(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
13. Juni 2013 (13.06.2013)

W I P O I P C T

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/083231 A2

(51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/00475 1

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. November 2012 (15. 11.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 201 1 120 449.4
7. Dezember 201 1 (07. 12.201 1) DE

(71) Anmelder: GLEASON-PFAUTER MASCHINENFABRIK GMBH [DE/DE]; Daimlerstrasse 14, 71636 Ludwigsburg (DE).

(72) Erfinder: WEPPELMANN, Edgar; Birkenweg 2, 71679 Asperg (DE).

(74) Anwalt: WERNER, Patrick; Leinweber & Zimmermann, Rosental 7 / II. Aufgang, 8033 1 München (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, 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, FT, 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:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

(54) Title: METHOD FOR GRINDING TOOTHED WORKPIECES AND APPARATUS DESIGNED THEREFOR

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM SCHLEIFEN VON VERZAHNTEN WERKSTÜCKEN UND DAZU AUSGELEGTE VORRICHTUNG

(57) Abstract: The invention relates to a method for grinding a toothed workpiece having a tooth engagement axis in at least two Operations, wherein, in a first Operation, a grinding region of a grinding tool that is determined by the grinding method, rotates about a rotation axis and is fed in the direction of the axial spacing between the tooth engagement axis and the rotation axis is brought into grinding engagement with a tooth flank of the workpiece, and, in a subsequent second Operation, the tooth flank is brought into grinding engagement with a grinding region of a grinding tool that is determined by the grinding method and is fed in the feeding direction of the first Operation, wherein the grinding region that grinds in the first Operation is dressed by way of a first dressing Operation using a dressing tool and the grinding region that grinds in the second Operation is dressed by way of a second dressing Operation using a dressing tool, wherein, during the first dressing Operation, a first dressing region and, during the second dressing Operation, a second dressing region that is spatially separate from the first dressing region are brought into dressing engagement with the respective grinding region.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Schleifen eines eine Verzahnungsachse aufweisenden verzahnten Werkstückes in wenigstens zwei Arbeitsgängen, bei dem in einem ersten Arbeitsgang ein Schleifbereich eines durch das Schleifverfahren bestimmten, um eine Rotationsachse rotierenden und in Richtung des Achsabstandes zwischen Verzahnungsachse und Rotationsachse zugestellten Schleifwerkzeuges mit einer Zahnflanke des Werkstückes in Schleifeingriff gebracht wird, und die Zahnflanke in einem späteren zweiten Arbeitsgang mit einem Schleifbereich eines durch das Schleifverfahren bestimmten und in der Zustellrichtung des ersten Arbeitsgangs zugestellten Schleifwerkzeugs in Schleifeingriff gebracht wird, wobei der im ersten Arbeitsgang schleifende Schleifbereich durch ein erstes Abrichten mit einem Abrichtwerkzeug und der im zweiten Arbeitsgang schleifende Schleifbereich durch ein zweites Abrichten mit einem Abrichtwerkzeug abgerichtet werden, wobei man beim ersten Abrichten einen ersten Abrichtbereich und beim zweiten Abrichten einen von dem ersten Abrichtbereich räumlich getrennten zweiten Abrichtbereich in Abrichteingriff mit dem jeweiligen Schleifbereich bringt.

WO 2013/083231 A2

VERFAHREN ZUM SCHLEIFEN VON VERZAHNTEN WERKSTÜCKEN UND DAZU AUSGELEGTE VORRICHTUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Schleifen eines eine Verzahnungsachse aufweisenden verzahnten Werkstückes in wenigstens zwei Arbeitsgängen, bei dem in einem ersten Arbeitsgang ein Schleifbereich eines durch das Schleifverfahren bestimmten, um eine Rotationsachse rotierenden und in Richtung des Achsabstandes zwischen Verzahnungsachse und Rotationsachse zugestellten Schleifwerkzeuges mit einer Zahnflanke des Werkstückes in Schleifeingriff gebracht wird, und die Zahnflanke in einem späteren zweiten Arbeitsgang mit einem Schleifbereich eines durch das Schleifverfahren bestimmten und in der Zustellrichtung des ersten Arbeitsgangs zugestellten Schleifwerkzeugs in Schleifeingriff gebracht wird, wobei der im ersten Arbeitsgang schleifende Schleifbereich durch ein erstes Abrichten mit einem Abrichtwerkzeug und der im zweiten Arbeitsgang schleifende Schleifbereich durch ein zweites Abrichten mit einem Abrichtwerkzeug abgerichtet werden, sowie eine für dieses Verfahren ausgelegte Vorrichtung.

Derartige Schleifverfahren sind bekannt, als Beispiel sei das diskontinuierliche Profilschleifen genannt. Beim diskontinuierlichen Profilschleifen wird ein nach Härten des Werkstückes gegenüber der gewünschten Endkontur der Zahnflanken bestehendes Aufmaß durch Materialabtrag auf die Endkontur abgeschliffen. Die Bearbeitung erfolgt jedenfalls für größere Werkstücke in mehreren Arbeitsgängen, beispielsweise mehreren Rundgängen des Werkstückes um seine Verzahnungsachse, wobei in jedem Rundgang eine oder beide Flanken einer Zahnlücke geschliffen werden, wonach die nächste Zahnlücke in den Bearbeitungsbereich des Schleifwerkzeugs, beispielsweise einer Profilschleifscheibe, gebracht wird, bis alle Flanken eines Arbeitsgangs bearbeitet sind.

Üblicherweise wird bei einem aus zwei oder mehr Arbeitsgängen bestehenden Schleifverfahren durch unterschiedliche Einstellparameter der einzelnen Arbeitsgänge wenigstens ein erster Arbeitsgang zur Vorbearbeitung verwendet, bei dem die Profilschleifscheibe auf eine vergleichsweise rauhe Schleifbelagstopographie konditioniert wird, und in dem entsprechenden Arbeitsgang ein vergleichsweise hoher Materialabtrag pro Zeiteinheit erfolgt. Man spricht vom Schrupp-Schleifen oder Schruppen der Verzahnung. Da die nach Beendigung des Schruppens erzeugte Verzahnungsoberfläche noch nicht mit der gewünschten Endkontur der Verzahnung übereinstimmt, muss auch die erforderliche Endqualität der Verzahnungsoberfläche noch nicht erreicht werden. Diese erreicht man in einem zweiten Arbeitsgang, in dem vergleichsweise wenig Material pro Zeiteinheit abgetragen wird, und bei der das Schleifwerkzeug auf die Erzielung einer hohen Endqualität der damit bearbeiteten Verzahnung konditioniert wird. Man spricht vom Schlicht-Schleifen der Verzahnung oder einfach vom Schlichten der Verzahnung. Es können mehr als ein Arbeitsgang für das Schruppen wie auch mehr als ein Arbeitsgang für das Schlichten verwendet werden.

Diese erwähnten unterschiedlichen Konditionierungen des Schleifwerkzeugs, beispielsweise der Profilschleifscheibe, werden durch unterschiedliche Abrichtkenngrößen beim Abrichten des Schleifwerkzeuges mit einem Abrichtwerkzeug oder Abrichter erreicht, beispielsweise einem unterschiedlichen Überdeckungsgrad (wenn die Profilschleifscheibe mit einem Form-Abrichter formabgerichtet wird). Für das obige Beispiel wird somit beim ersten Abrichten der im ersten Arbeitsgang schleifende Schleifbereich mit Abrichtkenngrößen abgerichtet, die für die Vorbearbeitung der Verzahnung geeignet sind. Das Schleifwerkzeug wird schruppfähig abgerichtet. Beim zweiten Abrichten wird der im zweiten Arbeitsgang schleifende Schleif bereich mit Abrichtkenngrößen abgerichtet, die für die Erzie-

lung der hohen Endqualität der Verzahnung des Werkstückes ausgewählt sind. Das Schleifwerkzeug wird schlichtfähig abgerichtet.

Das Abrichten wird beispielsweise jeweils vor einem neuen Schleifrundgang durchgeführt. Sobald die Verzahnungsqualität der mit dem Schleifwerkzeug, welches mit dem Abrichtwerkzeug abgerichtet wird, geschliffenen Verzahnung (auch nach Ausnutzung des durch die Wahl der Einstellparameter bereitgestellten Spielraums) nicht mehr erreicht wird, und sich die schlechtere Qualität der geschliffenen Verzahnungen auf das Abrichtwerkzeug zurückführen lässt, wird das Abrichtwerkzeug ausgetauscht. Doch bereits vor einem solchen Austausch des Abrichtwerkzeuges ist festzustellen, dass die bei dem Verfahren erreichten Schleifergebnisse hinsichtlich der Endqualität der Oberflächen der gewünschten Endkontur fortlaufend verschlechtert werden.

In der DE 10 2009 048 416 B3 wird die Möglichkeit gelehrt, unter Einsatz eines weiteren, z.b. symmetrisch zu einem ersten Werkzeugträger und bez-üglich der Verzahnung entgegengesetzt angeordneten weiteren Werkzeugträger auch zwei Bearbeitungswerkzeuge an unterschiedlichen Bearbeitungsbereichen mit einer Verzahnung oder mehreren Verzahnungen eines Werkstückes (Welle) in Bearbeitungseingriff zu bringen, nacheinander oder gleichzeitig.

Aus der DE 10 2004 020 947 B4 ist weiter bekannt, mehrgängige Schleifschnecken in einem einzigen Abrichtvorgang zuerst grob und dann fein abzurichten.

Aus der WO201 0/025942 ist weiter ein Abrichtwerkzeug bekannt, welches sowohl zum Formabrichten als auch zum Profilabrichten einsetzbar ist, so dass das Abrichtwerkzeug nicht gewechselt werden muss, wenn von Form- auf Profilabrichten umzustellen ist.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Schleifverfahren der eingangs genannten Art bezüglich der Qualität der damit geschliffenen Verzahnungen zu verbessern und insbesondere auch eine höhere Lebensdauer der verwendeten Abrichtwerkzeuge zu erreichen.

In verfahrenstechnischer Hinsicht wird diese Aufgabe von der Erfindung durch eine Weiterbildung des Verfahrens der eingangs genannten Art gelöst, die im wesentlichen dadurch gekennzeichnet ist, dass man beim ersten Abrichten einen ersten Abrichtbereich und beim zweiten Abrichten einen von dem ersten Abrichtbereich räumlich getrennten zweiten Abrichtbereich in Abrichte/ngriff mit dem jeweiligen Schleifbereich bringt.

Dabei beruht die Erfindung auf der Erkenntnis, dass sich die vermindernde Endqualität der geschliffenen Verzahnungen nicht nur darauf zurückführen lässt, dass die geschliffene Verzahnung indirekt über Vermittlung des Schleifwerkzeuges von dem Abrichtwerkzeug beeinflusst wird, sondern auch darauf, dass auf das Abrichtwerkzeug eine über das Schleifwerkzeug vermittelte Rückeinwirkung eintritt, welche von der Art und Häufigkeit des Abrichtens während der Schleifbearbeitung abhängt. Desweiteren beruht die Erfindung auf der Erkenntnis, dass bei unterschiedlicher Schleifbearbeitung wie z.B. das oben beschriebene Schruppen und Schlichten diese Rückeinwirkung auf das Abrichtwerkzeug unterschiedlich ist. Da insbesondere in der Regel häufiger zum Schruppen abgerichtet als zum Schlichten abgerichtet wird, tritt zudem oftmals eine unterschiedlich starke Gewichtung dieser Rückeinwirkungen auf. Nach dem bisherigen Verfahren sind alle Abrichtvorgänge eines Schleifvorganges an dieser Rückeinwirkung beteiligt.

Mit der erfindungsgemäßen Lösung wird dagegen eine Entkopplung dieser Rückwirkungen erreicht, da die beim ersten und beim zweiten Abrichten eingesetzten Abrichtbereiche räumlich voneinander getrennt sind. Durch diese Entkopplung und die damit erreichte geringere Belastung insbesondere des zweiten Abrichtbereiches wird wiederum in der Vorwärts-Wirkungskette von Abrichtwerkzeug über Schleifwerkzeug zu Verzahnung eine bessere Verzahnungsqualität im Sinne einer langsameren Tendenz zu sinkender Verzahnungsqualität erreicht. Darüber hinaus wird in der Gesamtbilanz eine Lebensdauererhöhung der abrichtseitigen Werkzeuge erreicht. Unter der räumlichen Trennung ist eine weitestgehende, insbesondere vollständige Vermeidung einer Überlappung der Abrichtbereiche zu verstehen.

Wie weiter unten ausführlicher erläutert wird, kann das Schleifwerkzeug für die beiden Arbeitsgänge in der elementarsten Form der Erfindung das gleiche sein, muss aber nicht. Ebenfalls kann das Abrichtwerkzeug für das erste und das zweite Abrichten das gleiche sein, muss aber nicht. Es ist lediglich erforderlich, dass die beim ersten Abrichten und beim zweiten Abrichten in Abrichteingriff mit dem Schleifbereich gebrachten Abrichtbereiche verschieden sind. Als Abrasivmaterial für das Abrichtwerkzeug kommt z.B. eine Diamant- oder CBN-Verbindung in Frage.

Aufgrund der Zustellung des in den jeweiligen Arbeitsgängen verwendeten Schleifwerkzeuges in die (im absoluten Raum gesehen) gleiche (radiale) Zustellrichtung erfolgt die Schleif bearbeitung in beiden Arbeitsgängen im gleichen Arbeitsbereich, welcher sich in zweidimensionaler Erstreckung in einer Projektion auf eine orthogonal zur Verzahnungs-

achse erstreckenden Ebene etwa um den Schnittpunkt von der Achsabstandsachse und dem Teilkreis der Verzahnung erstreckt und dessen Ausdehnung in Richtung des Achsabstandes durch die Zahnhöhe der bearbeiteten Verzahnung und dessen Ausdehnung orthogonal dazu durch das Modul der Verzahnung und die Anzahl der vom Schleifwerkzeug gleichzeitig bearbeiteten Zahnflanken bestimmt ist.

Hinsichtlich der Schleifbereiche und des Schleifwerkzeuges kann in einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung vorgesehen werden, dass der im ersten und der im zweiten Arbeitsgang schleifende Schleifbereich räumlich zusammenfallen. Die Erfindung kann somit besonders einfach mit nur z.B. einer Profilschleifscheibe umgesetzt werden, bei der sich dann die beiden Schleifbereiche über ihre durch ihren jeweiligen Abrichteingriff im ersten/zweiten Abrichten erzeugte unterschiedliche Schleifbelagstopologien unterscheiden. Räumlich (vorrichtungstechnisch) gesehen gibt es mit anderen Worten nur einen Schleifbereich, der im zeitlichen Verlauf von unterschiedlichen Abrichtbereichen abgerichtet wird.

Das Schleifverfahren könnte ein Profilschleifen oder ein Wälzschleifen sein, insbesondere für das Profilschleifen ist das Verfahren besonders geeignet. Desweiteren kann das Verfahren ein diskontinuierliches oder ein kontinuierliches Verfahren sein, wobei hier das diskontinuierliche Verfahren bevorzugt wird.

Besonders bevorzugt wird von der Zahnflanke im ersten Arbeitsgang (z.B. durch Schruppen) mehr Material pro Zeiteinheit abgetragen als im zweiten Arbeitsgang.

Im zweiten Arbeitsgang wird bevorzugt geschlichtet. Insbesondere ist es vorteilhaft, wenn der zweite Arbeitsgang das Schleifen der Zahnflanken auf die gewünschte Endkontur umfasst. Hierbei ist zu beachten, dass der "erste" und der "zweite" Arbeitsgang grundsätzlich keine Festlegung bezüglich der Anzahl von Schleif-Rundgängen, Schrupp-Rundgängen und Schlicht-Rundgängen vorgibt, sondern bezüglich der Begriffe "erster" und "zweiter" lediglich anzeigt, dass der in dem jeweiligen ersten/zweiten Arbeitsgang eingesetzte Schleifbereich über das erste/zweite Abrichten mit dem ersten/zweiten Abrichtbereich abgerichtet wird.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform weisen die in den jeweiligen Arbeitsgängen schleifenden Schleifbereiche voneinander verschiedene Schleifbelagstopographien auf, insbesondere im ersten Arbeitsgang eine rauhere als im zweiten Arbeits-

gang. Dadurch kann die Aufteilung in wenigstens einen Schrupp- und wenigstens einen Schlicht-Arbeitsgang wirkungsvoller eingesetzt werden.

Alternativ und/oder zusätzlich kann der erste Arbeitsgang und der zweite Arbeitsgang mit wenigstens einer voneinander verschiedenen Einsteilgröße ausgeführt werden. Dadurch können ebenfalls die für das Schruppen einerseits und das Schlichten andererseits förderlichen Einsteilgrößen für das Schleifen ausgewählt werden.

Beim Abrichten kann zum einen die Technik des Formabrichtens zum Einsatz kommen, bei dem das Abrichtwerkzeug gemäß einer vorbestimmten (NC gesteuerten) Bewegungsbahn am Schleifbereich entlanggeführt wird, oder auch das Profilabrichten, bei dem das Abrichtwerkzeug entsprechend der gewünschten Geometrie des Schleifwerkzeugs ausgebildet ist. Bevorzugt wird bei beiden Abrichtvorgängen das Formabrichten.

Grundsätzlich kann ein wirkungsvoller Effekt der Erfindung allein durch die räumlich getrennte Lage der beiden Abrichtbereiche erzielt werden, auch wenn diese die gleichen Abrichteigenschaften aufweisen. Eine weitere Verbesserung und Ausnutzung der durch die Erfindung gewonnenen Flexibilität kann dadurch erzielt werden, wenn die beiden Abrichtbereiche voneinander verschiedene Abrichteigenschaften aufweisen, beispielsweise das Material des Hartstoffbelages, die Form und Lage von dessen Körnern, Setzmuster, Setzabstand, Ausrichtung, Härte, Herstellverfahren des Materials. Der erste Abrichtbereich kann beispielsweise längere PKD-Stäbchen aufweisen als der zweite Abrichtbereich. So kann der erste Abrichtbereich mit seinen Abrichteigenschaften gezielt auf das Schrupp-Abrichten optimiert werden, und der zweite Abrichtbereich bezüglich seiner Abrichteigenschaften auf das Schlicht-Abrichten. Für Schrupp-Abrichtwerkzeuge könnte man Naturdiamanten verwenden, für die Schlicht-Abrichtwerkzeuge CVD Diamantstücke. Das Abrichtwerkzeug ist bei der Herstellung nicht mehr zwangsläufig auf einen Kompromiss angewiesen, sowohl das Schrupp-Abrichten, als auch das Schlicht-Abrichten jeweils wenigstens zufriedenstellend leisten zu können.

Auch können der erste und der zweite Abrichtbereich voneinander verschiedene Radien aufweisen, wenn mit Formabrichtwerkzeugen formabgerichtet wird. Zweckmäßig wird dann der Radius des zweiten Abrichtbereichs größer gewählt als der des ersten Abrichtbereichs. Neben der Form des Abrichtbereiches kann auch der Durchmesser des Abrichtwerkzeugs unterschiedlich gewählt werden.

Besonders bevorzugt erfolgt das Abrichten des ersten Abrichtbereiches gegenüber dem Abrichten des zweiten Abrichtbereiches mit wenigstens einer unterschiedlichen Abrichtkenngröße (Abrichtparameter). Beispielsweise wird beim zweiten Abrichten ein Überdeckungsgrad gewählt, der beispielsweise im Bereich von 5 bis 7 liegt und annähernd doppelt so groß sein kann wie der Überdeckungsgrad beim ersten Abrichten, der beispielsweise im Bereich von 2 bis 4 liegt.

Desweiteren könnte die Abrichtzustellung unterschiedlich gewählt werden, bevorzugt beim ersten Abrichten größer als beim zweiten Abrichten. Auch können unterschiedliche Geschwindigkeitsverhältnisse (q_d) für die beiden Abrichtvorgänge eingestellt werden, für ein Cruchieren wird im Gleichlauf abgerichtet.

Dabei ist insbesondere zweckmäßig vorgesehen, dass das Abrichtwerkzeug für das erste und/oder zweite Abrichten in Form einer Rolle, insbesondere diamantierten Rolle ausgebildet ist. Die Herstellung solcher diamantierten Rollen ist im Stand der Technik bekannt, beispielhaft wird auf Thomas Bausch "Innovative Zahnradfertigung", Expert Verlag, 3. Auflage verwiesen.

In einer Ausgestaltung kann der erste und der zweite Abrichtbereich (wenigstens anteilig) an dem gleichen Abrichtwerkzeug vorgesehen sein, was insbesondere in geteilter Bauform gebildet sein kann. Dabei kann es zweckmäßig sein, wenn das Abrichtwerkzeug für das erste und/oder zweite Abrichten für das jeweiligen Abrichten um ein orthogonal zur Abrichtdrehachse verlaufende Schwenkachse um 180° verschwenkt wird, um dadurch insbesondere unterschiedliche Abrichtbereiche auf dem gleichen Abrichtwerkzeug eingriffsbereit vorzusehen.

In einer Ausgestaltung kann die Erfindung mit nur einem Abrichtwerkzeug umgesetzt werden, welches räumlich getrennt die beiden Abrichtbereiche aufweist.

Gemäß einer besonders bevorzugten Variante sind jedoch wenigstens zwei Abrichtwerkzeuge insbesondere geteilter Bauform vorgesehen. Dabei ist es denkbar, dass jedes Abrichtwerkzeug einen Teil des ersten und einen Teil des zweiten Abrichtbereiches aufweist. Dann steht wenigstens bei einem Abrichten das zeitparallele Abrichten sämtlicher für den Schleifeingriff von Links- und Rechtsflanken der Verzahnung benötigten Schleifbereiche nichts entgegen. Es kann jedoch auch der erste Abrichtbereich an einem ersten und der zweite Abrichtbereich an einem zweiten der Abrichtwerkzeuge angeordnet sein. Dies

erleichtert insbesondere beim Einsatz von Abrichtbereichen mit unterschiedlichen Abrichteigenschaften die Herstellung der jeweiligen Abrichtwerkzeuge.

In einer alternativen Ausgestaltung könnten grundsätzlich auch zwei Schleifwerkzeuge vorgesehen sein. Zum Beispiel kann ein erstes Schleifwerkzeug den im ersten und ein zweites Schleifwerkzeug den im zweiten Arbeitsgang schleifenden Schleifbereich aufweisen. Da dann das erste Schleifwerkzeug im ersten Abrichten und das zweite Schleifwerkzeug im zweiten Abrichten abgerichtet wird, kann aufgrund der erfindungsgemäßen Entkopplung der Abrichtbereiche das eine Schleifwerkzeug beispielsweise als ein allein für das Schruppen optimiertes Werkzeug ausgelegt werden, ohne auf Rückwirkungen auf den das Schlichtwerkzeug abrichtenden Abrichtbereich Rücksicht nehmen zu müssen. Das zweite Werkzeug kann dann als reines Schlichtwerkzeug optimiert werden, ein zufriedenstellender Kompromiss zwischen den beiden Auslegungen am gleichen Schleifwerkzeug wäre dann nicht mehr erforderlich.

Grundsätzlich kann in beiden Arbeitsgängen z.B. ein scheibenartiges Schleifwerkzeug eingesetzt werden, oder auch in beiden Arbeitsgängen ein schneckenförmiges Werkzeug. Dabei wird der Einsatz des scheibenartigen Schleifwerkzeugs bevorzugt.

Sofern zwei Werkzeuge zum Einsatz kommen, können diese beispielsweise auf der gleichen Werkzeugspindel angeordnet werden. Es kann jedoch auch eine Variante mit Werkzeugwechsler gewählt werden.

Wie oben bereits erläutert, kann ein Arbeitsgang eine Schleifbearbeitung aller linken oder aller rechten Flanken der Verzahnung des Werkstücks umfassen.

Wann und wie oft das erste oder zweite Abrichten durchzuführen ist, wird von der Schleifbearbeitung aber insbesondere der Größe der zu bearbeitenden Verzahnung abhängen. Es kann die Notwendigkeit gegeben sein, sogar während eines einzigen Rundgangs mehrfach abzurichten. Es kann zweckmäßig vorgesehen werden, dass das erste Abrichten in dem ersten Arbeitsgang und/oder das zweite Abrichten in dem zweiten Arbeitsgang eines einzelnen Werkstückes (oder eines jeden Werkstücks einer Charge) erfolgt.

Insbesondere kann vor dem Schleifen mit dem zweiten Schleifbereich mehr als ein einen Rundlauf des Werkstückes abdeckender Arbeitsgang mit dem ersten Schleifbereich geschliffen werden, insbesondere auch mehrere Arbeitsgänge mit dem zweiten Schleifbe-

reich. Die Ausdrücke "erster" und "zweiter" Schleifbereich beziehen sich hierbei auf deren Einsatz im "ersten'V'zweiten" Arbeitsgang. Alternativ bedeutet dies, wenn man den Arbeits¬gang mit einem Rundgang gleichsetzt, dass mehrere erste Arbeitsgänge und auch meh¬rere zweite Arbeitsgänge durchgeführt werden können.

Die Erfindung wird ebenfalls in Form eines Steuerprogramms für eine Werkzeugma¬schine unter Schutz gestellt, auf dem Steueranweisungen zur Ausführung eines Verfahrens gemäß einem oder mehreren der obigen Aspekte implementiert sind.

In vorrichtungstechnischer Hinsicht wird eine Vorrichtung zum Schleifen eines ver¬zahnten Werkstückes mit einer Vorrichtung zum Schleifen eines verzahnten Werkstückes, mit einer Werkstückaufnahme zur Aufnahme des Werkstückes, einer Schleifanordnung mit wenigstens einer drehend antreibbaren, wenigstens ein Schleifwerkzeug tragenden Schleifspindel, mit welcher das Schleifwerkzeug unter Drehung um die Rotationsachse mit einer Zahnflanke der Verzahnung in Schleifeingriff bringbar ist, und einer Abrichtanordnung mit wenigstens einem Abrichtwerkzeug, welches zum Abrichten des wenigstens einen Schleifwerkzeuges in Abrichteingriff bringbar ist, sowie einer Steuereinrichtung bereitge-stellt, wobei von dem wenigstens einen Abrichtwerkzeug ein erster und ein zweiter Abricht-bereich räumlich voneinander getrennt bereitgestellt sind und wobei die Steuereinrichtung befähigt ist, die Schleifvorrichtung zum Schleifen nach einem Schleifverfahren mit einem oder mehreren der obig erläuterten Verfahrensaspekte zu steuern.

Die Vorteile der Vorrichtung ergeben sich aus den oben erläuterten Vorteilen des Verfahrens.

Desweiteren kann die Vorrichtung eine Abrichtspindel aufweisen, die wenigstens ein Abrichtwerkzeug trägt und die um eine orthogonal zu ihr verlaufende Achse um 180° verschwenkbar ist.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung einzelner Ausführungsformen der Erfindung anhand der Zeichnung.

In der einzigen Figur 1 der Zeichnung ist schematisch in einer seitlichen Teilaufsicht eine Ausführungsform der Erfindung gezeigt.

Das in der Figur schematisch angedeutete Werkstück 2 hat eine Außenverzahnung 20 und ist auf einen nicht gezeigten Werkzeugtisch einer Werkzeugmaschine angeordnet, so dass die Verzahnungsachse Z der Gewichtskraft entgegengerichtet ist. Schematisch angedeutet ist in der Figur eine linke Zahnflanke 20L und eine rechte Zahnflanke 20R. Durch eine Tischdrehung C um ca. 90° wird die Zahnflanke 20L in einen Bearbeitungsbereich gelangen, in welchem sie von dem in dieser Ausgestaltung als Profilschleifscheibe 0 gebildeten Schleifwerkzeug nach dessen Verfahren in Z-Richtung und radialer Zustellung in X-Richtung in Schleifeingriff gebracht werden kann.

Bei dieser beispielhaften Verfahrensgestaltung wird das diskontinuierliche Profilschleifen mit der Profilschleifscheibe 0 herangezogen. Die Profilschleifscheibe 0 bearbeitet in einem Zweiflankenverfahren mit dem in der gezeigten Darstellung rechten Schleifbereich 10L die linken Flanken 20L der Verzahnung 20 und mit den in der Darstellung links der Scheibenmittenebene gelegenen Schleifbereich 10R die Rechtsflanken 20R der Verzahnung 20.

Desweiteren erfolgt das Schleifen des Werkstückes 2 in n, hier beispielsweise vier Rundgängen des Werkstückes 2, in denen jeder jede Zahnflanke 20L, 20R der Verzahnung 20 in wenigstens einem Schleifhub bearbeitet und dabei ein gegenüber der gewünschten Endkontur der Zahnflanken verlaufenden Aufmaß durch Materialabtrag verringert wird. In den ersten drei Rundgängen werden die Zahnflanken 20L, 20R geschruppt. Dabei wird ein möglichst großer Materialabtrag erreicht, und die Profilschleifscheibe 0 wird dazu auf Schruppen abgerichtet.

Dieses (erste) Abrichten, welches beispielsweise zu jedem einzelnen Schrupp-Rundgang erfolgen kann, wird mit Abrichtwerkzeugen in Form von diamantierten Formrollen 3, 4 vorgenommen. Dabei durchläuft die Formrolle 4 auf der Profilschleifscheibe 0 eine gesteuerte Bewegungsbahn und erzeugt dabei unter Drehung sowohl der Profilscheibe 0 um die Rotationsachse S als auch der Formrolle 4 um die Abrichtdrehachse S24 die gewünschte Konditionierung des Schleifbereichs 10L der Profilschleifscheibe 0. Von der Formrolle 4 kommt bei diesem Schruppabrichten der mit einem Radius R_a ausgebildete in der gezeigten Darstellung links der Rollenmittenebene gebildete Abrichtbereich 4a der Formrolle 4 in Abrichteingriff mit dem Schleifbereich 10L.

In analoger Weise wird der die rechten Zahnflanken 20R schleifende Schleifbereich 10R der Profilschleifscheibe 0 durch den Abrichtbereich 3a des bezüglich der Profilschei-

benmittelebene entgegengesetzt angeordneten Formrolle 3 (Drehung um S23) abgerichtet. Die beiden Bereiche 4a, 3a bilden somit den ersten Abrichtbereich des ersten Abrichtens.

Obschon für das Abrichten der beiden Seiten 10L und 10R hier zwei Abrichtformrollen 3, 4 gezeigt sind, wäre es aber auch denkbar, auf die zweite Formrolle 3 zu verzichten und die Formrolle 4 nach Verschwenken um 180° um eine Schwenkachse C24, welche orthogonal zur Abrichtdrehachse S24 verläuft, und nachfolgendes Verschieben bezüglich der Profilschleifscheibe 0 (in der Darstellung nach links) mit dem Abrichtbereich 4a auch den die Rechtsflanken 20R schleifenden Schleifbereich 10R der Profilschleifscheibe 0 abrichten zu lassen.

Soweit bis hierher beschrieben, unterscheidet sich das Schleifverfahren grundsätzlich nicht von bekannten Schleifverfahren aus dem Stand der Technik.

Für den Schlichtrundgang werden die Schleifbereiche 10L und 10R auf Schlichten abgerichtet, indem die Abrichtkenngrößen geeignet auf Schlichten eingestellt werden. Es kommen jedoch nicht mehr die Abrichtbereiche 4a der Formrolle 4 und 3a der Formrolle 3 zum Einsatz. Vielmehr werden in diesem Schlicht-Abrichten (zweiten Abrichten) andere, d.h. räumlich von den Abrichtbereichen 4a, 3a getrennte Abrichtbereiche 4b, 3b der Formrolle 4 bzw. Formrolle 3 mit den Schleifbereichen 10L bzw. 10R durch Formabrichten abgerichtet.

Dazu wird eine Relativbewegung der Formrolle 4 durch relative Linearbewegungen gegenüber der Profilschleifscheibe 0 entlang parallel zur Werkzeugspindelachse Y und zur Verzahnungsachse Z verlaufenden Linearbewegungsachsen derart durchgeführt, dass die Rollenmittenebene der Formrolle 4 gegenüber der in der Figur gezeigten Darstellung auf die andere Seite der Profilscheibenmittenebene verschoben wird, so dass der Abrichtbereich 4b die für das Formabrichten gesteuerte Bewegungsbahn durchlaufen und dabei in Abrichteingriff mit dem Schleifbereich 10R der Profilschleifscheibe 0 gelangen kann. In analoger Weise kann durch Positionierung entlang linearen Bewegungsachsen die Formrolle 3 mit ihrem vom Abrichtbereich 3a räumlich getrennten Abrichtbereich 3b mit dem Schleifbereich 10L in Abrichteingriff gebracht werden und so der Schleifbereich 10L formabgerichtet werden. Die Konfiguration und Dimensionierung von Schleifwerkzeug, Abrichtwerkzeugen und Abrichtspindeln ist dabei derart, dass diese Bewegungsabläufe ungehindert stattfinden können, auch wenn dies in der schematischen Darstellung von Fig. 1 nicht gänzlich zum Ausdruck kommt.

Auf diese Weise wirkt eine beim Schrupp-Abrichten (erstem Abrichten) durch den Abrichteingriff entstandene Belastung auf den Abrichtbereich 4a (3a) nicht aber auf die für das Schlicht-Abrichten vorgesehene Abrichtbereiche 4b (3b) zurück. Die Schlicht-Abrichtbereiche 4b(3b) (zweiter Abrichtbereich) werden somit geringer belastet und können beim weiteren Schlicht-Abrichten eine für das Schlichten gewünschte Schleifbelagstopologie zuverlässiger erreichen und somit die Endbearbeitungsqualität auch nachfolgender Werkstücke der gleichen Charge nach dem jeweils letzten Schleifrundgang (Schlichten) verbessern. Die Lebensdauer des zweiten Abrichtbereiches wird dadurch positiv beeinflusst.

Statt der in der Zeichnung dargestellten Varianten können auch andere Ausführungen herangezogen werden. Wie oben bereits erwähnt, kann auf die zweite Formrolle 3 verzichtet werden, da die Formrolle 4 aufgrund ihrer Linearbewegungsmöglichkelten und der Möglichkeit der 180°-Schwenkung um die Achse C24 nicht nur das Erstabrichten (Schrupp-Abrichten) wie oben beschrieben an den Schleifbereichen 10L und 10R durchführen kann, sondern der räumlich getrennte Abrichtbereich 4b auch das zweite Abrichten (Schlicht-Abrichten) an beiden Schleifbereichen 10L und 10R durchführen kann.

In einer nochmals weiteren Ausgestaltung könnten die Formrollen 3, 4 auch als zweigeteilte Werkzeuge hergestellt sein oder auf einer gemeinsamen Spindelachse (S2, nicht dargestellt) angeordnet sein. Dann könnte der Schnittpunkt der entsprechenden Schwenkachse C2 und der Abrichtdrehachse S2 auch zwischen den beiden Formrollen 3, 4 liegen.

Die Abrichteigenschaften der Abrichtbereiche 4a, 3a sind hier gleich denen der Bereiche 4b, 3b. Es könnten jedoch auch gezielt unterschiedliche Abrichteigenschaften gewählt werden. Der Radius R_b der Bereiche 4b, 3b kann z.B. größer als R_a sein.

Desweiteren wird bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel nur ein Werkzeug in Form einer Profilschleifscheibe 0 für den ersten und zweiten Arbeitsgang (sämtliche Schrupp- und Schlicht-Rundgänge) verwendet. Es ist jedoch ebenfalls denkbar, eine speziell für das Schrupp-Schleifen ausgerichtete Schruppscheibe und eine speziell für das Schlichten ausgerichtete Schlichtscheibe auf der Spindelachse Y vorzusehen. Die oben erläuterten unterschiedlichen möglichen Konfigurationen auf Abrichterseite können auch im Zusammenhang mit zwei Schleifwerkzeugen eingesetzt werden.

In dem dargestellten Ausführungsbeispiel wurde das Zweiflankenschleifen beschrieben. Es können jedoch auch geteilte Schleifwerkzeuge vorgesehen werden, und das Schleifen im Einflankenverfahren durchgeführt werden. Das Grundprinzip, für zwei Arbeitsgänge unterschiedlicher Zielsetzung ein Abrichten mit räumlich voneinander getrennten Abrichtbereichen durchzuführen, bleibt dabei unverändert.

In einer weiteren Ausgestaltung könnte auch ein schneckenförmiges Werkzeug beispielsweise zum kontinuierlichen Wälzschleifen eingesetzt werden, dessen Schleifbereiche im ersten Arbeitsgang auf Schruppen und im zweiten Arbeitsgang auf Schlichten abgerichtet werden. Dann würde man das Abrichtwerkzeug 4 oder die Abrichtwerkzeuge 4 und 3 nicht für das Formabrichten, sondern das Profilabrichten auslegen, und dabei weiterhin räumlich getrennte Abrichtbereiche für das erste und zweite Abrichten verwenden. Auch hier ließe sich eine Schruppschnecke und eine Schlichtschnecke verwenden.

Die Verwendung zweier Schleifwerkzeuge in Form von zwei Profilscheiben oder auch zwei Wälzschnecken kann wiederum durch Shiften der Werkzeuge auf einer gemeinsamen Spindelachse oder durch Werkzeugwechsel erreicht werden.

Die Erfindung ist somit nicht auf das in der Zeichnung gezeigte Ausführungsbeispiel eingeschränkt. Vielmehr können die in der Beschreibung und den Ansprüchen offenbarten Merkmale einzeln oder in Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

Ansprüche

1. Verfahren zum Schleifen eines eine Verzahnungsachse (Z) aufweisenden verzahnten Werkstückes (2) in wenigstens zwei Arbeitsgängen, bei dem in einem ersten Arbeitsgang ein Schleifbereich (10L, 10R) eines durch das Schleifverfahren bestimmten, um eine Rotationsachse (Y) rotierenden und in Richtung des Achsabstandes (X) zwischen Verzahnungsachse (Z) und Rotationsachse (Y) zugestellten Schleifwerkzeuges (0) mit einer Zahnflanke (20L, 20R) des Werkstückes (2) in Schleifeingriff gebracht wird, und die Zahnflanke (20L, 20R) in einem späteren zweiten Arbeitsgang mit einem Schleifbereich (101, 10R) eines durch das Schleifverfahren bestimmten und in der Zustellrichtung des ersten Arbeitsgangs zugestellten Schleifwerkzeugs (0) in Schleifeingriff gebracht wird, wobei der im ersten Arbeitsgang schleifende Schleifbereich (10L, 10R) durch ein erstes Abrichten mit einem Abrichtwerkzeug (4, 3) und der im zweiten Arbeitsgang schleifende Schleifbereich durch ein zweites Abrichten mit einem Abrichtwerkzeug (4, 3) abgerichtet werden,

dadurch gekennzeichnet, dass

man beim ersten Abrichten einen ersten Abrichtbereich (4a, 3a) und beim zweiten Abrichten einen von dem ersten Abrichtbereich (4a, 3a) räumlich getrennten zweiten Abrichtbereich (4b, 3b) in Abrichteingriff mit dem jeweiligen Schleifbereich (10L, 10R) bringt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der im ersten und der im zweiten Arbeitsgang schleifende Schleifbereich räumlich zusammenfallen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem im ersten und im zweiten Arbeitsgang jeweils ein Profilschleifen oder jeweils ein Wälzschleifen ausgeführt wird, insbesondere das Profilschleifen.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem von der Zahnflanke im ersten Arbeitsgang mehr Material pro Zeiteinheit abgetragen wird als im zweiten Arbeitsgang, und insbesondere im ersten Arbeitsgang geschruppt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Zahnflanke im zweiten Arbeitsgang auf eine gewünschte Endkontur geschliffen und insbesondere geschlichtet wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das erste und/oder zweite Abrichten durch Formabrichten oder Profilabrichten erfolgt, insbesondere durch Formabrichten.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die beiden Abrichtbereiche voneinander verschiedene Abrichteigenschaften und/oder voneinander verschiedene Radien aufweisen.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das erste Abrichten in dem ersten Arbeitsgang und/oder das zweite Abrichten in dem zweiten Arbeitsgang erfolgt.

9. Steuerprogramm für eine Vorrichtung zum Schleifen eines verzahnten Werkstückes, in Form eines Computerprogrammprodukts, welches, wenn auf einer Steuereinrichtung der Vorrichtung ausgeführt, die Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 steuert, und welches insbesondere auf einem computerlesbaren Speichermedium abgespeichert ist.

10. Vorrichtung zum Schleifen eines verzahnten Werkstückes, mit einer Werkstückaufnahme zur Aufnahme des Werkstückes, einer Schleifanordnung mit wenigstens einer drehend antreibbaren, wenigstens ein Schleifwerkzeug tragenden Schleifspindel, mit welcher das Schleifwerkzeug unter Drehung um die Rotationsachse mit einer Zahnflanke der Verzahnung in Schleifeingriff bringbar ist, und einer Abrichtanordnung mit wenigstens einem Abrichtwerkzeug, welches zum Abrichten des wenigstens einen Schleifwerkzeuges in Abrichteingriff bringbar ist, sowie einer Steuereinrichtung,

dadurch gekennzeichnet, dass

von dem wenigstens einen Abrichtwerkzeug ein erster und ein zweiter Abrichtbereich räumlich voneinander getrennt bereitgestellt sind und die Steuereinrichtung mit einem Steuerprogramm nach Anspruch 9 ausgestattet ist um die Vorrichtung zum Schleifen der Werkstückverzahnung gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 steuern kann, und wobei insbesondere nur ein Schleifwerkzeug (0) vorgesehen ist.

Fig. 1

