

H. Groß, Roßdorf

Kunststoffe im Wärmeaustauscherbau

Eine Antwort auf viele Probleme

*Originalverlag 20.2.95 250,- ✓
an Autor - T.*

Ist bei einem Wärmeaustausch ein gasförmiges Medium beteiligt, stellen Wärmeaustauscher aus Kunststoff eine interessante Alternative dar. In diesem Fall ist nämlich der Wärmeübergang und nicht der Wärmedurchgang die kritische Größe. Die hier vorgestellte Kunststofflösung könnte dem Wärmeaustauscherbau mittelfristig wesentliche neue Impulse verleihen. Untersuchungen und Versuchsanwendungen belegen diese Aussage.

Plastics in the Construction of Heat Exchangers. *Where a heat exchanging process involves a gaseous medium, plastics based heat exchangers are an interesting alternative. For the critical parameter in this case is the heat transfer rather than the heat transmission. The plastics based solution introduced in this report could give fresh impetus to the construction of heat exchangers in the medium term. This statement is supported by relevant studies and trial applications.*

So widersprüchlich es sich auch anhört: Kunststoffe sind prädestiniert für Problemlösungen im Bereich des Wärmeaustauscherbaus. Die schlechten Wärmeleitfähigkeiten der Kunststoffe, die scheinbar gegen ihren Einsatz sprechen, sind nur dann störend, wenn es sich um den Wärmeaustausch zwischen zwei Flüssigkeiten handelt.

Ist ein Gas am Wärmeaustausch beteiligt, so tritt der schlechte Wärmeübergangskoeffizient zwischen Gas und Austauscheroberfläche in den Vordergrund, die Wärmeleitfähigkeit des Kunststoffs (zumindest bis 1 mm Wanddicke) in den Hintergrund.

Entwicklung der Grundidee

Geboren wurde der hier vorgestellte Ytherm-Wärmeaustauscher (Bild 1) durch die bei MAN, Nürnberg, entwickelte Idee, beim Wärmeaustausch zwischen Flüssigkeiten und Gasen den konventionellen Aufbau eines Wärmeaustauschers auf den Kopf zu stellen. Nicht das Wasser, sondern der Gasstrom wird durch die Rohre aus Aluminium geleitet [1], das Wasser strömt folglich außen um die Rohre herum.

Nachdem erste Vorversuche positive Ergebnisse erbrachten, wurde das System mit hohem wissenschaftlichen Aufwand weiterentwickelt [2 bis 8]. Die Entwicklung gipfelte im Bau eines eigens zu Forschungszwecken errichteten Versuchskühlturms mit 36 m² Anströmfläche auf dem Werksgelände der MAN in Nürnberg.

Obwohl die wärmetechnischen Daten hervorragend waren, wurde die Entwicklung eingestellt. Die Fertigungskosten für die aus Aluminiumblechen gebogenen, axial verschweißten, an den Enden zu einem Sechskant aufgeweiteten und im zylindrischen Mittelteil mit eingeförmten Sicken versehenen Rohre waren aufgrund der vielen Fertigungsschritte zu hoch.

Zusätzlich scheiterte das System noch am Problem der Spaltkorrosion an der Rückseite der stirnseitig verschweißten

Ein- und Austrittsbereiche der Austauscherelemente. Da man bei der Verschweißung auf der kritischen Rückseite kein Schutzgas anwenden konnte, fand man keine Lösung für dieses Problem.

Beide Probleme stehen in direktem Zusammenhang mit der Verwendung von metallischen Werkstoffen. Bei der Verwendung von Kunststoffen ergeben sich viel günstigere Voraussetzungen. Grundbedingung ist jedoch, daß der Einsatz von Kunststoff auch aus wärmetechnischer Sicht akzeptabel ist.

Wärmetechnische Betrachtung

Will man Energie von einem Gas auf einen anderen Stoff übertragen, und darf bei dieser Übertragung keine Vermischung der Einzelströme untereinander stattfinden, so ist dies nur möglich, wenn beide Stoffströme völlig voneinander getrennt sind. Die Energie muß folglich vom Gasstrom auf eine Wandung übertragen, durch diese Wand hindurchgeleitet und auf der anderen Seite der Wand dem Flüssigkeitsstrom übertragen werden.

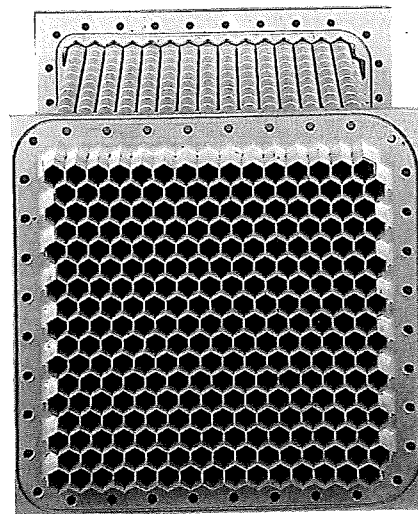
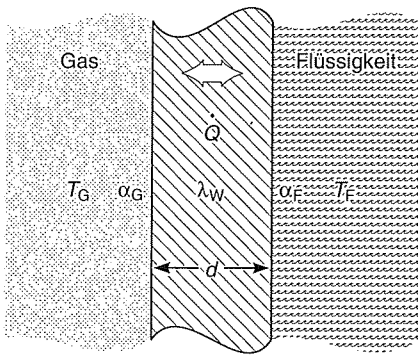


Bild 1. Aus profilierten PPE-Rohren hergestellter Wärmetauscherblock mit angeschweißtem Flansch (Rohrdurchmesser 20 mm, Länge 280 mm)



$$\dot{Q} = \frac{\Delta T \cdot A}{\frac{1}{\alpha_G} + \frac{d}{\lambda_W} + \frac{1}{\alpha_F}}$$

Bild 2. Wärmestrom durch eine Wärmeaustauscherwand beim Energieaustausch zwischen einem Gas- und einem Flüssigkeitsstrom
A: Oberfläche der Wand, *d*: Wanddicke, *Q-dot*: Wärmestrom, *T_G*: Temperatur des Gases, *T_F*: Temperatur der Flüssigkeit, *λ_W*: Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffs (für Kunststoff: 0,2 W/mK, für Kupfer: 380 W/mK), *α_G*: Wärmeübergangskoeffizient auf der Gasseite (20 W/m²K), *α_F*: Wärmeübergangskoeffizient auf der Flüssigkeitsseite (≈ 200 W/m²K)

Der Werkstoff, aus dem die Wand hergestellt ist, beeinflusst die Güte des Wärmeübergangs nur insofern, als der Wärmeübergangskoeffizient von der Oberflächenrauigkeit der Wand abhängig ist. Metallische Rohre verhalten sich bezüglich des Übergangskoeffizienten gleich wie Kunststoffrohre, solange bei sonst identischen Verhältnissen auch die Oberflächenrauigkeiten übereinstimmen.

Nach Bild 2 ist bei den angegebenen Größenordnungen der Wärmeübergangskoeffizient auf der Gasseite die den Wärmeaustausch begrenzende Größe. Im Falle des Austauschs zwischen Flüssigkeiten ist dieser Wärmeübergangskoeffizient etwa um den Faktor 10 größer als bei Gasen, so daß dann die geringe Wärmeleitfähigkeit des Kunststoffs zum begrenzenden Faktor wird.

Bleibt man beim Wärmeaustausch mit einem Gasstrom, so kann man durch gezielte Verengungen des Rohrendurchmessers (Radialsicken) den Wärmeübergangskoeffizienten, der die Austauscherleistung hauptsächlich bestimmt, erheblich verbessern. Bild 3 zeigt die im Verlauf des MAN-Entwicklungsprojekts ermittelten Wärmeübergangskoeffizienten für ungesickte und gesickte Rohre in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit. Im gemessenen Geschwindigkeitsbereich läßt sich der Wärmeübergang durch Sicken etwa verdoppeln. Messungen an der TH Hannover an PPE-Rohren bestätigten, daß der Wärmedurchgangskoeffizient und die Druckverluste bei Kunststoff und Kupfer vergleichbar sind (Bild 4).

Formrohre herstellen ...

Die fertigungstechnischen Möglichkeiten der Kunststoffverarbeitung erlauben eine im Vergleich zur Lösung mit Aluminium erheblich kostengünstigere Fertigung der mit hexagonalen Ein- und Austrittsbereichen versehenen Wärmeaustauscher (vgl. Bild 1).

Die Ausgangsrohre mit der Querschnittsgeometrie nach Bild 5 lassen sich unter Verwendung langjährig bewährter Extrusionsverfahren für Rohre mit umlaufenden Kalibrierungen (auf Formmaschinen, wie sie aus der Wellrohrherstellung bekannt sind) in einem kontinuierlichen Fertigungsverfahren herstellen. Dabei wird ein kreisförmiger Schmelzschlauch mittels äußerem Unterdruck (Vakuumverfahren) bzw. mittels innerem Überdruck (Blasverfahren) in die umlaufenden Formbacken der Formmaschine gesaugt bzw. gedrückt.

Bild 6 zeigt das Schema einer Anlage, die nach dem Vakuumverfahren arbeitet [9]. Dieses System, bei dem die Formbacken mit feinen Vakuumbohrungen oder Vakuumschlitzern ausgestattet sind,

weist im Hinblick auf Genauigkeit, Toleranzen und Geometrievielfalt deutliche Vorteile gegenüber dem Blasverfahren auf. Zudem vereinfacht das Vakuumverfahren die Verarbeitung von hochtemperaturbeständigen technischen Thermoplasten aufgrund des im Vergleich zum Blasverfahren fehlenden Schleppestopfs im Rohrrinnen.

... und verschweißen

Für das stirnseitige Verschweißen der hexagonalen Rohrenden existierte keine Standardschweißtechnologie. Hierzu hat RöhM, Darmstadt, eigens ein modifiziertes Heizelement-Schweißverfahren entwickelt, mit dem es möglich ist, die Einzelrohre auf beiden Stirnseiten des vorsortierten losen Rohrbündels gleichzeitig homogen miteinander zu verschweißen [10].

Das speziell entwickelte Heizelement enthält Nuten, die im Eintrittsbereich der Stirnseitengeometrie des Rohrbündels entsprechen und die zum Nutgrund hin leicht konisch zulaufen. Durch Einpressen der Rohrenden in das auf Schweißtemperatur befindliche Heizelement werden die Rohrenden aufgeschmolzen und miteinander verschweißt. Nach einer gewissen Halte- oder Schweißzeit wird das Heizelement und damit die Schmelze in den Nuten unter die Glastemperatur des verwendeten Werkstoffs abgekühlt. Nach Erstarren der Schmelze kann der komplett verschweißte Wärmeaustauscherblock entformt werden.

Nach dem gleichen Schweißverfahren können auch entsprechend gestaltete Flansche im gleichen Schweißvorgang mit angeschweißt werden [11]. Bild 7 zeigt ein aus einem Wärmeaustauscher mit angeschweißtem Flansch herausgesägtes Teil. Einerseits läßt sich im verschweißten Bereich keine Trennnaht zwischen den einzelnen Rohren mehr er-

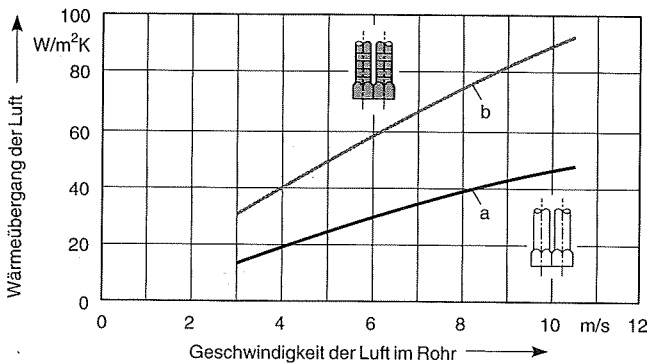


Bild 3. Vergleich der luftseitigen Wärmeübergangskoeffizienten für ein glattes (a) und ein gesicktes (b) Rohr

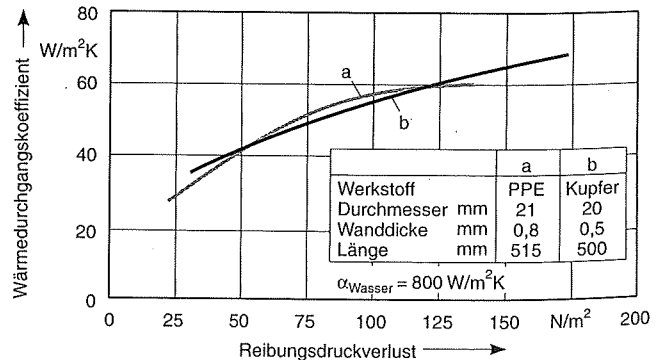


Bild 4. Vergleich der Wärmedurchgangskoeffizienten für ungesickte Rohre ähnlicher Geometrie aus Kunststoff (a) bzw. Metall (b)

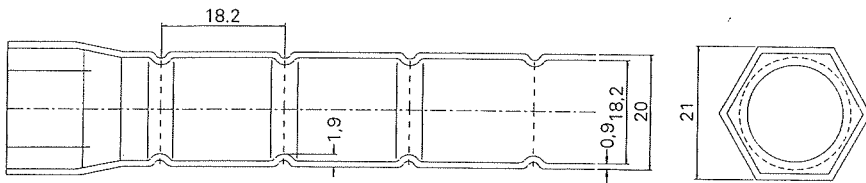


Bild 5. Geometrie eines Kunststoffrohrs für einen Wärmeaustauscher vom Typ Ytherm

kennen, andererseits ist auch zwischen der Verschweißung des Randrohrs mit dem Flansch kein Unterschied feststellbar. Diese homogene Verschweißung stellt die speziell für Rekuperatoren erforderliche Dichtigkeit zwischen den beteiligten Stoffströmen sicher.

Mit diesem Schweißverfahren ist es sehr einfach möglich, einzelne Grundmodulblöcke zu größeren Wärmeaustauschern zusammenzuschweißen, so daß man jedes beliebige Vielfache der Eintrittsfläche des Grundmoduls entsprechend den Erfordernissen der Anwendung realisieren kann.

Aufgrund der kontinuierlichen Rohrerstellung ist im Rahmen der Teilung der Kokillen jede gewünschte Austauscherlänge einfach realisierbar. Die hexagonale Ein- und Ausströmgeometrie reduziert die Druckverluste gegenüber konventionellen Rohraustauschern mit Rohrböden in den Ein- und Austrittsbereichen.

Anwendungstechnische Aspekte

Wärmeaustauscher aus Kunststoff lassen sich, wie geschildert, kostengünstig und sicher fertigen. Ergänzend zu den technischen Vorteilen des hier behandelten Ytherm-Systems [12] haben Kunststoff-Wärmeaustauscher für viele Anwendungen weitere entscheidende Vorzüge. Die bei Metallen oft problematische Korrosion mindert durch Verengung der Strömungskanäle den Luftdurchsatz bzw. erhöht den Druckverlust, ehe es zum völli-

gen Versagen durch Undichtigkeiten kommt. Kunststoffe bieten bei geeigneter Auswahl eine ausgezeichnete Korrosions- und Chemikalienbeständigkeit zu einem im Vergleich zu beständigen hochlegierten Metallen überaus günstigen Preis.

Die Verschmutzungsneigung, die zu einer deutlichen reduzierten Austauscherleistung führen kann, ist bei Kunststoffen in der Regel geringer, da eine niedrigere Affinität von Schmutz zur Kunststoffoberfläche besteht. Demzufolge lassen sich Kunststoff-austauscher auch besser reinigen.

Ein entscheidendes Argument für die Verwendung von Kunststoffen, speziell bei größeren Austauschern, ist die erhebliche Gewichtseinsparung. Sie führt zu deutlich reduzierten Kosten bei der Gesamtkonstruktion, da die gesamte Stützkonstruktion schwächer dimensioniert werden kann.

Wenn der zur Verfügung stehende Bauraum beschränkt ist, wirkt sich die geringe Baugröße des Wärmeaustauschers besonders vorteilhaft aus. Aufgrund der Erhöhung des Wärmeübergangskoeffizienten durch die spezielle Rohrsickung ergeben sich bei gleicher Leistung erheblich kleinere Abmessungen als bei konventionellen Metall-austauschern.

Dem Einsatz von Kunststoffen sind im Wärmeaustauscherbau auch Grenzen gesetzt. So kann man nur in Ausnahmefällen mit thermoplastischen Kunststoffen Einsatztemperaturen über 250°C erreichen. Auch der Druckbereich ober-

halb 15 bar ist für unverstärkte Thermoplaste meist nicht zulässig. In der Regel liegt die Druckgrenze erheblich niedriger, da die Einsatztemperatur so hoch liegt, daß die mechanischen Eigenschaften des Kunststoffs bereits deutlich abgemindert sind.

Einsatzgebiete für Kunststoff-Wärmeaustauscher

Die Verwendung von Kunststoffen im Wärmeaustauscherbau ist steigend. Mehr und mehr finden Kunststoff-Wärmeaustauscher in Wärmerückgewinnungsanlagen Eingang. Im privaten und im industriellen Bereich werden sowohl regenerativ als auch rekuperativ arbeitende Systeme eingesetzt.

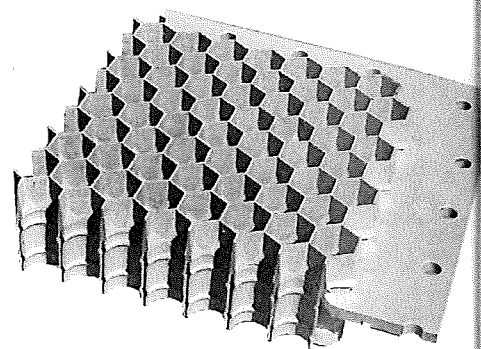


Bild 7. Teil eines im Eintritts- bzw. Flanschbereich aufgesägten Kunststoff-Wärmeaustauschers

In der Umwelttechnik wächst die Bedeutung der Kunststoff-Wärmeaustauscher aufgrund ihrer hervorragenden Chemikalienbeständigkeit. Haupteinsatzgebiete sind in diesem Fall Austauscher zur Abwärmenutzung. Vorteilhaft werden Kunststoff-Wärmeaustauscher zur Nutzung der Abwärme gasförmiger Medien, z.B. zur Nutzung der in Verbrennungsgasen enthaltenen Energie, eingesetzt. Nach Vorkühlung der Gase auf ein für Kunststoffe akzeptables Temperaturniveau bewähren sich Kunststoff-Wärmeaustauscher aufgrund ihrer hervorragenden Beständigkeit gegen die bei tieferen Temperaturen kondensierenden Gase. Sie sind auch gut geeignet als Lufterhitzer für das indirekte Beheizen von Trocknungsanlagen sowie als Luftvorwärmer für Roh- oder Reingase. In der chemischen Industrie konzentrieren sich die Anwendungen auf Kühler und auf Kondensatoren.

Bei kohlebefeuelten Kraftwerken haben Kunststoffe in mehr als 40 Gasvorwärmern von Rauchgas-Entschwefelungsanlagen ihre Bewährungsprobe bestanden. Sie befinden sich in Europa be-

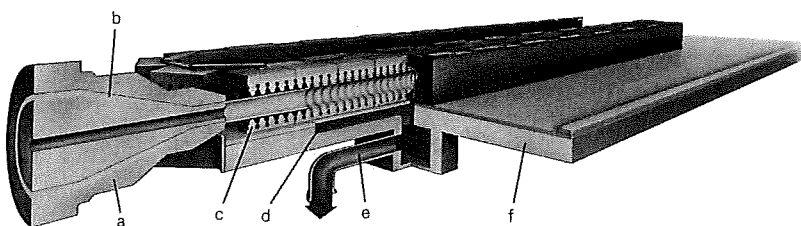


Bild 6. Schematische Darstellung des Extrusionsverfahrens zum Herstellen von profilierten Wärmeaustauscherrohren [8]

a: Extrusionswerkzeug, b: Schmelzestrom, c: Kokille mit eingearbeiteter Formteilgeometrie, d: Ansatz des Vakuums, e: Vakuumkanal, f: Maschinentisch

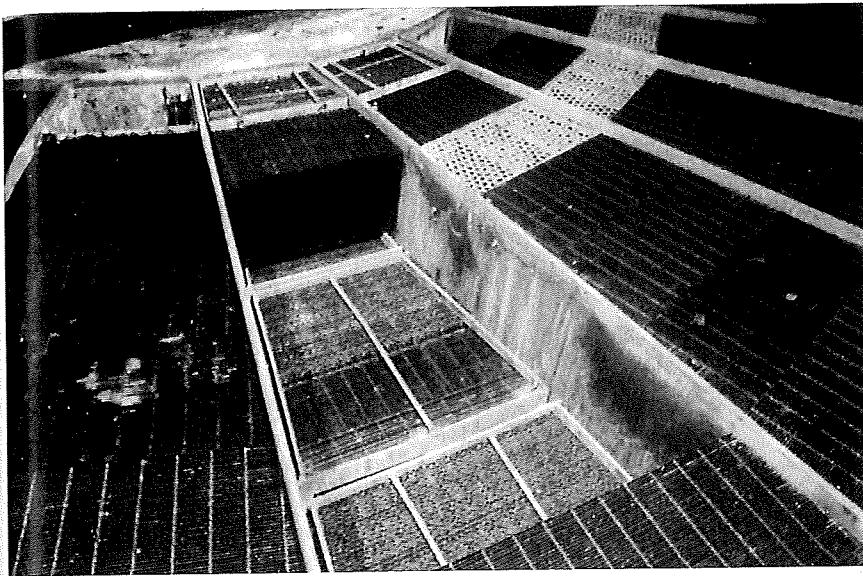


Bild 8. Kunststoff-Wärmetauscher im Gasvorwärmer einer Rauchgas-Entschwefelungsanlage

reits seit mehreren Jahren als kostengünstige, säurebeständige Regenerativ-austauscher im Einsatz (Bild 8).

Ausblick

Für die nähere Zukunft läßt sich prognostizieren, daß Kunststoffsysteme in vielen Anwendungen eine Reihe von konventionellen Werkstoffen substituieren werden. Sie werden zusätzlich aufgrund ihrer besonderen Vorzüge auch neue Anwendungen, bei denen konventionelle Werkstoffe versagen, erschließen. Eine entscheidende Voraussetzung für den zukünftigen Erfolg von Kunststoff-Wärmetauschern ist jedoch, daß kunststoffgerechte Konstruktionen wie das hier vorgestellte System eingesetzt werden. Grundlage hierfür ist der intensive Dialog zwischen Hersteller und An-

wender schon bei der Entwicklung derartiger Wärmetauschersysteme.

Literatur

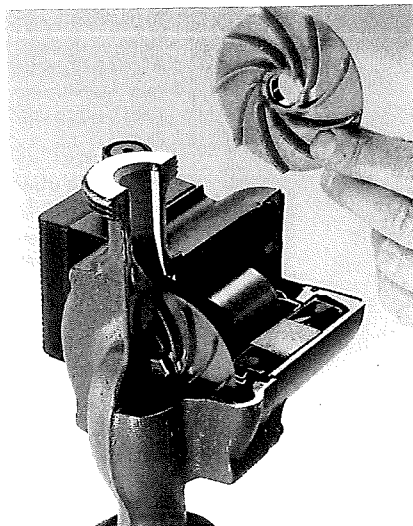
- 1 Die Trockenkühlung auf neuen Wegen. Firmenschrift der MAN Dampfturbinen, Nürnberg 1978
- 2 Scheruhn, H.; Stegemann, D.: Wärmetechnische Messungen an einem Wärmetauscher-Rohrbündel aus Kunststoff. Arbeitsbericht IKH 159/86, Technische Universität Hannover 1986
- 3 MAN-Forschungsstudie, Institut für Kernphysik, Hannover 1978
- 4 Richter, D.: Studie über direkte LQT-Kühlung im Kraftwerksbau für eine 720-MW-Turbinenanlage. BMFT-FB-T 81-160. MAN, Nürnberg 1981
- 5 Zilkenath, W.: Wärmeübertragung und Strömungswiderstand von gesickten Rohren. Diss., Universität Hannover 1983
- 6 Kreipe, E.: Wärmeübergang und Strömungswiderstand in Rohren mit künstlichen Rauigkeiten. Diss., Universität Hannover 1985
- 7 Buxmann, J.; Kapsa, M.; Rheinländer, J.: Wärmedurchgangs- und Druckverlustmessungen eines MCT-Elementes. Technische Universität Hamburg-Harburg 1988
- 8 Kröger, D. G.: Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics at a Plastic Heat Exchanger Bundle. Untersuchungsbericht der University of Stellenbosch/Niederlande 1989
- 9 Rohre und Rohranlagen. Firmenschrift der Hegler Plastik, Oerlenbach
- 10 E-PS 0 208 913 Groß, H.; Pöhlmann, K. E.; Schikowsky, H.: Verfahren und Vorrichtung zum stirnseitigen Verschweißen von Bündeln von Formkörpern aus thermoplastischem Kunststoff unter Druckanwendung
- 11 E-PS 0 226 094 (1987) Groß, H.: Verfahren zum Verbinden von Hohlprofilkörpern mit Formkörpern aus thermoplastischem Kunststoff
- 12 Buxmann, J.: Untersuchungen an einem Wärmetauscher aus gesickten Kunststoffrohren. Chemie-Ing.Techn. 62 (1990) 1, S. 48-50

Der Autor dieses Beitrags

Dr.-Ing. Heinz Groß, geb. 1950, studierte Maschinenbau an der RWTH Aachen. Nach seinem Diplom arbeitete er als Assistent am Institut für Kunststoffverarbeitung (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Georg Menges), an dem er auch 1983 promovierte. Anschließend wechselte er als stellvertretender Leiter der Anwendungstechnik Formmassen zur Röhm GmbH, Darmstadt. Ab 1986 leitete er die Extrusionstechnische Produktentwicklung, bevor er 1990 die Leitung der Forschung, Entwicklung und Anwendungstechnik der Sparte Technische Produkte übernahm. Im Oktober 1993 trat er als geschäftsführender Gesellschafter in die Hegro Wärmetauschertechnik GmbH, Oerlenbach, ein, die er zusammen mit der Hegler Holding GmbH, einem Unternehmen der Firmengruppe Hegler, gegründet hat. Daneben unterhält er ein Ingenieurbüro, das sich hauptsächlich mit der Entwicklung neuer Verfahren für die Kunststofftechnik beschäftigt. (18912)

Pumpenlaufrad aus PES

Ein besonders wichtiges Element der Heizungsanlage ist die Zirkulationspumpe, die ihren Dienst über viele Jahre wartungsfrei, geräuscharm und energiesparend verrichten muß. Der dänische Hersteller von Zirkulationspumpen, die Grundfos A/S, verwendet glasfaserverstärktes Ultrason E der BASF, ein hochtemperaturbeständiges Polyethersulfon, für Pumpenlaufräder. Vorteile dieses Werkstoffs sind Hydrolysebeständigkeit, Beständigkeit gegen Korrosionsschutzmittel sowie Dimensionsstabilität. Da sich der Werkstoff im Spritzgießverfahren verarbeiten läßt, ist es darüber hinaus möglich, die komplizierte, für den



hohen Wirkungsgrad der Pumpe entscheidende Laufradgeometrie auf besonders wirtschaftliche Weise zu realisieren. (37030)

Pumpenlaufräder müssen hohen Beanspruchungen standhalten, PES erfüllt die Anforderungen