



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
27.07.2011 Patentblatt 2011/30

(51) Int Cl.:
B24B 1/00 (2006.01) B24B 19/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11000509.7**

(22) Anmeldetag: **22.01.2011**

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

(30) Priorität: **26.01.2010 DE 102010005935**

(71) Anmelder: **Höfler Maschinenbau GmbH**
76275 Ettlingen (DE)

(72) Erfinder:
• **Geiser, Hansjörg, Dr.-Ing.**
76571 Gaggenau (DE)
• **Bister, Gerd**
78727 Oberndorf (DE)
• **Schweizer, Martin**
76437 Rastatt (DE)

(74) Vertreter: **Thämer, Wolfgang**
Zürn & Thämer
Patentanwälte
Hermann-Köhl-Weg 8
76571 Gaggenau (DE)

(54) **Verfahren zur Auslegung eines Profilschleifprozesses**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Auslegung eines Profilschleifprozesses. Aus dem Abtrag des Aufmaßes (35) des Werkstücks (30) und/oder der Geometrie des Werkzeugs (10) wird ein erforderlicher, auf das Werkzeug (10) und/oder das Werkstück (30) bezogener Leistungsbedarf ermittelt und/oder der so ermittelte Wert mit einem technologischen Grenzwert ver-

glichen wird und/oder der Zustellbetrag und die relative Vorschubgeschwindigkeit zwischen dem Werkzeug (10) und dem Werkstück (30) in Abhängigkeit der Werkstück- und/oder der Werkzeuggeometrie so gewählt werden, dass ihr mathematisches Produkt, multipliziert mit einer Korrekturfunktion, kleiner oder gleich dem Grenzwert ist.

Mit der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Profilschleifen mit geringerer Hauptzeit entwickelt.

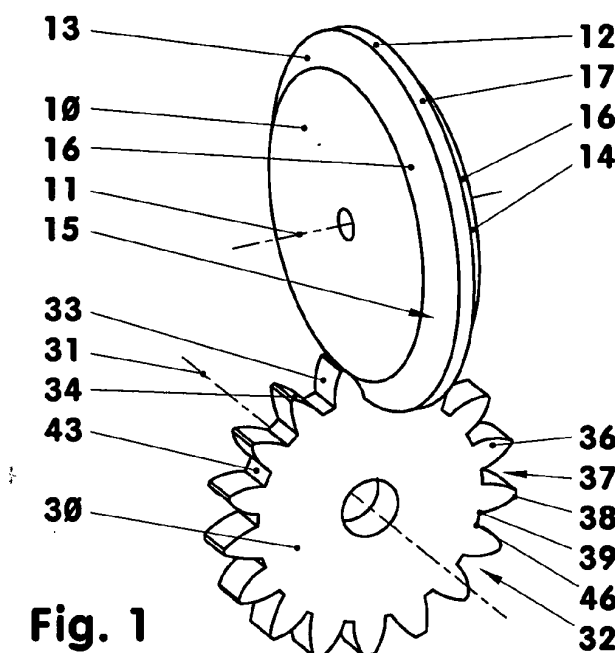


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Auslegung eines Profilschleifprozesses.

[0002] Die Auslegung eines Schleifprozesses, die Wahl einer Vorschubgeschwindigkeit und einer Zustellung, erfolgt im Allgemeinen in Abhängigkeit des Zeitspanvolumens, dem Produkt aus der Vorschubgeschwindigkeit und der Zustellung oder des auf die Schleifscheibenbreite bezogenen Zeitspanvolumens. Beispielsweise bei vorgegebener maximaler radialer Zustellung erfolgt dann die Wahl der Vorschubgeschwindigkeit für die gesamte Bearbeitung so, dass der technologische Grenzwert des Zeitspanvolumens beziehungsweise des bezogenen Zeitspanvolumens nicht überschritten wird. Meist wird mit hohen Vorschubgeschwindigkeiten und geringen Zustellbeträgen gearbeitet.

[0003] Der vorliegenden Erfindung liegt die Problemstellung zugrunde, ein Verfahren zum Profilschleifen mit geringer Hauptzeit zu entwickeln.

[0004] Diese Problemstellung wird mit den Merkmalen des Hauptanspruches gelöst. Dazu wird aus dem Abtrag des Aufmaßes des Werkstücks und/oder der Geometrie des Werkzeugs und/oder der relativen Vorschubgeschwindigkeit zwischen dem Werkstück und dem Werkzeug ein erforderlicher, auf das Werkzeug und/oder das Werkstück bezogener Leistungsbedarf ermittelt und/oder der so ermittelte Wert mit einem technologischen Grenzwert verglichen und/oder der Zustellbetrag und die relative Vorschubgeschwindigkeit zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück in Abhängigkeit der Werkstück- und/oder der Werkzeuggeometrie so gewählt, dass ihr mathematisches Produkt, multipliziert mit einer Korrekturfunktion, kleiner oder gleich dem technologischen Grenzwert ist.

[0005] Weitere Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung schematisch dargestellter Ausführungsformen.

Figur 1: Profilschleifen;

Figur 2: Bewegungsrichtungen des Werkstücks und des Werkzeugs;

Figur 3: Zahnücke mit Werkzeug;

Figur 4: Werkzeug mit großem Durchmesser im Eingriff;

Figur 5: Werkzeug mit kleinem Durchmesser im Eingriff;

Figur 6: Schleifscheibenkontur;

Figur 7: Bezogenes Normalzeitspanvolumen und bezogenes Zeitspanvolumen über der Abwicklung der Schleifscheibenkontur bei Zahnfuß- und Zahnflankenbearbeitung;

Figur 8: Bezogenes Normalzeitspanvolumen und bezogenes Zeitspanvolumen über der Abwicklung der Schleifscheibenkontur bei Zahnflankenbearbeitung;

Figur 9: Grenzwerte des bezogenen Zeitspanvolumens und des bezogenen Normalzeitspanvolumens über der Zeit;

Figur 10: Auswahl des Produkts aus dem Normalenabstand bzw. der radialen Zustellung und der Vorschubgeschwindigkeit.

[0006] Die Figur 1 zeigt schematisch das Profilschleifen. Bei dem dargestellten Verfahren ist als Werkzeug (10) eine Profilschleifscheibe (10) im Eingriff mit einem Werkstück (30), z.B. einem Zahnrad (30). Anstatt des dargestellten Stirnrads mit einer geraden Evolventenverzahnung kann das Werkstück (30) auch eine Schrägverzahnung, eine Schneckenverzahnung etc. aufweisen. Es ist auch denkbar, mit dem Verfahren trapezförmige Profillücken, wie z.B. bei einer Zahnstange, zu bearbeiten. Beim Profilschleifen können die die Profillücken begrenzenden Flanken entweder einzeln und zeitlich zueinander versetzt oder gemeinsam und gleichzeitig bearbeitet werden.

[0007] Sowohl das Werkstück (30) als auch das Werkzeug (10) sind im dargestellten Ausführungsbeispiel rotatorisch antreibbar. Die Rotationsachsen (11, 31) sind nicht parallel zueinander und schneiden sich nicht.

[0008] Im Ausführungsbeispiel ist das Werkzeug (10) weiterhin relativ zum Werkstück (30) parallel zur Werkstückachse (31) bewegbar, vgl. Figur 2. Die Relativbewegung ist zumindest annähernd parallel zur Werkstückachse (31). Das bedeutet, dass die axiale Vorschubbewegung mit der Werkstückachse (31) einen Winkel von z.B. bis zu 10 Grad einschließen kann. Beispielsweise ist in der in dieser Figur 2 dargestellten gleichsinnigen Bearbeitung der Verzahnung (32) die axiale Vorschubrichtung (21) des Werkzeugs (10) von oben nach unten gerichtet. Es ist auch denkbar, das Werkstück (30) relativ zum Werkzeug (10) in einer Vorschubrichtung zu bewegen.

[0009] Bei der Bearbeitung einer Gradverzahnung steht beispielsweise das Werkstück (30) still, während das rotierende Werkzeug (10) sich beim Schleifen entlang einer parallel zur Werkstückachse (31) orientierten Zahnücke (37) bewegt. Die Vorschubgeschwindigkeit entlang der Zahnücke (37) entspricht hierbei der Geschwindigkeit des axialen Werkzeugvorschubs.

[0010] Bei der Bearbeitung einer unkorrigierten Schrägverzahnung ergibt sich die Vorschubgeschwindigkeit des Werkzeugs relativ zum Werkstück beispielsweise aus einer Überlagerung des axialen Werkzeugvorschubs mit der Winkelgeschwindigkeit der Werkstückrotation während des axialen Werkzeughubs.

[0011] Um das Werkzeug (10) in Eingriff mit dem Werkstück (30) zu bringen, wird das Werkzeug (10) z.B. aus der in der Figur 2 dargestellten Ausgangsstellung in Richtung des Werkstücks (30) zugestellt. Die Zustellrichtung (22) der Werkzeugachse (11) ist radial auf die Werkstückachse (31) gerichtet. Auch kann das Werkstück (30) in Richtung der Werkzeugachse (11) zugestellt werden.

[0012] Das in der Figur 1 dargestellte Zahnrad (30) ist beispielsweise mittels eines Wälzfräsverfahrens vorverzahnt und wurde danach gehärtet. Es hat zumindest an den Zahnflanken (33, 34) ein Aufmaß (35) auf das Fertigmaß (44), vgl. Figur 3. Das Fertigmaß (44) des Werkstücks (30) beschreibt die geometrischen Abmessungen des fertig bearbeiteten und einsatzbereiten Werkstücks (30).

[0013] Das dargestellte Zahnrad (30) hat 17 Zähne (36). Jeder Zahn (36) ist von zwei Zahnflanken (33, 34) begrenzt. Zwei Zahnflanken (33, 34) begrenzen eine Zahnücke (37). Der einzelne Zahn (36) hat einen Kopf (38), die beiden Zahnflanken (33, 34) verbindet der Zahngrund (43).

[0014] Die Profilschleifscheibe (10) wird während ihres Einsatzes auf der Schleifmaschine wiederholt abgerichtet. Ihr Außendurchmesser wird dabei beispielsweise von 500 Millimeter auf 250 Millimeter verkleinert, vgl. die Figuren 4 und 5. Die dargestellte Scheibe (10) hat einen z.B. zylinderförmigen zentralen Abschnitt (12), an den sich an beiden Flanken Randbereiche (13, 14) anschließen, deren Mantellinien beispielsweise bei einer Gradverzahnung im einfachsten Falle den Soll-Profilinien der Verzahnung (32) entsprechen.

[0015] Bevor das rotierende Werkzeug (10) zugestellt wird, wird das Werkstück (30) so um seine Werkstückachse (31) gedreht, dass eine Zahnücke (37) zur Schleifscheibe (10) zeigt. Die einzelne Zahnücke (37) hat die Kontur (45) vor dem Schleifen, vgl. Figur 3. Bei der Zustellung kontaktiert die Profilschleifscheibe (10) im Beispiel des Zweiflankenschliffs beide an die Zahnücke (37) angrenzenden Zahnflanken (33, 34) gleichzeitig. Bei weiterer Zustellung dringt das Werkzeug (10) in das Werkstück (30) ein und zerspant einen Anteil des Aufmaßes (35) beider Zahnflanken (33, 34) mit geometrisch unbestimmter Schneide, vgl. Figur 3. Während dieser Bearbeitung wird das Werkzeug (10) mit einer eingestellten Vorschubgeschwindigkeit entlang der Zahnücke (37) bewegt. Gegebenenfalls können auch die Fuß- (41) und/oder die Kopfbereiche (42) mitgeschliffen werden. Die aktive Fläche (15) der Schleifscheibe (10) ist die Summe aus der Oberfläche des zylinderförmigen Abschnitts (12) und der Mantelflächen (16) der Randbereiche (13, 14), die bei Rotation des Werkzeugs (10) um seine Achse (11) Kontakt mit dem Zahnrad (30) haben. Die Bearbeitung erfolgt beispielsweise bei gleichzeitiger Kühlung mittels eines Kühlmittels.

[0016] Während des Schleifens kontaktiert die Schleifscheibe (10) das Zahnrad (30) entlang einer Linie. Diese Kontaktlinie verbindet beim Zweiflankenschliff in der Regel auf jeder der beiden Zahnflanken (33, 34) den Zahnkopf (38) mit dem Zahnfuß (39, 46). Beispielsweise kann diese Kontaktlinie eine Profillinie der Verzahnung (32) sein. Die Verzahnung (32) kann eine Kopf- oder Fußrücknahme, eine Höhenballigkeit, etc. aufweisen. Schleifscheibenseitig ist die Kontaktlinie z.B. bei Gradverzahnungen jeweils eine Mantellinie der Randbereiche (13, 14). Diese können stirnseitig durch eine parallel zur Schleifscheibenachse (11) orientierten Kontaktlinie verbunden sein. Der letztgenannte Abschnitt der Kontaktlinie kontaktiert den Zahngrund (43), wenn dieser mitgeschliffen wird.

[0017] Um den Betrag der Zustellung und die Vorschubgeschwindigkeit zu ermitteln, wird zunächst aus den geometrischen Daten der Ist- und der Soll-Verzahnung und den geometrischen Daten der aktiven Fläche (15) der Schleifscheibe (10) ein Leistungsbedarf ermittelt. Aus dem Vergleich des Ist- und des Sollprofils der einzelnen Zahnflanke (33, 34), des Zahnkopfs (38) und des Zahngrunds (43) ergibt sich für jeden Punkt der aktiven Fläche (15) der Schleifscheibe (10) ein in Normalenrichtung (7) orientierter Abtrag. Der Abtrag pro Hub ist ein Teilbetrag eines fiktiven Normalenabstands (8), vgl. Figur 3. Er ist in der Regel kleiner oder gleich diesem Wert. Der fiktive Normalenabstand (8) - er entspricht dem normal zur Zahnflanke (33, 34) gemessenen Aufmaß (35) - ist im Allgemeinen nicht konstant über die Profilhöhe der Verzahnung (32). Im Ausführungsbeispiel beträgt dieser Normalenabstand (8) am Übergang der Zahnflanke (33, 34) in den Zahngrund (43) z.B. 64 % des fiktiven Normalenwerts am Übergang der Zahnflanke (33, 34) zum Zahnkopf (38). In der Darstellung der Figur 3 beträgt der fiktive Normalenabstand (8) am Zahngrund (43) das Doppelte des fiktiven Normalenabstands (8) am Übergang der Zahnflanke (33, 34) zum Zahnkopf (38). Aus diesen Größen ergibt sich unter Berücksichtigung der Vorschubgeschwindigkeit ein bezogenes Normalzeitspanvolumen $Q'w_n$. Beispielsweise berechnet sich dieses zu

$$Q'w_n(s) = Z_n(s) * v$$

In dieser Gleichung ist

$Q'w_n(s)$: bezogenes Normalzeitspanvolumen [mm^2/s],

$Z_n(s)$: Abtrag $Z_n(s)$ in Normalenrichtung [mm],

v : Vorschubgeschwindigkeit [mm/s]

[0018] Es ist das Produkt aus dem Abtrag $Z_n(s)$ der Schleifscheibe in der jeweiligen Normalenrichtung (7) in Millimetern am Profilpunkt s und der Vorschubgeschwindigkeit v entlang der Zahnücke (37) in Millimeter pro Sekunde. $Q'w_n$ berücksichtigt die Vorschubgeschwindigkeit v , die Profilform des Werkzeugs (10) und die normal zur Flankenlinie gemessenen unterschiedlichen Aufmaße (35) der Zahnflanken (33, 34).

[0019] Dieser Wert wird für jeden Profilpunkt s der aktiven Flächen (15) der Schleifscheibe (10) ermittelt. Das so ermittelte bezogene Normalzeitspanvolumen ist eine Leistungsgröße des Schleifprozesses. Sie hat die Dimension Quadratmillimeter pro Sekunde. Beispielsweise gibt sie die zum Abtrag des Aufmaßes (35) erforderliche Leistung an.

[0020] Die Figur 6 zeigt den über die Schleifscheibenbreite b und den Schleifscheibendurchmesser d aufgetragenen Verlauf des Schleifscheibenprofils. Die Ziffern entlang des Profils geben den abgewickelten Abstand des entsprechenden Punktes vom Ursprung der Abwicklung, hier in Schleifscheibenmitte, an. Das dieser Abwicklung zugrunde liegende Verzahnungsprofil hat 27 Zähne und einen Modul von 10 Millimetern.

[0021] In der Figur 7 ist als Leistungsbedarf das bezogene Spanvolumen $Q'w$ (5) und das bezogene Normalzeitspanvolumen $Q'w_n$ (6) über der Abwicklung des Profils von Figur 6 aufgetragen. In dieser Figur sind die Werte einer Verzahnung dargestellt, bei der der Zahnfuß mitgeschliffen wird. Der Wert des bezogenen Zeitspanvolumens $Q'w$ ist entlang der Abwicklung konstant, im Ausführungsbeispiel beträgt er 16 Quadratmillimeter pro Sekunde. Das bezogene Normalzeitspanvolumen $Q'w_n$ ist beispielsweise entlang der Stirn-Umfangsfläche (17) der Schleifscheibe konstant. In diesem Bereich entspricht sein Wert dem Wert des bezogenen Normalzeitspanvolumens. Beim Übergang in die Mantelflächen (16) sinkt das bezogene Normalzeitspanvolumen $Q'w_n$ auf ein Minimum ab. Entlang der Mantelfläche (16) steigt es z.B. stetig an. Das bezogene Normalzeitspanvolumen $Q'w_n$ ist entlang der gesamten Mantelfläche (16) niedriger als das bezogene Zeitspanvolumen $Q'w$.

[0022] Der zur Auslegung nach dem Normalzeitspanvolumen herangezogene z.B. aus Versuchen ermittelte Grenzwert $Q'w_{n,Gr}$ (4) ist für die Stirn-Umfangsfläche (17) konstant. Entlang der Mantelflächen (16) sinkt er beispielsweise linear ab. Im dargestellten Beispiel erfolgt die Wahl der radialen Zustellung des Werkzeugs (10) relativ zum Werkstück (30) und die Vorschubgeschwindigkeit des Werkzeugs (10) relativ zum Werkstück (30) nach dem Grenzwert im Bereich der Stirn-Umfangsfläche (17).

[0023] Die Figur 8 zeigt analog zur Figur 7 den Kurvenverlauf für eine Verzahnung, bei der der Zahnfuß nicht mitgeschliffen wird. Der maximale Leistungsbedarf des Normalzeitspanvolumens (6) $Q'w_n$ ist in dem Bereich der Schleifscheibe (10), die den Übergang der Zahnflanke (33; 34) zum Zahnkopf (38) bearbeitet. Der für diesen Bereich gewählte Leistungswert muss kleiner oder gleich dem Grenzwert $Q'w_{n,Gr}$ sein. Der von der Geometrie der Schleifscheibe (10) abhängige Grenzwertverlauf ist in der Darstellung der Figur 8 identisch mit dem in der Figur 7 dargestellten Grenzwertverlauf. Wie der Vergleich der Figuren 7 und 8 zeigt, kann, wenn der Zahnfußbereich nicht mitgeschliffen wird, bei einer Auslegung nach dem Normalzeitspanvolumen $Q'w_n$ eine höhere Schleifleistung genutzt werden als bei einer Auslegung nach dem Zeitspanvolumen $Q'w$. Im Ausführungsbeispiel der Figur 8 beträgt diese Steigerung z.B. 55 % gegenüber dem Beispiel der Figur 7. Die Schleifscheibe kann also mehr abtragen, ohne dass eine Schädigung des Werkstücks (30), z. B. durch Schleifbrand entsteht.

[0024] Maßgeblich für die Auslegung ist der Maximalwert des bezogenen Normalzeitspanvolumens $Q'w_n(s)$. Hieraus ergeben sich mit dem in Abhängigkeit der Werkzeuggeometrie ermittelten technologischen Grenzwert $Q'w_{n,Gr}$ (4) des bezogenen Normalzeitspanvolumens die Einstellparameter des Schleifprozesses. Durch den großen Schleifabtrag ergibt sich eine geringere Hauptzeit der Bearbeitung. Hierbei sind auch unterschiedliche Profilformen und unterschiedliche Krümmungen der Verzahnungen berücksichtigt.

[0025] Nach dem Schleifen der die Zahnücke (37) begrenzenden Zahnflanken (33, 34) wird das Werkzeug (10) entgegen der Zustellrichtung (22) aus der Zahnücke (37) herausgefahren. Das Werkstück (30) wird um seine Rotationsachse (31) um eine Teilung gedreht, so dass nun die nächste Zahnücke (37) zur Schleifscheibe (10) zeigt. Die Bearbeitung dieser Zahnücke (37) erfolgt, wie oben beschrieben. Mittels dieses diskontinuierlichen Profilschleifverfahrens kann die Verzahnung (32) schnell und genau bearbeitet werden.

[0026] Während des Schleifens nutzen sich die Körner der Schleifscheibe (10) ab und die Schleifscheibe (10) setzt sich mit Schleifstaub zu. Beispielsweise nach vorgegebenen Intervallen, aufgrund des Anstiegs des Motorstroms, etc., wird die Schleifscheibe (10) abgerichtet. Hierbei werden die Stirn-Umfangsfläche (17) und die Mantelflächen (16) der Schleifscheibe (10) bearbeitet. Der Durchmesser der Schleifscheibe (10) wird hierdurch vermindert.

[0027] Ein Abrichten der Schleifscheibe (10) ist umso häufiger erforderlich, je kleiner die Schleifscheibe (10) ist. Gleichzeitig verkürzt sich die für das Abrichten erforderliche Nebenzeit. Diese beiden gegenläufigen Effekte heben sich nicht auf, so dass die Boden-zu-Boden-Zeit des Werkstücks mit zunehmender Standzeit des Werkzeugs (10) vergrößert wird.

[0028] Nach dem Abrichten wird ausgehend von der neuen Schleifscheibengeometrie ein neuer Verlauf der bezogenen Normalzeitspanvolumina ermittelt. Danach wird, ausgehend vom Maximalwert des bezogenen Normalzeitspanvolumens, im Vergleich mit einem werkzeuggeometrie- und/oder werkstückabhängigen technologischen Grenzwert des bezogenen Normalzeitspanvolumens die neue Vorschubgeschwindigkeit und die neue Zustellung ermittelt. Hierbei wird beispielsweise entweder die Vorschubgeschwindigkeit oder der neue Zustellbetrag vorgegeben und der jeweils andere Wert so ausgelegt, dass sich aus den Einstellgrößen und den geometrischen Daten der Schleifscheibe (10) ein Wert kleiner oder gleich des zulässigen bezogenen Normalzeitspanvolumens ergibt. Auch eine Einstellung der Vorschubgeschwindigkeit und des Zustellbetrags ist denkbar.

[0029] In der Figur 9 ist ein qualitativer Verlauf des werkzeuggeometrieabhängigen technologischen Grenzwerts dargestellt. In der Abszisse ist die Zeit aufgetragen, in der Ordinate das bezogene Zeitspanvolumen und das bezogene Normalzeitspanvolumen. Die Zeitachse beschreibt die Hauptzeit des Schleifprozesses. In vorgegebenen Intervallen wird die Schleifscheibe (10) abgerichtet und hierbei ihr Durchmesser verringert. Die zwischen den Abrichtvorgängen (51) z.B. konstanten Schleifscheibendurchmesser (18) sind als waagerechte Linien dargestellt.

[0030] Der nach dem Stand der Technik bestimmte Grenzwert des bezogenen Zeitspanvolumens $Q'w_{Gr}$ bleibt während des gesamten Schleifprozesses konstant. Der z.B. in Versuchen ermittelte Grenzwert des bezogenen Normalzeitspanvolumens $Q'w_{n,Gr}$ sinkt mit zunehmender Prozesszeit und/oder mit abnehmendem Schleifscheibendurchmesser. Wie das Diagramm weiter zeigt, kann beispielsweise bis zum Zeitpunkt des zweiten Abrichtens mit einem genutzten Normalzeitspanvolumen gearbeitet werden, das deutlich höher liegt als der Grenzwert des bezogenen Zeitspanvolumens. Die nutzbare Schleifenergie ist somit höher als bei einer Auslegung nach dem bezogenen Zeitspanvolumen.

[0031] Die Figur 10 stellt als Produkt aus der gewählten Zustellung und der gewählten Vorschubgeschwindigkeit das gewählte Zeitspanvolumen bzw. das gewählte Normalzeitspanvolumen dar. Aufgrund des höheren Grenzwerts des bezogenen Normalzeitspanvolumens kann eine höhere Abtragsrate als bei einer Auslegung nach dem bezogenen Zeitspanvolumen gewählt werden. Beispielsweise ist in der Figur 10 bei gleicher Vorschubgeschwindigkeit ein größerer Zustellbetrag gewählt.

[0032] Bei den in den Figuren 6 - 10 beschriebenen Auslegungsschritten sind zur vereinfachten Darstellung die Konstanten und Korrekturfaktoren nicht berücksichtigt. Die Einstellung der Parameter der radialen Zustellung und der relativen Vorschubgeschwindigkeit kann beispielsweise nach Vorgabe eines dieser Parameter automatisiert erfolgen.

[0033] Anstatt auf die aktive Schleifscheibenbreite kann das abzutragende oder abgetragene Volumen auf die aktive Schleifscheibenoberfläche (15) bezogen sein. Der so ermittelte bezogene Leistungsbedarf $H'w$ hat die Dimension Millimeter pro Sekunde. Auch dieser Wert wird für jeden Punkt der Abwicklung ermittelt.

[0034] Der bezogene Leistungsbedarf $H'w$ ist für Profilpunkte, die auf unterschiedlichen Profillinien liegen, unterschiedlich groß, da sowohl der Abstand des jeweils kontaktierenden Schleifscheibenpunktes von der Drehachse (11) der Schleifscheibe (10) zum Zahnkopf (38) hin kleiner wird als auch der fiktive Normalenabstand (8) zum Zahnkopf (38) hin zunimmt.

[0035] Der bezogene Leistungsbedarf $H'w$ ergibt sich zu

$$H'w = k(s) * v * Z_n(s) / (\pi * N(D_{s1s}(s)))$$

wobei die Variablen bedeuten:

$H'w$: bezogener Leistungsbedarf [mm/s]
 $k(s)$: Korrekturfunktion, dimensionslos
 s : Bogenlänge der Abwicklung [mm]
 v : Vorschubgeschwindigkeit in Lückenrichtung [mm/s]
 $Z(s)$: Abtrag, z.B. pro Hub [mm]
 $N(D_{s1s}(s))$: Funktionswert in Abhängigkeit der Bogenlänge der Abwicklung s [mm].

[0036] Die Korrekturfunktion $k(s)$ berücksichtigt hierbei unter anderem die Einflüsse des Kontaktlinienverlaufs, der zu

schleifenden Kontur, der Berührlinienlänge, der Kühlmittelmenge, der Kühlmittelabfuhr, der Wärmeableitung, der Kornanzahl und des Porenvolumens.

[0037] Der Funktionswert in Abhängigkeit des Durchmessers der Schleifscheibe (10) berücksichtigt beispielsweise die Profilform der Schleifscheibe (10). So nimmt der Wert z.B. bei einem abnehmenden Eingriffswinkel am Teilkreis zu.

[0038] Der ermittelte Leistungsbedarf wird mit einem Grenzwert verglichen. Dieser z.B. in Versuchen ermittelte Grenzwert ist unabhängig von der Geometrie des Werkzeugs (10) und des Werkstücks (30). Beispielsweise ist er jedoch abhängig von der Werkstoffpaarung des Werkzeugs (10) und des Werkstücks (30), von der Körnung des Werkzeugs, etc.

[0039] Zur Wahl der Einstellparameter des Schleifverfahrens wird der gewählte bezogene Leistungsbedarf kleiner oder gleich dem Grenzwert bestimmt. Hieraus werden dann die Zustellung und die relative Vorschubgeschwindigkeit gewählt.

[0040] Das Produkt aus dem Abtrag und der relativen Vorschubgeschwindigkeit ergibt sich zu

$$v \cdot Z_n(s) \leq H'w_{Gr} \cdot \pi \cdot N(D_{SLs}(s)) \cdot k(s)$$

mit

v : Vorschubgeschwindigkeit in Lückenrichtung [mm/s]

$Z_n(s)$: Abtrag des Werkzeugs am Werkstück in Normalenrichtung [mm]

$H'w_{Gr}$: Grenzwert des bezogenen Leistungsbedarfs [mm/s]

$N(D_{SLs}(s))$: Funktionswert in Abhängigkeit der Bogenlänge der Abwicklung s [mm].

$k(s)$: Korrekturfunktion, dimensionslos

[0041] Dieses Produkt ist eine Funktion des konstanten Grenzwertes $H'w_{Gr}$, des Korrekturfaktors und des sich durch das Abrichten verändernden Schleifscheibendurchmessers. Der Wert des Produkts ist damit abhängig von der gesamten aktiven Schleifscheibenoberfläche (15). Die Auslegung erfolgt beispielsweise analog zu der im Zusammenhang mit den Figuren 6 - 10 beschriebenen Auslegung nach dem Normalzeitspanvolumen.

[0042] Wird nach jedem Abrichten das mathematische Produkt kleiner oder gleich dem Funktionswert gewählt, wird bei großer Schleifscheibe (10) ein großer Abtrag ermöglicht, während bei einer kleinen Schleifscheibe (10) eine kritische Einstellung oder ein Schleifbrand vermieden wird. Somit kann eine geringere Hauptzeit der Bearbeitung erreicht werden.

[0043] Beispielsweise nach Vorgabe der Relativgeschwindigkeit zwischen dem Werkzeug (10) und dem Werkstück (30) wird der radiale Zustellbetrag z.B. automatisiert ermittelt. Es ist auch denkbar, bei einem vorgegebenen Zustellbetrag die Relativgeschwindigkeit automatisiert festzulegen. Auch eine Optimierung nach beiden Parametern ist denkbar.

[0044] Stand der Technik ist, dass die Schleifscheibe für alle Hübe so profiliert wird, dass das Endprofil geschliffen werden kann. Wie Figur 3 hierzu beispielhaft zeigt, variiert $Z_n(s)$ und damit auch der Leistungsbedarf entlang der Schleifscheibenkontur.

[0045] Die Schleifscheibe (10) kann aber beispielsweise für einige oder jeden Hub so profiliert und/oder positioniert werden, dass der bezogene maximale Leistungsbedarf über die Abwicklung der Schleifscheibenkontur reduziert bzw. konstant ist. Die gewählte bezogene Leistungsfähigkeit sollte kleiner sein als der Grenzwert.

Bezugszeichenliste:

[0046]

4 technologischer Grenzwert Q'_{WnGr} des bezogenen Zeitspanvolumens;

5 bezogenes Zeitspanvolumen $Q'w$

6 bezogenes Normalzeitspanvolumen $Q'w_n$

7 Normalenrichtung

8 Normalenabstand

EP 2 347 856 A2

	10	Werkzeug, Profilschleifscheibe, Doppelkegelscheibe
	11	Rotationsachse, Werkzeugachse
5	12	zentraler Abschnitt
	13	Randbereich
	14	Randbereich
10	15	aktive Fläche
	16	Mantelflächen
15	17	Stirn-Umfangsfläche
	18	Schleifscheibendurchmesser d
	21	axiale Vorschubrichtung
20	22	Zustellrichtung
	30	Werkstück, Zahnrad
25	31	Rotationsachse, Werkstückachse
	32	Verzahnung
	33	Zahnflanke, rechte Flanke
30	34	Zahnflanke, linke Flanke
	35	Aufmaß
35	36	Zähne
	37	Zahnlücke
	38	Kopf
40	39	Zahnfüße
	41	Fußbereich
45	42	Kopfbereich
	43	Zahngrund
	44	Fertigmaß
50	45	Kontur vor dem Schleifen
	46	Zahnfüße
55	51	Abrichtvorgänge
	b	Schleifscheibenbreite

d Schleifscheibendurchmesser

$Q'w$ bezogenes Zeitspanvolumen

5 $Q'w_{gew}$ gewähltes $Q'w$

$Q'w_n$ bezogenes Normalzeitspanvolumen

10 $Q'w_{n,gew}$ gewähltes $Q'w_n$

$Q'w_{nGr}$ technologischer Grenzwert des bezogenen Normalzeitspanvolumens

s Bogenlänge, Abwicklung

15 V_{gew} gewählte Vorschubgeschwindigkeit

Z_{gew} gewählte Zustellung

20 Patentansprüche

1. Verfahren zur Auslegung eines Profilschleifprozesses, **dadurch gekennzeichnet**,

25 - **dass** aus dem Abtrag des Aufmaßes (35) des Werkstücks (30) und/oder der Geometrie des Werkzeugs (10) und/oder der relativen Vorschubgeschwindigkeit zwischen dem Werkstück (30) und dem Werkzeug (10) ein erforderlicher, auf das Werkzeug (10) und/oder auf das Werkstück (30) bezogener Leistungsbedarf ermittelt wird, und/oder

- **dass** der so ermittelte Wert mit einem technologischen Grenzwert verglichen wird und/oder

30 - **dass** der Zustellbetrag und die relative Vorschubgeschwindigkeit zwischen dem Werkzeug (10) und dem Werkstück (30) in Abhängigkeit der Werkstück- und/oder der Werkzeuggeometrie so gewählt werden, dass ihr mathematisches Produkt, multipliziert mit einer Korrekturfunktion, kleiner oder gleich dem technologischen Grenzwert ist.

35 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abtrag kleiner oder gleich dem maximalen Normalenabstand (8) ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auslegung je Hub und/oder Hubposition erfolgt.

40 4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der technologische Grenzwert unabhängig von der Werkstückgeometrie und von der Werkzeuggeometrie ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dass die Korrekturfunktion abhängig von der Berührlinie zwischen Werkzeug (10) und Werkstück (30) ist.

45 6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Korrekturfunktion abhängig vom Schwenkwinkel zwischen Werkzeug (10) und Werkstück (30) ist.

7. Verfahren nach Anspruch 1 und 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Werkzeug so profiliert und/oder positioniert wird, dass der bezogene maximale Leistungsbedarf über die Abwicklung der Schleifscheibenkontur reduziert wird.

50 8. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zustellbetrag und/oder die Vorschubgeschwindigkeit automatisiert eingestellt wird.

55 9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Vorgabe des Zustellbetrags die Vorschubgeschwindigkeit automatisiert eingestellt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Vorgabe der Vorschubgeschwindigkeit der Zustellbetrag automatisiert eingestellt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Vorgabe des Verhältnisses zwischen Vorschubgeschwindigkeit und Zustellbetrag diese beiden automatisiert eingestellt werden.

5

10

15

20

25

30

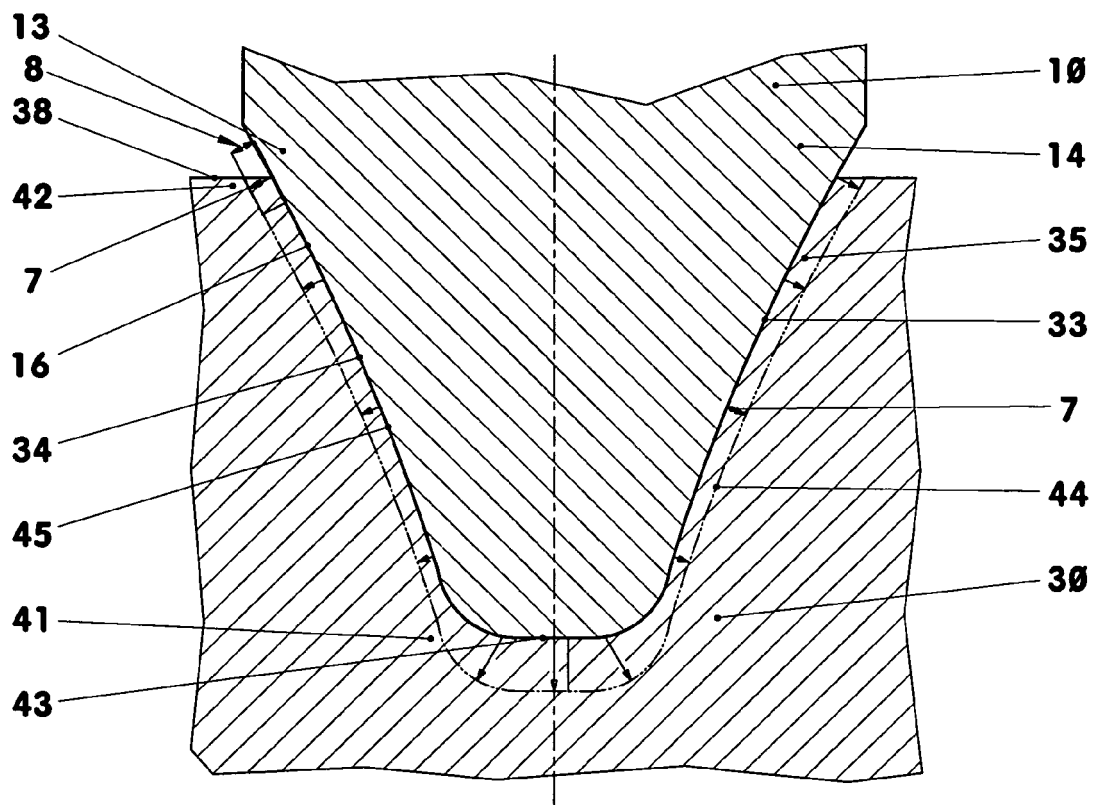
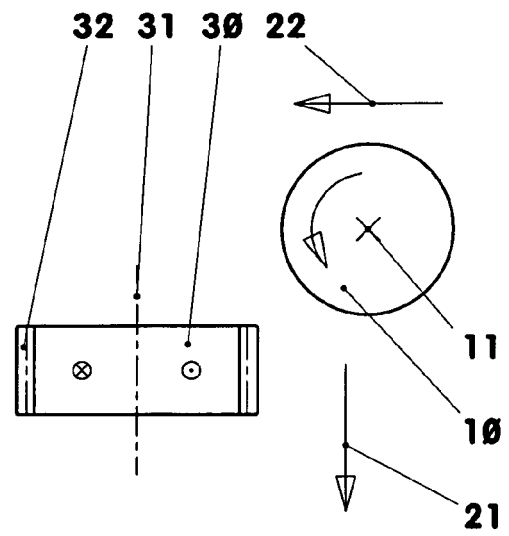
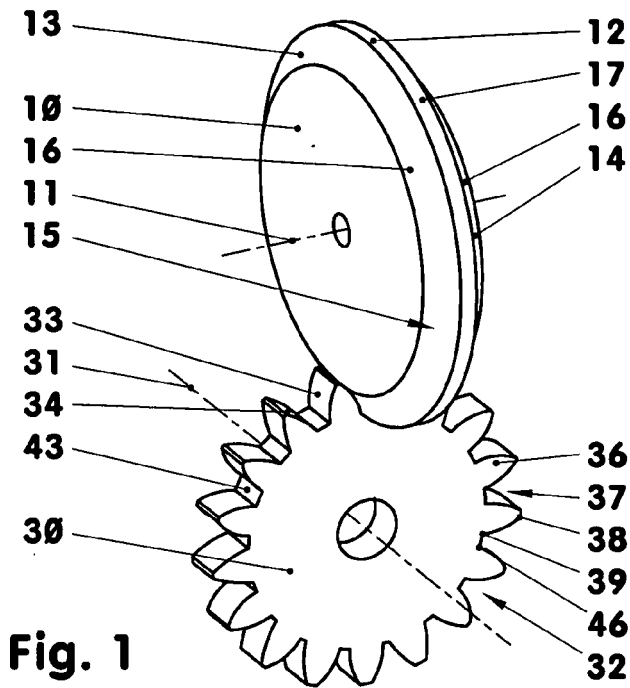
35

40

45

50

55



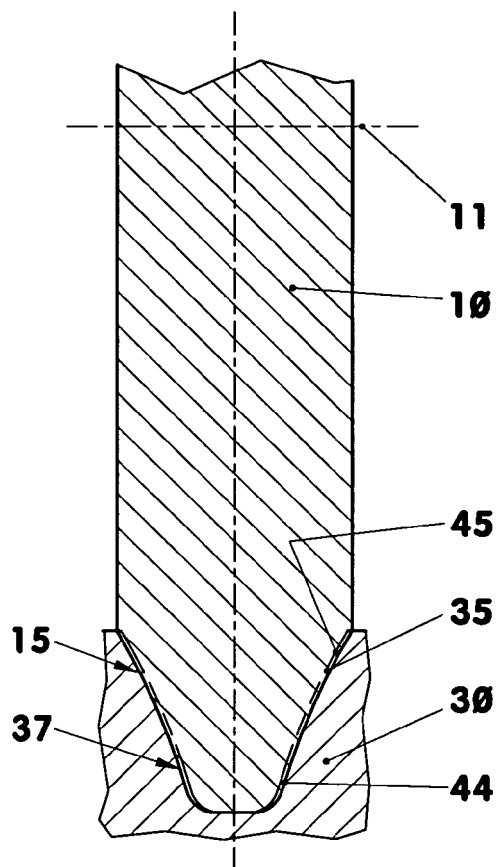


Fig. 4

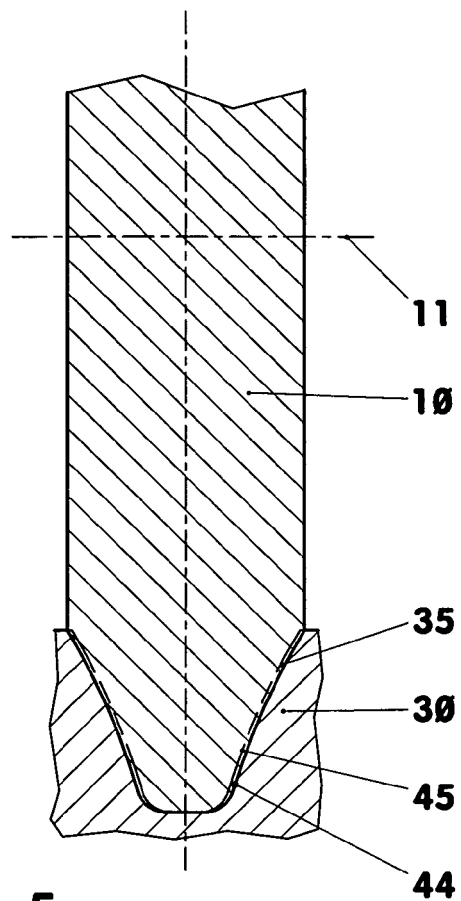


Fig. 5

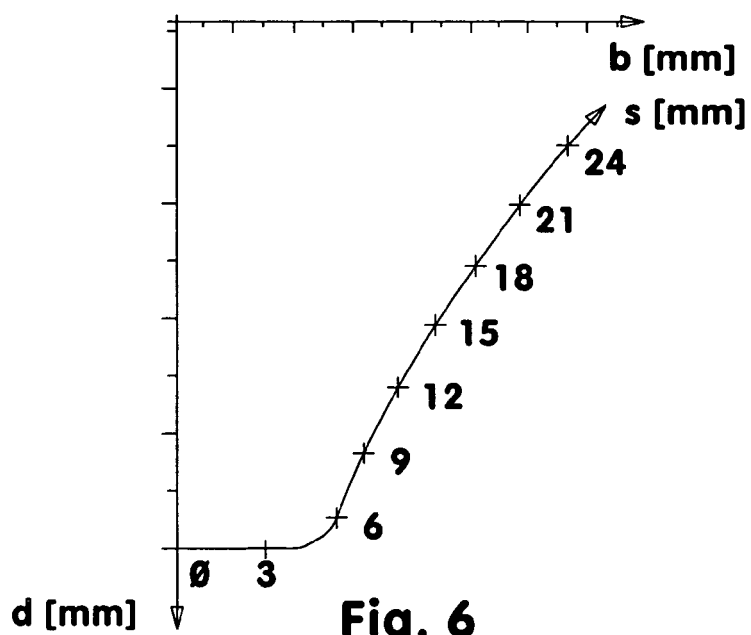


Fig. 6

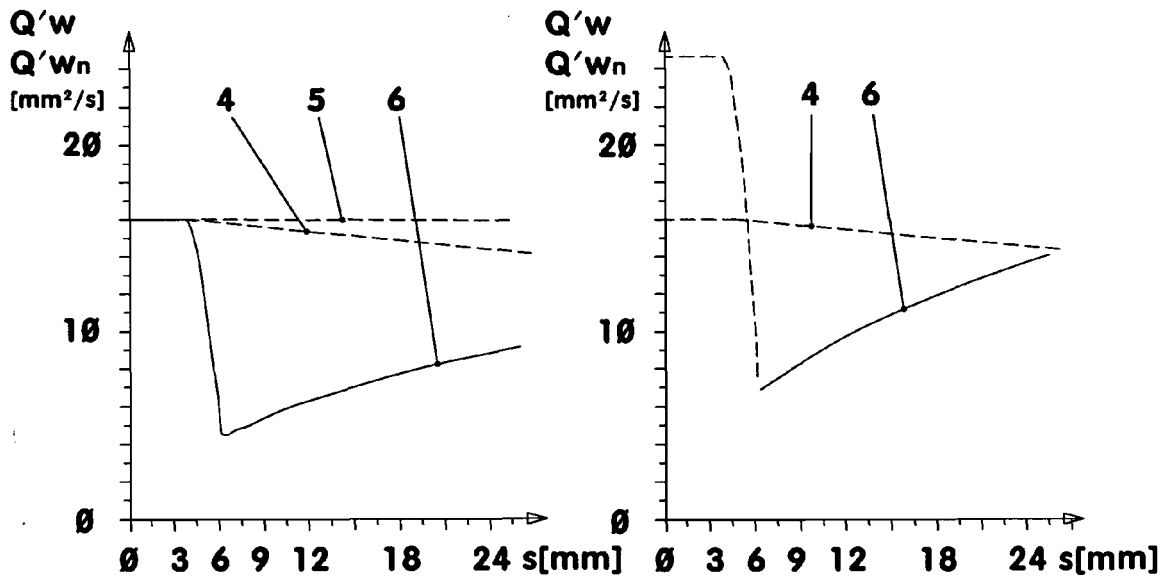


Fig. 7

Fig. 8

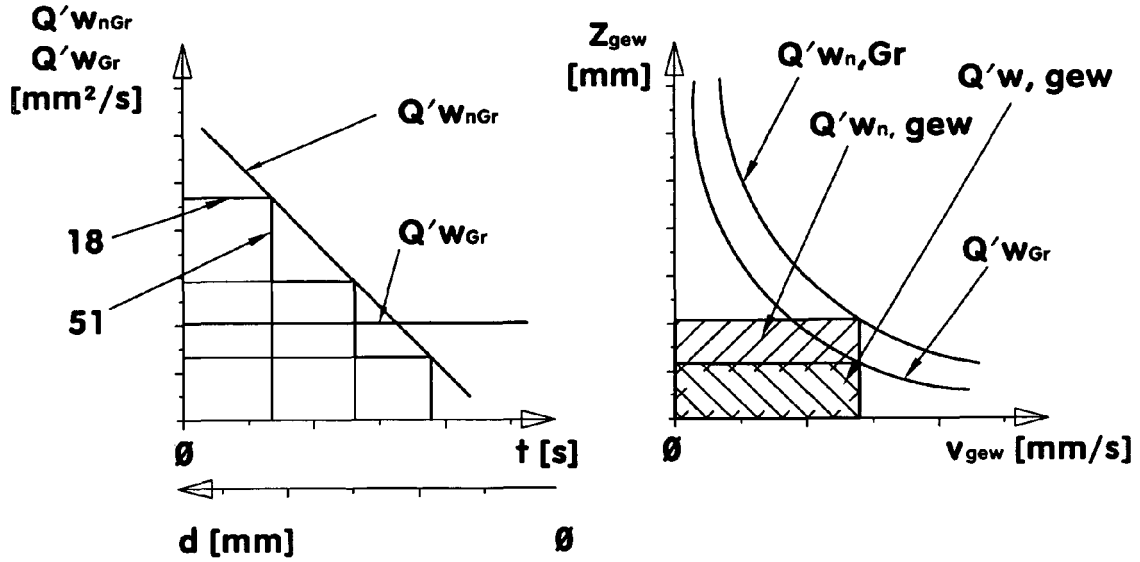


Fig. 9

Fig. 10