

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
5. Januar 2012 (05.01.2012)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/000986 AI

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 26/00 (2006.01) **B28D 1/22** (2006.01)
B23K 31/02 (2006.01) **B28D 7/24** (2006.01)
B23P 15/28 (2006.01) **C03B 33/10** (2006.01)
B24D 18/00 (2006.01) **C30B 29/04** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP20 11/060805

(22) Internationales Anmeldedatum:
28. Juni 2011 (28.06.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102010017625.7 28. Juni 2010 (28.06.2010) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **BOHLE AG** [DE/DE]; Dieselstraße 10, 42781 Haan (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **OSTENDARP, Heinrich** [DE/DE]; An der Waage 5, 42781 Haan (DE). **ABICH, Otto** [DE/DE]; Hasselbeckstrasse 63, 40822 Mettmann (DE). **PIONTEK, Siegfried** [DE/DE]; Kleinenhammerweg 18, 42349 Wuppertal (DE).

(74) Anwalt: **COHAUSZ & FLORACK**; Bleichstraße 14, 40211 Düsseldorf (DE).

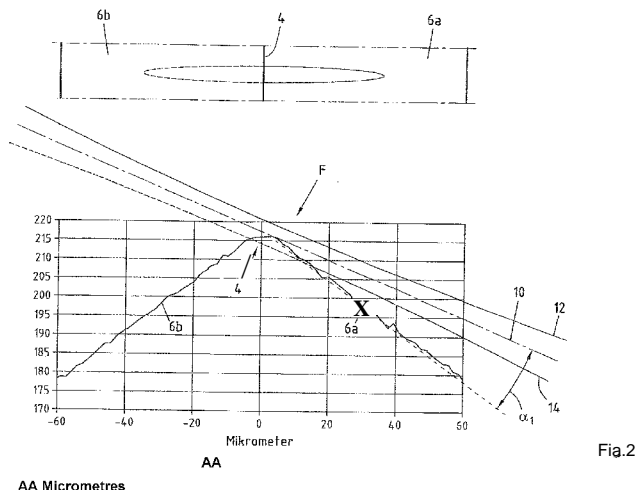
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CUTTING TOOL, IN PARTICULAR CUTTING WHEELS, AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME USING AN INCLINED LASER BEAM

(54) Bezeichnung : SCHNEIDWERKZEUG, INSBESONDERE SCHNEIDRÄDCHEN UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG UNTER VERWENDUNG EINES GENEIGTEN LASERSTRAHLES



(57) Abstract: The invention relates to a cutting tool, in particular cutting wheels, and a method for producing the same. For the purposes of smoothing the surfaces (6a, 6b) and of sharpening the cutting edge (4), use is made of a method in which at least one side surface, at least in a region adjacent to the cutting edge (4), is subjected to the action of a laser beam, and in which the laser beam is oriented at a shallow angle to the surface of the cutting edge (4). It is thus possible to produce cutting tools with improved properties which satisfy at least one of the following parameters: rectilinear deviation of less than $2 \mu\text{m}$, in particular of less than $1 \mu\text{m}$, cutting-edge undulation of less than $0.5 \mu\text{m}$, in particular of less than $0.3 \mu\text{m}$, negative cutting-edge blunting and/or starting distance of the cutting-edge rounding of less than $4 \mu\text{m}$, in particular of less than $2 \mu\text{m}$.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2012/000986 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Die Erfindung betrifft ein Schneidwerkzeug, insbesondere Schneidrädchen und ein Verfahren zu dessen Herstellung. Zum Glätten der Oberflächen (6a, 6b) und zum Schärfen der Schneidkante (4) wird ein Verfahren angewendet, bei dem zumindest eine Seitenfläche zumindest in einem zur Schneidkante (4) angrenzenden Bereich mit einem Laserstrahl beaufschlagt wird und bei dem der Laserstrahl unter einem flachen Winkel zur Oberfläche der Seitenkante (4) ausgerichtet ist. Damit können Schneidwerkzeuge mit verbesserten Eigenschaften hergestellt werden, die mindestens einen der folgenden Parameter erfüllen: Geradlinigkeitsabweichung von weniger als $2\ \mu\text{m}$, insbesondere von weniger als $1\ \mu\text{m}$ auf, Schneidkantenwelligkeit von weniger als $0,5\ \mu\text{m}$, insbesondere von weniger als $0,3\ \mu\text{m}$ auf, negative Schneidkantenabstumpfung auf und/oder Startabstand der Schneidenverrundung von weniger als $4\ \mu\text{m}$, insbesondere von weniger als $2\ \mu\text{m}$.

**SCHNEIDWERKZEUG, INSBESONDERE SCHNEIDRÄDCHEN UND VERFAHREN ZU
DESSEN HERSTELLUNG UNTER VERWENDUNG EINES GENEIGTEN LASERSTRAHLES**

Die Erfindung betrifft ein Schneidwerkzeug, insbesondere
5 Schneidrädchen und ein Verfahren zu dessen Herstellung.
Schneidwerkzeuge und Schneidrädchen der in Frage kommenden
Art dienen insbesondere zum Schneiden oder Ritzten spröder
Materialien, beispielsweise Keramik und/oder Glas.

10 Zur Leistungssteigerung in derartigen Bearbeitungs- und
Schneidprozessen werden definierte und vorzugsweise entlang
der Werkzeugkante reproduzierbare bzw. gleichmäßige
Kantengeometrien angestrebt. Insbesondere ist die Herstellung
einer gleichmäßig scharfen Geometrie schwierig.

15 Zuvor genannte aus dem Stand der Technik bekannte
Schneidräder streben eine möglichst glatte Schneidkante an.
Damit können glatte Schneidkanten insbesondere in
Glaswerkstücken erzielt werden.

20 Die Patentschrift EP 0 773 194 B1 offenbart ein
Schneidrädchen aus polykristallinem Material, insbesondere
aus Diamantmaterial, das mit einer Zahnstruktur entlang des
Schneidrädchenumfangs versehen ist. Mit dieser Ausgestaltung
25 des Schneidrädchens soll zur Verbesserung des
Schneidergebnisses insbesondere ein Abrutschen des
Schneidrädchens auf der Oberfläche des Schneidguts während
des beim Schneidvorgang bewirkten Abrollens verhindert
werden .

Ein Verfahren zur Herstellung eines Schneidrädchens mit einer Zahnstruktur wird in der Patentanmeldung EP 1 666 426 AI offenbart, gemäß der die Zahnstruktur mittels eines
5 Schleifwerkzeugs in die Schneidkante des Schneidrädchens eingeschliffen wird. Nachteilig bei diesen aus dem Stand der Technik bekannten Schneidrädern ist jedoch, dass die durch den Schneidvorgang im Schneidgut erzeugten Risse zu Bruchkanten mit einer für heutige Anwendungen nicht immer
10 optimalen Kantenqualität führen.

Die WO 2009/036742 offenbart ein Schneidrädchen mit einer umfangseitigen Struktur aus vorstehenden Zähnen und dazwischen liegenden Zahnzwischenräumen, die ein verbessertes
15 Schneidverhalten zeigen. Die WO 2009/036743 offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Schneidrädchens, bei dem mittels eines gepulsten Laserstrahls die Oberfläche eines vorgefertigten Schneidrädchens ohne Zahnstruktur an vorgegebenen Stellen entlang der Schneidkante und im zur
20 Schneidkante angrenzenden Bereich der Seitenflächen Material abgetragen wird. Bei dieser Strukturierung wird der Laserstrahl im Wesentlichen im rechten Winkel zur Seitenfläche aufgebracht, um einen möglichst intensiven Materialabtrag zu erreichen und die Herstellungszeiten zu
25 reduzieren.

Bei der Herstellung von Schneidrädern mittels Schleifverfahren oder mittels Laserbearbeitung besteht allgemein das Problem von Abrundungen bzw. lokalen Ausbrüchen
30 gerade entlang der Schneidkante und der daran angrenzenden Seitenflächen. Diese Abrundungen bzw. Ausbrüche sind bedingt durch den Herstellprozess lokal unterschiedlich.

Bei der Herstellung von Schneidrädern zum Ritzen von Glas bestehen bei einigen Problemstellungen besondere Anforderungen an die Schneidkante. Wird bei einigen
5 Anwendungen ein reproduzierbarer, aber bewusst rauher Schliff - verbunden mit lokalen Ausbrüchen entlang der Schneidkante - eingesetzt, so strebt man bei anderen Anwendungen eine ideal gleichmäßige und scharfe Schneidkante an. Derartige Anwendungen bestehen beispielsweise bei Schneidrädern zum
10 Ritzen von Dünnglas, das beispielsweise in der Displayindustrie eingesetzt wird. Die Erfindung betrifft daher vorzugsweise Schneidwerkzeuge und insbesondere Schneidräder für die letztgenannte Anwendung.

15 Bedingt durch den Schleifprozess oder durch die Laserbearbeitung tritt bei den vorgefertigten Schneidrädern eine Abrundung bereits in einem im Vergleich zur Eindringtiefe des Schneidrädchens relativ großen Abstand zur Schneidkante auf, der im Rahmen dieser Beschreibung
20 „Startabstand Schneidkantenverrundung“ bezeichnet wird.

Die reale mittlere Schneidkante tritt dadurch gegenüber der genäherten mittleren Schneidkante um einen Abstand zurück, der im Rahmen dieser Beschreibung als
25 „Schneidkantenabstumpfung“ bezeichnet wird.

Durch die Unregelmäßigkeit des Schliffes oder der Laserbearbeitung sind die Geradlinigkeitsabweichung und die Schneidkantenwelligkeit recht hoch.

30 Somit liegt der vorliegenden Erfindung das technische Problem zugrunde, in der Makrogeometrie bereits vorgefertigte

Seitenflächen eines Schneidwerkzeugs, insbesondere eines Schneidrädchens, und eine durch die Seitenflächen gebildete Schneidkante so zu behandeln, dass eine möglichst scharfe und gleichmäßige Oberflächen aufweisende Schneidkante entsteht.

5

Das zuvor aufgezeigte technische Problem wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zum Glätten einer Oberfläche eines vorgefertigten Schneidwerkzeugs, insbesondere Schneidrädchens mit zwei Seitenflächen, die unter einem Winkel zueinander verlaufen und eine Schneidkante bilden, gelöst, bei dem zumindest eine Seitenfläche zumindest in einem zur Schneidkante angrenzenden Bereich mit einem Laserstrahl beaufschlagt wird und bei dem der Laserstrahl unter einen flachen Winkel zur Oberfläche der Seitenkante ausgerichtet ist.

10
15

Das erfindungsgemäße Verfahren kann daher auch als Laserschleifen oder Laserglätten bezeichnet werden. Unter einem Laserstrahl wird ein gerichteter Strahl elektromagnetischer Strahlung verstanden, wobei die Wellenlänge nicht notwendiger Weise im sichtbaren Bereich liegen muss, sondern auch Wellenlängen im infraroten oder ultravioletten Bereich eingesetzt werden können.

20

Der Ausgangspunkt für die vorliegende Erfindung sind die zuvor beschriebenen Schneidrädchen für die Bearbeitung spröder Materialien, beispielsweise Keramik und/oder Glas. Gleichwohl betrifft die Erfindung generell Schneidwerkzeuge, bei denen es auf ein hohes Maß an Präzision der

25

Schneidflächen und der Schneidkanten zum Schneiden beliebiger Materialien ankommt. Somit kann die nachfolgend beschriebene Erfindung auch auf Werkzeuge wie Messer, Sägen, Bohrer,

30

Fräswerkzeuge, Schneidplatten und ähnliche Werkzeuge
Anwendung finden. Bei sämtlichen Werkzeugen tritt die
Bearbeitungswirkung durch eine scharfkantige Schneide ein,
auch wenn der Vorgang selbst nicht in allen Fällen als
5 Schneiden, sondern als Sägen, Bohren, Zerspanen oder Drehen /
Fräsen bezeichnet wird. Die nachfolgende Beschreibung der
Erfindung basiert auf der beispielhaften Anwendung auf
Schneidrädchen für die Bearbeitung spröder Materialien,
beispielsweise Keramik und/oder Glas, die Erfindung ist aber
10 nicht auf diese Anwendung beschränkt.

Erfindungsgemäß ist erkannt worden, mittels einer geeigneten
Strahlführung derart Material abzutragen, dass im Vergleich
zum Stand der Technik schärfere und gleichmäßigere
15 Schneidkanten hergestellt werden können. Dabei sollen Orte
mit großen Schneidkantenabrundungen wie auch Orte mit
geringen Abrundungen in etwa die gleiche Kantengeometrie
überführt werden. Dazu werden an den beiden Seitenflächen des
vorgefertigten Schneidrädchens Unebenheiten geglättet und an
20 der Schneidkante, insbesondere in Bereichen mit großen
Schneidkantenabrundungen gezielt weniger Material abgetragen.

Der Effekt, dass an den beiden Seitenflächen Unebenheiten
geglättet werden und an der Schneidkante insbesondere in
25 Bereichen mit großen Schneidkantenabrundungen gezielt weniger
Material abgetragen wird, wird dadurch erreicht, dass der
Laserstrahl in einem flachen Winkel, also relativ tangential
zur Oberfläche der Seitenflächen des Schneidrädchens geführt
wird. Hervorstehende Spitzen auf den Seitenflächen bieten so
30 eine große Angriffsfläche für die Laserstrahlung,
zurückstehende Bereiche und insbesondere Abrundungen an der
Schneidkante eine geringere Angriffsfläche. Hierdurch tritt

der Effekt der Glättung von Unebenheiten auf den
Seitenflächen und der Schärfung der Schneidkante auf.

Unter einem flachen Winkel wird vorliegend Winkel in einem
5 Winkelbereich weniger als 45° , vorzugsweise von 5° bis 45° ,
insbesondere 10° bis 30° verstanden. Die genaue Einstellung
des Winkels hängt von den Randbedingungen wie Material, Größe
des zu erzielenden Materialabtrags, Laserleistung und -
weilenlänge, Schneidwinkel und/oder Radius des
10 Schneidrädchens ab.

Die Verkippung des eintreffenden Laserstrahls zur
Seitenfläche des Schneidrädchens soll also innerhalb eines
Winkelbereiches eingestellt werden, um den erfindungsgemäßen
15 Erfolg zu gewährleisten. Hierdurch wird der Fokus in der
Längsachse je nach Einstrahlwinkel um etwa das 2- fache bis
12- fache vergrößert. Um eine hinreichende Intensität für
einen genügenden Materialabtrag zu erreichen, wird
vorzugsweise eine Strahlaufweitung vorgenommen, die bei der
20 anschließenden Fokussierung den Fokusdurchmesser verkleinert,
hier beispielhaft auf ungefähr 10 bis 50 μm .

Das Verfahren kann schon allein durch die Anwendung auf einer
Seitenfläche zu einer verbesserten Geometrie der Schneidkante
25 führen. Jedoch ist es bevorzugt, das erfindungsgemäße
Verfahren auf beiden Seitenflächen anzuwenden.

Das Verfahren wird bevorzugt so ausgeführt, dass der
Laserstrahl auf den zur Schneidkante angrenzenden Bereich der
30 Seitenflächen fokussiert wird. Dadurch wird in dem für die
Qualität der Schneidkante wichtigen Bereich eine genügende
Abtragsleistung auf das Schneidrädchen aufgebracht.

Gleichzeitig ist an den Seitenflächen in größerem Abstand zur Schneidkante nur eine geringere und mit zunehmendem Abstand kleiner werdende, schließlich nicht mehr hinreichende Intensität vorhanden.

5

Das zuvor beschriebene Verfahren kann mit unterschiedlichen Laserquellen durchgeführt werden, die je nach Anwendung und Material des Schneidwerkzeugs bzw. Schneidrädchens unterschiedlich sein können. Es hat sich als vorteilhaft
10 herausgestellt, einen gepulsten Laser zu verwenden.

Der gepulst betriebene Laserstrahl hat den Vorteil, dass innerhalb jedes Laserpulses eine ausreichende Leistungsdichte erreicht werden kann. Durch die Verwendung eines gepulsten Lasers wird die Seitenfläche des Schneidrädchens jeweils nur
15 in dem vom Fokus erfassten Bereich punktuell und nur für eine kurze Zeitdauer erfasst. Jedoch kann durch eine geeignete Verfahrensführung erreicht werden, dass die gesamten zu bearbeitenden Abschnitte der Seitenflächen weitgehend gleichmäßig mit Laserlicht beaufschlagt werden.

20

Die Erfindung ist aber nicht auf die Anwendung eines gepulsten Lasers beschränkt. So ist die Anwendung eines Dauerstrichlasers bei Materialien möglich, die eine geringere Laserleistung zum Abtragen von Material benötigen. In diesem
25 Fall wird eine besonders gleichmäßige Bearbeitung erreicht, da keine durch einzelne zeitlich beabstandete Laserpulse Feinstruktur in der Seitenfläche und der Schneidkante entstehen kann.

30 Vorzugsweise wird dazu während der Anwendung des Laserstrahls, unabhängig davon, ob der Laserstrahl gepulst oder ungepulst erzeugt wird, das Schneidrädchen derart

gedreht, dass im Wesentlichen der zu bearbeitende Bereich der Seitenfläche mit dem Laserstrahl beaufschlagt wird. Dazu kann das Schneidrädchen kontinuierlich oder in separaten Schritten gedreht werden.

5

Des Weiteren kann während der Laserbearbeitung die relative Position des Laserfokus zur Seitenfläche kontinuierlich oder in einzelnen Schritten verstellt werden. Durch die Verstellung des Laserstrahls relativ zur Seitenfläche wird sichergestellt, dass ein Abschnitt der Seitenfläche, der breiter als die Fokusslänge ist, nacheinander mit dem Laserstrahl beaufschlagt wird.

10

Bei einer Änderung der relativen Position des Laserstrahls auf der Seitenfläche gibt es verschiedene Möglichkeiten, ob und wie die Ausrichtung des Laserstrahls nachgeführt wird. Für die jeweiligen Nachführungen werden geeignete, an sich bekannte Optiken eingesetzt.

15

Zunächst ist es möglich, dass der Laserstrahl parallel zur Ausbreitungsrichtung unter Beibehaltung des Winkels zur Seitenfläche verstellt wird. Durch die gleiche Winkelausrichtung des Laserstrahls wird eine weitgehend gleichmäßige Bearbeitung der Seitenfläche erreicht, auch wenn einige Bereiche der Seitenflächen weniger als andere im Fokus liegen, wenn der Fokus nicht nachgeführt wird.

20

Alternativ dazu kann auch der Winkel des Laserstrahls während des Verstellens des Laserstrahls relativ zur Seitenfläche verändert werden. So kann beispielsweise der Winkel im Bereich der Schneidkante geringer, also flacher als in den

30

Bereichen eingestellt werden, die beabstandet zur Schneidkante angeordnet sind.

Zusätzlich zum Einstellen der Strahlausrichtung des Laserstrahls kann der relative Abstand des Fokus zur Seitenfläche entweder beibehalten oder verändert werden. Wird jeweils der Fokusabstand nachgeführt und im Wesentlichen gleich gehalten, dann wird dadurch ebenfalls eine gleichmäßigere Bearbeitung erreicht. Wird hingegen der Fokusabstand verändert oder gar nicht nachgeführt, so kann die Wirkung des Laserstrahls auf unterschiedliche Bereiche der Seitenfläche verändert werden. Beispielsweise ist es somit möglich, die Intensität des Laserstrahls im Bereich der Schneidkante zu erhöhen und in Richtung eines größeren Abstands zur Schneidkante zu verringern.

Das Bearbeiten der Oberfläche mit einem stufenweisen oder kontinuierlichen Verstellen der Position des Fokus relativ zur Seitenfläche des Schneidrädchens kann in vorteilhafter Weise während einer kontinuierlichen Drehung des Schneidrädchens durchgeführt werden. Dadurch werden entweder separate Spuren bearbeitet oder der Laserstrahl fährt eine Spiralkurve von außen, also startend von einem größeren Abstand zur Schneidkante über die Schneidflanke bis zur Schneidkante bzw. über diese hinaus ab. Der Spurversatz sollte so gewählt werden, dass bei einer Seitenfläche ausreichend viele Spuren (Umdrehungen) abgefahren werden, um eine vollständig überlappende Bearbeitung der Seitenfläche zu erreichen. Der Laserstrahl kann dabei in etwa auf die Schneidkante fokussiert sein, um hier eine maximale Leistungsdichte der Laserstrahlung zu haben. Eine der oben

bereits beschriebenen Änderungen der Strahlführung kann während der Bearbeitung ebenfalls gewählt werden.

Das oben aufgezeigte technische Problem wird erfindungsgemäß durch Schneidwerkzeuge und insbesondere Schneidrädchen gelöst, die sich durch unterschiedliche unabhängige Merkmale vom Stand der Technik unterscheiden. Diese verschiedenen Merkmale ergeben sich erstmals durch die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens, können aber auch durch andere Herstellungsverfahren erreichbar sein.

Des Weiteren gilt für alle nachfolgend beschriebenen Merkmale des Schneidwerkzeugs, dass die Parameterwerte aus einer dreidimensionalen Messung des räumlichen Verlaufes eines Abschnittes der Schneidkante bestimmt werden. Der Messbereich weist dabei beispielsweise und die Erfindung nicht beschränkend eine Länge in Richtung der Schneidkante von ca. 500 μm und eine Breite quer zur Schneidkante zu beiden Seiten von ca. 250 μm , also insgesamt von ebenfalls ca. 500 μm auf. Beispielsweise kann dafür die Weißlicht-Interferometer eingesetzt werden, das mit einer Genauigkeit von etwa 1 μm den räumlichen Verlauf der Seitenflächen und der Schneidkante bestimmen kann. Wird dabei vorzugsweise die konfokale Mikroskopie eingesetzt, so beträgt die laterale Auflösung je nach Objektiv ca. 1 μm bzw. weniger als 1 μm , die Tiefenauflösung liegt dagegen unter 1 μm . Aus den Daten einer Messung können dann für beliebig vorgegebene Abschnitte der Seitenflächen und/oder der Schneidkante, insbesondere zeilen- oder flächenweise, der reale Verlauf und Mittelwerte gebildet werden, die dann in Relation miteinander gebracht und Merkmale des Schneidwerkzeugs abgeleitet werden.

Die Erfindung betrifft zunächst ein Schneidwerkzeug,
insbesondere Schneidrädchen zum Schneiden spröder
Materialien, beispielsweise Keramik und/oder Glas, mit zwei
unter einem vorgegebenen Winkel zueinander verlaufenden
5 Seitenflächen und mit einer durch die Seitenflächen
gebildeten Schneidkante, das dadurch gekennzeichnet ist, dass
die Seitenflächen einen mittleren Schneidwinkel zueinander
aufweisen, der durch den Winkel zweier Abschnitte, die zu
beiden Seiten der Schneidkante von der Schneidkante bis zu
10 einem ersten Abstand zur Schneidkante begrenzt sind, bestimmt
ist, und dass der Winkel zwischen zwei Abschnitten der
Seitenflächen, die in einem Bereich zwischen einem zweiten
Abstand nahe der Schneidkante und einem gegenüber dem ersten
Abstand geringeren dritten Abstand begrenzt sind, kleiner als
15 der mittlere Schneidwinkel ist.

Mit anderen Worten ausgedrückt, verlaufen die beiden
Abschnitte der Seitenflächen in direkter Nachbarschaft zur
Schneidkante steiler als der mittlere Schneidwinkel
20 zueinander, der über einen breiteren Bereich bestimmt wird.
Da es beim Eindringen der Schneidkante zunächst auf den
vordersten Abschnitt der Schneidkante ankommt, ist es
vorteilhaft, wenn dieser Bereich steiler also spitzer als der
sich anschließende Teil der Seitenflächen zuläuft.
25 Beispielsweise dringt bei der Glasbearbeitung mit einem
Schneidrädchen die Schneidkante zwischen 10 µm und 30µm, je
nach Glasstärke zu beiden Seiten der Schneidkante in die
Glasoberfläche ein. Der daraus resultierende Bereich, bei dem
das Glas eine Schädigung erfährt, wird auch Ritzbreite
30 genannt. Wenn nun insbesondere in dieser Breite die
Seitenflächen unter einem spitzeren Winkel als der Rest der
Seitenflächen aufeinander zulaufen, dann wirkt sich dieses

positiv auf die Qualität des Schneidvorgangs und auf die Standzeit des Schneidwerkzeugs aus.

Die Erfindung betrifft auch ein Schneidwerkzeug, insbesondere
5 Schneidrädchen zum Schneiden spröder Materialien,
beispielsweise Keramik und/oder Glas, mit zwei unter einem
vorgegebenen Winkel zueinander verlaufenden Seitenflächen und
mit einer durch die Seitenflächen gebildeten Schneidkante,
das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Schneidkante eine
10 Geradlinigkeitsabweichung von weniger als $2\ \mu\text{m}$, insbesondere
von weniger als $1\ \mu\text{m}$ aufweist.

Für die Bestimmung der Größe der Geradlinigkeitsabweichung
wird der gemessene räumliche Verlauf der Schneidkante mit
15 einem interpolierten linearen Verlauf der Schneidkante
verglichen .

Dazu wird zunächst anhand des in jeder quer zur Schneidkante
verlaufenden Zeile der aufgenommenen Messdaten der Abschnitt
20 der höchsten Erhebung, also den größten Höhenwerten bestimmt
und dessen Mittelpunkt als Position der Schneidkante in
dieser Zeile festgelegt. Daraus ergibt sich aus den Messdaten
über eine Länge von ca. $500\ \mu\text{m}$ der reale Verlauf der
Schneidkante. Aus diesen um eine ideale Schneidlinie
25 schwankenden Werten wird zunächst ein interpolierter, also
geglätteter linearer Verlauf bestimmt. Danach wird für jeden
gemessenen Wert des Verlaufes der Schneidkante der Abstand
zum interpolierten linearen Verlauf berechnet und die
Standardabweichung des realen Verlaufes vom interpolierten
30 Verlauf stellt dann den Wert der Geradlinigkeitsabweichung
dar .

Die angegebenen erfindungsgemäßen Werte von kleiner 2 μm und insbesondere kleiner 1 μm für die Geradlinigkeitsabweichung weisen den Vorteil auf, dass die Schnittlinie eines solchen Werkzeugs so gerade verläuft, dass sich die beim Schneiden in
5 das Material des zu schneidenden Werkstücks eingebrachte Störung entlang von im Material enthaltenen Strukturen ausbreiten kann. Somit kann das Schneiden, also das Auftrennen des Materials einfacher und mit geringerer Kraft ausgeführt werden. Die Präzision des Schneidens wird dadurch
10 ebenfalls verbessert.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Schneidwerkzeug, insbesondere Schneidrädchen zum Schneiden spröder Materialien, beispielsweise Keramik und/oder Glas, mit zwei
15 unter einem vorgegebenen Winkel zueinander verlaufenden Seitenflächen und mit einer durch die Seitenflächen gebildeten Schneidkante, dadurch gekennzeichnet ist, dass die Schneidkante eine Schneidkantenwelligkeit von weniger als 0,5 μm , insbesondere von weniger als 0,3 μm aufweist.

20 Für die Bestimmung des Wertes der Schneidkantenwelligkeit wird der gemessene räumliche Verlauf der Schneidkante mit einem an einen interpolierten Verlauf der Schneidkante angenäherten Kreisbogen verglichen.

25 Dazu wird zunächst anhand des in jeder quer zur Schneidkante verlaufenden Zeile der aufgenommenen Messdaten der Abschnitt der höchsten Erhebung, also den größten Höhenwerten bestimmt. Daraus ergibt sich beispielsweise über eine Länge von ca. 500
30 μm der reale Verlauf der Schneidkante als Folge von Höhenwerten. Aus diesen um eine ideale kreisbogenförmige Schneidlinie radial schwankenden Höhenwerten wird zunächst

der Verlauf der Schneidkante mit geringstem Fehler durch einen Kreisausschnitt angenähert. An den interpolierten Verlauf wird - im Falle eines runden Schneidwerkzeugs wie ein Schneidrädchen - ein Kreisbogen angenähert, der den idealen radialen Verlauf der Schneidkante darstellt. Bei gerade verlaufenden Schneidkanten wird dagegen eine Gerade an den interpolierten Verlauf angenähert. Danach wird für jeden gemessenen Höhenwert des radialen Verlaufes der Schneidkante der Abstand zum angenäherten idealen Verlauf berechnet und die Standardabweichung des realen Verlaufes vom angenäherten Verlauf stellt dann den Wert der Schneidkantenwelligkeit dar.

Die angegebenen Werte der Schneidkantenwelligkeit von weniger als $0,5 \mu\text{m}$, insbesondere von weniger als $0,3 \mu\text{m}$ weisen den Vorteil auf, dass die Schneidkante so wenig von einer idealen Schneidkante in Richtung quer zur Schneirichtung abweicht, dass während des Schneidvorgangs die Schneidkante gleichmäßig in das zu schneidende Werkstück eindringen kann. Für ein Schneidrädchen bedeutet dieses, dass die Schneidkante nur sehr gering von einem idealen Kreisbogen abweicht.

Die Erfindung betrifft ebenso ein Schneidwerkzeug, insbesondere Schneidrädchen zum Schneiden spröder Materialien, beispielsweise Keramik und/oder Glas, mit zwei unter einem vorgegebenen Winkel zueinander verlaufenden Seitenflächen und mit einer durch die Seitenflächen gebildeten Schneidkante, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Schneidkante eine negative Schneidkantenabstumpfung aufweist.

Die Schneidkantenabstumpfung stellt ein Maß dafür dar, wie weit der Mittelwert der aus den Messdaten in radialer

Richtung ermittelten Maximalwerte der realen Schneidkante im Mittel vom radialen Verlauf der mittleren Schneidkante abweicht. Der Verlauf der mittleren Schneidkante ergibt sich aus der Schnittlinie der beiden gemittelten räumlichen

5 Verläufe der Seitenflächen, die die Schneidkante bilden. Der Wert der Schneidkantenabstumpfung ist positiv, wenn die reale Schneidkante unterhalb der mittleren Schneidkante verläuft, also abgestumpft ist. Der Wert ist negativ, wenn die reale Schneidkante oberhalb der mittleren Schneidkante verläuft,

10 also weiter vorragt. Es ist offensichtlich, dass eine negative Schneidkantenabstumpfung zu einem besseren Schneidergebnis führt, da die Schneidkante den ersten Kontakt mit der Oberfläche des zu schneidenden Werkstücks unter einem spitzeren Winkel bewirkt.

15

Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Schneidwerkzeug, insbesondere Schneidrädchen zum Schneiden spröder Materialien, beispielsweise Keramik und/oder Glas, mit zwei unter einem vorgegebenen Winkel zueinander verlaufenden

20 Seitenflächen und mit einer durch die Seitenflächen gebildeten Schneidkante, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Schneidkante einen Startabstand der Schneidkantenverrundung von weniger als $4\ \mu\text{m}$, insbesondere von weniger als $2\ \mu\text{m}$ aufweist.

25

Der Startabstand der Schneidkantenverrundung wird dadurch bestimmt, dass beim realen über den Messbereich gemittelten Verlauf von der Schneidkante ausgegangen und in Abhängigkeit vom Abstand zu dieser links und rechts die lokale Steigung

30 ermittelt wird. Aus dem so definierten Steigungsverlauf wird in Abhängigkeit vom Abstand zur Schneidkante der lokale Winkelverlauf ermittelt. Hieraus wird ausgehend von der

Schneidkante der Abstand ermittelt, bei dem der Winkel erstmalig nur um 1 Grad oberhalb des über die gesamten Seitenflanken ermittelten Wertes liegt. Dieser Abstandswert ist der Startabstand der Schneidkantenverrundung . Mit anderen Worten beginnt im Startabstand seitlich von der Schneidkante die Verrundung der Schneidkante. Die Position des Startabstandes kann auch optional auf beiden Seitenflächen bestimmt werden und der Mittelwert dann als Startabstand verwendet werden.

10

Je kleiner der Wert des Startabstands der Schneidkantenverrundung ist, desto spitzer ist die Schneidkante ausgebildet. Bei jeder Schneidkante gibt es einen Übergang zwischen den beiden Seitenflächen, wobei an einer Stelle der Schneidwinkel 180° beträgt. Da dieser Winkel von 180° messtechnisch nicht erfasst werden kann, wird der Startabstand als Maß definiert, um das Maß der Verrundung der Schneidkante zu charakterisieren. Je schmaler allerdings der Übergangsbereich ausgebildet ist, desto schärfer ist die Schneidkante .

20

Das beschriebene erfindungsgemäße Schneidwerkzeug, insbesondere das Schneidrädchen weist einen Startabstand von kleiner $4\ \mu\text{m}$ und insbesondere kleiner $2\ \mu\text{m}$ auf. Somit stellt der Bereich der Verrundung der Schneidkante nur noch einen geringen Anteil an der oben erwähnten Ritzbreite dar. Der vorteilhafte Effekt wird demnach bei Werten von kleiner $2\ \mu\text{m}$ noch weiter verbessert. Dabei hängen die zu erreichenden Werte des Startabstands auch von der Materialstruktur des Werkstoffes des Schneidwerkzeugs ab.

30

Die zuvor beschriebenen Ausgestaltungen der Erfindung sind für eine durchgängige Schneidkante beschrieben worden.

Dagegen ist es auch möglich, dass die Schneidkante mit einer Abfolge von Zähnen und Zahnzwischenräumen versehen ist und

5 dass die zuvor erläuterten Eigenschaften der Schneidkante zumindest für die Zähne gelten.

Generell gilt für Schneiden, insbesondere für Schneidrädchen, dass bei flachen, also stumpfen Schneidwinkeln die Welligkeit
10 geringer als bei spitzen Schneidwinkeln ausfällt. Dagegen ist bei stumpfen Schneidwinkeln die Geradlinigkeitsabweichung größer. Umgekehrt dazu sind bei spitzen Schneidwinkeln die Welligkeit größer und die Geradlinigkeitsabweichung geringer.

15 Das erfindungsgemäße Verfahren wirkt sich daher vorteilhaft auf die Ausgestaltung von Schneidrädchen zum Ritzen von Dünngläsern aus, wie sie in der Displayfertigung benötigt werden. Denn bei dieser Anwendung werden Schneidrädchen mit spitzen Schneidwinkeln (bspw. 105 - 125° Schneidwinkel) bei
20 geringer Eindringtiefe in das zu ritzende Dünnglas eingesetzt. Das erfindungsgemäße Verfahren führt daher zur Verbesserung dieser Schneidrädchen gegenüber dem Stand der Technik, indem gerade die Welligkeit bei diesen Schneidrädchen verringert wird, wobei gleichzeitig auch die
25 Geradlinigkeit verbessert wird.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen erläutert, wobei auf die Zeichnung Bezug genommen wird. In der Zeichnung zeigen

30

Fig. 1 ein Schneidrädchen in einer Seitenansicht,

- Fig. 2 eine Prinzipskizze für ein erstes
Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen
Verfahrens ,
- 5 Fig. 3 eine Prinzipskizze für ein zweites
Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen
Verfahrens ,
- 10 Fig. 4 eine Prinzipskizze zur Veranschaulichung der
Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Fig. 5 eine Prinzipskizze für ein drittes
Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen
Verfahrens ,
- 15 Fig. 6 ein Eingangsbild einer dreidimensionalen
Höhenstruktur eines Schneidrädchens,
- Fig. 7 ein Graustufenbild zur Darstellung der Abweichungen
20 der gemessenen Oberfläche von einer idealen
Oberfläche eines vorgefertigten, aus dem Stand der
Technik bekannten Schneidrädchens,
- Fig. 8 ein Graustufenbild zur Darstellung der Abweichungen
25 der gemessenen Oberfläche von einer idealen
Oberfläche eines mit dem erfindungsgemäßen
Verfahren hergestellten Schneidrädchens,
- Fig. 9 Diagramme zur Erläuterung des Parameters der
30 Geradlinigkeitsabweichung,

Fig. 10 ein Diagramm zur Erläuterung des Parameters der Schneidkantenwelligkeit ,

5 Fig. 11 ein weiteres Diagramm zur Erläuterung des Parameters der Schneidkantenwelligkeit für ein mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestelltes Schneidrädchen,

10 Fig. 12 ein Diagramm zur Erläuterung des Parameters der Schneidkatenabstumpfung für ein vorgefertigtes, aus dem Stand der Technik bekanntes Schneidrädchen,

15 Fig. 13 ein Diagramm zur Erläuterung des Parameters der Schneidkatenabstumpfung für ein mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestelltes Schneidrädchen,

20 Fig. 14 ein Diagramm zur Erläuterung des Parameters des Startabstandes der Schneidkantenverrundung für ein vorgefertigtes, aus dem Stand der Technik bekanntes Schneidrädchen,

25 Fig. 15 ein Diagramm zur Erläuterung des Parameters des Startabstandes der Schneidkantenverrundung für ein mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestelltes Schneidrädchen .

30 Figur 1 zeigt in einer schematischen Seitenansicht ein Schneidrädchen 2 mit entlang des gesamten Umfangs verlaufender Schneidkante 4. Das Schneidrädchen 2 weist in diesem Beispiel Rotationssymmetrie gegenüber einer Achse A

auf, die als Drehachse des Schneidrädchens 2 während des Schneidvorgangs verwendet wird.

Die Schneidkante 4 wird von zwei im axialen Querschnitt
5 keilförmig zulaufenden Seitenflächen 6a, 6b, die jeweils
Kegelstumpf form aufweisen, gebildet. Die Seitenflächen 6a, 6b
schließen einen Schneidkantenwinkel X zwischen sich ein. Der
Schneidkantenwinkel X kann bei dem Schneidrädchen der Fig. 1
beispielsweise 135° betragen. Das Schneidrädchen 2 kann
10 ferner aus einem polykristallinen Material, insbesondere
polykristallinen Diamantmaterial oder aus einem Hartmetall,
beispielsweise Wolframcarbid, hergestellt sein.

Durch das Zusammenlaufen der Seitenflächen 6a, 6b wird mit
15 der Schneidkante 4 auch eine Umfangslinie gebildet, die im
Wesentlichen eine Ebene 8 in dieser Darstellung senkrecht zur
betrachteten Ebene angeordnet und daher als Linie dargestellt
aufspannt. Die Ebene 8 der Umfangslinie verläuft vorliegend
senkrecht zu der Schneidrädchen-Achse A .

20

Die in Fig. 1 dargestellte Schneidkante 4 ist durchgängig
ausgebildet, die Schneidkante 4 verläuft also entlang einer
Linie und kann somit an jeder Winkelstellung die im
Wesentlichen gleiche Wirkung auf das zu schneidende Material
25 ausüben. Daneben ist aus dem eingangs erwähnten Stand der
Technik bekannt, dass die Schneidkante auch mit Zähnen und
Zahnzwischenräumen ausgebildet sein kann, so dass eine
regelmäßige oder unregelmäßige Zahnstruktur gegeben ist.
Insbesondere die bis zum Außendurchmesser des Schneidrädchens
30 ragenden Zähne müssen eine möglichst gute Schneidkante
aufweisen, da die Zähne die wesentlichen Elemente für das
Schneiden des Materials darstellen. Daneben können auch die

Zahnzwischenräume eine eigene, etwas zurückgesetzte Schneidkante aufweisen, sofern diese beim Schneidvorgang zusätzlich zu den Zähnen in das Material eindringen.

5 Fig. 2 zeigt in einer schematischen Darstellung ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens. In dem Diagramm ist in Mikrometerauflösung eine dreieckähnliche Linie eingezeichnet, die den unregelmäßigen Verlauf der Oberfläche eines vorgefertigten Schneidrädchens im Schnitt
10 zeigt.

Von schräg unten rechts kommend ist der Verlauf eines Laserstrahls dargestellt. Die mittlere strichpunktierte Linie
10 zeigt die Achse des Laserstrahls, während die leicht gekrümmt verlaufenden Linien 12 und 14 die Taille des Fokus F
15 des Laserstrahls verdeutlichen. Der Fokus des Laserstrahls liegt im Bereich der Schneidkante 4, also am oberen Ende der dreieckähnlichen Linie. In dieser Position trifft der Laserstrahl nur zur Hälfte auf die Oberfläche des
20 Schneidrädchens. Denn die Achse 10 des Laserstrahls tangiert nur das obere Ende der Schneidkante 4, so dass die obere Hälfte des Laserstrahls über die Schneidkante hinausstrahlt. Daher ist die obere Linie 12 durchgängig eingezeichnet, während die untere Linie 10 links der Schneidkante 4 nur
25 gestrichelt eingezeichnet ist. Dort kommt natürlich wegen der Abschattung durch die Schneidkante 4 kein Licht des Laserstrahls (außer durch Beugung) an.

Die Achse des Laserstrahls ist gegenüber der rechten
30 Seitenfläche 6a des Schneidrades geneigt, wobei der Neigungswinkel flach ist und kleiner 45° , insbesondere zwischen 5° und 45° eingestellt werden kann. In der

Darstellung nach Fig. 2 ist beispielhaft ein Winkel α_1 von etwas mehr als 15° gewählt worden.

In der in Fig. 2 oben dargestellten Draufsicht auf das Schneidrädchen im Bereich der Schneidkante 4 ist die relative Lage des Fokus F als langgestrecktes Oval zu erkennen. Auf der rechts dargestellten Seitenkante 6a ist der Lichtfleck auf der Oberfläche zu erkennen. Links der Schneidkante 4 ist das Oval gestrichelt dargestellt, um den symmetrischen Verlauf des Fokus F anzugeben, jedoch trifft der Laserstrahl natürlich nicht auf der linken Seitenfläche 6b auf.

Das Oval ist umso mehr gestreckt, desto flacher der Winkel der Achse des Laserstrahls zur Oberfläche eingestellt ist. Dadurch verteilt sich die im Fokus des Laserstrahls konzentrierte Lichtleistung auf eine größere Oberfläche. Daher darf der Laserstrahl nicht unter einem zu flachen Winkel auf die Oberfläche auftreffen, da ansonsten nicht mehr genügend Lichtenergiedichte auf die Oberfläche aufgebracht wird, um Material abtragen zu können.

Wenn der Fokus des Laserstrahls wie in Fig. 2 im Bereich der Schneidkante positioniert wird, dann ergibt sich der Effekt, dass im Bereich der Schneidkante, ungefähr über eine halbe Fokusslänge der Eintrag an Lichtenergie insgesamt geringer als in weiter von der Schneidkante 4 entfernten Bereichen ist, wenn der Laserstrahl dort hin positioniert und fokussiert wird. Vermutlich durch diesen Effekt und der damit verbundenen unterschiedlichen Abtragung des Materials der Seitenfläche 6a kommt es zu einer besonderen Ausbildung der Schneidkante 4. Denn diese weist im direkt an die Schneidkante 4 unmittelbar angrenzenden Bereich einen

spitzeren Schneidwinkel als ein über einen größeren Bereich der Seitenfläche 6a, 6b berechneter mittlerer Schneidwinkel auf. Dieses Merkmal wird weiter unten näher erläutert. Dieser Effekt beruht vermutlich auf dem beschriebenen

5 unterschiedlichen Energieeintrag, er kann aber auch durch Beugungseffekte an der Schneidkante 4 oder durch einen anderen noch nicht erkannten Effekt auftreten.

Der Einstrahlwinkel darf aber für das erfindungsgemäße
10 Verfahren nicht zu steil sein. Denn der gewünschte Effekt des Verfahrens besteht darin, dass hervorstehende Spitzen auf den Seitenflächen eine größere Angriffsfläche für die Laserstrahlung als zurückstehende Bereiche und insbesondere Abrundungen an der Schneidkante bieten. Hierdurch tritt der
15 Effekt der Glättung von Unebenheiten auf den Seitenflächen und der Schärfung der Schneide auf. Wird der Winkel zu groß gewählt, fällt das Laserlicht zu steil auf die Seitenfläche und der Glättungs- und Schärfungseffekt wird verringert.

20 Fig. 3 zeigt eine andere Konstellation. Hier wird der Laserstrahl nicht auf den Bereich der Seitenkante 4 fokussiert, sondern mit einem Abstand dazu. Zudem weist die Achse 10 des Laserstrahls einen Winkel α_2 von ca. 30° zur Seitenfläche 6a auf.

25 Durch Variation des Winkels, des Abstandes des Fokus zur Schneidkante und des Abstandes des Fokus relativ zur Oberfläche der Seitenfläche kann das erfindungsgemäße Verfahren variiert werden. Insbesondere können Bereiche der
30 Seitenfläche 6a, die größer als die Ausdehnung des Fokus des Laserstrahls sind, dadurch bearbeitet werden, dass die Positionierung des Laserstrahls relativ zur Schneidkante und

zu der zu bearbeitenden Seitenfläche 6a, 6b verändert wird. Wenn gleichzeitig das Schneidrädchen gedreht wird, kann der gesamte zu bearbeitende Bereich der Seitenfläche in einem Prozessschritt geglättet werden.

5

Fig. 4 zeigt in einer schematischen Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem der oval dargestellte Auftreffbereich des Fokus des Laserstrahls in separaten Spuren auf der Seitenfläche 6a während der Drehung des Schneidrädchens positioniert wird. Die beabstandeten Spuren sind mit den senkrecht verlaufenden Pfeilen dargestellt und von $n-4$ bis $n+2$ durchnummeriert. Der Laserstrahl wird nacheinander auf jede dieser Spuren eingestellt, wobei die Spur n der Schneidkante am nächsten kommt, idealer Weise mit dieser im Wesentlichen innerhalb der Einstellungsgenauigkeit übereinstimmt. Da die vom Fokus des Laserstrahls in jeder Spur gebildeten ovalen Bearbeitungsspots eine größere Längserstreckung als der Abstand zwischen den Spuren aufweisen, überlappen sich die Bearbeitungsbereiche der einzelnen Spuren, so dass durch die überlappende Positionierung der Fokus eine flächendeckende Bearbeitung auf der Seitenfläche ergibt.

Im in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel weist der ovale Fokus eine Breite von ca. $20\ \mu\text{m}$ und eine Länge von ca. $120\ \mu\text{m}$, also eine um das ca. 6-fach größere Länge auf. Wenn die Spuren einen Abstand von ca. $10-20\ \mu\text{m}$ aufweisen, dann werden beim Abfahren der gesamten Seitenfläche die Oberflächenbereiche mehrfach und daher sehr gleichmäßig bearbeitet, also mit dem Laser geglättet bzw. geschliffen.

30

Fig. 5 zeigt ein weiteres Beispiel eines Schneidrädchens, das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bearbeitet wird. Im Gegensatz zu den Fig. 2 und 3 weist das Schneidrädchen im dargestellten Querschnitt im Bereich der Schneidkante 4' die Seitenfläche 6a einen zurückversetzten Absatz 20a und die Seitenfläche 6b einen Absatz 20b auf. Der Absatz führt zu einer zurückversetzten Struktur mit einer Breite, die mit dem Doppelpfeil B gekennzeichnet ist und die weiter oben bereits als Zahnzwischenraum bezeichnet worden ist. Somit kann man die Fig. 2 als einen Querschnitt des gleichen Schneidrädchens verstehen, bei dem der dargestellte Querschnitt einen Bereich mit einem bis zur Schneidkante 4' vorstehenden Zahn zeigt, während Fig. 5 den zwischen jeweils zwei Zähnen angeordneten Zahnzwischenraum zeigt.

15

Wie Fig. 5 erkennen lässt, wird der unter flachem Winkel eingestrahlte Laserstrahl am Absatz 20a ein wenig abgeschattet. Dieser Schatten setzt sich aber nicht bis zur Schneidkante 4' fort, so dass an dieser Stelle keine oder nur geringe Beeinträchtigung der Glättung der Oberflächenstruktur auftritt. Der Einfluss der Abschattung lässt sich dadurch verringern, dass der Absatz 20a weiter beabstandet zur Schneidkante 4' angeordnet wird und/oder indem der Winkel des Laserstrahls innerhalb der möglichen Grenzen vergrößert wird.

25

Ein weiterer Unterschied zu den Fig. 2 und 3 besteht darin, dass die Skalierung des dargestellten Diagramms eine größere Breite des Schneidrädchens über etwas mehr als 600 μm zeigt.

30

Der zu verwendende Laser muss jeweils an die Anwendung angepasst werden. Daher ist die nachfolgende Beschreibung von Laserparametern rein exemplarisch. Die Leistung des für die

Bearbeitung des in den Fig. 1 bis 5 dargestellten Schneidrädchens aus polydiamantenen Material verwendeten Lasers liegt bei maximal 2,8 Watt bei 500 kHz und einer Pulslänge von 10 Picosekunden .

5

Durch die hohe Pulsfrequenz dieses Lasers kann das Schneidrädchens während der Bearbeitung mit einer vergleichsweise hohen Drehzahl rotieren. Beträgt der Schneidraddurchmesser beispielsweise 2 mm und die Drehzahl 20 U/sec. bzw. 1200 U/min, so ist der daraus resultierende örtlich Pulsabstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Pulsen etwa 0,25µm, was weit unterhalb eines Strahldurchmessers liegt. Die einzelnen Pulse sind somit auf der mit dem Laser bearbeiteten Schneidradoberfläche, also der Seitenfläche nicht bzw. nur in sehr geringem Maße zu erkennen sein.

10

Im Folgenden werden verschiedene charakteristische Merkmale des mit dem zuvor beschriebenen Verfahren geglätteten und geschärften Schneidrädchens beschrieben.

20

Die Fig. 6 bis 15 zeigen Messdaten und Auswertungen der Messdaten für ein unbehandeltes, im Rahmen dieser Beschreibung als „vorgefertigt“ bezeichnetes Schneidrädchen, wie es aus dem Stand der Technik bekannt ist, sowie für ein erfindungsgemäß bearbeitetes Schneidrädchen. Diese Schneidrädchen weisen einen eher großen Schneiwinkel von etwa 140° auf. Gleichwohl ist die Erfindung nicht auf Schneidrädchen mit einem derartigen Schneidwinkel beschränkt.

25

Aus dieser Beschreibung werden die Unterschiede und die damit verbundenen Vorteile deutlich. Es gibt also verschiedene Parameter zur Charakterisierung der Geometrie und

30

Oberflächenbeschaffenheit der Schneidkante und der angrenzenden Abschnitte der Seitenflächen, die einzeln oder auch in beliebigen Kombinationen miteinander verknüpft angewendet werden können.

5

Fig. 6 zeigt eine dreidimensionale Struktur eines Schneidrädchens in einer mikrometergenauen Auflösung, das mit einer Kameraeinrichtung erfasst worden ist. Die dreidimensionale Höhenstruktur wurde mittels Weißlicht-
10 Interferometrie unter Anwendung von konfokaler Mikroskopie ermittelt. Die gemessene Struktur gibt mit einer Genauigkeit im Bereich von ca. 1 μm die dreidimensionale Form eines Abschnitts der Schneidkante wieder, deren Eigenschaft und Qualität bestimmt werden soll. Dabei geben die einzelnen
15 Bildpunkte jeweils einen bestimmten Wert für die jeweils zugeordnete Teilfläche auf der Oberfläche an. Bei den durchgeführten Messungen betrug die laterale Auflösung je nach Objektiv ca. $1\ \mu\text{m}$ bzw. weniger als $1\ \mu\text{m}$, während die Tiefenauflösung dagegen unter $1\ \mu\text{m}$ liegt.

20

Die Graustufen in Fig. 6 stellen unterschiedliche Höhenwerte dar, wobei am unteren Rand und an der Schneidkante gleiche Graustufen nicht gleiche Höhenwerte darstellen. Die s/w-Darstellung ist aus einer farbigen Darstellung gewonnen
25 worden, wobei an der Schneidkante rote und am unteren Rand blaue Farben vorlagen, die in der s/w-Darstellung gleiche Grautöne ergaben.

Sowohl aus den gemessenen dreidimensionalen Daten als auch
30 aus daraus abgeleiteten zweidimensionalen Ansichten, wie sie beispielsweise in Fig. 8 und 9 dargestellt sind, kann die

Geometrie analysiert werden, sowohl qualitativ als auch quantitativ .

5 Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die Schneidkante innerhalb des in die Auswertung eingehenden Eingangsbildes von oben nach unten verläuft. Bei der Aufnahme der dreidimensionalen Struktur wird daher das Schneidrädchen daher möglichst mittig angeordnet.

10 Zu Beginn der Auswertung wird im Eingangsbild zunächst die horizontale Lage der Schneidkante bzw. die vertikale Lage der Schneidrädchenachse gesucht und hierum symmetrisch der Auswertebereich festgelegt.

15 Des Weiteren kann aus den Messdaten die Geometrie des Schneidrädchens näher bestimmt werden. Bei der Analyse des Auswertebereichs wird dazu die Geometrie des Schneidrädchens zunächst durch ein ideal rundes und an den gegenüberliegenden Schneidflanken ebenes, glattes Schneidrädchen angenähert.

20 Fig. 7 zeigt eine Auswertung für ein vorgefertigtes, aus dem Stand der Technik bekanntes Schneidrädchen. Gezeigt wird die Höhendifferenz zwischen der gemessenen Geometrie des Schneidrädchens im Auswertebereich, also im oben
25 beschriebenen Eingangsbild nach Fig. 6, und der durch ein ideal rundes und unstrukturiertes Schneidrädchen angenäherten Geometrie. Unterschiedliche Grauwerte stellen dabei unterschiedliche Abweichungen von der idealen Form dar. Deutlich ist in der Mitte des Bildes der hellere Bereich der
30 nahezu senkrecht verlaufenden Schneidkante zu erkennen. Dieses stellt schon einen ersten Hinweis darauf dar, dass die

Schneidkante im Bereich der Spitze deutlich von der idealen Form abweicht.

5 Aus der Annäherung an ein ideal rundes und unstrukturiertes, also keine Zahnstruktur aufweisendes Schneidrädchen können zunächst der Schneidwinkel und der Durchmesser des Schneidrädchens bestimmt werden.

10 Weiterhin sind in Fig. 7 zwei vertikale Linien eingezeichnet, die sich in einem vorgegebenen Abstand vom linken und rechten Rand des Auswertebereichs entfernt befinden. Diese Linien symbolisieren den voraussichtlichen Ritzabstand von +/- 10 µm und +/- 20 µm, also den Bereich der Schneidkante und der Seitenflächen, die für das Ritzen des Materials
15 verantwortlich sind. Der Ritzabstand stellt somit die Berührungsbreite mit dem Material, bspw. dem Glas dar.

Fig. 8 zeigt die gleiche Auswertung für ein mit einem erfindungsgemäßen Verfahren bearbeitetes Schneidrädchen. Die
20 Graustufen sind gleich gewählt und an dem im Vergleich zu Fig. 7 regelmäßigeren Struktur der Graustufen ist erkennbar, dass die Seitenflächen wesentlich glatter sind. Zusätzlich dazu ist im Bereich der Schneidkante zu erkennen, dass diese nur wenig von der idealen Form abweicht. Die Schneidkante ist
25 somit deutlich schärfer als bei dem vorgefertigten Schneidrädchen .

Bei der Analyse des Auswertebereichs kann als ein wichtiger Parameter die Geradlinigkeitsabweichung der Schneidkante
30 ermittelt werden. Die Schneidkante wird zunächst durch die horizontale Lage der höchsten Punkte jeder Zeile im Auswertebereich definiert. Da die Schneidkante je nach

Ausrichtung des Eingangsbildes teilweise diagonal durch den Auswertebereich verläuft, ermittelt sich die Geradlinigkeitsabweichung als Abweichung von einer interpolierten linearen Schneidkante.

5

In Fig. 9a und 9b sind Einzelheiten der Bestimmung des Wertes für die Geradlinigkeitsabweichung dargestellt. Fig. 9a zeigt den Verlauf der aus den Messdaten nach Fig. 2 abgeleiteten Position der Schneidkante in jeder Zeile über einen Bereich von 500 μm . Ein in Stufen der Messauflösung von etwa 1 μm verlaufende Kurve ist zu erkennen, die leicht geneigt verläuft, da das Eingangsbild nicht exakt ausgerichtet worden ist.

15 Fig. 9a zeigt weiterhin eine lineare Interpolation der Messwerte, die in diesem Fall aus der Pixelauflösung von ca. 1,6 μm resultierenden und in Stufen verlaufen. Die Interpolation kann auch durch einen Tiefpassfilter durchgeführt. Der Verlauf der Schneidkante wird somit
20 geglättet und mit einer Geraden angenähert.

Fig. 9b zeigt dann die Abweichung der Messwerte von der linearen Interpolation nach Fig. 9a. Als gestrichelte horizontale Linien ist in Fig. 9b zusätzlich der Bereich der
25 Standardabweichung eingezeichnet. Der Wert dieser Standardabweichung, d.h. der Abstand der gestrichelten Linie von der Nulllinie in Fig. 9b, wird dann als Wert für die Geradlinigkeitsabweichung genommen. Die Schneidkante weist demnach eine Geradlinigkeitsabweichung von weniger als 2 μm ,
30 insbesondere ungefähr 1 μm auf. Dieser Wert kann noch weiter verbessert werden, indem die Parameter der erfindungsgemäßen

Bearbeitung der Seitenflächen und der Schneidkante optimiert werden .

In Fig. 10 sind Einzelheiten zur Ermittlung der
5 interpolierten Schneidkante des mit einem erfindungsgemäßen
Verfahren bearbeiteten Schneidrädchens wiedergegeben. Dazu
sind die gemessenen Höhenwerte entlang des Verlaufs der
Schneidkante aus den Daten der dreidimensionalen Form aus dem
Eingangsbild gemäß Fig. 6 abgeleitet und als Linie 30
10 eingezeichnet worden. Fig. 10 stellt somit den radialen
Verlauf der Schneidkante mit der zu bestimmenden radialen
Welligkeit entlang des vermessenen Abschnittes des
Schneidrädchens dar.

15 Die unterhalb der Messwerte mit einem Abstand verlaufende
wellige Kurve 32 stellt die gemittelte Schneidkante dar. An
diese gemittelte Schneidkante wird aus der Näherung durch ein
ideal rundes Rad mit ebenen Seitenflächen eine
kreisbogenförmige Kurve 34 ermittelt, da eine kreisförmige
20 Schneidkante hergestellt werden soll. Der Abstand zwischen
den Messdaten 30 und der kreisbogenförmigen Kurve 34 gibt die
weiter unten näher anhand von Fig. 13 beschriebene negative
Schneidkantenabstumpfung wieder, dass also der reale Verlauf
der Schneidkante oberhalb der gemittelten Schneidkante
25 verläuft .

Fig. 11 zeigt nun die Abweichungen der Messwerte der Kurve 30
in Fig. 10 von der an die interpolierte Schneidkante
angepasste kreisförmige Kurve 34 dar, wobei die Werte um ein
30 gewisses Maß um die Nulllinie schwanken. Die Differenzkurve
schwankt wegen der negativen Schneidkantenabstumpfung nicht
um den Wert Null, sondern um den Wert der

Schneidkantenabstumpfung herum. Die Kurve in Fig. 11 wurde zur Bestimmung der Standardabweichung jedoch um den Wert der negativen Schneidkantenabstumpfung korrigiert und somit mittelwertfrei gemacht. Daraus resultiert die Fig. 11. Die
5 beiden horizontalen gestrichelten Linien stellen die Standardabweichung dar, wobei der Abstand der gestrichelten Linie von der Nulllinie den ermittelten Wert der Schneidkantenwelligkeit darstellt. Die Schneidkante weist demnach eine Schneidkantenwelligkeit von weniger als $0,3 \mu\text{m}$,
10 insbesondere von ungefähr $0,2 \mu\text{m}$ auf.

Die Fig. 12 bis 15 zeigen Auswertungen, die auf die Schärfe der Schneidkante 4 gerichtet sind und die dazu dienen, Parameter für die Überprüfung der Scharfkantigkeit zu
15 gewinnen.

Die Fig. 12 und 13 geben Auswerteergebnisse für die im Auswertebereich des Eingangsbildes gemittelte Schärfe bzw. Güte der Schneide bzw. der Schneidkante für ein
20 vorgefertigtes Schneidrädchen und für ein mit einem erfindungsgemäßen Verfahren bearbeitetes Schneidrädchen wieder .

In den Fig. 12 und 13 sind für eine Bewertung der gemessenen
25 Schneidkantenform eine an eine ideale Schneidenform angenäherte dreieckförmige Linien 40 bzw. 50 eingezeichnet worden. Dazu wird, wie oben zu Fig. 7 beschrieben worden ist, die an ein ideal rundes und unstrukturiertes Schneidrädchen angenäherte Geometrie verwendet. Die Kurven 40 bzw. 50
30 stellen somit die Näherung der linken und rechten Schneidrädchenflanken durch zwei Ausgleichsgeraden dar, die sich an der Schneidkante treffen.

In Fig. 12 stellt für ein vorgefertigtes Schneidrädchen die Kurve 42 die zeilenweise gemittelte Schneidenform dar, wobei die gemittelte Schneidenform aus allen Zeilen gewonnen wird, indem über alle „Pixel“ des Bildes, die den gleichen korrigierten Abstand zur Schneidkante besitzen, der Höhenwert gemittelt wird. Hierbei wurde berücksichtigt, dass die Schneidkante in jeder Zeile des Auswertebereiches entlang der Schneide seitlich bzw. radial zur Schneidachse schwankt. In Fig. 13 ist die entsprechende Linie 52 für das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bearbeitete Schneidrädchen eingezeichnet .

Es werden vorzugsweise zwei verschiedene Mittelungsmethoden angewendet.

Bei einer ersten Alternative wird die zeilenweise gemittelte Schneidenform durch die Werte des gemessenen Profils in Bezug auf den Maximalwert in jeder Zeile, d.h. bezogen auf eine nicht begradigte Schneidkante ermittelt.

Bei einer zweiten Alternative wird die zeilenweise gemittelte Schneidenform in Bezug auf den an eine interpolierte Schneidkantenform angenäherten Kreisbogen ermittelt. Die angenäherte Kreisbogenform wurde oben in Bezug auf die Fig. 10 beschrieben worden ist. Die zeilenweise gemittelte Schneidenform erscheint hierdurch bei der zweiten Alternative der Interpolation gegenüber der ersten Alternative etwas stumpfer. Aus der Näherung an ein ideales Schneidrad resultiert somit für jede Zeile ein Kurvenverlauf. In den Fig. 12 und 13 ist dieser Kurvenverlauf und der gemessene Verlauf einer Zeile dargestellt.

Wie aus Fig. 12 zu erkennen ist, weicht die zeilenweise gemittelte Schneidenform 42 insbesondere im Bereich der Schneidkante von der idealen Form ab. Eine deutliche
5 Abstumpfung über eine Breite von ca. +/- 3-4 μm seitlich der Schneidkante ($x = 0 \mu\text{m}$) ist zu erkennen.

Dagegen zeigt Fig. 13 eine zeilenweise gemittelte Schneidenform 52 für das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren
10 bearbeitete Schneidrädchen, die im Bereich der Schneidkante über die Form der an das ideale runde und unstrukturierte Schneidrädchen angenäherte Geometrie hinausragt. Die gemessene Schneidkante weist gerade im Bereich +/- 30-50 μm um die Schneidkante herum eine überhöhte spitzere Form auf.
15 Zudem ist der Verlauf der Kurve 52 deutlich glatter als die Kurve 42 in Fig. 12, was erneut einen Hinweis auf die Glättungswirkung des erfindungsgemäßen Verfahrens gibt.

Die Differenz zwischen den beiden Kurven 40 und 42 sowie die
20 Differenz zwischen den beiden Kurven 50 und 52 an der Position der Schneidkante ($x = 0 \mu\text{m}$) wird als Maß für die Schneidkantenabstumpfung verwendet. Dabei ergibt sich für Fig. 12 ein positiver Wert, während die Schneidkantenabstumpfung für Fig. 13 negativ ist. Bei einer
25 idealen Schneidkante wären beide Kurven identisch und die Schneidkantenabstumpfung somit Null.

Die Fig. 14 und 15 zeigen eine Auswertung der über alle Zeilen gemittelten Winkel der gemessenen Schneidkante im
30 Vergleich zu einer an ein ideal rundes und unstrukturiertes Schneidrädchen angenäherte Geometrie. Diese angenäherte Geometrie ist anhand von Fig. 8 erläutert worden.

Die Skalierung ist in beiden Diagrammen gleich gewählt worden, so dass die Verläufe der einzelnen Kurven direkt miteinander verglichen werden können.

5

Die in den Fig. 14 und 15 enthaltene strichpunktierte Linie 60 bzw. 70 bei einem Winkel von ca. 138° in Fig. 14 und von ca. 141° stellt den in der angenäherten Geometrie zwischen den beiden Randbereichen aufgespannten Schneidenwinkel dar.

10

Die in den Fig. 14 und 15 eingezeichneten Linien 62 und 72 stellen den kumulierten Schneidwinkel dar. Zur Berechnung des kumulierten Schneidwinkels wird zunächst der über alle Zeilen gemittelte Höhenwert der Schneidkante berechnet. Danach wird zu beiden Seiten der Schneidkante in gleichen Abständen rechts und links der jeweils über alle Zeilen gemittelte mittlere Höhenwert auf der Seitenfläche ermittelt. Der kumulierte Winkel ist dann der Winkel, der durch die beiden Geraden definiert ist, die zwischen dem gemittelten Höhenwert der Schneidkante und den beiden gemittelten Werten in den Abstandspunkten links und rechts der Schneidkante verlaufen.

15

20

25

Die Kurvenform der Linien 62 und 72 ist daher symmetrisch zur Schneidkante ($x = 0 \mu\text{m}$). Die Form des kumulierten Schneidwinkels ist folgendermaßen zu interpretieren.

30

In Fig. 14 liegt der kumulierte Schneidwinkel für große Abstände von ca. $\pm 50 \mu\text{m}$ von der Schneidkante nur wenig oberhalb des an die ideale Form angenäherten Winkels der Linie 60. Je näher der Abstand zur Schneidkante verringert wird, desto stärker steigt der kumulierte Winkel an, bis er bei $x = 0 \mu\text{m}$ den Wert 180° erreicht. Auch wenn die Kurvenform

eine Spitze vermittelt, vergrößert sich in der Darstellung der Schneidwinkel zu größeren Werten in y-Richtung.

Die Breite der Kurve 62 gibt einen Hinweis darauf, dass der kumulierte Schneidwinkel bereits ab +/- 20 μm stark zunimmt und bei +/- 10 μm den Winkel von ca. 150° übersteigt, also flacher wird. Die flacheren Winkel sind daher ein Maß für die Abstumpfung der Schneidkante. Beim Ritzen von dünnen Gläsern ist die Ritzbreite im Vergleich zum Ritzen dicker Gläser erheblich geringer. Beträgt die Ritzbreite links und rechts der Schneidkante beispielsweise nur 10 μm , so beträgt der mit dem Glas in Berührung kommende Schneidwinkel in Fig. 14 etwas mehr als 151° , bei einer Ritzbreite links und rechts der Schneidkante von 20 μm etwa 144° . In Fig. 15 treten zudem erheblich geringere Schwankungen in der Oberflächenstruktur auf.

Dagegen verläuft die Kurve 72 in Fig. 15 für größere Abstände bis ca. +/- 50 μm zunächst unterhalb des an die ideale Form angenäherten Winkels der Linie 70. Das bedeutet, dass in diesem Bereich die Schneidkante einen steileren Winkel als die an die ideale Geometrie angenäherte Form aufweist. Erst ab Werten unterhalb von +/- 5 μm übersteigt der kumulierte Winkel den Wert von ca. 150° . Die Schneidkante rundet daher erst bei deutlich kleineren Werten ab, als es beim Stand der Technik der Fall ist. Sogar bei geringeren Ritzbreiten, wie beim Ritzen von Dünnglas üblich, ist der Schneidwinkel im Bereich der Berührung des Schneidrädchens mit dem Glas, verglichen mit dem nur vorgefertigten, vergleichsweise konstant und scharf.

In den Fig. 14 und 15 stellen die Linien 64 und 66 bzw. 74 und 76 den Winkel dar, der sich aus den beiden mittleren lokalen Steigungen links und rechts der Schneidkante in Abhängigkeit vom Abstand zur Schneidkante ergibt. Hierbei stellt die gestrichelte Kurve 64 bzw. 74 die über einen Pixelabstand ermittelten lokalen Steigungen und die durchgehende Kurve 66 bzw. 76 die mit einem 3x1 Rechteck-Tiefpass gefilterte lokale Steigung dar. Die ersten 2 Pixel in unmittelbarer Nähe der Schneidkante sind nicht (erstes Pixel) bzw. nur mit einem 2x1 Tiefpass (zweites Pixel) gefiltert .

Ein Vergleich zwischen den Amplituden der beiden Kurven 64 und 74 ergibt für das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bearbeiteten Schneidrädchen eine deutliche glattere Oberfläche .

Aus dem Verlauf der Kurve 66 bzw. 76 lässt sich der Startabstand der Schneidkantenverrundung ableiten, der den Abstand zur Schneidkante definiert, bei dem die durchgehende Kurve 66 bzw. 76 von der Schneidkante ausgehend erstmalig einen Wert von 1 Grad oberhalb der gestrichelten Kurve 60 bzw. 70 erreicht. Dieser Wert ist jeweils zusätzlich mit einem Kreuz markiert. Für Abstände zur Schneidkante, die kleiner als dieser Startabstand der Schneidkantenverrundung sind, ist der lokale Schneidenwinkel somit durchgehend um mehr als 1° größer als der mittlere, an die ideale Schneidkantenform angenäherte Schneidenwinkel. Das wird so interpretiert, dass die Verrundung der Schneidkante ab dieser Stelle beginnt.

Aus Fig. 14 lässt sich ablesen, dass der Startpunkt der Schneidkantenverrundung für das vorgefertigte Schneidrädchen bei Werten von +/- 7 - 10 μm liegt. Dagegen liegt der Wert des Startpunkts der Schneidkantenverrundung bei dem mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bearbeiteten Schneidrädchen nach Fig. 15 bei Werten von +/- 3-4 μm . Auch dieser Wert stellt also ein Maß für die Schärfe und Genauigkeit der Schneidkante dar.

10 Aus der Fig. 15 kann des Weiteren noch Folgendes abgelesen werden. Die Seitenflächen weisen einen mittleren Schneidwinkel zueinander auf, der durch den Winkel zweier Abschnitte, die zu beiden Seiten der Schneidkante von der Schneidkante bis zu einem ersten Abstand, hier ca. +/- 250 μm zur Schneidkante begrenzt sind. Dieses entspricht der Breite des Eingangsbildes und der Winkel entspricht dem mittleren Schneidwinkel der Linie 70. Der Winkel zwischen zwei Abschnitten der Seitenflächen, der in einem Bereich zwischen einem zweiten Abstand nahe der Schneidkante, hier der Startpunkt der Schneidkantenverrundung, und einem gegenüber dem ersten Abstand geringeren dritten Abstand, hier bei +/- 50 μm begrenzt ist, ist kleiner als der mittlere Schneidwinkel. Denn die Kurven 74 und 76 verlaufen in diesem Abschnitt unterhalb der Linie 70.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zum Glätten einer Oberfläche eines vorgefertigten Schneidwerkzeugs, insbesondere Schneidrädchens mit zwei Seitenflächen, die unter einem Winkel zueinander verlaufen und eine Schneidkante bilden,
5
- bei dem zumindest eine Seitenfläche zumindest in einem zur Schneidkante angrenzenden Bereich mit einem Laserstrahl beaufschlagt wird und
- bei dem der Laserstrahl unter einen flachen Winkel zur
10 Oberfläche der Seitenkante ausgerichtet ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
bei dem der flache Winkel in einem Winkelbereich von weniger als 45° , vorzugsweise 5° bis 45° , insbesondere
15 10° bis 30° eingestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
bei dem der Laserstrahl auf den zur Schneidkante angrenzenden Bereich fokussiert wird.
20
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
bei dem das Schneidrädchen kontinuierlich oder in separaten Schritten gedreht wird.
- 25 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
bei dem die relative Position des Laserfokus zur Seitenfläche kontinuierlich oder in einzelnen Schritten verstellt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5,
bei dem der Laserstrahl parallel zur Ausbreitungsrichtung
unter Beibehaltung des Winkels zur Seitenfläche und unter
Beibehaltung der relativen Position des Fokus des
5 Laserstrahls verstellt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5,
bei dem der Winkel des Laserstrahls zur Seitenfläche
unter Beibehaltung des relativen Abstandes des Fokus des
10 Laserstrahls zur Seitenfläche verstellt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7,
bei dem der Winkel des Laserstrahls zur Seitenfläche an
der Schneidkante geringer als im von der Schneidkante
15 entfernten Bereich eingestellt wird.
9. Schneidwerkzeug, insbesondere Schneidrädchen zum
Schneiden spröder Materialien, beispielsweise Keramik
und/oder Glas,
20 - mit zwei unter einem vorgegebenen Winkel zueinander
verlaufenden Seitenflächen (6a, 6b) und
- mit einer durch die Seitenflächen (6a, 6b) gebildeten
Schneidkante (4),
dadurch gekennzeichnet,
25 - dass die Seitenflächen (6a, 6b) einen mittleren
Schneidwinkel zueinander aufweisen, der durch den Winkel
zweier Abschnitte, die zu beiden Seiten der Schneidkante
(4) von der Schneidkante bis zu einem ersten Abstand zur
Schneidkante (4) begrenzt sind, bestimmt ist, und
30 - dass der Winkel zwischen zwei Abschnitten der
Seitenflächen (6a, 6b), die in einem Bereich zwischen
einem zweiten Abstand nahe der Schneidkante und einem

gegenüber dem ersten Abstand geringeren dritten Abstand begrenzt sind, kleiner als der mittlere Schneidwinkel ist .

5

10. Schneidwerkzeug, insbesondere Schneidrädchen zum Schneiden spröder Materialien, beispielsweise Keramik und/oder Glas,

- mit zwei unter einem vorgegebenen Winkel zueinander verlaufenden Seitenflächen (6a, 6b) und
- mit einer durch die Seitenflächen (6a, 6b) gebildeten Schneidkante (4),

dadurch gekennzeichnet,

- dass mindestens eine der folgenden Parameterangaben a) bis d) erfüllt ist:

15

a) die Schneidkante (4) weist eine Geradlinigkeitsabweichung von weniger als 2 μm , insbesondere von weniger als 1 μm auf,

20

b) die Schneidkante (4) weist eine Schneidkantenwelligkeit von weniger als 0,5 μm , insbesondere von weniger als 0,3 μm auf,

c) die Schneidkante (4) weist eine negative Schneidkantenabstumpfung auf,

25

d) die Schneidkante (4) weist einen Startabstand der Schneidenverrundung von weniger als 4 μm , insbesondere von weniger als 2 μm auf.

11. Schneidwerkzeug nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet,

30

dass die Schneidkante durchgängig ist.

12. Schneidwerkzeug nach Anspruch 9 oder 10,
dass die Schneidkante mit einer Abfolge von Zähnen und
Zahnzwischenräumen versehen ist und dass die Eigenschaften
der Schneidkante nach Anspruch 10 oder 11 zumindest für
die Zähne gelten.

5

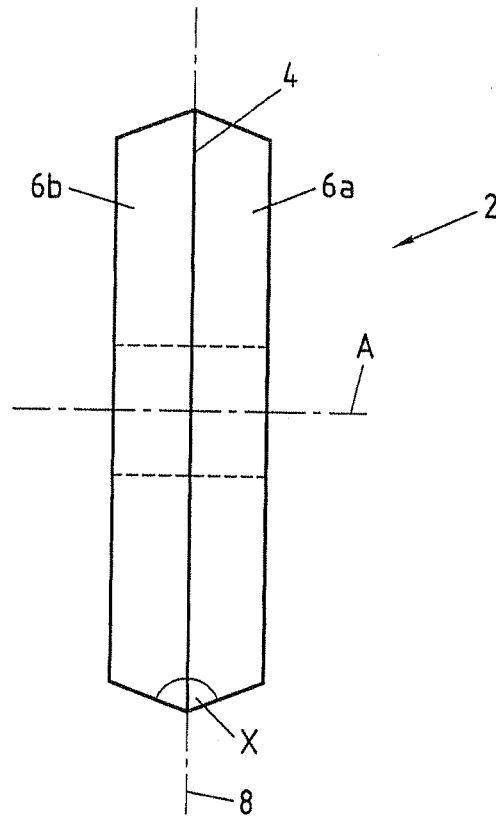


Fig.1

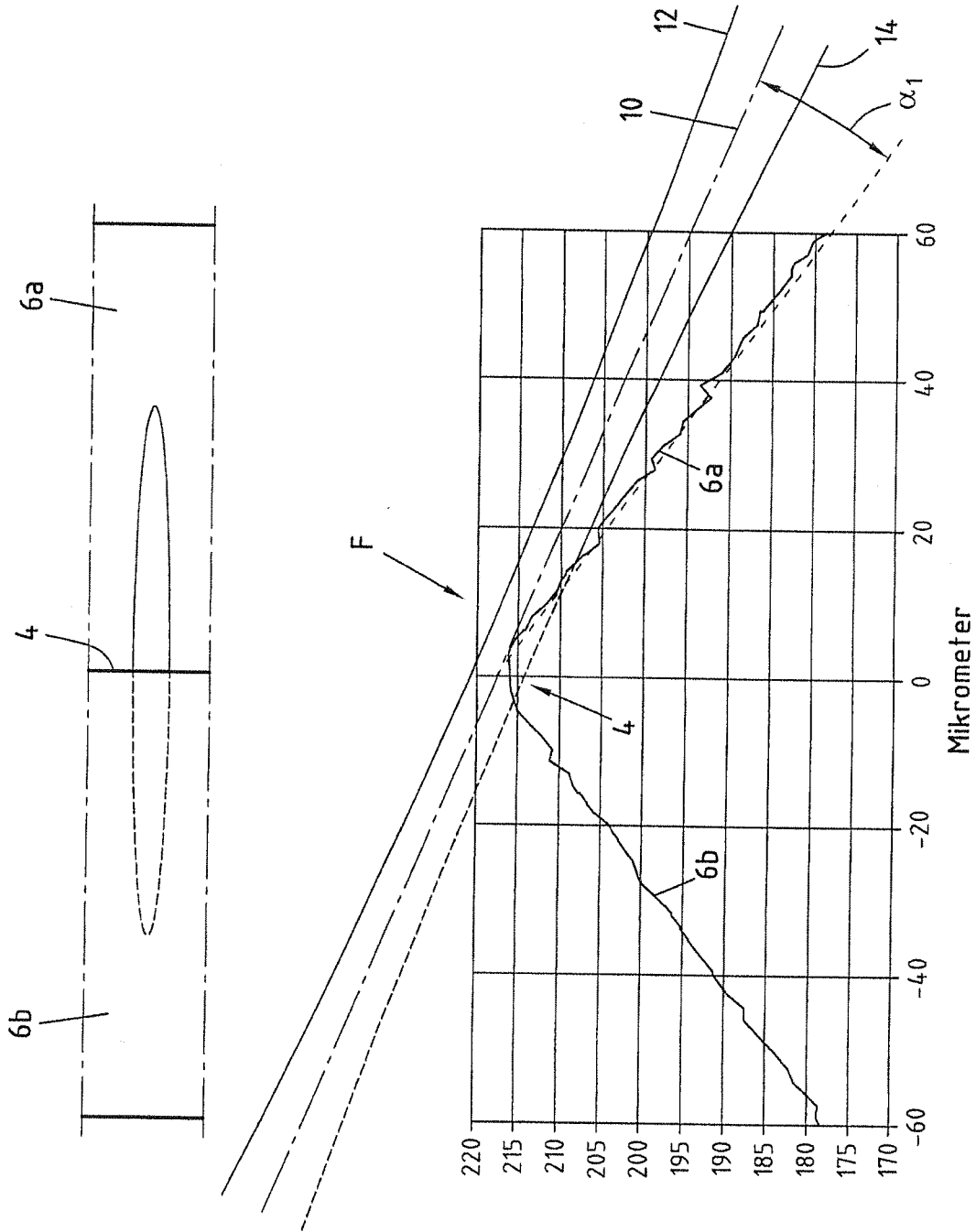


Fig.2

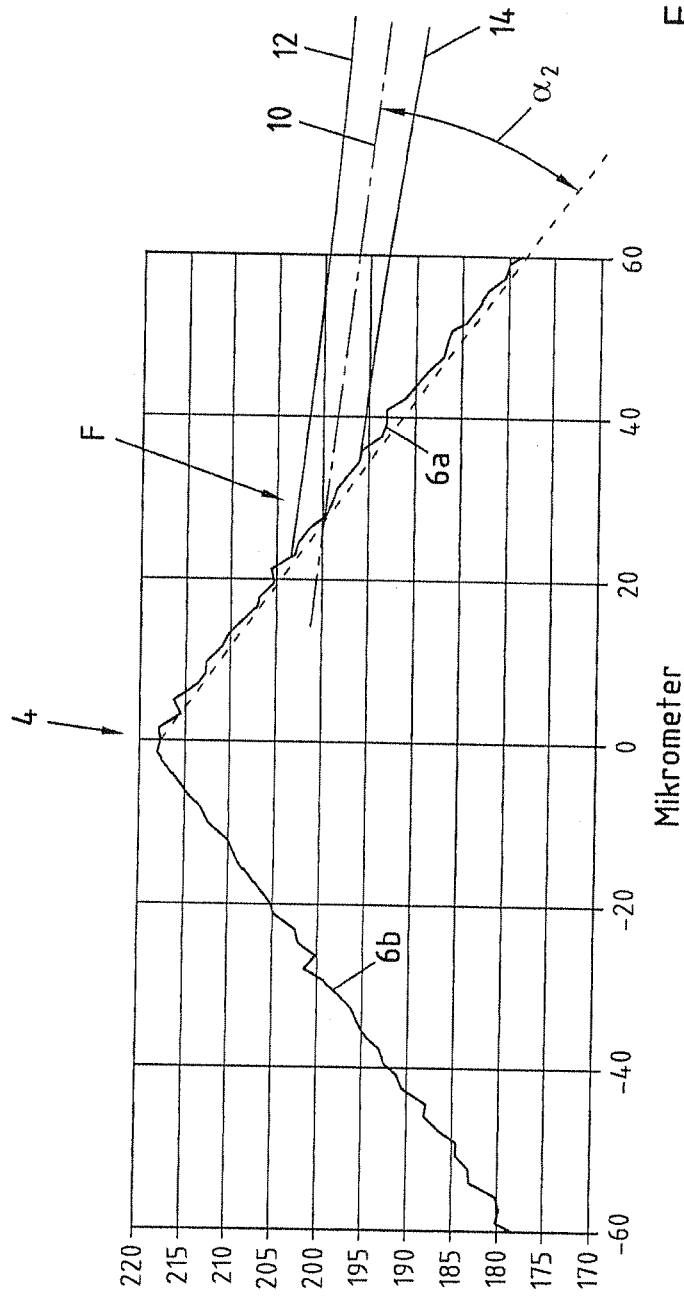


Fig.3

4/11

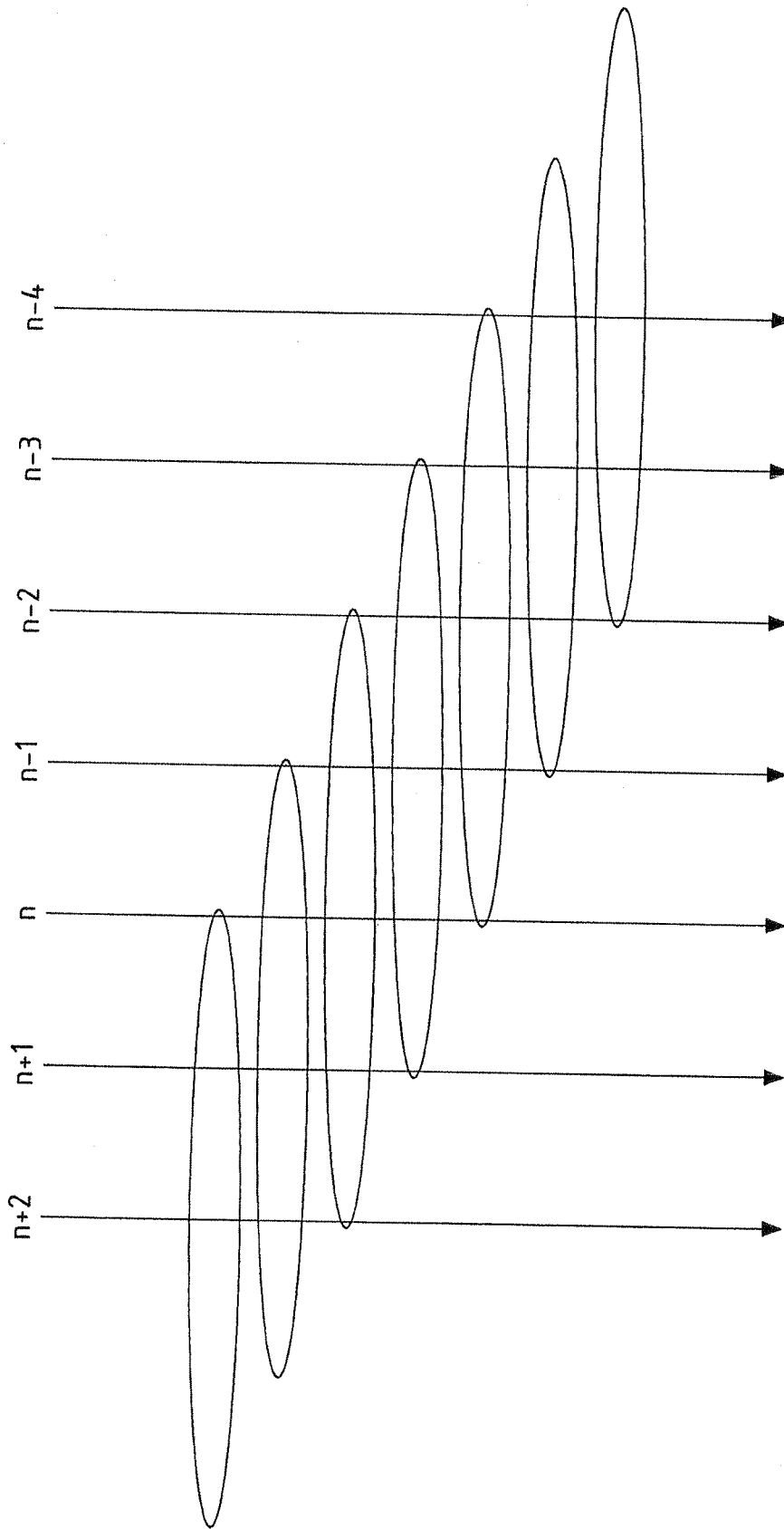


Fig.4

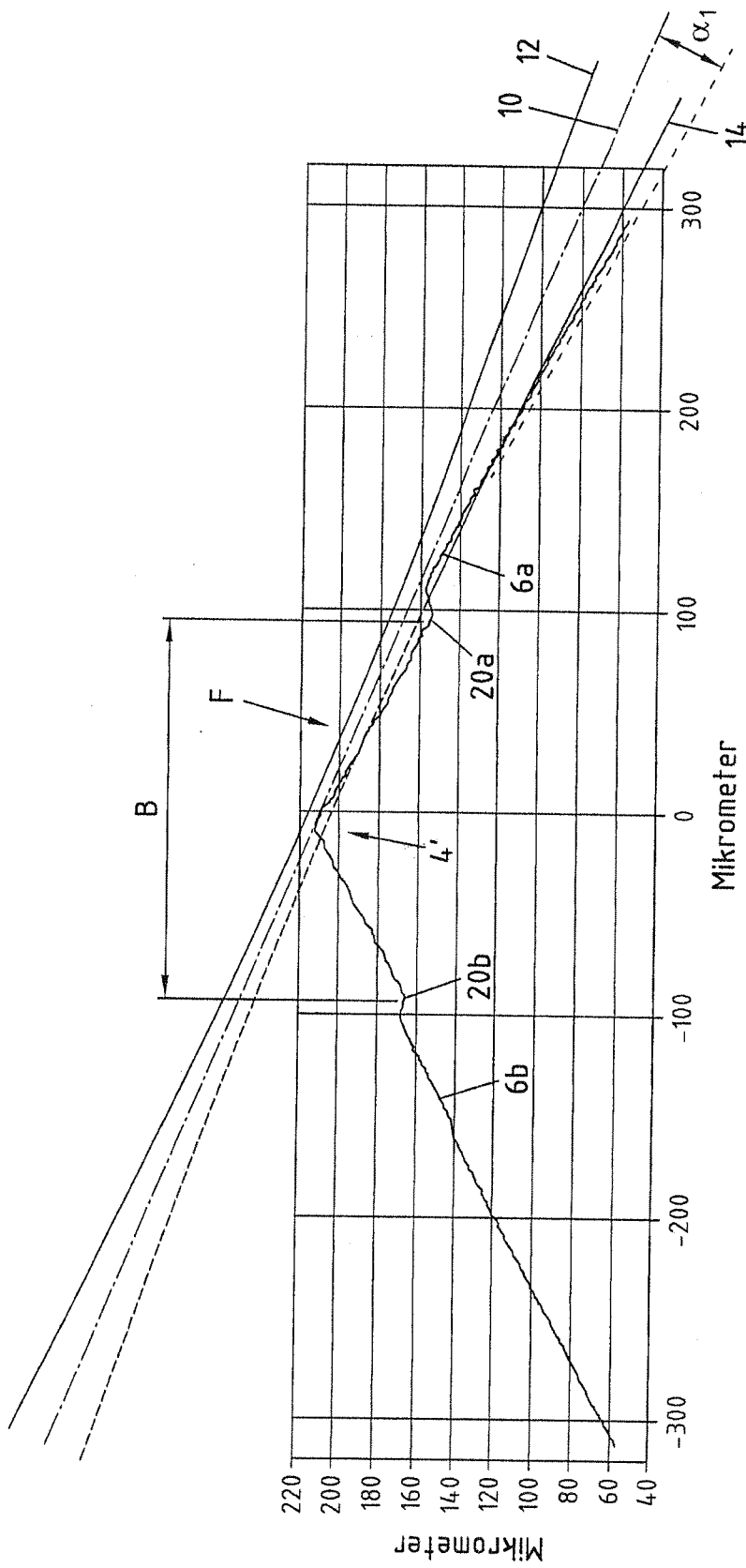


Fig.5

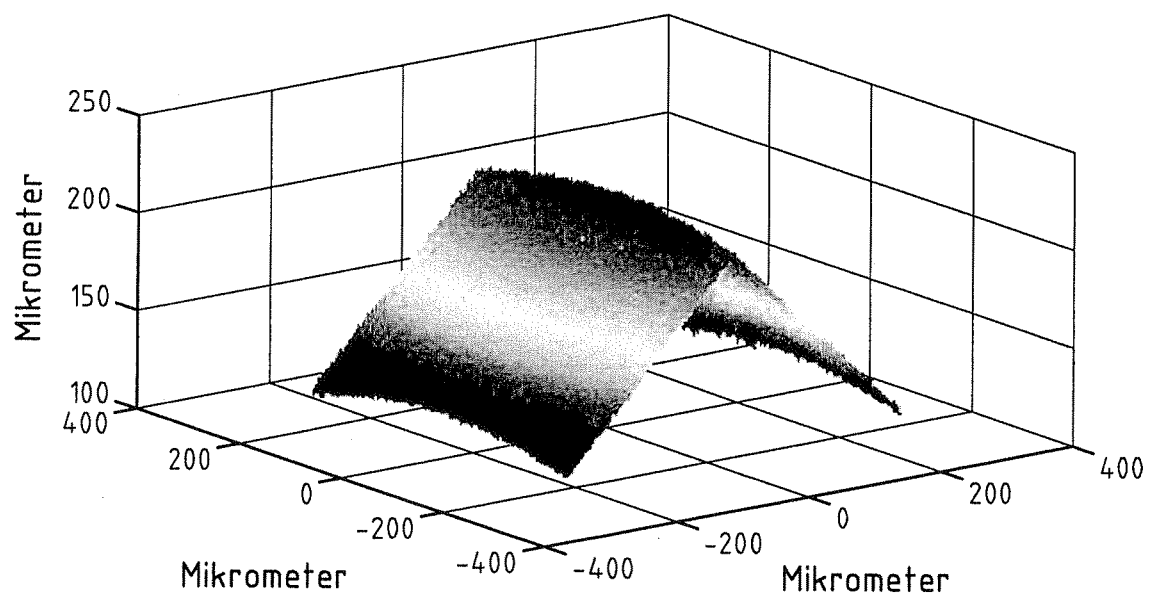


Fig.6

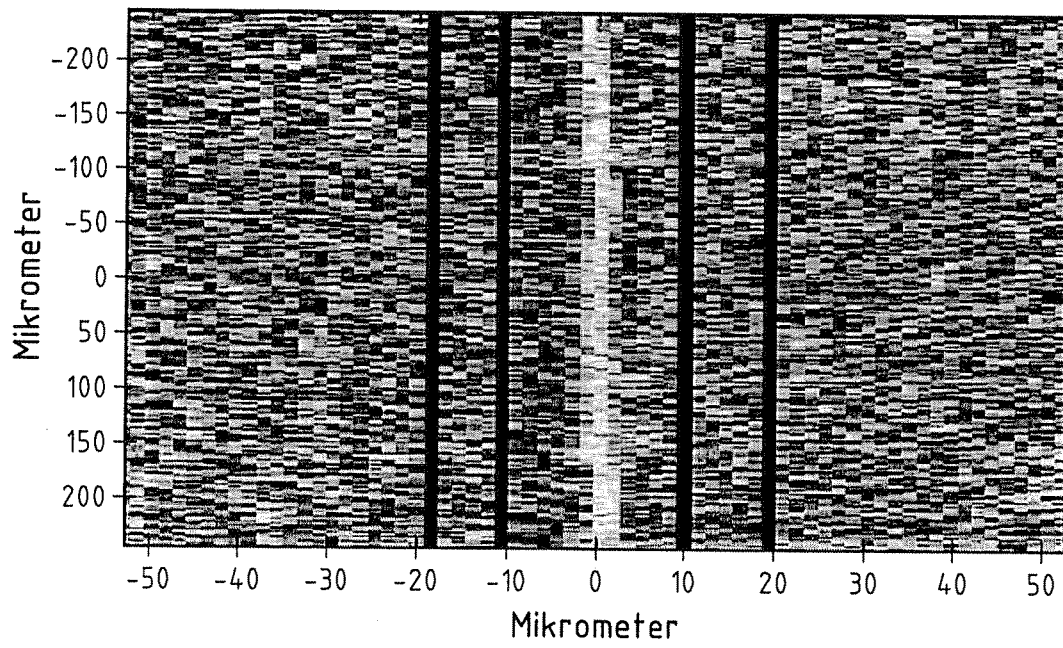


Fig.7

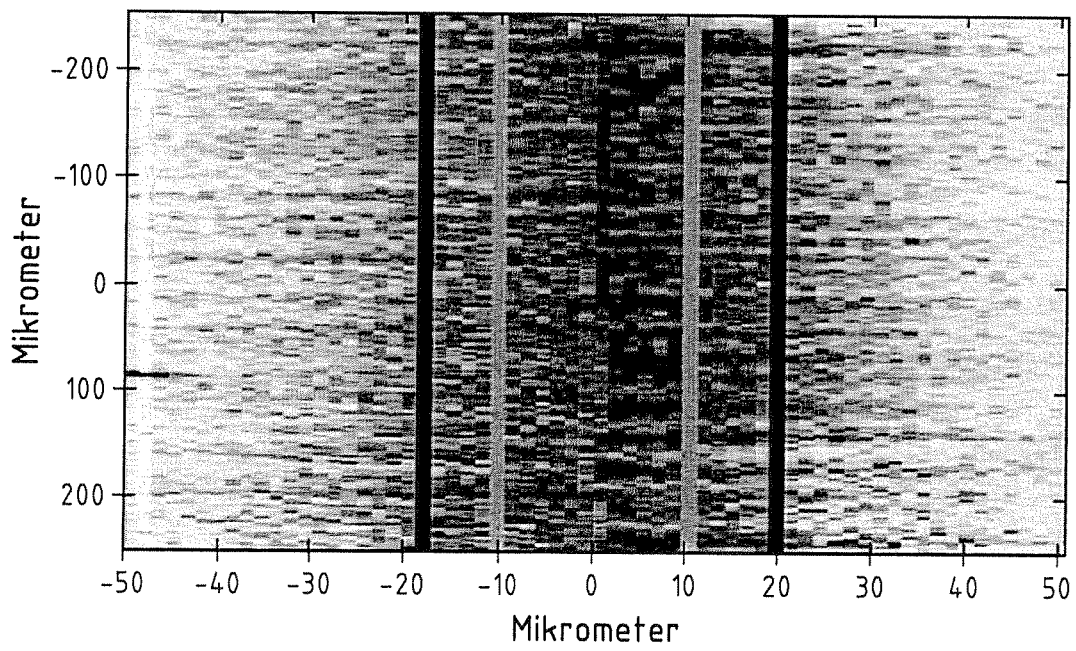


Fig.8

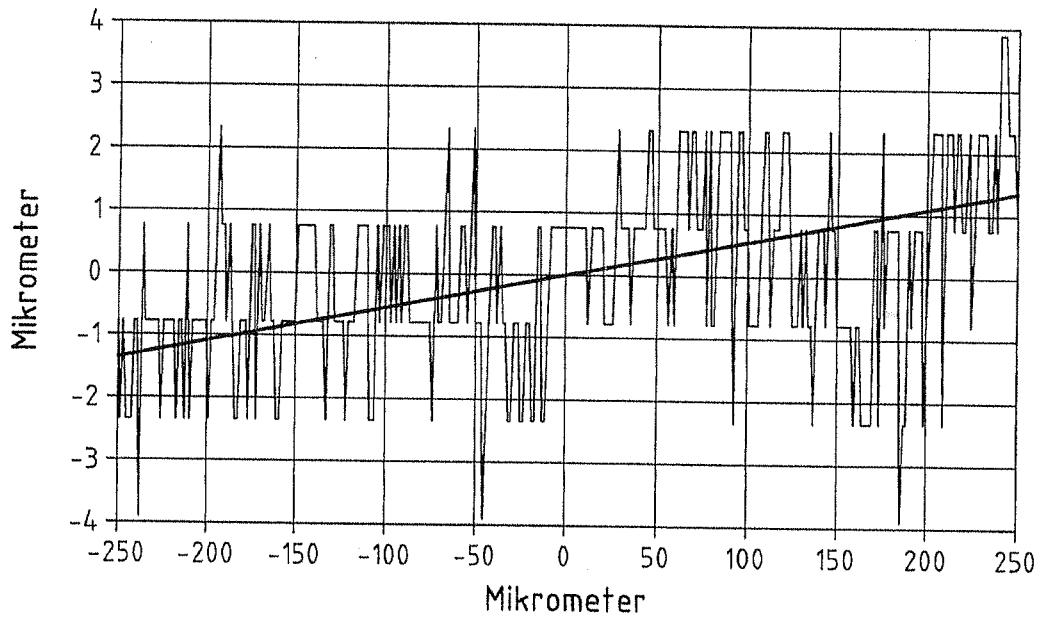


Fig.9a

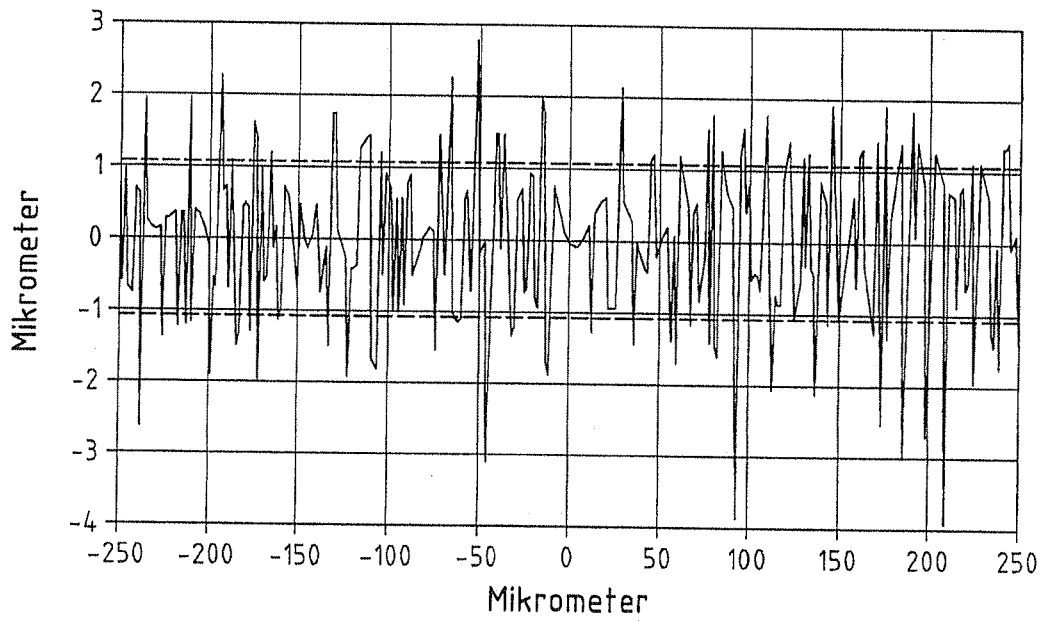


Fig.9b

9/11

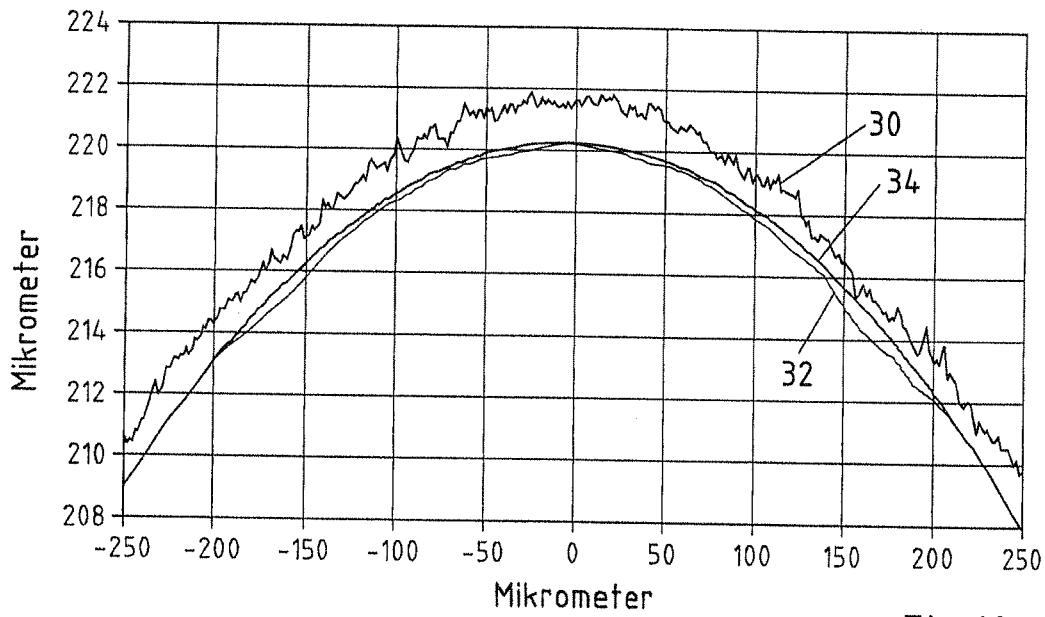


Fig.10

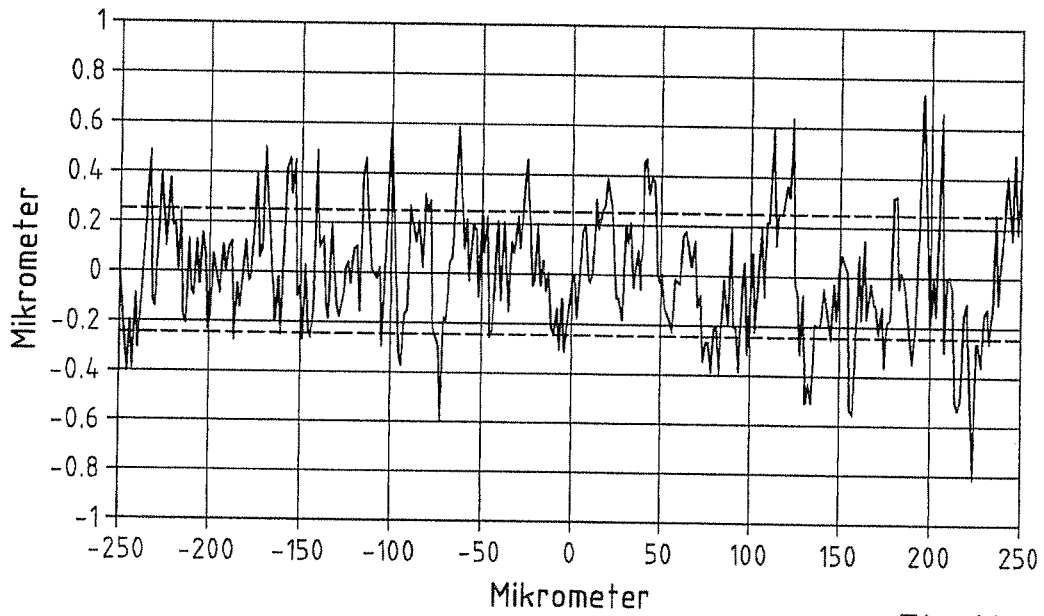


Fig.11

10/11

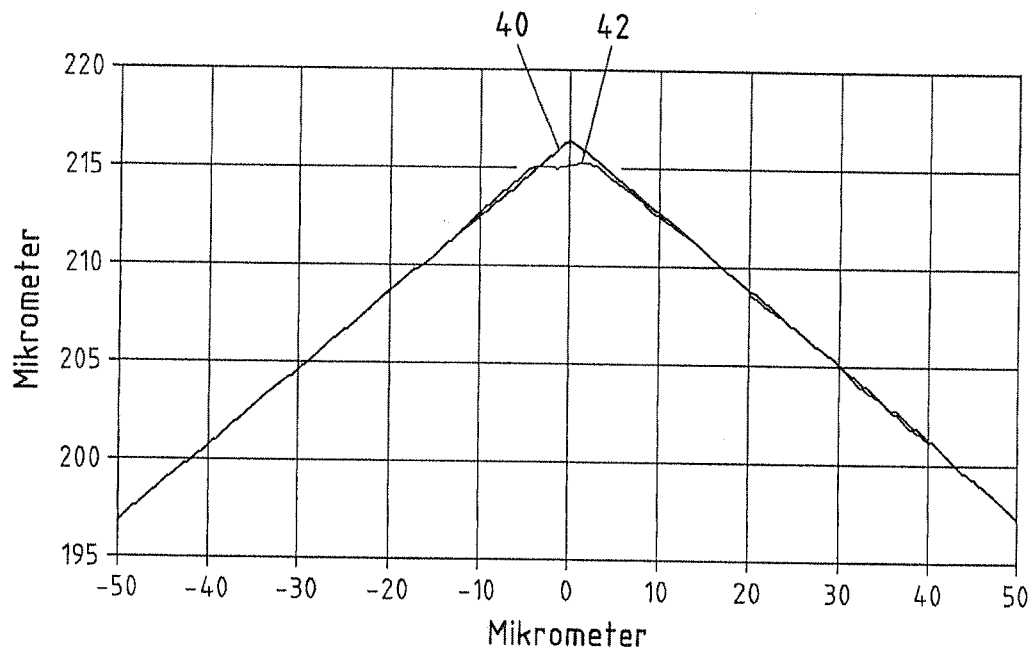


Fig.12

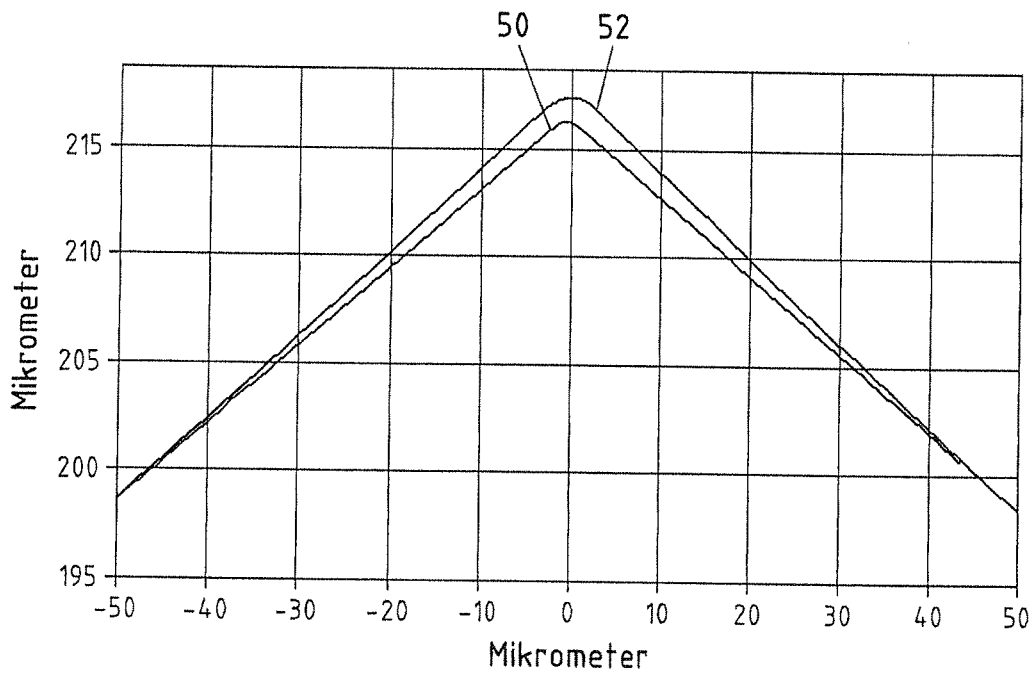


Fig.13

11/11

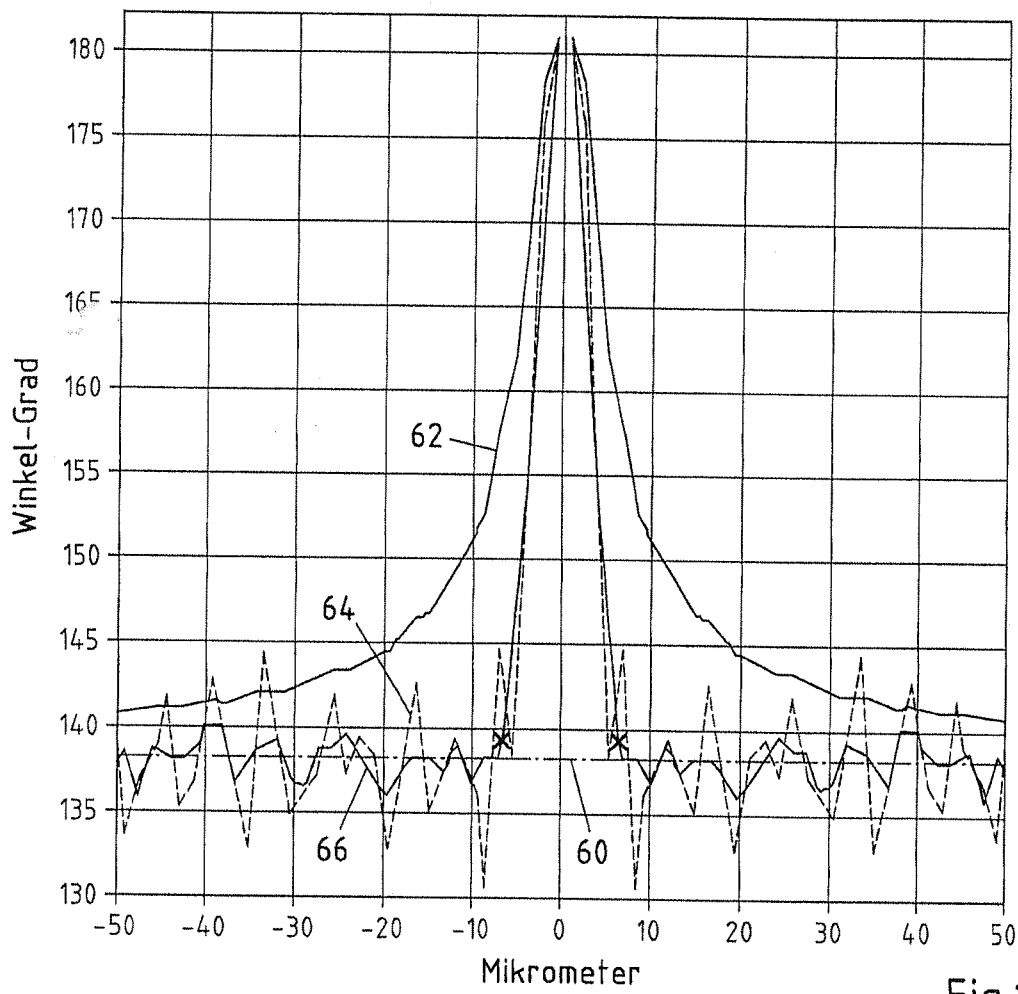


Fig.14

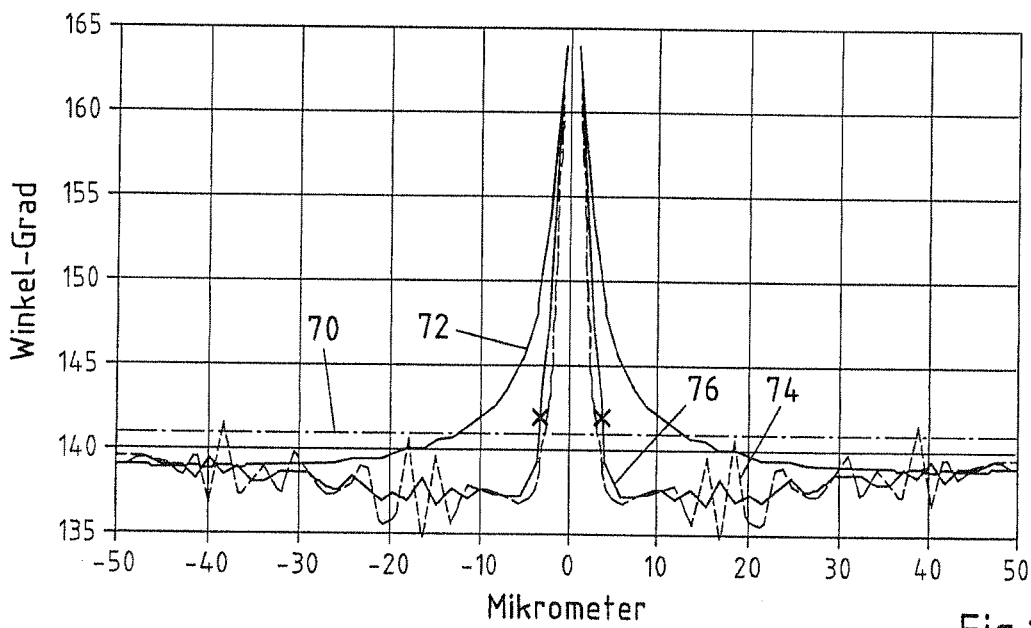


Fig.15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2011/060805

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B23K26/00 B23K31/02 B23P15/28 B24D18/00 B28D1/22
 B28D1/24 C03B33/10 C30B29/04

ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) onto both national Classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (Classification System followed by Classification Symbols)
 B23K B23P B24D B28D C03B C30B C04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
 EPO-Internal , WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No.
Y	JP 2007 152936 A (NI KKEN DIA KK) 21 June 2007 (2007-06-21) abstract; figures -----	1, 2, 4, 6-12
Y	JP 6 170571 A (KOHAN KOGYO KK) 21 June 1994 (1994-06-21) abstract; figures ; tabl e -----	1, 2, 4, 6-12
A	EP 0 446 811 A1 (ONODA CEMENT COMPANY, LTD.) 18 September 1991 (1991-09-18) column 3, lines 17-48; Claims ; figures -----	1, 2, 4, 6-12
A	JP 59 073189 A (SUMITOMO METAL IND LTD) 25 April 1984 (1984-04-25) abstract; figures -----	1, 2, 4, 6-12
	-/- .	

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general State of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search 21 October 2011	Date of mailing of the international search report 03/11/2011
---	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Jeggy, Thierry
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/060805

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No.
A	WO 2008/087612 AI (ELEMENT SIX B.V. ; H. J. DONALD HEATHER ET ALNL]; GODFRI) 24 July 2008 (2008-07-24) abstract; Claims; figures -----	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2011/060805
--

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2007152936 A	21-06-2007	NONE	

JP 6170571 A	21-06-1994	JP 3096943 B2	10-10-2000

EP 0446811 AI	18-09-1991	NONE	

JP 59073189 A	25-04-1984	NONE	

WO 2008087612 AI	24-07-2008	CN 101730616 A	09-06-2010
		EP 2121260 AI	25-11-2009
		JP 2010516481 A	20-05-2010
		KR 20090116749 A	11-11-2009

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B23K26/00 B23K31/02 B23P15/28 B24D18/00 B28D1/22
 B28D1/24 C03B33/10 C30B29/04
 ADD.
 Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE
 Recherchierte Mindestrüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B23K B23P B24D B28D C03B C30B C04B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestrüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
 EPO-Internal , WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	JP 2007 152936 A (NI KKEN DIA KK) 21. Juni 2007 (2007-06-21) Zusammenfassung; Abbi l dungen -----	1, 2, 4, 6-12
Y	JP 6 170571 A (KOHAN KOGYO KK) 21. Juni 1994 (1994-06-21) Zusammenfassung; Abbi l dungen ; Tabel l e -----	1, 2, 4, 6-12
A	EP 0 446 811 AI (ONODA CEMENT COMPANY, LTD.) 18. September 1991 (1991-09-18) Spal t e 3, Zei l en 17-48; Ansprüche; Abbi l dungen -----	1, 2, 4, 6-12
A	JP 59 073189 A (SUMITOMO METAL IND LTD) 25. April 1984 (1984-04-25) Zusammenfassung; Abbi l dungen -----	1, 2, 4, 6-12

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
21. Oktober 2011	03/11/2011

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Jeggy, Thi erry
--	--

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	wo 2008/087612 AI (ELEMENT SIX B.V. ; H. J. DONALD HEATHER ET ALNL] ; GODFRI) 24. Juli 2008 (2008-07-24) Zusammenfassung; Ansprüche; Abfindungen -----	1-12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/060805

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2007152936 A	21-06-2007	KEINE	
JP 6170571 A	21-06-1994	JP 3096943 B2	10-10-2000
EP 0446811 AI	18-09-1991	KEINE	
JP 59073189 A	25-04-1984	KEINE	
WO 2008087612 AI	24-07-2008	CN 101730616 A EP 2121260 AI JP 2010516481 A KR 20090116749 A	09-06-2010 25-11-2009 20-05-2010 11-11-2009