

CH 678291 A5



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① **CH 678291 A5**

⑤ Int. Cl.⁵: **B 23 F 17/00**

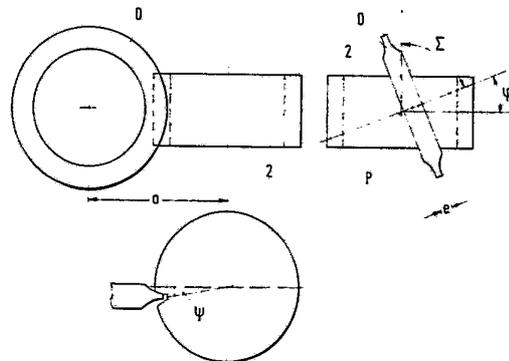
Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑲ Gesuchsnummer: 1773/89	⑦ Inhaber: Hermann Pfauter GmbH & Co., Ludwigsburg (DE)
⑳ Anmeldungsdatum: 11.05.1989	
⑳ Priorität(en): 12.05.1988 DE 3816270	⑦ Erfinder: Faulstich, Ingo, Dr.-Ing., Ludwigsburg (DE)
㉔ Patent erteilt: 30.08.1991	
④ Patentschrift veröffentlicht: 30.08.1991	⑦ Vertreter: Hepp Ryffel AG, Zürich

⑤ Verfahren zum diskontinuierlichen Profilschleifen bzw. Profilfräsen von Zahnrädern.

⑤ Die Flanken eines Werkstückes (2) werden mit einem Werkzeug (0) oder mit je einem Werkzeug für die Rechts- bzw. Linksflanken in separaten Arbeitsgängen mit Einstellparametern Achsabstand (a), Aussermittigkeit des Werkzeuges (e), Schwenkwinkel (ϕ) und Ausgangsdrehwinkel (τ) des Werkstückes bearbeitet. Bei Verwendung eines Werkzeuges (0), dessen Profil nur annähernd der Profilgeometrie des zu bearbeitenden Werkstückes (2) entspricht, werden die normalerweise auftretenden grossen Profilabweichungen durch gezielte Einstellung des Werkzeuges (0) zum Werkstück (2) vermieden. Die Einstellparameter (a), (e), (ϕ), (τ) werden iterativ durch Simulation des Bearbeitungsvorganges ermittelt, indem man als Einstellparameter Werte annimmt, etwa wie man sie der Auslegung eines genau auf die Werkstückverzahnung abgestimmten Werkzeuges zugrundelegen würde. Das Ergebnis wird auf einem Rechner oder durch Vermessen des Probewerkstückes bestimmt und mit den Sollwerten verglichen. Der Vorgang wird mit den geänderten Einstellparametern wiederholt. Aus dem ermittelten Zusammenhang zwischen Einstellparametern und Werkstückprofil werden die geänderten Einstellparameter abgeleitet und das Verfahren so lange wiederholt, bis das gewünschte Arbeitsergebnis erreicht wird.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum diskontinuierlichen Profilschleifen bzw. Profilfräsen von Zahnrädern nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Es ist allgemein bekannt, dass das Verfahren Profilschleifen von Zylinderrädern mit scheibenförmigem Werkzeug streng werkstückgebundene Werkzeuge benötigt (T. Bausch, Zahnradfertigung, Seite 434, 1986, expert verlag). Um die Flanken von Zylinderrädern mit unterschiedlicher Verzahnungsgeometrie bearbeiten zu können, sind demnach Werkzeuge mit unterschiedlicher Geometrie erforderlich. Das Abrichten entsprechender Schleifscheiben (Jahrbuch Schleifen, Honen, Läppen und Polieren, 51. Ausgabe: Prof. Dr.-Ing. J. Loomann, Profilschleifen von Schrägstirnrädern: Geometrische Grundlagen – Kontaktverhältnisse – Abrichtgerät, Seiten 180 bis 193, 1982, Vulkan-Verlag, Essen) hat sich bisher nicht allgemein durchsetzen können; man benötigt demnach je nach Teilespektrum eine mehr oder weniger grosse Anzahl unterschiedlich ausgelegter Scheiben. Die Beschaffung neuer Scheiben, aber auch die Aufbereitung nicht mehr einsatzfähiger Scheiben (Wiederbelegen) erfordert Zeit. Aus dem hier erläuterten Sachverhalt resultieren mehrere Nachteile des Profilschleifens mit nicht oder nur schwer oder nicht hinreichend genau abrichtbaren Scheiben; diese betreffen die Kosten – man benötigt z.Z. für jede Werkstückauslegung ein speziell ausgelegtes Werkzeug – und die termingerechte Bereitstellung der Werkzeuge. Insbesondere ergeben sich Probleme, wenn das Werkzeug nicht zur Werkstückverzahnung passt, weil z.B. die Werkstückdaten nicht korrekt vorgegeben oder das Werkzeug nicht korrekt gefertigt wurde. Grosse Probleme können auftreten, wenn ein Werkzeug beschädigt wird, aber kein Ersatz zur Verfügung steht. Die hier angeschnittenen Punkte haben besondere Bedeutung im Bereich der Einzel- und Kleinserienfertigung. Die hier geschilderte Problematik liegt auch vor bei der Bearbeitung von Zylinderrädern durch Profilschleifen bzw. Profilfräsen mit fingerförmigen Werkzeugen.

Aus dieser Situation ergibt sich die Aufgabe, die Flexibilität des Profilschleifens bzw. Profilfräsen von Zahnrädern zu erhöhen, ohne das Werkzeug mit einem geänderten Profil zu versehen.

Diese Aufgabe wird beim gattungsgemässen Verfahren erfindungsgemäss mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die Lösung der Aufgabe geht aus von der Erkenntnis, dass das vorgeschriebene Werkstückprofil unter idealen Voraussetzungen nur dann abweichungsfrei erzeugt werden kann, wenn das Werkzeug beim Schleifen bzw. Fräsen die Position relativ zum Werkstück einnimmt, die der Auslegung des Werkzeugprofils zugrunde liegt, und dass Abweichungen aus dieser Position zu Profilabweichungen und Zahnweitenabmassen am Werkstück führen. Untersucht man die Zusammenhänge näher, so erkennt man, dass über eine Änderung der Werkzeug-Einstellparameter insbesondere Profilwinkelabweichungen am Werkstück erzeugt werden können.

Profilwinkelabweichungen lassen sich aber bekanntlich in Grundkreisabweichungen umrechnen; siehe z.B. DIN 3960. Man erhält über eine Änderung der Einstellparameter also einen geänderten Grundkreis. Das erzeugte Profil lässt sich deshalb als Profil einer Verzahnung auffassen, die nicht der Auslegung des Werkzeuges zugrunde lag.

Es wird vorgeschlagen, für den Einsatz des nicht für die zu bearbeitende Verzahnung ausgelegten Werkzeuges über eine gezielte Änderung der Einstellparameter Achsabstand (bzw. Profilabstand) a , Aussermittigkeit e des Werkzeuges und Schwenkwinkel φ die am Werkstück zu erwartenden Profilabweichungen zu minimieren und die geforderte Zahnweite W_k über eine Anpassung des Ausgangsdrehwinkels ψ auf den geforderten Wert zu bringen. Die Bedeutung der Einstellparameter bei scheibenförmigen Werkzeugen ergibt sich aus Fig. 1. Der Achsabstand a ist der Abstand zwischen den Achsen des Werkzeuges 0 und des Werkzeuges 2. Unter der Aussermittigkeit e versteht man den Versatz des Werkzeuges 0 in Richtung seiner Achse gegenüber dem bei der Auslegung zugrunde gelegten Abstand vom Achskreuzpunkt P. Bei bekannten Verfahren beträgt die Aussermittigkeit e Null oder allenfalls einige hundertstel Millimeter. Beim erfindungsgemässen Verfahren ist die Aussermittigkeit e um Zehnerpotenzen grösser gezielt einzustellen, liegt also im Millimeterbereich. Der Schwenkwinkel φ ergibt sich zu $90^\circ - \text{Achskreuzwinkel } \Sigma$. Der Ausgangsdrehwinkel ψ ist der Winkel zwischen der Mitte der Werkstückzahnflanke und der kürzesten Verbindung der Achsen von Werkzeug 0 und Werkzeug 2.

Falls die zu erwartenden Profilabweichungen einen zu grossen Teil der zulässigen Profilabweichung ausschöpfen, ist das Werkstückprofil in zwei oder mehr Bereiche zu unterteilen, und dann in separaten Schleifdurchgängen mit unterschiedlichen Einstellparametern zu bearbeiten. Voraussetzung für einen erfolgreichen Einsatz des Verfahrens ist demzufolge die Kenntnis des quantitativen Einflusses der Einstellparameter auf das Profil des Werkstückes und eine Strategie zur Beseitigung dieser Abweichungen.

Es ist denkbar, den Einfluss der Einstellparameter auf das Profil angenähert über Versuche zu ermitteln; diese Vorgehensweise ist jedoch sehr zeit- und kostenintensiv. Zu empfehlen ist die Berechnung der einzelnen Einflüsse.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

Die Erfindung wird anhand eines in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 in schematischer Darstellung die verschiedenen Einstellparameter Achsabstand a , Aussermittigkeit e , Schwenkwinkel φ , Ausgangsdrehwinkel ψ und Achskreuzwinkel Σ zwischen einem scheibenförmigen Werkzeug und dem Werkstück;

Fig. 1a in schematischer Darstellung die verschiedenen Einstellparameter Profilabstand a , Aus-

sermüchtigkeit e , Schwenkwinkel φ , Ausgangsdrehwinkel ψ und Achskreuzwinkel Σ zwischen einem fingerförmigen Werkzeug und dem Werkstück;

Fig. 2 die Zerlegung der Profil-Gesamtabweichung F_α in die Anteile Zahnweitenabmass ΔW_k , Profilminkelabweichung $f_{H\alpha}$, Höhenballigkeit c_α und Profilverformabweichung $f_{f\alpha}$;

Fig. 3 den Einfluss des Achsabstandes a , der Aussermüchtigkeit e , des Schwenkwinkels φ und des Ausgangsdrehwinkels ψ auf das Zahnweitabmass ΔW_k , die Profil-Winkelabweichung $f_{H\alpha}$, die Höhenballigkeit c_α und die Profilverformabweichung $f_{f\alpha}$ für je ein gerad- bzw. schrägverzähntes Werkstück bei Bearbeitung mit einem scheibenförmigen Werkzeug.

Bei der Berechnung der einzelnen Einflüsse wird der Fertigungsprozess simuliert. Simuliert wird zunächst das Schleifen bzw. Fräsen der Werkstückverzahnung mit einem Werkzeug 0, das für ein Werkstück 2 mit ähnlicher Geometrie ausgelegt ist. Man wählt dazu den Achsabstand bzw. Profilverformabweichung F_α in vier Anteile, nämlich in ein Zahnweitenabmass ΔW_k und die aus der Zahnrad-Messtechnik bekannten Anteile Profilminkelabweichung $f_{H\alpha}$, Höhenballigkeit c_α und Profilverformabweichung $f_{f\alpha}$. Die Höhenballigkeit wird dabei im Profilverformdiagramm durch eine quadratische Parabel beschrieben.

Anschließend ändert man die Einstellparameter a , e , φ , ψ und wiederholt das vorstehend beschriebene Verfahren. Dabei erhält man andere Ergebnisse als im ersten Verfahren. Aus dem Vergleich dieser Ergebnisse leitet man ab, in welchem Sinne die Einstellparameter für die nächste Berechnung geändert werden sollen. Der Vorgang wird so oft wiederholt, bis geeignete Einstellparameter gefunden sind. Normalerweise ist das der Fall, wenn die Profilminkelabweichung $f_{H\alpha}$ gleich 0 und die Höhenballigkeit c_α und die Profilverformabweichung $f_{f\alpha}$ innerhalb vorgegebener Toleranzen liegen.

Lassen sich die vorgeschriebenen Toleranzen nicht einhalten und steht kein möglicherweise besser geeignetes Werkzeug 0 zur Verfügung, so muss die Bearbeitung einer Flanke des Zahns in zwei oder mehreren Durchgängen erfolgen. Man zerlegt dazu das geforderte Werkstückprofil in zwei (oder entsprechend mehr) Bereiche und wendet das hier beschriebene Verfahren auf jeden dieser Bereiche separat an.

Sind die Einstellparameter am Rechner gefunden, so kann die Bearbeitung an der Maschine erfolgen. Werkzeug 0 und Werkstück 2 sind dazu natürlich auf diese Parameter einzustellen.

Das vorgeschlagene Verfahren bietet auch die Möglichkeit, Kopf- und/oder Fussrücknahme mit einer unmodifizierten Scheibe 0 zu erzeugen. Dazu sind die einzelnen Bereiche je Flanke in separaten Durchgängen mit unterschiedlichen Einstellparametern zu bearbeiten.

tern zu bearbeiten.

Das Verfahren bietet ferner die Möglichkeit, Flanken von Zähnen mit Höhenballigkeit zu erzeugen.

5 Besonders vorteilhaft ist die Tatsache, dass die Beträge der Fuss- und Kopfrücknahme und in bestimmten Grenzen der Betrag der Höhenballigkeit über Maschineneinstellungen, also nicht über entsprechend profilierte Werkzeuge, gewählt werden kann. Das Verfahren bietet die Voraussetzung, für einen bestimmten Anwendungsbereich standardmässig Scheiben 0 auf Lager zu halten, so dass der Bezug bzw. das Wiederbelegen unabhängig von der aktuellen Bearbeitungsaufgabe erfolgen kann.

10 Werkzeuge zum Profilverfräsen besitzen als Hüllkörper die gleiche Geometrie wie die entsprechenden Werkzeuge zum Profilverfräsen. Auch die Fertigungskinetik beider Verfahren ist gleich. Das vorgeschlagene Verfahren lässt sich deshalb auch beim Profilverfräsen mit scheibenförmigen Werkzeugen anwenden.

20 Bei Abrichtsystemen, mit denen man nicht das theoretisch erforderliche Scheibenprofil erzeugen kann, lässt sich über das vorgeschlagene Verfahren eine deutliche Verbesserung der Arbeitsergebnisse erzielen. Derartige Fälle liegen vor, wenn man die Scheibe 0 nicht bahngesteuert abrichtet, sondern z.B. über Rollen, die zum Abrichten entsprechend zur Scheibe 0 eingestellt werden, oder wenn man die Scheibe 0 unter Verwendung von Schablonen abrichtet. Derartige Verfahren haben gegenüber dem Abrichten über numerisch gesteuerte Einrichtungen zurzeit noch Vorteile; dies gilt insbesondere für Anwendungen, in denen besonders hohe Anforderungen an die Oberflächenrauheit der Werkstückflanken gestellt werden.

30 Das Verfahren wird im folgenden anhand der Fig. 2 und 3 erläutert. Die Teilfigur 1 in Fig. 2 zeigt die Profil-Gesamtabweichung F_α über dem Wälzweg w . Diese Profil-Gesamtabweichung F_α wird, wie die Teilfiguren 2 bis 5 in Fig. 2 zeigen, in die vier Anteile Zahnweitenabmass ΔW_k , Profilminkelabweichung $f_{H\alpha}$, Höhenballigkeit c_α und Profilverformabweichung $f_{f\alpha}$ zerlegt. Diese in den Teilfiguren 2 bis 5 der Fig. 2 angegebenen Grössen können durch die beschriebenen Einstellparameter Achsabstand bzw. Profilverformabweichung F_α in vier Anteile, nämlich in ein Zahnweitenabmass ΔW_k und die aus der Zahnrad-Messtechnik bekannten Anteile Profilminkelabweichung $f_{H\alpha}$, Höhenballigkeit c_α und Profilverformabweichung $f_{f\alpha}$. Die Höhenballigkeit wird dabei im Profilverformdiagramm durch eine quadratische Parabel beschrieben.

40 45 50 55 60 65 Fig. 3 gibt die Verhältnisse für schrägverzähnte (ausgezogene Linien) bzw. geradverzähnte (gestrichelte Linien) Werkstücke wieder. Sie enthält auf der Abszisse nicht die Einstellparameter selbst, sondern deren Änderung gegenüber dem Auslieferungszustand. Fig. 3 zeigt die Auswirkungen der Einstellparameter Δa , Δe , $\Delta \varphi$ und $\Delta \psi$ auf die Grössen ΔW_k , $f_{H\alpha}$, c_α und $f_{f\alpha}$. Das Zahnweitenabmass ΔW_k lässt sich am einfachsten über den Einstellparameter $\Delta \psi$ also über eine Verdrehung des Werkstückes 2 einstellen, weil $\Delta \psi$ auf die anderen Grössen $f_{H\alpha}$, c_α und $f_{f\alpha}$ keinen Einfluss hat. Fig. 3 zeigt weiter, dass die Grössen $f_{H\alpha}$ und c_α durch die Einstellparameter Δa , Δe , und $\Delta \varphi$ optimiert werden können. Grundsätzlich lässt sich die Grösse

$f_{H\alpha}$ zu 0 machen. Die verbleibenden Grössen c_{α} und f_{α} begrenzen den Anwendungsbereich des Verfahrens.

Das grundlegende Verfahren ist nicht auf scheibenförmige Werkzeuge beschränkt; es lässt sich auch mit fingerförmigen Werkzeugen durchführen.

Beim Einsatz fingerförmiger Werkzeuge bestehen nämlich ähnliche Zusammenhänge zwischen den Werkzeug-Einstell-Parametern und dem Werkstück-Profil. Hier hat lediglich der Parameter a eine etwas andere Bedeutung als beim Einsatz eines scheibenförmigen Werkzeuges (vgl. Fig. 1a). Beim Einsatz fingerförmiger Werkzeuge kennzeichnet a den Abstand des Werkzeugprofils von der Achse des Werkstückes. Er wird gemessen in einer Ebene, welche die Werkstückachse enthält und senkrecht zur Aussermittigkeit liegt. Auf diese Ebene wird das Werkzeugprofil projiziert. Der Profilaabstand ist der Abstand eines Bezugspunktes auf der Werkzeugachse von der Werkstückachse in der vorstehend beschriebenen Ebene. Welcher Punkt als Referenzpunkt gewählt wird, spielt keine Rolle. Wichtig ist nur, dass das Werkzeugprofil in bezug auf diesen Punkt für die Simulation des Fertigungsprozesses bekannt ist und das Werkzeug in bezug auf diesen Punkt auf der Maschine positioniert wird.

Zum Schwenkwinkel beim Arbeiten mit fingerförmigem Werkzeug sei angemerkt: Der Schwenkwinkel φ ergibt sich auch hier zu 90° minus Achskreuzwinkel Σ . Beim konventionellen Einsatz von fingerförmigen Werkzeugen ist der Schwenkwinkel zumindest angenähert Null. Zur Erzielung des gewünschten Einflusses auf das Werkstückprofil ist dieser Winkel normalerweise nicht Null.

Patentansprüche

1. Verfahren zum diskontinuierlichen Profilschleifen bzw. Profilfräsen von Zahnrädern mit scheiben- bzw. fingerförmigen Werkzeugen, bei dem die Flanken eines Werkstückes mit einem Werkzeug oder mit je einem Werkzeug für die Rechts- bzw. Linksflanken in separaten Arbeitsgängen mit Einstellparametern Achsabstand – bei fingerförmigen Werkzeugen «Profilaabstand» – a , Aussermittigkeit des Werkzeuges e , Schwenkwinkel φ und Ausgangsdrehwinkel ψ des Werkstückes bearbeitet werden, dadurch gekennzeichnet, dass bei Verwendung eines Werkzeuges (0), dessen Profil nur angenähert der Profilageometrie des zu bearbeitenden Werkstückes (2) entspricht, die bei einem derartigen Einsatz normalerweise auftretenden grossen Profilaabweichungen am Werkstück (2) durch eine gezielte Einstellung des Werkzeuges (0) zum Werkstück (2) vermieden werden, wobei die Einstellparameter a , e , φ , ψ iterativ durch Simulation des Bearbeitungsvorganges auf einem Rechner oder durch Versuch ermittelt werden, indem man als Einstellparameter Werte annimmt, etwa wie man sie der Auslegung eines genau auf die Werkstückverzahnung abgestimmten Werkzeuges zugrundelegen würde, das damit zu erwartende Arbeitsergebnis auf einem Rechner oder durch Vermessen eines Probewerk-

stückes bestimmt, mit den Sollwerten vergleicht, den Vorgang mit geänderten Einstellparametern wiederholt und aus dem dabei ermittelten Zusammenhang zwischen den Einstellparametern und dem Werkstückprofil geänderte Einstellparameter ableitet und das Verfahren in der geschilderten Art so lange wiederholt, bis das gewünschte Arbeitsergebnis erzielt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mit einem Werkzeug (0), das für ein Werkstück (2) ohne Profilmodifikation ausgelegt wurde, mit geänderten Einstellparametern in je einem zusätzlichen Arbeitsgang eine Kopf- und/oder Fussrücknahme erzeugt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mit einem Werkzeug (0), das für ein Werkstück (2) ohne Höhenballigkeit oder für ein Werkstück (2) mit anderer Höhenballigkeit ausgelegt wurde, durch gezielte Einstellung des Werkzeuges (0) zum Werkstück (2) die gewünschte Höhenballigkeit erzeugt wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

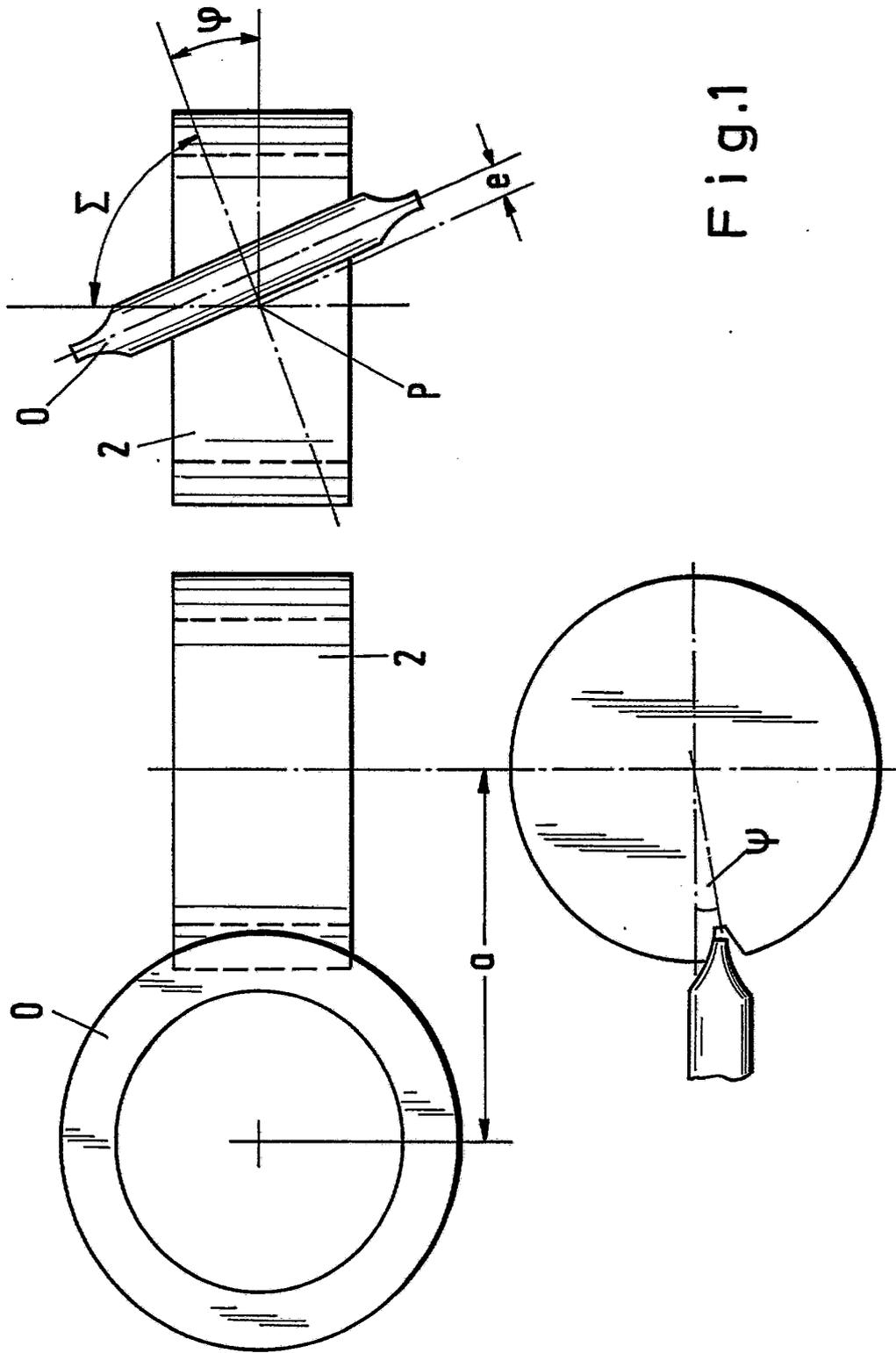


Fig.1

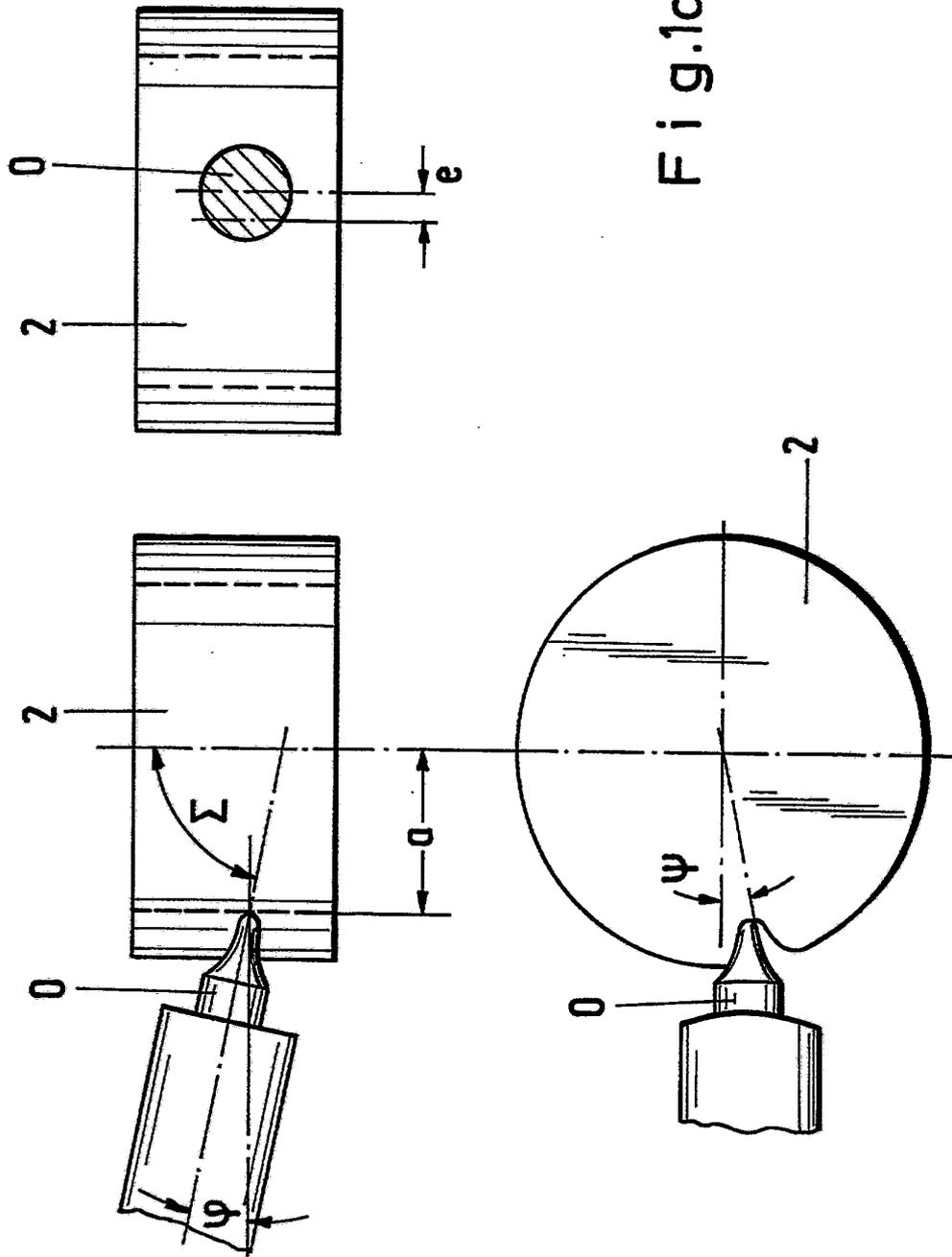


Fig. 1a

Fig.2

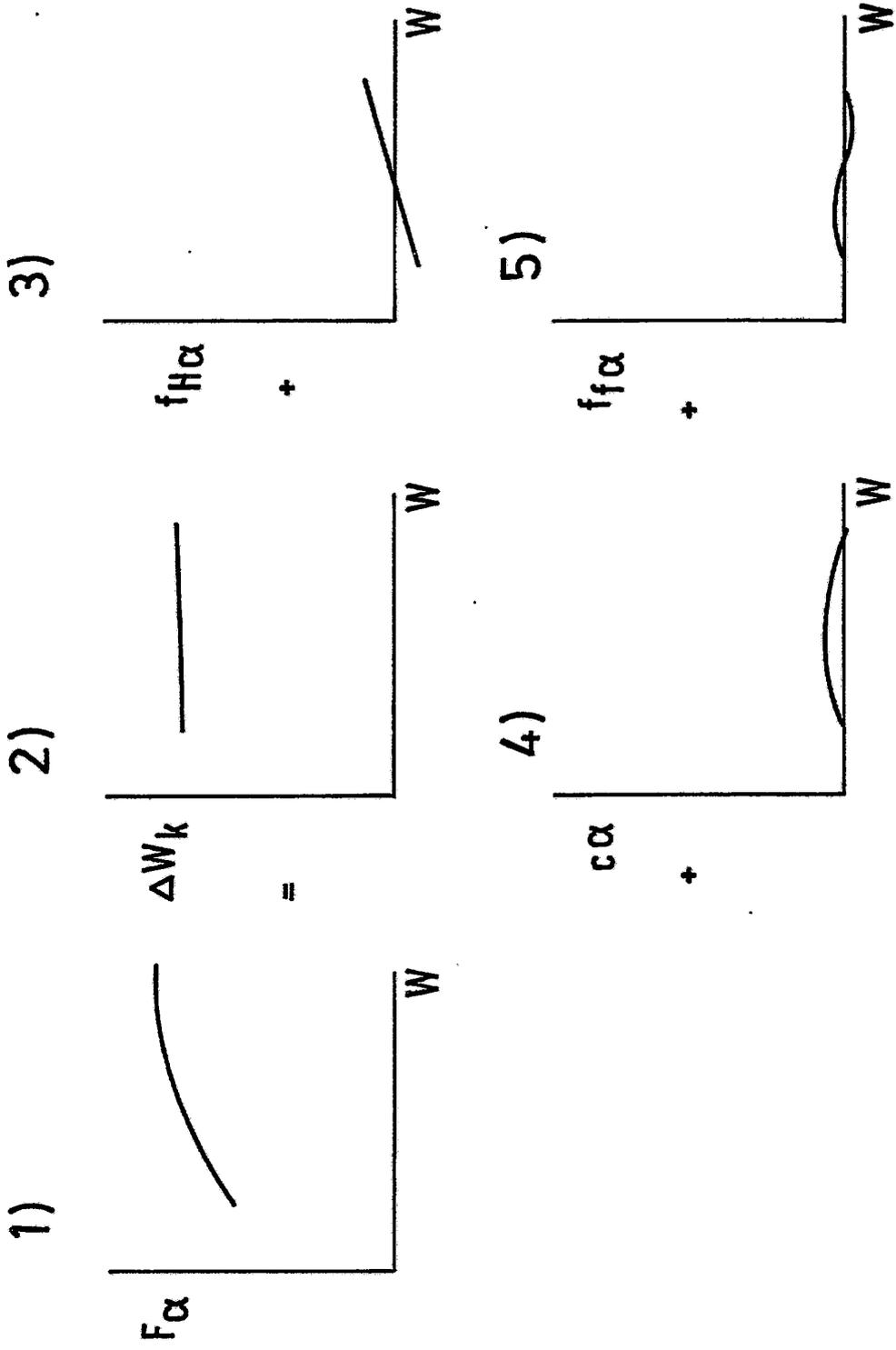


Fig. 3

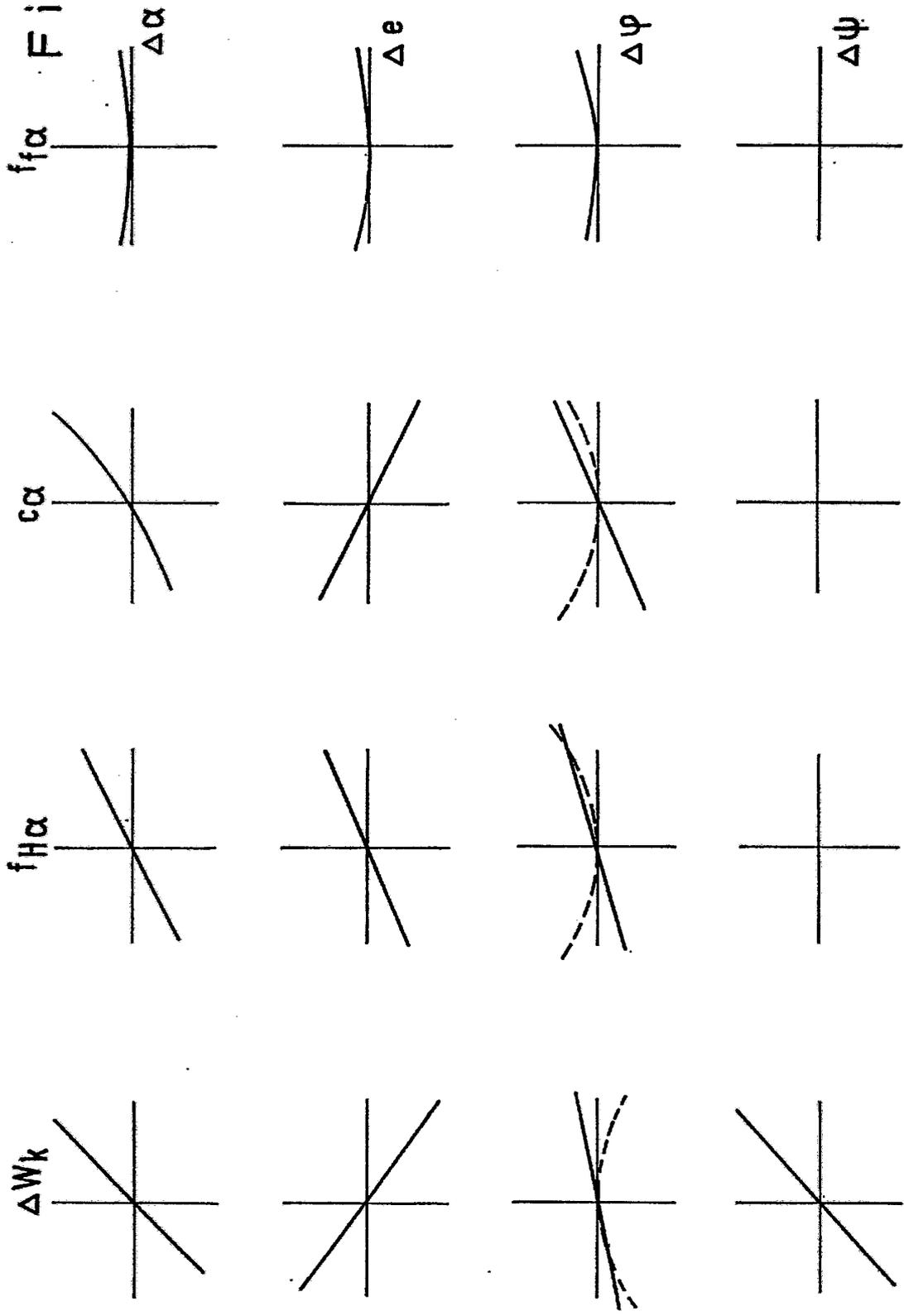


Fig. 3

Fig. 3