(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
1. Dezember 2011 (01.12.2011)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/147582 A2

(51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/002626

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. Mai 2011 (27.05.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2010 021 771.9 27. Mai 2010 (27.05.2010) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **SCHOTTEL GMBH** [DE/DE]; Mainzer Strasse 99, 56322 Spay (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN** [DE/DE]; Fakultät Maschinenwesen, Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion, Münchner Platz 3, 01062 Dresden (DE). **HEER, Manfred** [DE/DE]; Brunnenstrasse 18, 56814 Landkern (DE). **POTTS, Michael** [DE/DE]; Lübsche Strasse 6, 23966 Wismar (DE). **SCHLECHT, Berthold** [DE/DE]; Grüner Weg 7, 23942 Tankenhagen (DE). **SENF, Michael** [DE/DE]; Bergstraße 12, 01454 Radeberg (DE). **SCHAEFER, Steffen** [DE/DE]; Hempelstraße 1, 01069 Dresden (DE). **HUTSCHENREITER, Birgit** [DE/DE]; Robinienstraße 77, 01458 Ottendorf-Okrilla (DE).

(74) Anwalt: **COHAUSZ DAWIDOWICZ HANNIG & SOZIEN**; Schumannstrasse 97-99, 40237 Düsseldorf (DE).

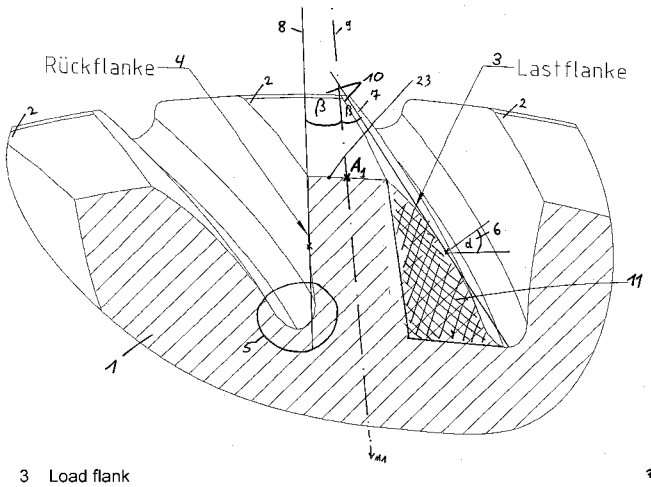
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,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

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: LOAD RATING OPTIMISED BEVEL GEAR TOOTHING

(54) Bezeichnung : TRAGFÄHIGKEITSOPTIMIERTE KEGELRADVERZAHNUNG



3 Load flank
4 Non-working flank

Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a bevel gear wheel (1) of a bevel gear unit, each tooth (2) of which comprises a load flank (3) and a non-working flank (4), wherein the teeth (2) have a helical or spiral tooth trace, in particular a curved tooth longitudinal line, and the teeth (2), in particular the upper meshing region of the teeth, have an octoid tooth shape or a spherical involute tooth shape, and the teeth have an excess material quantity (11) on the load flanks (4) in order to reinforce the load flanks (4), in particular such that the axis (9) that runs through the tooth tip-bisecting point A_1 of the tooth tip transverse line (23) and through the midpoint of the gear wheel exhibits asymmetry of the teeth (2). The invention further relates to a method for producing a bevel gear wheel (1) according to one of the preceding claims, in which the tooth geometry is produced by a four-axis or multi-axis method, in particular a five-axis method.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2011/147582 A2

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)*

Die Erfindung betrifft ein Kegelzahnrad (1) eines Kegelradgetriebes, dessen Zähne (2) jeweils eine Lastflanke (3) und eine Rückflanke (4) aufweisen, wobei die Zähne (2) eine schrägverzahnte oder bogenverzahnte Flankenlinie, insbesondere gekrümmte Zahnlängslinie aufweisen und die Zähne (2), insbesondere der obere in Eingriff kommende Bereich der Zähne, eine Oktoidenzahnform oder eine Kugelevolventenzahnform aufweisen und die Zähne eine Materialmehrmenge (11) auf den Lastflanken (4) zur Verstärkung der Lastflanken (4) aufweisen, insbesondere so dass die Achse (9), welche durch den zahnkopfhalbierenden Punkt A_1 der Zahnkopfquerlinie (23) und durch den Mittelpunkt des Zahnrades verläuft, eine Asymmetrie der Zähne (2) aufzeigt. Die Erfindung weiterhin ein Verfahren zur Herstellung eines Kegelzahnrades (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem die Zahngeometrie durch ein vier- oder Mehrachsverfahren, im besonderen Fünfachsverfahren gefertigt wird.

„Tragfähigkeitsoptimierte Kegelradverzahnung"

Die Erfindung betrifft ein Zahnrad eines Kegelradgetriebes, dessen Zähne jeweils eine Lastflanke und eine Rückflanke aufweisen und ein Herstellungsverfahren hierzu.

In der Regel erfolgt die Gestaltung der Zahngeometrie von Kegelrädern symmetrisch bezogen auf eine durch den Zahnradmittelpunkt und in radialer Richtung durch den Zahn verlaufende Symmetrieachse. Dies ist darin begründet, dass Zahnräder in der Regel für beide Laufrichtungen (vorwärts und rückwärts) gleich konstruiert und hergestellt werden.
Je nach Laufrichtung hat ein einzelner Zahn bei der Drehmomentübertragung eine Lastflanke, welche im Eingriff ist und das Drehmoment auf die Lastflanke des Gegenzahnes überträgt, und eine Rückflanke. Die Rückflanke eines Zahnes kommt bei einer Umdrehung des Zahnrades teilweise oder gar nicht in Kontakt mit dem nachfolgenden Gegenzahn des damit kämmenden Zahnrades, solange keine Drehrichtungsumkehr erfolgt.
In der Praxis ist bei Zahnradgetrieben oft keine Drehrichtungsumkehr notwendig. Trotzdem werden die Flanken der einzelnen Zähne eines Zahnrades für beide Drehrichtungen identisch gefertigt und weitergehend bearbeitet.

Um die maximal mögliche Kraftübertragung eines Zahnrades zu vergrößern, gibt es verschiedene Ansätze. Zum einen kann die Oberfläche einer Wärmebehandlung unterzogen werden, um Zahnflankenschäden zu verhindern. Zahnflankenschäden treten zum Beispiel durch unzulässig hohe Pressungen auf. Hierzu wird u. a. im Anschluss an die Herstellung der Zahngeometrie die

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Oberfläche des Zahnes veredelt, d. h. oberflächenvergütet oder gehärtet. Zum anderen wird in anderen Ansätzen die Zahnform, deren Bezugsprofil durch DIN 867 genormt ist, optimiert.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Kegelzahnrad der eingangs genannten Art so zu optimieren, dass die Tragfähigkeit verbessert und ein vergrößertes Drehmoment auf das Kegelzahnrad übertragen werden kann.

Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass erstens die Zähne eine schrägverzahnte oder bogenverzahnte Flankenlinie, insbesondere gekrümmte Zahnlängslinie aufweisen, sowie dass zweitens die Zähne, insbesondere der obere in Eingriff kommende Bereich der Zähne, eine Oktoidenzahnform oder eine Kugelevolventenzahnform aufweisen und dass drittens die Zähne eine Materialmehrmenge auf den Lastflanken zur Verstärkung der Lastflanken aufweisen, insbesondere so dass die Achse, welche durch den zahnkopfhalbierenden Punkt der Zahnkopfquerlinie und durch den Mittelpunkt des Zahnrades verläuft, eine Asymmetrie der Zähne aufzeigt.

Die Zahnkopfquerlinie wird gebildet durch den Schnitt, der zur Rotationsachse des Zahnrades senkrechten Schnittebene und der radial am weitest entfernten Zahnfläche (der Zahnkopffläche) des Zahnrades.

Erfindungsgemäß weisen die Zähne eine Materialmehrmenge auf den Lastflanken zur Verstärkung der Lastflanken auf. Unter einer Materialmehrmenge wird hierbei das Vorhandensein von Zahnmaterial verstanden, welches bei Symmetriebetrachtung des Zahnes mithilfe einer radialen Zahnachse, nur auf einer Seite der Symmetrieachse vorhanden ist. Die radiale Zahnachse verläuft erstens durch den Punkt, der auf der Zahnkopfquerlinie liegt und die Zahnquerkopflinie in zwei gleich große Anteile teilt, und zweitens durch den Mittelpunkt des Zahnrades.

Diese Materialmehrmenge ist im unteren bzw. inneren Bereich der Lastflanke, insbesondere innerhalb des unteren Zweidrittels oder des unteren Dreiviertels der Lastflanke angeordnet.

Besonders vorteilhaft ist, wenn die Tangente an einem beliebigen Punkt der Lastflanke, insbesondere am Teilkreis und Wälzkreis, flacher ist als die entsprechende Tangente in der Rückflanke. Die Tangente auf der Lastseite schließt mit der radialen Zahnachse damit einen größeren Winkel (β) ein, als die der Rückflanke.

Der Vorteil eines solchen asymmetrischen Zahnprofiles ist eine vergrößerte Drehmomentübertragung, die durch eine Vergrößerung der Krümmungsradien der Lastflanke eine Verringerung der Flankenpressung bewirkt. Das Risiko einer Zahnschädigung, insbesondere des Flankenbereiches, wird dadurch verringert.

Erfindungsgemäß besteht weiterhin eine mögliche Variabilität des Eingriffswinkels auf der Lastseite entlang der Zahnlängslinie auszuführen. Durch die Wahl eines größeren Eingriffswinkels an der Zahnferse gegenüber der Zahnzehe kann der realisierbare Winkelbereich vergrößert werden. So wirkt man der Gefahr von spitzer werdenden Zähnen, speziell im Zehenbereich, entgegen. Die Eingriffswinkel können entlang der Zahnflanken derart variabel ausgeführt werden, dass von der Zahnferse zur Zahnzehe hin die Eingriffswinkel um einen Betrag in einem Bereich von 0 Grad bis 8 Grad, insbesondere bis zu einen Betrag von 5 Grad, abnehmen.
Vorzugsweise wird vorgeschlagen, die Eingriffswinkel möglichst groß auszuführen, so dass der Eingriffswinkel (α) der Lastflanke 25 bis 45 Grad, vorzugsweise 30 bis 40 Grad, beträgt.

Die Schriften DE 10 2005 016746 A1 und JP 09032908 A zeigen ebenfalls asymmetrische Zahnformen. Im Gegensatz zur vorliegenden Erfindung weisen diese auf der Rückflanke des Zahnes eine Materialmehrmenge auf. Das kommt vorwiegend bei Hypoidverzahnungen zum Einsatz, wo durch einen Achsversatz unterschiedliche Zahnformen entstehen. Eine Materialmehrmenge auf der Rückflanke führt zu keiner Steigerung der Flankentragfähigkeit, kann unter Umständen sogar zu einer Minderung führen. Praktisch wird das

bei Hypoidrädern ausgeführt, um die unterschiedlichen Gleit- und Eingriffsverhältnisse zwischen Last- und Rückflanke auszugleichen.

Während die aktuellen klassischen Herstellungsverfahren die Fertigungsfreiheitsgrade limitieren und dahin gehend optimiert sind, mehrere Zähne eines Zahnrades gleichzeitig zu fertigen, kann durch eine punktgenaue Herstellung des Zahnrades mithilfe einer Fräs- oder Schleifmaschine, deren Werkzeug auf vier oder mehr Achsen geführt wird, eine individuellere Gestaltung der Zähne erfolgen.
Dazu zählt auch die Freiheit in der Fertigung der Zahnprofilform. Abgesehen von einer Oktoidenzahnform, dessen Eingriffslinie einer angenäherten Geraden entspricht, ist eine kugelevolventische Zahnform, die zu einer Verbesserung der Verlagerungsunempfindlichkeit beiträgt, herstellbar.

Besonders günstig sind diese Kegelzahnräder bei Großgetrieben einsetzbar, wie sie z. B. bei Ruderpropellerantrieben verwendet werden.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im Folgenden näher beschrieben.

Figur 1 : eine Ansicht des Zahnes mit Symmetrieachse und Materialmehrmenge

Figur 2 : eine Ansicht des Zahnes entlang der Zahnflanke mit verschiedenen Eingriffswinkeln

Figur 3 : eine Schnittansicht des Zahnprofiles mit kleinen Veränderungen der Eingriffswinkel an Zahnferse und Zahnzehe gegenüber dem Bezugsprofil

Figur 4 : eine Schnittansicht des Zahnprofiles mit großen Veränderungen der Eingriffswinkel an Zahnferse und Zahnzehe gegenüber dem Bezugsprofil

Figur 1 zeigt das Kegelzahnrad 1, welches an seiner Kegelmantelfläche mehrere über den Umfang verteilte Zähne 2 aufweist, die jeweils eine Lastflanke 3 und eine Rückflanke 4 besitzen. Die Lastflanke 3 und die Rückflanke 4 zweier

benachbarter Zähne 2 sind durch den Zahnfußbereich 5, auch als „Zahnlückengrund" bezeichnet, verbunden.

Da für die Zahnräder eine Vorzugsdrehrichtung für die Drehmomentübertragung vorgesehen ist, haben Lastflanken 3 und Rückflanken 4 unterschiedliche Funktionen, die in einer unterschiedlichen Geometrie verankert sind.
Die Lastflanke 3 übernimmt die Drehmomentübertragung im Normalbetrieb und ist konstruktiv mit einem großen Eingriffswinkel (α) 6 ausgelegt. Die Eingriffswinkel (α) 6 der Lastflanke 3 betragen hierbei 25 bis 45 Grad, vorzugsweise 30 bis 40 Grad. Die Rückflanke 4 ist mit kleineren Eingriffswinkeln ausgebildet. Aufgrund der flacheren Tangente 7 an einem beliebigen Punkt der Lastflanke 3, hier am Teil- bzw. Wälzkreis dargestellt, gegenüber der entsprechenden Tangente 8 der Rückflanke 4, erhält der Zahn eine asymmetrische Zahngeometrie.

Aufgrund der asymmetrischen Geometrie entfällt bei dieser neuen Zahngestalt die typische Zahnmittellinie, wie sie bei herkömmlicher symmetrischer Zahngeometrie vorhanden ist. Diese wird durch eine „radiale Zahnachse" 9 ersetzt, die durch den Zahnradmittelpunkt M_1 und den zahnkopfhalbierenden Punkt A_1 verläuft. Der zahnkopfhalbierende Punkt A_1 teilt die Zahnkopfquerlinie 23 in zwei gleich große Anteile. Die jeweiligen Tangenten an Last- und Rückflanke schließen mit dieser radialen Zahnachse jeweils unterschiedliche große Winkel β 10 ein. Die Tangente 8 der Rückflanke 4 ist steiler als die Tangente 7 der Lastflanke 3. Somit schließt die Tangente 7 der Lastflanke 3 mit der radialen Zahnachse 9 einen größeren Winkel β 10 ein, als die Tangente 8 der Rückflanke 4 mit der radialen Zahnachse 9.

Zieht man diese radiale Zahnachse 9 für einen Vergleich von Lastflanke 3 und Rückflanke 4 heran, wird die zusätzliche Materialmehrmenge 11 auf der Seite der Lastflanke 3 deutlich. Dabei nimmt die Materialmehrmenge 11 im unteren bzw. inneren Bereich der Verzahnung, also zum Zahnfußbereich 5 hin, deutlich zu. Die Materialmehrmenge 11 der Lastflanke 3 variiert je nach Zahngeometrie und Eingriffswinkel α 6 und lässt sich mit einem Faktor f im Zahlenbereich von größer 1,0 bis 1,5 angeben.

Die Figur 2 zeigt die beispielhafte Ausprägung eines Zahnes 2 entlang der Zahnbreite 12 von Zahnferse 13 hin zur Zahnzehe 14. Die Zahnlänge 15 ist dabei aufgrund der Ausführungsform der Verzahnung mit gekrümmter Zahnlängslinie betragsmäßig größer als die Zahnbreite 12. Die Zeichnung zeigt auf, dass die Eingriffswinkel α 6 an einer Zahnflanke der Zahnferse 13 (Eingriffswinkel α_{Ferse} 16) anders sein können als an der Zahnzehe 14 (Eingriffswinkel α_{Zehe} 17). Der Bereich der Zahnflanke zwischen Zahnferse 13 und Zahnzehe 14 weist somit entlang der Zahnlänge 15 variable Eingriffswinkel α 6 auf, die von der Zahnferse 13 hin zur Zahnzehe 14 entlang der Zahnflanke kleiner werden. Dabei liegt die Differenz der Eingriffswinkel 6 von Zahnferse 16 zu Zahnzehe 17 im Wertebereich von 0 Grad bis 8 Grad, bevorzugt bei 5 Grad. Die Tangente an der Zahnferse 13 verläuft gegenüber der Tangente an der Zahnzehe 14 flacher und schließt somit einen größeren Winkel β_{Ferse} 18 als β_{Zehe} 19 an der Zahnzehe ein.

Figur 3 zeigt die optimierte Zahnform 20 mit einer Materialmehrmenge 11. Die Materialmehrmenge 11 ist im unteren bzw. inneren Bereich der Lastflanke 3 angeordnet. Die Materialmehrmenge 11 auf der Lastseite 3 ist im Vergleich zur Materialmenge des gesamten Zahnes verhältnismäßig gering. Dies ist auf die geringe Differenz zwischen den Eingriffswinkeln vom Standardbezugsprofil 21 und der optimierten Zahnform 20 zurückzuführen. Der Eingriffswinkel α 6 im Standardbezugsprofil 21 ist auf der Lastflanke 3 mit α_z = 20 Grad und an der Rückflanke 4 mit α_s = 20 Grad gleich. Der Eingriffswinkel α 6 der optimierten Zahnform 20 ist an der Lastflanke 3 mit α_z = 25 Grad und an der Rückflanke 4 mit α_s = 20 Grad unterschiedlich.

Die Figur 3 zeigt weitergehend die optimierte Zahnform 20 der Zähne 2 in Ausführungsform einer Kugelevolvente. Diese Ausführungsform kann mit der vorgeschlagenen Zahngeometrie nicht durch klassische Fertigungsverfahren, wie Wälzfräsen oder Schaben hergestellt werden. Die optimierte Zahnform kann aber durch ein vier- oder Mehrachsverfahren, im Besonderen dem Fünfachsverfahren gefertigt werden. Nur hierdurch kann das Werkzeug punktgenau die dreidimensionale Materialabtragung vornehmen, die für die optimierte Zahn-

form 20 der Zähne 2 erforderlich ist. Die Fertigungsverfahren sind hierbei insbesondere Schleifen und / oder Fräsen.

Die Figur 4 zeigt eine andere Ausprägung der Zahnflanke mit einer deutlich größeren Materialmehrmenge 11 als in Figur 3 dargestellt. Dies ist auf die größere Differenz zwischen den Eingriffswinkeln vom Standardbezugsprofil 21 und der optimierten Zahnform 20 zurückzuführen. Der Eingriffswinkel α 6 im Standardbezugsprofil 21 ist auf der Lastflanke 3 mit α_z = 20 Grad und an der Rückflanke 4 mit α_s = 20 Grad gleich. Der Eingriffswinkel α 6 der optimierten Zahnform 20 ist an der Lastflanke 3 mit α_z = 35 Grad und an der Rückflanke 4 mit α_s = 18,5 Grad unterschiedlich. Figur 4 zeigt hierbei, dass mit Vergrößerung des Eingriffswinkels α 6 die Kopfdicke des Zahnkopfes 22 geringer werden kann. Die Figur vergleicht hierbei die optimierte Zahnform 20 mit dem Zahnkopf eines Standardbezugsprofiles 21. Die Figur 4 zeigt ebenfalls die optimierte Zahnform 20 der Zähne 2 in Ausführungsform einer Kugelevolvente auf der Lastseite 3 des Zahnes 2.

Eine nicht dargestellte Ausführungsvariante hat derart große Eingriffswinkel, dass es erforderlich ist, eine Berandungsmodifikation im Bereich des Zahnkopfes vorzunehmen. So soll eine Durchhärtung vermieden werden, die im Allgemeinen unterhalb einer Zahndicke 0,3 x m auftreten kann. Das ist wichtig, um Zahnkopfschäden zu vermeiden. Eine solche Berandungsmodifikation kann als eine variable Kopfverrundung entlang der Zahnkopflängslinie oder als eine kegelige Kopfkürzung an der Zahnzehe vorgenommen werden.

Eine weitere nicht dargestellte Ausführungsform beinhaltet die Anordnung der Materialmehrmenge 11 innerhalb, des unteren Zweidrittels oder des unteren Dreiviertels der Lastflanke 3.

Ansprüche

1. Kegelzahnrad (1) eines Kegelradgetriebes, dessen Zähne (2) jeweils eine Lastflanke (3) und eine Rückflanke (4) aufweisen, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
   - d a s s die Zähne (2) eine schrägverzahnte oder bogenverzahnte Flankenlinie, insbesondere gekrümmte Zahnlängslinie aufweisen,
   - d a s s die Zähne (2), insbesondere der obere in Eingriff kommende Bereich der Zähne, eine Oktoidenzahnform oder eine Kugelevolventenzahnform aufweisen und
   - d a s s die Zähne eine Materialmehrmenge (11) auf den Lastflanken (4) zur Verstärkung der Lastflanken (4) aufweisen, insbesondere so dass die Achse (9), welche durch den zahnkopfhalbierenden Punkt A_1 der Zahnkopfquerlinie (23) und durch den Mittelpunkt des Zahnrades verläuft, eine Asymmetrie der Zähne (2) aufzeigt.

2. Kegelzahnrad (1) nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s die Eingriffswinkel (6) der Zahnflanken entlang der Zähne (2) derart variabel sind, d a s s die Eingriffswinkel (6) der Zahnflanken entlang der Zähne (2) von der Zahnferse (13) zur Zahnzehe (14) hin abnehmen.

3. Kegelzahnrad (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s die Eingriffswinkel (6) der Zahnflanken entlang der Zähne (2) derart variabel sind, das von der Zahnferse (13) zur Zahnzehe (14) hin die Eingriffswinkel (6) um einem Betrag in einem Bereich von 0° bis 8°, insbesondere bis zu einem Betrag von 5°, abnehmen.

4. Kegelzahnrad (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Eingriffswinkel α (6) der Lastflanke (3) 25 bis 45 Grad, vorzugsweise 30 bis 40 Grad, beträgt.

5. Kegelzahnrad (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Materialmehrmenge (11) im unteren bzw. inneren Bereich der Lastflanke (3) angeordnet ist.

6. Kegelzahnrad (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Materialmehrmenge (11) innerhalb, des unteren Zweidrittels oder des unteren Dreiviertels der Lastflanke (3) angeordnet ist.

7. Kegelzahnrad (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Tangente (7) an einem beliebigen Punkt der Lastflanke (3), insbesondere am Teilkreis und Wälzkreis, flacher ist als die entsprechende Tangente der Rückflanke (4) und damit die Tangente (7) mit der radialen Zahnachse (9) einen größeren Winkel β (10) einschließt als auf der Rückflanke (4).

8. Kegelzahnrad (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass das Zahnrad ein Modul m im Bereich von 3 bis 30 aufweist.

9. Kegelzahnrad (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der Zahnkopf (22) eine Berandungs-modifikation, insbesondere eine variable Kopfverrundung entlang der Zahnkopflängslinie oder eine Kopfkürzung an der Zahnzehe aufweist, um eine Zahnkopfdicke von größer 0,3 x m zu gewährleisten.

10. Verfahren zur Herstellung eines Kegelzahnrades (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Zahngeometrie durch ein vier- oder Mehrachsverfahren, im besonderen Fünfachsverfahren gefertigt wird.

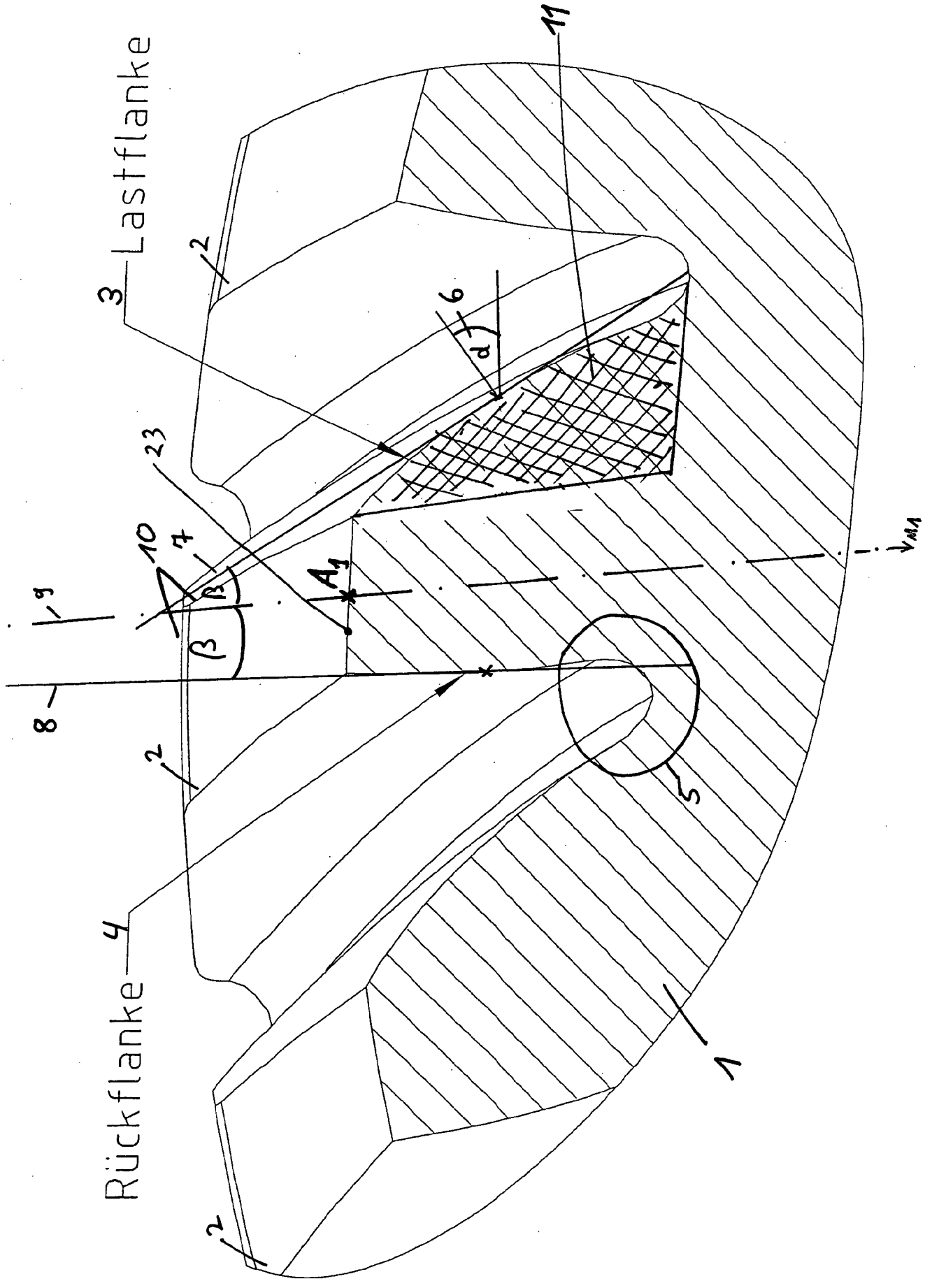
11. Verfahren zur Herstellung eines Kegelzahnrades (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die herstellenden Fertigungsverfahren Schleifen und / oder Fräsen sind.

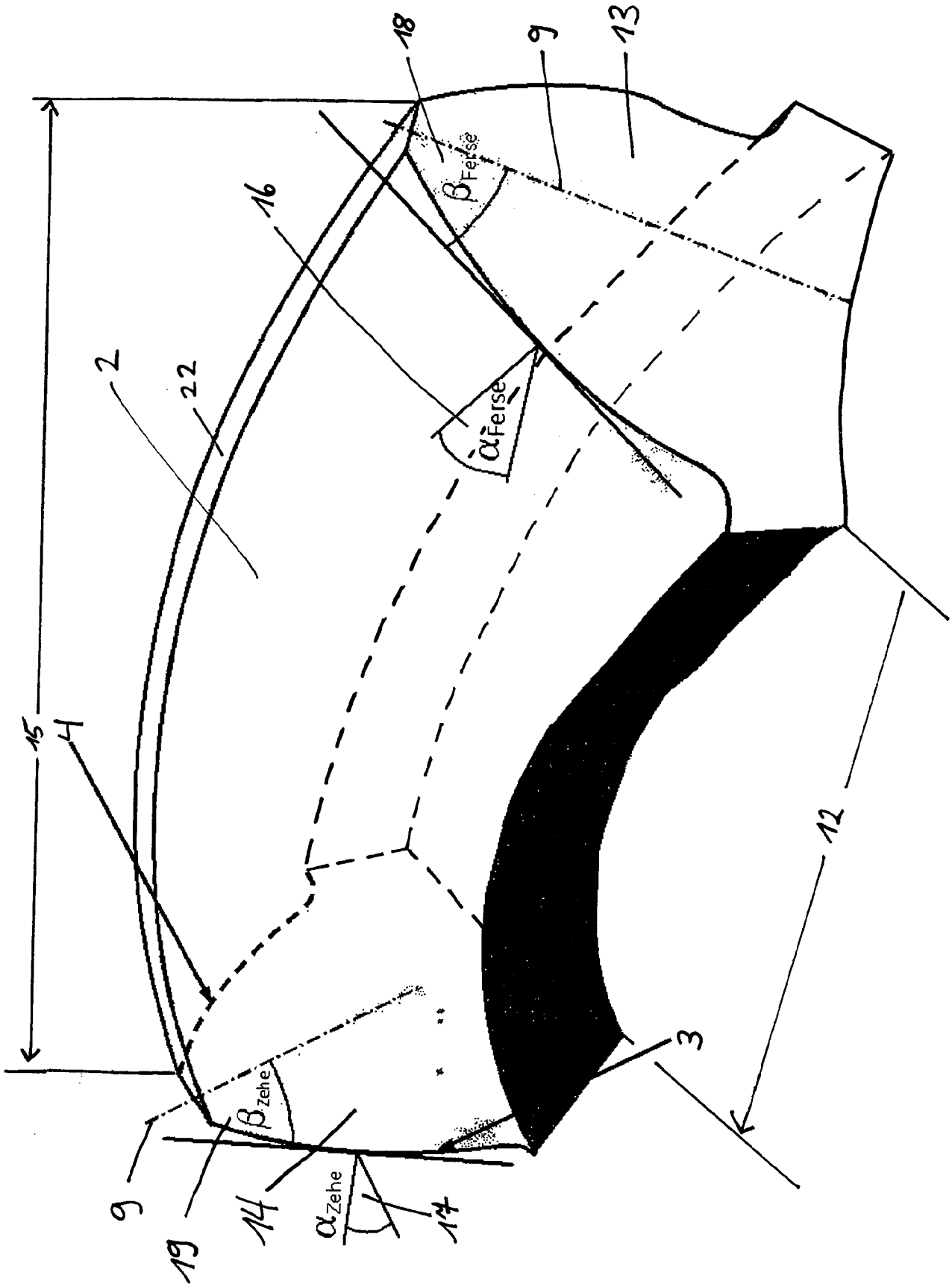
12. Verfahren zur Herstellung eines Kegelzahnrades (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Zahngeometrie durch punktgenaue dreidimensionale Materialabtragung hergestellt wird.

13. Verfahren zur Herstellung eines Kegelzahnrades (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass durch die punktgenauen Materialabtragung der Zahnflanken der Zähne (2) diese, insbesondere der in Eingriff kommenden Bereiche, die Form einer Kugelevolvente erhalten.

14. Verfahren zur Herstellung eines Kegelradgetriebes nach einem der vorhergehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass es zur Herstellung von Schiffsantriebsgetrieben, insbesondere Ruderpropellergetriebe, vorzugsweise als Unterwassergetriebe des Gondelantriebes, verwendet wird.

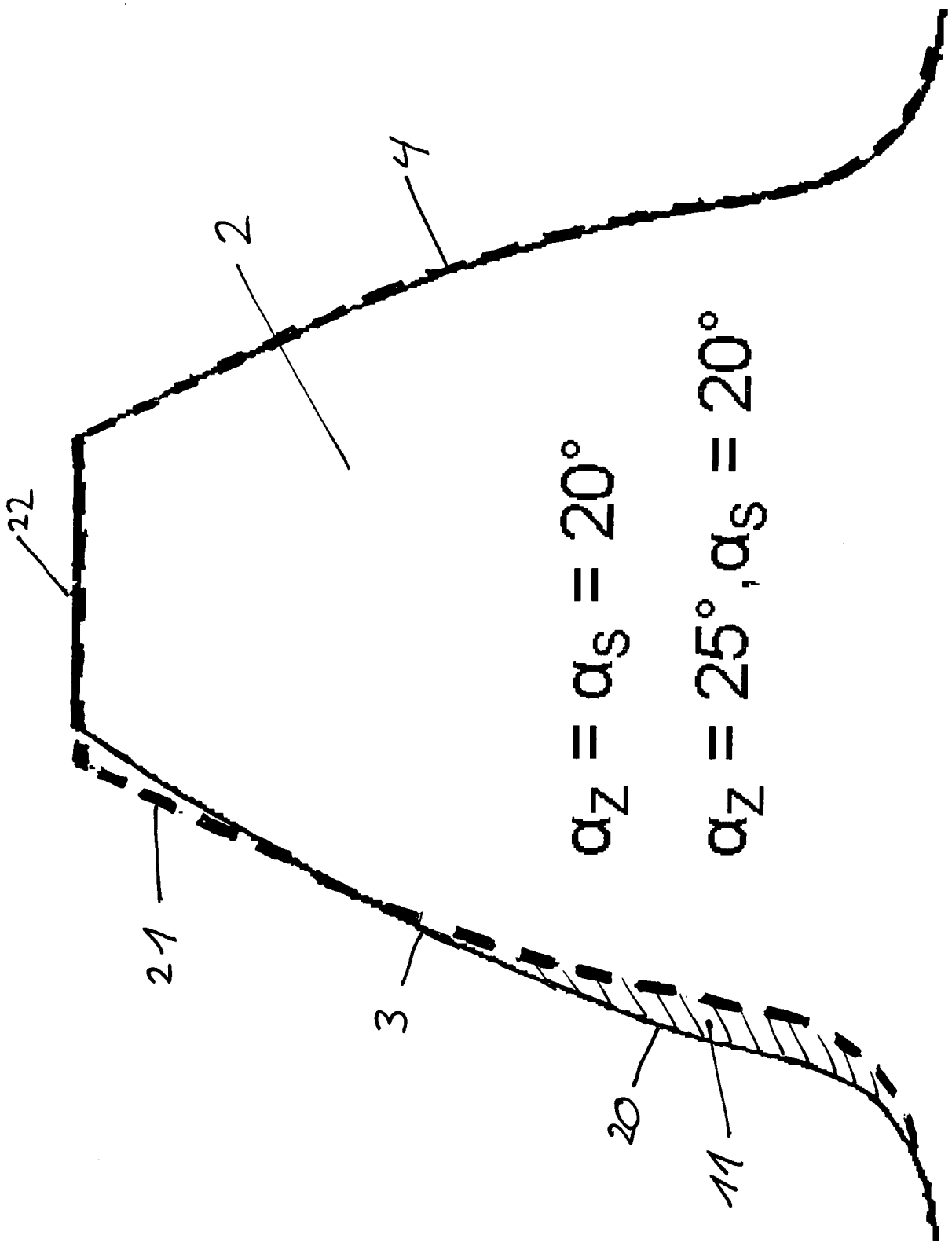
Fig. 1




18
9
13
16
β_{Ferse}
α_{Ferse}
2
22
15
4
12
3
β_{Zehe}
α_{Zehe}
9
19
14
17

Figur 2

Figur 3



Figur 4

