

4 Beheizung von Heißkanal-Verteilerblöcken

In der instationären Aufheizphase wird der Heißkanalverteilerblock einschließlich der eingefrorenen Schmelze innerhalb der Aufheizzeit t auf Prozesstemperatur (Schmelzetemperatur) aufgeheizt. Nach Erreichen dieser Temperatur (quasi-stationäre Phase) dient die Beheizung im Wesentlichen nur noch dem Ausgleich von Wärmeverlusten durch Leitung, Konvektion und Strahlung.

Die Beheizung kann durch unterschiedlich ausgeführte Heizelemente erfolgen. Im Falle indirekt beheizter Heißkanaldüsen oder Torpedos dient der Heißkanal-Verteilerblock als Wärmequelle. Ziel einer optimalen Beheizung ist es, thermische Homogenität, d.h. ortsunabhängig gleiche Temperaturen zu erreichen, was jedoch nur in mehr oder minder guter Näherung gelingt. Die Ursache liegt in den Wärmeverlusten, die minimiert, aber nicht grundsätzlich vermieden werden können. Die Temperatur des Heißkanal-Verteilerblockes sollte generell geregelt werden.

Unterscheidungsmerkmal der Heißkanal-Verteilerblöcke ist die Art der Beheizung:

- Außenbeheizung,
- Innenbeheizung.

Bei der Außenbeheizung befindet sich die Wärmequelle außerhalb, bei der Innenbeheizung innerhalb des Schmelzekanals. Der Strömungsquerschnitt ist bei innenbeheizten Systemen geometrisch um den Querschnitt des Heizkörpers und zusätzlich wegen der Ausbildung einer Isolierschicht (erstarre Schmelze) verkleinert.

4.1 Zylindrische Heizpatrone

Hochleistungsheizpatronen werden hoch verdichtet mit bis zu 50 W/cm^2 , leicht verdichtete Heizpatronen mit ca. $6,5 \text{ W/cm}^2$ Oberflächenbelastung angeboten. Der metallische Außenmantel ist hier geschliffen. Je geringer die Oberflächenbelastung ist, desto länger ist die Lebensdauer. Den Aufbau einer zylindrischen Heizpatrone zeigt Bild 4.1

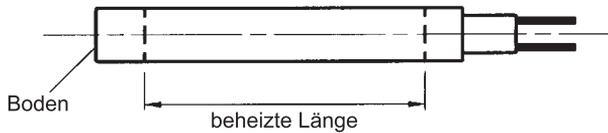


Bild 4.1: Zylindrische Heizpatrone

Die Aufnahmebohrung der Heizpatrone wird üblicherweise mit einer Passung H7 hergestellt. Um einen örtlichen Wärmestau mit der Folge frühzeitigen Versagens der Heizpatrone zu vermeiden, muss entlang der gesamten Mantelfläche für einen einwandfreien Passungsitz gesorgt werden. Es empfiehlt sich das Verwenden von Gleitmitteln bzw. Wärmeleitpasten, die sowohl für eine gewisse Verbesserung des Wärmeübergangs als auch für einen erleichterten Ein- und Ausbau der Heizpatronen sorgen. Es ist aber zu beachten, dass Gleitmittel elektrisch leitfähig sein können.

Die ungeteilte Aufnahmebohrung der Heizpatrone sollte durchgehend gestaltet sein, um im Bedarfsfall eine einfache Demontage zu ermöglichen. Dies geschieht z.B. mit Hilfe eines rohrförmigen Durchschlags, Bild 4.2. Ein Aufstauen des Bodens der Heizpatrone muss dabei vermieden werden. Eine Demontage der Heizpatrone durch Ziehen an Anschlussleitungen (!) ist häufig nicht möglich; dies ist aber vor allem technisch nicht sinnvoll, auch wenn diese Methode (gelegentlich?) noch immer zur Anwendung kommt.

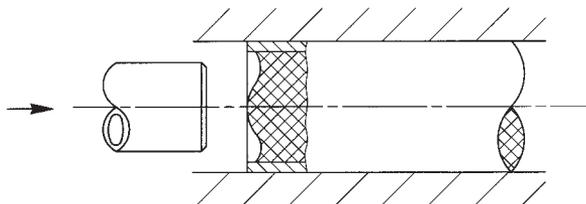


Bild 4.2: Demontage einer Heizpatrone mit rohrförmigem Durchschlag

Heizpatronen mit Gewinde (sog. Einschraubnippel) [1] erleichtern die Montage und Demontage. Heizpatronen müssen vor Feuchtigkeit geschützt werden (Trocknung bei 160 bis 180 °C über mehrere Stunden).

Es ist zu beachten, dass Heizpatronen üblicherweise am Kopf- und am Bodenende über eine „kalte Zone“ verfügen. Damit ergibt sich eine ungleichmäßige Temperaturverteilung in Axialrichtung der Heizpatrone. Zur Vergleichmäßigung des Temperaturprofils werden Heizpatronen mit einem planen Kupferboden angeboten. Darüber hinaus sollte der Kopf der Heizpatrone etwa entsprechend der Länge der unbeheizten Zone nach Möglichkeit außerhalb des Heißkanal-Verteilerblocks positioniert sein. Die Länge der unbeheizten Zone ist den einschlägigen Unterlagen der Lieferanten zu entnehmen.

Als Toleranz der Außendurchmesser von Hochleistungs-Heizpatronen wird $d_{-0,06}^{-0,02}$ angegeben. Unter Berücksichtigung einer Passungsqualität der Bohrung mit H7 ergibt sich z. B. für $d = 12,7$ mm ein Größtübermaß von 0,078 mm. Der so entstehende Luftspalt stellt eine nicht erwünschte Wärmeisolation dar. Hierfür bieten sich jedoch geeignete konstruktive Lösungen dieses Problems an (vgl. Bild 4.5 und 4.6).

Heizpatronen sind mit im Bodenbereich integriertem Thermofühler lieferbar, der jedoch nur eine Mischtemperatur zwischen der Heizpatrone und dem Heißkanal-Verteilerblock bestimmt (evtl. zusätzlich verfälscht durch Luftisolation zwischen den Messpunkten). Die bessere Alternative stellt die Trennung von Wärmequelle und Messort dar [2]. Nur so lassen sich Temperaturen „exakt“ bestimmen. Eine weitere Alternative bietet eine Heizpatrone nach Bild 4.3. Hierbei befindet sich das Thermoelement außerhalb der Heizpatrone. Als zusätzlicher Vorteil dieser *Keramik*-Heizpatrone wird das Fehlen kalter Heizpatronen-Enden als Folge einer speziellen Wicklungsart der Heizleiter herausgestellt [2]. Konstruktive Ausführungen, s. Bild 4.4 bis 4.6. Die konstruktiven Lösungen in Bild 4.5 und Bild 4.6 sind vom wärmetechnischen Standpunkt aus empfehlenswert, stellen jedoch einen erhöhten technischen Aufwand dar.

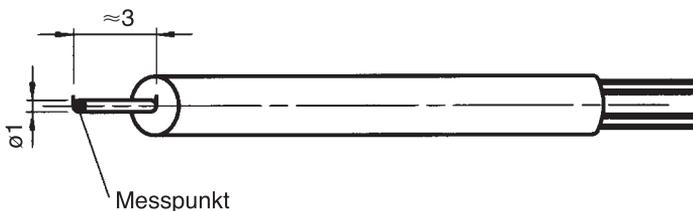


Bild 4.3: Keramik-Heizpatrone mit außenliegendem Thermoelement (System Xintech)

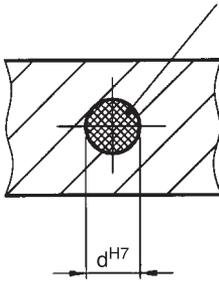


Bild 4.4: Heizpatrone in ungeteilter Aufnahme-Bohrung, bei sorgfältigster Ausführung gute Wärmeübertragung

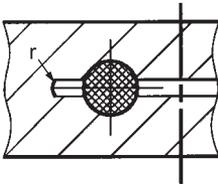


Bild 4.5: Heizpatrone in geteilter Aufnahmebohrung mit Anpressschraube, Kontaktflächenbildung durch elastische Deformation, sehr gute Wärmeübertragung, einfache Demontage der Heizpatrone

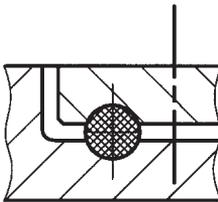


Bild 4.6: Heizpatrone in geteilter Aufnahmebohrung (Klemmleiste) mit Anpressschraube, sehr gute Wärmeübertragung, einfache Demontage der Heizpatrone

4.2 Konische Heizpatrone

Heizpatrone mit einem Kegelverhältnis 1 : 50, einer Oberflächenbelastung $< 20 \text{ W/cm}^2$, mit einem Mantel aus rost- u. säurebeständigem Material 1.4541 und einem Gewinde zum Anpressen und Abdrücken. Für konische Heizpatronen (Bild 4.7) sind genormte Kegelbohrer und Kegelreibahnen erhältlich. Bei sachgemäßer Ausführung der konischen Bohrung ist ein passgenauer Sitz zu erzielen. Damit wird eine sehr gute Wärmeübertragung erreicht.

Eine Sonderlösung für das Verwenden von *zylindrischen* Heizpatronen stellen *konische* Wärmeleithülsen aus Messing dar [1]. Mit Hilfe der Schlüsselweite kann die konische Wärmeleithülse problemlos gelöst werden.

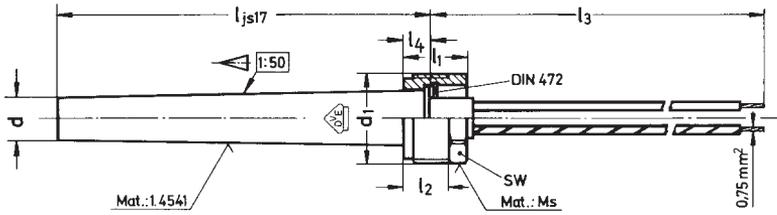


Bild 4.7: Konische Heizpatrone [3]



Bild 4.8: Konische Heizpatrone

4.3 Gewindeheizpatrone

Heizpatrone mit Außengewinde $M 12 \times 1$ und einer Schlüsselweite zeigt Bild 4.9 (Oberflächenbelastung $< 14 \text{ W/cm}^2$, Mantel aus rost- u. säurebeständigem Material 1.4541) [4].

Die Annahme, ein Gewinde würde die wärmeübertragende Manteloberfläche vergrößern, setzt u.a. eine vollflächige Berührung aller Gewindeflanken voraus. Tatsächlich vergrößern sich aber durch das Anziehen der Schraubenverbindung Luftspalte zwischen dem Mutter- und dem Schraubengewinde, d.h. es trägt nur jeweils eine Gewindeflanke eines Gewindengangs, Bild 4.10. Eine Vergrößerung der wärmeübertragenden Flächen liegt also praktisch nicht vor. Die Gewindeheizpatrone hat die in sie gesetzten Erwartungen nicht erfüllt.

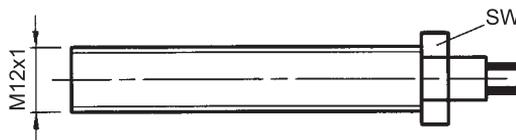


Bild 4.9: Gewindeheizpatrone

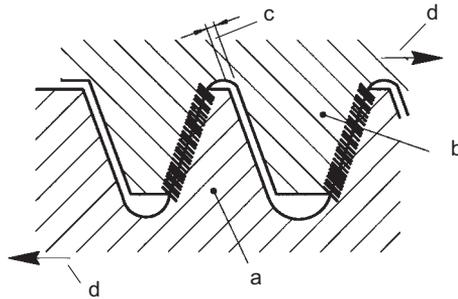


Bild 4.10: Luftspalte an einer beanspruchten Schraubenverbindung: die tragenden Gewindeflanken (Schraffur) stehen unter Vorspannung
a: Schraube, b: Mutter, c: Luftspalt, d: Kraftübertragung

4.4 Rohrheizkörper

Rohrheizkörper haben sich insbesondere für die Beheizung von Heißkanal-Verteilerblöcken auf Grund der individuellen Anwendbarkeit und der langen Lebensdauer bewährt, Bild 4.11. Sie erlauben eine Oberflächenbelastung von 1 bis 10 W/cm^2 je nach beheizter Länge und sind unter Beachtung von Mindestbiegeradien gut verformbar [1].

Rohrheizkörper können in gestreckter, gebogener und gewendelter Form bezogen werden. Zur Optimierung der Wärmeübertragung kann der Rohrheizkörper metallisch eingegossen (z.B. in Aluminium, Messing, Kupfer, Kupfer-Legierungen, Nickel) oder in Wärmeleitcement eingebettet werden.

Ungeachtet der z.B. gegenüber Kupfer relativ geringen Wärmeleitfähigkeit, s. Tabelle 2.2, ist Wärmeleitcement eine sowohl preiswerte als auch technisch geeignete Alternative zum Einbetten von Heizleitern. Im Reparaturfall können

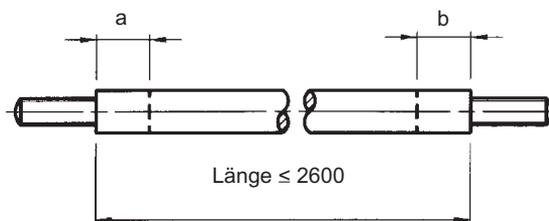


Bild 4.11: Rohrheizkörper
a und b: Bereiche unbeheizt

der Wärmeleitzement und die defekte Rohrheizpatrone leicht entfernt werden, was für eingegossene Heizleiter so nicht zutrifft. Es sollten unbedingt die Verarbeitungshinweise der Lieferanten des Wärmeleitzements beachtet werden. Dies gilt insbesondere für ein allseits gleichmäßiges, langsames Trocknen des verarbeiteten Wärmeleitzements, da entstehender Dampfdruck zum Zerstören des Wärmeleitzements und zum Ausfall der Rohrheizpatrone(n) infolge Verringerung wärmeleitender Kontaktflächen (Wärmestau) führen kann. Diese notwendige Vorsichtsmaßnahme gilt ausdrücklich nur für das erste Aufheizen.

Flexible Rohrheizkörper gewährleisten leichte Handhabung, ohne Biegevorrichtung kann der Heizkörper von Hand gebogen und z.B. in die entsprechende Nut gedrückt werden [5]. Der dafür notwendige Zeitaufwand ist sehr gering.

Rohrheizkörper in Metall eingegossen ($s \geq 0$) oder in Wärmeleitzement ($s \approx 2$) eingebettet, Bild 4.12. Um Kerbwirkung im Nutgrund zu minimieren, darf die Nut nicht scharfkantig ausgeführt werden, s. Kapitel 7. Der Wärmeleitzement sollte wegen seiner Bruchanfälligkeit formschlüssig abgedeckt werden. Hierzu dienen gleichermaßen Reflektorplatten, s. Abschnitt 3.2. Wärmeleitzement ist elektrisch leitfähig.

Rohrheizkörper werden auch verstemmt. Es entsteht eine kraft- und/oder stoffschüssige Verbindung, Bild 4.13. Bild 4.14 und 4.15 zeigen ungünstige und günstige Anordnungen der Rohrheizkörper. Die Anordnung der Rohrheizkörper in Bild 4.14 führt zu einer thermischen Inhomogenität im Bereich 1 und 3, was z.B. verminderte Formteil-Eigenschaften bewirken kann. Die statistische Versuchsauswertung an einem 4fach-Heißkanalwerkzeug für die Herstellung von Skibindungsteilen aus POM, Beheizungsart nach Bild 4.14a, ergab signifikante Unterschiede in den Zähigkeitseigenschaften der auf Schlag beanspruchten Formteile. Die Formteile aus den Kavitäten 1 und 3 erreichten generell geringere Schlagzähigkeitswerte als die aus den Kavitäten 2 und 4. Nach Anordnung der Rohrheizkörper entsprechend Bild 4.15a ergaben sich Schlagzähigkeitswerte mit sehr enger, vergleichbarer statistischer Verteilung. Die Rohrheizkörper sind zur Erzielung weitestgehend thermischer Homogenität überwiegend *beidseitig* im Heißkanalverteilerblock eingebettet. Dies gilt nicht notwendigerweise dann, wenn die Verlustleistung z.B. infolge Wärmeleitung (Stützscheiben!) durch geeignete konstruktive und werkstofftechnische Maßnahmen minimiert wird, s. Abschnitt 2.1.1 und 3.5.

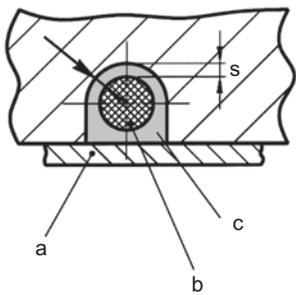


Bild 4.12: Eingebetteter Rohrheizkörper mit Abdeckung (z.B. Reflektorplatte)
 a: Abdeckung, b: Rohrheizkörper, c: Nut
 s: Spalt

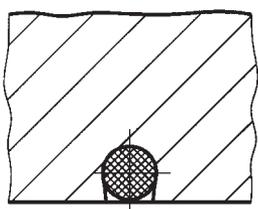


Bild 4.13: Stoffschlüssige Montage des Rohrheizkörpers, abgeschrägte Nutwände

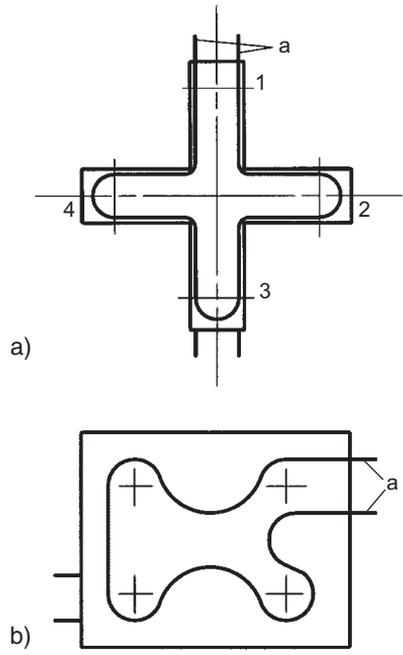


Bild 4.14: Ungünstige Anordnung der Rohrheizkörper (beidseitig angeordnet)
 a: Rohrheizkörper

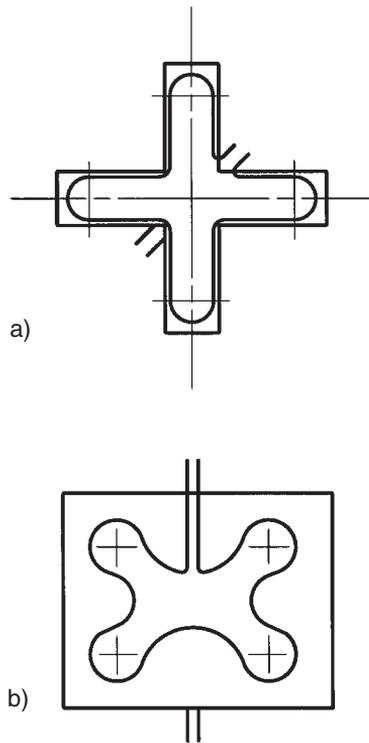


Bild 4.15: Wärmetechnisch günstige Anordnung der Rohrheizkörper

4.5 Heizplatte

Rohrheizkörper werden zu einem kompakten Block – der Heizplatte – z.B. mit Kupferlegierung oder Aluminium vergossen. Die Heizplatte wird vollflächig mit dem Heißkanal-Verteilerblock verschraubt, Bild 4.16 und 4.17. Um Strahlungsverluste zu minimieren, sollte die Oberfläche der Heizplatte z.B. vernickelt werden (bei Alu-Druckguss ist eine Oberflächenbehandlung nicht unbedingt notwendig).

Wird der Heißkanal-Verteilerblock nur segmentweise beheizt, *kann* die thermische Homogenität beeinträchtigt sein. Bei möglichst exakt gleicher Leistung und symmetrischer Anordnung der Heizplatten ist nur ein Thermofühler (Parallelschaltung mit *einem* Regelkreis) notwendig. Die Heizplatten sind nur zweiseitig dargestellt, Bild 4.18.

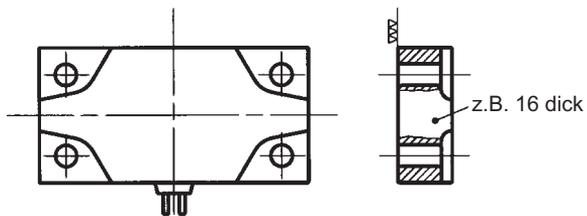


Bild 4.16: Heizplatte zum Aufschrauben auf den Heißkanal-Verteilerblock

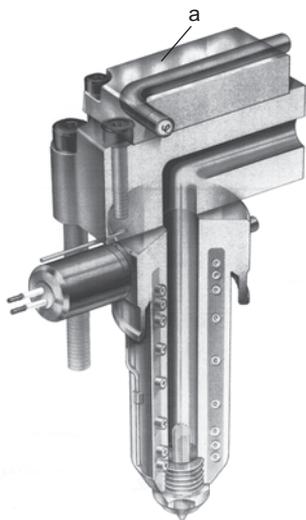


Bild 4.17: Beheizung eines Heißkanal-Verteilerblocks mit Heizplatten (a) (System Mold-Masters)

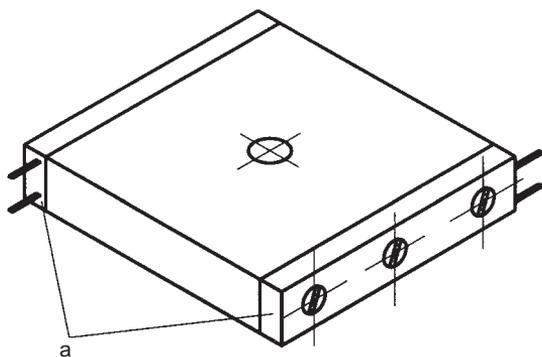


Bild 4.18: Verschraubte Heizplatten

4.6 „Dickschicht“-Heizelement

Wie die Heizplatten werden „Dickschicht“-Heizelemente [6] mit der Oberfläche des Heißkanal-Verteilerblockes vollflächig verschraubt, Bild 4.19. Damit ist eine gute thermische Homogenität erreichbar. Die Geometrie der Heizelemente kann konturengetreu dem Heißkanal-Verteilerblock angeglichen werden. Ausschnitte und Bohrungen können ausgespart werden. Die Heizelemente eignen sich bis maximal 550 °C. Die Feuchtigkeitsaufnahme der Heizelemente ist praktisch vernachlässigbar. Die Oberflächenbelastung für Heizleiter auf Edelstahlsubstrat beträgt ca. 11,5 W/cm².

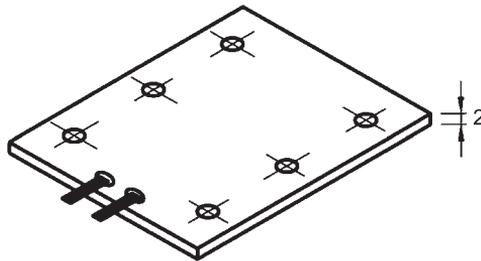


Bild 4.19: Dickschicht-Heizelement

Anmerkung: Die Bezeichnung „Dickschicht“ assoziiert „große“ Abmessungen. Tatsächlich beträgt die Dicke des Heizelements jedoch lediglich ca. 2 mm. Konturengetreue Ausführung eines Heizelements für einen Vierfach-Heißkanal-Verteilerblock, mit Ausnehmungen für vier Heißkanaldüsen und eine Angießbuchse ist in Bild 4.20 dargestellt. Die Oberfläche des Heizelements sollte mit einer Aluminium- oder Nickelschicht versehen werden, um Strahlungsverluste zu minimieren. Als praktikable Lösung bietet sich das Aufschrauben einer (dünnen) Aluminiumplatte auf die Oberfläche des Heizelements an. Ausnehmungen im Bereich des Elektroanschlusses müssen vorgesehen werden.

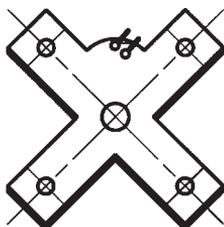


Bild 4.20: Dickschicht-Heizelemente in konturengetreuer Ausbildung (nach [6])

4.7 Mittelbare Beheizung mit einem flüssigen Medium (Fluid)

Für die Verarbeitung thermisch empfindlicher Thermoplaste wurden fluid-beheizte Heißkanal-Verteilerblöcke propagiert, die „... ideale Voraussetzungen für eine einwandfreie Produktion schaffen“ ... sollten [7], Bild 4.21. Dies sollte insbesondere für eine schonende und rückstandsfreie Führung des schmelzflüssigen Kunststoffes sowie einer gleichmäßigen Wärmezufuhr an die Verteilerkanäle gelten [8]. Der kastenförmig aufgebaute, verschweißte Heißkanal-Verteilerblock („Hohlkörper“) wird von einem Wärmeträgeröl indirekt, überwiegend konvektiv, beheizt. Als Wärmequelle wird eine elektrische Beheizung verwendet (127).

Räumlich gekrümmte Verteilerrohre leiten die Schmelze zu den jeweiligen Heißkanaldüsen (insoweit etwa mit dem Unitemp-System vergleichbar). Eine *direkte* Abstützung der Reaktionskräfte infolge der Spritzdrücke und der Vorspannung in Richtung ihrer Kraftwirkungslinien, also auf kürzestem Wege, war bei diesem System bis auf den mittleren Bereich (in direkter Verlängerung der Zwischenbuchse) nicht vorgesehen bzw. nicht möglich. Infolge der relativ biegeweichen „Seitenwände“ des kastenförmigen Heißkanal-Verteilerblockes besteht Gefahr von Leckage.

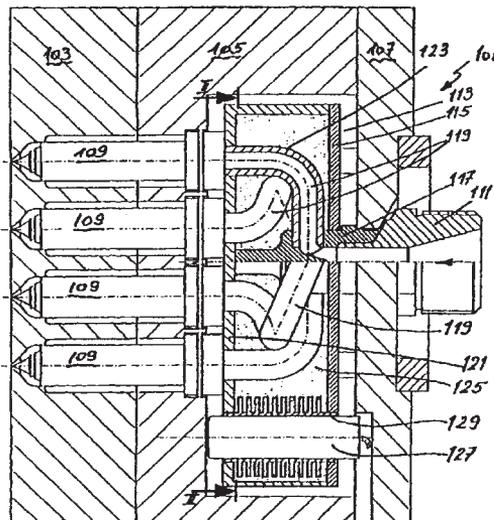


Bild 4.21: Heißkanal-Verteilerblock, fluidbeheizt
123: Verteilerrohr, 125: Wärmeträgeröl, 127: Heizung

Anmerkung: Maschinenteile sind so zu gestalten, dass möglichst einfache und kurze Kraftflüsse entstehen, Kräfte nicht „spazierenführen“ [9]. Dieses System ist in nur relativ geringer Zahl zum Einsatz gekommen. Bewertung s. auch Kapitel 5.5.

4.8 Wärmeleitrohr (Wärmeleitstift, Heatpipe)

Das Wärmeleitrohr wird indirekt beheizt, es benötigt eine externe Wärmequelle Bild 4.22. Das Wärmeleitrohr ist entlang der Innenwandung mit einer Kapillarstruktur ausgekleidet, die mit einem flüssigen Wärmeträger gesättigt ist. Im Bereich (1) wird Wärme zugeführt (Wärmequelle), der Wärmeträger verdampft und strömt zur Wärmesenke (2). Hier gibt der Dampf seine Wärme ab, es entsteht Kondensat, das durch Kapillarwirkung in Richtung Wärmequelle zurückströmt (Bereich 3). Dieses Zweiphasen-System flüssig/gasförmig bewirkt eine Wärmeleitfähigkeit, die um ein Vielfaches höher als die z.B. von Kupfer sein kann. Wärmeleitrohre können wesentlich zur thermischen Homogenität eines Heißkanal-Verteilerblocks beitragen (sog. Isothermalisierung), Bild 4.23. Abweichungen von der Isotherme betragen nur wenige Temperaturgrade. Mit Wärmeleitrohren lässt sich auch bei Vorhandensein von Wärmesenken (wie z.B. Stützscheiben) eine gute thermische Homogenität erzielen [10].

Je nach Betriebstemperatur werden unterschiedliche Wärmeträger verwendet, wie z.B. Wasser, Diphenyl, Quecksilber etc. Bei Betriebstemperaturen zwischen 50 und 300 °C findet Wasser Verwendung [11]. Der Wirkungsgrad des Wärmeleitrohrs ist lageabhängig. In vertikaler Einbaulage liegen zwei Extreme

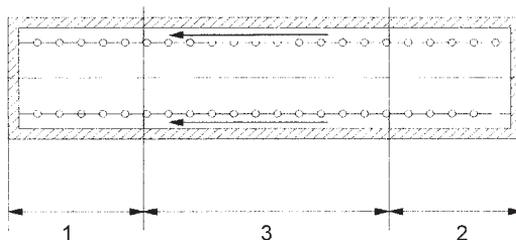


Bild 4.22: Wirkprinzip eines Wärmeleitrohrs
 1: Bereich der Wärmezufuhr und (Verdampfung), 2: Bereich der Wärmeabgabe (Kondensation), 3: Rückströmung des Kondensats ←

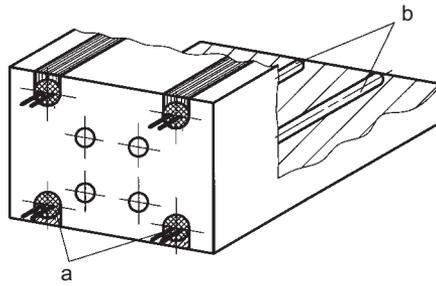


Bild 4.23: Indirekt beheizte Wärmeleitrohre zum Vergleichmäßigen (Isothermalisieren) der Temperatur in einem Heißkanal-Verteilerblock (schematisch)
a: Rohrheizpatronen, b: Wärmeleitrohre

vor: Fließt das Kondensat mit der Schwerkraft (d.h. Heizung unten) ist der Wirkungsgrad optimal. Soll das Kondensat gegen die Schwerkraft fließen (d.h. Heizung oben) kann der Wirkungsgrad null betragen. Der Einbau in horizontaler Lage führt zu einem guten Wirkungsgrad (Wärmequelle und Wärmesenke können beliebig vertauscht werden) [12].

4.9 Bestimmung der Heizleistung eines außen-beheizten Heißkanal-Verteilerblocks

4.9.1 Überschlägige Bestimmung der zu installierenden Heizleistung

Vorbehaltlich einer genaueren Bestimmung wird die Heizleistung P eines Heißkanal-Verteilerblocks empirisch ermittelt. Erfahrungsgemäß liegt die spezifische Heizleistung – das ist die auf 1 kg Gewicht des Heißkanal-Verteilerblocks bezogene zu installierende Heizleistung – zwischen $P_m = 150$ und 500 W/kg. Die Heizleistungsangabe ergibt sich im Wesentlichen aus einer großen Zahl ausgewerteter, praktisch ausgeführter Heißkanal-Verteilerblöcke unterschiedlicher Heißkanalsystem-Lieferanten, sowie einschlägigen Literaturangaben.

Um ein mögliches Überschwingen der Temperatur, zumal in der Aufheizphase, zu vermeiden, ist es zweckmäßig, nicht zu hohe Werte für die überschlägige Bestimmung der Heizleistung anzunehmen – also z. B. 300 W/kg. Können Regler auf die jeweilig installierte Heizleistung programmiert werden, ist ein Überschwingen der Temperatur grundsätzlich vermeidbar.