

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 114 976 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
11.07.2001 Patentblatt 2001/28

(51) Int Cl.7: **F28F 13/12**, F28F 1/40,
F28F 3/02

(21) Anmeldenummer: **00811044.7**

(22) Anmeldetag: **07.11.2000**

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

(30) Priorität: **28.12.1999 DE 19963374**

(71) Anmelder: **ALSTOM Power (Schweiz) AG
5401 Baden (CH)**

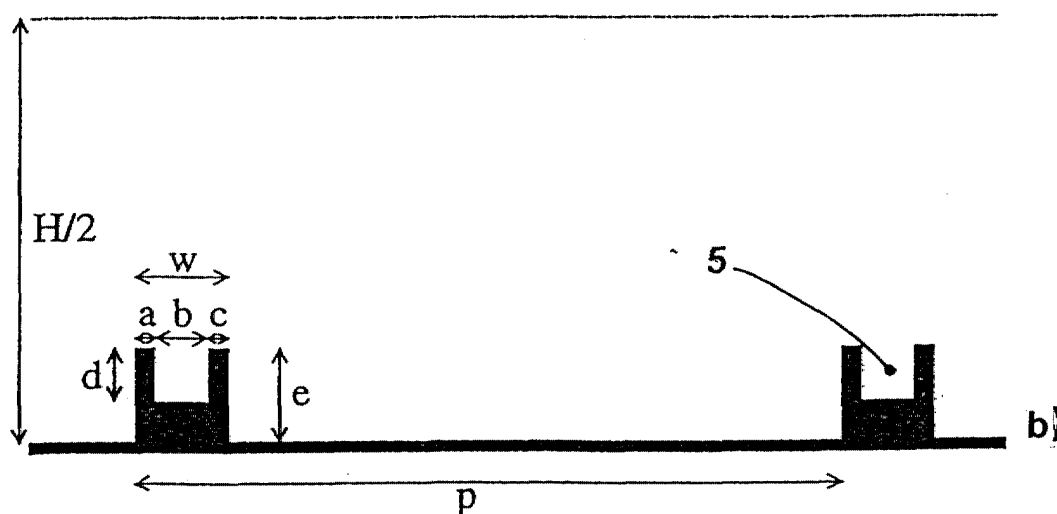
(72) Erfinder:
• **Beeck, Alexander, Dr.
79790 Küssaberg (DE)**
• **Bonhoff, Bernhard, Dr.
5400 Baden (CH)**
• **Parneix, Sacha, Dr.
8057 Zürich (CH)**
• **Weigand, Bernhard, Prof. Dr.
70794 Filderstadt-Sielmingen (CH)**

(54) **Vorrichtung zur Kühlung einer, einen Strömungskanal umgebenden Strömungskanalwand mit wenigstens einem Rippelement**

(57) Vorrichtung zur Kühlung einer, einen Strömungskanal (4) umgebenden Strömungskanalwand (1) mit wenigstens einem, in ein, durch den Strömungskanal (4) hindurchtretendes Strömungsmedium, Strömungswirbel induzierenden Rippelement (2,3), das an der, dem Strömungskanal (4) zugewandten Seite der Strömungskanalwand (4) angebracht ist und dessen Form und Größe unter Massgaben eines bestimmten

Wärmeübergangskoeffizienten sowie eines bestimmten, durch das Überströmen des Rippelementes (2,3) mit dem Strömungsmedium in diesem verbundenen Druckverlust gewählt sind, wobei das Rippelement (2,3) unter weitgehendem Beibehalten seiner ursprünglichen Form und/oder Größe, seine, dem Strömungskanal (4) zugewandte Oberfläche vergrößernde Konturen aufweist.

Fig. 1



EP 1 114 976 A2

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Kühlung einer, einen Strömungskanal umgebenden Strömungskanalwand mit wenigstens einem, in ein durch den Strömungskanal hindurchtretendes Strömungsmedium Strömungswirbel induzierenden Rippenelement, das an der, dem Strömungskanal zugewandten Seite der Strömungskanalwand angebracht ist und dessen Form und Größe unter Massgaben eines bestimmten Wärmeübergangskoeffizienten sowie eines bestimmten, durch das Überströmen des Rippenelementes mit dem Strömungsmedium in diesem verbundenen Druckverlust gewählt sind.

Stand der Technik

[0002] Auf dem Gebiet der Gasturbinentechnik werden große Anstrengungen unternommen den Wirkungsgrad derartiger Anlagen zu steigern. Es ist bekannt, dass eine Temperaturerhöhung in den, durch die Verbrennung eines Luft-/Brennstoffgemisches innerhalb der Brennkammer entstehenden Heißgasen zugleich mit einer Steigerung des Gasturbinenwirkungsgrad verbunden ist. Eine Erhöhung der Prozesstemperatur setzt allerdings voraus, dass all jene Anlagenkomponenten, die in unmittelbarem thermischen Kontakt mit den Heißgasen treten, eine hohe Hitzeresistenz besitzen. Die Hitzeresistenz ist jedoch auch selbst bei speziell hitzebeständigen Materialien auf der Temperaturskala nach oben hin begrenzt, so dass bei Überschreiten bestimmter materialspezifischer Grenztemperaturen eine Materialaufschmelzung unvermeidbar ist. Um derartige Aufschmelzvorgänge zu vermeiden und andererseits dennoch hohe Prozesstemperaturen innerhalb des Gasturbinensystems zu gewährleisten, sind Kühlungssysteme bekannt, die jene Anlagenkomponenten gezielt kühlen, die den Heißgasen unmittelbar ausgesetzt sind. So sind beispielsweise die Turbinenschaufeln, ebenso wie die Brennkammerwände mit Kühlkanälen kombiniert, durch die im Verhältnis zu den Temperaturen der Heißgase relativ kalte Luft eingespeist wird, die beispielsweise aus der Luftverdichterstufe zu Kühlzwecken abgezweigt wird. Der durch die Kühlkanäle hindurchströmende Kühlluftstrom kühlt die Kühlkanalwände und wird selbst durch diese aufgewärmt. Um den Kühleffekt und den damit verbundenen Wärmeübergang von den Kühlkanalwänden zum Kühlmedium Luft zu verbessern, sind Vorkehrungen getroffen worden, durch die die thermische Kopplung zwischen Kühlmedium und Kühlkanalwand optimiert werden kann. So ist es bekannt, dass durch Vorsehen von Rippenzügen an der Innenwand des Kühlkanals gezielte turbulente Strömungsanteile innerhalb des durch den Kühlkanal hindurchtretenden Kühlmittelstromes erzeugt werden können, die Strömungskomponenten senkrecht auf die

Kühlkanalwand aufweisen. Hierdurch wird der Anteil des Kühlmittelmassenstromes, der mit dem Kühlkanalwänden in unmittelbarem thermischen Kontakt tritt, entscheidend erhöht werden, wodurch auch die Kühlwirkung erheblich verbessert wird. So bildet sich durch Vorsehen entsprechender Rippenzügen entlang der Kühlkanalwand neben der, durch den Kühlkanal hindurch strömenden Hauptströmung eine sogenannte Sekundärströmung aus, deren Strömungsanteile, wie vorstehend angedeutet, weitgehend senkrecht auf und von der Kühlkanalwand gerichtete Strömungsrichtungen aufweist. Insbesondere bei geradlinig ausgeformten Rippenzügen, die schräg zur Hauptströmungsrichtung angeordnet sind, bilden sich, wie man gefunden hat, verhältnismäßig stabile und stark ausgeprägte Sekundärströmungswirbel aus, die zu einer erhöhten Durchmischung der Kühlkanalwand nahen Grenzschicht führen, durch die vermehrt kalte Kühlluft an die heißen Kühlkanalwände gelangen kann.

[0003] Umfangreiche Studien sind im Zusammenhang mit den Rippenzügen innerhalb von Kühlkanälen und den damit verbundenen Einfluss auf den sich zwischen der Kühlwand und dem durch den Kühlkanal hindurchströmenden Kühlmedium einstellenden Wärmeübergangskoeffizient durchgeführt worden. Insbesondere bezogen sich die Studien auf die Einflussnahme diverser, die Rippenzügen charakterisierende Parameter auf den Wärmeübergangskoeffizient sowie auch auf den, mit dem Überströmen eines Rippenzuges verbundenen Druckverlust, wie beispielsweise Rippenhöhe, Neigung der Rippenflanken oder Winkelausrichtung der geradlinig ausgebildeten Rippen relativ zur Hauptströmungsrichtung, Reynolds- oder Prandlzahl, das Aspektverhältnis des Kühlkanalquerschnittes oder die sich innerhalb der Strömung der Kühlluft ausbildenden Rotationswirbel, um nur einige Parameter zu nennen. Die meisten Optimierungsanstrengungen hinsichtlich Design und Anordnung der Rippenzügen innerhalb von Kühlkanälen beschränkten sich auf die Optimierung des Rippenquerschnittes.

Darstellung der Erfindung

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde eine Vorrichtung zur Kühlung einer, einen Strömungskanal umgebenden Strömungskanalwand mit wenigstens einem, in ein durch den Strömungskanal hindurchtretendes Strömungsmedium Strömungswirbel induzierenden Rippenelements, das an der, dem Strömungskanal zugewandten Seiten der Strömungskanalwand angebracht ist und dessen Form und Größe unter Maßgabe eines bestimmten Wärmeübergangskoeffizienten sowie eines bestimmten, durch das Überströmen des Rippenelementes mit dem Strömungsmedium in diesem verbundenen Druckverlust gewählt sind, derart weiter zu bilden, dass die Kühlwirkung des den Strömungskanal passierenden Strömungsmedium weiter gesteigert werden soll ohne dabei den, im Wege von Optimierungen

durch Form und Größe des Rippenelementes bestehenden Wärmeübergangskoeffizienten zwischen Kühlkanalwand und Strömungsmedium zu beeinflussen sowie ohne eine Erhöhung des durch das Überströmen des Rippenelementes mit dem Strömungsmedium verbundenen Druckverlust zu erleiden. Die Kühlwirkung erhöhenden Maßnahmen sollen auch im Hinblick ihrer Herstellung mit geringem Aufwand sowie geringen Herstellungskosten verbunden sein.

[0005] Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildenden Merkmale sind den Unteransprüchen sowie der Beschreibung nebst Figuren zu entnehmen.

[0006] Erfindungsgemäß ist eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 derart ausgebildet, dass das Rippenelement unter weitgehendem Beibehalten seiner ursprünglichen Form und/oder Größe seine, dem Strömungskanal zugewandte Oberfläche vergrößernde Konturen aufweist.

[0007] So basiert die erfindungsgemäße Idee auf der Optimierung der äußeren Rippenkontur mit dem Ziel der Erhöhung der wärmeübertragenden Oberfläche zwischen Rippe und Strömungsmedium, gleichwohl der durch die Raumform definierte Wärmeübergangskoeffizient der Rippe sowie der durch die Rippenform verursachte Druckverlust im Strömungsmedium im Wesentlichen unbeeinflusst bleiben soll.

[0008] So ist erkannt worden, dass durch die Oberfläche des Rippenelementes vergrößernde Maßnahmen, die weitgehend keinen Einfluss auf den Wärmeübergangskoeffizienten sowie den durch das Rippenelement verursachten Druckverlust haben, einen direkten und entscheidenden Einfluss auf eine deutliche Erhöhung des Wärmeübergangs zwischen der Kühlkanalwand und dem, durch den Kühlkanal hindurchtretenden Kühlmittelstrom. Insbesondere gilt es die Erzeugung von Sekundärwirbeln, bedingt durch die sich dem Kühlmittelstrom zumindest in seinen Randbereichen entgegenstehenden Rippenelementen weitgehend unbeeinflusst zu lassen, so dass die Oberflächen vergrößernden Maßnahmen lediglich durch eine leichte Modifikation an der Rippenoberflächen hervorgerufen werden kann.

[0009] Mögliche Oberflächen vergrößernde Maßnahmen sollen unter Bezugnahme auf die nachstehenden Ausführungsbeispiele näher erläutert werden, die jedoch nicht den, der Erfindung zugrunde liegenden allgemeinen Gedanken einschränken sollen.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0010] Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch. Es zeigen:

Fig. 1a, b schematisierte Querschnittsdarstellungen

5 Fig. 2

Fig. 3a - d

10

Fig. 4a - d

15

Fig. 5a - c

Fig. 6

20

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

[0011] In Figur 1a ist in Querschnittsdarstellung eine Seite einer Kühlkanalwand 1 dargestellt, an deren Strömungskanalinnenwand zwei Rippenelemente 2, 3 vorgesehen sind, die jeweils einen rechteckförmigen Querschnitt aufweisen. Typischerweise ist ein Kühlkanal durch vier Seitenwände begrenzt, von denen zwei gegenüberliegende Seitenwände mit Rippenelementen versehen sind, die jeweils in Strömungsrichtung in mehrfacher Abfolge hintereinander angeordnet sind. In Figur 1a ist lediglich im Längsschnitt eine Hälfte eines Kühlkanals 4 dargestellt, deren mit Rippenelementen versehene Kühlkanalwänden durch die Weite H voneinander beabstandet sind (dargestellt ist lediglich der Kühlkanal bis H/2). Aus strömungstechnischen Gründen und insbesondere für eine gezielte Ausbildung von sogenannten Sekundärwirbeln, schließt die Rippenlängsachse jedes einzelnen Rippenelementes mit der Hauptströmungsrichtung der, durch den Strömungskanal hindurchtretenden Kühlluft einen Winkel von etwa 45° ein.

[0012] Basierend auf Optimierungsberechnungen hinsichtlich eines gewünschten Wärmeübergangskoeffizienten sowie eines möglichst minimalen Druckverlustes, der sich bei Überströmen des Strömungsmediums über jedes einzelne Rippenelement ergibt, gelten für im Querschnitt rechteckförmig ausgebildete Rippenelemente folgende Dimensionierungsbedingungen: Die Rippenhöhe e beträgt in etwa 10% von der Kühlkanalhöhe H, die zugleich auch dem hydraulischen Durchmesser des Kühlkanals entspricht. Das Verhältnis aus dem Abstand p zweier unmittelbar in Kühlkanallängsrichtung benachbart angeordneter Rippenelemente 2, 3 und der Rippenhöhe e beträgt in etwa 10. Ausgehend von den vorstehend beschriebenen Dimensionierungen für die, im Kühlkanal angeordneten Rippenelemente

gen zur Gegenüberstellung an sich bekannter Rechtecksrinnen sowie erfindungsgemäße ausgebildeter Rechtecksrinnen, schematisierte Querschnittsdarstellung durch Rechtecksrinne mit Mehrfachrinnen, schematisierte Darstellungen verschiedener Rippengeometrien mit weitgehend gleichbleibender Querschnittsgeometrie entlang der Rippenlängsachse, Rippengeometrien mit nutförmigen Ausnehmungen, perspektivische Darstellung verschiedener Rippengeometrien mit dreidimensionalen Ausnehmungen sowie Rippenform mit angerauhter Oberfläche.

sieht der erfindungsgemäße Gedanke vor, die Oberfläche jedes einzelnen Rippenelementes beispielsweise durch die in Figur 1b dargestellte Maßnahme, nämlich durch Einbringen einer Längsnut in jedes einzelne Rippenelement, gezielt zu vergrößern, wobei die strömungsdynamischen Eigenschaften jedes einzelnen Rippenelementes weitestgehend unverändert bleiben. Durch das Einbringen einer Rechtecksnut 5 innerhalb des Rippenelementes 2, 3 wird die Oberfläche des Rippenelementes deutlich vergrößert. Unter der Annahme, dass für die in Figur 1b eingezeichneten Abstandsgrößen folgende Beziehungen gelten,

$$a = c = w/4$$

$$b = w/2$$

d = e/2 können folgende Feststellungen gemacht werden:

Der Oberflächenanteil, der durch die Rippenelementoberflächen gebildet wird, im Verhältnis zur gesamten Wärmeübertragungsfläche innerhalb eines Kühlkanals beträgt, im Falle der Ausbildung eines Rippenelementes gemäß Figur 1a, 25%. Sind die Rippenelemente mit einer Nut gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 1b versehen, so liegt ihr Oberflächenanteil gemessen an der gesamten Wärmeübertragungsfläche innerhalb eines Kühlkanals in der Größenordnung von 33%. Dies führt verglichen zum Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1a zu einem Anstieg der gesamten Wärmeübergangsfläche innerhalb eines Kühlkanals um 8,3%. Unter der Annahme, dass die Oberfläche innerhalb der Nut in gleicher Weise zum Wärmeaustausch beiträgt, wie die übrige Oberfläche des Rippenelementes, beträgt die zu erwartende Zunahme des Wärmeübergangs durch die erfindungsgemäße Maßnahme 8,3%, also ebensoviel, um die die Wärmeübergangsfläche im Gesamtsystem zugenommen hat.

[0013] In Figur 2 ist eine weitere Ausführungsform eines Rippenelementes dargestellt, das über einen rechteckigen Querschnitt verfügt und drei Rillen 6 zu Zwecken der Oberflächenvergrößerung aufweist. Überdies sind die Kanten abgerundet.

[0014] Wie aus den Figuren 3a - d zu entnehmen ist, können auch andere Querschnittsformen für die Rippenelemente verwendet werden, wobei Oberflächen vergrößernde Maßnahmen nicht allein auf das Einbringen von Vertiefungen in die Rippenelemente beschränkt sind.

[0015] In Figur 3a ist eine konventionelle rechteckförmige Rippe dargestellt, die über ihre gesamte Länge einen gleichbleibenden Querschnitt aufweist. Im Unterschied dazu weist die in Figur 3b dargestellte rechteckförmige Rippe einen längs ihrer Erstreckung sich vergrößernden Rechtecksquerschnitt auf. Das gleiche gilt für die in Figur 3c dargestellte Dreiecksrippe sowie die in Figur 3d dargestellte Rippe, deren Querschnittsform halbkreisförmig ausgebildet ist und in Rippenlängsrichtung einen kontinuierlich zunehmenden Halbkreisdurchmesser aufweist. Grundsätzlich können für eine

Oberflächenvergrößerung alle Geometrieparameter des Rippenelementes verändert werden, wie Rippenhöhe, Rippenbreite, Abstand zweier benachbarter Rippen im Verhältnis zu ihrer Höhe sowie die Neigung der Rippenachse.

[0016] In den Figuren 4a - d sind Kombinationen aus Rillen bzw. Nuten und gezielten Querschnittsänderungen entlang der Rippenlängsachse dargestellt. Figur 4a zeigt eine Rechtecksrippe mit konstantem Rippenquerschnitt und einer darin eingearbeiteten Nut. Figur 4b zeigt ein Rippenelement mit einer Rechtecksnut sowie mit in Rippenlängsrichtung größer werdendem Rechtecksquerschnitt und einer halbkreisförmig eingearbeiteten Ausnehmung. Figur 4c zeigt eine in Querschnittsform dreieckig ausgebildete Rippe an deren beiden Seitenflanken geradlinig ausgebildete Ausnehmungen vorgesehen sind. Figur 4d weist einen ursprünglichen halbkreisförmig ausgebildeten Querschnitt auf, in dem eine parabolische Ausnehmung eingearbeitet ist.

[0017] Auch können dreidimensionale Vertiefungen in die Rippenelemente eingearbeitet werden, wie es aus den Figuren 5a - 5c hervorgeht.

[0018] In Figur 5a ist eine rechteckförmig ausgebildete Rippe mit rechteckförmig ausgebildeten Vertiefungen dargestellt. Figur 5b zeigt eine im Querschnitt halbkreisförmig ausgebildete Rippe mit zylinderförmig ausgebildeten Vertiefungen. Figur 5c weist an seiner Oberfläche dreidimensionale kubische Körper auf, durch die eine besonders große Oberflächenvergrößerung möglich ist.

[0019] Grundsätzlich können alle vorstehend beispielhaft aufgezeigten Maßnahmen zur Vergrößerung der Rippenoberfläche miteinander kombiniert werden.

[0020] Auch ist es möglich durch eine gezielte Oberflächenaufrauung die Oberfläche des Rippenelementes zu vergrößern, um auf diese den Wärmeübergang zu steigern. Zwar verändert diese Massnahme die Form und Geometrie des Rippenzuges am aller wenigstens verglichen zu den vorstehend aufgezeigten Ausführungsbeispielen, doch ist der oberflächenvergrößernde Effekt eher begrenzt.

Bezugszeichenliste

[0021]

- | | |
|------|---------------|
| 1 | Kühlkanal |
| 2, 3 | Rippenelement |
| 4 | Kühlkanalwand |
| 5 | Rechtecksnut |
| 6 | Rille |

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Kühlung einer, einen Strömungskanal (4) umgebenden Strömungskanalwand (1) mit wenigstens einem, in ein, durch den Strömungskanal (4) hindurchtretendes Strömungsmedium Strö-

mungswirbel induzierenden Rippenelement (2,3),
 das an der, dem Strömungskanal (4) zugewandten
 Seite der Strömungskanalwand (4) an gebracht ist
 und dessen Form und Größe unter Massgaben ei-
 nes bestimmten Wärmeübergangskoeffizienten so-
 wie eines bestimmten, durch das Überströmen des
 Rippenelementes (2,3) mit dem Strömungsmedium
 in diesem verbundenen Druckverlust gewählt sind,
 dadurch **gekennzeichnet**, dass das Rippenele-
 ment (2,3) unter weitgehendem Beibehalten seiner
 ursprünglichen Form und/oder Größe seine, dem
 Strömungskanal (4) zugewandte Oberfläche ver-
 grössernde Konturen aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
 dadurch **gekennzeichnet**, dass die dem Strö-
 mungskanal (4) zugewandte Oberfläche vergrös-
 sernde Konturen derart ausgebildet sind, daß we-
 der der Wärmeübergangskoeffizient des Rippen-
 elementes (2,3) noch der, durch das Rippenele-
 ment (2,3) verursachte, strömungsbedingte Druck-
 verlust wesentlich verändert wird.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
 dadurch **gekennzeichnet**, dass die Oberfläche
 vergrößernde Konturen als Rillen (6) oder Nuten (5)
 ausgebildet sind, die in die Rippenelemente (2,3)
 eingearbeitet sind.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
 dadurch **gekennzeichnet**, dass das Rippenele-
 ment (2,3) einen quadratischen oder rechteckförm-
 igen Querschnitt aufweist und als eine, seine Ober-
 fläche vergrößernde Kontur eine Nut (5) an seiner,
 dem Strömungskanal (4) zugewandten Seite auf-
 weist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4,
 dadurch **gekennzeichnet**, dass das Rippenele-
 ment (2,3) eine Rippenbreite w und eine Rippenhö-
 he e und die Nut (5) eine Nuttiefe d und eine Nut-
 breite b aufweisen und dass in etwa gilt: $b = w/2$ und
 $d = e/2$.
6. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4,
 dadurch **gekennzeichnet**, dass die Rillen (6) und/
 oder Nuten (5) kammartig an der Oberfläche des
 Rippenelements (2,3) angebracht sind.
7. Vorrichtung nach Anspruch 1',
 dadurch **gekennzeichnet**, dass die Oberfläche
 vergrößernde Konturen Bohrungen oder Ausfrä-
 sungen sind, die in die Rippenelemente (2,3) ein-
 gearbeitet sind.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
 dadurch **gekennzeichnet**, dass die Oberfläche des
 Rippenelementes (2,3) eine Oberflächenrauigkeit

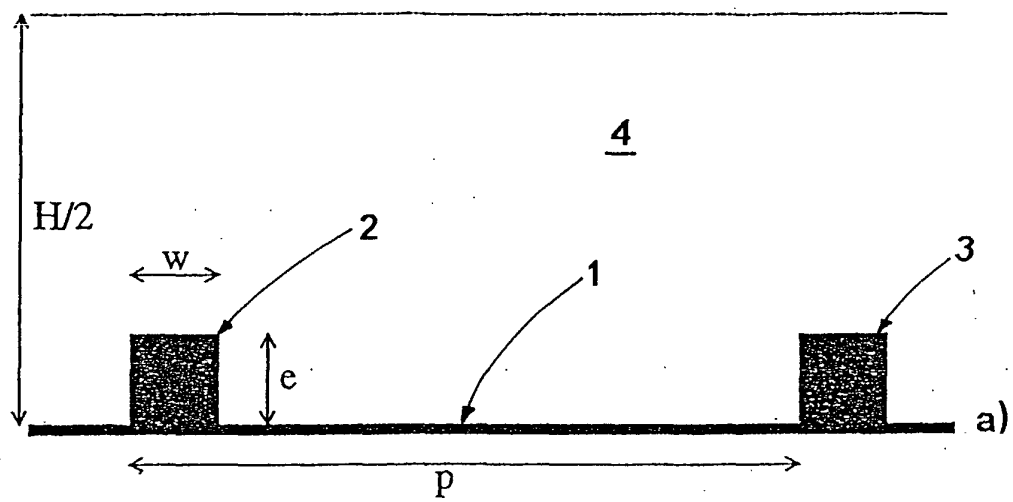


Fig. 1

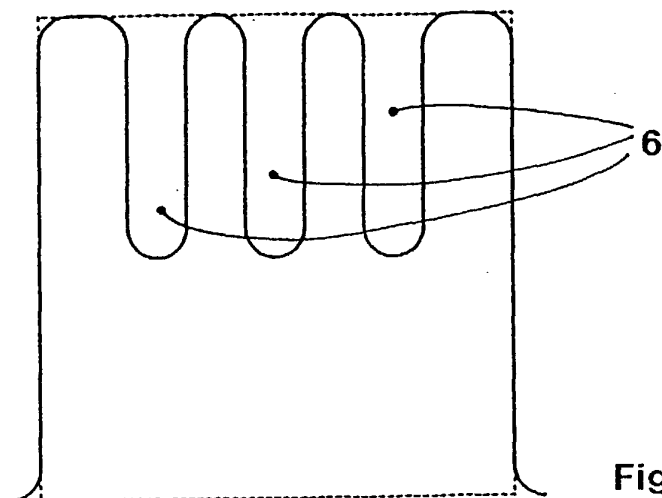
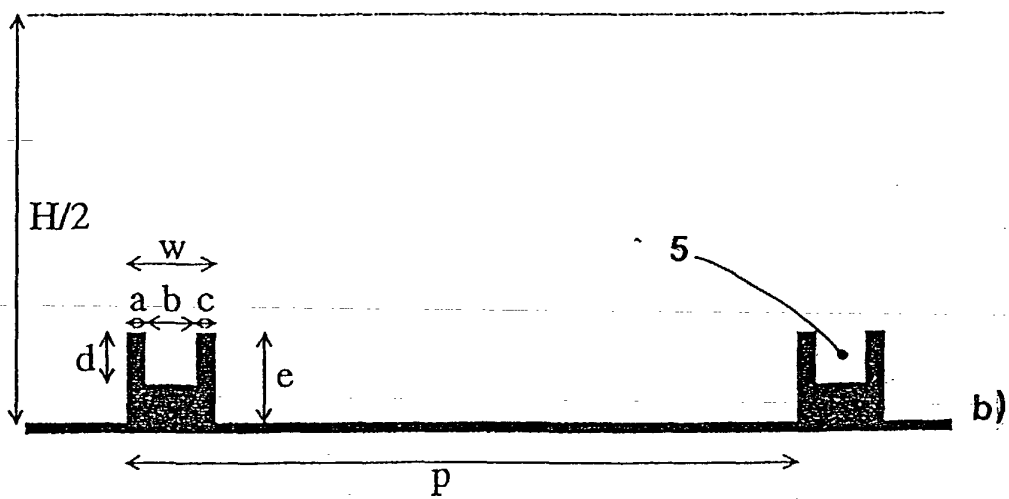


Fig. 2

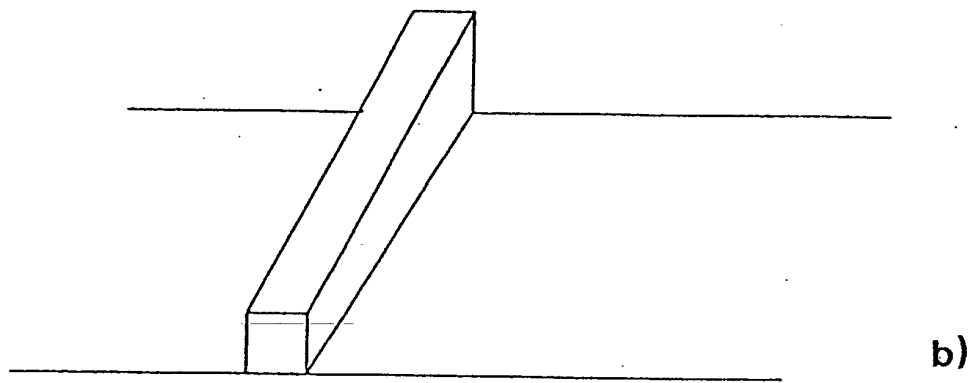
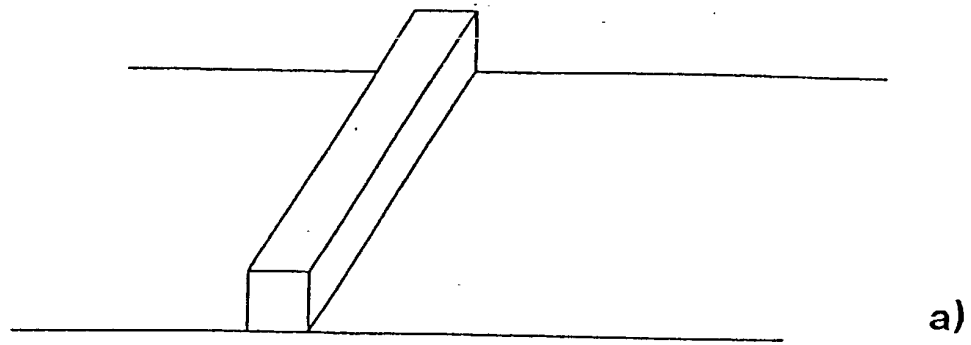
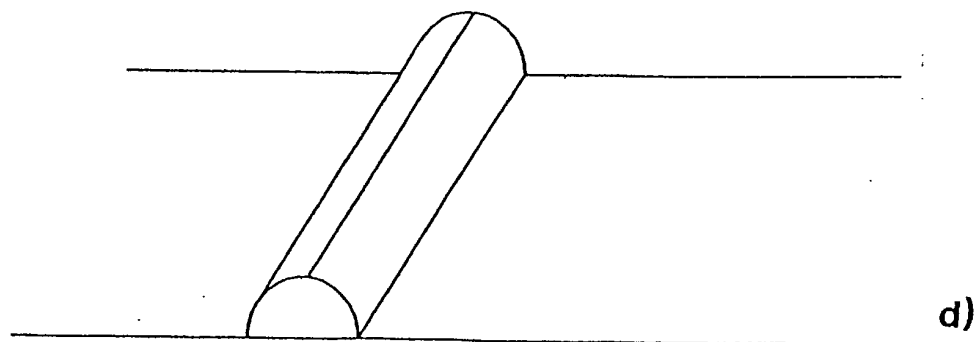
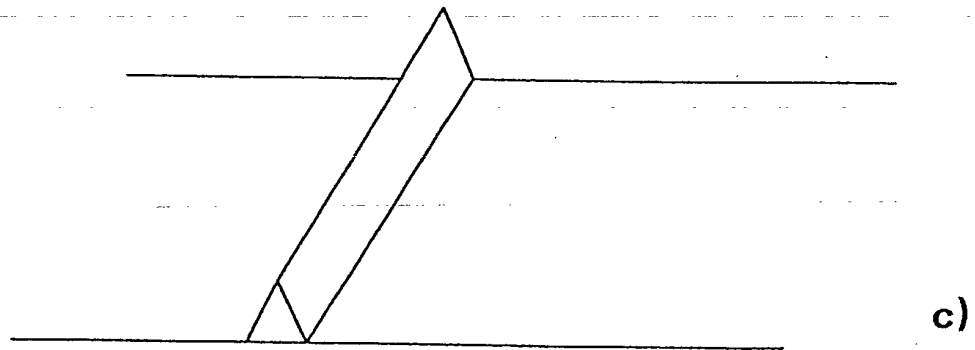


Fig. 3



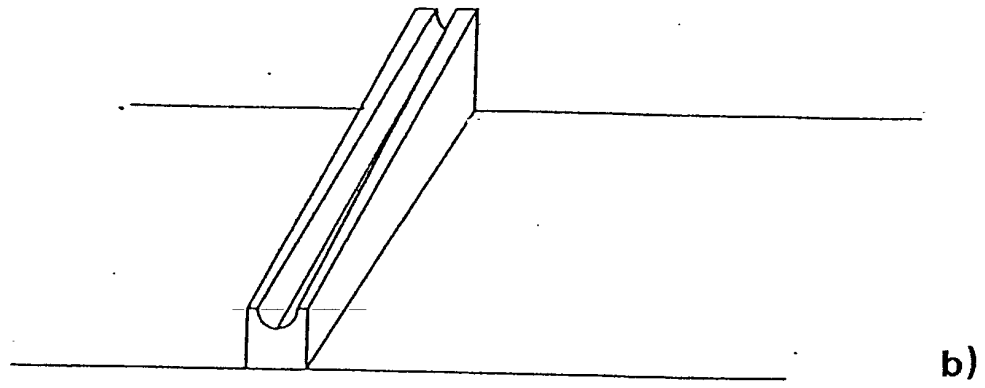
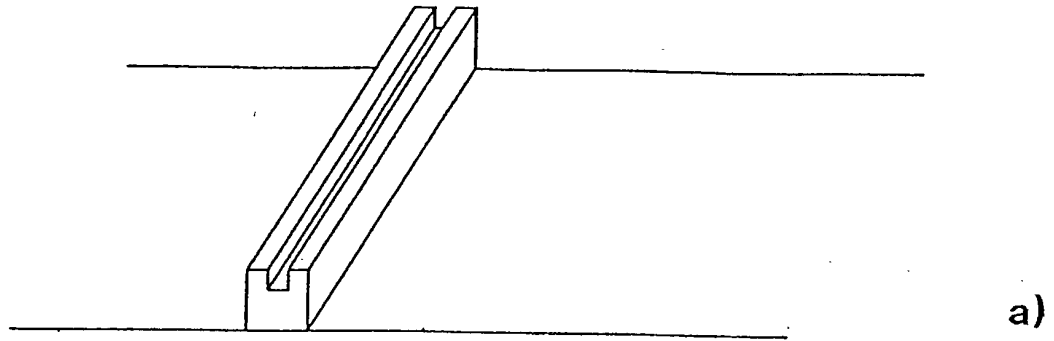
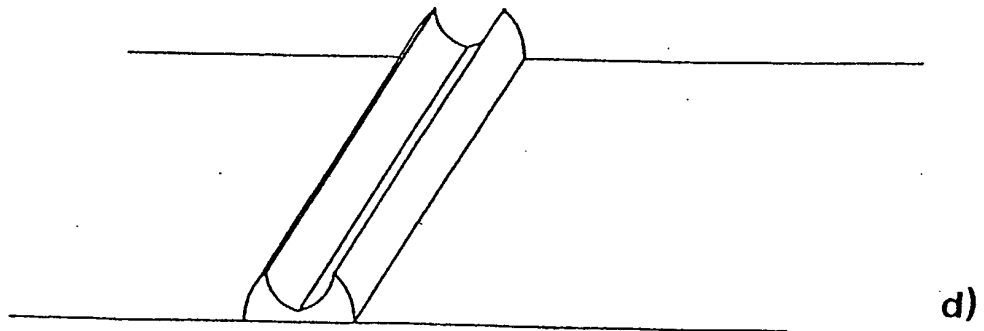
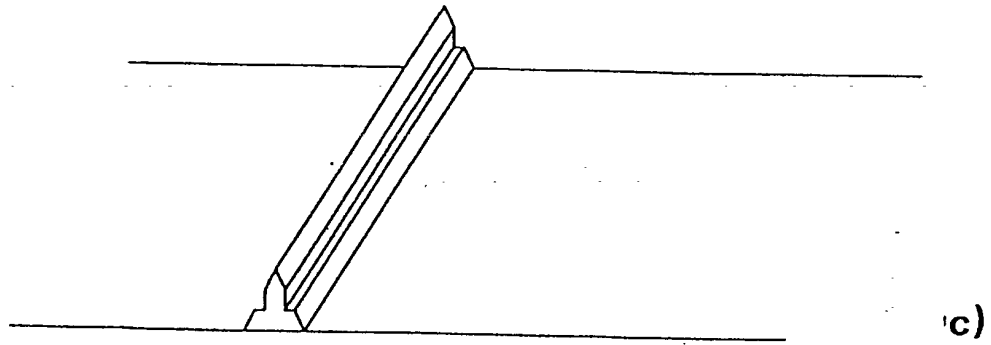


Fig. 4



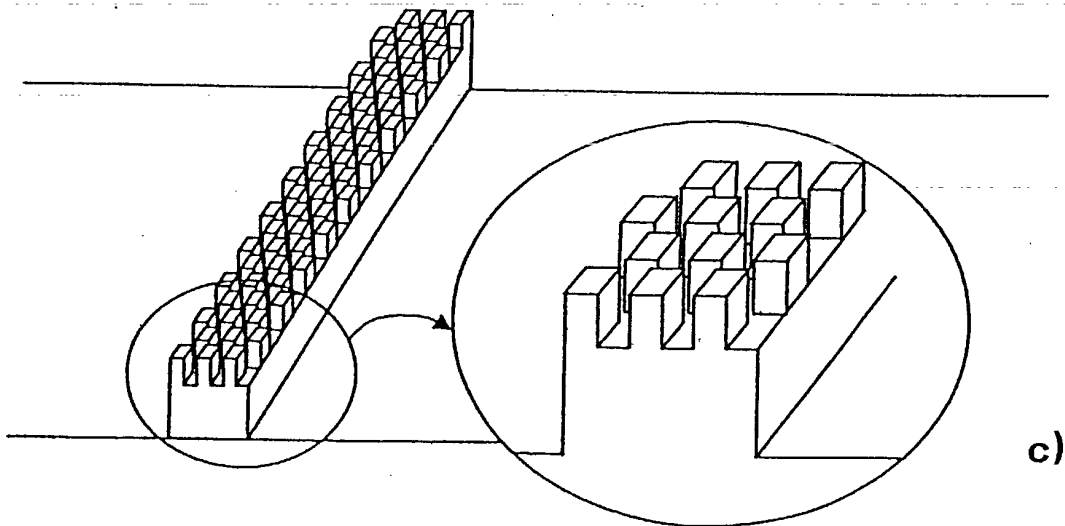
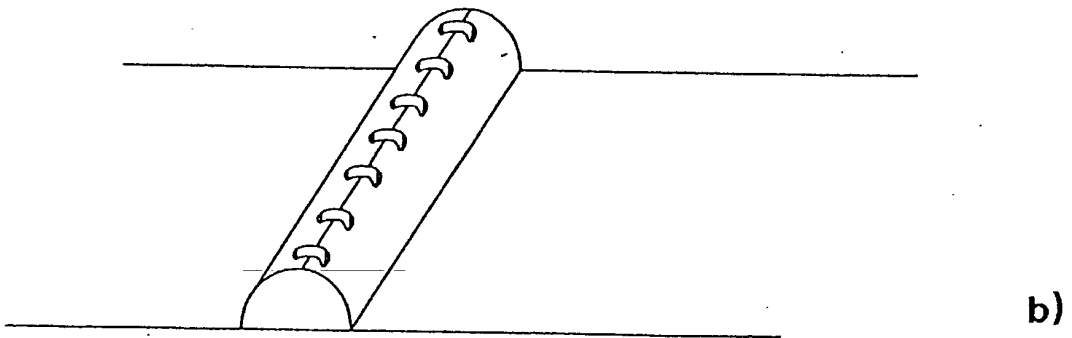
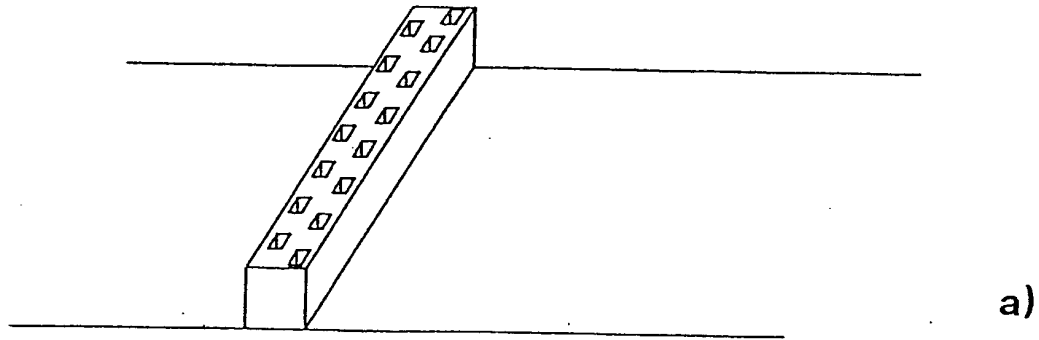


Fig. 5

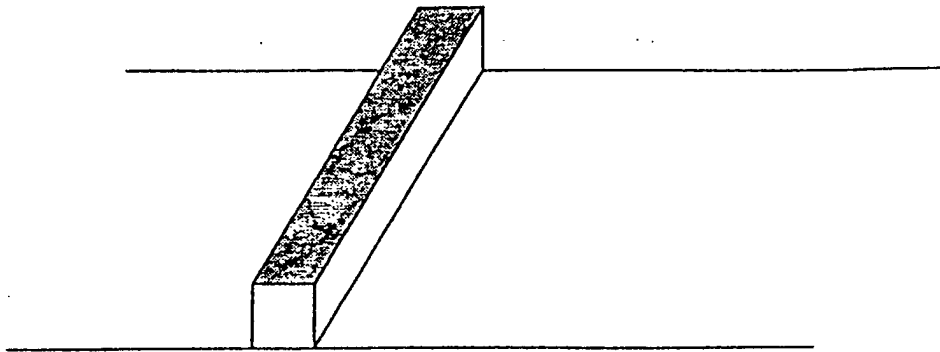


Fig. 6