

(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 273 391 A1

4(51) B 21 B 45/02

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP B 21 B / 317 313 3	(22)	29.06.88	(44)	15.11.89
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71) VEB Bandstahlkombinat „Hermann Matern“, Werkstraße 1, Eisenhüttenstadt, 1220, DD

(72) Bathelt, Jürgen, Dr.-Ing. Dipl.-Ing.; Budach, Marina, Dipl.-Ing.; Schulz, Thomas, Dipl.-Ing., DD

(54) Verfahren und Vorrichtung zur differenzierten Abkühlung von Breitflacherzeugnissen

(55) Stahl, Breitflacherzeugnis, Abkühlung, Kühlmittel, Kühlsystem, Kühlbalken, Verstelleinrichtung, Steuern, Regeln

(57) Die Erfindung betrifft Verfahren und Vorrichtung zur differenzierten Abkühlung von Breitflacherzeugnissen, vorzugsweise aus Stahl, mit einem flüssigen Kühlmittel, während ihrer geradlinigen Bewegung. Ziel der Erfindung ist die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit infolge gesteigerter Produktqualität, welche sich aus einer homogenen Gefügebildung bzw. -umbildung im abzukühlenden Breitflacherzeugnis in dessen Breitenrichtung als auch in seiner Längsrichtung ergibt, woraus gleichmäßigere Materialeigenschaften sowie geringere innere Spannungen resultieren. Aufgabe der Erfindung ist die Gewährleistung möglichst geringer Temperaturunterschiede zwischen Mitte und Rand in Breitenrichtung jedoch auch in Längsrichtung im Material des abzukühlenden Breitflacherzeugnisses. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß ein Verfahren mit der dazu notwendigen Kühlvorrichtung durchgeführt wird, welches die abschnittsweise Veränderung der Kühlintensität einzelner Kühlbalken während des Abkühlvorganges eines einzelnen Breitflacherzeugnisses realisiert. Die dazu notwendige Kühlvorrichtung enthält in bekannter Weise Kühlbalken, bestehend aus Hauptgefäß und daran angebrachten Verteilerrohren, wobei sich erfindungsgemäß im Hauptgefäß der Kühlbalken Verstelleinrichtungen befinden, die bezüglich des betreffenden Kühlbalkens ständig die abschnittsweise Veränderung des durch die Verteilerrohre aus dem Kühlbalken austretenden Kühlmittelstromes ermöglichen.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur differenzierten Abkühlung von Breitflacherzeugnissen, vorzugsweise aus Stahl, mit einem flüssigen Kühlmittel, während ihrer geradlinigen Bewegung, **gekennzeichnet dadurch**, daß nachfolgend Verfahrensschritte in beliebiger Reihenfolge und Anzahl für jeweils einen Abschnitt des abzukühlenden Breitflacherzeugnisses durchgeführt werden:
 - a) Eintritt in eine Kühlvorrichtung, die in bekannter Weise Kühlbalken, bestehend aus einem Hauptgefäß mit daran seitlich angeordneten Verteilerrohren zur Erzeugung paralleler Kühlmittelstrahlen für die Beaufschlagung des Breitflacherzeugnisses mit Kühlmittel, quer zu seiner Bewegungsrichtung angeordnet, enthält, wobei mindestens ein Kühlbalken (nachfolgend als aktiver Kühlbalken bezeichnet) durch Einbauten in seinem Hauptgefäß zu jedem Zeitpunkt während des Durchlaufs des Breitflacherzeugnisses durch die Kühlvorrichtung eine Variation der Menge des austretenden Kühlmittels zwischen einem oberen und einem unteren Grenzwert mit mindestens einem Zwischenwert für die Verteilerrohre dieses Kühlbalkens oder Gruppen davon ermöglicht;
 - b) Beaufschlagung mit Kühlmittel, ohne daß dabei ein aktiver Kühlbalken wirksam wird, und/oder Beaufschlagung mit Kühlmittel, wobei mindestens ein aktiver Kühlbalken wirksam wird;
 - c) Passieren einer Meßeinrichtung, welche die Oberflächentemperatur mindestens einer Seite, vorzugsweise der Oberseite des Breitflacherzeugnisses, quer zu dessen Bewegungsrichtung, an mindestens zwei Punkten annähernd gleichzeitig erfaßt und Veränderung der Menge des austretenden Kühlmittels für mindestens ein Verteilerrohr mindestens eines aktiven Kühlbalkens, der zur Kühlmittelbeaufschlagung wirksam wird, in Abhängigkeit von den Meßwerten der Oberflächentemperatur der einzelnen Abschnitte des Breitflacherzeugnisse;
 - d) Austritt aus der Kühlvorrichtung.
2. Vorrichtung zur differenzierten Abkühlung von Breit- und Flacherzeugnissen, **gekennzeichnet dadurch**, daß die ihr angehörenden aktiven Kühlbalken in ihrem Hauptgefäß mindestens eine Verstelleinrichtung für den Kühlmittelfluß im Hauptgefäß enthalten, so daß die Größe der vom Kühlmittel durchströmten Querschnittsfläche ständig verändert werden kann, und daß der Einbau dieser Verstelleinrichtung vorzugsweise paarweise, symmetrisch zur Mitte des Kühlbalkens, an der in diesem Falle auch die Kühlmittelzufuhr in das Hauptgefäß erfolgt, vorgenommen wird.
3. Vorrichtung gemäß Anspruch 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß eine zielgerichtete Veränderung der Einstellung der Verstelleinrichtung in beliebiger Weise zwischen oberem und unterem Grenzwert und beliebig oft von außerhalb des Kühlbalkens während seines Betriebes vorgenommen werden kann.
4. Vorrichtung gemäß Anspruch 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß in Verbindung mit Hauptgefäßen mit symmetrischen, vorzugsweise kreisförmigem Querschnitt die benutzten Verstelleinrichtungen nach dem Konstruktionsprinzip einer Irisblende aufgebaut sind und dementsprechend aus einem unbeweglichen und einem beweglichen Ring mit dazwischen angeordneten Blendenlamellen bestehen.
5. Vorrichtung gemäß Anspruch 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Einbau der Verstelleinrichtungen in das Hauptgefäß so erfolgt, daß der bewegliche Ring, senkrecht zur Mittelachse des Hauptgefäßes stehend, zur Mitte des Kühlbalkens orientiert ist.
6. Vorrichtung gemäß Anspruch 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß mindestens fünf sichelförmige Blendenlamellen benutzt werden, wobei eine Lamelle in ihrer Form zusätzlich so gestaltet ist, daß eine vollständige Bedeckung des freien Querschnittes der Blendenringe einstellbar ist.
7. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet dadurch**, daß eine Anzahl „n“ aufeinanderfolgender Kühlbalken mit konstantem Abstand „s“ ihrer Verteilerrohre so angebracht ist, daß sich ausgehend vom ersten Kühlbalken für die nachfolgenden Kühlbalken bezogen auf den jeweils vorangehenden Kühlbalken, eine einseitige Versetzung um den Betrag „s/n“ ergibt, und die Anzahl „n“ zu einer derartigen Gruppe gehörender Kühlbalken mindestens zwei ist.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft Verfahren und Vorrichtung zur differenzierten Abkühlung von Breitflacherzeugnissen, vorzugsweise aus Stahl, mit einem flüssigen Kühlmittel, während ihrer geradlinigen Bewegung. Verfahren und Vorrichtung werden angewendet, um Inhomogenität der Materialeigenschaften sowie innere Spannungen im Material, welche sich bei einer Abkühlung ausbilden können, wesentlich zu verringern. Anwendungsgebiet der Erfindung sind metallurgische Betriebe, in denen die Herstellung von Warmband bzw. Warmbreitband oder Stahlerzeugnissen ähnlicher Geometrie erfolgt. Darüber hinaus ist die Erfindung in gleicher Weise bei der Abkühlung beliebiger metallischer wie auch nichtmetallischer Breitflacherzeugnisse mit flüssigem Kühlmittel anwendbar.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Technische Lösungen zur Abkühlung von Breitflacherzeugnissen, insbesondere aus Stahl, während deren geradliniger Bewegung sind bekannt. Offensichtlich steht die Gestaltung von Vorrichtungen im Vordergrund, wobei gegenwärtig zwei wesentliche Entwicklungsrichtungen relevant sind, die sich vor allem in der Art der Kühlmittelaufbringung auf das abzukühlende Material unterscheiden:

1. „Laminarkühlsysteme“, deren Kühlbalken aus einem Hauptgefäß mit daran seitlich angeordneten Verteilerrohren zur Erzeugung einer dichten Folge paralleler Kühlmittelstrahlen bestehen, so z. B. SU-EB 329923, GB-PS 1148171, DE-AS 2102614 oder DE-OS 3325020.
2. „Wasserwandkühlsysteme“, deren Kühlbalken aus einem Hauptgefäß mit durchgehender schlitzzartiger Bodenöffnung bestehen, so daß die gesamte Breite des abzukühlenden Materials gleichzeitig mit Kühlmittel beaufschlagt wird, so z. B. DE-OS 2804982 oder DE-PS 3334251.

Dabei gibt es für beide Varianten verschiedene Ausgestaltungen, wie DE-OS 2107664 oder SU-EB 603452 für die Laminarkühlung bzw. die GB-PS 2165784 für die Wasserwand zeigen. Die Kombination Wasser-Luft, z. B. in SU-EB 997888 oder US-PS 4305765, ist allerdings für den vorgesehenen Anwendungsfall, die Abkühlung vorzugsweise metallischer Erzeugnisse, in ihrer Effektivität und Zweckmäßigkeit nicht gegeben.

Obwohl beide Varianten, Laminarkühlung und Wasserwand, auch unterschiedliche Vor- und Nachteile haben, ist ihnen ein wesentlicher Nachteil gemeinsam. Bei der Abkühlung der Breitflacherzeugnisse mit flüssigem Kühlmittel, üblicherweise Wasser, läuft dieses über den Rand des abzukühlenden Materials von dessen Oberseite herunter. Dadurch entsteht eine von der Mitte zum Rand des Breitflacherzeugnisses hin zunehmende, zusätzliche Kühlwirkung, die den sich ohnehin im vorangehenden Umformprozeß naturgemäß einstellenden Temperaturabfall von der Mitte zum Rand des Breitflacherzeugnisses wesentlich verstärkt und somit zu beträchtlichen örtlichen Temperaturunterschieden im Breitflacherzeugnis während seiner Abkühlung führt. Dadurch bedingte Inhomogenitäten der Gefügeaus- bzw. -umbildung bewirken Verluste an Gleichmäßigkeit der Materialeigenschaften über Erzeugnisquerschnitt und -länge sowie insbesondere auch zur Ausbildung unerwünschter Eigenspannungen im Material. Besonders der letzte Aspekt ist bei der Warmbreitbanderzeugung so wesentlich, daß man sogar durch das Walzen sogenannter Randwellen dem entgegenzuwirken versucht, um ein ebenes, spannungsarmes Band nach seiner Abkühlung zu erhalten. Daß derartige Effekte auch für Stahlblechtafeln nicht unerheblich sind, ist in der DE-OS 3230866 ausführlich dargelegt.

Bisher bekannte Lösungen, wie sie beispielweise DE-OS 3146657 oder DE-PS 2165784 charakterisieren, führen nicht in erforderlicher Weise zur Beeinflussung der Intensität der Kühlung in den Randbereichen der Breitflacherzeugnisse, da sie primär auf die Realisierung eines Ein-/Aus-Verhaltens gerichtet sind. Außerdem erscheinen diese Lösungen technisch zu aufwendig. Als Beispiel sei in diesem Zusammenhang auch auf die DE-OS 3146656 verwiesen, obwohl die in ihr offenbarte Lösung nur auf die Senkung des Kühlmittelbedarfs bei der Abkühlung verschieden breiten Materials mit ein und demselben Kühlsystem orientiert ist.

Eine gezielte Beeinflussung der Kühlmittelabströmung enthält GB-PS 2164284, aber dieser Lösung haftet ebenfalls der grundsätzliche Mangel an, daß die Kühlmittelbeaufschlagung nicht die zusätzlichen Kühleffekte der Kühlmittelabströmung berücksichtigt. Weiterhin ergibt sich infolge der schrägen Kühlbalkenanordnung eine Senkung der erzielbaren Kühlleistung, da diese gegenüber einer parallelen Balkenanordnung wesentlich mehr Platz erfordert.

Neben dem vorstehend beschriebenen Problem der zusätzlichen Randkühlung infolge seitlich abströmenden Kühlmittels wird beim Einsatz eines Laminarkühlsystems noch ein weiterer Nachteil wirksam. Da die Kühlmittelstrahlen in Bewegungsrichtung des Breitflacherzeugnisses hintereinander liegen, werden diese Bereiche des Materials intensiver gekühlt als die Nachbarbereiche, denn im Auftreffpunkt des Kühlmittelstrahls ist die Wärmeabfuhr wesentlich intensiver. Daraus ergibt sich in bestimmten Situationen eine deutliche Differenz der örtlichen Temperaturen in Breitenrichtung des Breitflacherzeugnisses, insbesondere an dessen Oberfläche. Dadurch wird die Ungleichmäßigkeit der Temperatur im Material in Breitenrichtung des Erzeugnisses, welche sich durch in dieser Richtung abströmendes Kühlmittel ergibt, zeitweise noch verstärkt und die gesamte Breite des Materials erfaßt.

Eine Art Versetzung der Verteilerrohre für die Laminarkühlung regten US-PS 4305765 bzw. GB-PS 1568483 an. Zur Lösung des genannten grundsätzlichen Problems reicht dies aber bei weitem nicht aus. Da man von Düsensystemen ausgeht, ist die technische Lösung zur Abkühlung von Breitflacherzeugnissen nicht anwendbar.

Günstiger zur Lösung der beschriebenen Probleme ist die Verwendung spezieller Einbauten, vorzugsweise in den Hauptgefäßen der Kühlbalken der Laminarkühlsysteme, welche eine stufenweise Verringerung der austretenden Kühlmittelmenge jeweils in Breitenrichtung von der Mitte zu den Kanten des abzukühlenden Breitflacherzeugnisses bewirken. In analoger Weise läßt sich für Laminarkühlsysteme eine Breitenabhängigkeit der Kühlmittelbeaufschlagung durch eine hydrodynamische Veränderung der Verteilerrohre, z. B. Veränderung des Durchmessers, der Einbautiefe in das Hauptgefäß u. ä., für die einzelnen Kühlbalken voreinstellen. Derartige Maßnahmen bringen zwar erste positive Resultate zur Vergleichmäßigung der Temperatur in Breitenrichtung, eine Reaktion auf Veränderungen der Temperatur und/oder Geschwindigkeit des in das Kühlsystem eintretenden Breitflacherzeugnisses ist jedoch nicht möglich. Dadurch bleibt die Gefahr, daß in Längsrichtung des Breitflacherzeugnisses, ähnlich wie bereits beschrieben, Inhomogenitäten der Materialeigenschaften sowie innere Spannungen

entstehen. Das zur Beeinflussung der Kühlintensität insgesamt übliche Zu- bzw. Abschalten einzelner oder Gruppen von Kühlbalken ist dafür viel zu grob, ermöglicht deshalb auch nur sehr ungenau die Realisierung von erforderlichen Zieltemperaturen nach einzelnen Abschnitten der Abkühlvorrichtung. Außerdem ist man damit nur sehr schwer in der Lage, mit der erforderlichen Genauigkeit auf Schwankungen des Temperaturgradienten in Breitenrichtung längs des Breitflacherzeugnisses während seines Gesamtdurchlaufes durch die Kühlvorrichtung einzugehen. Hauptmangel ist also die konstruktive Gestaltung der Kühlvorrichtungen, welche gegenwärtig keinen Ansatzpunkt für eine variable und gleichzeitig in erforderlichem Maße differenzierte, individuelle Gestaltung des Kühlregimes (d.h. der Wasserbeaufschlagung) während der Abkühlvorgänge der einzelnen Breitflacherzeugnisse bietet, um die Abkühlung von Breitflacherzeugnissen aus ihrer bisher passiven Position hinaus zu einem aktiven technologischen und damit im Sinne der Wirtschaftlichkeit effizienten Arbeitsmittel zu machen. Darüber hinaus ist erkennbar, daß die dargestellte Problematik durch alleinige Vorrichtungsgestaltung offensichtlich nicht in dem Maße beherrschbar ist, wie es gegenwärtige und erst recht zukünftige Qualitätsanforderungen verlangen.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit infolge gesteigerter Produktqualität bei der Abkühlung sich geradlinig bewegendes Breitflacherzeugnisse, vorzugsweise aus Stahl, mit einem flüssigen Kühlmittel, durch Gewährleistung möglichst geringer Temperaturunterschiede im Material zwischen Mitte und Rand in Richtung der Breite, jedoch auch in Längsrichtung des abzukühlenden Breitflacherzeugnisses während seiner Abkühlung.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren mit der dazu notwendigen Vorrichtung zur differenzierten Abkühlung von Breitflacherzeugnissen zu entwickeln, so daß eine variable und gleichzeitig im erforderlichen Maße differenzierte, individuelle Gestaltung des Abkühlvorganges und damit die Gewährleistung möglichst geringer Temperaturunterschiede zwischen Mitte und Rand in Richtung der Breite, jedoch auch in Längsrichtung, im Material des abzukühlenden Breitflacherzeugnisses während seiner Abkühlung ermöglicht wird. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß zur differenzierten Abkühlung von Breitflacherzeugnissen, vorzugsweise aus Stahl, mit einem flüssigen Kühlmittel (üblicherweise Wasser), während ihrer geradlinigen Bewegung nachfolgende Verfahrensschritte in beliebiger Reihenfolge und Anzahl für jeweils einen Abschnitt des abzukühlenden Breitflacherzeugnisses durchgeführt werden:

- a) Eintritt in eine Kühlvorrichtung, die in bekannter Weise Kühlbalken, bestehend aus einem Hauptgefäß mit daran seitlich angeordneten Verteilerrohren zur Erzeugung paralleler Kühlmittelstrahlen zur Beaufschlagung mit Kühlmittel, quer zur Bewegungsrichtung des Breitflacherzeugnisses angeordnet, enthält, wobei mindestens ein Kühlbalken (nachfolgend als aktiver Kühlbalken bezeichnet) durch Einbauten in seinem Hauptgefäß zu jedem Zeitpunkt während des Durchlaufes des Breitflacherzeugnisses durch die Kühlvorrichtung eine Variation des austretenden Kühlmittels zwischen einem oberen und einem unteren Grenzwert mit mindestens einem Zwischenwert für die Verteilerrohre dieses Kühlbalkens oder Gruppen davon ermöglicht;
- b) Beaufschlagung mit Kühlmittel, ohne daß dabei ein aktiver Kühlbalken wirksam wird, und/oder Beaufschlagung mit Kühlmittel, wobei mindestens ein aktiver Kühlbalken wirksam wird;
- c) Passieren einer Meßeinrichtung, welche die Oberflächentemperatur mindestens einer Seite, vorzugsweise der Oberseite des Breitflacherzeugnisses quer zu dessen Bewegungsrichtung, an mindestens zwei Punkten annähernd gleichzeitig erfaßt und Veränderung der Menge des austretenden Kühlmittels für mindestens ein Verteilerrohr mindestens eines aktiven Kühlbalkens, der zur Kühlmittelbeaufschlagung wirksam wird, in Abhängigkeit von den Meßwerten der Oberflächentemperatur der einzelnen Abschnitte des Breitflacherzeugnisses;

Austritt aus der Kühlvorrichtung

Die Ausführung der Verfahrensschritte b) und c) in beliebiger Reihenfolge und Anzahl führt zu verschiedenartigen konkreten Verfahrensgestaltungen, die sich je nach metallurgischen Erfordernis ergeben. Hauptursache dafür ist der Umstand, daß das jeweilige Kühlregime, d.h. welche Kühlbalken bzw. Gruppen davon für die Wasserbeaufschlagung des abzukühlenden Breitflacherzeugnisses einzusetzen sind, primär von der Einstellung des gewünschten Endgefüges bestimmt wird. Da sich demzufolge die Zuschaltung der Kühlbalken zumindest in Abhängigkeit von den einzelnen Produktionssortimenten ändern kann, muß davon ausgegangen werden, daß sich die Position der für die Beeinflussung der Ausbildung der Temperaturunterschiede zwischen Rand und Mittel in Richtung der Breite sowie auch in Längsrichtung des abzukühlenden Breitflacherzeugnisses einsetzbaren aktiven Kühlbalken bezüglich der notwendigerweise fest zu installierenden Meßeinrichtungen für die Oberflächentemperaturen des Breitflacherzeugnisses ändert.

Deshalb muß die Meßwertverarbeitung insbesondere zur Ermittlung der Variation der Mengen des in den einzelnen Abschnitten der gerade wirksamen aktiven Kühlbalken austretenden Kühlmittels nach einem variablen Algorithmus erfolgen, der auch die jeweilige Position(en) Meßstelle(n) aktive(r) Kühlbalken erfaßt. Erfindungsgemäß ist wesentlich, daß die Anordnung der aktiven Kühlbalken innerhalb der Kühlvorrichtung so erfolgt, daß für jedes sortimentspezifische Kühlregime, d.h. Schaltzustand der einzelnen Kühlbalken, auch mindestens ein aktiver Kühlbalken für die Kühlmittelbeaufschlagung wirksam wird. Im Blick auf bereits in Betrieb befindliche Kühlvorrichtungen ist besonders positiv, daß deren erfindungsgemäße Umrüstung gezielt die bereits vorhandenen Erfahrungen zum Kühlregime einbeziehbar macht und dabei schrittweise möglich ist. In diesem Sinne ist auch der Erkenntniszuwachs bei der Gestaltung der Variation der Kühlmittelmenge und Auswahl der aktiven Kühlbalken in einfacher Weise umsetzbar, indem die aktiven Kühlbalken anstelle bisher passiver Kühlbalken treten oder in ihrer Anordnung in der Kühlstrecke ergänzt werden. In ähnlicher Weise ist die technische Nachrüstung einzelner Kühlbalken mit den zusätzlichen Versteleinrichtungen in einfacher Weise und mit geringem Aufwand, gemessen am erreichbaren Effekt, möglich.

Wie bereits aus den vorstehenden Darstellungen erkennbar, ist zur Realisierung der erfindungsgemäßen Verfahrensgestaltung die Ausführung der Kühlvorrichtung mit speziellen, erfindungsgemäß gestalteten Kühlbalken erforderlich. Diese als aktive Kühlbalken bezeichneten Kühlbalken enthalten in ihrem Hauptgefäß Verstelleinrichtungen für den Kühlmittelzufluß im Hauptgefäß.

Dabei besteht die grundlegende Funktion dieser Verstelleinrichtung darin, daß die Größe der vom Kühlmittel durchströmten Fläche verändert werden kann. Zweckmäßigerweise erfolgt der Einbau dieser Verstelleinrichtungen in das Hauptgefäß der aktiven Kühlbalken paarweise, symmetrisch zur Mitte des Kühlbalkens. Hier erfolgt auch die Zufuhr des Kühlmittels in das Hauptgefäß, um die Symmetrie des Kühlmittelaustritts aus den Verteilerrohren zu gewährleisten. Der durch den Einbau der Verstelleinrichtungen im Hauptgefäß entstehende, zusätzliche Druckverlust bewirkt tendenziell eine Verringerung des Kühlmittelaustritts in den Abschnitten hinter den Verstelleinrichtungen (von der Balkenmitte ausgehend). Dieser Effekt entspricht dem Erfordernis nach Verringerung der Kühlmittelzufuhr in den Randbereichen der Breitflacherzeugnisse. Sollte er zu stark werden, insbesondere beim Einbau mehrerer Paare von Verstelleinrichtungen in einzelne Balken bzw. die Ausrüstung aller Kühlbalken einer Kühlvorrichtung mit den erfindungsgemäßen Verstelleinrichtungen, so kann z. B. durch entsprechende Erhöhung des Niveaus des Vorlagebehälters dem in einfacher Weise entgegengewirkt werden. Dies ist für die erfindungsgemäße Umgestaltung bereits vorhandener Kühlvorrichtungen von besonderem Interesse. Erforderlichenfalls ist der Einbau von Zusatzblenden in die Kühlmittelzufuhr zur Einstellung des Vordruckes für das Kühlmittel in den Kühlbalken ohne Verstelleinrichtungen notwendig, was aber ebenfalls einfach zu realisieren ist.

Für den Kühlmittelfluß der Kühlbalken wurde gefunden, daß der konstruktive Aufbau der Verstelleinrichtungen am zweckmäßigsten dem einer Irisblende folgt.

Die Verstelleinrichtungen bestehen wie üblich aus einem unbeweglichen und einem beweglichen (nachfolgend als Blendeneinstellring bezeichnet) Ring mit den dazwischen angeordneten Blendenlamellen. Dabei wird der unbewegliche Ring für nichtzylindrische Hauptgefäße in seiner äußeren Begrenzung der inneren Querschnittsform des Hauptgefäßes entsprechend ausgeführt. Der Einbau dieser Verstelleinrichtungen in das Hauptgefäß erfolgt auf Grund der Konstruktion stets so, daß der Blendeneinstellring, senkrecht zur Achse des Hauptgefäßes stehend, zur Mitte des Kühlbalkens orientiert ist. Aus hydrodynamischen Erfordernissen ergibt sich der Einsatz von wenigstens fünf sichelförmigen Lamellen, um eine möglichst kreisförmige Durchflußöffnung zu realisieren, die in Verbindung mit dem geringsten Druckverlust steht. Eine dieser Lamellen ist in ihrer Form zusätzlich so gestaltet, daß auch ein vollständiger Verschuß des freien Querschnitts der Blendenringe möglich ist, um für schmale Sortimente den Kühlmittelaustritt in den Randbereichen der Kühlbalken gegebenenfalls vollständig zu unterdrücken. Durch den Einsatz dieser konstruktiven Lösung der Verstelleinrichtung ergeben sich folgende wesentliche Vorteile gegenüber anderen Lösungen:

1. Sie ermöglicht ein kontinuierliches Verstellen der Durchflußmenge an Kühlmittel zwischen einem oberen und einem unteren Grenzwert, wobei letzterer nahezu Null betragen kann. Dies ist von zusätzlichem Interesse zur Senkung des Kühlmittelumlaufs bei stark schwankender Breite des Produktionssortiments der Breitflacherzeugnisse.
2. Der Stellwert der Verschleißeinrichtung beträgt $\pi/2$, er ist damit maximal kurz im Vergleich zu anderen denkbaren Lösungen. Dabei besitzt der Aspekt minimaler Druckverluste beim Durchströmen der Verstelleinrichtung für das Kühlmittel herausragende Bedeutung.
3. Der Umfang an bewegten Teilen ist sehr gering. Ein einfacher, den Belastungen entsprechend robuster Aufbau ist möglich, obwohl insbesondere die Fertigung der Lamellen auch aus nichtmetallischen Werkstoffen möglich ist, so daß sich der Herstellungsaufwand dadurch beträchtlich verringern läßt. Infolge der Einsatzbedingungen ist dabei vorzugsweise ein Plastwerkstoff, hierbei insbesondere Polyamid, auf Grund seiner Gleiteigenschaften, aber auch der Beständigkeit gegen die Bildung von Ablagerungen, anwendbar.

Die Verstellung des Blendeneinstellringes wird zweckmäßigerweise mittels Schrittmotor realisiert. Im Hinblick auf die erfindungsgemäße Verfahrensdurchführung ist zu bemerken, daß bei Benutzung von mehreren Paaren der Verstelleinrichtung in einem Hauptgefäß auch paarweise und/oder einzeln eine getrennte Ansteuerung der Motoren sinnvoll ist. Dabei genügt der die Verstelleinrichtung durchströmende Volumenstrom an Kühlmittel der einfachen Beziehung:

$$V = K \cdot d_{B1}$$

mit

V – Volumenstrom Kühlmittel durch die Verstelleinrichtung

d_{B1} – Durchmesser des freien Querschnitts der Blendenringe

K – konstruktionsabhängige Konstante

Dabei ergibt sich d_{B1} als unmittelbar abhängig von der Anstellung des Blendeneinstellringes, d. h. von der Ansteuerung des Schrittmotors. Bei der Bemessung von K , üblicherweise im Eichversuch, ist zu berücksichtigen, daß K selbst neben der Konstruktionsabhängigkeit auch von d_{B1} abhängig ist. Insofern geht d_{B1} bzw. die Anstellung des Schrittmotors in die obige Beziehung keinesfalls linear ein.

Die erfindungsgemäße Vorrichtungsgestaltung umfaßt weiterhin das Detail, daß eine Anzahl n aufeinanderfolgender Kühlbalken (T. S. der Erfindung, unabhängig ob aktiv oder nicht) mit konstantem Abstand s ihrer Verteilerrohre so angebracht sind, daß sich, ausgehend vom ersten Kühlbalken, für die nachfolgenden Kühlbalken, bezogen auf den vorangehenden Kühlbalken, jeweils eine einseitige Versetzung um den Betrag s/n ergibt, und die Anzahl n der zu einer derartigen Gruppe gehörenden Kühlbalken mindestens zwei ist. Dadurch wird zusätzlich örtlichen Inhomogenitäten bei der Abkühlung mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung entgegengewirkt, die sich aus dem Effekt ergeben, daß im Zentrum der Kühlmittelstrahlen ein beträchtlich intensiverer Wärmeübergang stattfindet als in den Zwischen- bzw. Randbereichen der Kühlmittelstrahlen. Durch die sich erfindungsgemäß ergebende seitliche Versetzung der Kühlmittelstrahlen wird in Verbindung mit ausreichend stabilem Ablauf der Bewegung des abzukühlenden Breitflacherzeugnisses im Bereich zwischen zwei benachbarten Kühlmittelstrahlen die Kühlintensität wesentlich gleichmäßiger, was der Zielstellung der Verfahrensgestaltung unbedingt entgegenkommt.

Fertigung wie Montage, selbst die Umgestaltung einer bestehenden Kühlvorrichtung werden erfindungsgemäß durch die erforderliche seitliche Versetzung der Anschlußpunkte und Befestigungen der Kühlbalken nur geringfügig belastet.

Ausführungsbeispiel

Nachfolgend wird die Anwendung der Erfindung für die Gestaltung der Wasserkühlung im Auslaufrollgang bei der Herstellung von Warmbreitband beschrieben. Zur Wasserbeaufschlagung kommen insgesamt 45 Laminarkühlbalken für die Bandoberseite und entsprechend konstruktiv modifiziert für die Bandunterseite zum Einsatz. Tabelle 1 gibt die gebräuchlichsten Kühlarten für die produzierten Sortimente Warmbreitband an.

Tabelle 1: Schaltzustände der Kühlbalken für einzelne Warmbandsortimente (E – eingeschaltet; A – ausgeschaltet)

Sortiment	Schaltzustand	Sortiment	Schaltzustand
S 1	1–42 A 43–45 E	S 2	1–39 A 40–45 E
S 3	1–18 E 19–45 A	S 4	1–24 A 25–27 E 28–45 A
S 5	1–12 A 13–24 E 25–45 A	S 6	1–15 A 16–24 E 25–45 A
S 7	1–12 A 13–39 E 40–45 A		

Diese Zusammenstellung widerspiegelt auch die steuerungstechnisch vorgegebene Zusammenschaltung von je drei Kühlbalken zu einer gemeinsam zu- bzw. abzuschaltenden Kühlzone. Für die Bandoberseite wurde deshalb auch zonenweise die Versetzung der Kühlbalken um 15,1 mm gegenüber dem vorangehenden Balken vorgenommen, wobei der Abstand der Verteilerrohre am Balken je 45,5 mm (Abstand der Rohrmitten) beträgt.

Insgesamt wurden die letzten 15 Zonen derartig ausgeführt. Als aktive Kühlbalken wurden auf der Bandoberseite die Balken 13–18, 22–27 und 40–45 ausgeführt. Damit sind gemäß Tabelle 1 außer bei S 1 und S 4 für jedes Sortiment 6 aktive Kühlbalken zur Wasserbeaufschlagung wirksam. Die Anordnung von zwei Temperaturmeßstellen zur Bestimmung der Bandtemperatur an Bandober- und -unterseite erfolgte zwischen Kühlbalken 18 und 19 sowie 39 und 40. Jede Meßstelle tastet die Bandbreite mit jeweils 13 Meßgebern ab, die neben der Messung der Bandmitte im Abstand von 350 mm auf beiden Seiten beginnend mit je 100 mm Zwischenraum angeordnet werden. Dieser relativ hohe meßtechnische Aufwand ergibt sich aus der Schwankung der Sortimentsbreiten im Bereich von 1850 mm bis 1050 mm.

Aus dieser Anordnung ergibt sich für die Verfahrensdurchführung folgende Situation, die in Figur 2 schematisch dargestellt ist. Variante A in Figur 2 zeigt die Situation, daß die Wasserbeaufschlagung vor der ersten Meßstelle erfolgt. In diesem Falle ergibt sich eine Verfahrensgestaltung im Sinne eines Regelkreises. Die zweite Meßstelle kann prinzipiell entfallen, sie kann in diesem Falle jedoch auch zur besseren Berücksichtigung des zeitabhängigen Temperaturausgleiches anstelle der ersten Temperaturmessung bzw. gemeinsam mit dieser benutzt werden. Von dieser Situation ausgehend zeigt Variante B mit Wasserbeaufschlagung zwischen erster und zweiter Temperaturmeßstelle eine Verfahrensgestaltung im Sinne einer Regelung mit sogenannter Störgrößenaufschaltung. In diesem Falle erreicht die erfindungsgemäße Gestaltung der Kühlvorrichtung ihre maximale Wirksamkeit, da die Meßwertverarbeitung die Temperaturunterschiede im abzukühlenden Breitflacherzeugnis vor und nach der Wasserbeaufschlagung erfaßt. In diesem Sinne verkörpert Variante C den schwierigsten Fall, in dem die Einstellung der wirksamen aktiven Kühlbalken allein auf Basis der Meßwerte vor der Wasserbeaufschlagung erfolgen muß, so daß dies im Sinne einer Steuerung erfolgt. Damit ergibt sich hinsichtlich der Sortimente folgende Zuordnung zu den vorstehenden drei Grundvarianten – Variante A: S 3, S 5–S 7; Variante B: S 4; Variante C: S 1, S 2. Bei dieser Zuordnung ist zu berücksichtigen, daß im praktischen Betrieb an der ersten Meßstelle kein verwertbares Meßsignal gewinnbar ist. Die für den Prozeßrechnerbetrieb erforderlichen Einstellalgorithmen wurden auf Basis von Betriebserfahrungen, Modellsimulationen und eine Reihe gezielter experimenteller Untersuchungen an der Kühlstrecke selbst bestimmt.

Für die aktiven Kühlbalken wurde ein Kühlwassereintritt in der Mitte des Hauptgefäßes realisiert und jeweils 5 Paar Verstelleinrichtungen im Abstand von etwa 100 mm, im Bereich von 400–800 mm (zur Balkenmitte) eingebaut, wobei die Abstände bis maximal dem Wert des Durchmessers der Verteilerrohre vom angegebenen Abstandsmaß abweichen können, da die Blendenringe nicht den Kühlmiteleintritt in die Verteilerrohre behindern dürfen. Damit ergibt sich auch die Begrenzung der Gesamtstärke des Einbaus durch den Abstand und Durchmesser der Verteilerrohre am Kühlbalken.

Figur 1 zeigt einige Details des Einbaus einer derartigen Blende in nichtmaßstäblicher Darstellung. Die Blenden wurden dabei so angesteuert, daß unter Berücksichtigung seines Vordruckes an den einzelnen Kühlbalken die Kühlwassermenge im Bereich von $2,64 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ bis $1,14 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ sowie Null (vollständiger Verschleiß) je Verteilerrohr in den variablen Abschnitten der aktiven Kühlbalken verändert werden kann. Diese Grenzwerte garantieren die Stabilität der Kühlmittelstrahlen gegen ihre Auflösung in einzelne Tropfen, was zur Aufrechterhaltung der Kühlintensität erforderlich ist. Gleichzeitig wird sie dadurch aber variierbar.

Zum Einsatz des Schrittmotors ist gemäß Figur 1 am Blendeneinstellring 4 ein Kegelradsegment mit einem Winkelmaß von vorzugsweise $\pi/1,8$ ausgebildet, in welches das Kegelrad 3 auf der Antriebswelle 1 des Schrittmotors eingreift. Zur Einführung dieses Kegelrades wird im Hauptgefäß 9 eine Öffnung entsprechenden Durchmessers gestaltet, die durch Flanschring 10 und Deckel 2 mit zugehörigen Dichtungselementen verschlossen wird. Die Antriebswelle 1 wird mittels Stopfbuchse durch den Deckel 2 geführt.

Der Eintritt des Kegelrades 3 wurde zweckmäßigerweise von unten in das Hauptgefäß 9 vorgenommen, wodurch die Anordnung der Verteilerrohre nicht behindert wird. Insofern ist die Darstellung in Figur 1 gegen ihre Gebrauchslage um 180° gedreht. Da durch den platzsparenden Kegelradantrieb des Blendeneinstellringes 4 dieser bereits weitgehend fixiert ist, erfolgt die Fixierung seiner Lage auf der dem Kegelradantrieb gegenüberliegenden Seite mit einem Justierwinkel 6. Damit ist der

Blendeneinstellring 4 ausreichend fixiert, wobei zu berücksichtigen ist, daß für das Entstehen einer Drehbewegung die Grundkonstruktion mit den Blendenlamellen 5 in Verbindung mit dem festen Blendenring 7 sorgt. Zur Einstellung des erforderlichen Spieles ist der Justierwinkel 6 parallel zur Achse des Hauptgefäßes 9 verschiebar auszuführen. Durch eine zweckmäßige Gestaltung der Abdichtung der Durchführung des Justierwinkels 6 durch die Wandung des Hauptgefäßes 9 ist der Kühlmittelaustritt zu unterdrücken.

Als ein Problem erwiesen sich Toleranzen im Innenmaß der zylindrischen Hauptgefäße 9 für Serienfertigung und Einbau der Blendenringe 7. Dieses Problem wurde dadurch gelöst, daß der Blendenring 7 in seiner äußeren Bemaßung etwas kleiner als die innere (Nenn) Bemaßung des Hauptgefäßes 9 ausgeführt und geringfügig asymmetrisch zur Mittelachse des Hauptgefäßes 9 montiert wird (siehe hierzu auch Figur 1). Dazu wurden vier Befestigungsschrauben im Winkelabstand $\pi/2$ benutzt, von denen zwei gegenüberliegende Schrauben nicht im Bereich Justierwinkel bzw. Kegelradantrieb durch Langlöcher quer zur Mittelachse des Hauptgefäßes 9 durch dessen Wandung geführt werden, so daß der Blendenring 7 einseitig an der Innenwand des Hauptgefäßes 9 vorzugsweise im Bereich des Justierwinkels 6 fixiert werden kann. Zur Abdichtung des entstehenden Spaltes zwischen Innenwand des Hauptgefäßes und äußerer Berandung des festen Blendenringes trägt dieser erfindungsgemäß eine umlaufende elastische Dichtung 8 in Gestalt eines Doppel-T-Profiles, wobei die innere Profilhälfte den Außenrand des Blendeneinstellringes 4 fest umschließt und die in Richtung der Wandung des Hauptgefäßes 9 zeigenden Schenkel des Doppel-T-Profiles (siehe Figur 1) dem durch die asymmetrische Montage entstehenden Spalt zwischen Blendenring 7 und Innenwand des Hauptgefäßes 9 in ihrer Länge angepaßt sind und/oder so gestaltet sind, daß sie bei der Montage entsprechend vom Blendenring 7 aus jeweils nach außen elastisch abknicken.

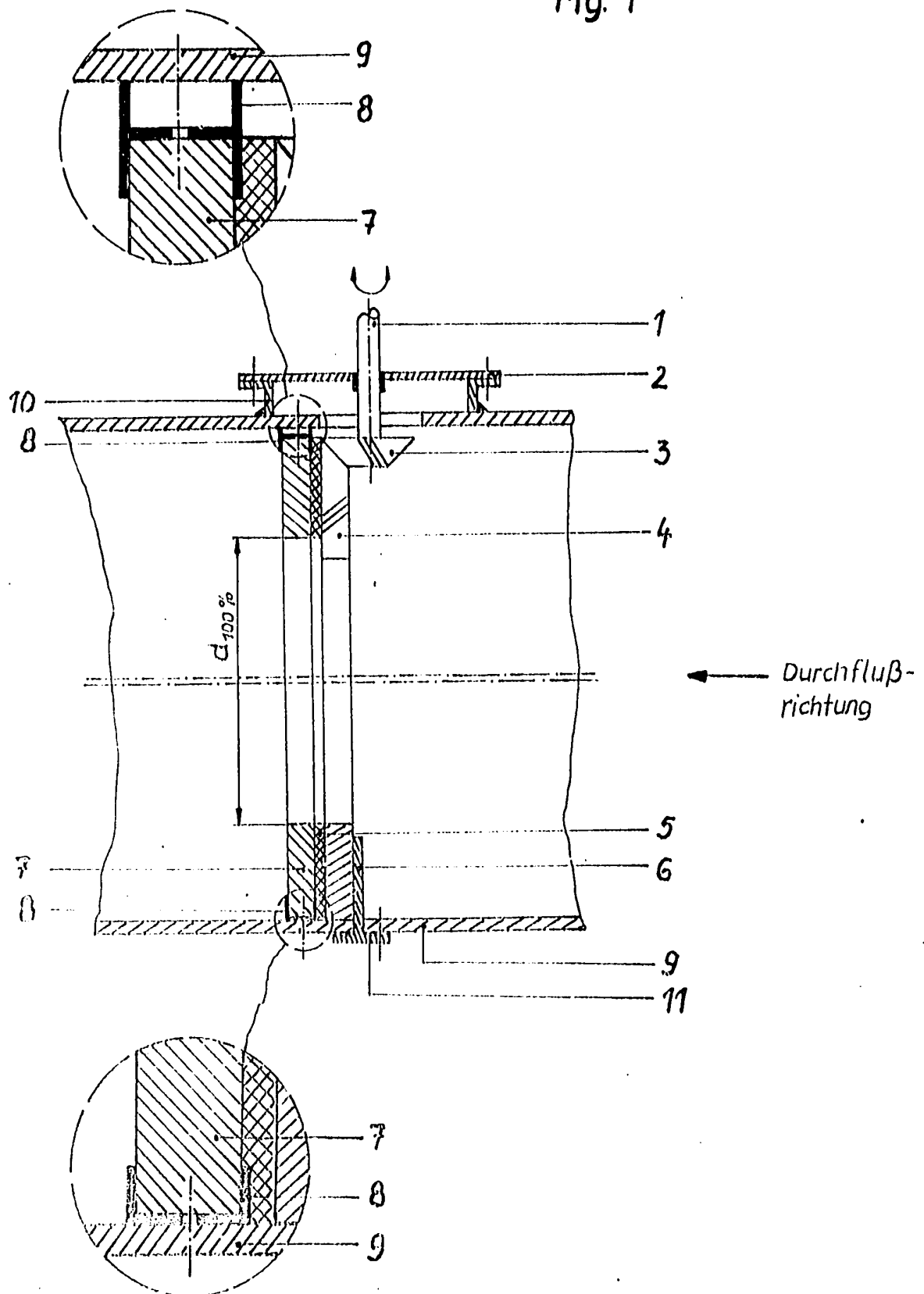


Fig. 2

