaa typpi-atmosfääri,
joka on yhteydessä täyteaineeseen ja/tai matriisimetalliin
ainakin tunkeutumisjakson osan aikana.
- 30 14. Patenttivaatimuksen 13 mukainen menetelmä, **tunnettu** sii-
tä, että sula matriisimetalli on ainakin 1100°C lämpötilassa.
15. Patenttivaatimuksen 3 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä,
35 että ainakin joko tunkeutumisen edistäjää ja/tai tunkeutumisen
edistäjän edeltäjää on järjestetty sekä mainittuun matriisime-
talliin että mainittuun täyteaineeseen.

16. Patenttivaatimuksen 3 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että ainakin joko tunkeutumisen edistäjää ja/tai tunkeutumisen edistäjän edeltäjää on järjestetty useampaan kuin yhteen seuraavista aineista: mainittu matriisimetalli, mainittu täyteaine ja mainittu tunkeutumisatmosfääri.

17. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että lämpötila spontaanin tunkeutumisen aikana on korkeampi kuin matriisimetallin sulamispiste, mutta alempi kuin matriisimetallin höyrystymislämpötila ja täyteaineen sulamispiste.

18. Patenttivaatimuksen 3 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että tunkeutumisen edistäjän edeltäjä käsittää ainetta, joka on valittu ryhmästä, johon kuuluu magnesium, strontium ja kalsium.

19. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainittu matriisimetalli käsittää alumiinia, ja että mainittu spontaani tunkeutuminen tapahtuu lämpötilassa noin 675 - 1000°C.

20. Patenttivaatimuksen 19 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainittu lämpötila on noin 750 - 800°C.

21. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainittu täyteaine käsittää ainakin yhtä ainetta, joka on valittu ryhmästä, joka käsittää sulatettua alumiinioksidihiukkasta, kalsinoitua alumiinioksidihiukkasta, alumiinioksidin katkaistuja kuituja, alumiinioksidin jatkuvia kuituja, piikarbidihiukkasia, piikarbidikuitukiteitä, hiilikuituja, jotka on päällystetty piikarbidilla, zirkoniumhiukkasia, titaanidiboridihitaleita, alumiininitridihiukkasia sekä näiden sekoitukset.

22. Metallimatriisikomposiitti, **tunnettu** siitä, että se käsittää oleellisesti reagoimattoman täyteaineen, joka on ympä-

röity matriisimetallilla, jolloin mainittu ympäröiminen tapahtuu spontaanisti.

23. Patenttivaatimuksen 22 mukainen metallimatriisikomposiitti, **tunnettu** siitä, että mainittu täyteaine käsittää ainakin yhtä ainetta, joka on valittu ryhmästä, joka käsittää oksidit, karbidit, boridit ja nitridit.

24. Patenttivaatimuksen 22 mukainen metallimatriisikomposiitti, **tunnettu** siitä, että mainittu täyteaine käsittää ainakin yhtä ainetta, joka on valittu ryhmästä, joka käsittää jauheet, hiutaleet, mikrokuulat, kuitukiteet, kuplat, kuidut, hiukkasaaineet, kuitumatot, leikatut kuidut, kuulat, pelletit, pienet putket ja tulenkestävän kankaan.

25. Patenttivaatimuksen 22 mukainen metallimatriisikomposiitti, **tunnettu** siitä, että matriisimetalli käsittää alumiinia.

26. Patenttivaatimuksen 25 mukainen metallimatriisikomposiitti, **tunnettu** siitä, että se lisäksi käsittää ainakin jotakin alumiininitridiä.

Patentkrav

1. Förfarande för tillverkning av en metallmatriskomposit vid vilket smält matrismetall spontant får infiltrera åtminstone en del av ett väsentligt icke-reaktivt fyllnadsmedel, **kännetecknat** av att matrismetallens spontana infiltration av åtminstone en del av fyllnadsmedlet åstadkommes eller effektivteras genom att använda en infiltrationsatmosfär samt ett infiltrationsfrämjande medel och/eller föregångaren till det infiltrationsfrämjande medlet.

2. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att infiltrationsatmosfären står i förbindelse med fyllnadsmedlet och/eller matrismetallen åtminstone i något skede av infiltrationen.

:

3. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att föregångaren till det infiltrationsfrämjande medlet och/eller det infiltrationsfrämjande medlet tillförs matrismetallen, fyllnadsmedlet och/eller infiltrationsatmosfären.

5

4. Förfarande enligt patentkrav 3, **kännetecknat** av att det infiltrationsfrämjande medlet bildas genom att låta föregångaren till det infiltrationsfrämjande medlet reagera med åtminstone ett ämne valt i gruppen bestående av infiltrationsatmosfär, fyllnadsmedel och matrismetall.

10

5. Förfarande enligt patentkrav 4, **kännetecknat** av att föregångaren till det infiltrationsfrämjande medlet indunstar under infiltrationen.

15

6. Förfarande enligt patentkrav 5, **kännetecknat** av att den indunstade föregångaren till det infiltrationsfrämjande medlet reagerar och bildar en reaktionsprodukt åtminstone med en del av fyllnadsmedlet.

20

7. Förfarande enligt patentkrav 6, **kännetecknat** av att nämnda smälta matrismetall åtminstone delvis kan reducera nämnda reaktionsprodukt.

8. Förfarande enligt patentkrav 7, **kännetecknat** av att nämnda reaktionsprodukt bildas som en beläggning åtminstone på en del av nämnda fyllnadsmedel.

25

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

30

10. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att det vidare omfattar ett skede, i vilket fyllnadsmedlets gränsyta definieras med ett barriärmedel, varvid matrismetallen spontant tränger in ända till barriärmedlet.

35

11. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att fyllnadsmedlet innehåller åtminstone ett ämne valt i gruppen be-

;

stående av pulver, flingor, mikrokulor, fiberkristaller, bubblor, fibrer, partiklar, fibermattor, brutna fibrer, kulor, pelletar, små rörämnen och brandbeständiga tyger.

5 12. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att föregångaren till det infiltrationsfrämjande medlet legerats med nämnda matrismetall.

10 13. Förfarande enligt patentkrav 12, **kännetecknat** av att matrismetallen innehåller aluminium, att föregångaren till det infiltrationsfrämjande medlet innehåller strontium och/eller magnesium, och att infiltrationsatmosfären bildas av en kväveatmosfär, som står i förbindelse med fyllnadsmedlet och/eller matrismetallen åtminstone under en del av infiltrationspe-
15 rioden.

14. Förfarande enligt patentkrav 13, **kännetecknat** av att den smälta matrismetallen har en temperatur på åtminstone 1100°C.

20 15. Förfarande enligt patentkrav 3, **kännetecknat** av att åtminstone antingen ett infiltrationsfrämjande medel och/eller en föregångare till det infiltrationsfrämjande medlet anordnats såväl i nämnda matrismetall som i nämnda fyllnadsmedel.

25 16. Förfarande enligt patentkrav 3, **kännetecknat** av att åtminstone ett infiltrationsfrämjande medel och/eller en föregångare till det infiltrationsfrämjande medlet anordnats i flera än ett av följande ämnen: nämnda matrismetall, nämnda fyllnadsmedel och nämnda infiltrationsatmosfär.

30

17. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att temperaturen under den spontana infiltrationen är högre än matrismetallens smältpunkt, men lägre än matrismetallens indunstningstemperatur och fyllnadsmedlets smältpunkt.

35

18. Förfarande enligt patentkrav 3, **kännetecknat** av att föregångaren till det infiltrationsfrämjande medlet innehåller ett

ämne valt i gruppen bestående av magnesium, strontium och kal-
cium.

19. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att nämnda
5 matrismetall innehåller aluminium, och att nämnda spontana
infiltration sker vid en temperatur på ca 675-1000°C.

20. Förfarande enligt patentkrav 19, **kännetecknat** av att
nämnda temperaturen är c. 750 - 800°C.

10

21. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att nämnda
fyllnadsmedel innehåller åtminstone ett ämne valt i gruppen
bestående av smälta aluminiumoxidpartiklar, kalcinerade alu-
miniumoxidpartiklar, brutna fibrer av aluminiumoxid, obrutna
15 fibrer av aluminiumoxid, kiselkarbidpartiklar, kiselkarbidfi-
berkristaller, kolfibrer, som beklätts med kiselkarbid, zir-
koniumpartiklar, titaniumdiboridflingor, aluminiumnitridpar-
tiklar samt blandningar av dessa.

22. Metallmatriskomposit, **kännetecknad** av att den innehåller
ett väsentligt icke-reaktivt fyllnadsmedel, som omges av mat-
rismetall, varvid omgivandet sker spontant.

23. Metallmatriskomposit enligt patentkrav 22, **kännetecknad**
25 av att nämnda fyllnadsmedel innehåller åtminstone ett ämne
valt i gruppen bestående av oxider, karbider, borider och nit-
rider.

24. Metallmatriskomposit enligt patentkrav 22, **kännetecknat**
30 av att fyllnadsmedlet innehåller åtminstone ett ämne valt i
gruppen bestående av pulver, flingor, mikrokulor, fiberkris-
taller, bubblor, fibrer, partiklar, fibermattor, brutna fib-
rer, kulor, pelletar, små rörämnen och brandbeständiga tyger.

25. Metallmatriskomposit enligt patentkrav 22, **kännetecknad**
35 av att matrismetallen innehåller aluminium.

26. Metallmatriskomposit enligt patentkrav 25, **kännetecknad** av att den vidare innehåller någon aluminiumnitrid.

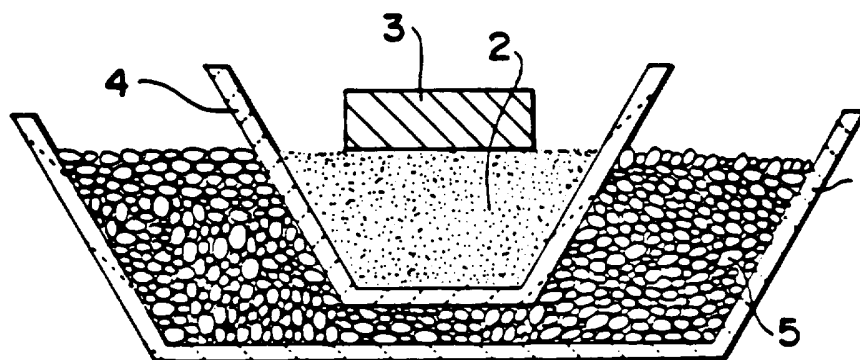


Fig. 1

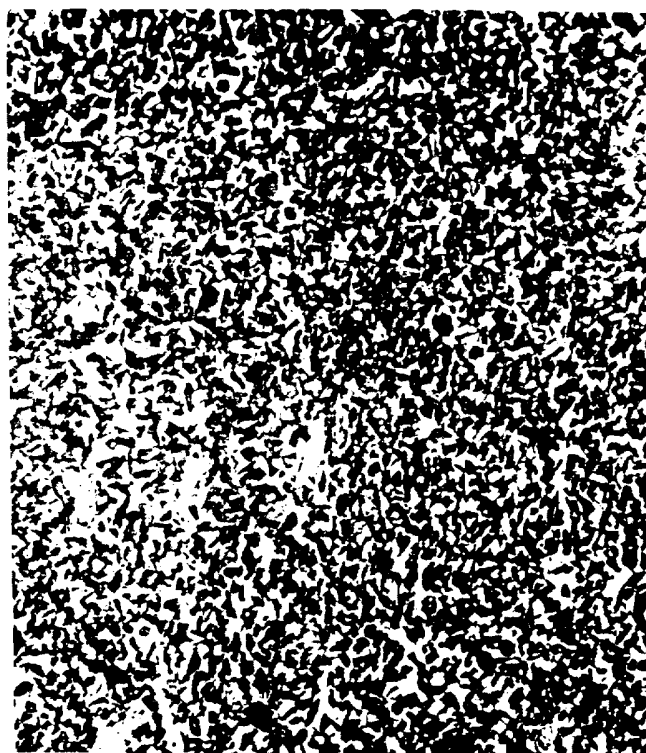


Fig. 2

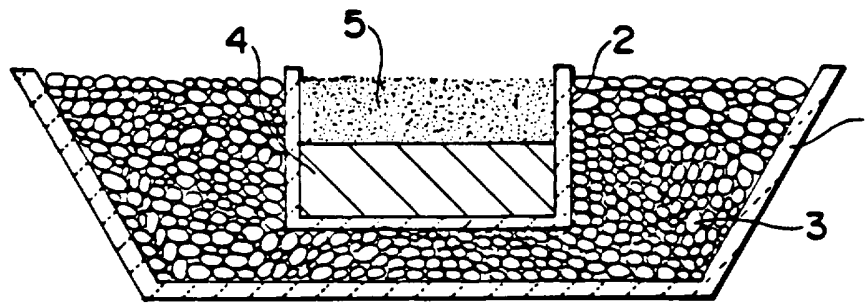


Fig. 3



Fig. 4

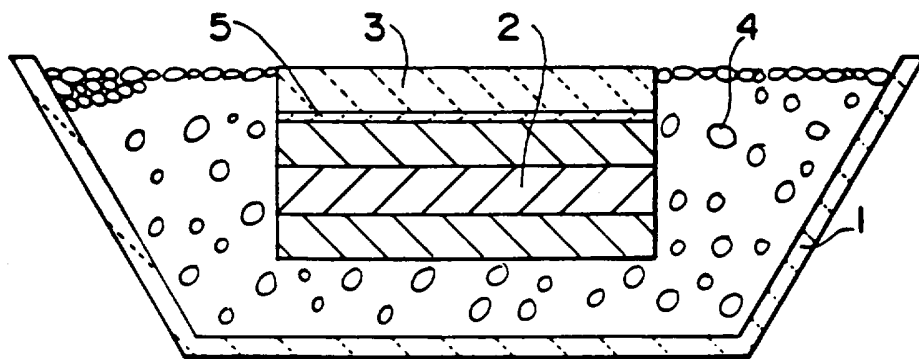


Fig. 7

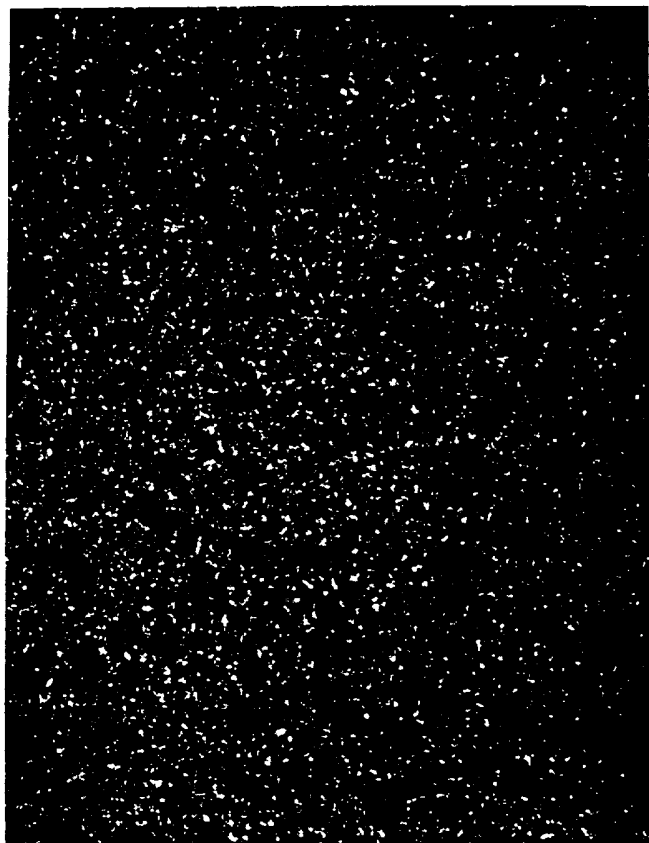


Fig. 8

Fig. 9

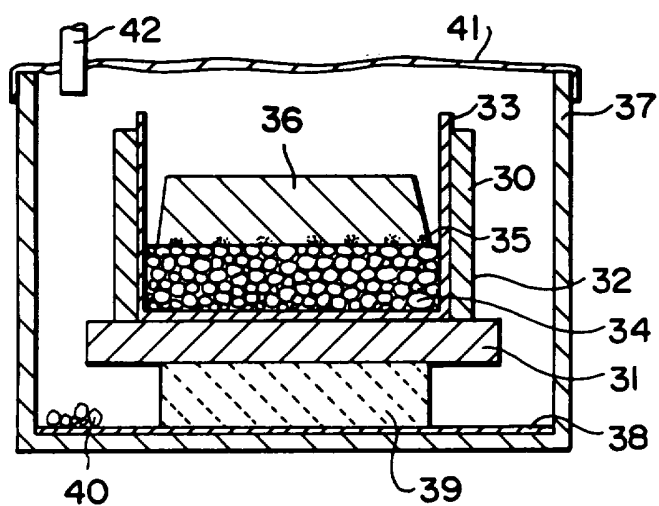
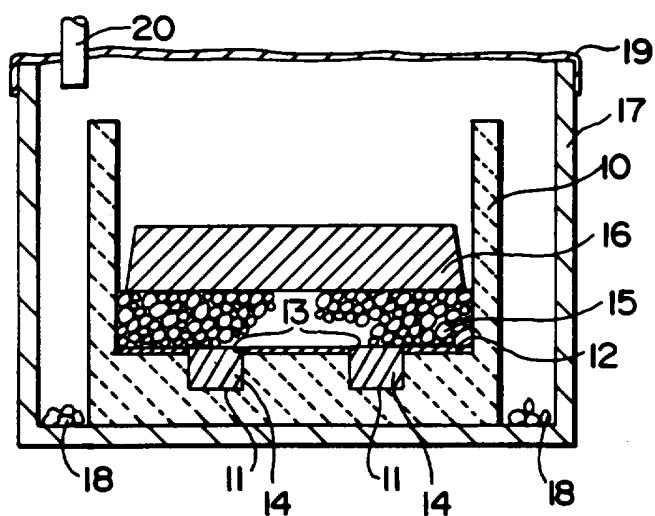


Fig. 10

Fig. 11

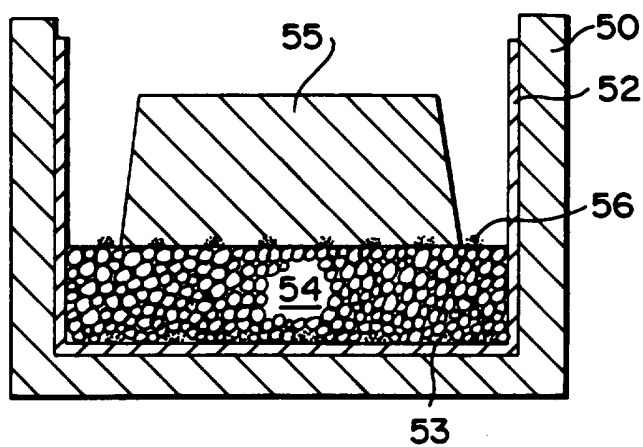


Fig. 12

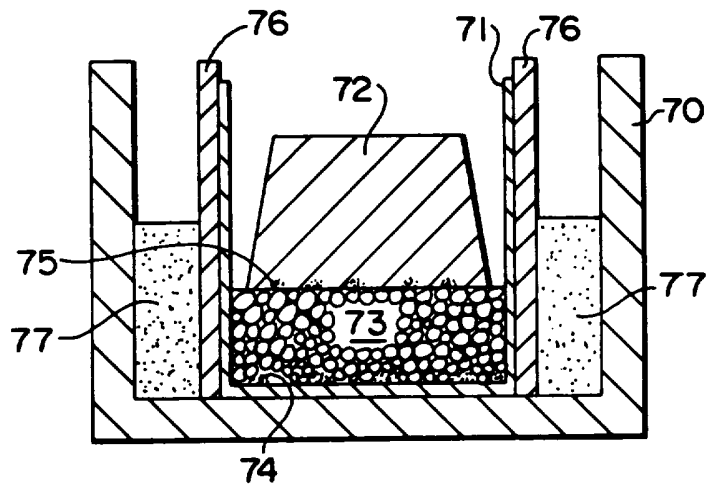


Fig. 13

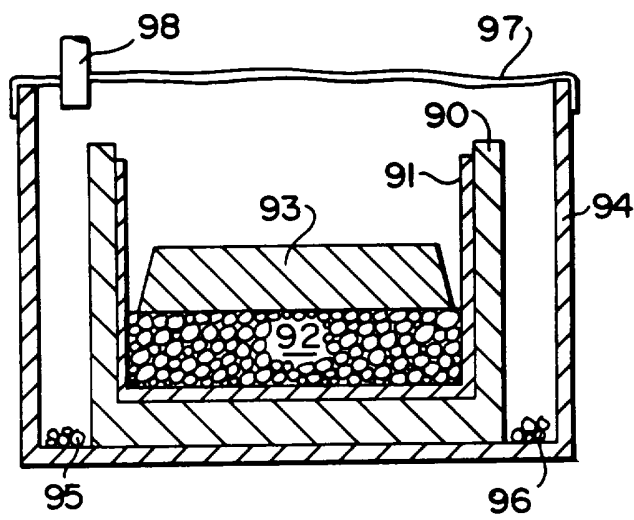
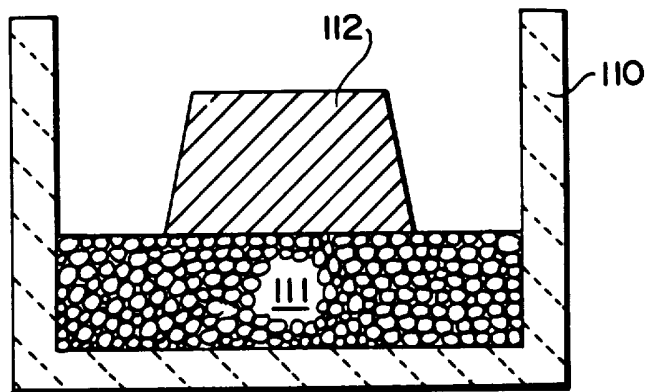


Fig. 14



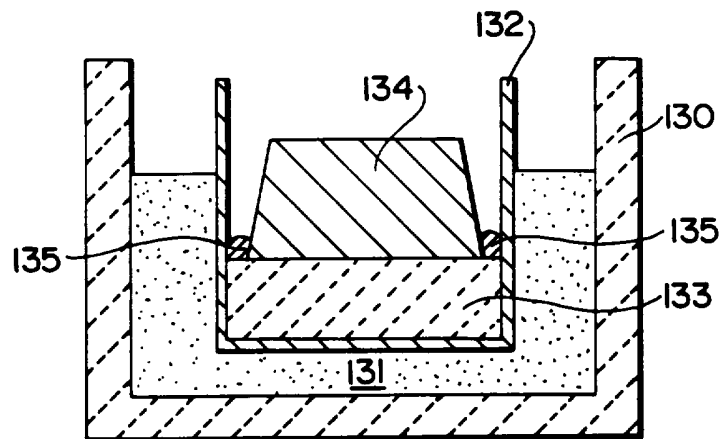


Fig. 15

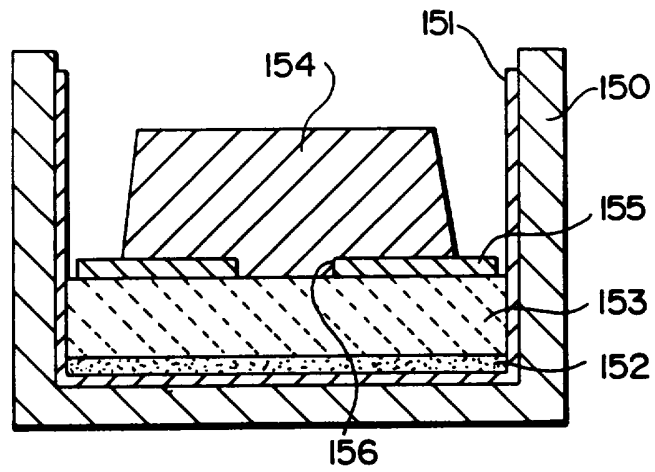


Fig. 16

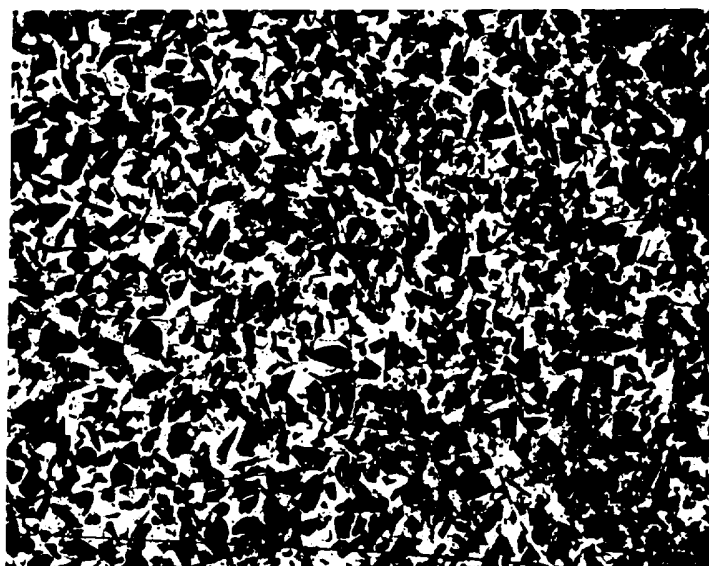


Fig. 17a

171

170

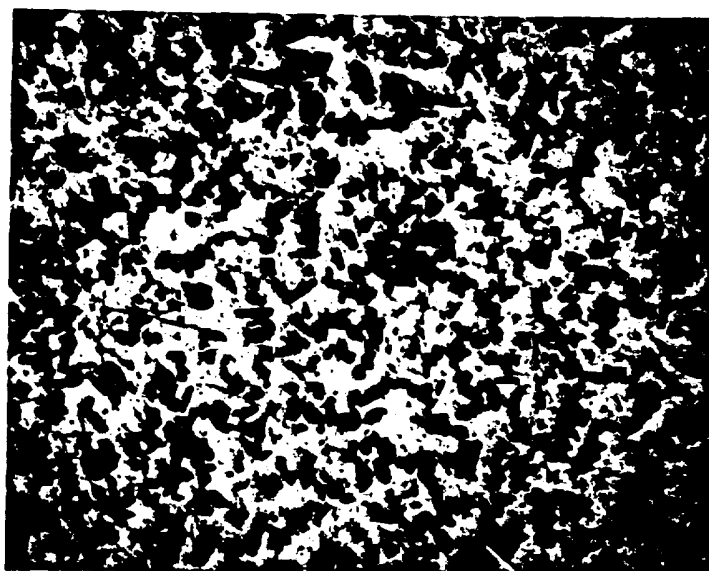
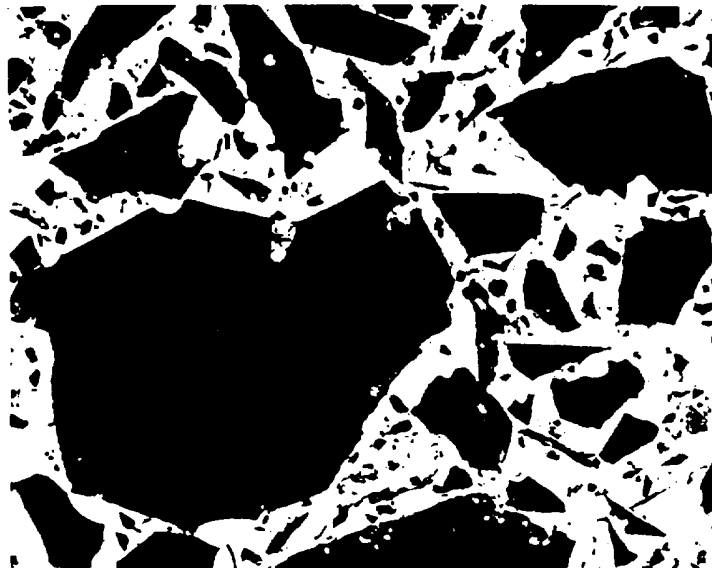


Fig. 17b

170

171



171

170

Fig. 17c

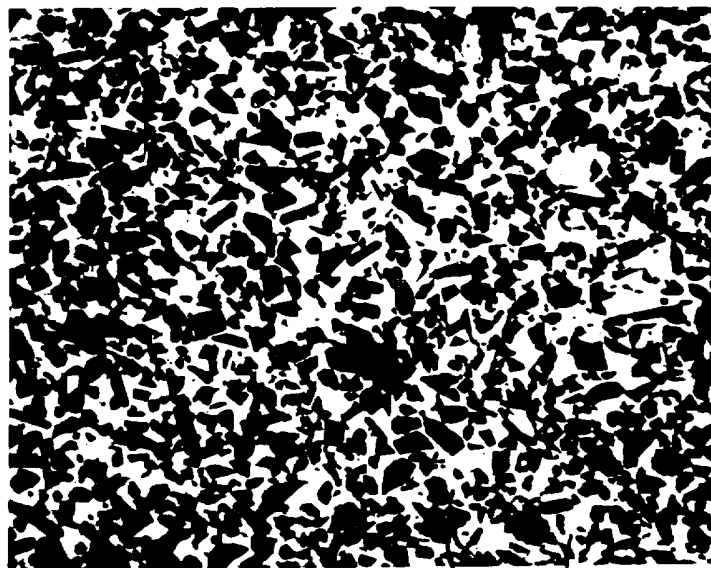


Fig. 17d

171

170

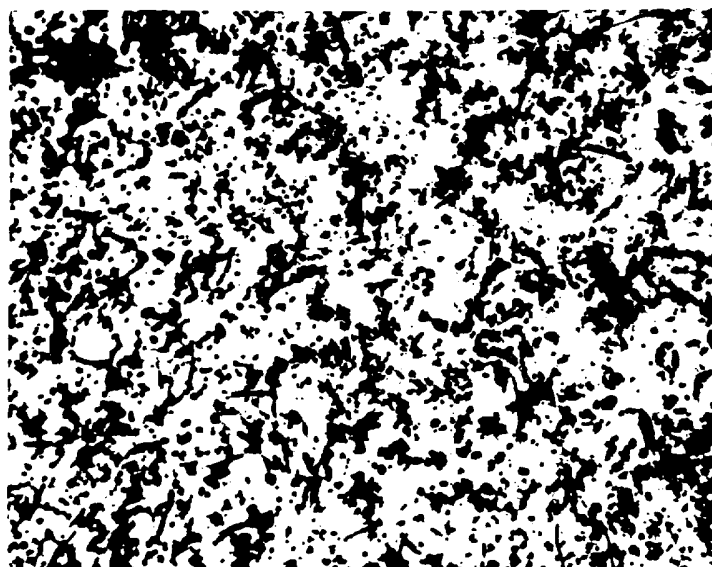


Fig. 17e

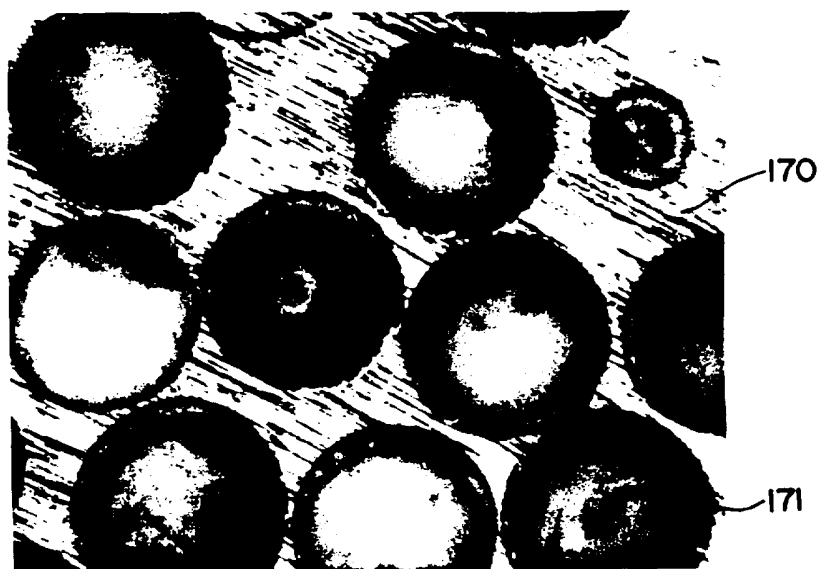


Fig. 17f

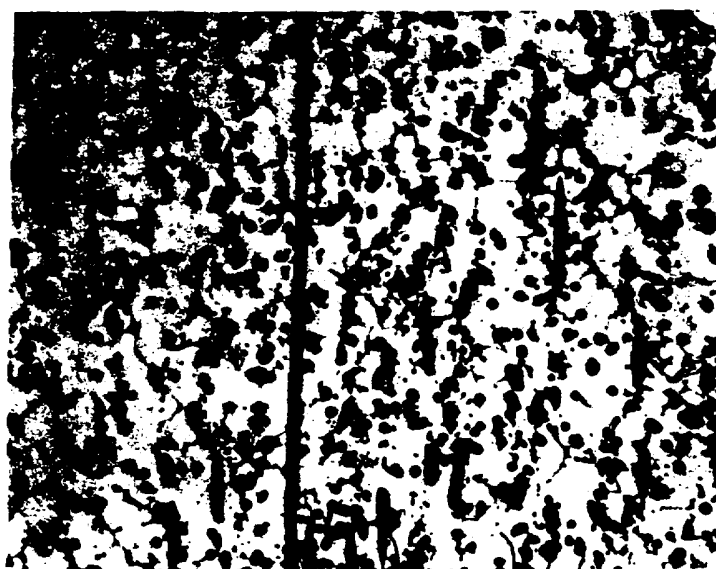
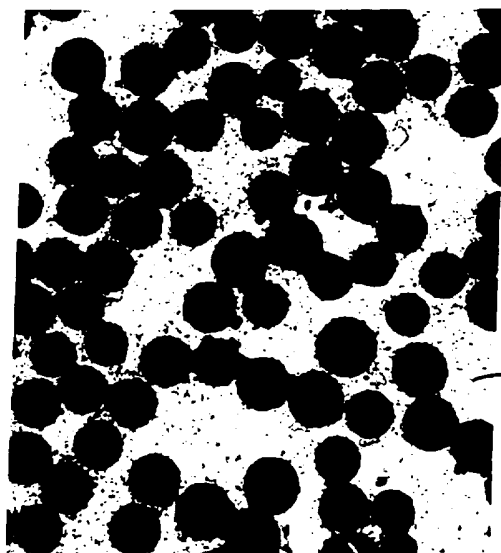


Fig. 17g

171

170



170

171

Fig. 17h

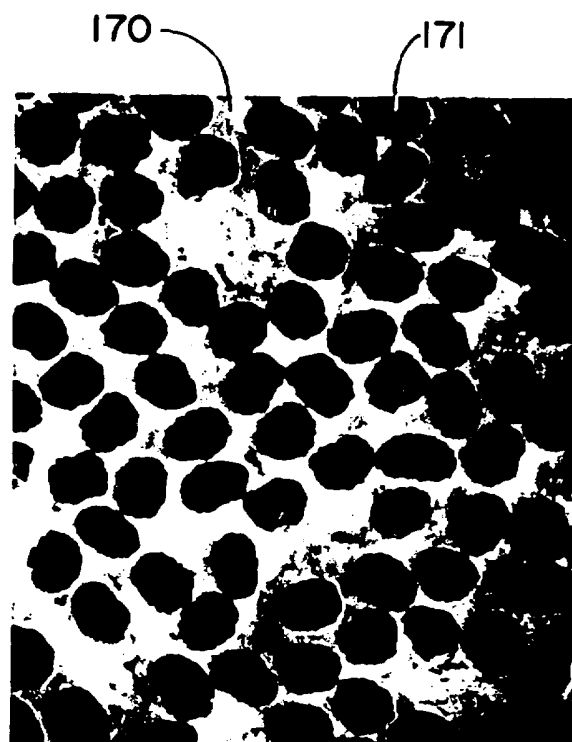


Fig. 17i

Fig. 18

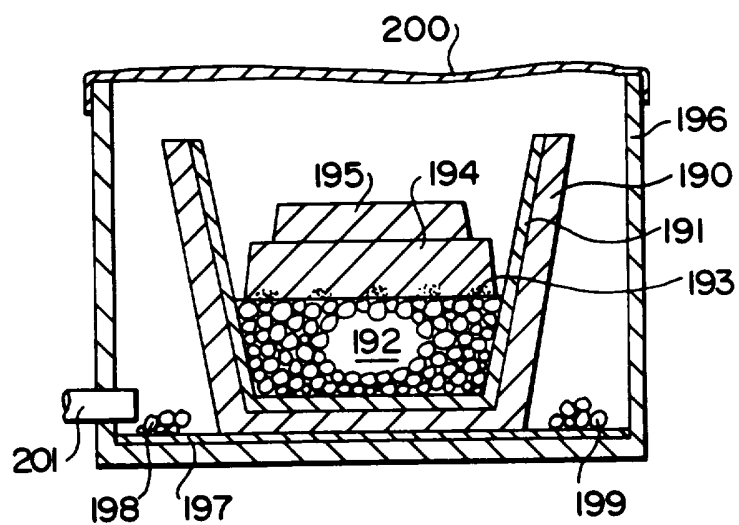


Fig. 19

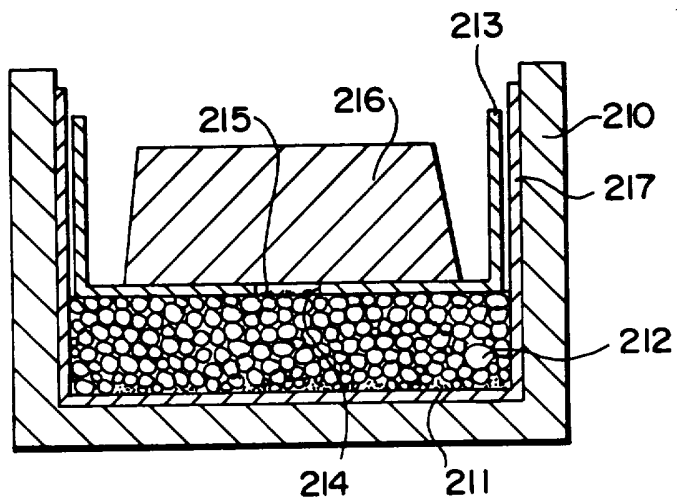
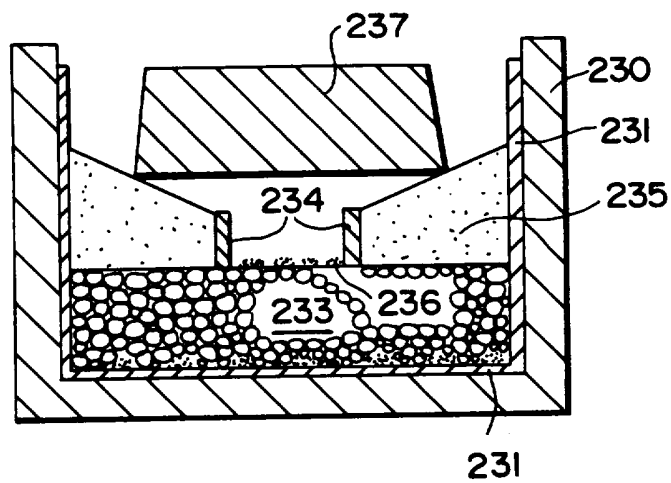


Fig. 20



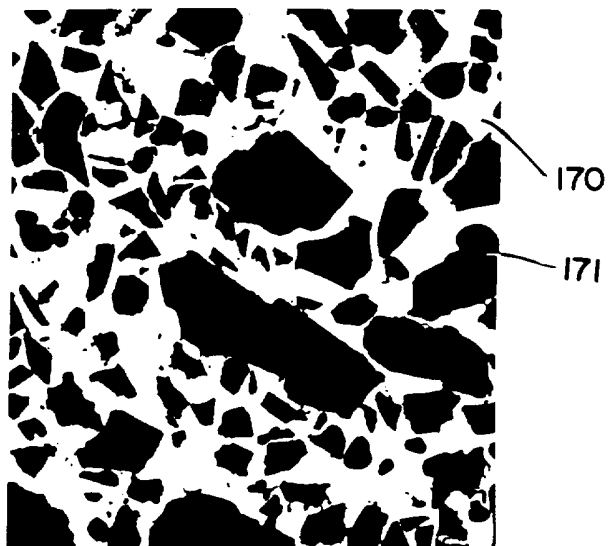


Fig. 21a

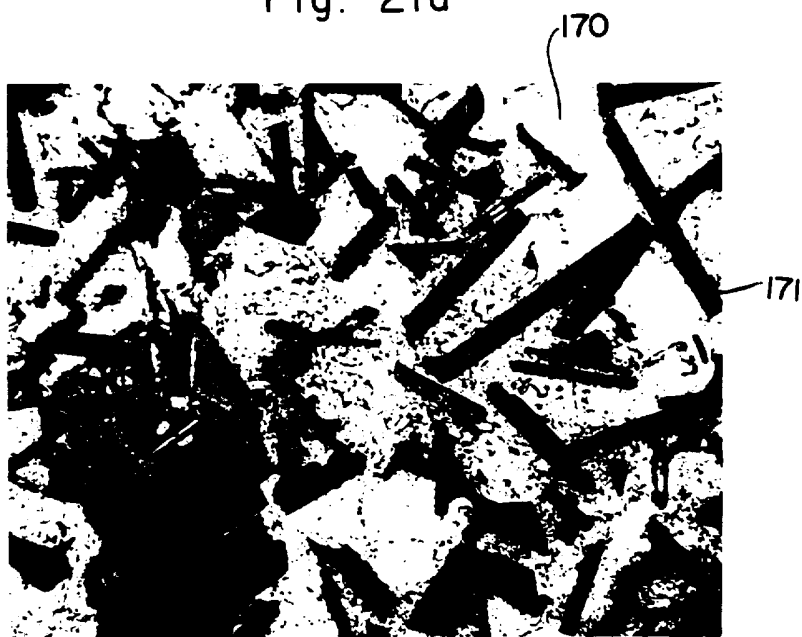


Fig. 21b

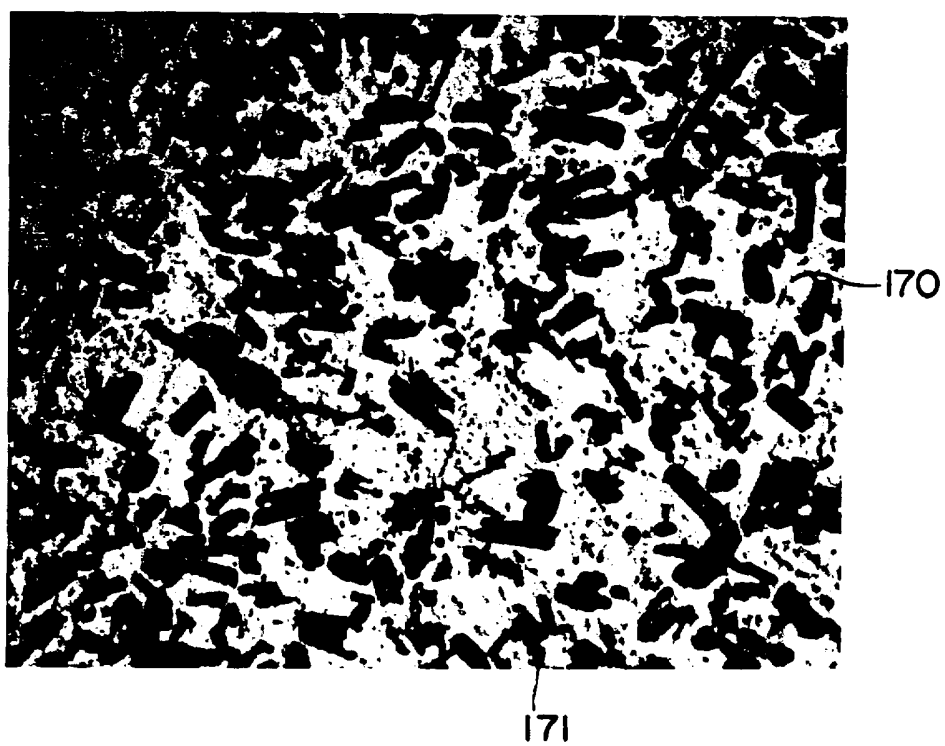


Fig. 21c



Fig. 22a

170

171



170

171

Fig. 22b



Fig. 22c



Fig. 22d

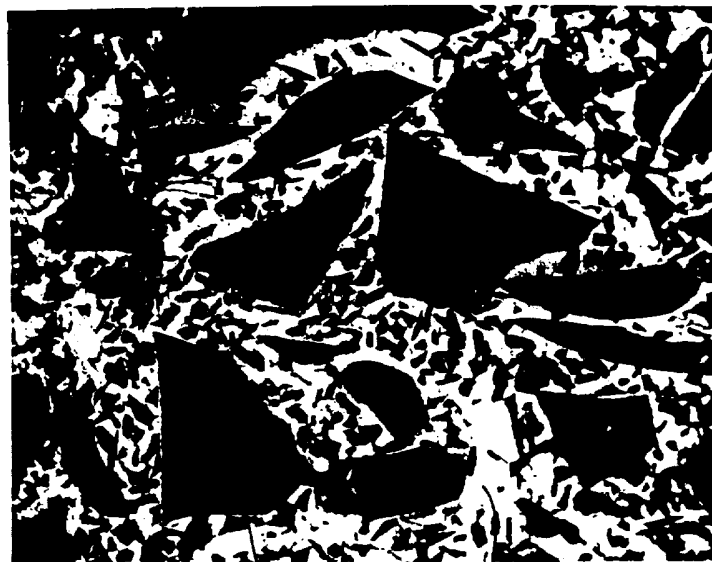
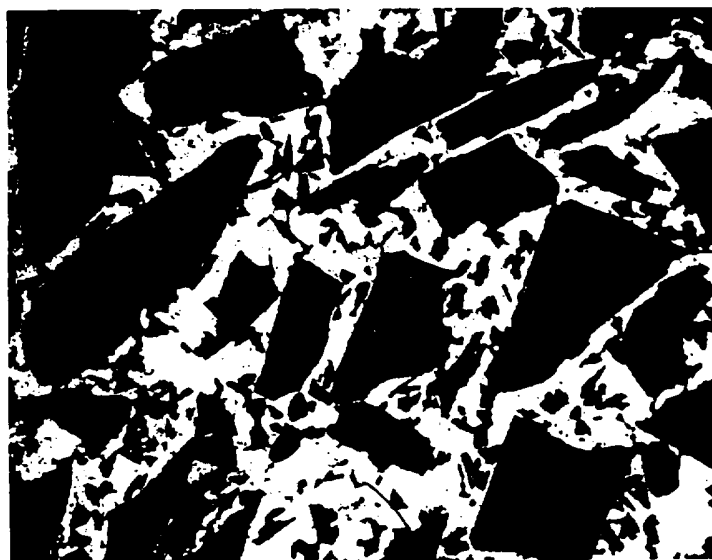


Fig. 22e

171

170



171

170

Fig. 22f

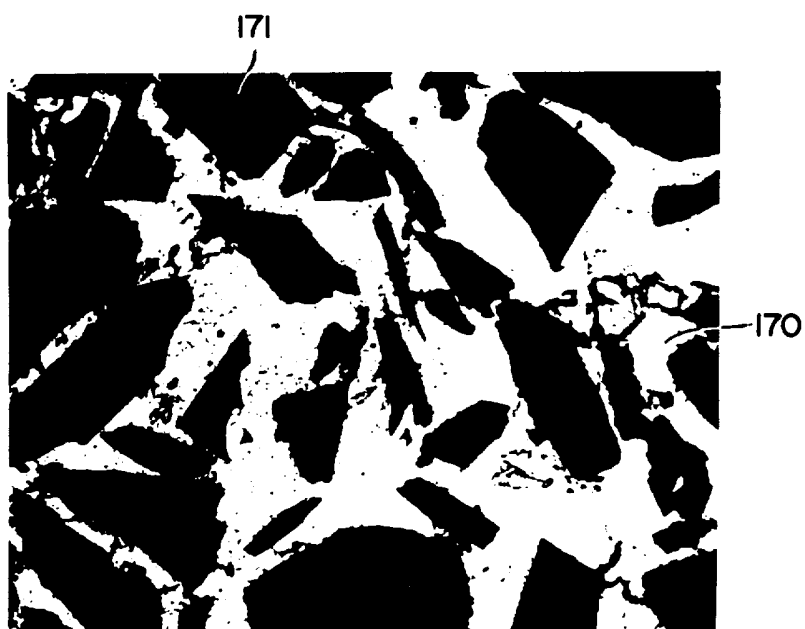


Fig. 22g

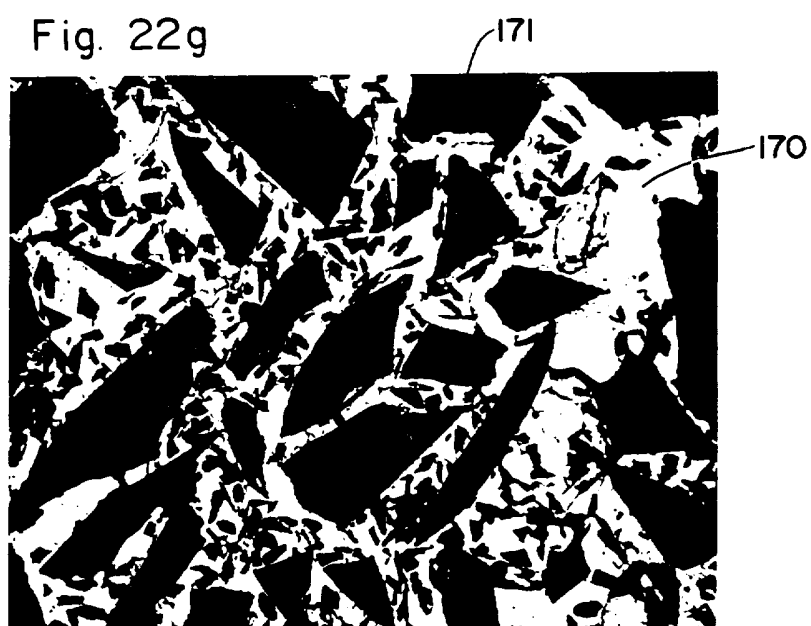


Fig. 22h

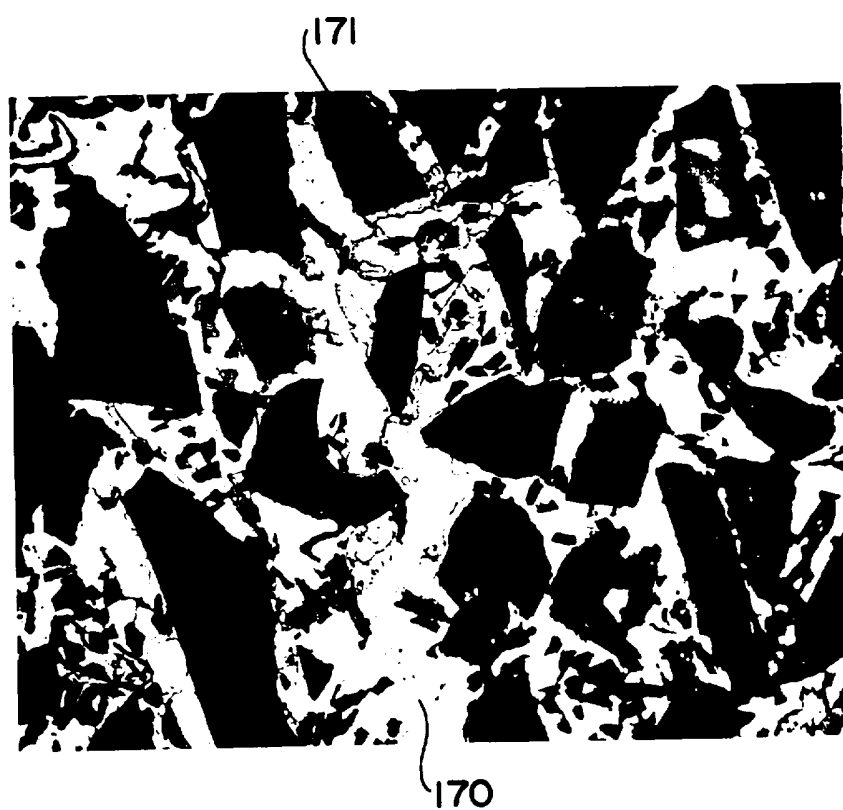


Fig. 22i

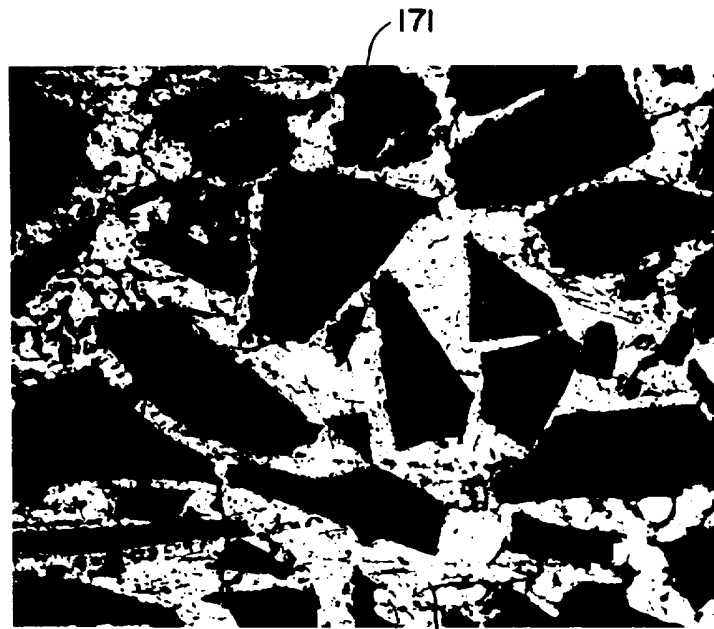


Fig. 22j

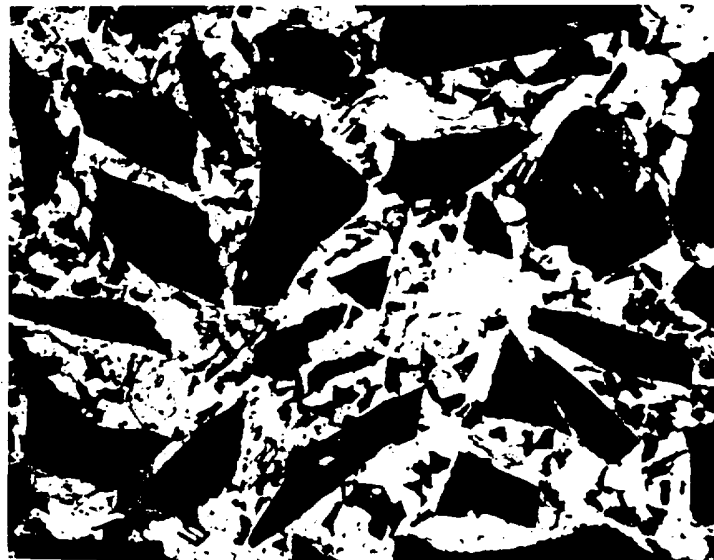


Fig. 22k



Fig. 22l



Fig. 22m

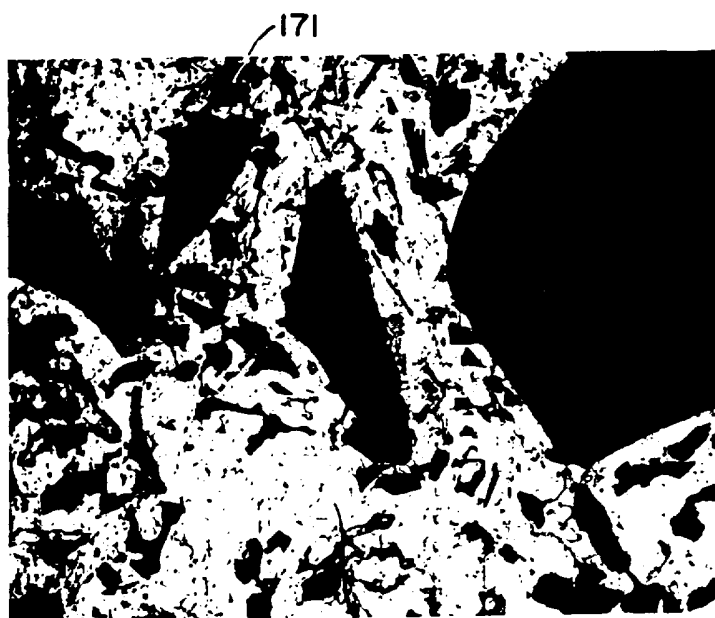


Fig. 22n

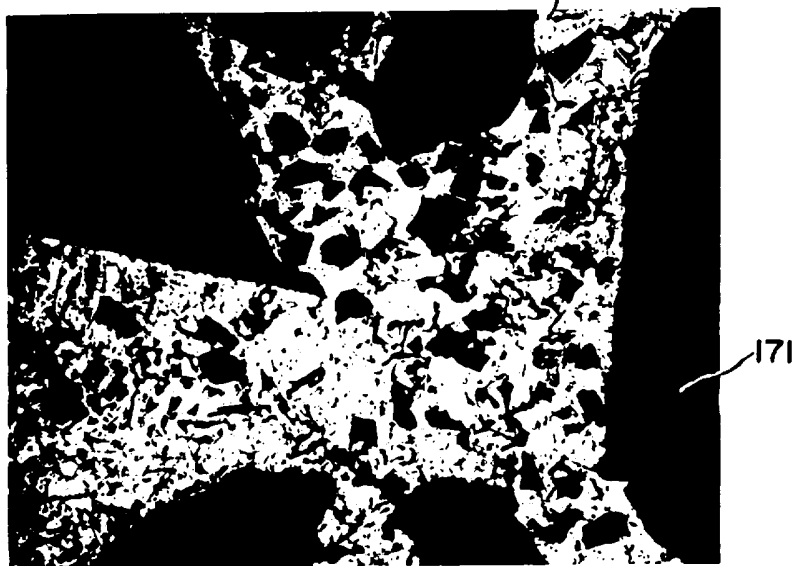
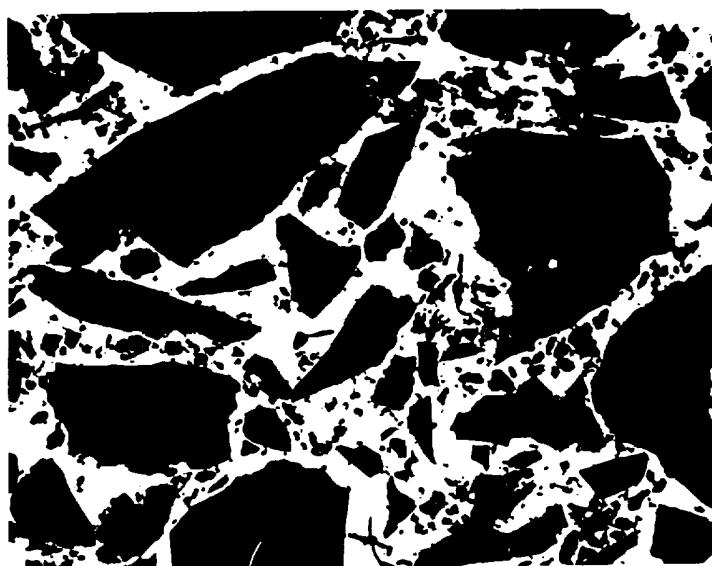


Fig. 22o



171 170
Fig. 23a

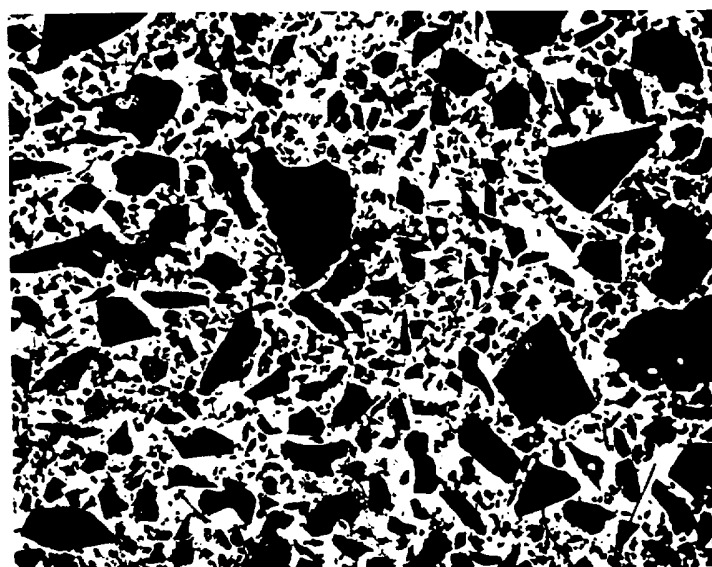


Fig. 23b 171 170

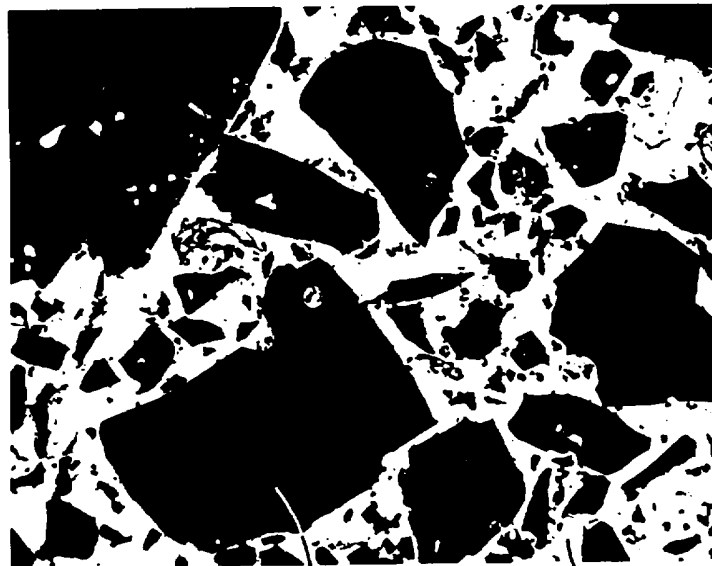


Fig. 23c

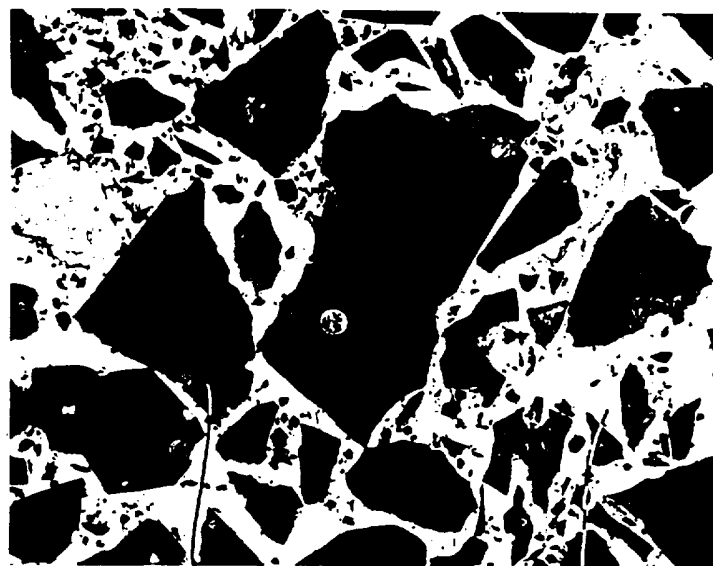
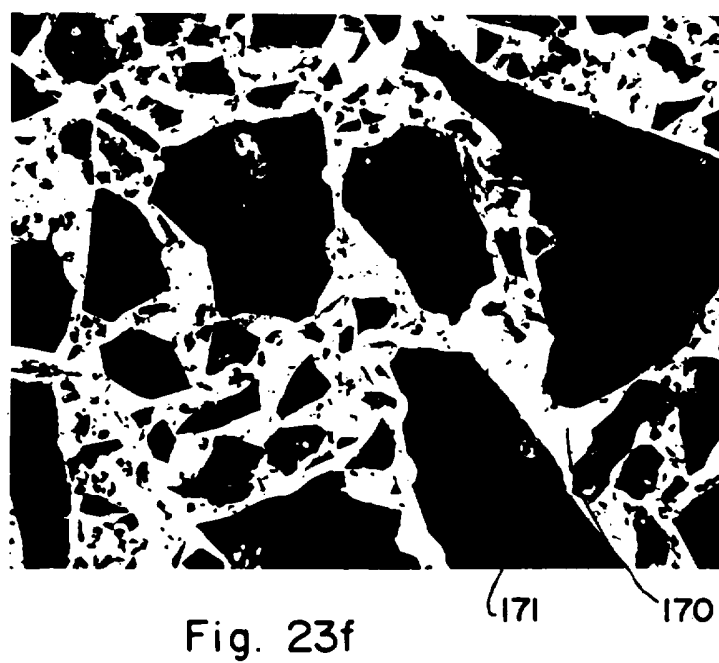
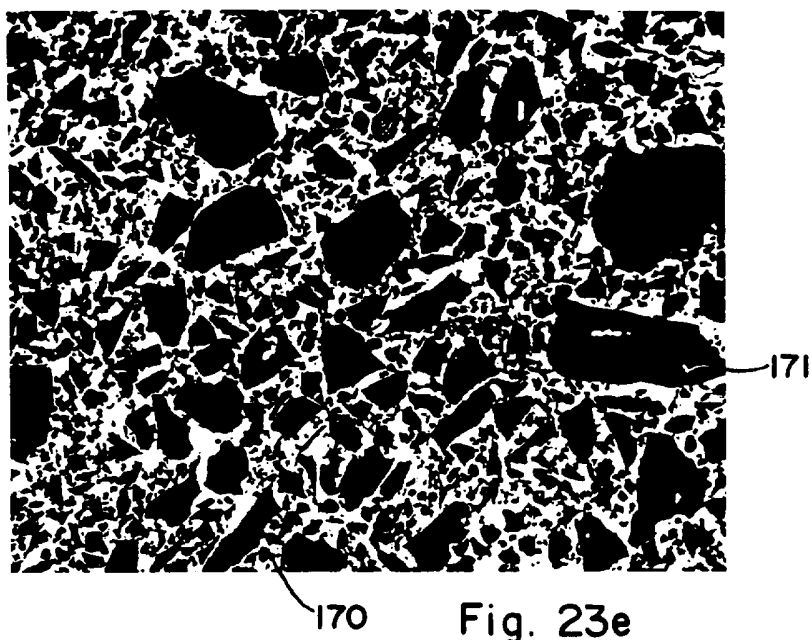


Fig. 23d



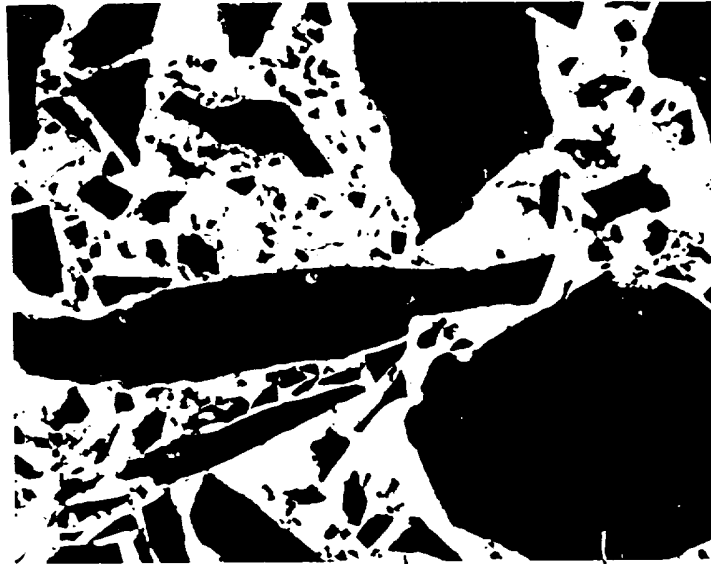


Fig. 23g

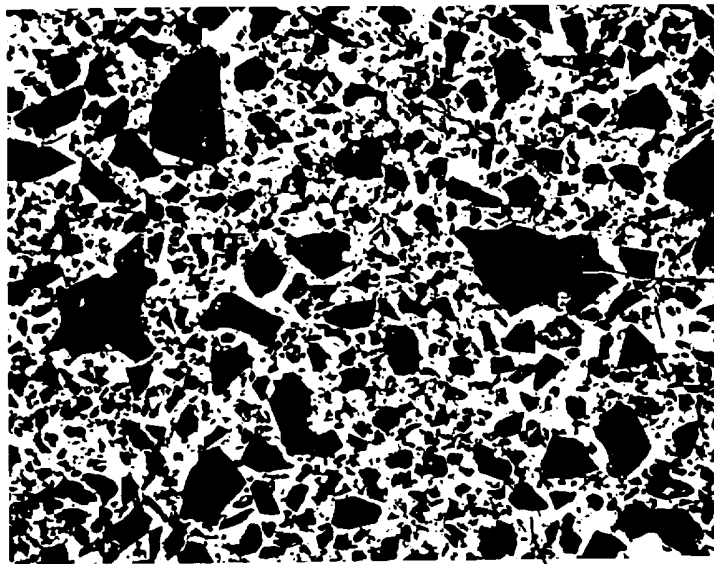


Fig. 23h

Fig. 24a

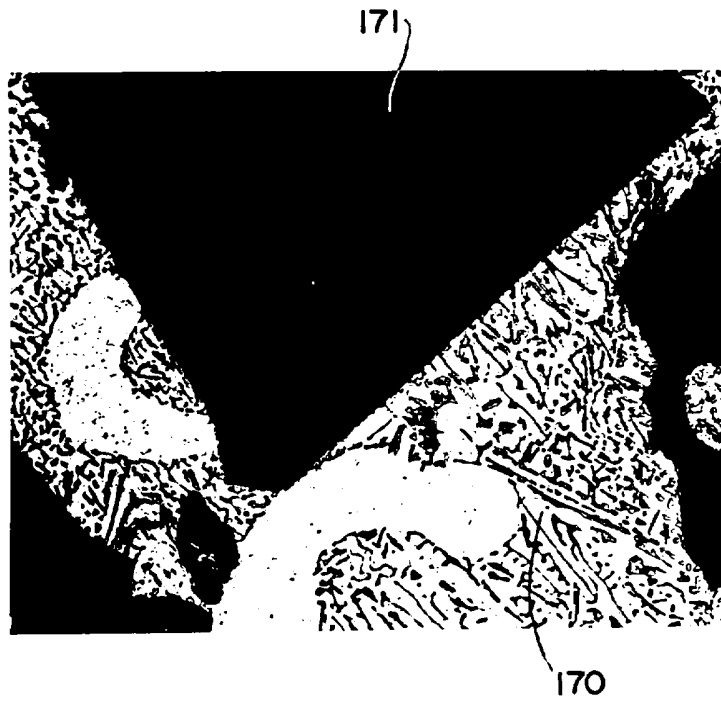
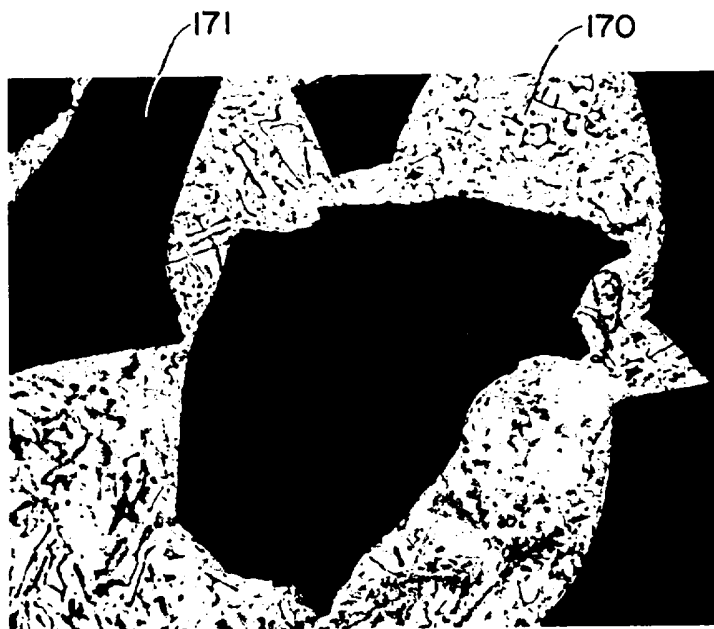


Fig. 24b



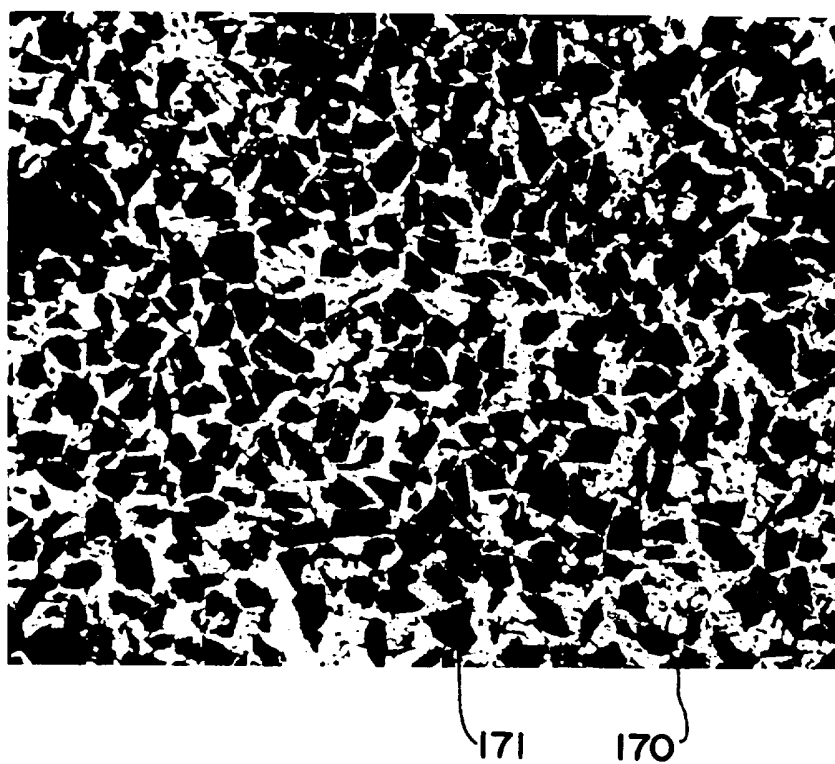


Fig. 24c

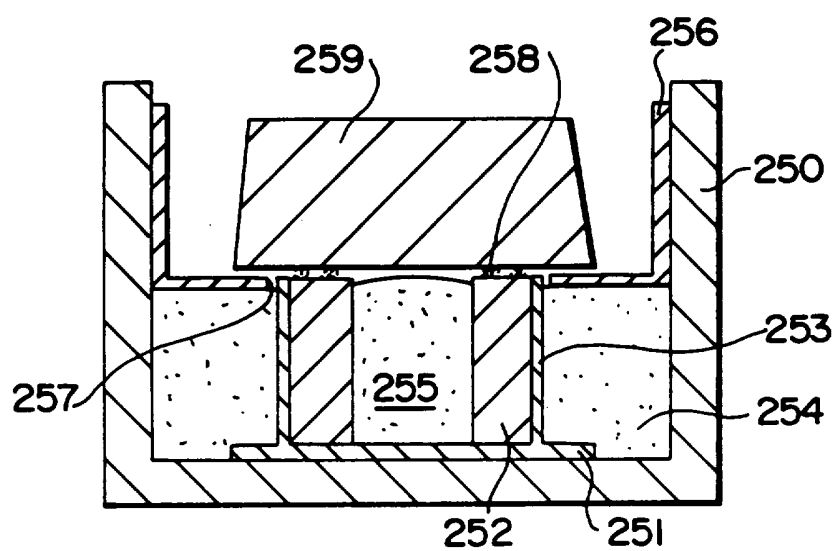


Fig. 25

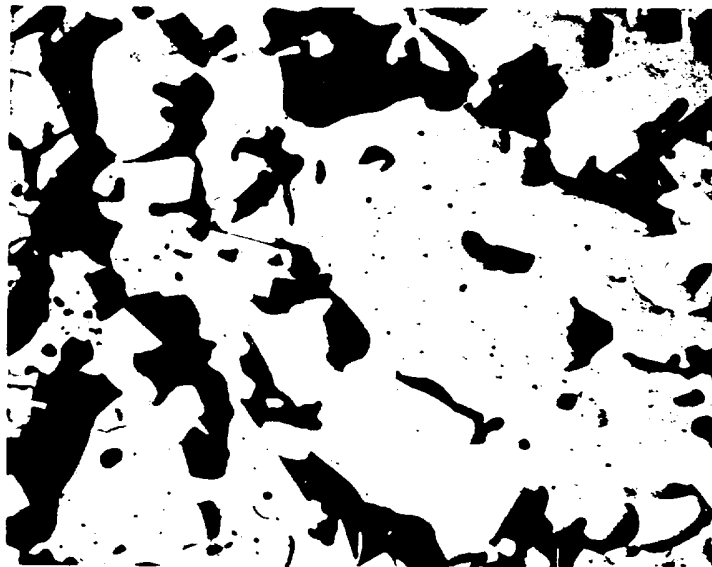


Fig. 26a

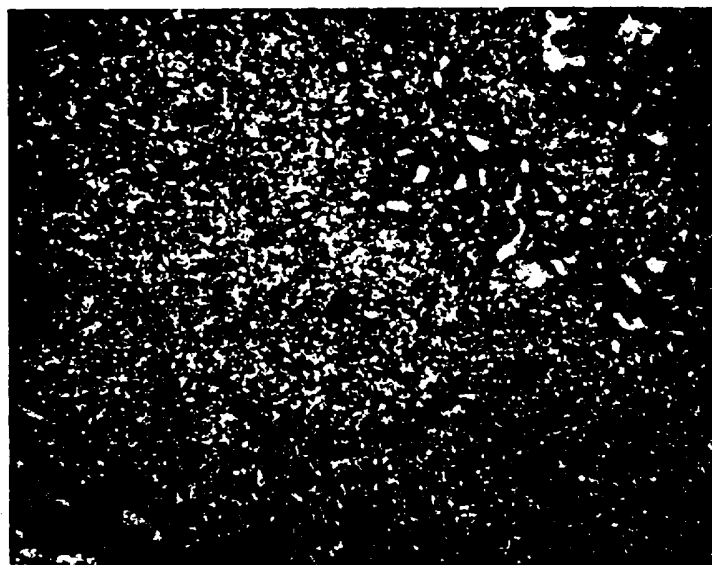


Fig. 26b