



(12) Ausschließungspatent

(11) **DD 262 620 B3**

Teilweise bestätigt gemäß § 18
Absatz 1 Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983

in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) B 29 C 45/76
B 29 C 43/58
B 29 C 39/44

DEUTSCHES PATENTAMT

(21) DD B 29 C / 305 289 8

(22) 23. 07. 87

(45) 18. 03. 93

(44) 07. 12. 88

(72) Weise, Jürgen, Dr.-Ing.; Schnabel, Rainer, Dr.-Ing.; Schulze, Volkmar, Dr.-Ing., DE

(73) siehe (72)

(74) Weise, Jürgen, Dr.-Ing., Siedlerstraße 9, PSF 10/70, O - 6805 Probstzella, DE

(54) **Verfahren zur Verkürzung der Zykluszeit bei der Duomer- und Elastomerverarbeitung**

Patentansprüche:

Verfahren zur Verkürzung der Zykluszeit bei der Duromer- und Elastomerverarbeitung für das Spritzgießen, Pressen und Gießen, vorzugsweise der Herstellung dickwandiger Formteile mit einer Formteildicke größer als 6 mm, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Weiterreaktion des Formstoffes nach der Entformung in der Abkühlphase der Formteile **darin** berücksichtigt wird, daß der Vernetzungsgrad c_{\min} als Funktion der Zeit, der Formmasstemperatur und der Werkzeugtemperatur unter Nutzung aktueller Werkstoffkennwerte und Prozeßparameter berechnet wird, wobei die Formmasstemperatur und die Werkzeugtemperatur als Funktion der Zeit meßtechnisch erfaßt werden, dabei in einer Vorwärtsrechnung, ausgehend vom Vorkondensationsgrad c_0 der Formmasse, eine Zykluszeit bis zur Erreichung des geforderten Mindestvernetzungsgrades c_{\min} bestimmt und in einer Rückwärtsrechnung unter Einbeziehung der Zeitdauer der Weiterreaktion der Vernetzung nach der Entformung in der Abkühlphase durch die schrittweise Verminderung der Zykluszeit erneut bis zum Mindestvernetzungsgrad c_{\min} die chemische Reaktion berechnet wird, wobei die vom Mikrorechner berechnete Zeit für die Weiterreaktion in der Abkühlphase bis zum geforderten Vernetzungsgrad c_{\min} zur Verkürzung der Zykluszeit dient.

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung findet bei der Verarbeitung von Duromeren und Elastomeren, insbesondere beim Duromerspritzguß dickwandiger Formteile Anwendung.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Die Optimierung der Zykluszeit starkwandiger Formteile in der Duromerverarbeitung (Spritzgießen, Pressen, Gießen) und Elastomerverarbeitung (Spritzgießen, Pressen) endete bisher bei dem letzten Verfahrensschritt, der Entformung, ohne die Berücksichtigung der Weiterreaktion in der darauffolgenden Abkühlphase.

Allgemein ist bekannt, daß die Aufheizzeit der Formmasse im Werkzeug auf die Werkzeugtemperatur den Hauptteil der Zykluszeit in der Duromer- und Elastomerverarbeitung ausmacht. Bekannt sind Verfahren und Vorrichtungen zur Regelung und Steuerung des Einspritzprozesses (DD-WP 227 383, DD-WP 660 20), zur Umschaltung von Spritzen auf Nachdruck (DE-AS 1458 150, DE-OS 24 123 41, DE-AS 20 21 739, DE-OS 24 43 938, DD-WP 14 69 12, DE-AS 19 46 637, DD-WP 24 60 78) sowie Schalteinrichtungen zur Auslösung druckabhängiger Schaltvorgänge (DD-WP 132 943).

Gegenüber der bekannten Verfahrensweise einer generell zeitabhängig gesteuerten Kühlphase des Formteiles beim Thermoplastspritzguß erfolgt nach DD-WP 212 472 die Entformung, wenn die mit Hilfe von Temperaturfühlern im Werkzeug gemessene Temperatur eine vorher an einem Steuerwerk eingestellte Entformungstemperatur erreicht oder wenn die zum Erreichen der geforderten Entformungstemperatur notwendige Kühlzeit, die während des Spritzgießens berechnet wird, abgelaufen ist. Eine Anwendung dieses Verfahrens zur Steuerung des Spritzgießprozesses auf die Duromer- bzw. Elastomerverarbeitung ist ausgeschlossen, da chemische Reaktionen der zu verarbeitenden Werkstoffe keine Beachtung finden. In den theoretischen und experimentellen Arbeiten von Buschhaus (Buschhaus, F.: Automatisierung beim Spritzgießen von Duromeren und Elastomeren, Diss. RWTH Aachen 1982) wird zwar der zeitliche Vernetzungsverlauf berechnet, es fehlen jedoch die Korrelationen zwischen Vernetzungsprofil und Formteileigenschaften, um die erforderliche Zykluszeit für optimierte Formteileigenschaften vorzuberechnen.

Eine Einbeziehung der Weiterreaktion der Vernetzung bei starkwandigen Formteilen nach dem Verfahrensschritt Entformung in der darauffolgenden Abkühlphase zur Verkürzung der Zykluszeit erfolgt nicht. Das erfolgt auch nicht bei Paar (Paar, M.: Auslegung von Spritzgießwerkzeugen für vernetzende Formmassen, Diss. RWTH Aachen 1983), der ausgehend vom sich ausbildenden Temperaturprofil den Vernetzungsverlauf berechnet.

In den theoretischen und experimentellen Arbeiten von Weise (Weise, J.: Technologische Untersuchungen zum Spritzgießen ausgewählter Duromerformmassen unter Verwendung von Kaltkanalwerkzeugen, Diss. TU Karl-Marx-Stadt 27.03.1987) heißt es z. B.: „Das Teilmodell Vernetzungsphase basiert darauf, daß Temperaturverlauf und Vernetzungsprofil gekoppelt sind, so daß von der Formmasstemperatur- und Werkzeugtemperaturmessung ausgehend und der Eingabe des Vorkondensationsgrades c_0 eine zeitliche Steuerung der Vernetzung durchgeführt wird.“

Weiter heißt es: „Durch die in den technologischen Untersuchungen ermittelten Korrelationen zwischen Vernetzungsprofil und Formteileigenschaften kann die erforderliche bzw. gewünschte Härtezeit bestimmt werden, die Hauptbestandteil der Zykluszeit t_z ist.“ In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß entsprechend Buschhaus und Weise zwar auf den hohen Wärmeinhalt, der durch die Reaktion entsteht und der die Weiterreaktion nach der Formöffnung bewirkt, hingewiesen, jedoch keine technische Nutzung zur Maschinensteuerung angegeben wird.

In keiner der genannten Arbeiten erfolgt die Einbeziehung der Nachvernetzung der Formmasse nach Formöffnung in den Steuerungsprozeß der Zykluszeit. Dementsprechend fehlt dafür auch das Steuerungskonzept.

Das erfindnerische Merkmal besteht darin, daß die Einbeziehung der Nachvernetzung der Formmasse nach Formöffnung in den Steuerungsprozeß der Zykluszeit erfolgt und daß durch die Anwendung aktueller Werkstoffkennwerte und aktueller Prozeßparameter das Verfahren der schrittweisen Verminderung der Zykluszeit sinngemäß immer bei Anwendung des Verfahrens zu einem c_{\min} führt.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht in der Schaffung eines Verfahrens für die Duromer- und Elastomer-Verarbeitung, das es ermöglicht, die Zykluszeiten, insbesondere bei der Herstellung bzw. Verarbeitung dickwandiger Formteile, zu verkürzen, um die Produktivität der Anlagen bei Einhaltung der Qualitätsanforderungen an die Produkteigenschaften zu erhöhen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, das es gestattet, die Weiterreaktion des Formstoffes nach der Entformung in der Abkühlphase bei Einhaltung der Formteilgeometrie und des geforderten Vernetzungsgrades c_{min} in jedem Punkt des Formteils für die Verkürzung der Zykluszeit auszunutzen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß zu dem bisher letzten Verfahrensschritt, der Entformung, ein weiterer Verfahrensschritt, die sich anschließende Abkühlphase, bei starkwandigen Formteilen hinzukommt, in der die Weiterreaktion des Formstoffes temperatur- und zeitabhängig erfolgt, wobei die Weiterreaktion in dem neuen Verfahrensschritt Abkühlphase in ein Prozeßmodell der Vernetzungsphase integriert wurde.

Für den Kaltkanalspritzguß z. B. wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß bekannterweise

- die Formmasse plastifiziert wird, die Formteilkonstruktion durch Einspritzen, Verdichten und beginnende Vernetzung der Formmasse in der aufgeheizten Kavität bei eingestellter und konstant gehaltener Werkzeugtemperatur T_w erfolgt; daß erfindungsgemäß
- der Vernetzungsgrad c_{min} als Funktion der Zeit t , der Formmassestemperatur T_M und der Werkzeugtemperatur T_w unter Nutzung aktueller Werkstoffkennwerte und Prozeßparameter berechnet wird, wobei die Formmassestemperatur T_M und die Werkzeugtemperatur T_w als Funktion der Zeit t meßtechnisch erfaßt werden, dabei
- in einer Vorwärtsrechnung ausgehend vom Vorkondensationsgrad c_0 der Formmasse eine Zykluszeit bis zur Erreichung des geforderten Mindestvernetzungsgrades c_{min} bestimmt und
- in einer Rückwärtsrechnung unter Einbeziehung der Zeitdauer der Weiterreaktion der Vernetzung nach dem Verfahrensschritt Entformung während des neu hinzugekommenen Verfahrensschrittes Abkühlphase durch die schrittweise Verminderung der Zykluszeit erneut bis zum Mindestvernetzungsgrad c_{min} die chemische Reaktion berechnet wird, wobei die vom Mikrorechner berechnete Zeit für die Weiterreaktion in der Abkühlphase bis zum geforderten Vernetzungsgrad c_{min} zur Verkürzung der Zykluszeit dient.

Die Erweiterung der Verfahrensschritte beim Spritzgießen um den Verfahrensschritt Abkühlphase ist sinngemäß für die Verarbeitungsverfahren des Pressens und Gießens gleichermaßen anwendbar, wobei durch die beschriebene Vorgehensweise gegenüber der bisherigen eine Produktivitätssteigerung erzielt wird.

Die Formmassestemperatur T_M wird beim Spritzgießen am Düsenaustritt und im Fassenteil wandnah gemessen und nach dem bekannten Stand der Technik geregelt.

Der Vorvernetzungsgrad c_0 wird als Werkstoffkennwert aus dem Speicher des Mikrorechners entnommen, gleichfalls ist für die zu verarbeitenden Werkstoffe der für eine geforderte Formteilqualität notwendige minimale Vernetzungsgrad c_{min} aus Vorversuchen bzw. der Prüfung des Verarbeitungsverhaltens von Duromeren bzw. Elastomeren, z. B. in Anlehnung an die Prüfung von Kautschuk und Elastomeren nach DIN 53529 bekannt. Das Verfahren ist gleichfalls geeignet, auftretende Schwankungen in der Prozeßführung durch die fortlaufende Messung der Formmassestemperatur T_M und der Werkzeugtemperatur T_w in der Kavität und deren Berücksichtigung bei der Berechnung der Vernetzung in der Form und der Weiterreaktion nach der Entformung zu kompensieren.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird nachfolgend an einem Beispiel erläutert.

Bei der Herstellung eines 15 mm dicken Formteils aus Phenoplast mittels Kaltkanalspritzguß wurde die Formmasse Typ 31 mit $T_M = 393K$ in die Kavität, die eine konstant gehaltene Temperatur von $T_w = 448K$ aufwies, eingespritzt. Die Vorwärtsrechnung ergab eine erforderliche Zykluszeit von 7 Minuten für das Erreichen des Mindestvernetzungsgrades $c_{min} = 0,94$ im Formteil ohne Berücksichtigung der Weiterreaktion während des neuen Verfahrensschrittes Abkühlphase. Die Rückrechnung ergab eine Zeit für die Nachreaktion in der Mitte des Formteiles nach der Entformung in der Abkühlphase von 3 Minuten. Diese Zeit wurde als Steuergröße vom Mikrorechner berechnet und zur Steuerung des Verfahrens genutzt, wobei in diesem Beispiel bei der minimierten Zykluszeit von 4 Minuten die Entformung qualitätsgerecht mit $c_{min} = 0,94$ stattfand.