

Die variotherme Temperierung wird produktionstauglich

Rahmen eines LCD-Flachbildschirms in hochglänzender „piano-black“-Oberfläche (Hersteller: Jász Plasztik)

Werkzeugtemperierung. Mit dynamischen Temperiermethoden lassen sich im Spritzgießen erhebliche Qualitätsverbesserungen erreichen. Die Wirtschaftlichkeit steigt durch die Entwicklung effizienter Aufheizverfahren und durch die Minimierung der variotherm temperierten Massen im Werkzeug.

**JOSEF GIESSAUF
GEORG PILLWEIN
GEORG STEINBICHLER**

Bei der variothermen Temperierung hat die hohe Temperatur der Kavität zur Folge, dass die Kühlung der einströmenden Schmelze, beginnend mit der Ausbildung einer eingefrorenen Randschicht, verzögert wird. Daraus resultieren eine verbesserte Abformung der Oberfläche und eine Reduktion des Füllwiderstands. In der Nachdruckphase wird die Druckübertragung in der Kavität begünstigt. Der Druckgradient zwischen Anschnitt und Fließwegende, der zu unterschiedlichen Eigenspannungen und Schwindungswerten führt, wird reduziert. Dies gilt speziell dann, wenn beide Formhälften variotherm temperiert werden.

Seit rund 20 Jahren ist bekannt, dass Bindenahtkerben vermieden werden können (Bild 1), wenn die Werkzeugwandtemperatur während der Formfüllung nahe der Glasübergangs- bzw. Kristallit-schmelztemperatur gehalten wird [1]. Inzwischen sind eine Reihe weiterer Vorteile entdeckt worden, die wiederum neue Anwendungsfelder erschließen (Tabelle 1).

Während nach heutigem Stand der Technik sowohl die Basistemperierung der unter konstanter Temperatur gehaltenen Werkzeugbereiche als auch die Kühlung der variotherm temperierten Bereiche mit Wasser (oder Öl) erfolgen, wurden in den vergangenen zwei Jahrzehnten verschiedenste Methoden der Heizung entwickelt. Im Folgenden sind die wichtigsten Heizungsarten für die variotherme Temperierung umrissen.

Temperierung mit Wasser, Öl oder Dampf

Eine Möglichkeit der variothermen Temperierung besteht in der Verwendung von Temperiergeräten, die entweder Wasser oder Öl als Wärmeträgermedium verwenden. Dabei sind zwei Kreisläufe mit unterschiedlichen Temperaturen erforderlich. Das heiße und das kalte Fluid können das Werkzeug entweder in getrennten oder gemeinsamen Temperierkanälen durchfließen. Bei der gebräuchlichsten Form der variothermen Fluidtemperierung fließen das heiße und das kalte Medium abwechselnd durch dieselben Temperierkanäle. Zwischen Temperiergeräten und Werkzeug sind Ventile vorgesehen, mit denen zwischen heißem und kaltem Medium umgeschaltet wird (Bild 2).

Neben Flüssigkeiten hat sich auch Dampf zum Erwärmen des Werkzeugs etabliert. Speziell in Asien und nun zunehmend auch in Europa wird dieses Medium zur Herstellung von bindenahtfreien, hochglänzenden Rahmen für Flachbildschirme eingesetzt (Titelbild).

Elektrische Heizung

Eine weitere Möglichkeit zum Aufheizen der Kavität ist die Verwendung von Widerstandsheizelementen. Eine vergleichsweise preisgünstige Aufheizung im Werkzeug mittels Heizpatronen hat sich aus Gründen der ungerichteten Wärmeabgabe, der schlechten Regelbarkeit sowie der beschränkten Lebensdauer als ungünstig erwiesen [5]. Eine vielversprechende Entwicklung sind elektrisch leitfähige Keramiken, die knapp unter der Formnothroberfläche angeordnet werden (Bild 3). Mit diesen in einem Sinterverfahren hergestellten Heizungen sind Leistungsdichten von bis zu 150 W/cm² erreichbar. Dadurch können sehr große Aufheizraten von 20 °C/s an der Oberfläche realisiert werden.

Die induktive Wärmeerzeugung beruht auf dem Transformatorprinzip. Ein von hochfrequentem Wechselstrom hoher Stromstärke durchflossener Leiter, der Induktor, ist von einem elektromagnetischen Wechselfeld umgeben. Wird ein leitfähiges Material in dieses Wechselfeld eingebracht, so werden in einer dünnen Oberflächenschicht elektrische Ströme induziert, durch deren Verlustleistung am Ohmschen Widerstand des Materials

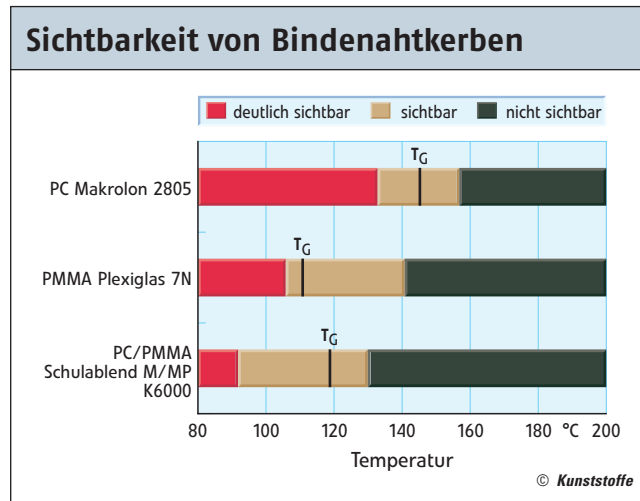


Bild 1. Subjektiv beurteilte Sichtbarkeit von Bindenahtkerben in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur einer variotherm temperierten Kavität (Werkzeug: „Handyschale“)

Wärme entsteht. Da sich auch der Induktor selbst erwärmt, wird dieser meist als Hohlleiter ausgeführt und mit Wasser durchströmt [6]. Mit der Induktion sind sehr hohe Aufheizraten von 20 °C/s möglich [7].

Wärmestrahlung

Wärmestrahlung liegt im infraroten Bereich des Lichtspektrums, also zwischen 0,78 und 400 µm. Der Strahlungsanteil, der durch Absorption vom Material aufgenommen wird, hängt von dessen Zusammensetzung und Oberfläche ab. Für eine effektive Infraroterwärmung ist die Kenntnis des spektralen Absorptionsgrads des zu erwärmenden Materials wichtig. Die Auswahl des Strahlers sollte so erfolgen, dass dessen Emissionsmaximum in jenem Wellenlängenbereich liegt,

in dem das Absorptionsvermögen des zu erwärmenden Materials hoch ist [8]. Für die Erwärmung von Stahl eignen sich am besten kurzwellige Infrarotstrahler.

Engel hat auf der K2007 erstmals ein auf Infrarot-Strahlung basierendes Konzept vorgestellt, mit dem eine rasche Temperaturerhöhung im Werkzeug möglich ist. Dabei wurde eine Handyschale in „piano-black“-Oberfläche hergestellt (Bild 4). Durch die hohe Werkzeugtemperatur beim Einspritzen konnte der Glanzgrad deutlich erhöht und die Sichtbarkeit der im Bereich des Durchbruchs zwangsläufig auftretenden Bindenaht vermieden werden. Die bisher bekannten Schwächen der IR-Strahlung können durch zwei Maßnahmen kompensiert werden: Einerseits muss der Absorptionsgrad der zu erwärmenden Oberfläche erhöht und andererseits die dynamisch temperierte Masse minimiert werden.

Mehr Absorption, weniger Masse

Polierte Stahloberflächen reflektieren bekanntlich einen Großteil sowohl des sichtbaren als auch des infraroten Anteils des auftreffenden Lichts. Beschichtungen an der Oberfläche der Kavität können den Absorptionsgrad deutlich erhöhen, und somit die Heizzeit reduzieren (Bild 5). Mit beschichteten Hochglanz-Oberflächen wurden bereits Aufheizraten von 10–13 °C/s erreicht, wobei bei der Optimierung der Beschichtung noch erhebliches Potenzial besteht. Diese Aufheizraten entsprechen den Werten, die heute mit Dampf-Heizung in Kombination mit konturnaher Temperierung erzielt werden können.

Um die zu erwärmende Masse zu reduzieren, wird ein dünner Werkzeuggein-

Effekt	Anwendungsbeispiele
Vermeidung von Bindenahtkerben	Mehrfach angespritzte Teile oder Teile mit Durchbrüchen: - Gehäuseteile im Bereich Haushaltsgeräte, Elektronik und Telekommunikation - Blenden im Bereich Weißware
Erhöhung des Glanzes	Formteile mit Hochglanz-Oberflächen ohne nachfolgende Lackierung (z.B. „piano-black“-Oberfläche): - Gehäuseteile im Bereich Haushaltsgeräte, Elektronik und Telekommunikation (Titelbild, Bild 4)
verbesserte Oberflächenqualität von geschäumten Teilen [2]	chemisch oder physikalisch geschäumte Teile für den Sichtbereich
verbesserte Oberflächenqualität von faserverstärkten Teilen	faserverstärkte Teile für den Sichtbereich
Reduktion von Einfallstellen	Teile mit Rippen, Befestigungselementen etc.
verbesserte Konturtreue und Oberflächenbeschaffenheit	Präzisionsteile: - dickwandige optische Linsen
Abformung feinsten Strukturen	Teile mit feinen Konturen an der Oberfläche: - „Lab on a chip“ Teile mit Mikro- oder Nanostruktur-Oberfläche - „Light Guide Panels“ für Flachbildschirme - optische Linsen mit Entspiegelung durch Mottenaugen-Effekt [3]

Tabelle 1. Durch variotherme Temperierung erzielbare Effekte und Anwendungsgebiete

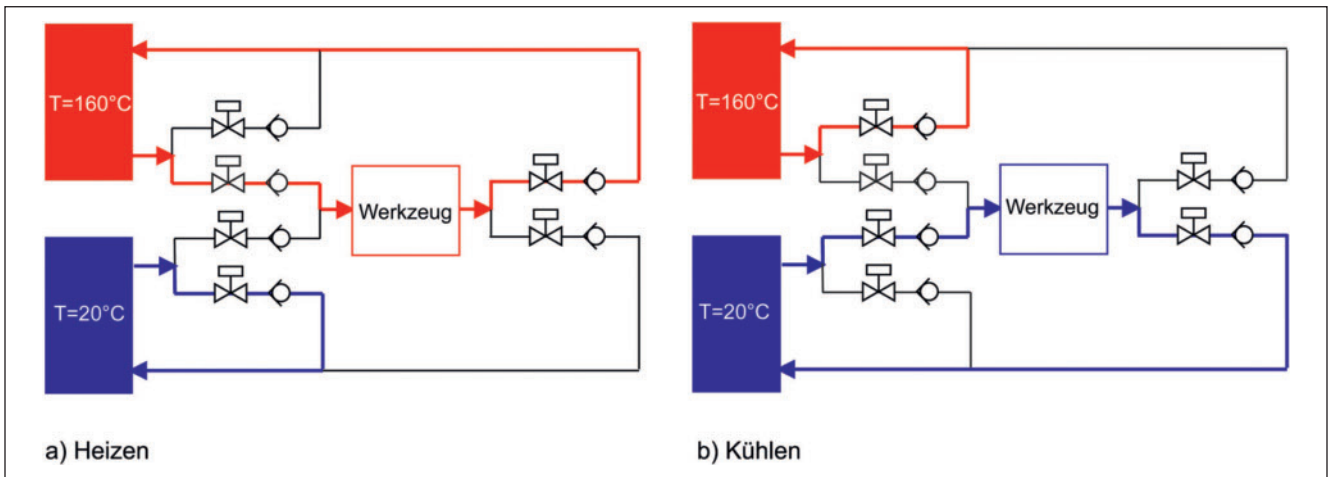


Bild 2. Schaltbild der variothermen Temperierung mit Wasser [3]

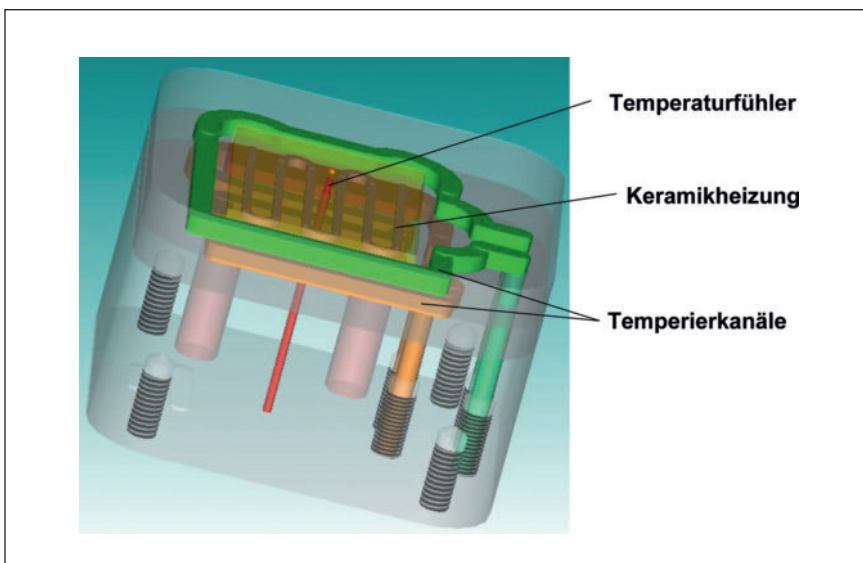


Bild 3. Werkzeugzeugsatz mit integrierter Keramikheizung (Bild: GWK Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH, Kierspe)

Temperatur T_1 wurde an der Oberfläche des abhebenden Einsatzes gemessen, die Temperatur T_2 an der Oberfläche der dahinter liegenden (permanent gekühlten) Formplatte. In der Heizphase wird der abgehobene Einsatz durch die IR-Strahlung erwärmt. Nach einer Anfangsphase, in der sich der Temperaturgradient über die Einsatzdicke einstellt, verläuft der Temperaturanstieg linear. Im Gegensatz zu anderen Temperiermethoden ist die maximal erreichbare Temperatur hier nicht durch Medientemperaturen limitiert. In 6 s wird somit ein Temperaturanstieg von 80 °C erreicht, was einer mittleren Aufheizrate von über 13 °C/s entspricht. Nach dem Abschalten und Ausfahren des Strahlers aus der Form gleicht sich der Temperaturgradient über die Einsatzdicke aus, was zum beobachteten Absinken der Oberflächentemperatur führt. Bei Beginn

satz während der Heizphase mittels Federkraft vom gekühlten Werkzeug abgehoben. Dabei entsteht ein Luftspalt, der als thermische Trennung zwischen dem zu beheizenden Einsatz und dem permanent gekühlten Werkzeug-Grundkörper fungiert. Nach dem Erwärmen wird das Werkzeug geschlossen, danach wird ein-

Bild 5. Aufheizraten gemessen an der Oberfläche einer Kavität. Leistungsdichte des verwendeten IR-Strahlers: 40 W/cm^2

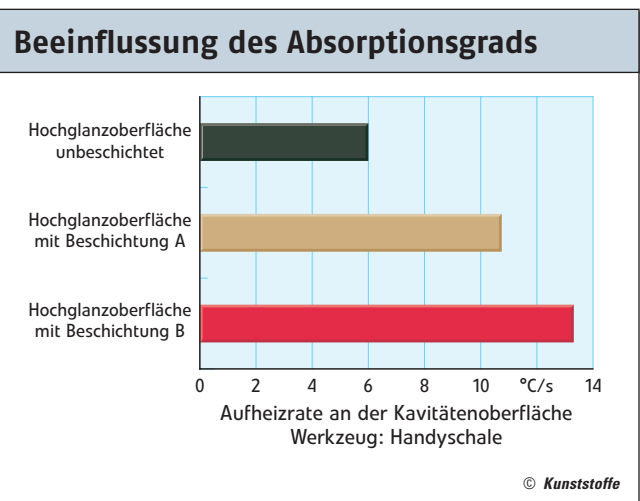


Bild 4. Handschale in „piano-black“

gespritzt. Durch die Anlage an den gekühlten Werkzeugteil setzt die Kühlung ein (Bild 6).

In Bild 7 ist der zeitliche Temperaturverlauf über einen Zyklus dargestellt. Die

des Werkzeugschließens ist dieser Ausgleich nahezu abgeschlossen, und die Temperatur bleibt annähernd konstant. Die Formplatte wird während der Phasen 1 bis 3 ständig gekühlt, die Temperatur ▶

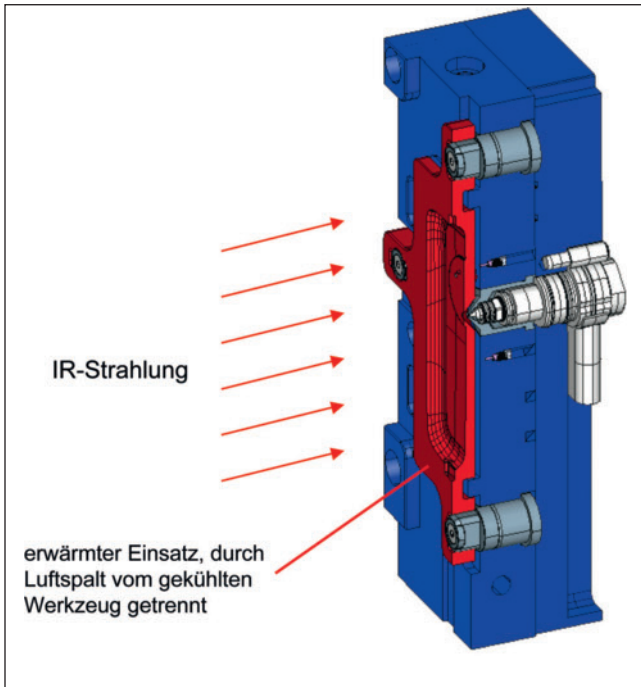


Bild 6. Werkzeug mit abhebendem Einsatz
(Fotos außer Bild 3: Engel)

identisch. Für den abhebenden Einsatz (rote Linie) ergibt sich allerdings bereits nach ca. 1s ein linearer Verlauf mit praktisch konstanter Aufheizrate. Diese würde erst bei sehr hohen Temperaturen durch Abstrahlung bzw. Konvektion merklich reduziert. Bei der Variante ohne Abheben (beige Linie) nimmt die Aufheizrate mit steigender Temperatur kontinuierlich ab, was beispielsweise bei einer Heizzeit von 6 s zu einer um über 30 °C geringeren Temperatur führen würde. Um ohne Abheben die gleiche Temperatur zu erreichen, wäre eine wesentlich längere Heizdauer von über 25 s nötig. Die maximal erreichbare Temperatur ist ohne Abheben des Einsatzes limitiert, da sich früher oder später ein Gleichgewichtszustand zwischen Zu- und Abfuhr der Wärme einstellt. Durch das Abheben des Einsatzes verringert sich natürlich auch die zu kühlende Masse, sodass nicht nur die Heizzeit, sondern auch die Kühlzeit wesentlich reduziert werden kann.

T₂ sinkt dementsprechend. Wenn das Werkzeug vollständig geschlossen ist, liegt der Einsatz an der Formplatte an und beginnt abzukühlen. Gleichzeitig findet ein Temperaturanstieg an der Formplatte statt. Sobald die Schmelzefront während der Einspritzphase die Sensorposition erreicht, ergibt sich ein kurzfristiger Temperaturanstieg. In der Nachdruck- und Kühlphase kühlen Kunststoffteil, Einsatz und Formplatte ab. Nach dem Öffnen des Werkzeugs fährt der Strahler wieder in die Form ein, und der nächste Zyklus beginnt.

Bild 8 zeigt einen Vergleich des Temperaturverlaufs der beheizten Kavitätoberfläche mit und ohne Abheben des Einsatzes. Die Kurvenverläufe entstammen einer Finite-Differenzen-Simulation, in der das Werkzeug möglichst realistisch nachgebildet wurde. Um gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde für die Simulation des Temperaturverlaufs ohne Abheben die Vorlaufemperatur soweit erhöht, dass sich die gleiche Ausgangstemperatur zum Start der Heizphase ergibt. In der Anfangsphase sind die beiden Temperaturverläufe annähernd

Verglichen mit den zuvor beschriebenen Methoden bietet die IR-Heizung folgende Vorteile:

- vergleichsweise geringe Investitionskosten,
- reduzierte Kühlzeit durch geringe erwärmte Masse (abhebender Einsatz) sowie große permanent gekühlte Masse (gekühlte Formplatte),
- gegenüber Dampf- oder Flüssigkeitsheizung kein oberes Temperaturlimit,
- sehr gute Reproduzierbarkeit der Temperaturverläufe ($\pm 1\text{ °C}$),

	Fluid-Temperierung		Werkzeugintegrierte Heizungen		Werkzeugintegrierte Heizungen		
	Wasser	Dampf	Keramik	Integrierter Induktor	Externer Induktor	IR-Heizung im geöffnetem Werkzeug	IR-Heizung Zyklusparallel
Technische Aspekte							
bewährte Technologie	●	●	●	●	●	●	○
für große Formteile geeignet	●	●	○	●	●	●	○
hohe Temperaturen möglich – für alle Thermoplaste geeignet	○	○	●	●	●	●	●
Wirtschaftliche Aspekte							
keine Zykluszeitverlängerung durch Heizzeit	○	●	●	●	●	●	●
geringe Zusatzkosten für Produktionsanlage	●	○	●	○	○	●	●
geringe Zusatzkosten für Werkzeug	●	●	○	○	●	●	○

- trifft zu
- trifft teilweise zu
- trifft nicht zu

Tabelle 2. Vergleich der Heizungsarten

- Impulskühlung und Entleeren der Kühlkanäle vor dem Heizen sind nicht notwendig.
- Dem stehen folgende Nachteile gegenüber:
- Im Gegensatz zu werkzeugintegrierten Heizungen kann erst bei geöffnetem Werkzeug mit dem Heizen begonnen werden.
- Der Auswahl der Beschichtung kommt bei Hochglanzoberflächen eine große Bedeutung zu.

Zyklusparallele Infrarot-Heizung

Die genannten Nachteile werden durch eine neue Variante des Verfahrens vermieden: Der zu erwärmende Einsatz ist dabei in doppelter Ausführung vorhanden und wird – ähnlich einer Indexplatte beim Mehrkomponenten-Spritzgießen – aus dem Werkzeugbereich gedreht. Der Heizstrahler ist oberhalb der beweglichen Aufspannplatte angeordnet. Dadurch erfolgt das Heizen parallel zum Zyklus und geht nicht in die Zykluszeit ein. Eine Manipulationseinrichtung für den Strahler entfällt. Die Bestrahlung erfolgt vorteil-

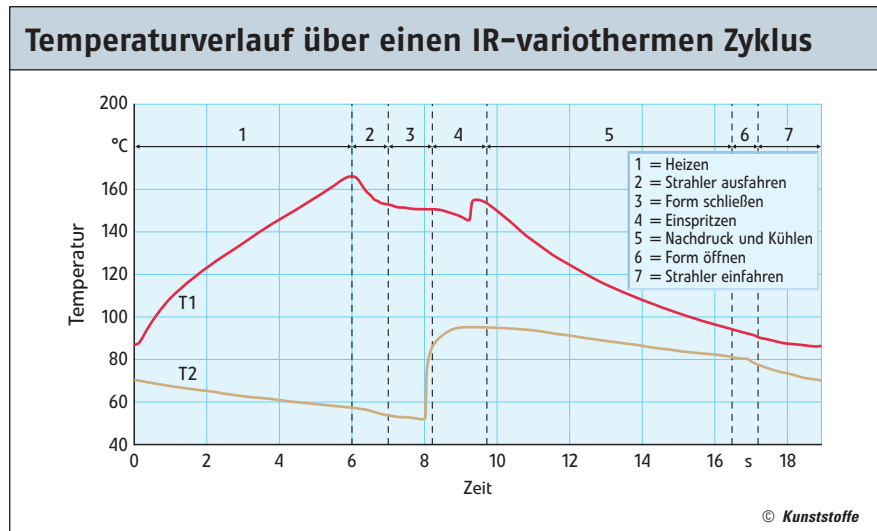


Bild 7. Temperaturverlauf über einen IR-variothermem Zyklus. T1: Temperatur an der Oberfläche des beheizten, abhebenden Einsatzes; T2: Temperatur an der Oberfläche der permanent gekühlten Formplatte

hafterweise von der Rückseite des Einsatzes, dadurch ist in der Kavität keine Beschichtung mehr notwendig. Zukünftig könnten die auf der beweglichen Aufspannplatte angebrachten Wärmequellen segmentiert ausgeführt sein. Sie sind somit ein fixer Maschinenbestandteil und

unabhängig vom Werkzeug zu verwenden (Bild 9).

Die für eine bestimmte Einsatzgröße erforderliche Anzahl an Strahlern wird individuell von der Maschine angesteuert, die einmal ermittelten Sollwerte sind mit dem Werkzeugdatensatz in der ▶

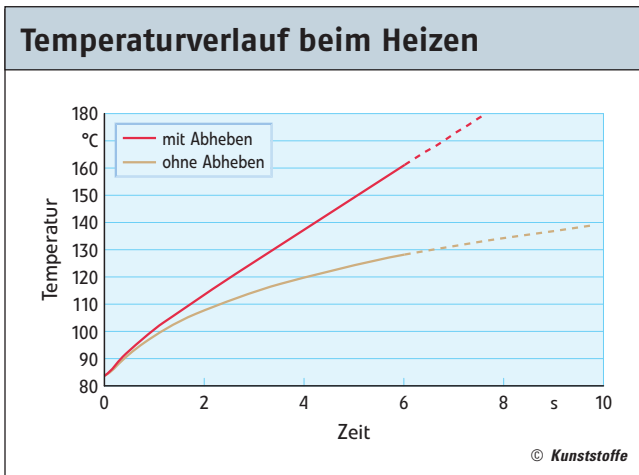


Bild 8. Vergleich der Aufheizraten mit und ohne Abheben des Einsatzes

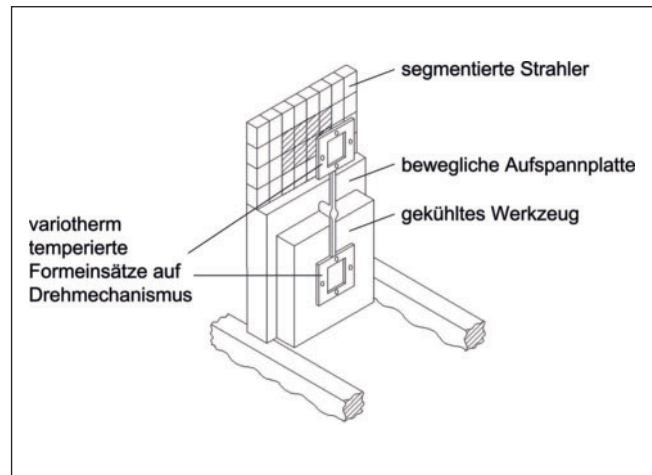


Bild 9. Schematische Darstellung einer zyklusparallelen Variotherm-Heizung mittels außerhalb des Werkzeugs angeordneter Strahler

Steuerung hinterlegt. Eventuell auftretende lokale Temperaturunterschiede können durch eine einstellbare Durchwärmungszeit oder durch unterschiedliche Ansteuerung der einzelnen Segmente ausgeglichen werden. Dasselbe Prinzip kann natürlich auch in Kombination mit anderen Heizungsarten angewendet werden.

Bei der Auswahl der geeigneten Heizung ist zunächst zu prüfen, welche Methoden aus technischer Sicht für den jeweiligen Anwendungsfall in Frage kommen. Danach kann die wirtschaftliche Betrachtung erfolgen. Hier spielen neben der Zykluszeit auch die erheblichen Unterschiede bei den Investitionskosten eine Rolle. In Tabelle 2 sind die Vor- und Nachteile der beschriebenen Heizungsarten gegenübergestellt.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit der variothermen Temperierung sind erhebliche Qualitätsverbesserungen beim Spritzgießen möglich. Am weitesten verbreitet ist heute die dynamische Temperierung mit Fluiden, also mit Dampf, Wasser oder Öl. Während noch vor einigen Jahren teils erhebliche Zykluszeitverlängerungen und ein hoher Energieverbrauch in Kauf genommen werden mussten, gelingt es heute zunehmend, die dynamisch zu temperierenden Massen im

Werkzeug zu minimieren sowie effizientere Heizmethoden produktionstauglich zu machen. Aufgrund der vielfältigen Vorteile ist anzunehmen, dass sich die variotherme Temperierung in den nächsten Jahren stark verbreiten wird. ■

LITERATUR

- 1 Patentschrift DE 3621 379 A1: Verfahren und Vorrichtung zur Beseitigung von Fließ- bzw. Bindenahtkerbungen in Spritzgießteilen aus Thermoplast (1988) Paul Thienel
- 2 Patentschrift EP 1 488 903: Method of manufacturing molded product of foamed resin and apparatus for molding foamed resin (2004) Ono Sangyo Co Ltd (Japan)
- 3 Steinbichler G., Gießauf J.: Das Spritzprägen optischer Teile – Neue Methodik für neue Qualitäten. Engel Symposium 2003
- 4 Hochglanzoberflächen ohne Bindenähte mit Variotherm, Prospekt der Werkzeugbau Siegfried Hofmann GmbH, Lichtenfels 2007
- 5 Gries H.: Energie sparen durch Heizen und Kühlen – ein Widerspruch? Kunststoff-Berater 9/2007, S. 52–58
- 6 Burkard E., Schinköthe W.: Induktive Beheizung von Spritzgießwerkzeugen – eine Übersicht. SKZ-Fachtagung Spritzgießen von Elastomeren, 8./9. März 2006
- 7 Klaiber, F., IKV Aachen: Persönliche Mitteilung
- 8 Tewald, A.: Entwicklung und Untersuchen eines schnellen Verfahrens zur variothermen Werkzeugtemperierung mittels induktiver Erwärmung. Dissertation, Universität Stuttgart, 1997

DIE AUTOREN

DIPL.-ING. JOSEF GIESSAUF, geb. 1968, leitet die Abteilung Entwicklung Prozesstechnologie der Engel Austria GmbH, Schwertberg/Österreich; josef.giessauf@engel.at

DR. GEORG PILLWEIN, geb. 1977, ist Projektleiter in der Technologieentwicklung bei Engel; georg.pillwein@engel.at

DR.-ING. GEORG STEINBICHLER, geb. 1955, leitet den Bereich Forschung und Entwicklung bei Engel; georg.steinbichler@engel.at

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Variotherm Temperature Control Is Fit for Production

MOLD TEMPERATURE CONTROL. In injection molding, considerable quality improvements can be achieved through dynamic temperature control methods. Cost efficiency has been improved by the development of efficient heating methods and by minimizing the variotherm-controlled masses in the mold.

NOTE: You can read the complete article in our magazine **Kunststoffe international** and on our website by entering the document number **PE104322** at **www.kunststoffe-international.com**