



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 228 072 A1

4(51) G 01 N 23/20

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 01 N / 268 031 1

(22) 05.10.84

(44) 02.10.85

(71) Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Mechanik, 1199 Berlin, Rudower Chaussee 5, DD

(72) Kämpfe, Bernd, Dr. sc. techn.; Michel, Bernd, Prof. Dr. sc. nat.; Nickel, Jürgen, Dr.-Ing.; Will, Peter, Dr. rer. nat.; Zimmermann, Peter, Dr.-Ing., DD

(54) Verfahren zur Bestimmung der Hauptspannungsachsenlage eines räumlichen Spannungszustandes

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Hauptspannungsachsenlage eines räumlichen Spannungszustandes, vorzugsweise in oberflächennahen Bereichen von Werkstücken oder Proben mit kristalliner Struktur, unter Verwendung der Röntgendiffraktion. Das Hauptanwendungsgebiet ist die Bestimmung der Lage des Eigenspannungszustandes von Werkstücken, wobei die Hauptspannungsachsen nicht parallel oder rechtwinklig zur Werkstückoberfläche verlaufen. Ziel ist, bei Verringerung des experimentellen und Auswertungsaufwandes den tatsächlichen Spannungszustand mit höherer Genauigkeit zu bestimmen. Aufgabengemäß werden der reale Spannungszustand, insbesondere der Spannungsgradient in die Werkstücktiefe, berücksichtigt und die Meßwerte des abgelenkten Sekundärstrahls bezüglich ihrer Symmetrieverteilung ausgewertet. Gemäß der Erfindung wird der einer Art von Kristallgitterebenen zugeordnete Reflexionswinkel unter einem konstanten Schrägungswinkel, jedoch unter verschiedenen Drehwinkeln vermessen, und der Verlauf des ausgemessenen Reflexionswinkels oder dessen reziproke Sinusfunktion in Abhängigkeit vom Drehwinkel aufgetragen, der Kurvenverlauf nach seiner Symmetrie ausgewertet und vier Grundtypen zugeordnet, sowie in deren Abhängigkeit die Kippwinkel der Hauptspannungsachsen gegenüber dem Laborsystem ermittelt. Fig. 1



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 228 072 A1

4(51) G 01 N 23/20

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 01 N / 268 031 1

(22) 05.10.84

(44) 02.10.85

(71) Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Mechanik, 1199 Berlin, Rudower Chaussee 5, DD
(72) Kämpfe, Bernd, Dr. sc. techn.; Michel, Bernd, Prof. Dr. sc. nat.; Nickel, Jürgen, Dr.-Ing.; Will, Peter, Dr. rer. nat.; Zimmermann, Peter, Dr.-Ing., DD

(54) Verfahren zur Bestimmung der Hauptspannungsachsenlage eines räumlichen Spannungszustandes

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Hauptspannungsachsenlage eines räumlichen Spannungszustandes, vorzugsweise in oberflächennahen Bereichen von Werkstücken oder Proben mit kristalliner Struktur, unter Verwendung der Röntgendiffraktion. Das Hauptanwendungsgebiet ist die Bestimmung der Lage des Eigenspannungszustandes von Werkstücken, wobei die Hauptspannungsachsen nicht parallel oder rechtwinklig zur Werkstückoberfläche verlaufen. Ziel ist, bei Verringerung des experimentellen und Auswertungsaufwandes den tatsächlichen Spannungszustand mit höherer Genauigkeit zu bestimmen. Aufgabengemäß werden der reale Spannungszustand, insbesondere der Spannungsgradient in die Werkstücktiefe, berücksichtigt und die Meßwerte des abgelenkten Sekundärstrahls bezüglich ihrer Symmetrieverteilung ausgewertet. Gemäß der Erfindung wird der einer Art von Kristallgitterebenen zugeordnete Reflexionswinkel unter einem konstanten Schrägungswinkel, jedoch unter verschiedenen Drehwinkeln vermessen, und der Verlauf des ausgemessenen Reflexionswinkels oder dessen reziproke Sinusfunktion in Abhängigkeit vom Drehwinkel aufgetragen, der Kurvenverlauf nach seiner Symmetrie ausgewertet und vier Grundtypen zugeordnet, sowie in deren Abhängigkeit die Kippwinkel der Hauptspannungsachsen gegenüber dem Laborsystem ermittelt. Fig. 1

Zur PS Nr. 22.80.72....
ist eine Zeitschrift erschienen.
(Teilweise bestätigt gem. § 18 Abs.1 d. Änd.Ges.z.Pat.Ges.)

Titel der Erfindung:

Verfahren zur Bestimmung der Hauptspannungsachsenlage eines räumlichen Spannungszustandes

Anwendungsgebiet der Erfindung:

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Lage der Hauptspannungsachsen eines räumlichen Spannungszustandes, vorzugsweise in oberflächennahen Bereichen von Werkstücken oder Proben mit kristalliner oder teilkristalliner Struktur, unter Verwendung der Röntgendiffraktion, wobei ein von einer Röntgenstrahlquelle ausgesandter Röntgenstrahl durch Kristallgitterebenen des Werkstückes bzw. der Probe gebeugt, der abgebeugte Sekundärstrahl von einem Strahleneempfänger aufgefangen und zwecks Ermittlung der Kristallgitterdehnung bzw. abgeleiteter Größen in Abhängigkeit vom Reflexionswinkel ausgewertet wird.

Die Erfindung ist vorrangig anwendbar zur Bestimmung der Lage und/oder der Veränderung des Eigenspannungszustandes von Werkstücken, dessen Hauptspannungsachsen nicht parallel oder rechtwinklig zur Oberfläche des zu untersuchenden Werkstückes verlaufen. In gleichem Maße ist jedoch auch die Untersuchung von Lastspannungszuständen von Werkstücken bzw. Proben möglich.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen:

Es ist bekannt, daß die Bestimmung von Spannungen in Werkstücken und Proben mittels Röntgendiffraktion erfolgen kann. Dabei wird im Grundmodell für die Bewertung des Spannungszustandes vorausgesetzt, daß zwei Hauptspannungsachsen parallel zur Probenoberfläche verlaufen und der Spannungszustand in dem von der Röntgenstrahlung erfaßten Untersuchungsbereich von Probe bzw. Werkstück konstant ist (E. Macherauch "Stand und Perspektiven der röntgenografischen Spannungsmessung - Teil 1", Metall 34 (1980) 5, S. 443 - 452).

Untersuchungen der letzten Jahre haben jedoch gezeigt, daß diese Voraussetzungen besonders bei spanend bearbeiteten oder durch Verschleiß beanspruchten Werkstücken bzw. Proben im allgemeinen nicht gegeben sind.

Die in der Fachliteratur veröffentlichten Verfahren zur röntgendiffraktometrischen Bestimmung bei Verkipfung der Hauptspannungsachsen gegenüber der Proben- bzw. Werkstückoberfläche lassen sich in zwei Varianten untergliedern. Bei der ersten Variante (vgl. J. Dölle, V. Hauck "Röntgenografische Spannungsermittlung für Eigenspannungssysteme allgemeiner Orientierung", HTM 31 (1976) 3, S. 165 - 168) wird aus den röntgendiffraktometrischen Meßwerten mittels eines Gleichungssystems mit sechs Unbekannten durch Ausgleichsrechnung der Verzerrungstensor bestimmt. Der Einfluß eines Spannungsgradienten in die Probentiefe wird nicht berücksichtigt.

Bei der zweiten Variante (W. Lode, A. Peiter "Numerik röntgenografischer Eigenspannungsanalysen oberflächennaher Schichten", 1. Teil HTM 32 (1977) 5, S. 235 - 240, 2. Teil HTM 32 (1977) 6, S. 308 - 313) wird aus der Nichtlinearität von Meßwertverteilungen die Verkipfung eines ebenen Spannungszustandes gegenüber der Probenoberfläche bestimmt. Der Spannungsgradient in die Probentiefe wird als konstant angenommen.

Beiden Varianten haften die Nachteile an, daß zur vollständigen Bestimmung der Lage von Hauptspannungsachsen eine große Anzahl von Meßwerten erforderlich ist, mit hohem Meßfehler

behaftete Meßwerte nicht erkennbar sind und die Berücksichtigung eines Spannungsgradienten in die Probentiefe nur ungenügend erfolgt. Dies führt zu einem hohen experimentellen und Auswertungsaufwand, wobei der tatsächlich vorhandene Spannungszustand nur relativ ungenau bestimmbar ist.

Ziel der Erfindung:

Es ist Ziel der Erfindung, ein Verfahren zur Bestimmung von Hauptspannungsachsenlagen räumlicher Spannungszustände von Werkstücken bzw. Proben mittels Röntgendiffraktion anzugeben, wobei bei Verringerung des experimentellen und Auswertungsaufwandes der tatsächlich vorhandene Spannungszustand mit höherer Genauigkeit bestimmbar ist.

Darlegung des Wesens der Erfindung:

Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Bestimmung der Lage der Hauptspannungsachsen eines räumlichen Spannungszustandes, vorzugsweise in oberflächennahen Bereichen von Werkstücken oder Proben mit kristalliner oder teilkristalliner Struktur, unter Verwendung der Röntgendiffraktion, wobei ein von einer Röntgenstrahlquelle ausgesandter Röntgenstrahl durch Kristallgitterebenen des Werkstückes bzw. der Probe gebeugt, der abgebeugte Sekundärstrahl von einem Strahlenempfänger aufgefangen und zwecks Ermittlung der Kristallgitterdehnung bzw. abgeleiteter Größen in Abhängigkeit vom Reflexionswinkel ausgewertet wird, zu schaffen, wobei der real vorhandene Spannungszustand, insbesondere der Spannungsgradient in die Probentiefe, berücksichtigt wird und die Meßwerte des abgebeugten Sekundärstrahls bezüglich ihrer Symmetrieverteilung ausgewertet werden.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß der einer Art von Kristallgitterebenen zugeordneten Reflexionswinkel unter einem konstanten Schrägungswinkel, jedoch unter verschiedenen Drehwinkeln der Lage von Werkstück bzw. Probe zur von Röntgenstrahl und Sekundärstrahl aufgespannten Ebene, vermessen wird und die Auswertung des abgebeugten Sekundärstrahls so erfolgt, daß der Verlauf des ausgemessenen Reflexionswinkels oder dessen reziproke Sinusfunktion in Abhängig-

keit vom Drehwinkel aufgetragen, der Kurvenverlauf nach dem Kriterium seiner Symmetrie ausgewertet und vier Grundtypen zugeordnet wird, und in Abhängigkeit von diesen Grundtypen die Kippwinkel der Hauptspannungsachsen des Spannungszustandes gegenüber dem Laborsystem ermittelt werden.

Ausführungsbeispiel:

Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. In der zugehörigen Zeichnung zeigen

Fig. 1: eine vereinfachte perspektivische Ansicht einer Diffraktometer-Einrichtung,

Fig. 2: Kurvenverläufe der reziproken Sinusfunktion des ausgemessenen Reflexionswinkels in Abhängigkeit vom Drehwinkel für vier Grundtypen.

Eine Diffraktometer-Einrichtung (Fig. 1) enthält eine Röntgenstrahlquelle 1 und einen Strahlenempfänger 2, welche am Umfang eines Diffraktometerkreises 3 verstellbar angeordnet sind. In dessen Mitte ist eine zu untersuchende Probe 4 mit kristalliner Struktur von einer (nicht gezeichneten) Halterung aufgenommen. Die Kanten der Probe 4 sollen die Koordinaten x , y , z eines kartesischen Koordinatensystems - des Laborsystems x , y , z - bestimmen.

Im Inneren der Probe 4 ist eine Schar (h, k, l) von Kristallgitterebenen 5 eines Kristalls des Probenmaterials durch Strichlinien (wesentlich vergrößert) angedeutet. Die gezeichnete Schar von Kristallgitterebenen 5 verläuft (in der in Fig. 1 gezeichneten Ausgangsstellung) unter einem Schrägungswinkel ψ zur Oberfläche der Probe 4 (x , y -Ebene), in der Ausgangsstellung zur x -Achse. Der Schrägungswinkel ψ ist auch gleichzeitig der Winkel zwischen dem Lot auf die Oberfläche der Probe 4 (Richtung der z -Achse) und der Normalen 6 der Kristallgitterebenen 5.

Die Probe 4 ist um die Achse z des Laborsystems x , y , z um einen Drehwinkel φ verschwenk- und einstellbar.

Es sei nun angenommen, daß die Probe 4 einem räumlichen Spannungszustand unterliegt, wobei die Lage der Hauptspannungsachsen u, v, w im Raum unbekannt ist (nicht gezeichnet). Demgemäß stimmt auch im allgemeinen die Lage der Koordinaten x, y, z des Laborsystems x, y, z nicht mit der Lage der Hauptspannungsachsen u, v, w überein.

Definitionsgemäß soll die Lage der Hauptspannungsachsen u, v, w bezüglich des Laborsystems x, y, z durch die Kippwinkel $\Delta\psi, \Delta\varphi$ und $\Delta\chi$ beschrieben werden:

Der Kippwinkel $\Delta\psi$ ist der Winkel, den die z -Achse mit der w -Achse einschließt.

Der Kippwinkel $\Delta\varphi$ ist der Winkel, den die Projektion der w -Achse auf die x, y -Ebene mit der x -Achse einschließt.

Der Kippwinkel $\Delta\chi$ schließlich ist der Winkel, den die Projektion der negativen z -Achse auf die u, v -Ebene mit der u -Achse einschließt.

Für den Sonderfall $\Delta\psi = 0$ ist auch $\Delta\varphi = 0$ und $\Delta\chi$ ist der Winkel, den die x -Achse mit der u -Achse einschließt.

Durch die Bestimmung der Werte für die Kippwinkel $\Delta\psi, \Delta\varphi, \Delta\chi$ läßt sich somit die Lage der Hauptspannungsachsen u, v, w des räumlichen Spannungszustandes der Probe 4 in bezug auf das Laborsystem x, y, z ermitteln.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird wie folgt durchgeführt: Die Probe 4 wird im Inneren des Diffraktometerkreises 3 in Ausgangsstellung gemäß Fig. 1 positioniert und fixiert. Nun wird die Röntgenstrahlquelle 1 am Umfang des Diffraktometerkreises 3 so angeordnet, daß der ausgesandte Röntgenstrahl R von einer Schar (h, k, l) von Kristallgitterebenen 5 als Sekundärstrahl S reflektiert wird, wobei die Schar (h, k, l) der Kristallgitterebenen 5 unter einem (konstanten) Schrägungswinkel ψ zur Oberfläche der Probe 4 (x, y -Ebene) liegt. Der Schrägungswinkel ψ liegt zwischen 0 und 90° und beträgt vorzugsweise 45° . Durch den Sekundärstrahl S wird der Reflexionswinkel ψ' bestimmt, der gemäß dem BRAGG'schen Reflexionsgesetz sich zwischen der Schar (h, k, l) der Kristallgitterebenen 5 und dem Sekundärstrahl S aufspannt und entsprechend vermessen wird. Dazu ist der Strahlenempfänger 2 am Umfang des Diffraktometerkreises 3 in entsprechender Lage zu positionieren.

Analoge Messungen des Reflexionswinkels ϑ' werden nun in einer Reihe durchgeführt, wobei die Probe 4 in Winkelschritten von vorzugsweise 15° um den Drehwinkel φ um die z-Achse um insgesamt 360° verdreht wird. In jeder dieser Meßstellungen der Probe 4 reflektiert eine andere Schar (h, k, l) von Kristallgitterebenen 5 den Röntgenstrahl R nach dem BRAGG'schen Reflexionsgesetz, nämlich gerade die Schar (h, k, l) von Kristallgitterebenen 5, die in jeder Meßstellung der Probe 4 unter dem (eingestellten) Schrägungswinkel ψ zur Oberfläche der Probe 4 liegt.

In jeder der genannten Meßstellungen wird der jeweils wirk-same Reflexionswinkel ϑ' gemessen und in Abhängigkeit vom Drehwinkel φ vermerkt.

Die Auswertung der Meßergebnisse erfolgt in nachstehenden Schritten:

Zunächst wird der Kurvenverlauf des ausgemessenen Reflexionswinkels ϑ' oder der Funktion $\frac{1}{\sin \vartheta'}$ in Abhängigkeit vom Drehwinkel φ aufgetragen. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wurde gemäß Fig. 2 die letztgenannte Funktion gewählt. In einem zweiten Schritt wird der gezeichnete Kurvenverlauf nach dem Kriterium seiner Symmetrie ausgewertet. Dabei wird der Kurvenverlauf den vier Grundtypen I bis IV nach Fig. 2 zugeordnet. Es wurde nämlich gefunden, daß das Symmetrieverhalten des Kurvenverlaufes des Reflexionswinkels ϑ' bzw. dessen reziproker Sinusfunktion in Abhängigkeit vom Drehwinkel φ davon abhängig ist, in welcher Lage sich die Hauptspannungsachsen u, v, w des räumlichen Spannungszustandes der Probe 4 in bezug auf das Laborsystem x, y, z befinden. Da diese Lage - wie oben beschrieben - durch die drei Kippwinkel $\Delta\psi$, $\Delta\varphi$ und $\Delta\chi$ bestimmt ist, gestattet die Zuordnung des durch Messung des Reflexionswinkels ϑ' ermittelten Kurvenverlaufes zu den Grundtypen I bis IV eine Aussage darüber, welche der Kippwinkel $\Delta\psi$, $\Delta\varphi$, $\Delta\chi$ gleich Null bzw. folglich von Null verschieden sind (s. Tabelle 1).

Grundtyp	$\Delta\gamma$	$\Delta\psi$	$\Delta\varphi$
I	0	0	0
II	$\neq 0$	0	0
III	$\neq 0$	$\neq 0$	0
IV	$\neq 0$	$\neq 0$	$\neq 0$

Tabelle 1

Aus der Zuordnung zu den Grundtypen I bis IV lassen sich, wie im folgenden dargestellt, die Kippwinkel $\Delta\psi$, $\Delta\varphi$ und $\Delta\gamma$ berechnen:

Wird in Auswertung der Meßergebnisse ein Kurvenverlauf nach Grundtyp I (vgl. Fig. 2) ermittelt, so stellt man einen symmetrischen Kurvenverlauf zur Ordinate bei $\varphi = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 360^\circ$ fest. Gemäß Tabelle 1 gilt $\Delta\gamma = \Delta\psi = \Delta\varphi = 0$, d. h. die Hauptspannungsachsen u, v, w entsprechen genau der Lage der Koordinaten x, y, z des Laborsystems.

Beim Grundtyp II ist der Kurvenverlauf symmetrisch zur Ordinate bei $\varphi = \alpha, 90^\circ + \alpha, 180^\circ + \alpha, 270^\circ + \alpha$ (α = Abstand der Symmetrielinie, die der Ordinate am nächsten liegt). Gemäß Tabelle 1 gilt $\Delta\gamma = \alpha$, während $\Delta\psi = \Delta\varphi = 0^\circ$ sind. Somit entspricht die Lage der Hauptspannungsachse w der Lage der Koordinate z des Laborsystems, während x- und u-Achse (und y- und v-Achse) den Winkel $\Delta\gamma = \alpha$ einschließen.

Beim Grundtyp III wird ein symmetrischer Kurvenverlauf zur Ordinate bei $\varphi = \alpha, 180^\circ + \alpha$ ermittelt. Gemäß Tabelle 1 gilt $\Delta\gamma = \alpha, \Delta\psi \neq 0, \Delta\varphi = 0$. Die Bestimmung des Wertes für $\Delta\psi$ erfolgt mittels der Bewertungsgleichung (1).

$$\tan 2\Delta\psi = \frac{y_{P5} - y_{P6}}{y_{P5} + y_{P6} - 2y_M} \approx \frac{j_{P5}^* - j_{P6}^*}{j_{P5}^* + j_{P6}^* - 2j_M^*} \quad (1)$$

Die Punkte P 5 und P 6 sind im Kurvenverlauf (Fig. 2) die Extrema gleichen Vorzeichens, die einen Differenzwinkel $= 180^\circ$ auf der Abszisse zueinander aufweisen. Der Punkt M ist der Mittelpunkt des Kurvenverlaufs, der mit der bekannten Diffraktometeranordnung nach BRAGG-BRENTANO ausgemessen werden kann.

In Fig. 1 entspricht das einem Winkel $\psi = 0$.

Beim Grundtyp IV ist der Kurvenverlauf bezüglich der Ordinate unsymmetrisch. Entsprechend Tabelle 1 gilt $\Delta \gamma \neq 0$, $\Delta \psi \neq 0$, $\Delta \varphi \neq 0$.

Der Kippwinkel $\Delta \psi$ ist nach Gleichung (2) bestimmbar:

$$\cos \Delta \psi = \cos \gamma \cdot \cos \Delta \alpha \quad (2)$$

Dabei sind

$$\cos \gamma = 1/2 \sqrt{2} \frac{1}{\cos \beta} \quad (3)$$

$$\sin \beta = 1/2 \sqrt{2} \sin \left(\frac{(\varphi_{P2} - \varphi_{P1})}{2} \right) \quad (4)$$

$$\tan 2\Delta \alpha \cong \frac{(\gamma_{P2} - \gamma_{P1}) \cdot \tan \beta}{\gamma_{P2} + \gamma_{P1} - \gamma_{P3} - \gamma_{P4} + \frac{\gamma_{P4} - \gamma_{P3}}{\sin 2\gamma}} \quad (5)$$

Der Kippwinkel $\Delta \varphi$ errechnet sich nun nach Gleichung (6):

$$\sin \Delta \varphi = \frac{\sin \gamma}{\sin \Delta \psi} \quad (6)$$

Nun kann der Kippwinkel $\Delta \gamma$ nach Gleichung (7) errechnet werden:

$$\Delta \gamma = \frac{\varphi_{P1} + \varphi_{P2}}{2} + \Delta \varphi - 90^\circ \quad (7)$$

In vorstehenden Gleichungen sind die Punkte P1 bis P4 wie folgt definiert:

Die Punkte P1 und P2 sind im Kurvenverlauf (Fig. 2) die Extrema gleichen Vorzeichens, deren Differenz den kleinstmöglichen Wert annimmt.

Die Punkte P3 und P4 bestimmen sich nach den Gleichungen (8):

$$\varphi_{P3} = \frac{\varphi_{P1} + \varphi_{P2}}{2} \quad (8)$$

$$\varphi_{P4} = \varphi_{P3} + 180^\circ$$

Vorstehende Gleichungen gelten unter nachstehenden Bedingungen:

$$\psi = 45^\circ$$

$$/YP1 - YM/ < /YP2 - YM/$$

Erfindungsanspruch

Verfahren zur Bestimmung der Lage der Hauptspannungsachsen eines räumlichen Spannungszustandes, vorzugsweise in oberflächennahen Bereichen von Werkstücken oder Proben mit kristalliner oder teilkristalliner Struktur, unter Verwendung der Röntgendiffraktion, wobei ein von einer Röntgenstrahlquelle ausgesandter Röntgenstrahl durch Kristallgitterebenen des Werkstückes bzw. der Probe gebeugt, der abgebeugte Sekundärstrahl von einem Strahlenempfänger aufgefangen und zwecks Ermittlung der Kristallgitterdehnung bzw. abgeleiteter Größen in Abhängigkeit vom Reflexionswinkel ausgewertet wird,

dadurch gekennzeichnet,

daß der einer Art (h, k, l) von Kristallgitterebenen (5) zugeordnete Reflexionswinkel (ϑ) unter einem konstanten Schrägungswinkel (ψ), jedoch unter verschiedenen Drehwinkeln (φ) der Lage von Werkstück bzw. Probe (4) zur von Röntgenstrahl (R) und Sekundärstrahl (S) aufgespannten Ebene, vermessen wird, und die Auswertung des abgebeugten Sekundärstrahls (S) so erfolgt, daß der Verlauf des ausgemessenen Reflexionswinkels (ϑ) oder dessen reziproke Sinusfunktion ($\frac{1}{\sin \vartheta}$) in Abhängigkeit vom Drehwinkel (φ) aufgetragen, der Kurvenverlauf nach dem Kriterium seiner Symmetrie ausgewertet und vier Grundtypen (I; II; III; IV) zugeordnet wird, und in Abhängigkeit von diesen Grundtypen (I; II; III; IV) die Kippwinkel ($\Delta\gamma$; $\Delta\psi$; $\Delta\varphi$) der Hauptspannungsachsen (u; v; w) des Spannungszustandes gegenüber dem Laborsystem (x; y; z) ermittelt werden.

- Hierzu zwei Seiten Zeichnungen -

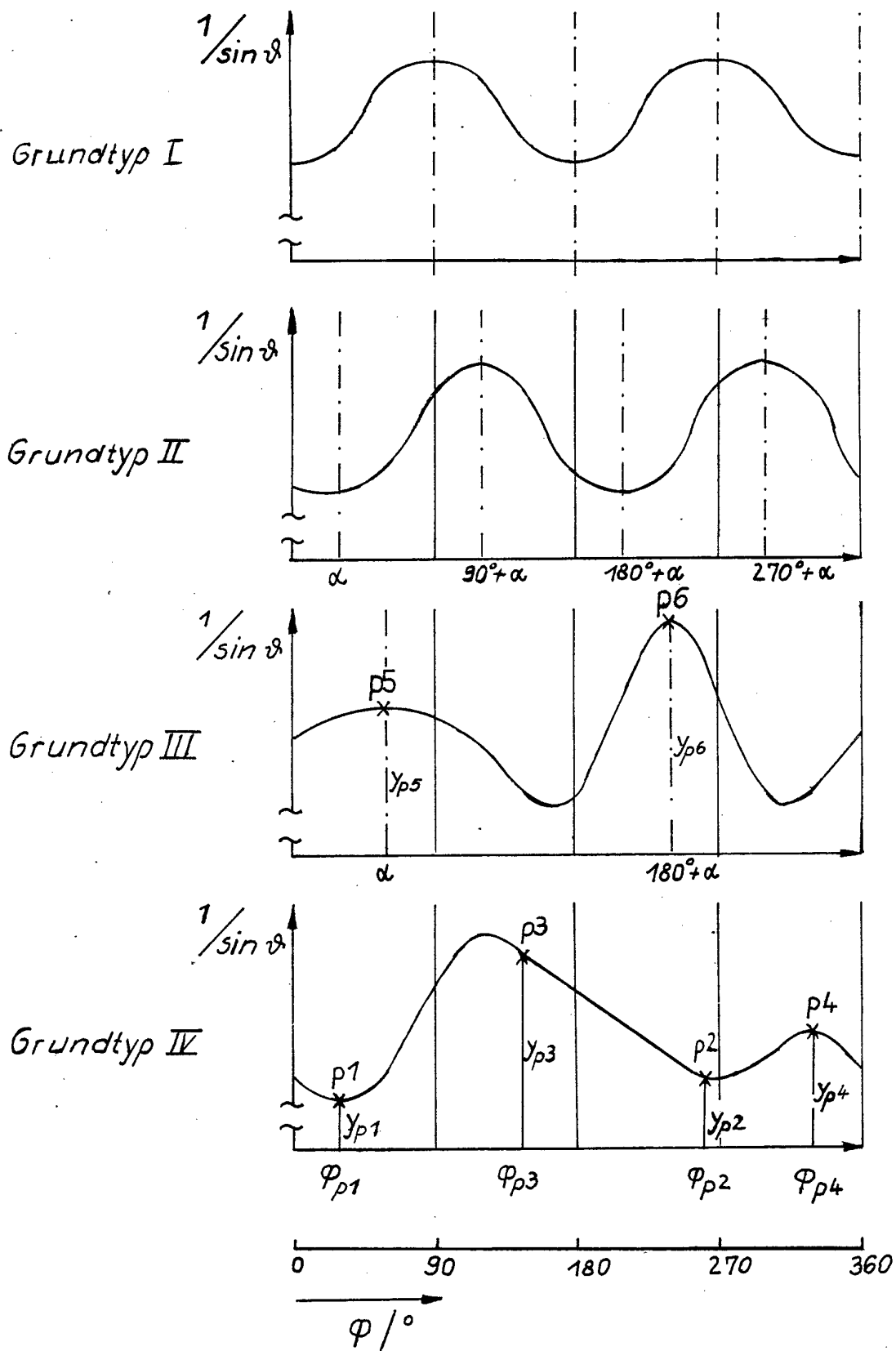


Fig. 2