

(19)



(11)

EP 2 862 685 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
03.02.2016 Patentblatt 2016/05

(51) Int Cl.:
B26F 3/02 (2006.01)

B26F 3/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14003512.2**

(22) Anmeldetag: **14.10.2014**

(54) **Verfahren zum Trennen stoffschlüssig verbundener Materialien**

Method for separating bonded materials

Procédé de séparation de matériaux liés par assemblage de matière

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **18.10.2013 DE 102013017320**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
22.04.2015 Patentblatt 2015/17

(73) Patentinhaber: **Airbus Defence and Space GmbH
85521 Ottobrunn (DE)**

(72) Erfinder:
• **Kurtovic, Ante
33106 Paderborn (DE)**

• **Süss, Manuela
93051 Regensburg (DE)**

(74) Vertreter: **Maiwald Patentanwalts GmbH
Elisenhof
Elisenstrasse 3
80335 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**WO-A1-01/39986 DE-A1- 2 648 342
DE-A1- 10 032 283 DE-A1-102011 106 764
DE-A1-102011 121 545**

EP 2 862 685 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung**Kurze Beschreibung der Zeichnung****Gebiet der Erfindung****[0006]**

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Trennen von stoffschlüssig verbundenen Oberflächen zweier Werkstoffe, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, wie z. B. aus der DE 26 48 342 A bekannt.

5 Fig. 1 zeigt in 30.000-facher Vergrößerung die mittels Laserstrahlung nanostrukturierte, stark offene-porige Oberfläche einer TiAl6V4-Probe.

Hintergrund der Erfindung

10 Fig. 2 zeigt in 20.000-facher Vergrößerung die durch eine Wärmebehandlung bei 950 °C umstrukturierte, nicht mehr offene-porige Oberfläche der TiAl6V4-Probe von Fig. 1.

[0002] Es ist bekannt, dass zwei Werkstoffe, von denen zumindest einer eine offene-porige nanostrukturierte Oberfläche aufweist, außerordentlich fest miteinander verbunden werden können, da die offene-porige Nanostrukturierung für eine ausgezeichnete Haftung verschiedenster Materialien sorgt. Vielfältige Verfahren zu einer derartigen Nanostrukturierung von Oberflächen mittels Laser-, Elektronen- oder Ionenstrahl sind im Stand der Technik beschrieben.

15 Fig. 3 zeigt in 30.000-facher Vergrößerung die mittels Laserstrahlung nanostrukturierte, stark offene-porige Oberfläche einer Al 2024-Probe.

[0003] Wenn jedoch zwei derartig fest verbundene Werkstoffe aus irgendwelchen Gründen getrennt werden sollen, bereitet dies erhebliche Probleme. Meist bestand die einzige Möglichkeit, die Werkstoffe zu trennen, darin, dass der mit der offene-porigen nanostrukturierten Oberfläche des einen Werkstoffs verbundene zweite Werkstoff mechanisch abgeschliffen wurde, sofern es sich bei ihm um eine relativ dünne Beschichtung oder Struktur handelt, oder dass der Werkstoffverbund an der Verbindungsfläche durchgesägt wurde.

20 Fig. 4 zeigt in 30.000-facher Vergrößerung die durch eine Wärmebehandlung bei 400 °C umstrukturierte, nicht mehr offene-porige Oberfläche der Al 2024-Probe von Fig. 3.

[0004] Es war das Ziel der Erfindung, ein einfacheres Verfahren zum Trennen von derart verbundenen Werkstoffen zu schaffen.

25 Fig. 5 zeigt in 30.000-facher Vergrößerung die mittels Laserstrahlung nanostrukturierte, stark offene-porige Oberfläche einer V2A-Stahl-Probe.

Zusammenfassung der Erfindung

30 Fig. 6 zeigt in 30.000-facher Vergrößerung die durch eine Wärmebehandlung bei 800 °C umstrukturierte, nicht mehr offene-porige Oberfläche der V2A-Stahl-Probe von Fig. 5.

[0005] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Trennen von stoffschlüssig verbundenen Oberflächen zweier Werkstoffe, von denen mindestens einer ein Werkstoff ist, dessen stoffschlüssig verbundene Oberfläche eine offene-porige Nanostrukturierung aufweist und ein festes anorganisches Material, ein anorganisch/organisches Verbundwerkstoffmaterial und/oder einen festen Kunststoff umfasst, wobei das Verfahren dadurch gekennzeichnet ist, dass die offene-porige, nanostrukturierte stoffschlüssig verbundene Oberfläche bei einer Temperatur, die mindestens 150 °C geringer ist als die Schmelztemperatur des festen anorganisches Materials, des anorganisch/organisches Verbundwerkstoffmaterials oder mindestens 50 °C geringer ist als die Erweichungstemperatur des festen Kunststoffs, erwärmt wird, bis die ursprünglich offene-porige nanostrukturierte Oberfläche keine offene-porigen Nanostrukturen mehr aufweist, und dann die Oberflächen der beiden Werkstoffe getrennt werden.

35 Fig. 7 zeigt in 30.000-facher Vergrößerung die mittels Laserstrahlung nanostrukturierte, stark offene-porige Oberfläche einer Carbonfaser-verstärkten SiC (C/SiC)-Keramik-Probe.

40 Fig. 8 zeigt in 30.000-facher Vergrößerung die die durch eine Wärmebehandlung bei 1100 °C umstrukturierte, nicht mehr offene-porige Oberfläche der C/SiC-Keramik-Probe von Fig. 7.

Detaillierte Beschreibung

45 **[0007]** Eine offene-porige Nanostrukturierung einer Werkstoffoberfläche sorgt dafür, dass sich ein damit verbundenes weiteres Material sehr stark mit der Letzteren "verzahnen" kann, was zu einer sehr festen Verbindung der beiden Materialien führt, die schwer zu lösen ist.

50 **[0008]** Es wurde nun überraschend gefunden, dass eine Erwärmung der offene-porigen nanostrukturierten Oberfläche eines Werkstoffes bei einer Temperatur, die erheblich unterhalb der Schmelztemperatur oder Erweichungstemperatur des Werkstoffes liegt, eine Umstrukturierung der zuvor offene-porigen, nanostrukturierten Oberfläche bewirkt, bei der nunmehr die offenen Poren verschwunden sind und geglättete Oberflächenstrukturen vorliegen. Dadurch wird die "Verzahnung" mit einem mit der Oberfläche verbundenen Material aufgehoben,

so dass dieses relativ leicht von der Oberfläche abgetrennt werden kann.

[0009] Erfindungsgemäß umfasst das feste anorganische Material der Werkstoffoberfläche mit offenporigen Nanostrukturen, von der die zweite Werkstoffoberfläche zu trennen ist, bevorzugt ein Metall, eine Metalllegierung, ein Metallchalkogenid, ein Metallsalz, eine metallhaltigen Stickstoff-, Phosphor-, Arsen- und/oder Antimonverbindung, ein Halbmetall oder eine Legierung desselben, eine Keramik, ein anorganischen Glas, Kohlenstoff, einen anorganischen Fasern und/oder nicht faserigen Kohlenstoff und/oder Bornitrid enthaltenden Verbundwerkstoff mit Keramik- und/oder Kohlenstoffmatrix, einen Metall-Keramik-Verbundwerkstoff, einen Verbundwerkstoff aus einem Metall und/oder einer Metalllegierung, das bzw. die wärmeleitende kohlenstoffhaltige und/oder Bornitridhaltige Teilchen und/oder Fasern enthält und/oder einen Verbundwerkstoff aus einem Metall und/oder einer Metalllegierung, das bzw. die wärmeleitende kohlenstoffhaltige und/oder Bornitridhaltige Teilchen und/oder Fasern enthält und zumindest teilweise mit einer Oxidschicht überzogen ist. Das anorganisch/organische Verbundwerkstoffmaterial umfasst bevorzugt einen organische oder anorganisch/organische Fasern enthaltenden Verbundwerkstoff mit Keramik- und/oder Kohlenstoffmatrix und/oder einen anorganische, organische oder anorganisch/organische Fasern enthaltenden Verbundwerkstoff mit Kunststoffmatrix und der Kunststoff umfasst bevorzugt einen Thermoplasten, ein Elastomer, ein thermoplastisches Elastomer, einen Duroplasten und/oder einen Silicium-haltigen Kunststoff. Das Material der Oberfläche mit einer offenporigen Nanostruktur kann auch eine Kombination von mindestens zwei der oben genannten Materialien umfassen.

[0010] Das Metall oder die Metalllegierung kann beispielsweise aus Eisen, Aluminium, Tantal, Magnesium, Kupfer, Nickel oder Titan oder einer Legierung derselben ausgewählt sein, z.B. aus Ti-6Al-4V, Rein-Titan, Mg-4Al-1Zn, Ta-10W, Cu-OF, CuZn37, Al 2024 (Al-4.4Cu-1.5Mg-O.6Mn), V2A-Stahl (X5CrNi18-10) und Inconel 718® (hochwarmfeste Nickellegierung mit Ni-19Cr-18Fe-5Nb-3Mo-0,05C (Werkstoffnr. 2.4668)).

[0011] Die Metallchalkogenide (also Oxide, Sulfide, Selenide und Telluride) können in sehr dünner Schicht auf dem Grundmetall oder der Grundmetalllegierung vorliegen. Dies gilt insbesondere für Oxid-Passivierungsschichten.

[0012] Ähnliches gilt für metallhaltigen Stickstoff-, Phosphor-, Arsen- und/oder Antimonverbindung, bei denen insbesondere Metallnitrid-Schutzschichten auf dem Grundmetall oder der Grundmetalllegierung sehr dünn sein können.

[0013] Bei den Metallsalzen kann es sich um alle bekannte Metallsalze handeln, beispielsweise um Halogenide, wie Chloride, Sulfate, Nitrate, Phosphate und andere Komplexanionen und Salze mit gemischte Kationen und/oder Anionen Erfindungsgemäße Oberflächen können Halbmetalle wie Beryllium, Bor und Silicium, deren

Legierungen mit sich selbst oder mit Metallen und feste Verbindungen mit Nicht-Metallen umfassen.

[0014] Die Keramik oder die Keramik der Keramik-Matrix des Verbundwerkstoffes, aus der das erfindungsgemäße Oberflächenmaterial gebildet sein kann, kann aus allen bekannten Keramiken ausgewählt sein. Dazu gehören Silikatkeramiken, Oxidkeramiken, wie Aluminiumoxid, Siliciumdioxid, Aluminiumoxid-Siliciumdioxid (Mullit), SiOC, Berylliumoxid, Zirkonium(IV)oxid und Aluminiumtitanat und Gemische derselben, wie $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2/\text{SiOC}$, nichtoxidische Keramiken, wie Siliciumcarbid, Wolframcarbid, Siliciumnitrid, Bornitrid, Aluminiumnitrid, SiCN und Molybdändisilicid und Keramiken aus Gemischen der vorstehenden Keramiken.

[0015] Das erfindungsgemäße Keramik-Oberflächenmaterial kann auch ein Keramiküberzug sein.

[0016] Weitere Keramik-Materialien (ohne Anspruch auf Vollständigkeit), die insbesondere, aber nicht nur, als Überzüge verwendet werden, sind die Carbide B_4C , TiC, TaC, HfC, ZrC, Cr_3C_2 , Al_4C_3 , MoC_2 , NbC und VC, die Nitride TiN, CrN_{1-x} , CrN, Li_3N , TaN, und ZrN, die Silicide WSi_2 und ZrSi_2 , die Boride ZrB_2 , HfB_2 , TiB_2 , LaB_6 , CrB , CrB_2 , AlB_2 , MgB_2 und SiB_6 und die Oxide CaO, MgO, ThO_2 , TiO_2 , P_2O_5 , SiAlON, Y_2O_3 , HfO_2 , ZrO_2 und B_2O_3 .

[0017] Bei dem Kunststoff oder dem Kunststoff der Kunststoff-Matrix des Verbundwerkstoffes, aus dem das erfindungsgemäße Oberflächenmaterial gebildet sein kann, handelt es sich im Allgemeinen um Thermoplasten und Thermoplasten-Gemische, wie Poyethylen, Polypropylen, Polystyrol, Polyester oder Polyetheretherketon oder Gemische derselben, Elastomere, thermoplastische Elastomere und deren Gemische, wie Blockcopolymere aus Styrol und Polyolefinen, und Duroplasten oder deren Gemische, wie Bakelit, Polyesterharze, Polyurethanharze und Epoxidharze und deren Gemische, sowie Gemisch der vorgenannten Kunststoffe. Ferner kann es sich bei dem Kunststoff auch um einen Siliciumhaltigen Kunststoff, wie ein Silikon, handeln.

[0018] Bei dem Kohlenstoff oder dem Kohlenstoff der Kohlenstoffmatrix des Verbundwerkstoffes, aus dem das erfindungsgemäße Oberflächenmaterial gebildet sein kann, handelt es sich in der Regel um härtere Kohlenstoffvarianten, wie glasartigen Kohlenstoff, diamantartigen Kohlenstoff, pyrolytisch hergestellten Graphit oder durch Dampfabcheidung oder chemische Dampfabcheidung (vapor deposition oder chemical vapor deposition) hergestellten Kohlenstoff.

[0019] Bei den Verbundwerkstoffen, die das erfindungsgemäße Oberflächenmaterial umfassen kann, kann es sich um Fasern enthaltende (faserverstärkte) Verbundwerkstoffe mit den oben genannten Matrices sowie Mischungen daraus handeln.

[0020] Bei den anorganischen Verbundwerkstoff-Fasern kann es sich um alle anorganischen Fasern handeln, die der Fachmann für den Einsatz in Verbundwerkstoffen kennt. Dazu zählen insbesondere Carbonfasern, Glasfasern und Keramikfasern. Die Fasern können kurz oder lang oder endlos sein und können zu Rovings (Mul-

tifilamenten) verbunden sein.

[0021] Besonders bevorzugte Keramikfasern basieren auf Oxidkeramikfilament-Fasern, insbesondere Al_2O_3 - oder $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (Mullit)-Faser und/oder Nicht-Oxidkeramikfilament-Fasern, insbesondere SiC-, SiCN- und SiBNC-Faserarten.

[0022] Bevorzugte organische Verbundstoff-Fasern sind Aramid-Fasern. Es können aber auch andere Fasern aus künstlichen und natürlichen Polymeren eingesetzt werden.

[0023] Häufig sind die Fasern in den faserverstärkten Verbundwerkstoffen beschichtet, um eine schwache Faser-Matrix-Grenzflächenwechselwirkung zu gewährleisten. Das ist in der Regel für ein gutes mechanisches Verhalten sowie für einen Faserschutz erforderlich. Derartige Beschichtungen können z.B. aus pyrolytischem Kohlenstoff, SiC, BN, LaPO_4 , CePO_4 , CaWO_4 , ZrO_2 , Mullit, Al_2O_3 , Magnetoplumbite, α -Aluminat-Strukturen, $\text{LaAl}_{11}\text{O}_{18}$, $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$, $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}$, $\text{KMg}_2\text{Al}_{15}\text{O}_{25}$, Lanthan- und Calciumhexaaluminate, Hexaaluminate, organometallische Verbindungen oder Gemische und/oder Multilayer daraus ausgewählt sein. Wenn die beschichteten Fasern sowohl anorganische als auch organische Komponenten enthalten, werden sie hierin als "anorganisch/organische Fasern" bezeichnet.

[0024] Die faserverstärkten Verbundwerkstoffe können noch zusätzliche inerte oder passive Füllstoffe enthalten, z.B. Keramikpulver, das nicht mit der Keramik-Matrix, falls verwendet, verbunden ist.

[0025] Unter nicht faserigen Kohlenstoff und/oder Bornitrid enthaltenden Verbundwerkstoffen mit Keramik-, Kunststoff- oder Kohlenstoffmatrix, aus denen das erfindungsgemäße Oberflächenmaterial gebildet sein kann, versteht man Keramik- oder Kohlenstoff-Matrices, die mit kohlenstoffartigen Teilchen außer Carbonfasern versehen sind. Zu diesen kohlenstoffhaltigen Teilchen gehören insbesondere graphitartige Teilchen, Kohlenstoff-Nanoröhrchen, Fullerene und diamantartige Teilchen. Bei dem Bornitrid handelt es sich bevorzugt um Teilchen aus kubischem Bornitrid.

[0026] Bei einem weiteren Verbundwerkstoff, den das Oberflächenmaterial umfassen kann, handelt es sich um Metalle und/oder Metalllegierungen, die wärmeleitende kohlenstoffhaltige und/oder Bornitrid-haltige Teilchen und/oder Fasern enthalten und zumindest teilweise mit einer Oxidschicht überzogen sein können. Bei diesen Fasern und Teilchen kann es sich insbesondere um Carbonfasern, graphitartige Teilchen, Kohlenstoff-Nanoröhrchen, diamantartige Teilchen, Fasern aus Bornitrid und Teilchen aus kubischem Bornitrid handeln.

[0027] Das Oberflächenmaterial kann auch mit Metall modifizierte Keramiken, also Metall-Keramik-Verbundwerkstoffe, umfassen.

[0028] Wie bereits eingangs erwähnt, sind dem Fachmann Verfahren zum Aufbringen einer offenporigen Nanostruktur auf diese Oberflächenmaterialien bekannt. Sie beinhalten im Allgemeinen das Abtasten der Oberfläche mit einem gepulsten Laserstrahl oder auch mit ei-

nem Elektronen- oder Ionenstrahl unter bestimmten Verfahrensbedingungen.

[0029] Das Material der Oberfläche des zweiten Werkstoffs kann unabhängig aus den gleichen Materialien ausgewählt sein, die vorstehend als Materialien für die offenporige nanostrukturierte Oberfläche des ersten Werkstoffs genannt wurden.

[0030] Gegebenenfalls kann die Oberfläche des zweiten Werkstoffs in diesem Fall ebenfalls mit einer offenporigen Nanostruktur versehen sein.

[0031] Alternativ kann der zweite Werkstoff (und somit auch seine stoffschlüssig verbundene Oberfläche) aus einem von den vorstehende beschriebenen Materialien verschiedenen Material ausgewählt sein. Es kann sich bei ihm beispielsweise um eine Beschichtung handeln, die einen Lack, ein Dichtungsmittel, ein Lot, einen Überzug zum Schutz vor mechanischer, chemischer oder Wärmeeinwirkung, zur Abweisung von Schmutz oder zur Haftungsverringering, Knochenzement oder ein biologisches Material umfasst.

[0032] Gegebenenfalls kann sich zwischen den beiden stoffschlüssig verbundenen Oberflächen der zwei Werkstoffe eine meist sehr dünne Klebstoffschicht oder eine Haftvermittlerschicht befinden. Bei dem Haftvermittler kann es sich z.B. um einen Silanhaftvermittler, ein Titanat, wie Titanetraisisopropylat oder Titanacetylacetonat, ein Zirconat, wie Zirkoniumtetrabutylat, ein Zirkoniumaluminat, ein Thiazol, ein Triazol, wie 1 H-Benzotriazol, ein Phosphonat oder ein Sulfonat handeln.

[0033] Wie eingangs schon erwähnt, wurde überraschend gefunden, dass die Temperatur, bei der bereits eine Umstrukturierung der offenporigen, nanostrukturierten Oberfläche stattfindet, erheblich unterhalb des Schmelzpunkts oder Erweichungspunkts des Oberflächenmaterials liegt. Bei anorganischen Materialien und Verbundwerkstoffmaterialien liegt die Temperatur in der Regel mindestens 150°C unterhalb des Schmelzpunkts, sie kann aber noch wesentlich geringer sein, z.B. mindestens 200°C bis einige hundert $^\circ\text{C}$ geringer als die Schmelztemperatur, wie in den Beispielen gezeigt. Bei Kunststoffen liegt die erforderliche Temperatur in der Regel mindestens 50°C , häufig 80°C unterhalb des Erweichungspunktes des Kunststoffes. Die erforderliche Temperatur hängt auch von der Erwärmungsdauer ab, so dass sich ein Temperaturbereich ergibt, in dem die Umstrukturierung der Oberfläche stattfinden kann.

[0034] Durch zusätzlich Anwendung von Druck auf die verbundenen Oberflächen kann die zur Umstrukturierung erforderliche Temperatur noch erniedrigt werden.

[0035] Die Erwärmungsdauer bis zum völligen Verschwinden der offenen Poren der Nanostruktur hängt in erster Linie vom Oberflächenmaterial und von der tatsächlich angewendeten Temperatur ab (niedrigere Temperaturen erfordern beim gleichen Werkstoff eine längere Erwärmungsdauer). In der Regel wird man die Temperatur so wählen, dass eine Erwärmungsdauer von etwa 3 bis etwa 30 Minuten ausreichend ist.

[0036] Es soll noch erwähnt werden, dass nach der

erfindungsgemäßen Wärmebehandlung die offenen Poren verschwunden sind und geglättete Oberflächenstrukturen vorliegen, diese aber durchaus noch Abmessungen im Nanometerbereich aufweisen können.

[0037] Das Erwärmen der offenporigen nanostrukturierten Oberfläche(n) kann unter Berücksichtigung des speziellen Werkstoffverbunds auf jede dem Fachmann bekannte Weise bewerkstelligt werden. Nachfolgend werden einige Beispiele dafür angegeben.

[0038] Kleinere Werkstoffverbunde können z.B. einfach in einen Ofen mit der erforderlichen Temperatur gegeben werden.

[0039] Elektrisch leitende Oberflächenmaterialien können sehr vorteilhaft, da schnell, mittels Induktionsheizung auf die erforderliche Temperatur gebracht und dabei gehalten werden.

[0040] Insbesondere wenn einer der beiden Werkstoffe eine relativ dünne Beschichtung ist, kann die offenporige nanostrukturierte Oberfläche durch die Beschichtung hindurch mit einem Laser-, Elektronen- oder Ionenstrahl oder mit Infrarotstrahlung erwärmt werden. Alternativ kann dies gegebenenfalls auch von der Rückseite der Oberfläche her geschehen.

[0041] Durch heiß-isostatisches Pressen des gesamten Werkstoffverbunds kann die Oberfläche gleichzeitig erwärmt und mit Druck beaufschlagt werden.

[0042] Eine weitere Möglichkeit zur Erwärmung der Oberfläche besteht darin, mit kleinen Bohrern oder Laserstrahlen feine Kanäle bis zur nanostrukturierten Oberfläche hin zu bohren und diese mittels Einleitens eines heißen Fluids zu erwärmen. Als Fluid eignen sich insbesondere heißes entionisiertes Wasser, heißer Wasserdampf und heiße Luft mit mindestens 40 % relativer Feuchtigkeit.

[0043] Sobald sich die offenporige nanostrukturierte Oberfläche geglättet hat, lassen sich die zuvor mit ihr fest verbundenen Werkstoffe leicht mechanisch entfernen. Beschichtungen wie Lacke oder sonstige Überzüge heben sich in der Regel von selbst ab. Auch Klebstoffschichten und mit ihnen verbundene zweite Werkstoffe lassen sich leicht abheben. Auch wenn die Oberflächen beider Werkstoffe offenporige Nanostrukturen aufgewiesen hatten und die Werkstoffe durch direktes Verpressen mit einander verbunden und "verzahnt" waren, können sie nach dem Glätten beider Oberflächen durch das Erwärmen einfach auseinandergezogen werden.

[0044] Eventuell noch vorhandene Reste von beispielsweise Lack, Klebstoff oder Haftvermittler können durch geeignete Lösungsmittel leicht entfernt werden, da sie jetzt nicht mehr schwer zugänglich in offenen Poren vorliegen.

[0045] Die folgenden Beispiele erläutern die Erfindung weiter.

Beispiele

Beispiel 1

[0046] Ein Bauteil aus TiAl6V4 war mittels Laserstrahlung mit einer stark offenporigen Oberfläche versehen worden (siehe Fig. 1).

[0047] Das Bauteil wurde in einem Ofen über etwa 65 Minuten auf eine Temperatur von etwa 950 °C erwärmt und etwa 20 Minuten dabei gehalten.

[0048] Danach war die Oberfläche umstrukturiert und geglättet und wies keine offenen Poren mehr auf (siehe Fig. 2).

Beispiel 2

[0049] In diesem Beispiel waren die Oberflächen von zwei Al 2024-Bauteilen mittels Laserstrahl mit offenporiger Nanostrukturierung versehen (siehe Fig. 3) und dann verklebt worden.

[0050] Dann wurden in die beiden Bauteile feine Kanäle bis unter die Oberflächen gebohrt und 400 °C heißer Wasserdampf wurde etwa 5 Minuten lang eingespritzt.

[0051] Danach waren die Oberflächen umstrukturiert und geglättet und wiesen keine offenen Poren mehr auf (siehe Fig. 4), was zur Folge hatte, dass sich die beiden Bauteile leicht auseinanderziehen ließen, da sich der Klebstoff von den beiden geglätteten Oberflächen ohne Weiteres abheben ließ.

Beispiel 3

[0052] Ein Bauteil aus V2A-Stahl war mittels Laserstrahlung mit einer stark offenporigen Oberfläche versehen worden (siehe Fig. 5).

[0053] Das Bauteil wurde mit Hilfe einer Induktionsheizung innerhalb von etwa 5 Sekunden auf eine Temperatur von etwa 800 °C erwärmt und etwa 5 Minuten dabei gehalten.

[0054] Danach war die Oberfläche umstrukturiert und wies feine nadelförmige Gebilde mit glatter Oberfläche ohne offene Poren auf (siehe Fig. 6).

Beispiel 4

[0055] Ein Bauteil aus Carbonfaser-verstärkter SiC (C/SiC)-Keramik war mittels Laserstrahlung mit einer stark offenporigen Oberfläche versehen worden (siehe Fig. 7).

[0056] Das Bauteil wurde in einem Ofen über etwa 90 Minuten auf eine Temperatur von etwa 1100 °C erwärmt und etwa 15 Minuten dabei gehalten.

[0057] Danach war die Oberfläche umstrukturiert und geglättet und wies keine offenen Poren mehr auf (siehe Fig. 8).

Patentansprüche

1. Verfahren zum Trennen von stoffschlüssig verbundenen Oberflächen zweier Werkstoffe, von denen mindestens einer ein Werkstoff ist, dessen stoffschlüssig verbundene Oberfläche eine offenporige Nanostrukturierung aufweist und ein festes anorganisches Material, ein anorganisch/organisches Verbundwerkstoffmaterial und/oder einen festen Kunststoff umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** die offenporige, nanostrukturierte stoffschlüssig verbundene Oberfläche bei einer Temperatur, die mindestens 150 °C geringer ist als die Schmelztemperatur des festen anorganischen Materials, des anorganisch/organischen Verbundwerkstoffmaterials oder mindestens 50 °C geringer ist als die Erweichungstemperatur des festen Kunststoffs, erwärmt wird, bis die ursprünglich offenporige nanostrukturierte Oberfläche keine offenporigen Nanostrukturen mehr aufweist, und dann die Oberflächen der beiden Werkstoffe getrennt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das feste anorganische Material ein Metall, eine Metalllegierung, ein Metallchalkogenid, ein Metallsalz, eine metallhaltigen Stickstoff-, Phosphor-, Arsen- und/oder Antimonverbindung, ein Halbmetall oder eine Legierung desselben, eine Keramik, ein anorganisches Glas, Kohlenstoff, einen anorganischen Fasern und/oder nicht faserigen Kohlenstoff und/oder Bornitrid enthaltenden Verbundwerkstoff mit Keramik- und/oder Kohlenstoffmatrix, einen Metall-Keramik-Verbundwerkstoff, einen Verbundwerkstoff aus einem Metall und/oder einer Metalllegierung, das bzw. die wärmeleitende kohlenstoffhaltige und/oder Bornitrid-haltige Teilchen und/oder Fasern enthält und/oder einen Verbundwerkstoff aus einem Metall und/oder einer Metalllegierung, das bzw. die wärmeleitende kohlenstoffhaltige und/oder Bornitrid-haltige Teilchen und/oder Fasern enthält und zumindest teilweise mit einer Oxidschicht überzogen ist, umfasst, das anorganisch/organische Verbundwerkstoffmaterial einen organische oder anorganisch/organische Fasern enthaltenden Verbundwerkstoff mit Keramik- und/oder Kohlenstoffmatrix und/oder einen anorganischen, organischen oder anorganisch/organischen Fasern enthaltenden Verbundwerkstoff mit Kunststoffmatrix umfasst und der Kunststoff einen Thermoplasten, ein Elastomer, ein thermoplastisches Elastomer, einen Duroplasten und/oder einen Silicium-haltigen Kunststoff umfasst.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberfläche beider Werkstoffe jeweils unabhängige ein festes anorganisches Material, ein anorganisch/organisches Verbundwerkstoffmaterial oder einen festen Kunststoff umfasst, wobei nur eine Oberfläche eine offenporige Nanostrukturierung aufweist.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberfläche beider Werkstoffe jeweils unabhängige ein festes anorganisches Material, ein anorganisch/organisches Verbundwerkstoffmaterial oder einen festen Kunststoff umfasst, wobei beide Oberflächen eine offenporige Nanostrukturierung aufweisen.
5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Werkstoff eine Beschichtung ist, die einen Lack, ein Dichtungsmittel, ein Lot, einen Überzug zum Schutz vor mechanischer, chemischer oder Wärmeeinwirkung, zur Abweisung von Schmutz oder zur Haftungsverringering, Knochenzement oder ein biologisches Material umfasst.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich zwischen den zwei stoffschlüssig verbundenen Oberflächen eine Klebstoff- oder Haftvermittlerschicht befindet.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zwei stoffschlüssig verbundenen Oberflächen direkt miteinander verbunden sind.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die offenporige(n), nanostrukturierte(n) stoffschlüssig verbundene(n) Oberfläche(n) bei einer Temperatur, die mindestens 200 °C geringer ist als die Schmelztemperatur des festen anorganischen Materials, des anorganisch/organischen Verbundwerkstoffmaterials oder mindestens 80 °C geringer als die Erweichungstemperatur des festen Kunststoffs, erwärmt wird bzw. werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erwärmen der Oberfläche(n) durch Erwärmen der zwei Werkstoffe, deren Oberflächen stoffschlüssig verbundenen sind, in einem Ofen vorgenommen wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erwärmen der Oberfläche(n) durch einen Induktionsheizung erfolgt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erwärmen der Oberfläche(n) durch einen Laser-, Elektronen- oder Ionenstrahl oder durch Infrarot-Strahlung erfolgt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **da-**

durch gekennzeichnet, dass das Erwärmen der Oberfläche(n) durch Zuführung eines heißen Fluids durch in das Werkstück eingebohrte Kanäle zu der Oberfläche bewerkstelligt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Fluid heißes Wasser, heißen Wasserdampf oder heiße Luft mit mindestens 40° relativer Feuchtigkeit umfasst.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Trennen mechanisch durch Abheben eines der Werkstoffe oder durch Auseinanderziehen der beiden Werkstoffe vorgenommen wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Trennen eine Behandlung mindestens einer der zuvor verbundenen Oberflächen der getrennten Werkstücke mit einem Lösungsmittel vorgenommen wird.

Claims

1. A method for separating adhesively bonded surfaces of two materials, of which at least one is a material of which the adhesively bonded surface comprises an open-pored nanostructuring and a solid inorganic material, an inorganic/organic composite material and/or a solid plastic, **characterized in that** the open-pored, adhesively bonded nanostructured surface is heated to a temperature that is at least 150 °C lower than the melting temperature of the solid inorganic material and the inorganic/organic composite material, or at least 50 °C lower than the softening temperature of the solid plastic, until the originally open-pored nanostructured surface no longer has any open-pored nanostructures, and the surfaces of the two materials are then separated.
2. The method according to claim 1, **characterized in that** the solid inorganic material comprises a metal, a metal alloy, a metal chalcogenide, a metal salt, a metal-containing compound of nitrogen, phosphorus, arsenic and/or antimony, a semi-metal or an alloy thereof, a ceramic, an inorganic glass, carbon, a composite material with a ceramic and/or carbon matrix containing inorganic fibres and/or non-fibrous carbon and/or boron nitride, a metal-ceramic composite material, a composite material consisting of a metal and/or a metal alloy that contains thermally conductive particles and/or fibres containing carbon and/or boron nitride, and/or a composite material consisting of a metal and/or a metal alloy that contains thermally conductive particles and/or fibres containing carbon and/or boron nitride and is at least partially coated with an oxide layer, the inorganic/or-

ganic composite material comprises a composite material with a ceramic and/or carbon matrix containing organic or inorganic/organic fibres and/or a composite material with plastic matrix containing inorganic, organic or inorganic/organic fibres, and the plastic comprises a thermoplastic, an elastomer, a thermoplastic elastomer, a thermosetting plastic and/or a silicon-containing plastic.

- 5
- 10 3. The method according to either of claims 1 or 2, **characterized in that** the surfaces of both materials independently comprise a solid inorganic material, an inorganic/organic composite material or a solid plastic, wherein only one surface has an open-pored nanostructuring.
- 15
- 20 4. The method according to either of claims 1 or 2, **characterized in that** the surfaces of both materials independently contain a solid inorganic material, an inorganic/organic composite material or a solid plastic, wherein both surfaces have an open-pored nanostructuring.
- 25 5. The method according to either of claims 1 or 2, **characterized in that** the second material is a coating comprising a lacquer, a sealant, a solder, a coating for protection against mechanical, chemical or thermal effects, for repelling dirt or reducing adhesion, bone cement or a biological material.
- 30 6. The method according to any one of claims 1 to 5, **characterized in that** a layer of adhesive or bonding agent is located between the two adhesively bonded surfaces.
- 35 7. The method according to any one of claims 1 to 5, **characterized in that** the two adhesively bonded surfaces are bonded directly with each other.
- 40 8. Method according to any one of claims 1 to 7, **characterized in that** the open-pored, nanostructured, adhesively bonded surface(s) is/are heated to a temperature that is at least 200 °C lower than the melting temperature of the solid inorganic material and the inorganic/organic composite material, or at least 80 °C lower than the softening temperature of the solid plastic.
- 45 9. The method according to any one of claims 1 to 8, **characterized in that** the heating of the surface(s) by heating the two materials whose surfaces are adhesively bonded, is carried out in an oven.
- 50 10. The method according to any one of claims 1 to 8, **characterized in that** the heating of the surface(s) is performed by induction heating.
- 55 11. The method according to any one of claims 1 to 8,

characterized in that the heating of the surface(s) performed by a laser, electron or ion beam or by infrared radiation.

12. The method according to any one of claims 1 to 8, **characterized in that** the heating of the surface(s) is accomplished by supplying a hot fluid to the surface through channels drilled into the workpiece. 5
13. The method according to any one of claims 1 to 8, **characterized in that** the fluid comprises hot water, hot steam or hot air with at least 40° relative humidity. 10
14. The method according to any one of claims 1 to 13, **characterized in that** the separation is carried out mechanically by lifting one of the materials or by peeling the two materials apart. 15
15. The method according to claim 14, **characterized in that** after separation at least one of the previously bonded surfaces of the separated workpieces undergoes treatment with a solvent. 20

Revendications 25

1. Procédé destiné à séparer des surfaces assemblées par matière de deux matériaux dont au moins l'un est un matériau dont la surface assemblée par matière comprend une nanostructuration à pores ouverts et une matière anorganique solide, une matière avec matériau composite anorganique/organique et/ou une matière plastique solide, **caractérisé en ce qu'on** chauffe la surface nanostructurée à pores ouverts, assemblée par matière à une température qui est inférieure d'au moins 150°C à la température de fusion de la matière anorganique solide, de la matière avec matériau composite anorganique/organique ou au moins plus inférieure de 50°C à la température de ramollissement de la matière plastique solide, jusqu'à ce que la surface initialement nanostructurée à pores ouverts ne présente plus aucune nanostructuration à pores ouverts et on sépare ensuite les surfaces des deux matériaux. 30 35 40
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la matière anorganique solide comprend un métal, un alliage métallique, un chalcogénure métallique, un sel métallique, un composé d'azote, de phosphore, d'arsenic et/ou d'antimoine contenant du métal, un métalloïde ou un alliage de ce dernier, une céramique, un verre anorganique, du carbone, un matériau composite contenant des fibres anorganiques et/ou du carbone non fibreux et/ou du nitrure de bore avec une matrice en céramique ou en carbone, un matériau composite métal-céramique, un matériau composite en un métal et/ou en un alliage métallique qui respectivement contient les particules 45 50 55

thermoconductrices contenant du carbone et ou du nitrure de bore et/ou des fibres et/ou un matériau composite en un métal et/ou en un alliage métallique qui respectivement contient les particules thermoconductrices contenant du carbone et/ou du nitrure de bore et/ou des fibres et qui est recouvert au moins en partie d'une couche d'oxyde, la matière avec matériau composite anorganique/organique comprend un matériau composite contenant des fibres anorganiques/organiques, avec une matrice en céramique et/ou en carbone et/ou comprend un matériau composite contenant des fibres anorganiques, organiques ou anorganiques/organiques avec matrice en matière plastique et/ou la matière plastique comprend une matière thermoplastique, un élastomère, un élastomère thermoplastique, une matière duroplastique et/ou une matière plastique contenant du silicium.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisé en ce que** la surface des deux matériaux comprend une matière anorganique solide, une matière a matériau composite anorganique/organique ou une matière plastique solide, chaque fois indépendantes, seule une surface présentant une nanostructuration à pores ouverts. 25
4. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisé en ce que** la surface des deux matériaux comprend une matière anorganique solide, une matière a matériau composite anorganique/organique ou une matière plastique solide, chaque fois indépendantes, les deux surfaces présentant une nanostructuration à pores ouverts. 30 35 40
5. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisé en ce que** le deuxième matériau a un revêtement qui comprend un vernis, un produit d'étanchéité, un métal d'apport de brasage, un enrobage pour la protection contre des influences mécaniques, chimiques ou thermiques pour rejeter les salissures ou pour réduire l'adhérence, un ciment osseux ou une matière biologique. 45
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'entre** les deux surfaces assemblées par matière se trouve une couche d'agent adhésif ou de promoteur d'adhérence. 50
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** les deux surfaces assemblées par matière sont directement assemblées ensemble. 55
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce qu'on** chauffe la (les) surface(s) nanostructurée(s) à pores ouverts, assemblée(s) par matière à une température qui est inférieure d'au moins 150°C à la température de fusion de la matière anorganique solide, de la matière avec matériau composite anorganique/organique ou au moins plus inférieure de 50°C à la température de ramollissement de la matière plastique solide, jusqu'à ce que la surface initialement nanostructurée à pores ouverts ne présente plus aucune nanostructuration à pores ouverts et on sépare ensuite les surfaces des deux matériaux.

rieure d'au moins 200°C à la température de fusion de la matière anorganique solide, de la matière avec matériau composite anorganique/organique ou d'au moins 80°C à la température de ramollissement de la matière plastique solide.

5

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'on** procède au réchauffement de la (des) surface(s) par réchauffement dans un four des deux matériaux dont les surfaces sont assemblées par matière. 10
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** le réchauffement de la (des) surface(s) s'effectue à l'aide d'un chauffage à induction. 15
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** le réchauffement de la (des) surface(s) s'effectue à l'aide d'un rayon laser, d'un faisceau d'électrons ou d'un faisceau d'ions ou à l'aide d'un rayonnement infrarouges. 20
12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** le réchauffement de la (des) surface(s) est assuré par apport vers la surface d'un fluide chaude à travers des canaux percé dans la pièce d'usinage. 25
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** le fluide est de l'eau chaude, de la vapeur d'eau chaude ou de l'air chaud, avec une humidité relative d'au moins 40°. 30
14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce qu'on** procède à la séparation par soulèvement de l'un des matériaux ou par écartement des deux matériaux. 35
15. Procédé selon la revendication 14, **caractérisé en ce qu'**après la séparation, on procède à un traitement avec un solvant d'au moins l'une des surfaces précédemment assemblées des pièces d'usinage séparées. 40

45

50

55

FIG 1

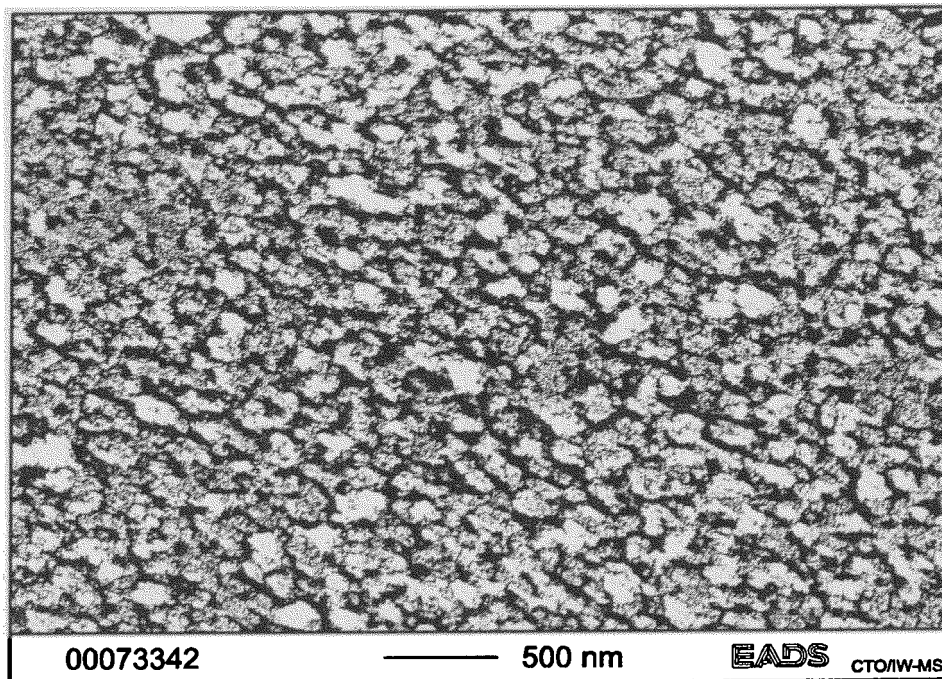


FIG 2

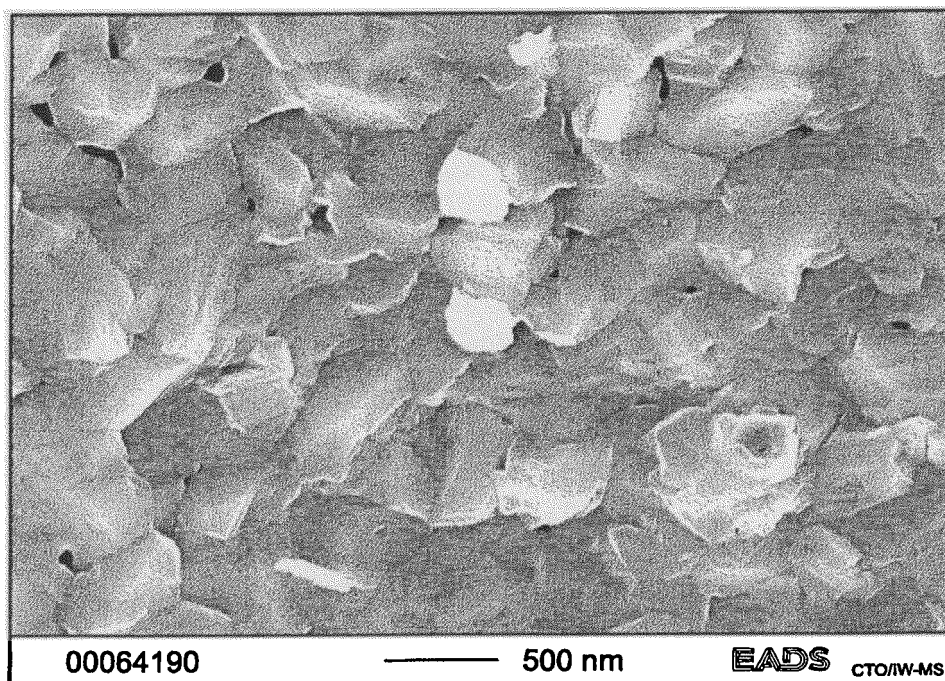


FIG 3

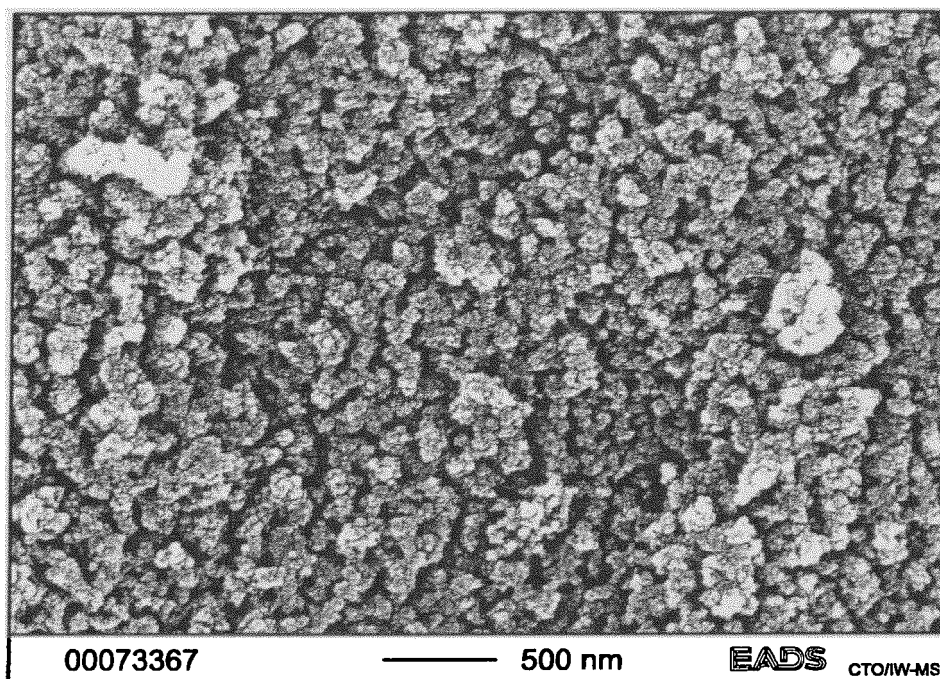


FIG 4

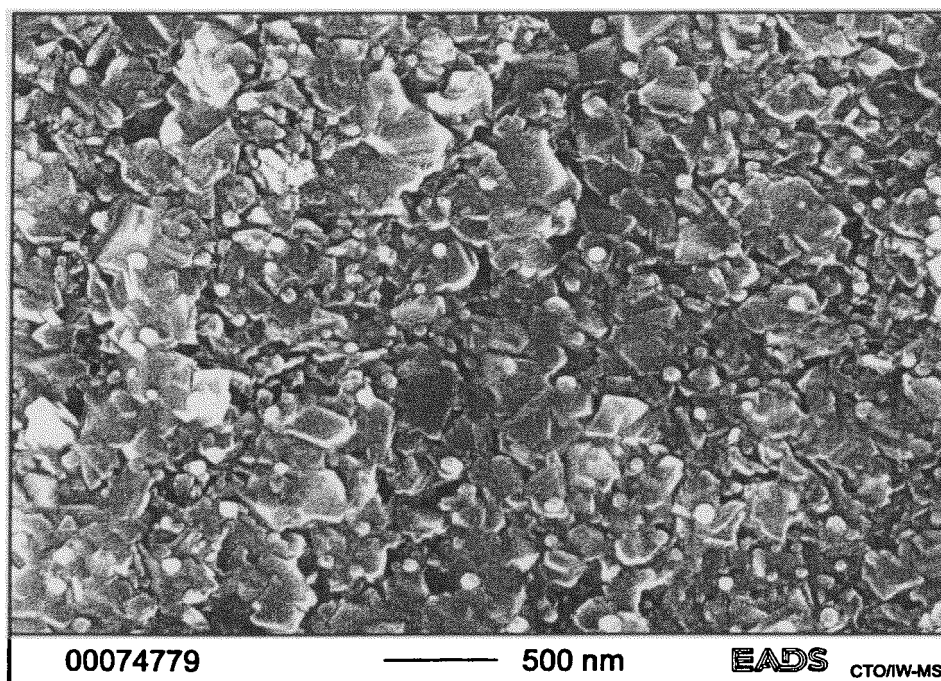


FIG 5

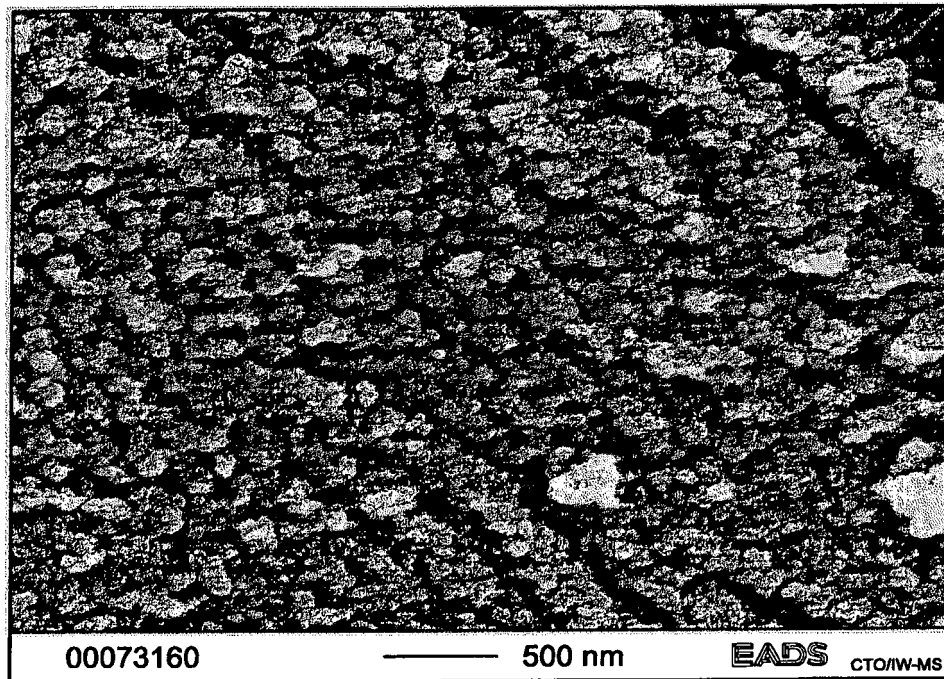


FIG 6

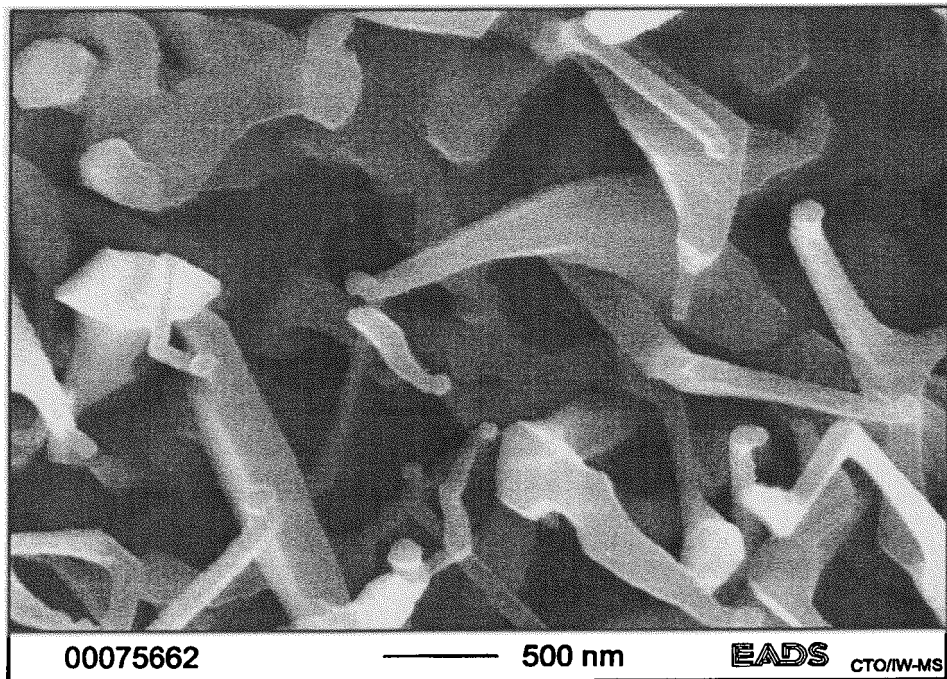


FIG 7

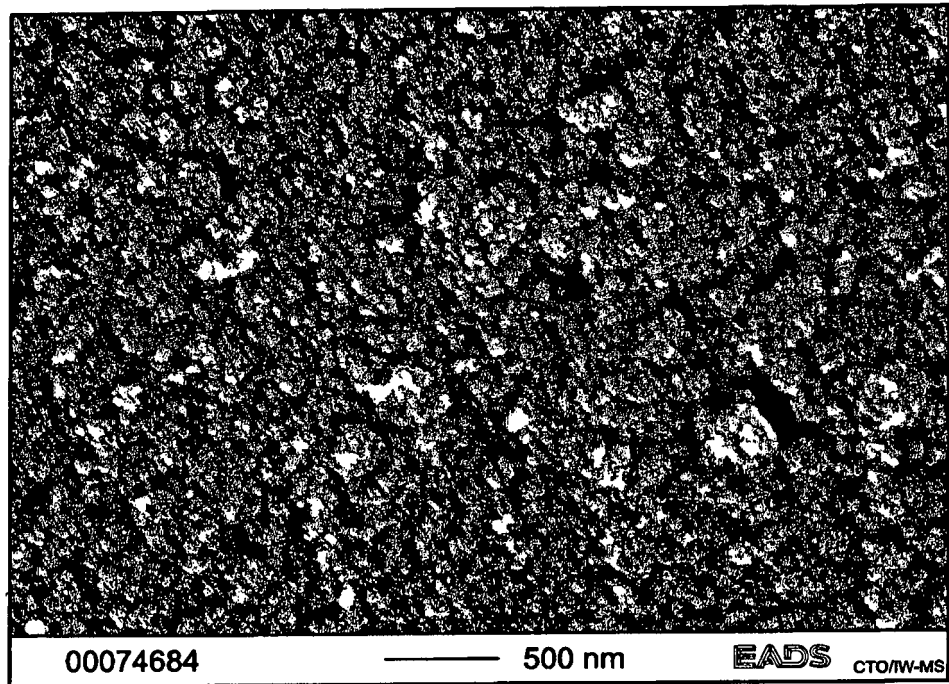
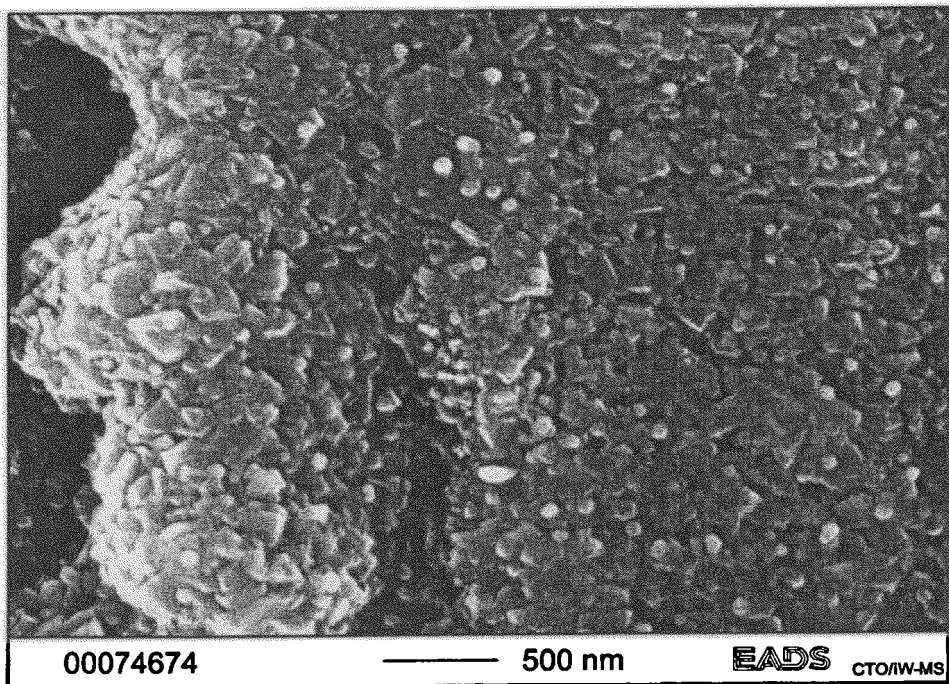


FIG 8



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 2648342 A [0001]