

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 567 818 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
26.07.2006 Patentblatt 2006/30

(51) Int Cl.:
F28F 1/40 ^(2006.01) **F28F 13/18** ^(2006.01)
F28F 19/00 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **03780029.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2003/013131

(22) Anmeldetag: **22.11.2003**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2004/051174 (17.06.2004 Gazette 2004/25)

(54) **VORRICHTUNG ZUR VERLÄNGERUNG DER STANDZEIT EINES ROHRBÜNDEL-
WÄRMEAUSTAUSCHERS IN INDIRECT BEHEIZTEN UHT-ANLAGEN FÜR NAHRUNGSMITTEL**

DEVICE FOR INCREASING THE SERVICE LIFE OF A TUBE-BUNDLE HEAT EXCHANGER IN
INDIRECTLY-HEATED UHT UNITS FOR FOODSTUFFS

DISPOSITIF POUR PROLONGER LA DUREE D'UTILISATION D'UN ECHANGEUR THERMIQUE A
FAISCEAU TUBULAIRE DANS DES INSTALLATIONS A ULTRA-HAUTE TEMPERATURE (UHT)
POUR PRODUITS ALIMENTAIRES, A CHAUFFAGE INDIRECT

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**

• **BUSS, Helmut**
46359 Heiden (DE)

(30) Priorität: **02.12.2002 DE 10256232**

(74) Vertreter: **Glaeser, Joachim**
Eisenführ, Speiser & Partner
Zippelhaus 5
20457 Hamburg (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
31.08.2005 Patentblatt 2005/35

(73) Patentinhaber: **Tuchenhagen Dairy Systems**
GmbH
31157 Sarstedt (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 722 075 EP-A- 1 034 824
DE-U- 9 403 913 US-A- 5 266 343
US-A- 5 680 772

(72) Erfinder:
• **SCHWENZOW, Uwe**
48683 Ahaus (DE)
• **TACKE, Ludger**
46342 Velen (DE)

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN** vol. 009, no. 164
(M-395), 10. Juli 1985 (1985-07-10) & JP 60 036895
A (SUMITOMO KEIKINZOKU KOGYO KK), 26.
Februar 1985 (1985-02-26)

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 567 818 B1

BeschreibungTECHNISCHES GEBIET

5 **[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Verlängerung der Standzeit eines Rohrbündel-Wärmeaustauschers in indirekt beheizten UHT-Anlagen für Nahrungsmittel, insbesondere für Milch oder Milchprodukte, nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

STAND DER TECHNIK

10 **[0002]** Unter einem UHT-Verfahren (UHT: Ultra High Temperature) mit indirekter Produktbeheizung durch Wärmeaustausch mittels eines Wärmeträgermediums an einer Wand versteht man eine thermische Produktbehandlung, welche auch aseptische Erhitzung genannt wird, bei der so gut wie alle Mikroorganismen, mindestens jedoch alle zur Verderbnis führenden Mikroorganismen, abgetötet werden, die während der Lagerphase des Produktes bei Raumtemperatur heranwachsen könnten. Demnach müssen alle Mikroorganismen mit Ausnahme einiger, eventuell den Erhitzungsprozess überlebender hitzeresistenter Sporen abgetötet werden. Diese wachsen jedoch bei normaler Raumtemperatur während der Lagerphase nicht über einen kritischen Wert heran. Die indirekte Produktbeheizung durch einen Wärmeaustausch an einer Wand kann sowohl mit sogenannten Platten-Wärmeaustauscheranlagen oder auch, wie im vorliegenden Falle, mit sogenannten Rohrbündel-Wärmeaustauschern erfolgen. Nachfolgend wird die Problematik durchgehend an Milch oder Milchprodukten mit annähernd gleichen kinematischen Zähigkeiten ν dargestellt, da diese Anwendungen ein wesentliches Einsatzgebiet der UHT-Anlagen der gattungsgemäßen Art darstellen.

20 **[0003]** Eine UHT-Erheizungsanlage mit indirekter Produktbeheizung beinhaltet zunächst einen Vorwärmer für die Erwärmung des Produktes. Danach wird in dieser indirekten UHT-Erheizungsanlage die Milch zumeist über einen sog. Homogenisator geführt. Es folgen ein weiterer Wärmeaustausch, eine sog. Vorheißhaltung zur Proteinstabilisierung der Milchproteine für den nachfolgenden Milcherhitzungsprozess, danach die eigentliche UHT-Erheizung mit Heißhaltung, anschließend die Kühlung unter Wärmeaustausch mit der ankommenden Milch und, falls notwendig, eine Nachkühlung. In Abhängigkeit von der jeweiligen Technologie kann die Homogenisierung vor oder auch nach der UHT-Erheizung stattfinden. Als Wärmeträgermedium fungiert Wasser, welches im Kreislauf geführt wird und entsprechend dem Temperatur-Zeit-Verlauf im Milchvorlauf bei höherer Temperatur im Gegenstrom die Milch erhitzt und im Rücklauf der Milch diese ebenfalls im Gegenstrom abkühlt. Dieser Wärmeaustausch erfolgt regenerativ, wobei bis zu 90 % der eingesetzten Energie zurückgewonnen werden können. Dabei ist der UHT-Erhitzer von diesem regenerativen Wärmeaustausch ausgenommen und die notwendige Restaufheizung erfolgt hier durch indirekte Erhitzung mit Dampf bei Umleitung des Wasserkreislaufs (Prinzip FINNAH, Ahaus; H. KESSLER, Molkereiverfahrenstechnik, 3. Auflage, 1988).

30 **[0004]** Eine vielfach in der Praxis mit Erfolg angewendete indirekte UHT-Erheizungsanlage realisiert sowohl den regenerativen Wärmeaustausch als auch den nicht regenerativen Wärmeaustausch im UHT-Erhitzer mittels sogenannter Rohrbündel-Wärmeaustauscher (DE-U-94 03 913; Prinzip Tuchenhausen Dairy Systems GmbH, Ahaus), wobei mehrere parallel geschaltete Innenrohre vorgesehen sind, die von der Milch durchflossen werden, während das Wärmeträgermedium, in der Regel Wasser oder Dampf, im Ringspaltraum (Außenkanal) des Mantelrohres (Außenmantel), welches die parallel geschalteten Innenrohre umgibt, im Gegenstrom strömt. Für den UHT-Heißhalter wird allgemein ein Einrohrsystem ohne Wärmeaustausch eingesetzt.

40 **[0005]** Bei der Erhitzung von Lebensmitteln allgemein und im vorliegenden Falle bei Milch im Besonderen tritt ein Problem auf, das mit dem Begriff Produktansatzbildung beschrieben wird. Für diese Ansatzbildung sind bei Milch hauptsächlich die Milchproteine und Mineralsalze verantwortlich. Es ist bekannt, dass mit zunehmender Produkttemperatur die Ansatzbildungsgeschwindigkeit der Proteine steigt, d.h. die Reaktionsgeschwindigkeit wird durch die Temperaturerhöhung stark gesteigert. Weiterhin ist bekannt, dass bei einer vorgeschalteten Heißhaltung bei 90 bis 95 Grad Celsius weniger Ansatz im nachgeschalteten Erhitzer bei maximal 142 Grad Celsius auftritt, was auf die Denaturierung von Molkenproteinen und den Abbau der Übersättigung von $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ durch Bildung von Kristallkeimen im Heißhalter zurückzuführen ist. Ebenfalls Einfluss auf die Ansatzbildung nimmt neben der Zusammensetzung, d.h. der Grundbelastung u.a. mit Keimen, auch der pH-Wert der Milch. Bei einer Absenkung des pH-Wertes = 6,68 auf 6,62 ist bereits mit einer starken Zunahme von Ablagerung zu rechnen.

50 **[0006]** Einen entscheidenden Einfluss auf die Produktansatzbildung hat die Fließgeschwindigkeit des Produktes, der Milch oder des Milchproduktes, da sich hier dem Ablagerungsvorgang infolge Ansatzbildung eine Abtragung durch Scherkräfte im Bereich der Strömungsgrenzschicht der Rohrrinnenwand überlagert. Diesen letztgenannten Effekt machen sich UHT-Erheizungsanlagen mit Rohrbündel-Wärmeaustauschern in besonderem Maße gegenüber Platten-Wärmeaustauschern zu Nutze, da hier konstruktionsbedingt die Strömungsgeschwindigkeit in den Innenrohren relativ hoch gewählt wird und damit eine die Strömungsgrenzschicht entsprechend beeinflussende relativ hohe Reynolds-Zahl, aus der eine geringere Verweilzeit der Milchinhaltsstoffe folgt, gegeben ist. Die Reynolds-Zahl Re ist eine den Strömungszustand (Grad der Laminarität bzw. Turbulenz) kennzeichnende dimensionslose Kenngröße; sie errechnet sich aus der

mittleren Strömungsgeschwindigkeit v im Innenrohr, dessen hydraulischem (gleichwertigem) Innendurchmesser d_{hydr} und der kinematischen Zähigkeit ν des Produktes nach der Beziehung $Re = v \cdot d_{\text{hydr}} / \nu$. Bekannte Rohrbündel-Wärmeaustauscher in UHT-Erhitzeranlagen der in Rede stehenden Art werden in Anwendung auf Milch oder Milchprodukte derzeit mit Reynolds-Zahlen im Bereich zwischen $Re = 15.000$ und $Re = 30.000$ betrieben. Beispielsweise resultiert hieraus bei einem Rohr $\Phi 14 \times 1$ mm und einer kinematischen Zähigkeit $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ für Milch eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit v im Innenrohr von $v = 1,25$ bis $2,5 \text{ m/s}$.

[0007] Aufgrund des vorgenannten signifikanten Einflusses der Produkttemperatur auf die Ansatzbildungsgeschwindigkeit ist der UHT-Erhitzer und der UHT-Heißhalter der kritische Anlagenbereich einer UHT-Erheizungsanlage, soweit es das Problem der Ansatzbildung betrifft. Es liegt auf der Hand, dass durch Produktansatzbildung einerseits der Wärmeaustausch an den Innenrohren verschlechtert, d.h. die Wärmedurchgangszahl k signifikant vermindert wird, und andererseits durch die Ansatzbildung der Druckverlust Δp_v in den Innenrohren, der umgekehrt proportional zur fünften Potenz des Rohrinneindurchmessers D_i ist, deutlich ansteigt. Die Verschlechterung des Wärmedurchgangs führt schließlich dazu, dass die notwendigen Wärmeströme zur Sicherstellung einer hinreichenden Temperatur zur Abtötung der Mikroorganismen nicht mehr übertragen werden können und dass zudem ein Druckverlust Δp_v auftritt, der im Grenzfall den anfänglichen Druckverlust erheblich übersteigt. Es kommt zur Betriebsstörung in Form einer Produktionsunterbrechung; ein weiterer Betrieb der UHT-Erheizungsanlage ist dann nicht mehr möglich.

[0008] Betriebszeiten der UHT-Erheizungsanlage von bis zu 20 Stunden, die auch mit dem Begriff Standzeiten charakterisiert werden, sind ohne Unterbrechung bis zur Reinigung unter günstigen Bedingungen möglich. Danach muss die Produktion unterbrochen, die Anlage gereinigt und ggf. neu sterilisiert werden. Man wendet hier zum einen eine sogenannte sterile Zwischenreinigung an, die beispielsweise 1,5 Stunden bei hoher Temperatur durchgeführt wird. Eine zweite Möglichkeit besteht zum anderen darin, eine sogenannte Hauptreinigung durchzuführen, die etwa zwei Stunden andauert, um dann anschließend die gesamte Anlage neu über eine Zeitspanne von etwa einer Stunde zu sterilisieren.

[0009] Unabhängig von dem jeweiligen Reinigungsverfahren stellt die Abreinigung der Ablagerungen und die erneute Bereitstellung aseptischer Bedingungen eine Betriebsunterbrechung dar, die einen erheblichen Kostenfaktor einerseits mit Blick auf eine Unterbrechung der Produktion und andererseits mit Blick auf das Reinigungsverfahren selbst darstellt. In der Praxis der Ultrahoch-Erheizungstechnologie ist demzufolge zum einen die Standzeitverlängerung ein vorrangiges Anliegen, um die Produktionskosten zu senken. Ein wesentlicher Ansatzpunkt zur Standzeitverlängerung besteht in der Reduzierung der Ansatzbildungsgeschwindigkeit. Zu diesem Zwecke ist vorrangig eine möglichst vollständige Denaturierung potenziell Ansatz bildenden Proteins durch entsprechende konstruktive Maßnahmen anzustreben. Wenn die Möglichkeiten der Reduzierung im Bereich der Vorheißhaltung der Milch erschöpft sind, muss sich das Augenmerk hinsichtlich einer weiteren Reduzierung auf den Bereich der Rohrbündel-Wärmeaustauscher in den betreffenden hohen Temperaturbereichen der UHT-Erhitzeranlage richten.

[0010] Zum anderen macht die Reinigungs- und Sterilisationszeit etwa 10 bis 15 % der Standzeit aus, sodass diesbezüglich auch der Wunsch und die Notwendigkeit besteht, diese Zeiten absolut und nicht nur relativ, bezogen auf eine verlängerte Standzeit, zu reduzieren. Bei der Reinigung, insbesondere einer solchen unter Verwendung von chemischen Mitteln, ist jedoch zu beachten, dass die Keime in topographischen Untiefen (Rauhtiefen) speziell bei gewalzten, geglähten, chemisch gebeizten und anschließend nicht weiter mechanisch behandelten Oberflächen entsprechend verlängerte Einwirkzeiten benötigen. Danach ergibt sich im Sinne der hygienischen Endbedingungen nun das Folgeproblem, dass alle organischen und anorganischen Kontaminationssubstanzen von der Oberfläche rückstandsfrei weggespült werden müssen.

[0011] Aus der Druckschrift DE 692 15 988 T3 ist ein Wärmeübertragungsrohr bekannt, das als Verdampfungs- und Kondensationsrohr in Vorrichtungen wie Wärmetauschern und Wärmerohrleitungen genutzt wird und das auf der Oberfläche seiner Rohrrinnenwand Makro-Rauhigkeitsstrukturen aufweist, die sich in einem Winkel zur Längsrichtung des Wärmeübertragungsrohres erstrecken. Bei diesen Makro-Rauhigkeits-Strukturen handelt es sich zum einen um eine Vielzahl von zueinander parallelen Hauptnuten, die unter dem besagten Winkel verlaufen, einen trapezförmigen Querschnitt haben und deren Tiefe im Bereich von $0,15$ bis $0,35 \text{ mm}$ liegt. Zum anderen ist eine Vielzahl von zueinander parallelen engen Nuten vorgesehen, die sich in einem Winkel zur Längsrichtung des Wärmeübertragungsrohres erstrecken, wobei diese engen Nuten das Rohr nur bereichsweise erfassen und jede der engen Nuten eine Grundfläche und zwei Seitenflächen aufweist und innerhalb der Hauptnuten und zu diesen parallel ausgebildet ist. Dabei sind die Seitenflächen der genannten engen Nuten u.a. eng zu der Grundfläche hin geneigt, wodurch jede der Seitenflächen und die Grundfläche jeweils einen spitzen Einschnitt bilden. Mit dem bekannten Wärmeübertragungsrohr soll bei dessen Anwendung als Kondensationsrohr ein verbesserter Verflüssigungs-Wirkungsgrad durch Verstärkung der Turbulenzen der Dämpfe sowie eine verbesserte Kristallisationskernbildung für die Flüssigphase erreicht werden, die durch die Wirkung der Oberflächen-Unebenheiten herbeigeführt wird. Bei Anwendung des Wärmeübertragungsrohres in Verdampfern sollen die Kanten der Nuten als Kernbildungsorte für die Blasen wirken. Derartige Wärmeübertragungsrohre sind für einen Einsatz in indirekt beheizten UHT-Anlagen für Nahrungsmittel nicht geeignet, da insbesondere die engen Nuten die Produktansatzbildung begünstigen und damit die Standzeit der UHT-Anlagen verringern würden.

[0012] Weiterhin ist in der Druckschrift DE 197 51 405 A1 ein Wärmeübertragungsrohr beschrieben, bei dem die

Wärmeaustauschfläche an der dem strömenden Medium zugewandten Seite Zonen unterschiedlicher Oberflächenrau-
 higkeit aufweist, wobei diese Zonen streifenförmig ausgebildet sind und in einem gegenüber der Hauptströmungsrichtung
 des Mediums geringen Neigungswinkel verlaufen. Die Wirkungsweise dieses bekannten Wärmeübertragungsrohres
 steht und fällt offensichtlich mit den alternierend angeordneten streifenförmigen Zonen unterschiedlicher Oberflächen-
 5 rauigkeit, denn diese Anordnung soll im Bereich des Übergangs zwischen dem strömenden Medium und der Wärme-
 austauschfläche eine die thermische Grenzschicht aufreißende Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit erzeugen. Die
 besagten Zonen können kaum als relativ große Makro-Rauhigkeits-Strukturen des Rohres bezeichnet werden und
 hinsichtlich der unterschiedlichen Oberflächenrauigkeiten finden sich keine Hinweise, ob diese Oberflächenrauigkeiten
 10 eine Produktansatzbildung in UHT-Erhitzen und/oder nachgeordneten UHT-Heißhaltern begünstigen oder hemmen
 würden.

[0013] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung der gattungsgemäßen Art vorzuschlagen, mit der
 die Standzeit der UHT-Anlagen signifikant verlängert und, als Nebeneffekt, der Reinigungsvorgang optimiert und die
 Sterilisationshäufigkeit reduziert wird.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0014] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführ-
 15 forms der vorgeschlagenen Vorrichtung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0015] Die vorgeschlagene Vorrichtung gemäß der Erfindung ist Teil des sog. Rohrbündel-Wärmeaustauschers, der
 20 in der Regel aus einer Vielzahl von Rohrbündeln besteht, von denen jedes mehrere parallel geschaltete Innenrohre mit
 einem gemeinsamen Eintritt und einem gemeinsamen Austritt für ein zu erheizendes Produkt aufweist. Die jeweilige
 Gruppe von Innenrohren wird von einem Außenmantel umschlossen, der jeweils nahe der Enden mit einem radial ein-
 bzw. ausmündenden Anschlussstutzen für ein Wärmeträgermedium versehen ist, das einen vom Außenmantel gegen-
 über den Innenrohren begrenzten Außenkanal im Gegenstrom zur Rohrströmung in einem von den Innenrohren be-
 25 grenzten Innenkanal durchströmt.

[0016] Die erfinderische Lösung macht dabei von zwei Mechanismen Gebrauch, nämlich zum einen vom Mechanismus
 der Erhöhung der Turbulenz in der thermischen und hydraulischen Grenzschicht der Rohrströmung im Innenrohr. Dies
 gelingt dadurch, dass das jeweilige Innenrohr eines UHT-Erhitzen und nachgeordneten UHT-Heißhalters wenigstens
 auf der Oberfläche seiner Rohrrinnenwand Makro-Rauhigkeits-Strukturen M_R aufweist, die in einem Anstellwinkel $35 \geq$
 30 $\alpha \geq 25$ Grad gegenüber der Längsachse des Innenrohres orientiert sind. Daraus resultiert wiederum ein turbulenter
 Impulsaustausch quer zur Hauptströmungsrichtung im Bereich der thermischen und hydraulischen Grenzschicht, wo-
 durch die Bildung von Produktansätzen gehemmt wird. Derartige Makro-Rauhigkeits-Strukturen müssen so beschaffen
 sein, dass sie aus der laminaren Unterschicht der Grenzschicht herausragen und somit den gewünschten Impulsaus-
 35 tausch generieren bzw. begünstigen. Darüber hinaus müssen diese Makro-Rauhigkeits-Strukturen gegenüber der Haupt-
 strömungsrichtung der Rohrströmung derart orientiert sein, dass die Anlagerung von Produktansätzen nicht begünstigt
 wird.

[0017] Die Erfindung macht weiterhin von einem zweiten Mechanismus Gebrauch, der von der mikroskopischen
 Beschaffenheit der Oberfläche der Rohrrinnenwand des Innenrohres entscheidend geprägt wird. Hier wird vorgeschlagen,
 dass die derart strukturierte Oberfläche der Rohrrinnenwand flächendeckend mittels eines elektrochemischen Polierver-
 40 fahrens behandelt ist, das eine Mikro-Oberflächen-Beschaffenheit m_R erzeugt, die sich strukturell wie energetisch durch
 eine reduzierte Neigung für die Anhaftung von Fremdstoffen auszeichnet. Dabei geht es allerdings nicht vorrangig
 um jenes strukturelle Merkmal der Oberfläche, das durch einen sog. Rauhtiefenwert, wie beispielsweise die gemittelte
 Rauhtiefe R_z oder den arithmetischen Mittenrauhwert R_a (Definition gemäß DIN EN ISO 4287) bestimmt ist. Es ist
 45 nämlich ein verbreiteter Trugschluss (s. hierzu G. HENKEL, A-4830 Waidhofen/Thaya; Aufsatz Nr. 35, 2001, "Moderne
 Oberflächenbehandlung von hochwertigen Edelstahlrohren für den Wärmetauschereinsatz"; Sonderdruck aus PRO-
 CESS, 8. Jahrgang, März 2001, "Der Schein trügt"), die Qualität einer Metalloberfläche durch Angabe eines Rauhtie-
 fenwertes definieren zu wollen, denn damit wird lediglich eine quantitative Vergleichsgröße angegeben, die eine echte
 Vorstellung von der effektiven Oberflächengestalt und sonstigen -beschaffenheit nicht vermitteln kann.

[0018] Die Verhinderung der Belagbildung auf Edelstahl-Oberflächen oder wenigstens deren Verminderung oder
 50 Hemmung, die sich die vorliegende Erfindung mit Blick auf die Verlängerung der Standzeit bzw. die Reduzierung der
 Reinigungs- und Sterilisationszeit zum vorrangigen Ziel gesetzt hat, werden im Wesentlichen durch die physikalischen
 Verhältnisse an der Oberfläche bestimmt. Hier sind insbesondere die mikroskopischen Bindungsmechanismen der
 Kontaminationen an die Oberfläche von Interesse. Dies sind neben Van-der-Waals-Kräften vor allem Brückenbindungen
 und auch mechanische Verankerungen.

[0019] Einfach standardisierte Innenoberflächen Ausführungen der Edelstahlrohre, wie sie beispielsweise durch Kalt-
 55 ziehen oder Walzen und anschließendes Glühen und Beizen entstehen, wobei im Sonderfall diese Oberflächen zusätzlich
 auch noch mechanisch geschliffen sein können, sind in der Weise relativ aktiv, dass es zwischen der Oberfläche und
 dem fließenden Medium, dem Produkt, speziell auch bei turbulenter Strömung, in der strömungstechnisch beruhigten

Grenzschicht, der laminaren Unterschicht, zu sogenannten chemo-physikalischen Reaktionen von Medienpartikeln mit den Berührungsflächen kommt. Dadurch baut sich auf der Edelstahloberfläche, punktförmig wachsend, eine Belagschicht auf, welche dem Charakter nach eine Zwischen- oder Grenzschicht darstellt, in der sich Partikel bevorzugt verankern und sodann weitere Partikel des Mediums sich anlagern, wodurch letztlich geschlossene Schichtenbildung entsteht. Im

vorliegenden Falle sind es bei UHT-Erheizungsanlagen die Anlagerungen von potenziell Ansatz bildenden Substanzen. **[0020]** Erfindungsgemäß wird nun eine Mikro-Oberflächen-Beschaffenheit m_R vorgeschlagen, die mehr die energetische als die strukturelle Beschaffenheit der jeweiligen Edelstahloberfläche verändert. Dies gelingt durch fachgerechtes elektrochemisches Polieren (s. hierzu Firmendruckschrift **HENKEL** Beiz- und Elektropoliertechnik, A-3830 Waidhofen/Thaya, "Die Oberfläche sichert den Wert des Bauteils").

[0021] Zur Darstellung der Wirksamkeit der vorgeschlagenen Maßnahme werden nachfolgend vergleichende quantitative Angaben gemacht. Diese Angaben resultieren aus Versuchen an Edelstahlrohren mit einer Oberflächenbehandlung der vorgenannten Art, wobei auch die elektrochemisch polierten, ebenso wie die nicht derart behandelten, im Ausgangszustand mechanisch geschliffen waren. In Rohr-bündel-Wärmeaustauschern der UHT-Anlagen der gattungsgemäßen Art kommen aus Kostengründen in der Regel längsnahtgeschweißte Edelstahlrohre zur Anwendung, die wegen der durchgehenden axialen Schweißnaht innenseits zusätzlich kalibriert, nicht jedoch, wie vorstehend erwähnt, zusätzlich mechanisch geschliffen werden. Die Versuchsergebnisse lassen sich daher nicht ohne weiteres quantitativ auf die Innenrohre von Rohrbündel-Wärmeaustauschern übertragen, jedoch machen diese Ergebnisse zumindest die qualitative Veränderung der physikalischen Beschaffenheit der Oberfläche der Rohrrinnenwand durch elektrochemisches Polieren deutlich.

[0022] Durch das elektrochemische Polieren wird die Oberfläche dieser Rohre zum einen mit einer lückenlosen Passivschicht überzogen, wobei diese aus einer relativ dicken Chromoxidschicht besteht (> 2 nm gegenüber < 1 nm bei der Ausführung mit mechanischem Vorschleiß, ohne elektrochemisches Polieren). Zum anderen ist die Oberfläche infolge des belastungsfreien elektrochemischen Polierabtrages praktisch spannungsfrei und zeigt ein werkstofftypisches, spezifisches Energieniveau von etwa 1,3 N/m (gegenüber ca. 2,2 N/m bei mechanischem Vorschleiß). Passivierung und Reduzierung des Energieniveaus ergeben in erster Linie die reduzierte Neigung für die Anhaftung von Fremdsubstanzen, d.h. die signifikant stark verminderte Belagsneigung.

[0023] Der durch das elektrochemische Polierverfahren bewirkte Abtrag liegt bei etwa 10 bis 15 μm , wodurch sich gezeigt hat, beispielsweise belegt durch eine Untersuchung (G. **HENKEL**), dass 1 cm^2 projizierte Oberfläche dann etwa 2,5 bis 4 cm^2 wahre Oberfläche hat (gegenüber 12 bis 14 cm^2 bei mechanischem Vorschleiß). Die strukturelle Mikro-Oberflächen-Beschaffenheit m_R hat auch Einfluss auf die Produktansatzbildung, wobei sich diese Beschaffenheit kaum auf den Mittenrauhwert R_a auswirkt, der in der Untersuchung bei der elektrochemisch polierten Oberfläche bei $R_a = 0,2$ bis 0,25 μm und bei der Oberfläche mit mechanischem Vorschleiß bei $R_a = 0,3$ bis 0,5 μm lag. Es ist weiterhin bekannt, dass die Neigung zur Ansatzbildung gehemmt wird wenn die topographischen Untiefen einer Oberfläche, deren Anzahl in Relation zu der vorgenannten wahren Oberfläche steht, wenigsten gleich, besser kleiner als die repräsentative Größe der sich in unerwünschter Weise anlagernden Partikel ist. Bei der Milcherhitzung bestehen die Produktansätze aus Proteinen mit einer Größe von 1 bis 2 μm , Mikroorganismen $> 1,5 \mu\text{m}$ und Zucker und Salzen im Bereich von 0,7 bis 0,8 μm .

[0024] Längsnahtgeschweißte Innenrohre aus Walzstahl mit anschließender Kalibrierung, wie sie in den Rohrbündel-Wärmeaustauschern der in Rede stehenden Art üblicherweise bislang zur Anwendung kommen, weisen in der Regel Mittenrauhwerte $R_a \leq (0,7 \text{ bis } 0,8) \mu\text{m}$ und im Bereich der Schweißnaht etwa $R_a \leq 1,2 \mu\text{m}$ auf.

[0025] Die nachfolgende Tabelle belegt den vorstehenden Sachverhalt am Beispiel des Keimwachstums auf rostfreiem Edelstahl 1.4301 in Abhängigkeit vom Bearbeitungsverfahren der Oberfläche und von der Zeit:

Tabelle

$\frac{t}{\text{min}}$	Anzahl der Keime		
	chemisch gebeizt	Gewalzt, anschließend geschliffen Korn 400	elektrochemisch poliert
20	10^4	$3 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$
30	10^6	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^2$

[0026] Das mit der Erfindung verfolgte Ziel, nämlich die Standzeit der in Rede stehenden UHT-Erheizungsanlagen zu verlängern und die Reinigungs- und Sterilisationszeit zu verkürzen, ist in signifikanter Weise durch die Kombination der beiden vorstehend beschriebenen Maßnahmen zu erreichen, die ihre gewünschte Wirksamkeit einmal durch die Makro-Rauhigkeits-Strukturen M_R außerhalb der laminaren Unterschicht und zum andern durch die Mikro-Oberflächen-Beschaffenheit m_R im Wesentlichen innerhalb der laminaren Unterschicht der Strömungsgrenzschicht im innen ohr beziehen.

[0027] Die Wirksamkeit der vorgeschlagenen erfinderischen Maßnahmen sei an folgendem im Praxistest ermittelten

Ergebnis quantitativ abzulesen.

- Ohne die erfinderischen Maßnahmen stellt sich am Milchaustritt des UHT-Erhiters mit jeweils sieben parallel geschalteten Innenrohren $\Phi 14 \times 1$ mm bei einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit im Innenrohr von $v = 2,4$ m/s ($Re \approx 28.000$) nach 20-stündiger Betriebszeit eine Temperaturdifferenz zwischen Wärmeträgermedium und Milch von $\Delta\vartheta = \vartheta_a - \vartheta_E = 12$ Grad Celsius ein.
- Durch die erfinderischen Maßnahmen wird unter ansonsten gleichen Bedingungen an dieser Stelle eine Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta = 7$ Grad Celsius erreicht, sodass im Vergleich zum Glatt-Rohr die Standzeit noch um einige Stunden verlängert werden kann, bis vergleichbare Temperaturverhältnisse vorliegen, die eine Unterbrechung des Betriebs der Anlage erfordern.

[0028] Neben den beiden vorstehend beschriebenen Maßnahmen gemäß der Erfindung, die die strukturelle und die physikalische Beschaffenheit der Oberfläche der Rohrrinnenwand prägen, wird weiter vorgeschlagen, die Vorrichtung mit einer turbulenten Strömung im Innenrohr zu betreiben, deren Reynolds-Zahl Re im Bereich $35.000 \leq Re \leq 45.000$ liegt. Dieser Grad der Turbulenz sorgt für einen forcierten Impulsaustausch und Scherkräfte im wandnahen Bereich der Strömungsgrenzschicht, wodurch die Neigung zur Produktansatzbildung weiter reduziert und dadurch die Standzeit der Rohrbündel-Wärmeaustauscher weiter erhöht wird. Das bedeutet beispielsweise für ein Innenrohr mit $\Phi 14 \times 1$ mm und in Anwendung auf Milch ($\nu = 1 \cdot 10^{-6}$ m²/s), dass die mittlere Strömungsgeschwindigkeit v im Innenrohr im Bereich von $v = 2,9$ bis $3,75$ m/s liegt.

[0029] Aus der Wärmeübertragungstechnik ist bekannt, den Wärmeübergang im Vergleich zum sog. Glatt-Rohr durch Profilierung der wärmeübertragenden Rohrrinnen- und Rohraußenfläche zu verbessern. Hierzu werden schraubengangförmige Vertiefungen durch Umformtechniken in die Rohrwand eingebracht, wodurch zur Erzeugung dieser gewünschten Makro-Rauhigkeits-Strukturen keine zusätzliche Materialdicke, wie beispielsweise beim bekannten Rippenrohr, erforderlich ist. Dies bedeutet, dass eine außenseitig angebrachte Vertiefung innenseitig eine entsprechende Erhöhung darstellt. Die so verformten dünnwandigen Rohre werden als sog. Drallrohre bezeichnet (Firmendruckschrift der Firma **hde Solutions GmbH**, Menden, DE, Drallrohr TURBO HELIX). Es hat sich gezeigt, dass die Wärmedurchgangszahl k bei einem Drallrohr $\Phi 14 \times 0,8$ mm und einer sog. Dralltiefe $t = 0,75$ mm, einem Wärmeaustausch Wasser gegen Wasser, einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit von 1 m/s innen und außen und bei einem Drallwinkel $\delta = 45$ Grad um ca. 60 bis 65 % gegenüber dem Glatt-Rohr unter sonst vergleichbaren Bedingungen ansteigt.

[0030] Dieser an sich bekannte Effekt der Turbulenzerhöhung in der thermischen und hydraulischen Grenzschicht ist jedoch nicht ohne weiteres quantitativ auf die Problematik der Produktansatzbildung im Innenrohr von UHT-Erheizungsanlagen zu übertragen. Das wärmetechnische Optimum, das bei dem vorstehend erwähnten Drallwinkel $\delta = 45$ Grad liegt, wobei der Drallwinkel dem Steigungswinkel der schraubengangförmigen Profilierung entspricht, führt in nicht vorausesehbarer Weise zu keiner Verminderung des Produktansatzes im Vergleich zum entsprechenden Glatt-Rohr. Es hat sich vielmehr herausgestellt, dass, abweichend von den Erkenntnissen auf dem Gebiet der Wärmeübertragungstechnik, ein Drallwinkel im Bereich von $\delta = 60$ Grad vorzusehen ist, mit dem gegenüber dem vergleichbaren Glatt-Rohr eine deutliche Reduzierung der Ansatzbildungsgeschwindigkeit zu erreichen ist. Ein Drallwinkel von $\delta = 60$ Grad bedeutet, dass die Makro-Rauhigkeits-Strukturen, im vorliegenden Falle die schraubengangförmigen Vertiefungen, gegenüber der Längsachse des Innenrohres, um einen Anstellwinkel $\alpha = 30$ Grad orientiert sind ($\alpha = 90$ Grad - ö). Brauchbare Ergebnisse liefern auch noch Drallwinkel im Bereich von $\delta = 60 \pm 5$ Grad, d.h. Anstellwinkel im Bereich von $\alpha = 30 \pm 5$ Grad.

[0031] Es kann von Vorteil sein, eine Dralltiefe t und eine Drallbreite b , die jeweils die Drallung eines Drallrohres kennzeichnen, produktspezifisch auszulegen. Zu diesem Zweck sieht die Erfindung vor, dass die Drallung, produktspezifisch vorwählbar, eine Dralltiefe t und eine Drallbreite b aufweist. Es wird in diesem Zusammenhang weiterhin vorgeschlagen, das Drallrohr eingängig mit einer Ganghöhe H_G auszubilden.

[0032] Da ein mit einem erfindungsgemäßen Drallwinkel von ca. $\delta = 60$ Grad ausgelegtes Drallrohr nur einen Teil der Oberfläche des Innenrohres mit den erwünschten Makro-Rauhigkeits-Strukturen M_R erfasst, sieht eine Weiterbildung der Vorrichtung gemäß der Erfindung vor, dass das Drallrohr mehrgängig mit einer Gangzahl g und jeweils mit einer Ganghöhe H_G ausgebildet ist. Auf diese Weise ist es möglich, die gesamte Oberfläche des Innenrohres mit den erwünschten Makro-Rauhigkeits-Strukturen zu belegen. Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird die vollständige Belegung der Oberfläche des Innenrohres dann erreicht, wenn sich die Drallbreite b aus der durch die Gangzahl g geteilten Ganghöhe H_G ergibt ($b = H_G/g$).

[0033] Wie vorstehend dargelegt wurde, ist der kritische Bereich einer UHT-Erheizungsanlage in Bezug auf Produktansätze im Bereich der UHT-Erhitser und UHT-Heißhalter zu sehen. Produktansätze zeigen sich jedoch auch in anderen Bereichen einer UHT-Erheizungsanlage. Um auch hier die Standzeit zu verlängern und den Reinigungsaufwand zu reduzieren, wird vorgeschlagen, dass auch die Innenrohre der dem UHT-Erhitser und UHT-Heißhalter vor- und nachgeschalteten Rohrbündel-Wärmeaustauscher der UHT-Anlage, soweit sie in einem Temperaturbereich oberhalb von

100 Grad Celsius betrieben werden, mit den Makro-Rauhigkeits-Strukturen M_R und der Mikro-Oberflächen-Beschaffenheit m_R gemäß der Erfindung versehen sind.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0034] Ausführungsbeispiele der Vorrichtung gemäß der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Es zeigen

- Figur 1** einen Mittelschnitt durch ein sog. Rohrbündel als modularer Teil eines Rohrbündel-Wärmeaustauschers, auf dessen Innenrohre die erfindungsgemäßen Maßnahmen Anwendung finden;
- Figur 2** in Ansicht einen Ausschnitt aus einem als fünfgängiges Drallrohr ausgeführten Innenrohr, wie es in dem Rohrbündel gemäß **Figur 1** zur Anwendung kommt;
- Figur 3** in vergrößerter Darstellung einen Mittelschnitt durch das Drallrohr gemäß **Figur 2** im Bereich einer dort gekennzeichneten Einzelheit "X";
- Figur 4** in Ansicht einen Ausschnitt aus einem als eingängiges Drallrohr ausgebildeten Innenrohr, das ansonsten die gleichen Abmessungsverhältnisse wie jenes gemäß **Figur 2** besitzt und
- Figur 5** in Ansicht einen Ausschnitt aus einem Drallrohr in einer dritten Ausführungsform, wobei die Drallung kreuzgedrallt unter einem Drallwinkel von jeweils $\delta = 60$ Grad ausgeführt ist.

BEZUGSZEICHENLISTE DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN

[0035]

1	Rohrbündel
2	Außenmantel
2'	Außenkanal
2a	festlagerseitiger Außenmantelflansch
2b	loslagerseitiger Außenmantelflansch
3; 3*	Innenrohr
3'	Innenkanal
3a	Rohrrinnenwand
3*	Drallrohr
3a*	Drallung
4.1	erstes Gehäuse
4a	erster Anschlussstutzen
4a*	erster Querkanal
4.2	zweites Gehäuse
4b	zweiter Anschlussstutzen
4b*	zweiter Querkanal
5	festlagerseitiger Austauscherflansch
5a	erste Anschlussöffnung
5b	erster konischer Übergang
5c	erster erweiterter Durchtrittsquerschnitt
6	loslagerseitiger Austauscherflansch
7	festlagerseitige Rohrträgerplatte (Rohrspiegelplatte)
8	loslagerseitige Rohrträgerplatte (Rohrspiegelplatte)
8a	zweite Anschlussöffnung
8b	zweiter konischer Übergang
8c	zweiter erweiterter Durchtrittsquerschnitt
8d	loslagerseitiger Anschlussstutzen
9	Flachdichtung
10	O-Ring
11	Verbindungsbogen
b	Drallbreite
c	Strömungsgeschwindigkeit im Außenmantel (Außenkanal)
d_{hydr}	hydraulischer (gleichwertiger) innerer Durchmesser des Innenrohres
g	Gangzahl
k	Wärmedurchgangszahl

m_R	Mikro-Oberflächen-Beschaffenheit
Δp_v	Druckverlust
t	Dralltiefe
v	mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Innenrohr (Innenkanal)
5 A	Austritt
A_0	Nenndurchtrittsquerschnitt
E	Eintritt
D_a	Rohraußendurchmesser
D_i	Rohrinnendurchmesser
10 DN	Nenndurchmesser
H_G	Ganghöhe
M_R	Makro-Rauhigkeits-Strukturen
P	Produkt (temperaturbehandelte Seite)
R_a	Mittenrauhwert
15 R_z	Rauhtiefe
Re	Reynolds-Zahl der Strömung im Innenrohr ($Re = d_{hydr} v/v$)
W	Wärmeträgermedium
α	Anstellwinkel ($\alpha = 90 - \delta$)
δ	Drallwinkel ($\delta = 90 - \alpha$)
20 ν	kinematische Zähigkeit des Produktes
ϑ_a	Austrittstemperatur des Wärmeträgermedium
ϑ_E	Eintrittstemperatur des Produktes
$\Delta\vartheta = \vartheta_a - \vartheta_E$	Temperaturdifferenz am Produkteintritt

25 DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0036] Ein Rohrbündel 1 (**Figur 1**; siehe auch **DE-U-94 03 913**) besteht in seinem mittleren Teil aus einem einen Außenkanal 2' begrenzenden Außenmantel 2 mit einem, bezogen auf die Darstellungslage, linksseitig angeordneten festlagerseitigen Außenmantelflansch 2a und einem rechtsseitig angeordneten loslagerseitigen Außenmantelflansch 2b. An letzterem schließt sich ein von einem ersten Gehäuse 4.1 begrenzter erster Querkanal 4a* mit einem ersten Anschlussstutzen 4a und an den festlagerseitigen Außenmantelflansch 2a schließt sich ein von einem zweiten Gehäuse 4.2 begrenzter zweiter Querkanal 4b* mit einem zweiten Anschlussstutzen 4b an. Eine Anzahl von sich achsparallel zum Außenmantel 2 durch den Außenkanal 2' erstreckenden, gemeinsam einen Innenkanal 3' bildenden Innenrohre 3, 3*, beginnend mit vier und danach auch bis neunzehn ansteigend und ggf. auch mehr an der Zahl, sind endseitig jeweils in einer festlagerseitigen Rohrträgerplatte 7 bzw. einer loslagerseitigen Rohrträgerplatte 8 (beide auch als Rohrspiegelplatte bezeichnet) abgestützt und an ihrem Rohraußendurchmesser D_a in dieser verschweißt, wobei diese Gesamtanordnung über eine nicht näher bezeichnete Öffnung am zweiten Gehäuse 4.2 in den Außenmantel 2 eingeführt und über einen festlagerseitigen Austauscherflansch 5 mit dem zweiten Gehäuse 4.2 unter Zwischenschaltung von jeweils einer Flachdichtung 9 zusammengespannt ist (Festlager 5, 7, 4.2).

[0037] Die beiden Gehäuse 4.1, 4.2 sind gegenüber dem jeweils benachbarten Außenmantelflansch 2b, 2a ebenfalls mit einer Flachdichtung 9 abgedichtet, wobei das rechtsseitig angeordnete erste Gehäuse 4.1 in Verbindung mit dem Außenmantel 2 über einen loslagerseitigen Austauscherflansch 6 unter Zwischenschaltung eines O-Ringes 10 gegen das linksseitig angeordnete Festlager 5, 7, 4.2 gepresst wird. Die loslagerseitige Rohrträgerplatte 8 greift durch eine nicht näher bezeichnete Bohrung im loslagerseitigen Austauscherflansch 6 hindurch und findet gegenüber letzterem ihre Abdichtung mittels des dynamisch beanspruchten O-Ringes 10, der darüber hinaus das erste Gehäuse 4.1 statisch gegen den loslagerseitigen Austauscherflansch 6 abdichtet. Letzterer und die loslagerseitige Rohrträgerplatte 8 bilden ein sog. Loslager 6, 8, welches die Längenänderungen der in der loslagerseitigen Rohrträgerplatte 8 eingeschweißten Innenrohre 3, 3* infolge Temperaturänderung in beiden axialen Richtungen zulässt.

[0038] Abhängig von der Anordnung des jeweiligen Rohrbündels 1 im Rohrbündel-Wärmeaustauscher und seiner jeweiligen Beschaltung können die Innenrohre 3, 3*, bezogen auf die Darstellungslage, entweder von links nach rechts oder umgekehrt von einem zu erhitzenden Produkt P durchströmt werden, wobei die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Innenrohr 3, 3* und damit im Innenkanal 2' mit v gekennzeichnet ist. Die querschnittsmäßige Auslegung erfolgt in der Regel derart, dass diese mittlere Strömungsgeschwindigkeit v auch in einem Verbindungsbogen 11 vorliegt, der einerseits mit dem festlagerseitigen Austauscherflansch 5 und andererseits mittelbar mit einem mit der loslagerseitigen Rohrträgerplatte 8 fest verbundenen loslagerseitigen Anschlussstutzen 8d verbunden ist. Mit den beiden Verbindungsbogen 11 wird das in Rede stehende Rohrbündel 1 mit dem jeweils benachbarten Rohrbündel in Reihe geschaltet. Daher bildet einmal der festlagerseitige Austauscherflansch 5 einen Eintritt E für das Produkt P und der loslagerseitige Anschlussstutzen 8d beherbergt einen dazugehörenden Austritt A; beim jeweils benachbarten Rohrbündel kehren sich

diese Ein- und Austrittsverhältnisse jeweils entsprechend um. Der festlagerseitige Austauscherrflansch 5 weist eine erste Anschlussöffnung 5a auf, die einerseits einem Nenndurchmesser DN und damit einem Nenndurchtrittsquerschnitt A_0 des dort angeschlossenen Verbindungsbogens 11 entspricht und die andererseits so bemessen ist, dass dort die der mittleren Strömungsgeschwindigkeit v im Innenrohr 3, 3* bzw. Innenkanal 3' entsprechende Strömungsgeschwindigkeit vorliegt. In gleicher Weise ist auch eine zweite Anschlussöffnung 8a in dem loslagerseitigen Anschlussstutzen 8d bemessen, wobei sich die jeweilige Anschlussöffnung 5a bzw. 8a auf einen jeweils erweiterten Durchtrittsquerschnitt 5c bzw. 8c im Bereich zur benachbarten Rohrträgerplatte 7 bzw. 8 durch einen konischen Übergang 5b bzw. 8b erweitert.

[0039] Es hat sich als zweckdienlich herausgestellt, die mittlere Strömungsgeschwindigkeit v im Innenrohr 3, 3* so weit gegenüber den bisherigen Auslegungsempfehlungen ($15.000 \leq Re \leq 30.000$) zu erhöhen, dass dort eine turbulente Rohrströmung mit einer Reynolds-Zahl Re , die mit dem Rohrinneindurchmesser $D_i = d_{hydr}$ (s. auch **Figur 2**) berechnet wird, im Bereich $35.000 \leq Re \leq 45.000$ gegeben ist.

[0040] In Abhängigkeit von der Richtung der Strömungsgeschwindigkeit v im Innenrohr 3, 3* strömt das zu behandelnde Produkt P entweder über die erste Anschlussöffnung 5a oder die zweite Anschlussöffnung 8a dem Rohrbündel 1 zu, sodass entweder die festlagerseitige Rohrträgerplatte 7 oder die loslagerseitige Rohrträgerplatte 8 angeströmt wird. Da in jedem Falle ein Wärmeaustausch zwischen Produkt P in den Innenrohren 3, 3* und einem Wärmeträgermedium W im Außenmantel 2 im Gegenstrom zu erfolgen hat, strömt dieses Wärmeträgermedium W entweder dem ersten Anschlussstutzen 4a oder aber dem zweiten Anschlussstutzen 4b mit einer Strömungsgeschwindigkeit c zu. Für den Fall, dass das Produkt P dem Rohrbündel 1 über die erste Anschlussöffnung 5a zuströmt, so würde hier eine Eintrittstemperatur des Produktes ϑ_E vorliegen. Dementsprechend würde das Wärmeträgermedium W den Außenmantel 2 im Gegenstrom über den zweiten Anschlussstutzen 4b mit einer Austrittstemperatur des Wärmeträgermediums ϑ_A verlassen. Die im Bereich des zweiten Anschlussstutzens 4b vorliegende Temperaturdifferenz am Produkteintritt $\Delta\vartheta = -\vartheta_A - \vartheta_E$ stellt in der Praxis, neben dem vorstehend erwähnten Druckverlust Δp_v in den Innenrohren 3, 3*, einen zuverlässigen Indikator über den Grad der Produktansatzbildung in den Innenrohren 3, 3* dar.

[0041] Die vorgeschlagene Vorrichtung gemäß der Erfindung findet ihren Niederschlag in der Ausgestaltung der Oberfläche der Rohrrinnenwand 3a der jeweiligen Innenrohre 3, 3*, wobei das jeweils in Frage kommende Innenrohr 3, 3*, das den Rohraußendurchmesser D_a aufweist, in Form eines sog. Drallrohres 3* ausgebildet ist (siehe auch Figuren 2 bis 5).

[0042] Ein fünfgängiges Drallrohr 3* ($g = 5$; **Figur 2**) mit dem Rohraußendurchmesser D_a und dem Rohrinneindurchmesser D_i weist einen Drallwinkel δ auf (Steigungswinkel der schraubengangförmigen Profilierung), der im Bereich zwischen 55 und 65 Grad angesiedelt ist. Eine sog. Drallung 3a*, die durch eine Dralltiefe t und eine Drallbreite b definiert ist (**Figur 3**), bildet die gewünschte Makro-Rauhigkeits-Struktur M_R , die sich über die laminare Unterschicht der Grenzschicht innerhalb der Rohrströmung im Innenrohr 3, 3* hinaus erhebt und für die erhöhte Turbulenz und den gewünschten Impulsaustausch sorgt. Aus **Figur 2** ist ersichtlich, dass die Makro-Rauhigkeits-Struktur M_R einen Anstellwinkel $\alpha = 90 - \delta$ gegenüber der Längsachse des Drallrohres 3* bildet, wobei dieser Anstellwinkel α , komplementär zum Drallwinkel δ , bevorzugt in einem Bereich $35 \geq \alpha \geq 25$ Grad ausgeführt ist. Ein diesbezüglich bemessener Anstellwinkel α führt zu einer Hemmung des Produktansatzes, während beispielsweise ein hinsichtlich Wärmübergang optimierter Drallwinkel $\delta = 45$ Grad, dementsprechend ein Anstellwinkel $\alpha = 45$ Grad, zu keiner Hemmung der Produktansatzbildung im Vergleich zu einem entsprechenden Glatt-Rohr, sondern vielmehr zu einem verstärkten Produktansatz führt. Falls sich die Drallbreite b aus einer durch die Gangzahl g geteilten Ganghöhe H_G ergibt ($b = H_G/g$), wie das bei der Ausführungsform des Drallrohres 3* gemäß **Figur 2** der Fall ist, so ist die Oberfläche der Rohrrinnenwand 3a des Drallrohres 3* vollständig mit der gewünschten Makro-Rauhigkeits-Struktur M_R überzogen.

[0043] Die durch die Makro-Rauhigkeits-Struktur M_R strukturierte Oberfläche der Rohrrinnenwand 3a des Drallrohres 3* ist darüber hinaus flächendeckend mittels eines elektrochemischen Polierverfahrens behandelt, das eine Mikro-Oberflächen-Beschaffenheit m_R erzeugt, die sich strukturell wie energetisch durch eine reduzierte Neigung für die Anhaftung von Fremdsubstanzen auszeichnet. Dabei findet das fachgerechte elektrochemische Polierverfahren in der Regel Anwendung auf einfach standardisierte Innenoberflächen ausführungen des als Edelstahlrohr ausgeführten Innenrohres 3, 3*, wobei es sich bei dem Edelstahl vorzugsweise um austenitische Chromnickelstahllegierungen handelt. Bei dem dem elektrochemischen Polieren zugeführten Edelstahlrohr handelt es sich in der Regel um längsnahtgeschweißte und, wegen dieser Längsnaht, kalibrierte und anschließend blank gebeizte Rohre. Das Ausgangsblech für die Rohrerstellung wurde in der Regel kalt gewalzt, geglüht und chemisch gebeizt. Das Verarbeiten der Rehre im Rohrbündel 1 erfolgt zweckmäßig nach dem elektrochemischen Polieren; eine mechanische Nacharbeit der Rundschweißnähte findet nicht statt. Vor dem elektrochemischen Polieren liegt der Mittenrauhwert für die Oberfläche bei $R_a \leq (0,7 \text{ bis } 0,8) \mu\text{m}$ und im Bereich der Längsschweißnaht bei $R_a \leq 1,2 \mu\text{m}$.

[0044] Wie vorstehend dargelegt, wird durch den elektrochemischen Abtrag von der Oberfläche deren Rauheit zwar reduziert, dieser Aspekt hat jedoch auf die hier angestrebte Mikro-Oberflächen-Beschaffenheit m_R , nämlich die Reduzierung der Neigung für die Anhaftung von Fremdsubstanzen auf der Oberfläche, nur einen relativ untergeordneten Einfluss. Die durch das elektrochemische Polieren erzeugten Einflussfaktoren sind, im Vergleich zur unbehandelten Ausgangsoberfläche, im wesentlichen die Reduzierung der wahren Oberfläche gegenüber der projizierten, die Redu-

zierung des Energieniveaus der Oberfläche (Oberflächenspannung) und die lückenlose, chromoxidreiche Passivschicht (Passivierung).

[0045] Bei einem eingängig ausgebildeten Drallrohr 3* (**Figur 4**), welches die gleiche Ganghöhe H_G und Drallbreite b wie jenes gemäß **Figur 2** aufweist, ist im Vergleich zu letzterem nur etwa 1/5 der Oberfläche der Rohrrinnenwand 3a mit der Makro-Rauhigkeits-Struktur M_R belegt, während sich die Mikro-Oberflächen-Beschaffenheit m_R aufgrund der Behandlung mittels des elektrochemischen Polierverfahrens flächendeckend über die gesamte Oberfläche erstreckt. Welcher Grad der Oberflächenbelegung durch Makro-Rauhigkeits-Strukturen M_R anzustreben oder erforderlich ist, hängt von den produktspezifischen Erfordernissen ab. So lange eine Erhöhung des Anteils der von Makro-Rauhigkeits-Strukturen M_R belegten Oberfläche noch eine Standzeitverlängerung ergibt, wird man die als Drallrohr 3* ausgeführten Innenrohre mit der hierfür erforderlichen mehrgängigen Drallung 3a* ausstatten. Ist dies nicht mehr der Fall, dann kann eine weitere Belegung der Oberfläche bis hin zur vollständigen Belegung mit der Bedingung $H_G = b \cdot g$ unterbleiben. Das elektrochemische Polieren erstreckt sich stets flächendeckend über die gesamte Oberfläche der Rohrrinnenwand 3a, unabhängig davon, wie hoch der Belegungsgrad mit Makro-Rauhigkeits-Strukturen M_R ist.

[0046] Falls gleichzeitig mit der Hemmung des Produktansatzes an der Rohrrinnenwand 3a des Innenrohres 3, 3* auch noch, produktspezifisch bedingt, eine Intensivierung des Wärmeüberganges angestrebt wird, kann auch ein kreuzgedralltes Drallrohr 3*, wie es **Figur 5** ausschnittsweise darstellt, von Vorteil sein, wenn der Drallwinkel δ jeweils zwischen 55 und 65 Grad liegt.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Verlängerung der Standzeit eines Rohrbündel-Wärmeaustauschers in indirekt beheizten UHT-Anlagen für Nahrungsmittel, insbesondere für Milch oder Milchprodukte, bestehend aus einem Rohrbündel-Wärmeaustauscher, der einen von einem Außenmantel (2) umgebenen Außenkanal (2') aufweist, mit einer Anzahl von sich achsparallel zum Außenmantel (2) durch den Außenkanal (2') erstreckenden, gemeinsam als Rohrbündel (1) einen Innenkanal (3') bildenden, endseitig jeweils in einer Rohrträgerplatte (7, 8) abgestützten Innenrohren (3; 3*), mit einem für alle Innenrohre (3; 3*) gemeinsamen Eintritt (E) und einem gemeinsamen Austritt (A) für ein zu erheizendes Produkt (P), und mit in den Außenkanal (2') nahe der Enden des Außenmantels (2) und der Rohrträgerplatten (7, 8) radial ein- bzw. ausmündenden Anschlussstutzen (4a, 4b) mit je einem Querkanal (4a*, 4b*) für ein Wärmeträgermedium (W), wobei das jeweilige Innenrohr (3; 3*) wenigstens auf der Oberfläche seiner Rohrrinnenwand (3a) als Drallrohr (3*) mit Makro-Rauhigkeits-Strukturen (M_R) ausgebildet ist, die in einem Anstellwinkel (α) gegenüber der Längsachse des Innenrohres (3; 3*) orientiert sind, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die durch Makro-Rauhigkeits-Strukturen (M_R) strukturierte Oberfläche der Rohrrinnenwand (3a) flächendeckend mittels eines elektrochemischen Polierverfahrens behandelt ist, das eine Mikro-Oberflächen-Beschaffenheit (m_R) erzeugt, die sich strukturell wie energetisch durch eine reduzierte Neigung für die Anhaftung von Fremdstoffen infolge Passivierung und Reduzierung des Energieniveaus der behandelten Oberfläche der Rohrrinnenwand (3a) auszeichnet und

- **dass** der Anstellwinkel (α) im Bereich $35 \geq \alpha \geq 25$ Grad ausgeführt ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** das Innenrohr (3; 3*) als Drallrohr (3*) mit Makro-Rauhigkeits-Strukturen (M_R) in Form schraubengangförmiger innen- und außenseitiger Profilierung ausgebildet ist, dessen Drallung (3a*) mit einem Drallwinkel ($\delta = 90 \text{ Grad} - \alpha$) im Bereich $55 \leq \delta \leq 65$ Grad ausgeführt ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** die Drallung (3a*), produktspezifisch vorwählbar, eine Dralltiefe (t) und eine Drallbreite (b) aufweist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** das Drallrohr (3*) eingängig mit einer Ganghöhe (H_G) ausgebildet ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** das Drallrohr (3*) mehrgängig mit einer Gangzahl (g) und jeweils mit einer Ganghöhe (H_G) ausgebildet ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** sich die Drallbreite (b) aus der durch die Gangzahl (g) geteilten Ganghöhe (H_G) ergibt ($b = H_G/g$).

7. Verfahren zur Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Reynolds-Zahl (Re) der Rohrströmung im Innenrohr (3; 3*) im Bereich $35.000 \leq Re \leq 45.000$ liegt.
- 5 8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die jeweiligen Innenrohre (3; 3*) in einem UHT-Erhitzer und in einem nachgeordneten UHT-Heißhalter vorgesehen sind.
- 10 9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass auch die Innenrohre (3; 3*) der dem UHT-Erhitzer und dem UHT-Heißhalter vor- und nachgeschalteten Rohrbündel-Wärmeaustauscher der UHT-Anlage, soweit sie in einem Temperaturbereich oberhalb 100 Grad Celsius betrieben werden, mit den Makro-Rauhigkeits-Strukturen (M_R) und der Mikro-Oberflächen-Beschaffenheit (m_R) versehen sind.
- 15

Claims

- 20 1. Device for extending the holding time of a tube bundle heat exchanger in indirectly heated UHT units for foodstuffs, especially for milk or dairy products, consisting of a tube bundle heat exchanger, which comprises an outer channel (2') surrounded by an outer casing (2), with a plurality of inner tubes (3; 3*) extending in parallel to the axis of the outer casing (2) through the outer channel (2'), together as tube bundle (1) forming an inner channel (3'), and supported at the end sides each in a tube support plate (7, 8), with an inlet (E) common for all inner tubes (3; 3*) and a common outlet (A) for a product (P) to be heated, and with fittings (4a, 4b) radially leading into and discharging from, respectively, the outer channel (2') close to the ends of the outer casing (2) and of the tube support plates (7, 8), each fitting comprising a transverse channel (4a*, 4b*) for a heat transfer medium (W), the respective inner tube (3; 3*) being formed at least on the surface of its inner tube wall (3a) as swirl promoter tube (3*) with macro-roughness structures (M_R), which are oriented in an angle of pitch (α) against the longitudinal axis of the inner tube (3; 3*),
characterised in that
- 25
- the surface structured by macro roughness structures (M_R) of the inner tube wall (3a) is treated area-wide by means of an electrochemical polishing method creating micro-surface properties (m_R), which are distinguished structurally as well as energetically by a reduced tendency for the attachment of foreign substances as a result of passivation and reduction of the energy level of the treated surface of the inner tube wall (3a), and
 - that the angle of pitch (α) is configured in the range of $35 \geq \alpha \geq 25$ degrees.
- 30
2. Device according to claim 1, **characterised in that** the inner tube (3; 3*) is formed as swirl promoter tube (3*) with macro-roughness structures (M_R) in form of thread-shaped inside and outside profiles, the twist (3a*) of which is implemented with a twist angle ($\delta = 90 \text{ degrees} - \alpha$) in the range of $55 \leq \delta \leq 65$ degrees.
- 35
3. Device according to claims 2, **characterised in that** the twist (3a*) comprises a twist depth (t) and a twist width (b), which are product-specifically pre-selectable.
- 40
4. Device according to claim 2 or 3, **characterised in that** the swirl promoter tube (3*) is formed with single thread comprising a pitch (H_G).
- 45
5. Device according to claims 2 or 3, **characterised in that** the swirl promoter tube (3*) is formed with plural threads comprising threads per unit (g) and each formed with a pitch (H_G).
- 50
6. Device according to claim 5, **characterised in that** the twist width (b) is obtained from the pitch (H_G) divided by the threads per unit (g) ($b = H_G/g$).
- 55
7. Method for use of the device according to one of the claims 1 to 6,
characterised in that
the Reynolds number (Re) of the tube flow in the inner tube (3; 3*) is in the range of $35,000 \leq Re \leq 45,000$.
8. Method according to claim 7,

characterised in that

the respective inner tubes (3; 3*) are provided in a UHT heater and in a subsequently arranged UHT device for holding the heat.

5 **9. Method according to claims 7 or 8**

characterised in that

also the inner tubes (3; 3*) of the tube bundle heat exchanger of the UHT unit connected in front of and behind the UHT heater and the UHT device for holding the heat, as far as they are operated in a temperature range above 100°Celsius, are provided with the macro-roughness structures (M_R) and the micro-surface properties (m_R).

Revendications

15 **1. Dispositif pour prolonger la durée d'utilisation d'un échangeur thermique à faisceau tubulaire dans des installations à ultra haute température (UHT) à chauffage indirect, destinées à des produits alimentaires, en particulier du lait et des produits laitiers, constitué d'un échangeur thermique à faisceau tubulaire qui comporte**

- un canal extérieur (2') entouré d'une paroi extérieure (2),
- des tubes intérieurs (3 ; 3*) d'axe parallèle à la paroi extérieure (2), s'étendant à travers le canal extérieur (2'), formant un faisceau tubulaire (1) constitutif d'un canal intérieur (3'), s'appuyant par leurs extrémités sur une plaque de support (7, 8),
- une entrée (E) et une sortie (A) d'un produit (P) à chauffer, ladite entrée et ladite sortie étant communes à tous les tubes intérieurs (3 ; 3*), et
- des raccords (4a, 4b) prévus à proximité des extrémités de la paroi extérieure (2) et des plaques de support (7, 8) des tubes, débouchant radialement dans, respectivement sortant radialement du canal extérieur (2'), et, pourvus chacun d'un canal perpendiculaire (4a*, 4b*) pour un fluide caloporteur (W),

étant observé qu'au moins la paroi intérieure (3a) du tube intérieur considéré (3, 3*) présente une structure de surface à rainures torsadées (3*) avec des macrostructures de rugosité (m_R) ayant un angle d'incidence (α) par rapport à l'axe longitudinal du tube intérieur (3 ; 3*)

caractérisé en ce que

- la paroi intérieure (3a) du tube structurée par des macrostructures de rugosité (M_R) est traitée entièrement par un procédé de polissage électrochimique produisant une micro-configuration de surface (M_r) qui se distingue structurellement et énergétiquement par une tendance réduite à l'adhérence de substances étrangères en raison d'une passivation et d'une réduction du niveau énergétique de la surface traitée de la paroi intérieure (3a) du tube, et
- l'angle d'incidence (α) se trouve dans la zone $35 \geq \alpha \geq 25$ degrés.

40 **2. Dispositif selon la revendication 1 caractérisé en ce que** le tube intérieur (3, 3*) qui présente une structure de surface à rainures torsadées (3*) avec des macrostructures de rugosité (M_R) comporte un profilage hélicoïdal intérieur et extérieur, dont la torsion (3a*) présente un angle d'inclinaison ($\delta = 90$ degrés - α) se trouvant dans la zone $55 \leq \delta \leq 65$ degrés.

45 **3. Dispositif selon la revendication 2 caractérisé en ce que** la torsion (3a*) qui peut être choisie préalablement en fonction du type de produit, présente une profondeur de rainure (t) et une largeur de rainure (b).

4. Dispositif selon les revendications 2 ou 3 caractérisé en ce que le tube ayant une structure de surface à rainures torsadées (3*) présente un pas unique de hauteur (H_G).

50 **5. Dispositif selon les revendications 2 ou 3 caractérisé en ce que** le tube ayant une structure de surface à rainures torsadées (3*) présente un nombre de pas (g) de hauteur de pas (H_G).

55 **6. Dispositif selon la revendication 5 caractérisé en ce que** la largeur des rainures torsadées (b) se déduit de la hauteur (H_G) divisée par le nombre de pas (g), à savoir ($b = H_G/g$).

7. Procédé d'utilisation du dispositif selon l'une des revendications 1 à 6 caractérisé en ce que le nombre Reynolds (Re) de l'écoulement dans le tube intérieur (3, 3*) se trouve dans la zone $35.000 \leq Re \leq 65.000$.

8. Procédé selon la revendication 7 **caractérisé en ce que** les tubes intérieurs considérés (3 ; 3*) sont agencés dans un échauffeur à ultra haute température (UHT) et dans un accumulateur de chaleur à ultra haute température (UHT) disposé en aval dudit réchauffeur.

5 9. Dispositif selon les revendications 7 ou 8 **caractérisé en ce que** les tubes intérieurs (3 ; 3*) des échangeurs thermiques de l'installation à ultra haute température (UHT), qui sont disposés en amont et en aval de l'échauffeur à ultra haute température (UHT) et de l'accumulateur de chaleur à ultra haute température (UHT), sont également pourvus de macrostructures de rugosité (M_R) et d'une micro-configuration de surface (m_R), dans la mesure où ils sont utilisés dans une zone de température au-dessus de 100°C.

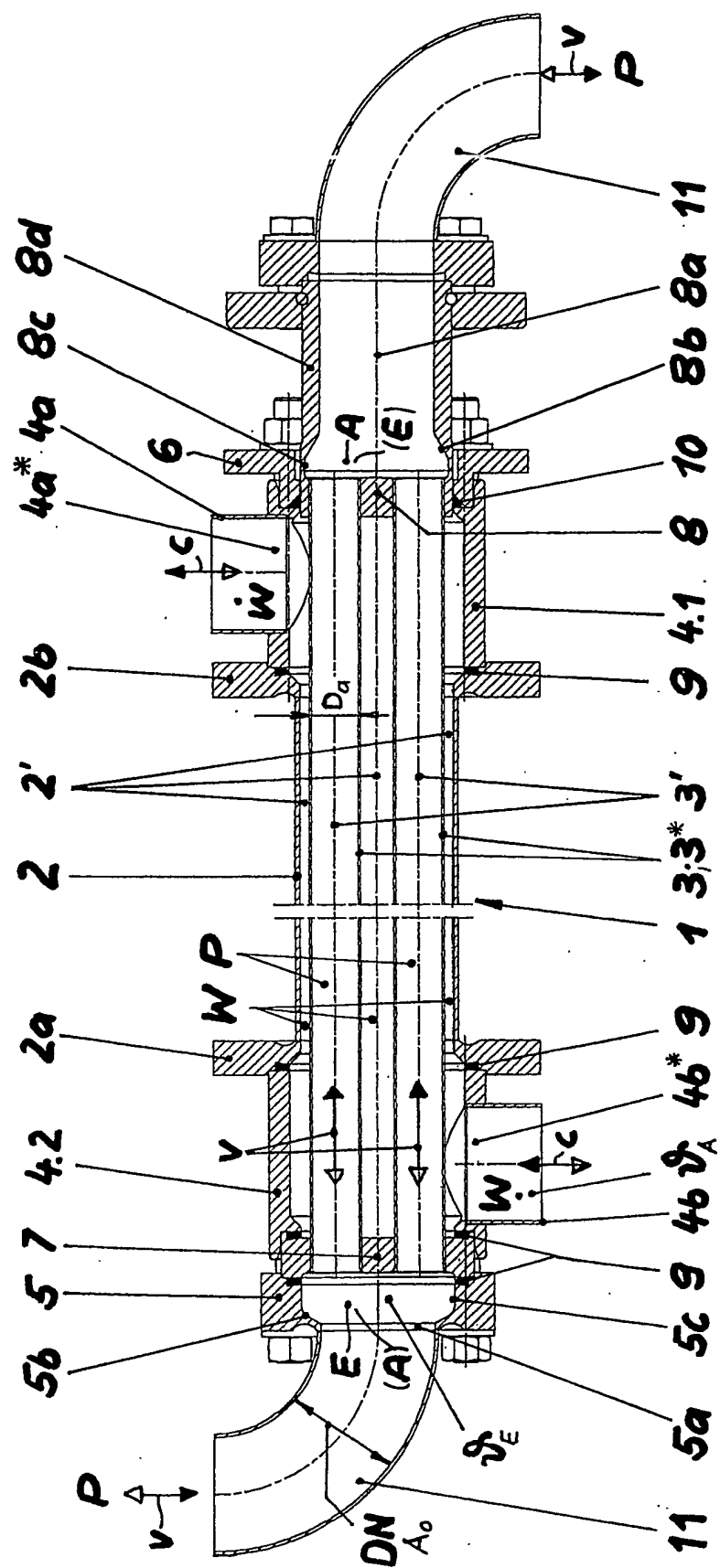


Fig. 1

Fig.2

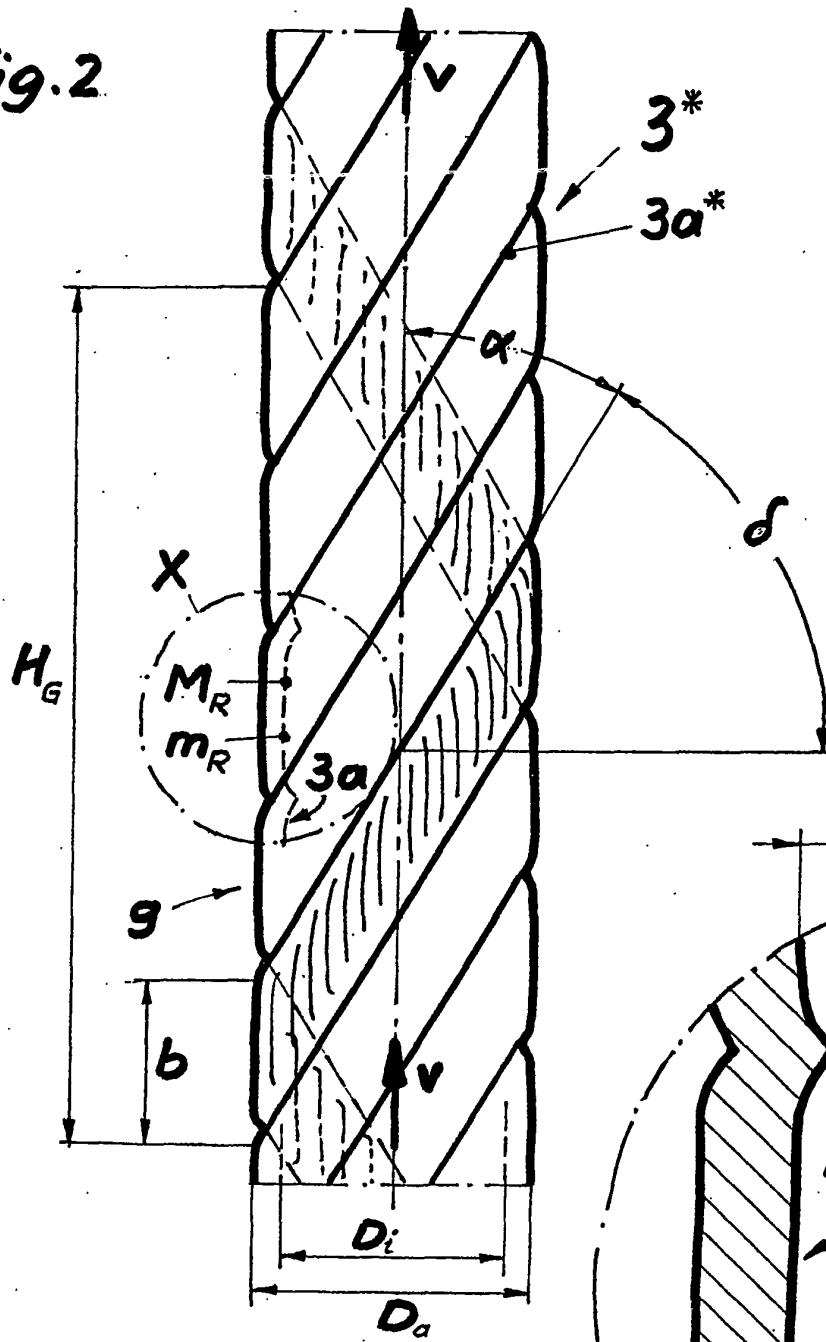


Fig.3
"X"

