

Monika Stącel*, Andrzej Marchel*, Henryk Galina**, Maciej Heneczowski**, 1)

Optymalizacja konstrukcji formy do wtryskiwania osłony przegubu półosi z wykorzystaniem programu Moldflow

Opracowano mieszankę gumową na osnwie kauczuku chloroprenowego do wytwarzania osłon przegubu półosi pojazdów samochodowych. Przeprowadzono testy odporności chemicznej i zmęczeniowej osłon. Na podstawie symulacji wtryskiwania za pomocą programu Moldflow zoptymalizowano konstrukcję formy wtryskowej, co zapewniło dobrą wytrzymałość zmęczeniową kształtki.

Słowa kluczowe: kauczuk chloroprenowy, symulacja wtryskiwania, Moldflow, wytrzymałość zmęczeniowa.

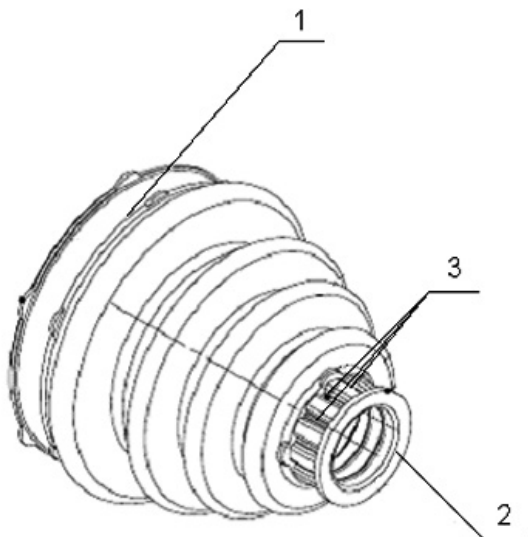
Optimisation of mold structure for injection molding of inboard joint rubber boots by using Moldflow software

Summary. A blend was developed based on chloroprene rubber to produce automotive inboard joint rubber boots. Chemical and fatigue resistance of the parts were tested. By using Moldflow software, the structure of mold runner and gate system was optimized to obtain good fatigue properties of the boots.

Key words: chloroprene rubber, injection molding simulation, Moldflow, fatigue resistance.

1. Wstęp

Osłony przegubu półosi to kształtki wykonane najczęściej z mieszanek gumowych, wypełnione smarem,



Rys. 1. Widok osłony przegubu półosi o typowej konstrukcji; 1 – duży pierścień, 2 – mały pierścień, 3 – powierzchnia karbowana

Fig. 1. Typical inboard joint rubber boot; 1 – upper ring, 2 – lower ring, 3 – curved surface

* Sanockie Zakłady Przemysłu Gumowego „Stomil Sanok” S. A., ul. Reymonta 9, 38-500 Sanok

** Politechnika Rzeszowska, Wydział Chemiczny, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów

1) mhen@prz.edu.pl

stanowiące zabezpieczenie i uszczelnienie kąтового połączenia przeniesienia napędu przed kurzem, wodą i innymi szkodliwymi czynnikami (rys. 1). Na trwałość wyrobu wpływają głównie następujące czynniki:

- konstrukcja kształtki i warunki jej eksploatacji,
- rodzaj zastosowanego elastomeru,
- konstrukcja formy wtryskowej i parametry formowania.

Osłony te muszą być odporne na działanie olejów i smarów, powinny także mieć dobrą odporność zmęczeniową oraz dobrą elastyczność zarówno w niskiej ($< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$), jak i w podwyższonej temperaturze. Wynika to z przeznaczenia tych części i funkcji, jaką spełniają one w pojazdach samochodowych.

Osłony mają zwykle kształt mieszka (rys. 1) zakończonego z jednej strony małym, a z drugiej strony dużym pierścieniem, przy czym pierścienie po zewnętrznej stronie powierzchni walcowej mają występy prowadzące i są dociskane do walcowych części pojazdu opaskami zaciskowymi umieszczonymi w występach odpowiadających kształtowi wałka.

2. Materiały stosowane do wytwarzania osłon przegubu półosi

Elastomery stosowane do produkcji osłon muszą charakteryzować się dobrą wytrzymałością w zakresie temperatury od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, odpornością na działanie ozonu oraz smarów i olejów. Do wytwarzania osłon używa się głównie kauczuku chloroprenowego (CR), który jest stosunkowo odporny na smary i oleje oraz wykazuje dużą wytrzymałość mechaniczną [1-3]. Ulega wulkanizacji w reakcji z tlenkami metali, głównie

Tabela 1. Wymagania wytrzymałościowe stawiane osłonom przegubów półosi w normie ASTM D 2000 M4CA610B35F17G21

Table 1. Requirements for inboard joint rubber boots according to ASTM Standard D 2000 M4CA610B35F17G21

Właściwość	Jednostka miary	Wartość wymagana
Twardość	°Sh A	64±2
Wytrzymałość na rozciąganie, co najmniej	MPa	10
Wydłużenie względne przy zerwaniu, co najmniej	%	250
Wytrzymałość na rozdzielanie, co najmniej	N/mm	26
Temperatura kruchości, co najwyżej	°C	-40
Odkształcenie trwałe przy ściskaniu 22h/ 125°C /25% ugięcia, maksimum	%	70
Dopuszczalne zmiany właściwości po teście starzeniowym w powietrzu w 125 °C przez 70 h:		
— twardości	°Sh A	0 ÷ +10
— wytrzymałości na rozciąganie	%	-30 ÷ 0
— wydłużenia przy zerwaniu	%	-40 ÷ 0
Dopuszczalne zmiany właściwości po starzeniu w płynie ASTM-1 w temp. 125 °C przez 70 h:		
— twardości	°Sh A	0 ÷ +15
— wytrzymałości na rozciąganie	%	-20 ÷ +20
— wydłużenia przy zerwaniu	%	-40 ÷ 0
— objętości	%	-15 ÷ 0
Dopuszczalne zmiany właściwości po moczeniu w smarze w 125 °C przez 70 h:		
— twardości	°Sh A	-15 ÷ 0
— wytrzymałości na rozciąganie	%	-25 ÷ 0
— wydłużenia przy zerwaniu	%	-40 ÷ 0
— objętości	%	0 ÷ +15

magnezu i cynku. Dodatkową zaletą zwulkanizowanego CR, wynikłą z obecności chloru w jego cząsteczce, jest jego ograniczona palność. Wulkanizaty te mają bardzo dobre właściwości mechaniczne, są one również odporne na czynniki atmosferyczne, a w szczególności na ozon, wykazują zadowalającą odporność na działanie węglowodorów alifatycznych i olejów smarnych, rozcieńczonych i stężonych zasad, rozcieńczonych kwasów i wodnych roztworów wielu soli.

Od materiału przeznaczonego do zastosowań motoryzacyjnych zazwyczaj oczekuje się, aby odpowiadał dalece zindywidualizowanym wymaganiom jakościowym stawianym mu przez odbiorców. W tabeli 1 zestawiono przykładowe wymagania, jakie musi spełnić materiał na osłony przegubu półosi, aby był zgodny z normą ASTM D 2000 M4CA610B35F17G21.

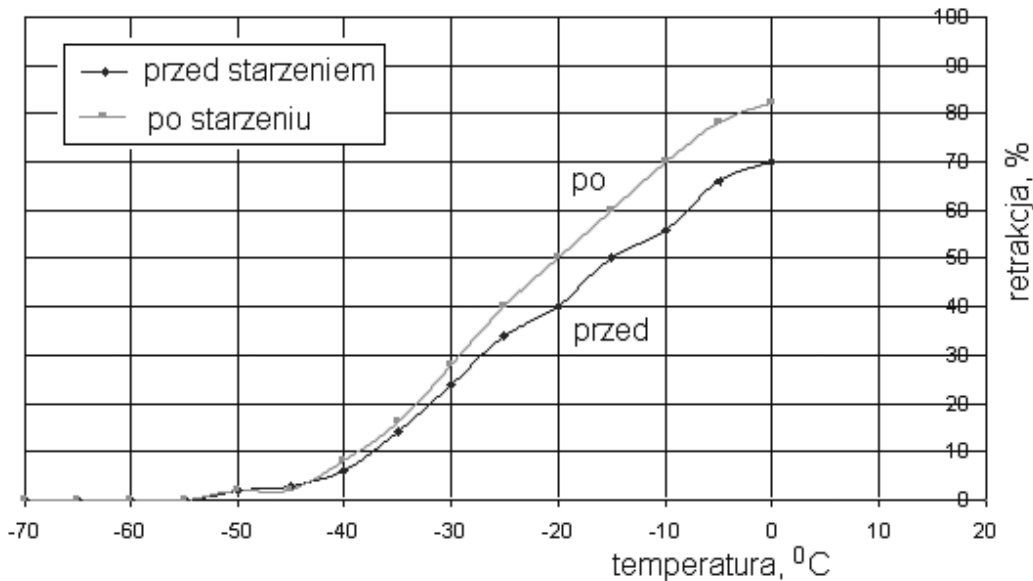
Ze względu na to, że osłona przegubu półosi styka się w trakcie użytkowania ze smarem oraz ze środowiskiem, w którym może mieć okresowy kontakt z olejami, paliwami i innymi płynami eksploatacyjnymi w podwyższonej temperaturze, a także z wodą, roztworami soli i ozonem, opracowano na podstawie laboratoryjnych badań wstępnych skład mieszanki gumowej na osnowie kauczuku chloroprenowego. Przeprowadzone oznaczenia

zmian właściwości kształtek wykonanych z opracowanej mieszanki, po starzeniu w oleju wzorcowym ASTM 1 w standardowych wartościach temperatury: 70, 100, 125 °C według normy ASTM D 471, zestawiono w tabeli 2. Z przedstawionych rezultatów oznaczeń wynika, że opracowany materiał spełnia wymagania normy, obowiązujące dla materiałów na osłony półosi.

Tabela 2. Zmiany właściwości wyprasek wykonanych z opracowanej mieszanki na osnowie kauczuku chloroprenowego (CR) po 70-godzinnym sezonowaniu w płynie ASTM 1

Table 2. Property changes of the parts made of chloroprene rubber after exposition onto ASTM 1 liquid for 70 h

Zmiany właściwości	Temperatura sezonowania, °C		
	70	100	125
twardości, °Sh A	2	3	5
wytrzymałości na rozciąganie, %	3,6	-0,7	-4,9
wydłużenia przy zerwaniu, %	-0,3	-11,5	-17,3
objętości, %	-13	-12	-10



Rys. 2. Zależność współczynnika retrakcji kształtek wykonanych z opracowanych mieszanek CR od temperatury, przed i po starzeniu

Fig. 2. Retraction ratio versus temperature before and after weathering test of parts made of chloroprene rubber

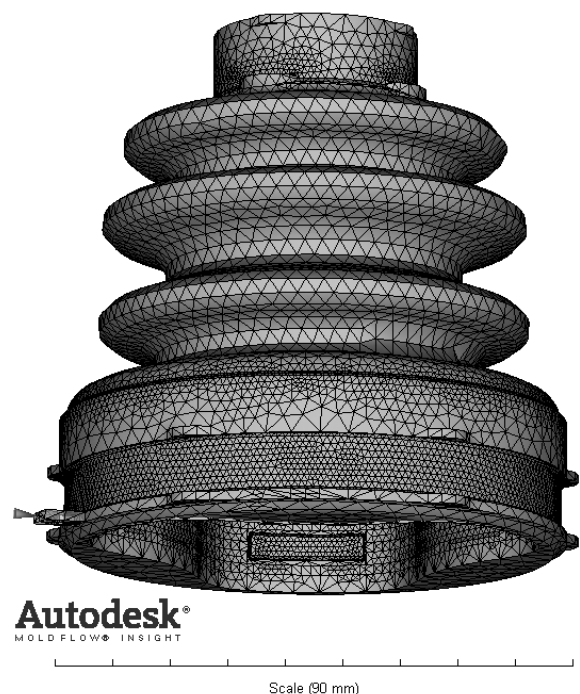
Drugim ważnym czynnikiem brany pod uwagę przy doborze materiału przeznaczonego na osłony jest jego mrozoodporność. Dobrym kryterium oceny właściwości badanej gumy w niskiej temperaturze jest zmiana współczynnika retrakcji, czyli powrotu do pierwotnego kształtu po naciągnięciu i zamrożeniu próbki. Badaniom tym, przeprowadzonym wg normy ISO 2921, poddano próbki niestarzone i starzone w płynie ASTM 3. Otrzymane wyniki przedstawiono na wykresie (rys. 2).

3. Optymalizacja konstrukcji gniazda formy wtryskowej

Osłony przegubu półosi wykonuje się metodą wtryskiwania mieszanki gumowej do rozgrzanej formy przy zadanych parametrach technologicznych. Istotnym zagadnieniem, które musi rozważyć konstruktor formy, jest miejsce i sposób doprowadzenia mieszanki gumowej do gniazda formy. Mieszanka gumowa może być wtryskiwana szczelinowo przez jeden wlewki boczny (rys. 3), kilka wlewków umieszczonych na bocznej ścianie gniazda lub przez wlewki pierścieniowy, zasilający równomiernie gniazdo formujące. Pierwsze dwa wymienione warianty konstrukcji gniazda są stosunkowo łatwe do wykonania. Trzeci wariant rodzi problemy związane z trudniejszym do wykonania kształtem przyszłego wlewka oraz z płaszczyzną podziału formy, która wymaga zastosowania wtryskarki o tzw. układzie L.

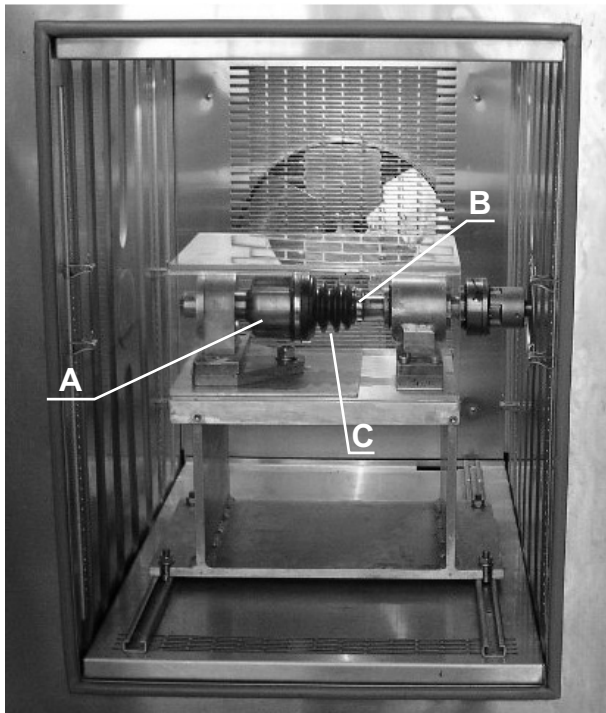
Pierwsze próby wtryskiwania osłon wykonano dla gniazda z wlewkiem szczelinowym bocznym, wybranym wstępnie ze względu na wspomnianą łatwość jego wykonania. Otrzymane prototypy osłon poddano testom zmęczeniowym – wielokrotnego zginania i ściskania, wyma-

ganym przez przemysł motoryzacyjny. Urządzenie do przeprowadzenia testów zmęczeniowych osłon przedstawiono na rys. 4. Testy prowadzono według założonego programu obciążania dla kilku wartości temperatury



Rys. 3. Model kształtki z wlewkiem bocznym (na bryle widoczna jest nałożona siatka elementów skończonych) analizowanej za pomocą programu Moldflow

Fig. 3. A part model with side gate (with generated finite elements mesh) prepared for Moldflow injection molding analysis



Rys. 4. Urządzenie do przeprowadzania testu wytrzymałości zmęczeniowej formowanych wtryskowo osłon przegubu półosi; A – zamocowanie większego pierścienia, B – zamocowanie mniejszego pierścienia, C – mieszek osłony wypełniony smarem

Fig. 4. A chamber for testing the fatigue resistance of inboard joint rubber boots; A – fastening of upper ring, B – fastening of lower ring, C – bellows filled with grease

Tabela 3. Warunki prowadzenia testów zmęczeniowych osłon przegubu półosi

Table 3. Parameters of fatigue resistance measurements for inboard joint rubber boots

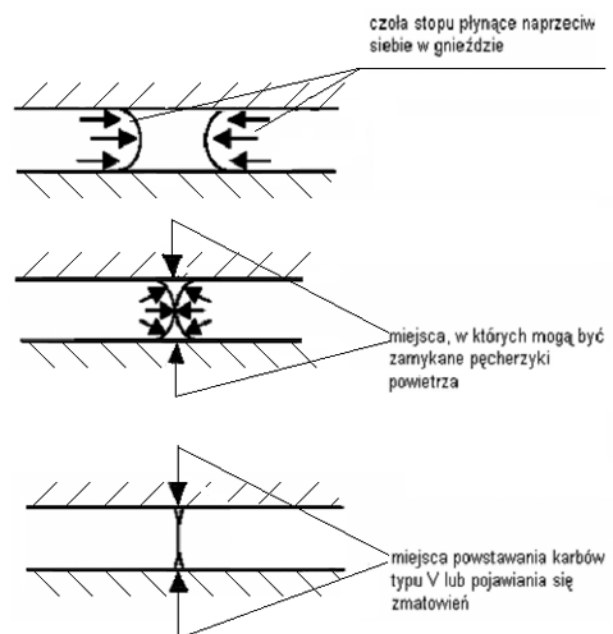
Krok	Temperatura, °C	Prędkość obrotowa wałków, 1/min	Kąt nachylenia przegubu, deg	Czas trwania testu, h
1.	18-25	750	15	10
2.	100	1000	12	30
3.	115	750	12	20
4.	18-25	750	12	5
5.	-40	100	15	40
6.	115	750	15	10
7.	135	100	12	10
8.	120	100	12	5

(tabela 3). Testy wykonywano równocześnie dla 4 osłon, które najpierw rozciągnięto o 12 mm, a następnie ściśnięto o 8 mm. Za pozytywny wynik testu przyjmowano, jeśli na powierzchni osłony nie wystąpiły pęknięcia, brak było wycieku smaru oraz przesunięcia osłony względem

wałka łączącego. Wynik testów dla detali formowanych wtryskowo w opisany wyżej sposób okazał się negatywny – osłony nie wytrzymały wymaganej liczby cykli zmęczeniowych.

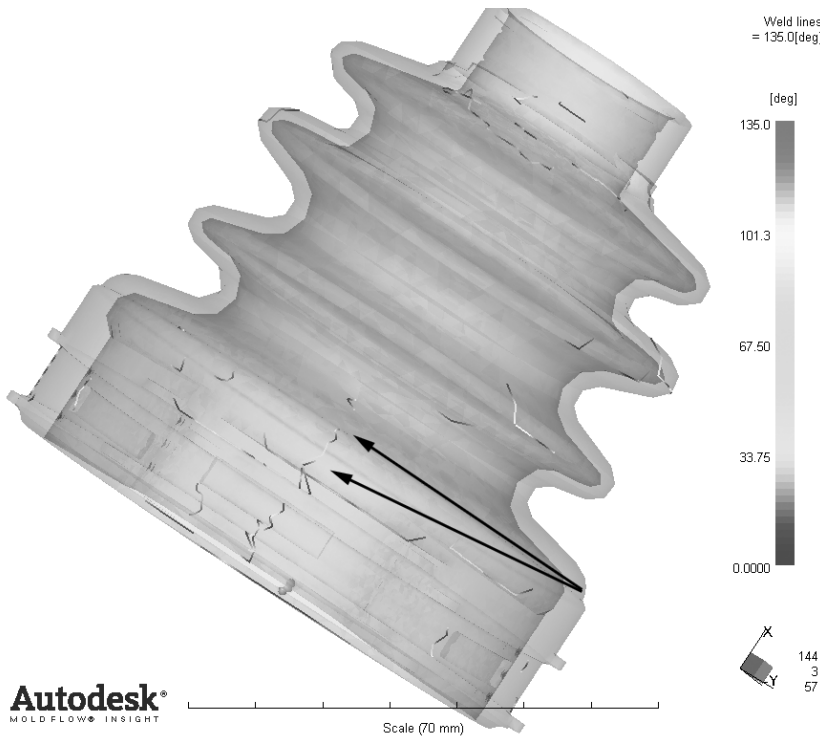
Postanowiono więc ustalić przyczynę tego faktu za pomocą programu komputerowej symulacji wtryskiwania Autodesk Moldflow Insight (Moldflow) oraz poprawić wyniki testów zmęczeniowych poprzez analizę i optymalizację procesu przetwórczego.

Analizę wypełniania gniazda i wulkanizacji przeprowadzono dla mieszanki gumowej, wybranej z bazy programu Moldflow, o właściwościach reologicznych i kinetyce wulkanizacji zbliżonej do zaprojektowanej mieszanki CR. Wyniki analizy pozwoliły stwierdzić, że gniazdo wypełniane jest równomiernie i bez trudności, nie następują także miejscowe przegrzania, a postęp wulkanizacji odbywa się równomiernie w całym gnieździe formującym. Zwrócono zatem uwagę na inne uzyskane wyniki analizy, wiążące się z tak zwanymi liniami łączenia strumieni. Linie te powstają na przykład w wyniku łączenia się strumieni polimeru po opłynięciu rdzeni formujących. Mogą one powstawać wskutek zetknięcia się ze sobą płynących naprzeciwko siebie strumieni. Linie te zwane są po angielsku „weld lines” i powodują zwykle osłabienie wypraski (rys. 5). W przypadku czołowego zderzenia, kąty pomiędzy spotykającymi się strumieniami stopu przybierają niewielkie wartości: 0-90°. Linie łączenia mogą także mieć charakter zlania się strumieni – wtedy kąty pomiędzy płynącymi strumieniami są znacznie większe, powyżej 130°, i noszą angielszczyzną określenie „meld line”. Takie linie zlewania dają silniejsze połączenie strumieni. Program Moldflow diagnozuje



Rys. 5. Ilustracja przyczyn osłabienia wypraski w miejscach tworzenia się linii łączenia typu „weld”

Fig. 5. An illustration of the reason for part weakening in places where weld lines occur

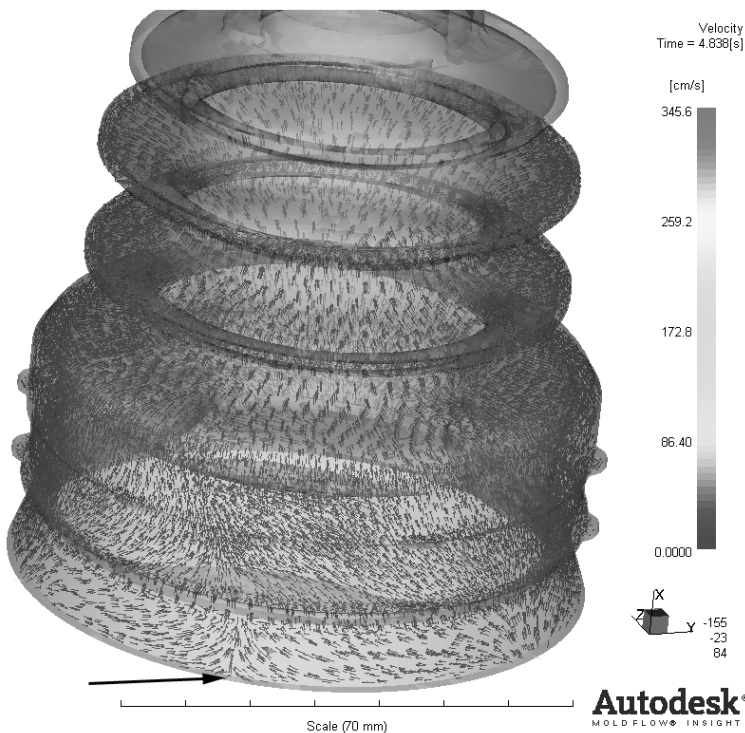


Rys. 6. Wyniki analizy linii łączenia strumieni płynącego stopu dla wypraski o konstrukcji wyjściowej, otrzymane za pomocą programu Moldflow. Strzałkami zaznaczono linie o najmniejszych wartościach kąta zderzenia strumieni, znajdujące się w obciążonych częściach wypraski (mieszku).

Fig. 6. Moldflow analysis of weld or meld lines for the initial runner and gate system. The smallest angles at which streams collide in the hardest working parts of the bellows are marked with arrows.

Zauważonym mankamentem operacji wypełniania gniazda w przypadku wlewka umieszczonego na boku gniazda są linie łączenia strumieni płynącej mieszanki (rys. 6). Mają one charakter „weld line” i mieszczą się w większym pierścieniu oraz w dolnej części mieszka, która w trakcie eksploatacji osłony narażona jest na szybkozmienne, powtarzające się cykle naprężeniowe (rys. 6, miejsca zaznaczone strzałkami). Linie łączenia powstające w dalszej części osłony, bliżej mniejszego pierścienia, utworzone zostały w wyniku spotkania strumieni pod znacznie większymi kątami. Założyliśmy więc, że podstawową przyczyną zbyt wczesnego pęknięcia osłon podczas testów zmęczeniowych są osłabiające kształtkę linie łączenia typu „weld line”, pojawiające się w jej miejscach krytycznych. Tym samym, sposobem na polepszenie wytrzymałości zmęczeniowej wypraski byłaby zmiana konstrukcji układu wlewowego.

Po licznych analizach wtryskiwania, wykonanych dla różnych wariantów konstrukcji układu wlewowego, doszliśmy do wniosku, że ze względu na łatwość wykonania formy najkorzystniejsze będzie dobudowanie do dolnej części kształtki,



Rys. 7. Wyniki analizy płynięcia stopu dla zmodyfikowanej konstrukcji układu wlewowego, otrzymana za pomocą programu Moldflow, przedstawione jako wektory prędkości płynięcia tworzywa w gnieździe. Na rysunku widoczne jest zderzenie strumieni stopu w dolnej, dobudowanej części wypraski (miejsce zaznaczone strzałką). Powyżej, w tym w pobliżu mieszka, wektory prędkości strumieni układają się już równolegle.

Fig. 7. Moldflow filling analysis for modified runner and gate system. The melt flow map is represented by velocity vectors. Converging flow front collisions as weld lines are shown in the new added ring of the part (place marked by arrow). In the upper part of the ring, near to bellows the velocity vectors are parallel (meld line).

oba typy linii łączenia na podstawie wartości kątów zawartych pomiędzy łączącymi się strumieniami.

zasilanego z bocznego wlewka, stożkowego lub cylindrycznego pierścienia, który łączyłby się z dolnym, wię-

szym pierścieniem osłony rodzajem kanału szczelinowego dławiącego przepływ. Zaplanowano doprowadzenie mieszanki gumowej do tego dobudowanego pierścienia wariantowo: za pomocą jednego lub kilku wlewków. Wymiary szczeliny łączącej dobudowany pierścień z właściwą kształtką dobrano tak, aby linie łączenia typu „weld” wypadły w najmniej obciążonej części wypraski – większym pierścieniu. Wykonane za pomocą programu Moldflow analizy wypełniania gniazda doprowadziły do uzyskania satysfakcjonującego efektu, co uwidoczniło na rys. 7. Zaprojektowana na podstawie wyników tych analiz i wykonana na podstawie wyników stąd wniosków forma wtryskowa oraz otrzymane wypraski potwierdziły oczekiwany rezultat. Wtryskiwane osłony przegubu półosi przeszły pozytywnie testy zmęczeniowe, wykonane według opisanego wcześniej programu (tabela 3).

4. Podsumowanie

Zaprojektowany na podstawie symulacji wtryskiwania za pomocą programu Moldflow układ wlewowy,

wykorzystujący dodatkowo wprowadzony pierścień ze szczeliną dławiącą przepływ, pozwala na zastosowanie łatwiejszego do wykonania bocznego kanału wlewowego formy, pomimo że takie zasilanie formy zwykle naraża kształtkę na powstawanie osłabiających ją linii łączenia. Zaproponowane rozwiązanie zapewnia równomierne wypełnianie gniazda formującego, dając wypraskę pozbawioną linii łączenia typu „weld” w krytycznych, najbardziej obciążonych jej przekrojach i zostało zgłoszone do Urzędu Patentowego [1].

Literatura

1. Ramesan M.T., Rosami A., Khanh N. V., *React. Funct. Polym.* 2005, 62 (1), 41–50.
2. Sae-oui P., Sirisinha C., Thepsuwan U., Hatthapanit K., *Eur. Polym. J.* 2007, 43(1): 185–193.
3. Sae-oui P., Wantana T., Hatthapanit K., *J. Appl. Polym. Sci.* 2007, 104 (5), 3478–3483.
4. Liszka A., Staćel M., Marchel A., „Uniwersalna osłona przegubu półosi”, zgłoszenie patentowe P.391395.