

Badanie zmian wymiarowych materiałów na formy silikonowe w różnych temperaturach za pomocą optycznego skanera 3D

A. Gil *, K. Wańczyk, P. Kowalski

Pracownia Metod Szybkiego Prototypowania, Centrum Projektowania i Prototypowania,
Instytut Odlewnictwa ul. Zakopiańska 73, 31-418 Kraków, Polska

*Kontakt korespondencyjny. E-mail: andrzej.gil@iod.krakow.pl

Otrzymano 28.06.2013; zaakceptowano do druku 09.09.2013

Streszczenie

W artykule przedstawiono badania rozszerzalności temperaturowej wybranych gum silikonowych stosowanych na matryce elastyczne do wykonywania modeli woskowych w metodach szybkiego prototypowania. Pomiary prowadzono w warunkach odzwierciedlających rzeczywiste parametry pracy, gdy formy silikonowe są podgrzewane przed zalaniem ich ciekłym woskiem. Jako narzędzie pomiarowe wykorzystano trójwymiarowy skaner optyczny ATOS III. Pomiary zmian wymiarowych próbek silikonów prowadzono w wybranych temperaturach w zakresie od 25 do 100 °C przy jednoczesnej rejestracji przebiegu zmian temperatur w objętości nagrzewanych próbek. Uzyskane wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli oraz na wykresie, wraz z wykresem z rejestracji przebiegu zmian rozkładu temperatur w objętości badanych próbek podczas nagrzewania. Efektem końcowym prowadzonych prac było określenie rozszerzalności form silikonowych, co w zastosowaniu praktycznym będzie wykorzystywane do uzyskiwania modeli woskowych o większej dokładności wymiarowej.

Słowa kluczowe: Badania nieniszczące, Szybkie prototypowanie, Formy silikonowe, Skanowanie 3D, Kontrola wymiarowa

1. Wprowadzenie

W przypadku wykonywania jednostkowych odlewów prototypowych lub małej serii odlewów w technologii wytapianych modeli od wielu lat jako matryce na modele woskowe stosowane są gumy silikonowe [1]. Obecnie na rynku dostępna jest szeroka gama tworzyw charakteryzująca się różnymi parametrami między innymi takimi jak: twardość, wydłużenie, skurcz czy lejność w stanie nieusieciowanym. Pod względem konstrukcji matryce silikonowe można podzielić na blokowe i konturowe ze sztywną osłoną. W przypadku modeli prototypowych najczęściej stosowane są matryce blokowe przeznaczone do zalewania ciekłym woskiem. Podczas

wykonywania modeli cienkościennych istnieje konieczność podgrzewania matryc silikonowych do temperatur umożliwiających poprawne wypełnienie wnęki matrycy ciekłym woskiem, bez uzyskiwania niedolewów. Ponadto temperatury topnienia większości stosowanych mieszanek woskowych przekraczają 70°C, a ich nadmierne przegrzewanie powoduje stopniową degradację ich właściwości. Efektem takich warunków pracy oraz stosunkowo małej przewodności cieplnej gum silikonowych jest nierównomierne nagrzewanie się różnych obszarów matryc, a co za tym idzie również zmiany ich wymiarów względem temperatury. Producenci nie podają informacji na temat rozszerzalności cieplnej tworzyw służących do wytwarzania form elastycznych. Problematyka ta przekłada się na dokładność wymiarową uzyskiwanych modeli woskowych

oraz jest jedną z przyczyn ich deformacji podczas ich wytwarzania, jak również wad powstałych wskutek nieprawidłowego ułożenia względem siebie różnych części matryc. Dodatkowo jak wynika z praktyki w niektórych przypadkach stosowanie sztywnych osłon matryc silikonowych powoduje powstawanie wad modeli woskowych związanych z efektem rozszerzalność cieplnej gumy. Powstała stąd konieczność orientacyjnej próby określenia zmian wymiarowych oraz szybkości nagrzewania się wybranych tworzyw stosowanych na matryce elastyczne w zakresie temperatur odpowiadającym rzeczywistym warunkom ich pracy. Do badań postanowiono wykorzystywać komorę cieplną wykorzystywaną do nagrzewania form silikonowych oraz skaner optyczny ATOS III będący na wyposażeniu Centrum Projektowania i Prototypowania Instytutu Odlewnictwa. Założono, że pomiary rozszerzalności próbek będą prowadzone w pięciu różnych temperaturach.

2. Metodyka i analiza przeprowadzonych badań

Wstępne badania gum wykazały dosyć duże problemy w zagnieżdżaniu wymiarów w tych samych punktach na powierzchni badanych próbek. Rozwiązaniem tego problemu było wykonanie pomiarów opierając się na jednoznacznych punktach będących wynikiem przenikania się par idealnych obiektów geometrycznych (oś walca – płaszczyzna, linia – płaszczyzna, trzy płaszczyzny, itp.) w poszczególnych pomiarach. Obiekty geometryczne były tworzone na podstawie metody najlepszego dopasowania z zaznaczonych obszarów wykonanego skanu. Jednak i to rozwiązanie nastęczało dużo problemów autorom podczas obróbki wyników badań. Głównym problemem był wybór powierzchni do wykonania geometrii.

Ostatecznie zdecydowano się na wykorzystanie kulek ceramicznych wykonanych z tritlenku dwutlenku o znanej wielkości. Dzięki temu rozwiązaniu obróbkę danych pomiarowych zredukowano do wykonania tylko dwóch brył geometrycznych przeprowadzanych na idealnie wyprofilowanych modelach rzeczywistych.

Aby jednoznacznie przymocować kulki do próbki, zostały one osadzone za pomocą kleju dwuskładnikowego na odpowiednio wykonanym drucie, który to następnie był obsadzony do gumy silikonowej.

Opis stanowiska badawczego

Na rysunku 1. przedstawiono stanowisko badawcze do pomiaru rozszerzalności gumy silikonowej, które składa się z następujących urządzeń:

- Skaner Optyczny Atos III
- Komora cieplna
- Rejestrator temperatury
- Zestaw czterech termoelementów typu K

Do wykonania badania wybrano bezdotykową metodę pomiaru odległości za pomocą skanera optycznego Atos III [2]. Zaletą tej metody jest zlikwidowanie konieczności bezpośredniego kontaktu narzędzia pomiarowego z badaną

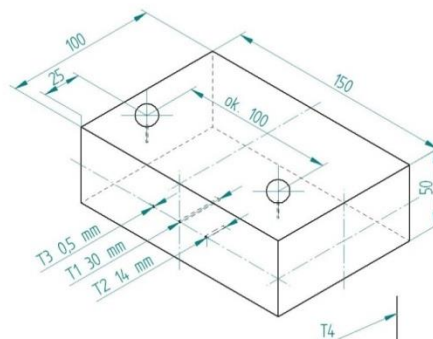
próbką. Ma to niebagatelne znaczenie zważywszy na właściwości materiałów jakimi są gumy silikonowe.

Jako komorę cieplną wykorzystano uniwersalną suszarkę Memmert UNE 500 o wymiarach komory roboczej 560x480x400 mm z możliwością regulacji nastaw temperatury do 250 °C.

Do pomiarów temperatury użyto czterokanałowego rejestratora wyposażonego w termoelementy typu K, gdzie zakres pomiarowy zawiera się między -40 do 1000 °C. Dzięki temu pomiary temperatury były zapisywane jednocześnie z czterech punktów pomiaru temperatury w stałych odstępach czasowych. Umieszczenie punktów pomiarowych temperatury przedstawiono schematycznie na rysunku 2. Termoelementy T1, T2 i T3 zamocowano w połowie wysokości próbki. Przy czym T1 na głębokości 30 mm, T2 na głębokości 14 milimetrów, T3 tuż pod powierzchnią próbki, a T4 mierzyła temperaturę wewnątrz komory cieplnej. Takie rozmieszczenie umożliwilo rejestrację rozkładu gradientu temperatury w całej objętości badanych próbek oraz jednoczesną rejestrację temperatury otoczenia.



Rys. 1. Stanowisko do pomiaru rozszerzania gumy silikonowej w zależności od zmiany temperatury



Rys. 2. Schemat badanej próbki

Wymiary badanych próbek gum silikonowych dobrano uwzględniając następujące kryteria:

- Próbki powinny mieć jak największe gabaryty, aby przez zmagazynowanie dużej ilości ciepła, zminimalizować wpływ wahań temperatury w czasie wykonywania pomiaru,
- Ponieważ zakres pomiarowy pojedynczego ujęcia skanera wynosi 150x150x130, to odległość pomiędzy punktami pomiaru odległości nie powinny przekraczać 110 mm.
- Uwzględnić należało również marginesy pomiędzy krawędzią próbki a punktem pomiaru odległości (w tym wypadku ok. 25 mm)

Zestawiając powyższe kryteria przyjęto, że próbki będą miały wymiary 150x100x50mm (rys.2), co jednocześnie w realnych warunkach wykonywania modeli woskowych odpowiada gabarytom niewielkich blokowych form silikonowych.

Na rysunku 3. przedstawiono ułożenie próbki gumy na stanowisku pomiarowym, które umożliwiło wysunięcie płyty perforowanej wraz próbką z komory grzewczej ułatwiając tym samym pomiar, bez ingerencji.



Rys. 3. Próбка w komorze grzewczej

Próbkę usadowiono na drobnym piasku kwarcowym, aby mogła ona swobodnie zmieniać swoje gabaryty nie przyklejając się do podłoża.

Pomiar rozszerzalności badanych próbek

Pierwszą czynnością podczas badań była kalibracja skanera optycznego, którą wykonano na płycie kalibracyjnej 150x150 uwzględniając jej temperaturę. Kalibrowanie skanera dostosowało współczynniki skalowania. Dzięki temu wyniki pomiarów dopasowane są jak najdokładniej do rzeczywistości.

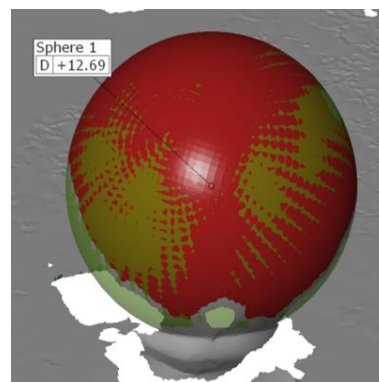
Pomiary przedstawione poniżej przeprowadzono dla każdej gumy osobno. Dzięki użyciu rejestratora wraz z czterema termoelementami proces mógł być w pełni kontrolowany. Dlatego pomiary w poszczególnych przystankach temperaturowych były wykonywane w czasie, gdy temperatura w całej objętości badanej próbki wahała się poniżej 0,5 °C. Dodatkowo, moment skanowania gumy każdorazowo oznaczano ochładzając lub ogrzewając termoelement mierzący temperaturę w komorze. Skokowa zmiana tej temperatury oznaczała moment wykonania pomiaru wymiarów próbek, co w późniejszej analizie zapisu rejestratora pozwoliło na dokładne określenie rozkładu temperatur w badanych próbkach podczas skanowania.

W pierwszej kolejności wykonano pomiary próbek w temperaturze pokojowej. Następnie umieszczano zestaw

w komorze cieplnej, w której kontrolowano nagrzewanie próbki. Kolejne pomiary wykonywano w temperaturach odpowiednio w około 40, 60, 80 i 100 °C.

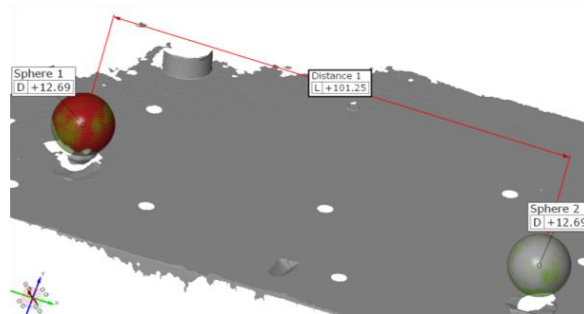
Aby zminimalizować czas wykonywania pomiarów, zdecydowano się zredukować ilość poszczególnych ujęć skanowania do dwóch. W temperaturach 80 i 100 °C szybkość spadku temperatury na powierzchni badanej próbki była już znaczna, a różnica wskazań poszczególnych termoelementów na rejestratorze sięgała już kilku stopni. Dlatego aby zniwelować ten niepożądany efekt pomiary były wykonywane dwustopniowo. Po pierwszym ujęciu komorę zamykano i dopiero po ponownym osiągnięciu zadanej temperatury w całej próbce zostało wykonane drugie ujęcie.

Dane pomiarowe w postaci chmury punktów z poszczególnych badań podlegały dalszej obróbce w kilku etapach. Etapem pierwszym była selekcja interesujących obszarów, redukcja, poligonizacja chmury punktów oraz tworzenie siatki trójkątów. Etap ten przebiega automatycznie, a opcje ustawień dostosowano tak, aby powierzchnie kulek ceramicznych były dobrze odwzorowane. Następnym etapem było wykonanie pomiaru odległości pomiędzy środkami uzyskanych sfer. Dla pełniejszego zobrazowania tego etapu na rysunku 4. pokazano wynik wyznaczania sfery na podstawie zaznaczonego obszaru.



Rys. 4. Obiekt geometryczny (sfera) na podstawie zaznaczonych trójkątów

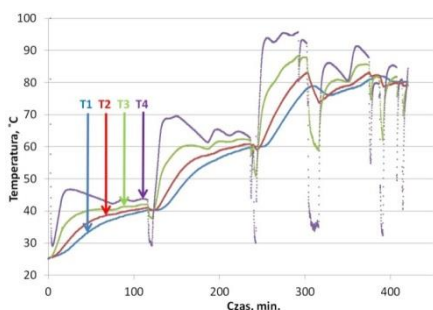
Odległość pomiędzy środkami wygenerowanych sfer przedstawiają wynik pomiaru (rys. 5).



Rys. 5. Pomiar odległości na podstawie skanowanej próbki

W ten sposób otrzymane wyniki kolejno wykonywanych pomiarów w różnych temperaturach zostały zestawione w tabeli 1 i posłużyły do zestawienia zmian wymiarowych każdej z próbek.

Na podstawie zapisów z rejestratora temperatur wykonano wykresy punktowe przedstawiające przebieg zmian rozkładu temperatur wewnątrz próbek podczas ich nagrzewania i chłodzenia. Oprócz określenia momentu wykonywania pomiarów skanerem optycznym, na podstawie których określono temperatury zestawione w tabeli 1. Rejestracja temperatury pozwoliła na określenie szybkości nagrzewania się badanych silikonów. Informacje te można wykorzystać do określenia sposobu sterowania nagrzewaniem form silikonowych o podobnych gabarytach w taki sposób, aby w optymalnym czasie nagrzać je do pożądanej temperatury zalewania wosku.



Rys. 6. Przykładowy wykres przebiegu zmian temperatur uzyskany na podstawie zapisu z rejestratora

Na podstawie poniżej zestawionych wyników wykonano wykres zależności zmian wymiarowych w poszczególnych temperaturach, a następnie wyznaczono linię trendu.

Współczynnik rozszerzalności liniowej wyznaczono w oparciu o znany wzór [3]:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l \Delta T}$$

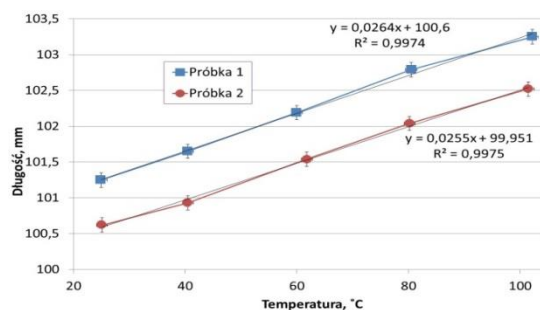
gdzie: α - współczynnik rozszerzalności liniowej
 l - mierzona odległość
 Δl - różnica odległości na skutek zmiany temperatury
 ΔT - różnica temperatury

Tabela 1.

Zestawienie uzyskanych wyników pomiarów

Wyniki pomiaru długości próbek w różnych temperaturach			
Próbka nr 1		Próbka nr 2	
T [°C]	L [mm]	T [°C]	L [mm]
25	101,25	25,1	100,62
40,5	101,65	40,5	100,93
60	102,19	61,8	101,54
80,5	102,79	80,2	102,04
102,2	103,25	101,5	102,52
$\Delta T_{25-102,2}$ =77,2	$\Delta L=2,00$	$\Delta T_{25-102,5}$ =76,4	$\Delta L=1,90$
$\alpha_{25-102,2}$ $\approx 274, \mu\text{m}/\text{m}^{-1}\text{T}^{-1}$		$\alpha_{25-102,2}$ $\approx 256, \mu\text{m}/\text{m}^{-1}\text{T}^{-1}$	

Z opracowania zarejestrowanych pomiarów (rys.7) wynika, że rozszerzalność liniowa próbek gum silikonowych badanych w poszczególnych przedziałach temperaturowych w zakresie od 25°C do około 100°C, nie przyjmuje liniowego wzrostu w funkcji zmiany długości i temperatury. Jednakże odchylenia poszczególnych punktów pomiarowych od wyznaczonej prostej regresji w przeliczeniu na odchyłki wymiarowe modeli woskowych są niewielkie, w związku z czym dla potrzeb określenia zmian wymiarowych matryc przy wykonywaniu modeli, dla uproszczenia można przyjąć, że jest to zależność liniowa.



Rys. 7. Graficzne przedstawienie wyników pomiarów

3. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie zależności zmian wymiarowych form silikonowych od temperatury, w jakiej są wygrzewane. Pozwala to po uwzględnieniu charakterystyki modelu oraz skurczu wosku przewidzieć finalne wymiary wytwarzanych modeli woskowych. Dane te należy uwzględnić przy wymiarowaniu modelu matki, na podstawie którego wykonuje się matryce silikonową. Dobrana metodyka badań pozwoliła na uzyskanie oczekiwanych wyników z dostatecznie dużą dokładnością. Dzięki rejestracji przebiegu zmian temperatur udało się uzyskać dodatkowe informacje odnośnie czasów nagrzewania, wyrównywania się temperatur i stygnięcia danej objętości gumy silikonowej. Uzyskane wyniki będą wykorzystywane przy pracach związanych z wykonywaniem modeli woskowych odlewów prototypowych w celu zwiększenia ich dokładności wymiarowej.

Literatura

- [1] Karwiński, A., Młodnicki, S. & Badya, K. (2008). Manufacture of decorative castings from highly elastic silicon rubber patterns. *Archives of Foundry Engineering*.
- [2] Gil, A., Kowalski, P. & Wańczyk, K. (2011). Using 3D scanner as a tool for the verification of prototype casting shape. *Archives of Foundry Engineering*.
- [3] Skarbiński, M. (1966). *Dimensional accuracy of castings*. Warszawa: WNT.

Dimensional Change Research Materials on Silicon Form at Different Temperatures Using Optical 3D Scanner

Abstract

This article presents research the expansion of selected temperature silicone rubber used on elastic mold to make wax models in rapid prototyping methods. Measurements were carried out in conditions reflecting real operating parameters of when the silicone molds are heated before pouring the liquid wax. As a measurement tool used for three-dimensional optical scanner ATOS III. Measurements of structural silicone samples was performed at selected temperatures range from 25 to 100 °C while recording the temperature changes in the volume of heated samples. The results of measurements are shown in the table and the graph, along with a graph of the data recorder of the temperature distribution changes in the volume of the sample during heating. The end result of the work was to determine the expansion silicone molds, which in practical application will be used to receive wax models of higher dimensional accuracy.