

(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
29. August 2013 (29.08.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/124352 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G05B 19/404 (2006.01) B23Q 15/18 (2006.01)
B23Q 15/013 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/053449

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. Februar 2013 (21.02.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
GM 50015/2012 24. Februar 2012 (24.02.2012) AT

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder : SCHÄPERMEIER, Egbert [AT/AT];
Eichenweg 5, A-4072 Alkoven (AT).

(74) Anwalt: STAUDT, Armin; Sandeldamm 24a, 63450
Hanau (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, 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, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
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).

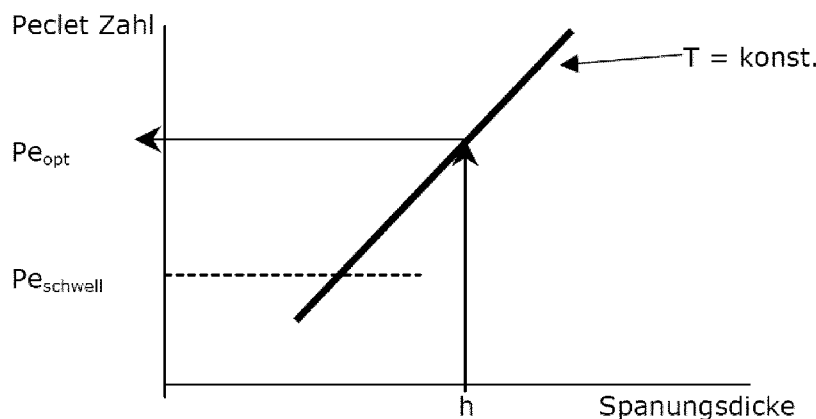
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR MACHINING A MATERIAL AND APPARATUSES OPERATING ON THE BASIS OF SAID
METHOD

(54) Bezeichnung : VERFAHREN FÜR DIE ZERSPANUNG EINES WERKSTOFFS UND NACH DIESEM VERFAHREN
ARBEITENDE VORRICHTUNGEN



Peclet Zahl Péclet number
konst. Const.
Spanungsdicke Chip thickness
Peschwell Pethreshold

Fig. 2

(57) Abstract: The present invention relates to a method for machining a material with a controlled/regulated tool with a cutting edge, particularly by milling, in which the thermal diffusivity of the material, the chip thickness, the geometry of the cutting edge, and also the life of the tool and wear data that characterize the wear behaviour of the tool are taken as a basis, by means of a programmable control device, for continually calculating a cut and advance speed using the Péclet number and using said speed to control/regulate the tool.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2013/124352 A1



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

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren für die Zerspanung eines Werkstoffs mit einem gesteuerten/geregelten Werkzeug mit einer Schneide, insbesondere durch Fräsen, bei dem unter Zugrundelegung der Temperaturleitfähigkeit des Werkstoffs, der Spannungsdicke, der Geometrie der Schneide, sowie der Standzeit des Werkzeugs und von Verschleißdaten, die das Verschleißverhalten des Werkzeugs charakterisieren, mittels einer programmierbaren Steuerungseinrichtung eine Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit unter Zuhilfenahme der Peclet Zahl laufend berechnet und zur Steuerung/Regelung des Werkzeugs verwendet werden.

Verfahren für die Zerspanung eines Werkstoffs und nach diesem Verfahren arbeitende Vorrichtungen

Beschreibung

Technischer Hintergrund

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren für die Zerspanung duktiler Werkstoffe mit geometrisch definierter Schneide, insbesondere durch Fräsen. Weiterhin betrifft die Erfindung nach diesem Verfahren arbeitende Vorrichtungen.

Duktile Werkstoffe werden beispielsweise durch Drehen, Bohren und Fräsen zerspanend bearbeitet.

Stand der Technik

Die Steuerung solcher Prozesse beruht zurzeit noch weitgehend auf den empirischen Vorgaben, die das Bedienpersonal oder die Arbeitsvorbereitung aus den Schnittdatenempfehlungen der Werkzeughersteller entnimmt. Schnittdaten, welche qualitativ und wirtschaftlich akzeptable Bearbeitungsergebnisse liefern, werden bisher empirisch ermittelt. Der Einfluss einzelner Prozessparameter ist dabei nicht ohne weiteres erkennbar.

Ursprünglich verfuhr man bei der Bestimmung solcher Daten wie folgt:

Das Werkzeug wurde in einer Dreh- oder Fräsmaschine bei verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten und Schnitttiefen eingesetzt. Beobachtungen des Schnittvorgangs, sowie die visuelle Beurteilung der entstehenden Späne ermöglichten es, die Schnittbedingungen zu beschreiben, unter denen ein Werkzeug die beste Leistung erzielt, um den Verschleiß des Werkzeuges vorauszusagen.

Die Ergebnisse solcher Zerspanungsstudien liefern empirisch erhobene Daten, die in Tabellenwerken zusammengefasst werden und nach denen die Dreh- bzw. Fräsmaschinen üblicherweise eingestellt werden. Diese Art der Schnittdatenermittlung bedarf einer hohen Erfahrung des Bedieners der Maschine.

Jüngere Methoden versuchen den Spanfluss mit mathematischen Modellen zu simulieren, um damit den realen Bedingungen während der Zerspanung in objektiverer Art näher zu kommen und um damit die optimalen Maschineneinstelldaten vorab zu bestimmen. Aus dem Stand der Technik sind zudem Verfahren bekannt, welche auf der Entwicklung von Zerspanungswerkzeugen beruhen. Beispielhaft sei hier die EP 592 541 A1 genannt. Hier wird versucht, mit Hilfe der Methode der künstlichen Intelligenz den Spanbildungsprozess mathematisch zu erfassen. Das Modell berücksichtigt jedoch nicht den Werkzeugverschleiß. Der Einsatz im Hinblick auf die Berechnung wirtschaftlicher Schnittdaten ist deshalb nur eingeschränkt möglich.

Als Folge werden seit geraumer Zeit mathematische Modelle von Metallschneidevorgängen entwickelt, um den Scherwinkel, die entstehende Spandicke und Kräfte vorherzusagen, die auf die Schneide einwirken. Die meisten dieser Modelle umfassen ein elastoplastisches Werkstoffmodell, wobei jedoch im Allgemeinen der Einfluss temperaturbedingter Diffusion nicht berücksichtigt ist. Damit werden aber die Reibung entlang der Werkzeug/Span-Grenzfläche, sowie die temperatur- und geschwindigkeitsabhängigen Eigenschaften des zu zerspanenden Werkstoffs, und die Mechanik der Spanabhebung vom Werkstück nur unvollständig wiedergegeben. Außerdem fehlt auch hier die Verbindung mit dem Werkzeugverschleiß.

Als eine weitere Methode ist das Finite-Elemente-Modell für den Schneidevorgang nach Strenkowski/Carroll und nach Usui bekannt geworden. Die Simulationen mit diesen Modellen sind jedoch nur für sehr geringe Schnittgeschwindigkeiten anwendbar.

In der Folge wurde von Iwatas ein Modell zur Bruchvoraussage des Spans vom Werkstück auf der Grundlage der Bruchdehnung der betrachteten Stahlsorte entwickelt.

Um ein Werkstoffmodell zu gestalten, bei dem der thermoelastoplastische Einfluss durch Reibung an der Grenzfläche zwischen Werkzeug und Span Berücksichtigung

findet, haben Strenkowski und Mitchum ein Werkstoffmodell entwickelt, bei dem thermoelastoplastische Einflussgrößen, die durch die Reibung an der Grenzfläche zwischen Werkzeug und Span entstehen, mit berücksichtigt werden. Für die Abtrennung des Spans vom Werkstück wurde ein Trennlinienkriterium eingeführt und ein kritisches Belastungsmaß implementiert. Auch hier fehlt die Koppelung der Schnittdaten mit dem Werkzeugverschleiß.

Technische Aufgabenstellung

Dem Stand der Technik fehlt damit nach wie vor eine allumfassende rechnerische Beschreibung der physikalischen Erscheinungen bei Schnittvorgängen. Somit gelingt es derzeit nicht, wirtschaftliche Schnittdaten in Abhängigkeit von beliebigen möglichen Einsatzbedingungen eines Werkzeugs rein rechnerisch zu ermitteln. Die alleinige Methode bleibt bislang die experimentelle Bestimmung wirtschaftlicher Schnittdaten, wobei der Wert für die entsprechende Schnittgeschwindigkeit eines Werkzeugs abhängt von

- der Spanungsdicke,
- der Spanungsbreite,
- dem Werkstückwerkstoff und
- der Standzeit.

Eine Nutzung des Werkzeugs für ein Spektrum von Werkstückwerkstoffen unter diversen Eingriffsverhältnissen ergibt ein umfangreiches Tabellenwerk.

Bei der Programmierung der Bearbeitung eines Werkstücks mit unterschiedlichen Eingriffsverhältnissen muss daher für jeden Einzelschritt der Bearbeitung, welche mit diesem Werkzeug ausgeführt wird, die entsprechende Schnittgeschwindigkeit dem Tabellenwerk entnommen und dem Bearbeitungsschritt zugeordnet werden.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren für die Zerspanung duktiler Werkstoffe mit geometrisch definierter Schneide zur Verfügung zu stellen, das einen geringeren Aufwand für die Ermittlung

und die Anwendung qualitativ und wirtschaftlich akzeptabler Schnittdaten in der Praxis ermöglicht.

Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung, eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung und eine Methode für deren Betrieb anzugeben, die einfach einzustellen und zu bedienen ist, und die eine Nachrüstung bestehender Anlagen ermöglicht.

Die Aufgabe besteht auch darin, Werkzeugherstellern eine Methode an die Hand zu geben, bei der die Verschleißdaten seiner Werkzeuge hinterlegt sind und damit die Optimierung des Einsatzes dieser Werkzeuge beim Anwender für beliebige Einsatzfälle kostengünstig und ohne Beratung und Vorversuche durchführbar sind.

Kurzdarstellung der Erfindung

Hinsichtlich des Verfahrens wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den technischen Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterentwicklungen sind Gegenstand der abhängigen Verfahrensansprüche.

Der erfindungsgemäßen Lösung dieser Aufgaben liegen dabei folgende Überlegungen zugrunde, wobei die Materialabnahme nachfolgend mit dem Begriff „Spanfluss“ bezeichnet wird:

Das Abschälen des Spans von einem Werkstück ist ein nicht-linearer physikalischer Vorgang. Dabei bilden sich automatisch neue Oberflächen und es treten große, mit der Spanbildung zusammenhängende Verformungen auf, die zur Erzeugung von Wärme führen. Quellen dieser Wärmebildung sind der Gleitkontakt entlang der Werkzeugoberfläche und die permanente Verformung von Werkstück und Span.

Um das abzuspannende Material umzuformen und über die Spanfläche abzuschieben, ist mechanische Arbeit erforderlich, die durch die Schnittkraft geleistet wird. Dabei wird die mechanische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Rechnet man die geleistete Arbeit entsprechend um, so ergibt sich pro Volumeneinheit abgespanntem Material eine bestimmte Wärmemenge, deren Wert in etwa dem der Schmelzwärme entspricht. Da

die Spanbildung aber im Bereich von Millisekunden liegt, reicht die lokale Einwirkungsdauer des Werkzeugs nicht aus, um das abgespannte Material tatsächlich zu schmelzen. Es bildet sich jedoch ein Temperaturfeld aus, welches die physikalischen Eigenschaften des Werkstückwerkstoffs in der Umformzone verändert.

Das Temperatur- und das Spannungsfeld stehen dabei in Wechselwirkung, zusätzlich beeinflusst von Diffusionsvorgängen. Die Spanbildung ist damit ein hoch dynamischer Vorgang, welcher nicht nur nach den Gesetzen der Festigkeitslehre und auch nicht nur nach den Gesetzen der Plastizitätstheorie zu beschreiben ist.

Die Arbeit, die bei der Materialabnahme verrichtet wird, führt unmittelbar zur Erzeugung von Wärme. Die erhöhte Temperatur beeinflusst dabei sowohl die Materialeigenschaften des Werkstücks als auch jene des Werkzeugs. Jener Wärmeanteil, der durch die Verformung des Spans entsteht, verbleibt in diesem, ebenso ein Anteil jener Wärme, die durch das Ablösen des Spans vom Werkstück entsteht. Schließlich verbleibt auch ein Gutteil der Reibungswärme im Span. Diese Wärmemengen werden über den entstehenden Span und den Spanfluss abtransportiert.

Der Einfluss der Temperatur auf die Spanbildung ist dabei in der Kontaktzone zwischen Spanunterseite und Spanfläche des Werkzeugs am größten, da hier die Reibungswärme zusätzlich zu jener Wärme entsteht, die die Umformarbeit liefert. Dabei beeinflusst die Temperatur an der Unterseite des Spans die Schubfestigkeit in diesem Bereich, wobei diese Schubfestigkeit mitentscheidend ist für die Leistung, die zum Ausschleppen des Spans über die Spanfläche aufzubringen ist.

Mit Hilfe der Ähnlichkeitsmechanik sowie der Leistungsbilanz der Spanbildung lässt sich für duktile Werkstoffe ein Modell für die Wärmeentstehung und den Wärmefluss aufstellen, aus dem hervor geht, dass der Wärmefluss über das Werkzeug in der Praxis vernachlässigbar ist.

In der Ähnlichkeitsmechanik wird der Wärme- und der Stoffaustausch zwischen zwei gegeneinander bewegte Körper durch die Peclet Zahl Pe beschrieben. Die Peclet Zahl Pe ist eine dimensionslose Kennzahl. Die Peclet Zahl wird gebildet aus dem Verhältnis

der Relativgeschwindigkeit zwischen den beiden Körpern und der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Temperaturfeldes orthogonal zur Gleitfläche.

Die Spanbildung erfolgt mit der Schnittgeschwindigkeit v_c und der Spannungsdicke h . Die Dicke des entstehenden Spans h_{span} ist um den Stauchungsfaktor λ größer als die Spannungsdicke h . Die Spandicke ergibt sich somit aus dem Produkt $h \cdot \lambda$. Der Span wird wegen der Spanstauchung mit einem gegenüber der Schnittgeschwindigkeit verringerten Wert über die Spanfläche ausgeschoben. Damit beträgt die Relativgeschwindigkeit zwischen Span und Spanfläche v_c/λ .

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Temperaturfeldes hängt ab von der Temperaturleitzahl des Körpers a dividiert durch den Abstand von der Gleitfläche. Dieser Abstand entspricht im vorliegenden Fall der Spandicke h_{span} .

Für die Peclet Zahl Pe erhält man

$$Pe = \frac{\frac{v_c}{\lambda}}{\frac{a}{h \cdot \lambda}} = \frac{v_c \cdot h}{a}$$

Das Produkt $v_c \cdot h$ wird als Zeitspanvolumen bezeichnet und ist ein Maß für das zeitlich pro mm Spanbreite abgespannte Volumen.

Erfolgen zwei Zerspanungsvorgänge mit gleicher Peclet Zahl, so ist die Temperatur im Kontaktbereich zwischen Spanunterseite und Spanfläche gleich.

Die auf 1 mm Spanbreite bezogene Ausschubkraft hängt bei Stählen mit Fließspanbildung von der Temperatur ab. Für unlegierte und legierte Stähle lässt sich die Abhängigkeit der Ausschubkraft von der Peclet Zahl wie in Fig. 1 gezeigt in einer Kurve darstellen. Im Diagramm von Fig. 1 sind auf der Ordinate die Ausschubkraft und auf der Abszisse die Peclet-Zahl aufgetragen.

Die Grenzen dieser Bereiche sind durch Werte der Peclet Zahl Pe_{I-II} und Pe_{II-III} markiert, welche für alle Werkstoffe mit Fließspanbildung etwa gleich groß sind, und die bei 6 bis 8 beziehungsweise bei 12 bis 14 liegen.

Die Spanbarkeit duktiler Werkstoffe lässt sich damit durch die Temperaturleitfähigkeit des zu bearbeitenden Werkstoffs im zugehörigen Temperaturbereich charakterisieren. Daraus folgt, je schneller der Span die entstehende Wärme aufnimmt, desto höher kann das Zeitspanvolumen gewählt werden.

Die Darstellung in Fig. 1 weist drei Bereiche I, II und III auf. In den drei Bereichen unterscheiden sich die Kontaktbedingungen zwischen Spanunterseite und Spanfläche.

Im Bereich I liegt die Temperatur niedriger als in den Bereichen II und III. Für übliche Normstähle liegt die Temperatur im Bereich I unter 721 °C. Die Temperatur reicht nicht aus, die Spanunterseite zu erweichen. Der Kontakt besteht in diesem Bereich lediglich aus der Berührung der vorstehenden mikroskopischen Unebenheiten von Spanunterseite und Spanfläche. Beim Ausschieben des Spans werden die Kuppen der Spanunterseite abgeschert und in den Mulden der Spanunterseite abtransportiert.

Im Bereich II wird die Spanunterseite soweit erwärmt, dass sich die Unebenheiten der beiden Kontaktflächen stärker durchdringen. Das Volumen der beim Ausschieben des Spans abgescherten Kuppen steigt an. Dadurch bleibt ein Teil des abgescherten Materials in den Mulden der Spanfläche hängen, wobei es dazu neigt anzuschweißen. Wird die Aufschweißung zu hoch, löst sich der Belag wieder. Dieser Vorgang läuft periodisch ab und führt zu unkontrollierten Abtragsbedingungen.

Im Bereich III ist die Temperatur soweit gestiegen, dass sich die Spanunterseite durch das Erweichen an die Unebenheiten der Spanfläche anpasst und damit keine Rückstände auf der Spanfläche hinterlässt.

Die Werkzeugstähle sind im Bereich über 721 °C aus Gründen der Verschleißresistenz nicht einsetzbar. Können daher nur im Bereich I wirtschaftlich eingesetzt werden. Die harten Schneidstoffe lassen sich dagegen bei Temperaturen einsetzen, welche die Bearbeitung im Bereich III ermöglichen. Diese Schneidstoffe sind unterausgenützt,

solange sie im Bereich I eingesetzt werden. Wegen der unkontrollierten Bearbeitungsbedingungen, welche zudem einen erhöhten Verschleiß verursachen, muss die Bearbeitung im Bereich II generell gemieden werden.

Die Temperatur im Bereich der Spanfläche des Werkzeugs bestimmt auch die Standzeit des Werkzeugs. Für Kurven konstanter Standzeit T ergibt sich dabei für den Bereich III die in Fig. 2 dargestellte Abhängigkeit:

In diesem Diagramm ist die Peclet-Zahl gegen die Spanungsdicke logarithmisch aufgetragen. Für eine vorgegebene konstante Standzeit des Werkzeugs zeigt sich im logarithmischen Diagramm eine lineare Abhängigkeit zwischen Peclet-Zahl und Spanungsdicke. Die Gerade für eine Standzeit des Werkzeugs von 15 Minuten ist durch Standzeitversuche zu ermitteln.

$$Pe_{15} = C_{15} * h^x$$

Sie ist durch die zwei Verschleißkennwerte C15 und x festgelegt.

Die beiden Werte sind ausschließlich werkzeugspezifisch und gelten unverändert bei der Zerspanung duktiler Werkstoffe.

Für Werte der Standzeit T, welche von 15 Minuten abweichen, gilt allgemein

$$Pe = C_{15} * \left(\frac{15}{T}\right)^{0,24} * h^x$$

Die Verschleißkonstanten liefern zu einer vorgegebenen Spanungsdicke die Peclet Zahl, welche die Standzeit T ergibt.

Gegenüber dem Drehen und Bohren erfolgt der Späneingriff beim Fräsen intermittierend. Dabei wird von jeder Schneide bei jeder Umdrehung des Werkzeugs ein Kommaspan abgehoben. Die Peclet Zahl ist damit während des Bearbeitungsvorgangs auch bei zeitlich gleichbleibenden Eingriffsbedingungen des Werkzeugs in das Werkstück wegen der zeitlichen Veränderung der Spanungsdicke veränderlich.

Aus dem seitlichen Eingriff des Werkzeugs in das Werkstück lässt sich die Spanungsdicke h berechnen, welche den Verschleiß des Werkzeugs bestimmt. Dies ist die größte Dicke des Kommaspans h_{\max} , welche im Falle des Vollschnittes eines Fräasers dem Vorschub / Zahn s_z entspricht.

$$s_z = \frac{D_F * \pi * v_f}{v_c * z}$$

$D_F =$ Fräserdurchmesser

$v_f =$ Vorschubgeschwindigkeit

$v_c =$ Schnittgeschwindigkeit

$z =$ Zähnezahl

Die Schnittgeschwindigkeit ist die relative Geschwindigkeit zwischen Werkzeugschneide und Werkstück. Der Vorschub ist die Bewegung des Werkzeugs in Beziehung zum Werkstück.

Aus der Grafik 2 lässt sich für diese Spanungsdicke s_z , sowie für die gewünschte Standzeit T die zugehörige Peclet Zahl Pe_{bearb} ablesen. Die Gleichung für die Peclet Zahl liefert nach Umstellung den Wert für die Schnittgeschwindigkeit $v_{c \text{ bearb}}$

$$v_c = \frac{a * Pe_{\text{bearb}}}{s_z} = \frac{a * C_{15} * s_z^x * \left(\frac{15}{T}\right)^{0,24}}{s_z} = a * C_{15} * s_z^{(x-1)} * \left(\frac{15}{T}\right)^{0,24}$$

Die Darstellung in Fig 2 lässt erkennen, dass der Wert für die Peclet Zahl umso größer ist je größer die maximale Spanungsdicke für einen bestimmten Bearbeitungsfall bei vorgegebener Standzeit gewählt wird. Da die Abtragsleistung proportional ist zum Wert der Peclet Zahl, hebt das Verfahren darauf ab, die Spanungsdicke möglichst groß zu wählen.

Die Spanungsdicke steht für die Belastung der Schneide. Hierfür wird vom Werkzeughersteller ein Grenzwert $s_{z\max}$ empfohlen. Mit dem Wert $s_{z \text{ bearb}} \leq s_{z \max}$ lässt sich dann die Schnittgeschwindigkeit $v_{c\text{bearb}}$ berechnen.

Die Vorschubgeschwindigkeit $v_{f\text{ bearb}}$ erhält man mit den zuvor gewählten bzw. ermittelten Werten zu.

$$v_f = \frac{S_{z\text{ bearb}} * v_{c\text{ bearb}} * Z}{D_F * \pi}$$

Damit liegen alle Daten für die Maschineneinstellung vor.

Das erfindungsgemäße Verfahren besitzt damit bei der Bearbeitung duktiler Werkstoffe gegenüber der herkömmlichen Vorgehensweise nach dem Stand der Technik folgende Vorteile:

- Die Verschleißdaten eines Werkzeugs lassen sich mit wenigen Stichversuchen ermitteln und sind gleich für die Bearbeitung unterschiedlicher duktiler Werkstoffe
- Die Festlegung wirtschaftlicher Schnittdaten erfolgt rein rechnerisch auf Basis der Vorgaben
 - Verschleißdaten des Werkzeugs
 - Thermischen Kennwerte zum Werkstückwerkstoff
 - Seitliche Zustellung des Werkzeugs
 - Standzeit
- Die Programmierung von Bearbeitungsprogrammen wird erleichtert und verallgemeinert
 - Programmiert werden ausschließlich Eingriffsbedingungen für jedes eingesetzte Werkzeug

- Die Schnittgeschwindigkeiten werden während des Fräsvorgangs laufend berechnet
- Das Bearbeitungsprogramm ist für die Bearbeitung des gleichen Werkstücks aus unterschiedlichen duktilen Werkstoffen ohne Änderung einsetzbar.
- Bearbeitungen mit wechselnden Eingriffsbedingungen während eines Bearbeitungsschrittes lassen sich im Hinblick auf konstante Standmengen regeln.

Die vorliegende Erfindung manifestiert sich beispielsweise in

- einem Verfahren für die Zerspanung duktiler Werkstoffe mit geometrisch definierter Schneide, insbesondere durch Fräsen, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:
 - für den zu bearbeitenden Werkstückwerkstoff wird der Wert der Temperaturleitfähigkeit ermittelt,
 - ein für die Bearbeitung dieses Werkstückwerkstoffs geeignetes Werkzeug wird gewählt
 - die Verschleißdaten für dieses Werkzeug werden durch Stichversuche ermittelt
 - die Eingriffsbedingungen zwischen Werkzeug und Werkstück werden festgelegt
 - die gewünschte Standzeit des Werkzeugs wird gewählt
- und
- auf Basis dieser Vorgaben wird mittels einer programmierbaren Steuerungseinrichtung die optimale Schnittgeschwindigkeit und die

optimale Vorschubgeschwindigkeit laufend aus den sich während der Zerspanung ändernden Eingriffsbedingungen berechnet und an die Steuerung einer Bearbeitungsvorrichtung weiter gegeben, oder

- einer Vorrichtung für die Zerspanung duktiler Werkstoffe mit geometrisch definierter Schneide mit einer programmierbaren Steuerungseinrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass die programmierbare Steuerungseinrichtung dazu ausgebildet ist, folgende Werte als Eingabegrößen zu erfassen:
 - den Wert der Temperaturleitfähigkeit des zu bearbeitenden Werkstückwerkstoffs,
 - die Verschleißdaten des gewählten Werkzeugs
 - die Eingriffsbedingungen zwischen Werkzeug und Werkstück
 - die gewünschte Standzeit des Werkzeugs

und dass die Steuerungseinrichtung weiters dazu ausgebildet ist, auf Basis dieser Werte laufend die optimale Schnittgeschwindigkeit und die optimale Vorschubgeschwindigkeit zu berechnen und an eine Regeleinrichtung der Vorrichtung zu übertragen, oder

- einer Programmlogik für die Steuerung einer Zerspanungsvorrichtung für duktile Werkstoffe mit geometrisch definierter Schneide, dadurch gekennzeichnet, dass sie auf der Basis
 - der Temperaturleitfähigkeit eines zu bearbeitenden Werkstückwerkstoffs,
 - der Charakteristik eines für die Bearbeitung dieses Werkstückwerkstoffs ausgewählten Werkzeugs,
 - den Verschleißdaten dieses Werkzeugs,

- den anfangs vorgegebenen und sich im Verlauf der Bearbeitung ständig ändernden Eingriffsbedingungen zwischen Werkzeug und Werkstück
- und der gewünschten Standzeit des Werkzeugs

die optimale Schnittgeschwindigkeit und die optimale Vorschubgeschwindigkeit laufend berechnet und an die Steuerung der Zerspanungsvorrichtung weiter gibt, oder.

- einer Programmlogik für die Regelung einer Zerspanungsvorrichtung für duktile Werkstoffe mit geometrisch definierter Schneide, dadurch gekennzeichnet, dass sie auf der Basis
 - der Temperaturleitfähigkeit eines zu bearbeitenden Werkstückwerkstoffs,
 - der Charakteristik eines für die Bearbeitung dieses Werkstückwerkstoffs ausgewählten Werkzeugs,
 - den Verschleißdaten dieses Werkzeugs,
 - den anfangs vorgegebenen und sich im Verlauf der Bearbeitung ständig ändernden Eingriffsbedingungen zwischen Werkzeug und Werkstück
 - und der gewünschten Standzeit des Werkzeugs die optimale Schnittgeschwindigkeit und die optimale Vorschubgeschwindigkeit laufend berechnet und an die Steuerung der Zerspanungsvorrichtung weiter gibt.

Ausführungsbeispiel

Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert.

In einem Werkstück aus Edelstahl (X5CrNi18-10) wird mittels eines Fräsers eine V-Nut mit einer Breite von 20 mm erzeugt.

Zur Vorbereitung bzw. Durchführung der Fräsung wird eine computergesteuerte Vorrichtung eingesetzt. Diese besteht aus

- einer Software zur Berechnung der Schnitt- und der Vorschubgeschwindigkeit
- einer Schnittstelle zu einer Verarbeitungseinheit zur Übergabe und Weiterverarbeitung der beiden berechneten Werte.

Die Software generiert in einem Rechner eine Bedienoberfläche, über die folgende Werte vorgegeben werden.

- Werkstück
 - Temperaturleitfähigkeit
- Werkzeug
 - Fräserdurchmesser
 - Schneidenanzahl
 - Maximale Spanungsdicke
 - Standzeit
 - Verschleißkennzahlen
- Eingriffsverhältnisse des Werkzeugs in das Werkstück
 - Seitliche Zustellung

und berechnet mit Hilfe der oben angegebenen Formeln

- die Schnittgeschwindigkeit
- die Vorschubgeschwindigkeit

Dabei wird rechnerisch überprüft, ob die gewählten Vorgaben eine Bearbeitung ergeben, deren Peclet Zahl oberhalb des kritischen Wertes von 15 liegt, und damit eine wirtschaftlich vertretbare Bearbeitung liefert.

Die Verarbeitungseinheit kann sein

- Eine reine Ausgabereinheit zur Visualisierung der berechneten Ergebnisse

- Ein CAM / CAD Programm
- Die Steuerung der für die Bearbeitung ausgewählten Maschine

Die Vorrichtung wird zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzt, wie im Folgenden an einem Beispiel näher erläutert wird.

- Die werkstoffspezifische Temperaturleitfähigkeit a beträgt in diesem Fall $8 \text{ mm}^2/\text{s}$
- Bei dem Werkzeug handelt es sich um einen Schafffräser.

$$DF = 20 \text{ mm}$$

$$z = 6$$

$$S_{z\max} = 0,24 \text{ mm}$$

- Seine Standzeit wird auf 240 Minuten vorgeben.
- Die Verschleißkennzahlen betragen

$$C = 550$$

$$x = 0,65$$

- Aus den damit vorliegenden Werten wird v_c nach obiger Gleichung berechnet:

$$v_c = 223 \text{ m/ min}$$

- Unter Zugrundelegung dieser Angaben erhält man die erforderliche Vorschubgeschwindigkeit v_f :

$$v_f = 5.125 \text{ mm/min}$$

- Mit den berechneten Werten wird die Peclet Zahl berechnet

$$Pe = 111,5$$

Damit ergeben die Maschineneinstelldaten eine Bearbeitung im Bereich III.

Patentansprüche

1. Verfahren für die Zerspanung eines Werkstoffs mit einem gesteuerten/geregelten Werkzeug, insbesondere durch Fräsen, dadurch gekennzeichnet, dass unter Zugrundelegung der Temperaturleitfähigkeit des Werkstoffs, der Spannungsdicke, sowie der Standzeit des Werkzeugs und von Verschleißdaten, die das Verschleißverhalten des Werkzeugs charakterisieren, mittels einer programmierbaren Steuerungseinrichtung eine Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit unter Zuhilfenahme der Peclet Zahl laufend berechnet und zur Steuerung/Regelung des Werkzeugs verwendet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkzeug eine Schneide aufweist, und dass auch die Geometrie der Schneide der Berechnung der Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit zugrunde gelegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Verschleißdaten für das gewählte Werkzeug durch 2 bis 7, vorzugsweise 2 bis 5, Stichversuche ermittelt werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten des Werkzeugs auf ein konstantes Zeitspanvolumen geregelt wird.
5. Vorrichtung für die Zerspanung eines Werkstoffs mit einem gesteuerten/geregelten Werkzeug, aufweisend eine programmierbare Steuerungseinrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass die programmierbare Steuerungseinrichtung dazu ausgebildet ist, folgende Werte als Eingabegrößen zu erfassen:
 - die Temperaturleitfähigkeit des Werkstoffs,
 - Verschleißdaten, die das Verschleißverhalten des Werkzeugs charakterisieren,

- die Spannungsdicke, und
- die Standzeit des Werkzeugs

und dass die Steuerungseinrichtung weiters dazu ausgebildet ist, auf Basis dieser Werte mit Hilfe der Peclet Zahl laufend Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit zu berechnen und die berechneten Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten an eine Steuereinrichtung der Vorrichtung zur Steuerung des Werkzeugs zu übertragen.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Eingabegrößen außerdem den geometrischen Aufbau des Werkzeugs umfassen.
7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Eingabegrößen außerdem die seitliche Eingriffsbreite umfassen.
8. Verfahren zur Verarbeitung von Daten, die für die Steuerung/Regelung einer Vorrichtung zur Zerspanung eines Werkstoffes mit einem gesteuerten Werkzeug relevant sind, dadurch gekennzeichnet, dass ein in einer Datenverarbeitungseinrichtung abgelegtes Programmmittel auf Basis der Temperaturleitfähigkeit des Werkstoffes, der Spannungsdicke, der Standzeit des Werkzeugs und von Verschleißdaten, die das Verschleißverhalten des Werkzeugs charakterisieren, eine Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit des Werkzeugs laufend berechnet und die berechneten Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten an eine Steuerungseinheit der Zerspanungsvorrichtung ausgibt, wobei die berechneten Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten zur Steuerung/Regelung des Werkzeugs verwendet werden.

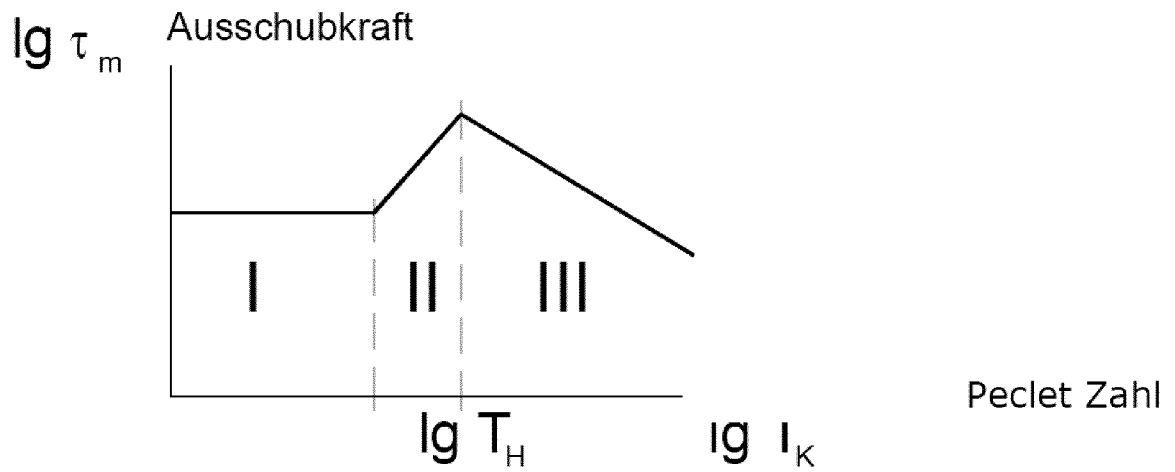


Fig. 1

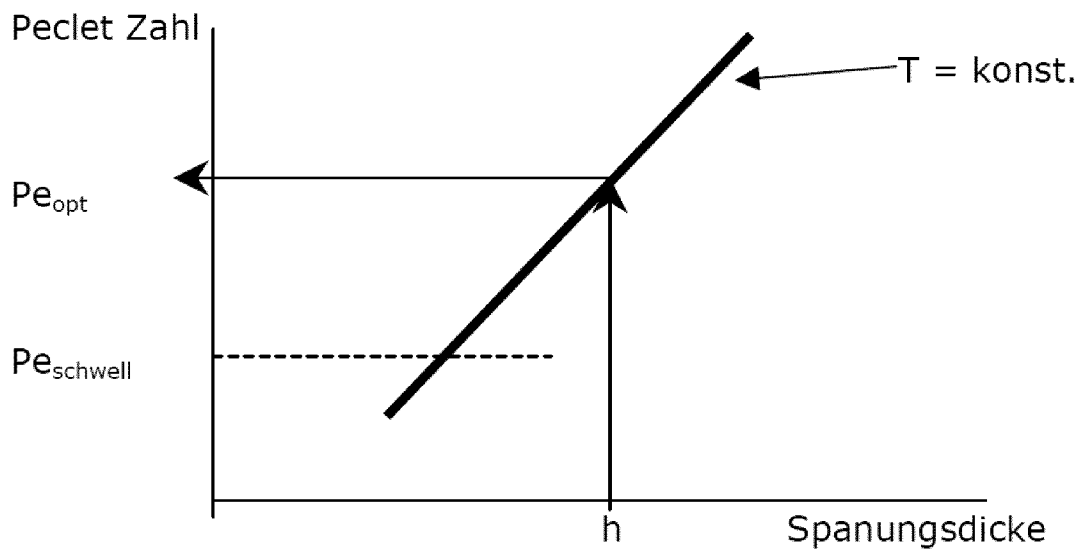


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2013/053449

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. G05B19/404 B23Q15/013 B23Q15/18
 ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G05B B23Q

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 practicable, 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.
X	<p>Bernhard Müller: "Thermische Analyse des Zerspanens metallischer Werkstoffe bei hohen Schnittgeschwindigkeiten", Kaiserslautern, 30 August 2004 (2004-08-30), XP055068544, Aachen Retrieved from the Internet: URL:http://sylvester.bth.rwth-aachen.de/dissertationen/2004/249/04_249.pdf [retrieved on 2013-06-27] page 3 - page 16 page 77 - page 139</p> <p style="text-align: center;">----- -/--</p>	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 June 2013

Date of mailing of the international search report

03/07/2013

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

Patsiopoulos, N

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2013/053449

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 42 18 799 A1 (BRANDMEIER THOMAS DR [DE]) 16 December 1993 (1993-12-16) page 2 - page 7 page 14 page 25 page 41 - page 44 page 64 - page 66 figures 1.1-2.8 -----	1-8
X	WO 2006/128391 A1 (SCHLEGEL ALBERT [DE]) 7 December 2006 (2006-12-07) page 1 - page 26 -----	1-8
A	US 2004/193308 A1 (DARCY PAUL [US] ET AL DARCY JR PAUL [US] ET AL) 30 September 2004 (2004-09-30) paragraph [0001] - paragraph [0012] paragraph [0029] - paragraph [0031] -----	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/053449

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4218799	A1	16-12-1993	NONE

WO 2006128391	A1	07-12-2006	NONE

US 2004193308	A1	30-09-2004	NONE

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/053449

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G05B19/404 B23Q15/013 B23Q15/18 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G05B B23Q		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff 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.
X	Bernhard Müller: "Thermische Analyse des Zerspanens metallischer Werkstoffe bei hohen Schnittgeschwindigkeiten", Kaiserslautern, 30. August 2004 (2004-08-30), XP055068544, Aachen Gefunden im Internet: URL: http://sylvester.bth.rwth-aachen.de/dissertationen/2004/249/04_249.pdf [gefunden am 2013-06-27] Seite 3 - Seite 16 Seite 77 - Seite 139 ----- -/--	1-8
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 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 27. Juni 2013		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 03/07/2013
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 Patsiopoulos, N

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 42 18 799 A1 (BRANDMEIER THOMAS DR [DE]) 16. Dezember 1993 (1993-12-16) Seite 2 - Seite 7 Seite 14 Seite 25 Seite 41 - Seite 44 Seite 64 - Seite 66 Abbildungen 1.1-2.8 -----	1-8
X	WO 2006/128391 A1 (SCHLEGEL ALBERT [DE]) 7. Dezember 2006 (2006-12-07) Seite 1 - Seite 26 -----	1-8
A	US 2004/193308 A1 (DARCY PAUL [US] ET AL DARCY JR PAUL [US] ET AL) 30. September 2004 (2004-09-30) Absatz [0001] - Absatz [0012] Absatz [0029] - Absatz [0031] -----	1-8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/053449

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4218799	A1	16-12-1993	KEINE

WO 2006128391	A1	07-12-2006	KEINE

US 2004193308	A1	30-09-2004	KEINE
