



(11) **EP 2 862 685 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
22.04.2015 Patentblatt 2015/17

(51) Int Cl.:
B26F 3/02^(2006.01) B26F 3/06^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14003512.2**

(22) Anmeldetag: **14.10.2014**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(71) Anmelder: **Airbus Defence and Space GmbH**
85521 Ottobrunn (DE)

(72) Erfinder:
• **Kurtovic, Ante**
33106 Paderborn (DE)
• **Süss, Manuela**
93051 Regensburg (DE)

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

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

(57) in einem 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, wird 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, bis die ursprünglich offenporige nanostrukturierte Oberfläche keine offenporigen Nanostrukturen mehr aufweist, und dann werden die Oberflächen der beiden Werkstoffe getrennt.

EP 2 862 685 A1

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Trennen von stoffschlüssig verbundenen Oberflächen zweier Werkstoffe.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Es ist bekannt, dass zwei Werkstoffe, von denen zumindest einer eine offenporige nanostrukturierte Oberfläche aufweist, außerordentlich fest miteinander verbunden werden können, da die offenporige 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.

[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 offenporigen 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.

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

Zusammenfassung der Erfindung

[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 offenporige 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 offenporige, 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 offenporige nanostrukturierte Oberfläche keine offenporigen Nanostrukturen mehr aufweist, und dann die Oberflächen der beiden Werkstoffe getrennt werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0006]

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

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

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

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

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

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

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

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

Detaillierte Beschreibung

[0007] Eine offenporige 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.

[0008] Es wurde nun überraschend gefunden, dass eine Erwärmung der offenporigen nanostrukturierten Oberfläche eines Werkstoffes bei einer Temperatur, die erheblich unterhalb der Schmelztemperatur oder Erweichungstemperatur des Werkstoffes liegt, eine Umstrukturierung der zuvor offenporigen, 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/oder 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-4Al1-Zn, Ta-10W, Cu-OF, CuZn37, Al 2024 (Al-4.4Cu-1.5Mg-0.6Mn), 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, Zirconium(IV)oxid und Aluminiumtitanat und Gemische derselben, wie Al_2O_3 - SiO_2 /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 WSi₂ und ZrSi₂, die Boride ZrB₂, HfB₂, TiB₂, LaB₆, CrB, CrB₂, AlB₂, MgB₂ und SiB₆ und die Oxide CaO, MgO, ThO₂, TiO₂, P₂O₅, SiAlON, Y₂O₃, HfO₂, ZrO₂ und B₂O₃.

[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 Polyethylen, 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 Dampfabscheidung oder chemische Dampfabscheidung (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 (Multifilamenten) verbunden sein.

[0021] Besonders bevorzugte Keramikfasern basieren auf Oxidkeramikfilament-Fasern, insbesondere Al_2O_3 - oder Al_2O_3/SiO_2 (Mullit)-Faser und/oder Nicht-Oxidkera-

mikfilament-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, LaPO₄, CePO₄, CaWO₄, ZrO₂, Mullit, Al₂O₃, Magnetoplumbite, α-Aluminat-Strukturen, LaAl₁₁O₁₈, CaAl₁₂O₁₉, BaMg₂Al₁₆O₂₇, KMg₂Al₁₅O₂₅, 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 Keramikoder 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 einem 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 Haftungsverringern, 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 Zirconiumtetrabutylat, ein Zirconiumaluminat, 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 °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).

50 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 Kunst-

- stoff 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/organisches Verbundwerkstoffmaterials oder mindestens 50 °C geringer ist als die Erweichungstemperatur des festen Kunststoffes, 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 anorganischen Glas, Kohlenstoff, einen anorganische 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 anorganische, organische oder anorganisch/organische 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/organisches Verbundwerkstoffmaterials oder mindestens 80 °C geringer als die Erweichungstemperatur des festen Kunststoffes, 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, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erwärmen der Oberfläche(n) durch Zuführung eines heißen Fluids durch in das Werkstück eingebaute 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. 5
15. Verfahren nach 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Trennen eine Behandlung mindestens einer der zuvor verbundenen Oberflächen der getrennten Werkstücke mit einem Lösungsmittel vorgenommen wird. 10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

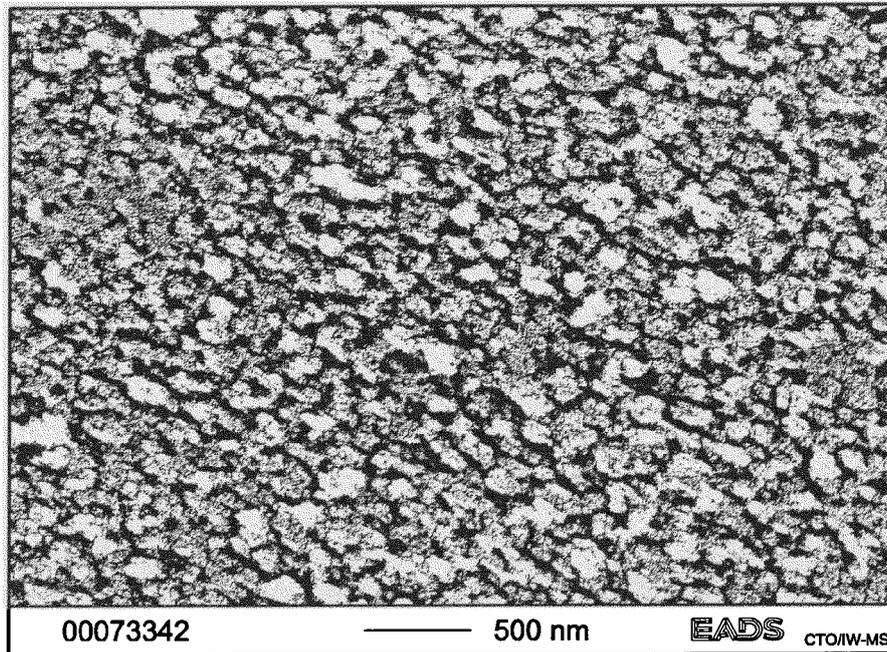


FIG 2

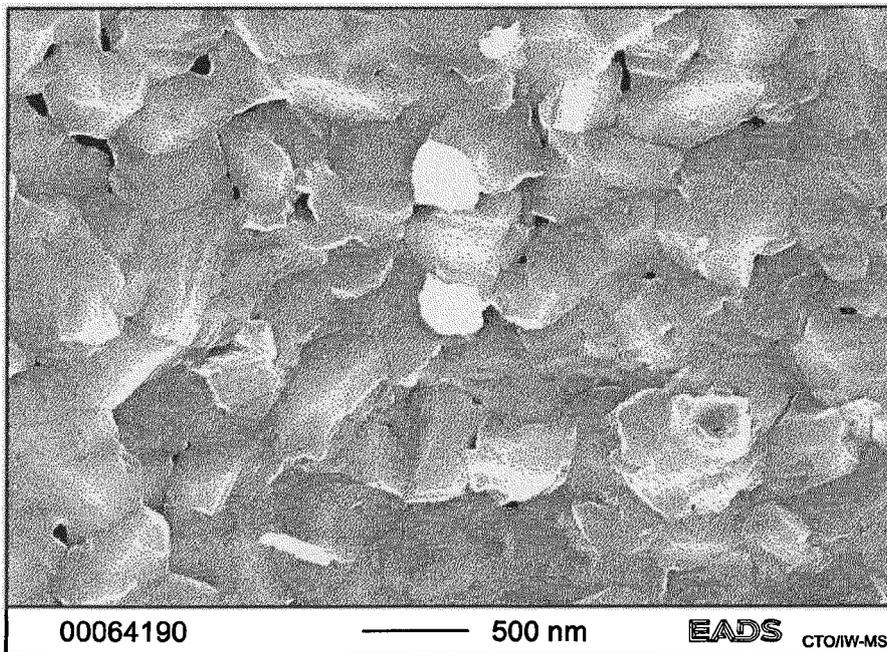


FIG 3

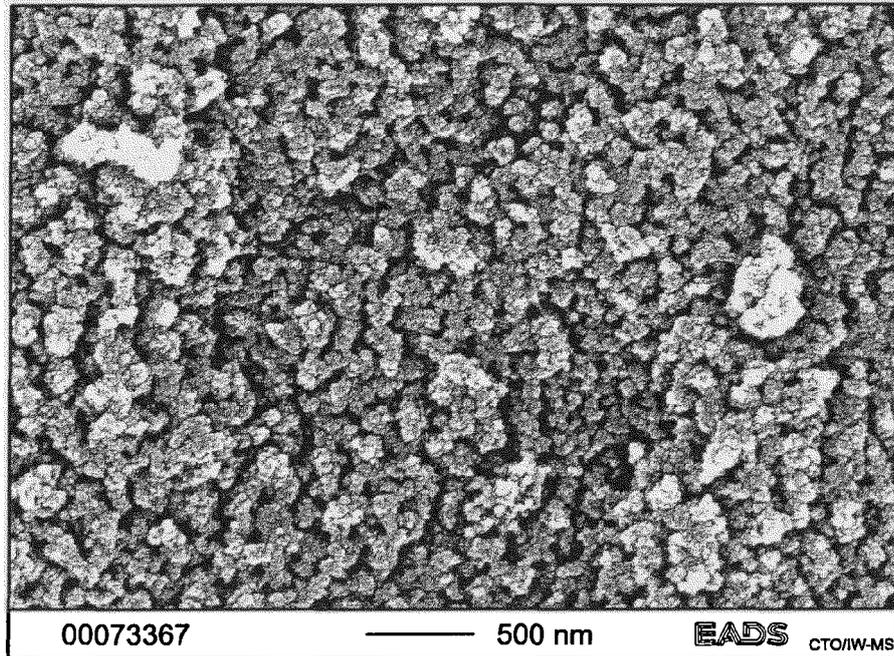


FIG 4

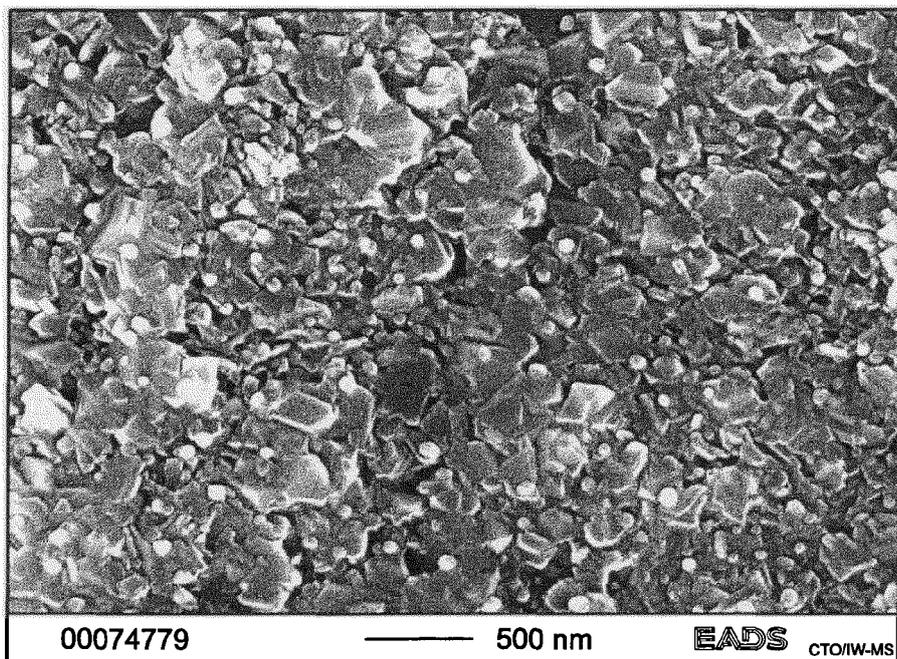


FIG 5

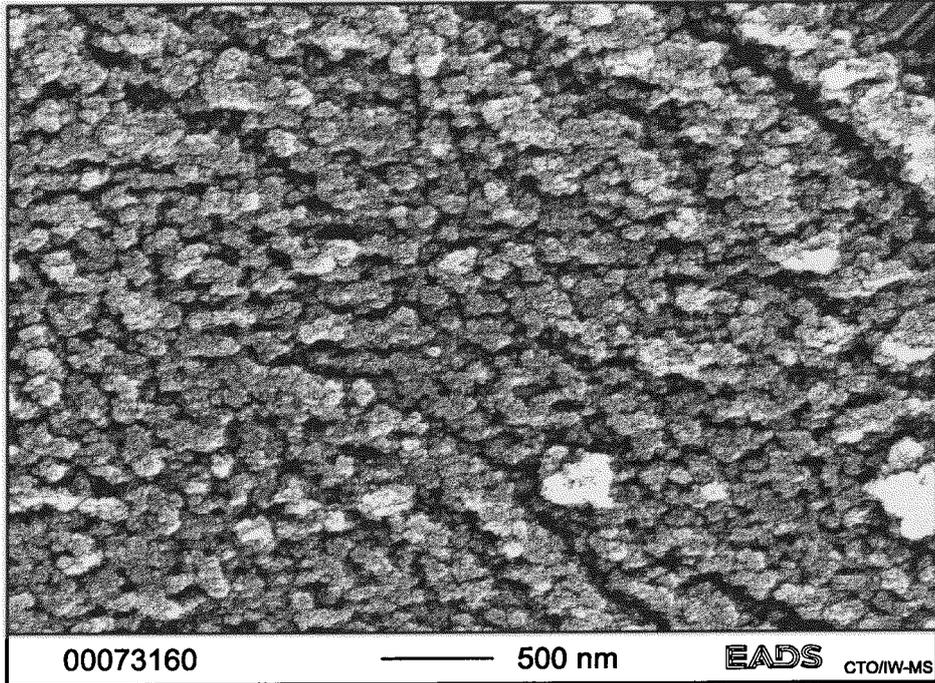


FIG 6

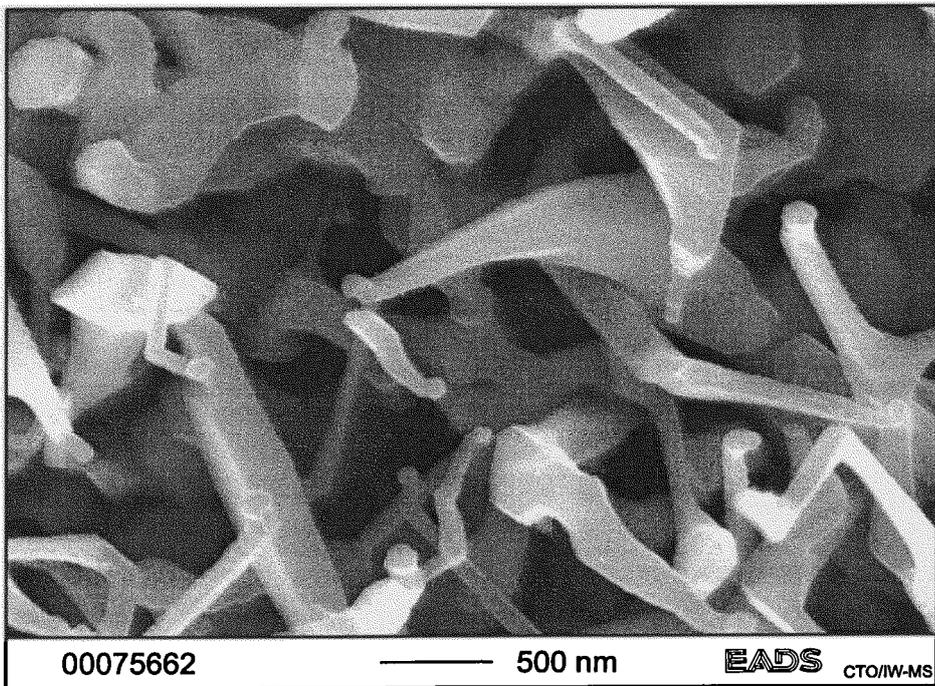


FIG 7

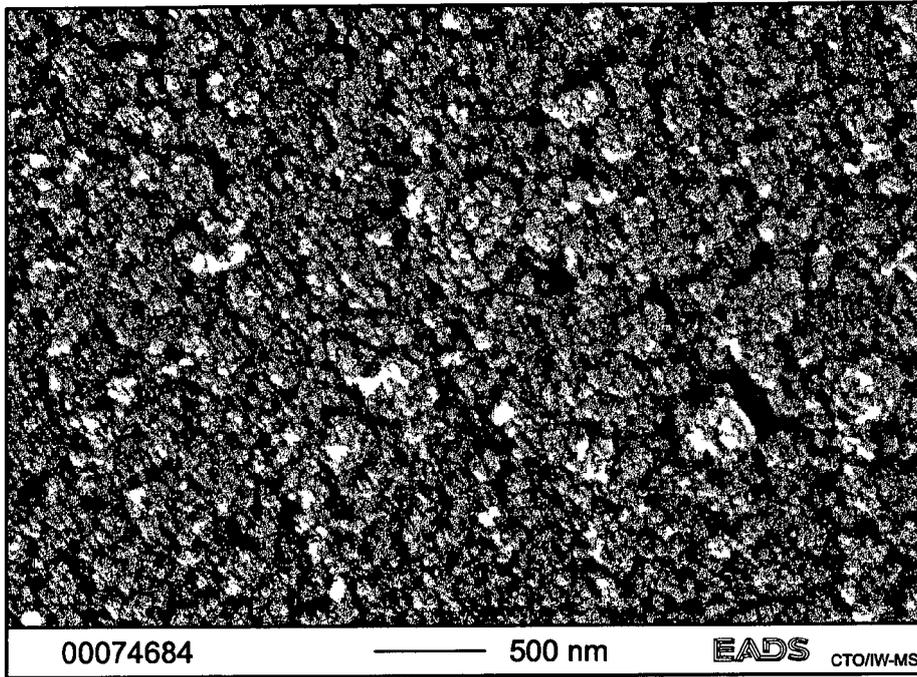
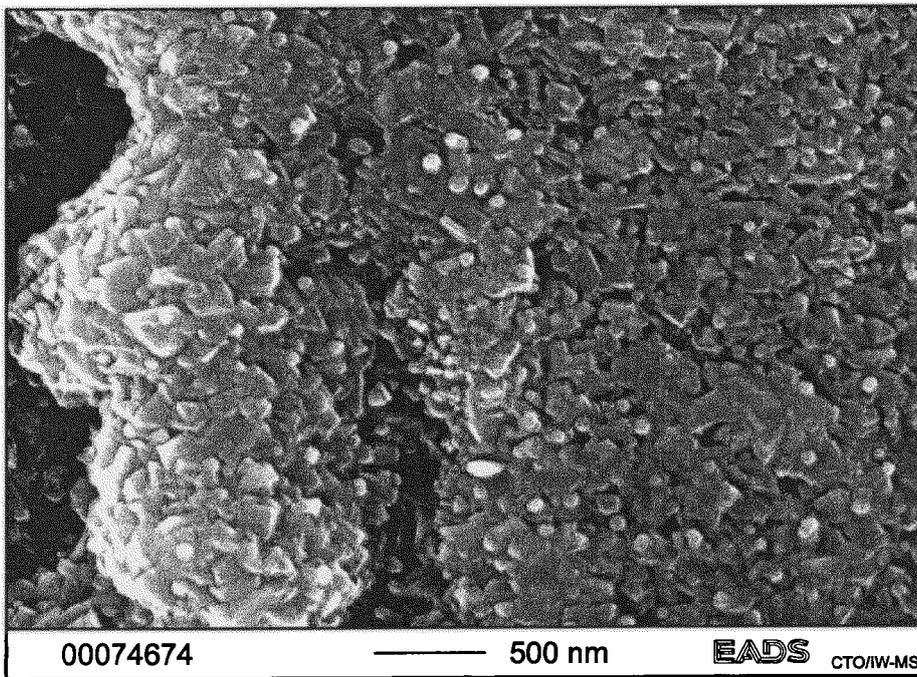


FIG 8





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 14 00 3512

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	DE 26 48 342 A1 (MESSERSCHMITT BOELKOW BLOHM) 27. April 1978 (1978-04-27) * Abbildungen 1-3 *	1-15	INV. B26F3/02 B26F3/06
A	DE 100 32 283 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 17. Januar 2002 (2002-01-17) * Anspruch 21 *	1-15	
A	WO 01/39986 A1 (3M INNOVATIVE PROPERTIES CO [US]) 7. Juni 2001 (2001-06-07) * Zusammenfassung *	1-15	
A	DE 10 2011 121545 A1 (EADS DEUTSCHLAND GMBH [DE]) 20. Juni 2013 (2013-06-20) * Anspruch 1 *	1-15	
A	DE 10 2011 106764 A1 (EADS DEUTSCHLAND GMBH [DE]) 10. Januar 2013 (2013-01-10) * Zusammenfassung *	1-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B26F
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 10. Februar 2015	Prüfer Müller, Andreas
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 14 00 3512

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

10-02-2015

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 2648342 A1	27-04-1978	KEINE	

DE 10032283 A1	17-01-2002	KEINE	

WO 0139986 A1	07-06-2001	AU 5866000 A	12-06-2001
		CN 1433358 A	30-07-2003
		DE 60005059 D1	09-10-2003
		DE 60005059 T2	03-06-2004
		DE 60029362 T2	19-07-2007
		EP 1246730 A1	09-10-2002
		EP 1366927 A1	03-12-2003
		JP 2003515461 A	07-05-2003
		JP 2011084076 A	28-04-2011
		JP 2014080033 A	08-05-2014
		US 6521324 B1	18-02-2003
		US 2003138555 A1	24-07-2003
		WO 0139986 A1	07-06-2001

DE 102011121545 A1	20-06-2013	DE 102011121545 A1	20-06-2013
		EP 2794938 A2	29-10-2014
		US 2014349137 A1	27-11-2014
		WO 2013091606 A2	27-06-2013

DE 102011106764 A1	10-01-2013	DE 102011106764 A1	10-01-2013
		EP 2729604 A2	14-05-2014
		US 2014151235 A1	05-06-2014
		WO 2013005114 A2	10-01-2013

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82