

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

EP 0 976 469 A2

(12)

### EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
02.02.2000 Patentblatt 2000/05

(51) Int Cl.7: B21D 3/10, B21D 3/12

(21) Anmeldenummer: 99890245.6

(22) Anmeldetag: 21.07.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:  
• Schwenzfeier, Werner Friedrich Dipl.-Ing., Dr.-Ing.  
8700 Leoben (AT)  
• Gahleitner, Josef Dipl.-Ing.  
4020 Linz (AT)

(30) Priorität: 27.07.1998 AT 128998

(74) Vertreter: Wildhack, Helmut, Dr. Dipl.-Ing.  
Patentanwälte Wildhack-Jellinek,  
Landstrasser Hauptstrasse 50  
1030 Wien (AT)

(71) Anmelder: Institut für Verformungskunde und  
Hüttenmaschinen  
8700 Leoben (AT)

#### (54) Verfahren zum Linearrichten

(57) Die Erfindung befaßt sich mit einem Verfahren zum Richten von stangenförmigem, metallischem Gut mit gegebenenfalls unterschiedlicher Festigkeit über dem Querschnitt zur Einstellung von hoher Materialfestigkeit des Richtgutes und bestimmten oder niedrigen Restspannungen in diesem durch plastisches Druckverformen in Längsrichtung mit anschließender plastischer Dehnung.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß in einem er-

sten Schritt das stangenförmige Gut in sämtlichen Querschnittsbereichen einer Stauchung mit bleibender Formänderung in Längsrichtung unterworfen und in einem zweiten Schritt eine Dehnung desselben mit der Maßgabe durchgeführt wird, daß diese Dehnung mindestens bis zum teilweisen Fließen des Materials und höchstens bis zum Erreichen von gleich hohen Spannungen im gesamten Querschnitt erfolgt und danach beendet wird.

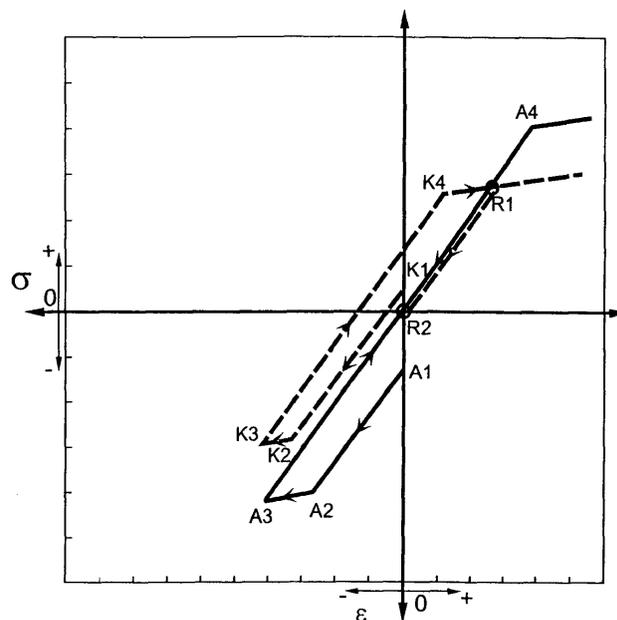


Fig. 1

EP 0 976 469 A2

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Richten von stangenförmigem, metallischem Gut mit gegebenenfalls unterschiedlicher Festigkeit über dem Querschnitt, beispielsweise von gewalzten und/oder mechanisch und/oder wärmetechnisch behandelten Stäben, wie Rundstangen, Eisenbahnschienen und dergleichen, zur Einstellung von hoher Materialfestigkeit des Richtgutes und bestimmten oder niedrigen Restspannungen in diesem durch plastisches Druckverformen in Längsrichtung mit anschließender plastischer Dehnung.

**[0002]** Ein lineares Richten von metallischem Stabmaterial erfolgt jeweils durch zumindest teilweises plastisches Verformen des Werkstoffes über den Querschnitt.

**[0003]** Ein wichtiges diesbezügliches Verfahren arbeitet mittels plastischer Dehnung in Längsrichtung, durch welche eine Verkleinerung des Querschnittes des Richtgutes bewirkt wird. Bei durchwegs homogenen oder konzentrisch bzw. symmetrisch gleichen Materialeigenschaften sind gute Richtergebnisse bzw. eine axlineare Ausrichtung des Gutes erreichbar. Dieses, vorzugsweise bei geringen Querschnitten des Stabmaterials verwendete, gegebenenfalls kontinuierliche Richtverfahren erfordert jedoch für größere Querschnitte und dergleichen Längen einen erheblichen maschinentechnischen Aufwand. Weiters kann mit einem derartigen Richtverfahren oft keine ausreichende Geradheit des Erzeugnisses erreicht werden, wenn im Richtgutquerschnitt unterschiedliche Festigkeitseigenschaften des Materials vorliegen.

**[0004]** Gemäß DE-OS- 1 527 434 wurde schon vorgeschlagen, für stangenförmiges Gut unterschiedlicher Materialfestigkeit im Querschnitt eine gleichmäßig gekrümmte Streckbahn zu verwenden, was allerdings nur bei gleichartig ausgebildeten örtlichen Abweichungen der Fließgrenze des Werkstoffes zielführend ist.

**[0005]** Besonders verbreitet, auch für größere Querschnitte des Richtgutes, ist ein sogenanntes Biegerichten, bei welchem der Stab, zumeist im Durchlaufverfahren, mittels Rollen auslaufend hin- und hergebogen wird. In den axfernen bzw.

**[0006]** oberflächennahen Bereichen des Gutes erfolgen dabei alternativ eine plastische Dehnung sowie eine dergleichen Stauchung des Richtgutes, wobei im linear ausgerichteten Material erhebliche örtliche Restspannungen verbleiben können. Es wurden schon nach diesem Prinzip wirkende Richtverfahren vorgeschlagen ( EP- 0 234 204), mit welchen eine Schiene an der Schienenfußseite nahezu frei von Längszugeigenspannungen ausrichtbar ist.

**[0007]** Um Eigenspannungsspitzen in den oberflächennahen Bereichen zu vermeiden bzw. gering zu halten, ist es auch bekannt, das Richtgut durch in Längsrichtung wirkende Druckspannungen plastisch zu verformen ( SU- 1 148 663 A) und gegebenenfalls diese

Spannungen durch an der Richtgutoberfläche eingeleitete gegensinnige Reibungsschubspannungen örtlich aufzubauen ( EP- 0 671 983 B1). Dieses Richten mittels Längsdruckspannungen besitzt zwar zumeist den Vorteil von kleinen verbleibenden Längseigenspannungen im Gut bei gutem Richteffekt, hat jedoch die Nachteile einer Vergrößerung des Querschnittes sowie des Wirksamwerdens des Bauschinger - Effektes. - Der Bauschinger - Effekt ist das Absinken der Festigkeitswerte, wenn die an eine plastische Verformung anschließende Materialbelastung gegengerichtet ist -. Weiters entstehen bei unterschiedlicher Materialfestigkeit in den Querschnittszonen unerwünschte Stabkrümmungen nach dem Richten durch plastisches Stauchen.

**[0008]** Aus der SU - 1 311 807 A1 ist ein Verfahren bekannt geworden, welches eine jeweils plastische Druckverformung mit anschließender Zugverformung offenbart, wobei insbesondere eine hohe Gleichmäßigkeit des Querschnittes des Richtgutes erreicht werden soll. Nachteilig dabei kann wiederum ein Entstehen von Krümmungen während des Richtens bei Festigkeitsunterschieden in Querschnittsbereichen des Stabes sein.

**[0009]** Die Erfindung setzt sich zum Ziel, die Nachteile der bekannten Richtmethoden für stangenförmiges metallisches Gut zu beseitigen und ein neues verbessertes Verfahren zu schaffen, mit welchem nach dem Richtvorgang der Stab bzw. die Stange hohe Linearität aufweist, auch wenn im Querschnitt derselben Bereiche mit unterschiedlicher Festigkeit vorliegen. In Erweiterung dieses Zieles ist es erfindungsgemäße Aufgabe, gewünschte Restspannungen im Richtgut zu minimieren und/oder auf gewünschte Werte einzustellen.

**[0010]** Dieses Ziel wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch erreicht, daß in einem ersten Schritt das stangenförmige Gut in sämtlichen Querschnittsbereichen einer Stauchung mit bleibender Formänderung in Längsrichtung unterworfen und in einem zweiten Schritt eine Dehnung desselben mit der Maßgabe durchgeführt wird, daß diese Dehnung mindestens bis zum teilweisen Fließen des Materials und höchstens bis zum Erreichen von gleich hohen Spannungen im gesamten Querschnitt erfolgt und danach beendet wird.

**[0011]** Die wesentlichen mit der Erfindung erreichten Vorteile bestehen darin, daß bei bester Richtgüte Längseigenspannungen im Gut in gewünschter Weise eingestellt oder im wesentlichen vollkommen abgebaut werden können. Durch die Materialdehnung im zweiten Schritt wird weiters eine hohe Dehngrenze des Richtgutes erreicht.

**[0012]** Die Erfindung fußt, wie gefunden wurde, auf folgenden Erkenntnissen: Liegen im Richtgutquerschnitt Bereiche mit unterschiedlicher Festigkeit, so werden im ersten Verfahrensschritt beim Stauchen die weniger festen Bereiche früher plastifiziert als die höherfesten; insgesamt soll jedoch die bleibende Formänderung möglichst gering gehalten werden. Erfolgt nun im zweiten Verfahrensschritt eine Dehnung des Stabes

bis die Spannungen im gesamten Querschnitt gleich hoch sind, dies bedeutet, daß die weniger festen Querschnittsbereiche eine entsprechend große bleibende Streckung erfahren haben, so liegen nach dem Entlasten keine axial gerichteten Eigenspannungen im Richtgut vor. Der Streckgrad wird dabei von der Fließfestigkeitsdifferenz im Materials bestimmt. Sollen aber, beispielsweise bei spanlos bearbeiteten Rundstangen, die oberflächennahen koaxialen Druckspannungen nur teilweise abgebaut werden, so ist die Dehnung derselben im zweiten Verfahrensschritt geringer vorzunehmen.

**[0013]** Besonders vorteilhafte Richtergebnisse mit gleichmäßig hohe mechanischen Materialkennwerten sind erreichbar, wenn im ersten Schritt das stangenförmige Material in Längsrichtung um weniger als 0,5 %, vorzugsweise um weniger als 0,4% , plastisch gestaucht wird.

**[0014]** Um gewünschte Gebrauchseigenschaften und hohe Reproduzierbarkeit der mechanischen Materialwerte zu erreichen, kann es weiters von Vorteil sein, wenn die Festigkeit und die Eigenspannungen in der oberflächennahe Zone des stabförmigen Gutes durch die Richtparameter eingestellt und auf dessen Betriebsbeanspruchung abgestimmt werden.

**[0015]** Verfahrenstechnisch, aber auch im Hinblick auf den anlagenmäßigen Aufwand kann es günstig sein, wenn beim Richten des stangenförmigen Gutes zumindest das Stauchen mit bleibender Formänderung in Teillängen schrittweise durchgeführt wird.

**[0016]** Im folgenden wird die Erfindung anhand von schematischen Diagrammen und von einem lediglich einen Ausführungsweg beschreibenden Beispiel mit zugehörigen graphischen Darstellungen näher erläutert.

**[0017]** Es zeigen:

- Fig. 1 ein Spannung- Dehnung-Diagramm für das erfindungsgemäße Verfahren ohne Berücksichtigung des Bauschinger - Effektes ( schematisch)
- Fig. 2 ein Spannung- Dehnung-Diagramm für das erfindungsgemäße Verfahren ohne Berücksichtigung des Bauschinger-Effektes, mit hohem Stauchgrad (schematisch)
- Fig. 3 ein Spannung- Dehnung- Diagramm für das erfindungsgemäße Verfahren mit Berücksichtigung des Bauschinger - Effektes
- Fig. 4 Längseigenspannungen in einem mechanisch randschichtverformten Stab A und diesbezügliche Ergebnisse nach dem Linearrichten mit unterschiedlichen bleibenden Dehnungen
- Fig.5 Längseigenspannungen in einem weiteren mechanisch randschichtverformten Stab B

**[0018]** In Fig. 1 ist schematisch ein Spannung-Dehnung- Diagramm für das erfindungsgemäße Verfahren dargestellt, wobei ein linear zu richtendes Gut Eigenspannungen und unterschiedliche Materialfestigkeit im

Querschnitt aufweist.

**[0019]** Im oberflächennahen Bereich A1 des Gutes liegen beispielsweise Druckspannungen -  $\sigma$  vor, die von Zugspannungen +  $\sigma$  im Kernbereich K1 ausgeglichen werden. Gemäß der Erfindung erfolgt im ersten Schritt ein Stauchen -E jeweils bis zur Elastizitätsgrenze der Bereiche A2 und K2 mit einem weiteren plastischen Teil der Formänderung nach A3 bzw. K3. Der unterschiedlichen Materialfestigkeit wegen sind die Druckspannungen -  $\sigma$  bei A3 im höherfesten Querschnittsbereich größer.

**[0020]** Nach einer Entlastung und einem Aufbringen von Zugspannungen + $\sigma$  erfolgt in geringer festem Materialbereich bei Erreichen der Fließspannung ( K4) eine plastische Dehnung +  $\epsilon$ , wohingegen die Formänderung im höher festen Materialbereich elastisch ist und erst wesentliche höhere Zugspannungen ( bei A4) eine Plastifizierung des Werkstoffes bewirken können. Wird jedoch, wie erfindungsgemäß vorgesehen ist, die Dehnung +  $\epsilon$  nach einem Erreichen von gleich hohen Spannungen +  $\sigma$  im gesamten Querschnitt, was im Diagramm von Fig. 1 sowie in den den weiteren Diagrammen mit R1 bezeichnet ist, beendet und das Richtgut entlastet, so verbleiben in diesem, wie durch R2 gezeigt ist, im wesentlichen keinerlei Restspannungen.

**[0021]** Aus Fig. 2 ist schematisch ein Spannung- Dehnung-Diagramm für das erfindungsgemäße Verfahren zu entnehmen, wobei im Querschnitt des zu richtenden Gutes anfänglich unterschiedliche Längseigenspannungen A1 und K1 gegeben sind. Das Stauchen des Richtgutes im vorgesehenen ersten Schritt des Verfahrens wird nach einem Erreichen der jeweiligen Elastizitätsgrenze A2 und A3 bzw. von K2 nach K3 vorgenommen.

**[0022]** Am Anschluß an die Entlastung erfolgt ein im zweiten Schritt vorgesehenes Dehnen bis die Spannungen +  $\sigma$  bei R1 im gesamten Querschnitt des Gutes gleich hoch sind. Wird nun die Zugbelastung beendet, ergibt sich eine elastische Formänderung R1 nach R2, wobei danach im Richtgut im wesentlichen keinerlei Restspannungen in Längsrichtung desselben vorliegen. Dessen Querschnitt jedoch ist durch die erhöhte plastische Druckverformung im ersten Schritt größer. Durch die Höhe des Stauchgrades im ersten Verfahrensschritt kann also der Durchmesser nach dem Richten des Stabes eingestellt werden.

**[0023]** Der gerade Verlauf der Dehnungskurven K3 nach K4 und A3 nach A4 nach einer plastischen Stauchung K2 nach K3 und A2 nach A3 ist idealisiert dargestellt und berücksichtigt nicht den vorher genannten Bauschinger- Effekt.

**[0024]** Fig. 3 zeigt im wesentlichen ein gleiches Diagramm, wobei dem Bauschinger - Effekt Rechnung getragen ist. Wird nach einer plastischen Druckumformung des Materials dieses einer Zugbelastung +  $\sigma$  ausgesetzt, so beginnt ein Fließen bzw. eine Plastifizierung schon bei wesentlich niedrigeren Spannungen  $\sigma$ , wie dies aus den gebogenen Kurvenformen K3 nach K4 so-

wie A3 in Richtung A4 im Diagramm hervorgeht.

**[0025]** In Fig. 4 sind die oberflächennahen Eigenspannungen eines randschichtverformten Stabes A aus einem Werkzeugstahl mit höherem Kohlenstoffgehalt gemäß DIN Werkstoff Nr. 1. 4112 mit einem Durchmesser von 30 mm sowie derartige Ergebnisse nach dem Richten desselben mit unterschiedlichen Parametern dargestellt. Dabei bedeuten die nach unten gerichteten Balken Druckspannungen, nach oben weisende Zugspannungen. Die Werte unter P1 vermitteln die Ergebnisse betreffend die Eigenspannungen von jeweils drei Messungen unmittelbar nach dem Randschichtverformen, gemessen mit der Bohrlochmethode für eine mittlere Bohrlochtiefe von 1,0 mm.

**[0026]** Die Werte L1 stellen jeweils vier Meßergebnisse nach einem Richten dar, bei welchem der randschichtverformte Stab einer plastischen Stauchung von  $\epsilon = -0,36\%$ , gefolgt von einer Streckung  $\epsilon$  mit  $+0,15\%$ , unterworfen wurde. Unter L1 sind vier Meßwerte für eine mittlere Bohrlochtiefe von 1,0 mm dargestellt. Aus den Meßwerten L1 im Vergleich mit jenen, ermittelt im Ausgangszustand (P1), ist eine geringe Senkung der Druckeigenspannungen im Oberflächenbereich des Stabes ersichtlich, dennoch muß das Dehnungsmaß von  $\epsilon = +0,15\%$  als nicht ausreichend gewertet werden.

**[0027]** Unter S1 in Fig. 4 sind jeweils vier Werte einer Spannungsermittlung nach vergrößerter Stabstreckung mit wiederum einer mittleren Bohrlochtiefe von 1,0 mm dargestellt. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen ist ablesbar, daß lediglich geringe Resteigenspannungen nach einem Richten mittels eines Stauchvorganges mit  $\epsilon = 0,36\%$ , gefolgt von einer Streckung  $\epsilon$  von  $+0,23\%$  im Stab gegeben sind.

**[0028]** Fig. 5 zeigt die Ergebnisse von Eigenspannungsmessungen von einem gleich randschichtverformten Stab B (P1), wobei ein Linearrichten mit einem ersten Schritt einem Stauchen im Ausmaß von  $\epsilon = -0,36\%$  und mit einem zweiten Schritt einem Strecken von  $\epsilon = +0,13\%$  (L1) sowie von  $\epsilon = 0,21\%$  (S2) angewendet wurde. Die Ermittlung der Werte von P1, L1 und S1 erfolgte wiederum mittels der Bohrlochmethode für eine mittlere Eigenspannungsmeßlochtiefe von 1 mm. Die Ergebnisse S1 zeigen, daß das Richtgut äußerst geringe Eigenspannungen in Längsrichtung besitzt.

**[0029]** In umfangreichen Reihenuntersuchungen wurde gefunden, daß die vorzusehenden Werte für das Ausmaß des Stauchens im ersten Schritt und jenes der Dehnung im zweiten Schritt des erfindungsgemäßen Linearrichtverfahrens durch Berechnungen unter Zugrundelegung der Werkstoffkennwerte des Richtgutes ermittelt werden können.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Richten von stangenförmigem, metallischem Gut mit gegebenenfalls unterschiedlicher Festigkeit über dem Querschnitt, beispielswei-

se von gewalzten und/oder mechanisch und/oder wärmetechnisch behandelten Stäben wie Rundstangen, Eisenbahnschienen und dergleichen, zur Einstellung von hoher Materialfestigkeit des Richtgutes und bestimmten oder niedrigen Restspannungen in diesem durch plastisches Druckverformen in Längsrichtung mit anschließender plastischer Dehnung, **dadurch gekennzeichnet**, daß in einem ersten Schritt das stangenförmige Gut in sämtlichen Querschnittsbereichen einer Stauchung mit bleibender Formänderung in Längsrichtung unterworfen und in einem zweiten Schritt eine Dehnung desselben mit der Maßgabe durchgeführt wird, daß diese Dehnung mindestens bis zum teilweisen Fließen des Materials und höchstens bis zum Erreichen von gleich hohen Spannungen im gesamten Querschnitt erfolgt und danach beendet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß im ersten Schritt das stangenförmige Material Längsrichtung um weniger als  $0,5\%$ , vorzugsweise um weniger als  $0,4\%$ , plastisch gestaucht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Festigkeit und die Eigenspannungen in der oberflächennahen Zone des stabförmigen Gutes durch die Richtparameter eingestellt und auf dessen Beanspruchung abgestimmt werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß beim Richten des stangenförmigen Gutes zumindest das Stauchen mit bleibender Formänderung in Teillängen schrittweise durchgeführt wird.

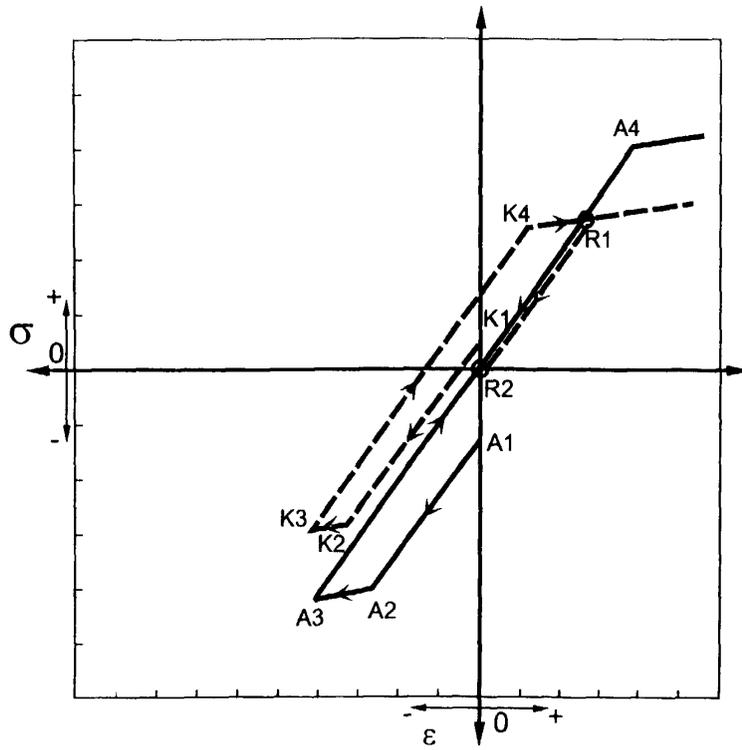


Fig. 1

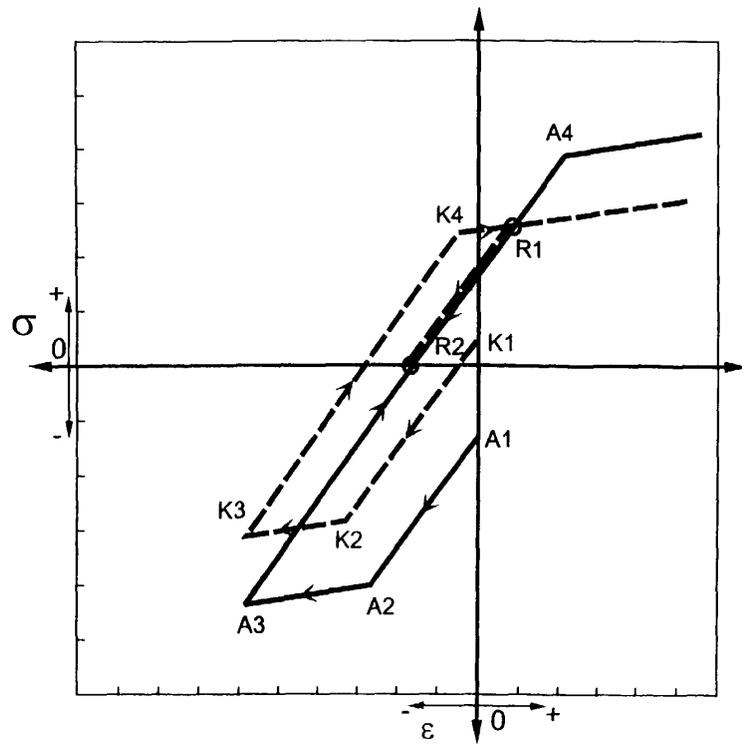


Fig. 2

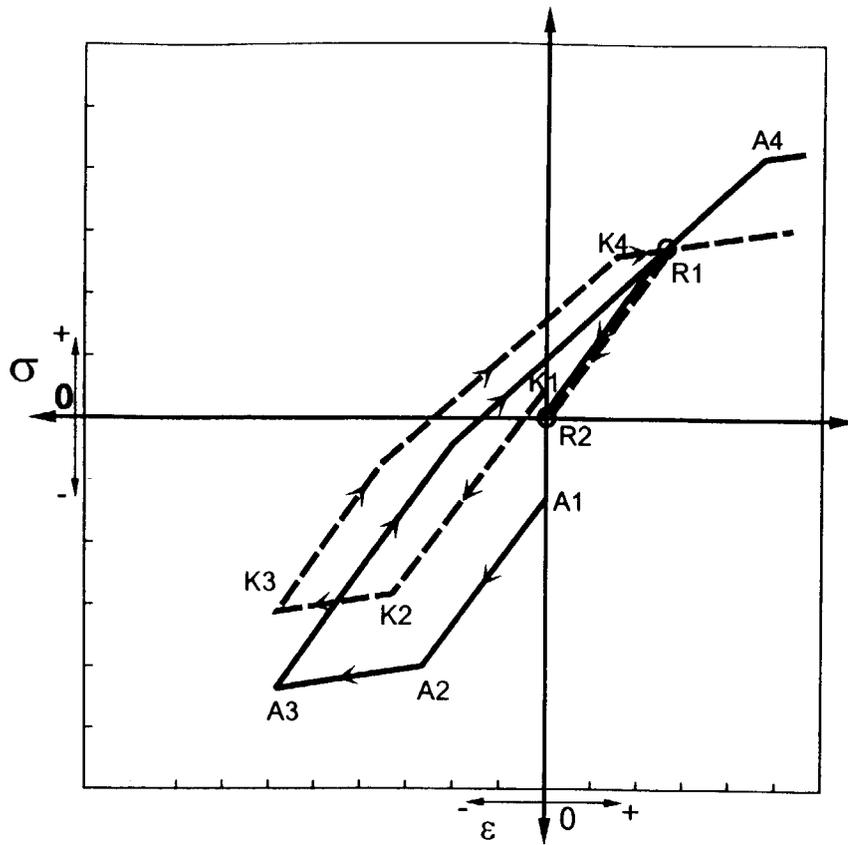


Fig. 3

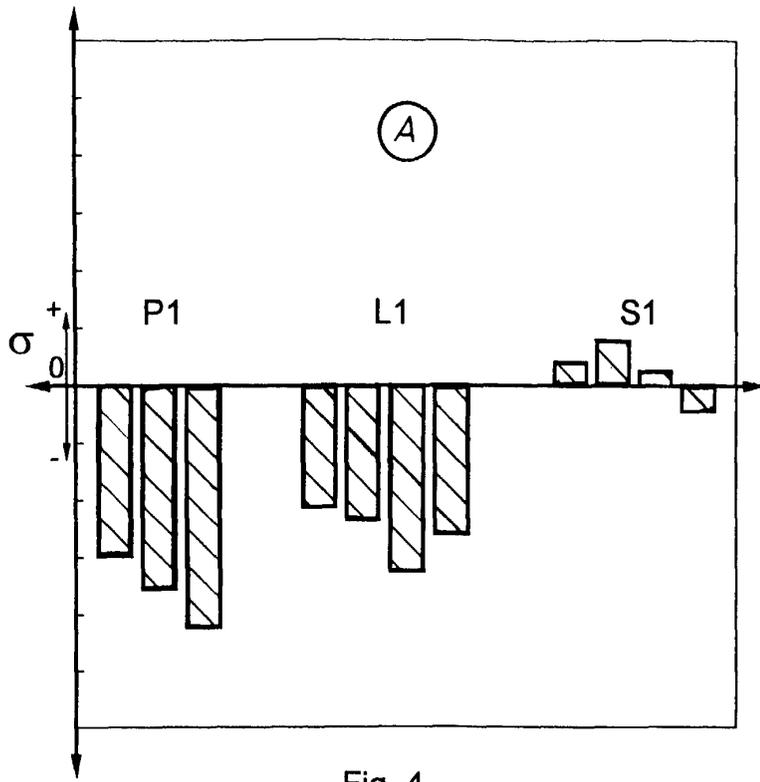


Fig. 4

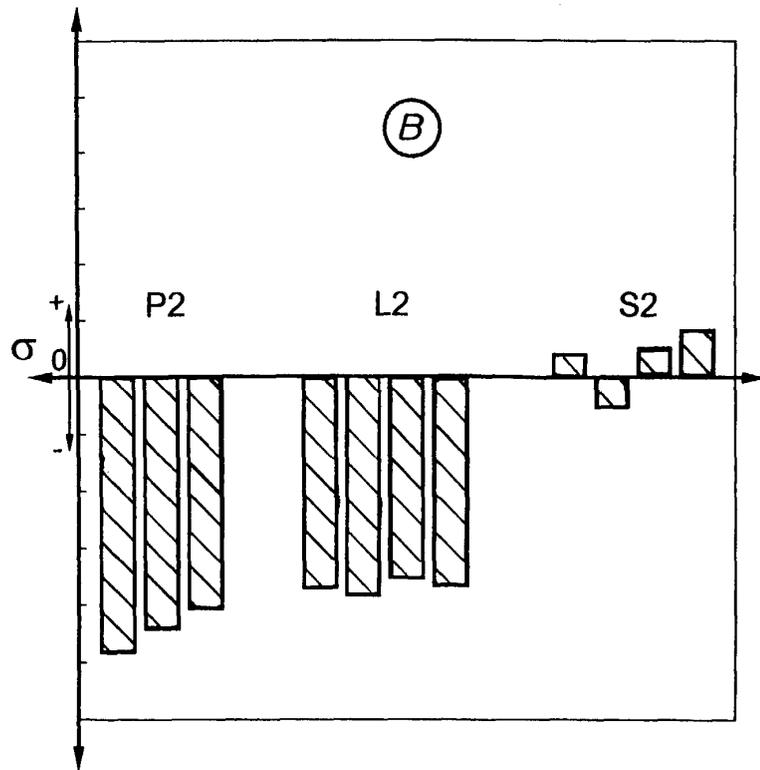


Fig. 5