



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

262521

(11)

(B1)

(51) Int. Cl.⁴

B 29 C 45/76

(22) Přihlášeno 14 07 87

(21) PV 5348-87.W

(40) Zveřejněno 16 08 88

(45) Vydáno 14 07 89

(75)

Autor vynálezu

NEUHÄUSL EMIL ing., ZEMAN LUBOMÍR ing., LINHART JAROMÍR ing., PRAHA,
PAVLÍČEK JINDŘICH ing. LYSÁ nad Labem, BRUMMEL MICHAL ing., PRAHA

(54) Způsob výroby výstřiků s definovanou kvalitou

Způsob výroby výstřiků s definovanou kvalitou, který využívá sledování vybraných ukazatelů stavu a vlastností výstřiků v neustáleném stavu, tj. v časovém intervalu 1 až 1 000 s po vyhození výstřiku. Hodnoty zjištěné v neustáleném stavu se převedou na izotermní vztažné hodnoty a porovnají s hodnotami požadovanými. V případě rozdílu těchto dvou úrovní se automaticky podle funkčních závislostí sledovaných ukazatelů kvality na technologických parametrech výroby přestaví technologické podmínky vstřikování. K nastavení optimálního technologického režimu se použijí korelační vztahy mezi ukazateli stavu a vlastností výstřiků a technologickými parametry vstřikování.

Vynález se týká způsobu výroby výstřiků s definovanou kvalitou. V současné době se výroba plastových výstřiků s definovanou kvalitou zajišťuje pomocí řídicích systémů umožňujících dodržení reprodukovatelnosti rozhodujících technologických parametrů, přičemž jejich nastavení se provádí převážně na základě empirických poznatků. Nejvýhodnější systémy vycházejí buď ze znalosti termodynamických veličin vstřikované taveniny, případně z ukazatele hmotnosti, který citlivě reaguje zejména na parametry dotlakové fáze vstřikovacího cyklu. Tyto ukazatelé mají však vztah pouze k reprodukovatelnosti naplnění tvarové dutiny formy a nepostihují výsledný vztah výstřiku po jeho vyhození z formy, např. z hlediska stavu napjatosti nebo velikosti orientace.

Jednotlivé metody stanovení stavu výstřiků jsou vesměs známy, v převážné míře se jich ale používá ke statistickému vyhodnocení stavu výstřiků, a to v takovém časovém odstupu, který zaručuje, že stav výstřiku je dále neměnný, tj. nejméně po 24 hodinách od jejich výroby. Vzhledem k neúnosně dlouhé časové prodlevě, vysoké pracnosti i náročnému přístrojovému vybavení nejsou tyto metody pro přímé řízení kvality výroby použitelné.

Navrhovaný způsob výroby výstřiků s definovanou kvalitou spočívá v automatickém sledování vybraných ukazatelů stavu a vlastností výstřiků zejména nedestruktivními metodami v době 1 až 1 000 sekund po vyhození výstřiku z formy, tedy v neustáleném stavu a následném porovnání naměřených hodnot, převedených na vztažné izotermní podmínky, se zadanými hodnotami a jejich přípustnými tolerančními mezemi. V případě překročení zadaných tolerančních mezí kvalitativních ukazatelů se automaticky podle funkčních závislostí sledovaných ukazatelů kvality na technologických parametrech výroby přestaví technologické podmínky vstřikování. Pro nastavení optimálního technologického režimu, odpovídajícímu definované kvalitě výstřiků, se použije korelačních vztahů mezi nejméně jedním ze skupiny ukazatelů stavu a vlastností výstřiků, tvořené zejména hmotností, jedním nebo více rozměry, jakostí povrchu vyjádřenou odrazivostí světla, stupněm optické izotropie charakterizovaným velikostí dvojlohu kruhově polarizovaného světla, případně vlastnostmi zjištěnými rentgenograficky, ultrazvukově, akustickou emisí atd. a mezi nejméně jedním technologickým parametrem vstřikování, vybraným ze skupiny tvořené teplotou taveniny, teplotou formy, vstřikovací rychlostí, vstřikovacím tlakem, úrovní dotlaku, dobou dotlaku, časem přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak, dobou ochlazování, kroutícím momentem šneku, odporem na šneku a otáčkami šneku, resp. časovými průběhy uvedených parametrů.

Nový způsob výroby výstřiků s definovanou kvalitou podle vynálezu tedy spočívá v rychlém zjišťování dostatečného souboru ukazatelů, jež reprezentují okamžitý stav výstřiku bezprostředně po vyhození z formy a ve znalosti časového vývoje jednotlivých ukazatelů kvality v důsledku relaxačních jevů až do ustáleného stavu. Naměřené okamžité hodnoty sledovaných vlastností a jejich případné odchylky od hodnot, definujících kvalitu, jsou souvztažné s kvalitou výstřiku v ustáleném stavu a mohou být proto přímo použity pro řízení a optimalizaci procesu vstřikování.

Zařízení na výrobu výstřiků s definovanou kvalitou se skládá ze vstřikovacího stroje, osazeného vhodným typem řídicích hydraulických prvků, např. proporcionálních, digitálních; mikroprocesorového řídicího systému stroje, řídicího počítače, přístroje pro vyhodnocování stavu a vlastností výstřiku a manipulátoru nebo robotu pro manipulaci s výstřikem.

Jak vyplývá z popisu způsobu, není nutná vždy plná sestava k zajištění výroby výstřiků s definovanou kvalitou, přičemž ze soustavy je možno v některých případech (použití zařízení staršího data výroby) vyřadit robot či manipulátor, event. řídicí počítač.

Vlastní provádění způsobu výroby dle vynálezu spočívá v automatickém sledování a měření souboru ukazatelů stavu a vlastností výstřiku ihned po jeho vyjmutí z formy, přičemž se zaznamenává čas uplynulý od otevření formy. Doba měření souboru ukazatelů je dána složitostí výstřiku a technickými možnostmi měřicího systému a pohybuje se od zlomku pracovního cyklu vstřikovacího stroje přes celý cyklus až po několik vstřikovacích cyklů.

Nový účinek navrhovaného způsobu výroby výstřiku s definovanou kvalitou spočívá v tom, že obraz o skutečné kvalitě výstřiku v ustáleném stavu se odvozuje z hodnot souboru ukazatelů naměřených bezprostředně po vyjmutí výstřiku z formy a získávají se tak hodnoty odchylky od požadované hodnoty již v době, ve které lze ještě provést účinný zásah do nastavených technologických parametrů.

Pro účely výroby výstřiků s definovanou kvalitou se s výhodou použije soustava sestávající ze vstřikovacího stroje, řídicí jednotky, manipulátoru, přístroje pro vyhodnocování stavu a vlastností výstřiku a počítače.

V prvním kroku je výstřik z plastu obvykle pomocí manipulátoru vyjmut z formy a umístěn na váhy, kde je stanovena jeho hmotnost jako veličina časově nezávislá. Pro ostatní měření je výstřik zafixován do předem určené polohy a z předem stanovených oblastí jsou snímány údaje, sloužící ke stanovení velikostí dvojtlomu, lesku a rozměrů, tedy veličin časově a teplotně závislých. Zároveň je z předem určených oblastí bezkontaktně snímána povrchová teplota. Údaje, popisující jednotlivé ukazatele, jsou získány ve formě elektrických signálů analogových i číslicových, které lze dále zpracovávat pomocí počítače. V jeho paměti jsou uloženy časové i teplotní závislosti naměřených vlastností a jejich vztahy k regulovaným parametrům, zejména k teplotě taveniny, teplotě formy, vstřikovací rychlosti, vstřikovacímu tlaku, dotlaku, době dotlaku a době ochlazování a způsobu přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak.

V okamžiku měření, tj. ve změřeném čase od vyjmutí výstřiku z formy, se výstřik nachází v nerovnovážném stavu, avšak při znalosti obecných funkčních závislostí naměřených ukazatelů stavu a vlastností na čase a teplotě výstřiku lze předpovědět hodnoty těchto ukazatelů v ustáleném stavu, tj. za izotermních a izochronních vztahových podmínek. Hodnot celého souboru nebo výběru jednoho či více ukazatelů, naměřených v nejkratší možné době po vyjmutí výstřiku z formy, je tudíž možné využít k rozhodnutí, zda právě nastavené technologické parametry povedou k výrobě výstřiku s požadovanými vlastnostmi v neustáleném stavu, nebo zda je žádoucí technologické parametry v dalším chodu výroby změnit, aby se odchylka od požadovaných vlastností snížila. V případě, že hodnota některého ukazatele výstřiku překročila povolenou toleranci, provede počítač korekci technologických parametrů pomocí předem stanovených vztahů.

P ř í k l a d 1

Při vstřikování přesných ozubených kol z polyacetalového kopolymeru o tloušťce vřence 10 mm se jako rozhodující ukazatel jakosti sleduje jmenovitý rozměr R průměr hlavové kružnice. Je předepsán hodnotou $126,0^{+0,0}_{-0,1}$ mm, měřenou 24 hodiny po vystříknutí, což odpovídá hodnotě $128,2^{+0,0}_{-0,1}$ v čase $t = 30$ s po vyhození výstřiku. Ozubené kolo je vstřikováno s dotlakem $p_d = 60$ MPa a doba dotlaku $t_d = 35$ s.

Ukazatel sledované vlastnosti výstřiku ozubeného kola, tj. rozměr R , je u semikrystalického polyacetalu výrazně závislý na velikosti dotlaku, době dotlaku a teplotě formy. Protože teplota formy ovlivňuje velikost rozměru tím, že ovlivňuje obsah krystalického podílu, tudíž nepřímě, použijeme pro korekci případných odchylek od průměru hlavové kružnice změnu dotlaku, event. doby jeho působení.

V paměti počítače jsou uloženy funkční závislosti rozměru R změřeného v neustáleném stavu na dotlaku p_d a době dotlaku t_d ve tvaru $R = R(p_d, t_d)$ a počítač z nich řešením určí následující závislosti:

$$R = 0,045 p_d + 125,48 \text{ pro dobu dotlaku } t_d = 35 \text{ s,} \quad (1)$$

$$R = 1,834 \cdot 10^{-4} t_d^2 + 3,4 \cdot 10^{-2} t_d + 127,79 \text{ pro } p_d = 60 \text{ MPa.} \quad (2)$$

V průběhu vstřikovacího procesu je automaticky sledován průměr hlavové kružnice v čase 30 s po vyhození výstřiku z tvářecí dutiny formy. Změřená hodnota rozměru R v neustáleném

stavu se podle v paměti uložené teplotně-časové závislosti rozměru převede na vztažné izotermní podmínky a následně porovná s požadovanou jmenovitou hodnotou, včetně její dovolené tolerance. V případě, že změřená hodnota rozměru, převedená na vztažné izotermní podmínky, neodpovídá hodnotě jmenovité (včetně tolerance), je proveden regulační zásah podle modelu uvedeného v rovnicích (1) a (2), přičemž výsledkem zásahu je návrat do stanoveného tolerančního pásma rozměru R.

V našem případě např. při automatické kontrole i-tého výstřiku byla zjištěna hodnota rozměru v neustáleném stavu 128 mm. Po přepočtení na vztažné podmínky vychází hodnota rozměru v ustáleném stavu 125,8 mm, což je hodnota ležící mimo požadovaný rozměr, včetně jeho tolerance.

Proto řídicí systém vstřikovacího stroje provede na základě uvedeného matematického modelu regulační zásah podle rovnic (1) a (2), přičemž výsledkem řešení jsou přírůstky dotlaku a doby dotlaku. Pro uvedený model jsou to hodnoty dotlaku $p_d = +1$ MPa, doby dotlaku $t_d = +5$ s.

P ř í k l a d 2

Při vstřikování tenkostěnného krytu koncového světla ze styrenakrylového kopolymery SAN je požadavek jakosti přesnost vyjádřená tolerancí funkčního rozměru $R = 100 \pm 0,1$ mm, hmotnost M vyjádřená hodnotou $76 \pm 0,2$ g, povrchový lesk G vyjádřený hodnotou relativní odrazivosti 80 ± 5 % a izotropie vnitřního stavu vyjádřená hodnotou dvojlomu $\Delta n = (5 \pm 0,3) \cdot 10^{-4}$.

Pro citované ukazatele stavu a vlastností výstřiku jsou v paměti počítače uloženy následující funkční vztahy mezi vlastnostmi výstřiku a technologickými parametry vstřikování:

$$R = f(p_d, t_d) \quad /mm/ \quad /MPa, s/ \quad (1)$$

$$M = f(p_d, t_d) \quad /g/ \quad /MPa, s/ \quad (2)$$

$$G = f(v_s, T_F) \quad /\%/ \quad /cm \cdot s^{-1}, ^\circ C/ \quad (3)$$

$$\Delta n = f(v_s, T_T) \quad /-/ \quad /cm \cdot s^{-1}, ^\circ C/ \quad (4)$$

Hodnoty rozměru R a hmotnosti M téměř lineárně vzrůstají s rostoucí hodnotou dotlaku p_d a doby dotlaku t_d až do maximální doby dotlaku $t_{d \max}$, při níž dochází k zamrznutí vtoku. Lesk vyjádřený relativní odrazivostí G se zvyšuje s rostoucí rychlostí vstřikování v_s a s rostoucí teplotou formy T_F , jejíž maximum pro zpracovávaný kopolymer SAN je $70^\circ C$. Stupeň izotropie související s molekulární orientací je charakterizován hodnotou dvojlomu Δn , která je ovlivňována teplotou taveniny T_T a rychlostí vstřikování v_s . Hodnota dvojlomu se snižuje s rostoucí teplotou taveniny T_T až do $T_{T \max}$, která závisí na teplotní stabilitě taveniny zpracovávaného polymeru. Pro náš příklad a kopolymer SAN je to $250^\circ C$. Hodnota dvojlomu se snižuje také se zvyšující se rychlostí v_s a od $v_s = 10 \text{ cm} \cdot s^{-1}$ se dále prakticky nemění.

Počítač řešením jednotlivých rovnic (1), (2), (3) a (4) získá soustavu nových rovnic ve tvaru:

$$R = f(p_d) \quad \text{pro } t_d = \text{konst.}, \quad (5)$$

$$R = f(t_d) \quad \text{pro } p_d = \text{konst.}, \quad (6)$$

$$M = f(p_d) \quad \text{pro } t_d = \text{konst.}, \quad (7)$$

$$M = f(t_d) \quad \text{pro } p_d = \text{konst.}, \quad (8)$$

$$G = f(v_s) \quad \text{pro } T_F = \text{konst.}, \quad (9)$$

$$G = f(T_F) \quad \text{pro } v_s = \text{konst.}, \quad (10)$$

$$\Delta n = f(v_s) \quad \text{pro } T_T = \text{konst.}, \quad (11)$$

$$\Delta n = f(T_T) \quad \text{pro } v_s = \text{konst.}, \quad (12)$$

kteřé představují výchozí matematický model pro řešení konkrétního zadání.

Pro použitý vstřikovací stroj CS 371/160 a formu, resp. tvar výstřiku, jsou s ohledem na reologická data zpracovávané taveniny a její teplotní stabilitu a velikost uzavírací a vstřikovací síly stroje předem stanoveny limitní hodnoty zpětnovazebně řízených technologických parametrů:

dotlak $p_d < 40 \text{ až } 90 > / \text{MPa} /$,
 doba dotlaku $t_d < 5 \text{ až } 20 > / \text{s} /$,
 vstřik. rychlost $v_s < 1 \text{ až } 10 > / \text{cm} \cdot \text{s}^{-1} /$,
 teplota formy $T_F < 30 \text{ až } 70 > / ^\circ\text{C} /$,
 teplota taveniny $T_T < 200 \text{ až } 250 > / ^\circ\text{C} /$.

Po ustálení technologického režimu vstřikování krytu koncového světla z kopolymeru SAN se automaticky změří všechny ukazatele stavu a vlastností, tj. hmotnost M , rozměr R , lesk G a dvojlom Δn . Zároveň se změří teplota výstřiku pro převod naměřených hodnot na izotermní podmínky.

V případě, že všechny změřené ukazatele jsou v předepsaných tolerancích, pokračuje vstřikování bez zásahu do technologických parametrů.

V případě, že jeden nebo více ukazatelů není v požadované toleranci, dostává řídící jednotka vstřikovacího stroje pokyn ke změně jednoho, dvou nebo všech technologických parametrů podle matematického modelu popsaného rovnicemi (5) až (12).

P R E D M Ě T V Y N Á L E Z U

Způsob výroby výstřiků z plastů s definovanou kvalitou, využívající sledování vybraných ukazatelů stavu a vlastností výstřiků vyznačující se tím, že po vyhození výstřiku z formy se v časovém úseku 1 až 1 000 sekund měří hodnoty ukazatelů stavu a vlastností výstřiku ze skupiny, která obsahuje alespoň jeden ukazatel, jako je hmotnost, jeden nebo více rozměrů, jakost povrchu vyjádřená odrazivostí světla, stupeň optické izotropie charakterizovaný velikostí dvojlomu kruhově polarizovaného světla a naměřené hodnoty se převedou podle teplotně-časových závislostí uvedených ukazatelů stavu a vlastností výstřiků na vztažné izotermní podmínky a takto získané hodnoty se porovnají s hodnotami požadovanými a při překročení zadáných tolerancí požadovaných hodnot se na základě funkčních závislostí mezi ukazateli stavu a vlastnostmi výstřiku a nejméně jedním technologickým parametrem vstřikování ze skupiny, tvořené teplotou taveniny, teplotou formy, vstřikovací rychlostí, vstřikovacím tlakem, úrovní dotlaku, dobou dotlaku, bodem přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak, dobou ochlazování, krouticím momentem na šneku, protitlakem, otáčkami šneku, resp. časovými průběhy uvedených parametrů, provede regulační zásah do podmínek vstřikování.