

Maciej Augustyniak¹⁾, Mateusz Barczewski²⁾, Jacek Andrzejewski³⁾

WYKORZYSTANIE OPTYCZNYCH NARZĘDZI WSPÓŁRZĘDNOŚCIOWEJ TECHNIKI POMIAROWEJ W BADANIACH DEFORMACJI WYSTĘPUJĄCYCH W PRZETWÓRSTWIE TWORZYW POLIMEROWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono praktyczny aspekt zastosowania nowoczesnych narzędzi współrzędnościowej techniki pomiarowej w przetwórstwie tworzyw sztucznych. Na przykładzie skanera 3D ATOS II firmy GOM przeanalizowano możliwość i zasadność użytkowania tychże narzędzi w badaniach tworzyw polimerowych. W związku z zastosowaniem różnych parametrów procesu wtryskiwania tworzyw polimerowych otrzymujemy różne stopnie krystaliczności materiału, które obserwować możemy w postaci deformacji geometrii wyrobów poddanych analizie metrologicznej. Obserwacja tychże deformacji oraz późniejsza analiza pozwala określić wpływ przykładowych parametrów procesu na dokładność geometryczną wyprasek.

Słowa kluczowe: współrzędnościowa technika pomiarowa, deformacje, tworzywa polimerowe, skaner 3D.

WSTĘP

Współrzędnościowa technika pomiarowa (WTP) stanowi jedną z głównych dziedzin rozwoju nowoczesnej metrologii. W pomiarach wielkości geometrycznych, związanych z elementami części maszyn, WTP zaczyna odgrywać coraz istotniejszą rolę i jest powszechnie spotykana, gdyż fundamentem rozwoju innowacyjnego przedsiębiorstwa produkcyjnego jest ciągle doskonalenie, w tym również produkowanie wyrobów coraz to dokładniejszych. Maszyny pomiarowe oparte na technice współrzędnościowej pozwalają mierzyć dowolnie ukształtowaną geometrię wyrobów, a oprogramowanie, będące na ich wyposażeniu, pozwala przeprowadzać kompleksową analizę geometryczno-wymiarową.

Współrzędnościowe maszyny pomiarowe to obecnie najbardziej rozpowszechnione uniwersalne urządzenia pomiarowe. Wykorzystywane są zarówno w procesie sterowania produkcją, jak również w systemach kontroli jakości w różnych gałęziach przemysłu. Stanowią one jednocześnie niezbędny i kluczowy element dla zapewnienia dokładności i jakości produkcji oraz możliwość kontroli i sterowania jakością produkowanych elementów [6].

Do niedawna głównym nurtem rozwoju WTP były stykowe (klasyczne) maszyny pomiarowe. Jednak w ostatnim okresie zauważa się zainteresowanie przed-

¹⁾ Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych.

²⁾ Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Materiałów, Zakład Tworzyw Sztucznych.

³⁾ Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Materiałów, Zakład Tworzyw Sztucznych.

siębiorstw w zastosowaniach optycznych narzędzi pomiarowych techniki współrzędnościowej. To skłania do przeanalizowania tychże narzędzi pod względem ich zastosowań w praktyce.

Powszechność stosowania tworzyw polimerowych jako materiałów konstrukcyjnych skłania do coraz dokładniejszego opisu procesów przetwórczych oraz wpływu ich parametrów na właściwości kształtowanych wyrobów. Materiały te znajdują szerokie zastosowanie dzięki łatwości formowania wieloseryjnych wyrobów przy znacznym zmniejszeniu kosztów produkcji w odniesieniu do innych grup materiałów. Zaletą tworzyw polimerowych jest ich mała gęstość, odporność na korozję, duże możliwości modyfikacji umożliwiające nadawanie im żądanych właściwości oraz łatwość ich przetwarzania i formowania. Jedną z najbardziej rozpowszechnionych i intensywnie rozwijanych technologii kształtowania termoplastycznych tworzyw polimerowych jest wtryskiwanie. Zakładając, że geometria formy odwzorowuje ukształtowanie wyrobu w niezmienny sposób, na ostateczną jego dokładność wymiarową znaczący wpływ mają parametry procesu. Spośród nich szczególne znaczenie mają: temperatura formy, temperatura przetwarzanego polimeru, ciśnienie wtrysku oraz wynikający z nich pośrednio czas przebywania wypraski w formie.

W przypadku tworzyw semikrystalicznych stopień krystaliczności, tj. procentowa zawartość tworzywa o strukturze uporządkowanej, w znaczący sposób wpływa na właściwości gotowego wyrobu. Na stopień krystaliczności polimeru mają zarówno wpływ warunki przetwórcze (w szczególności temperatura formy) jak i celowe modyfikowanie polimeru poprzez dodanie nukleantów, tj. zarodków krystalizacji heterogenicznej. Wprowadzanie nukleantów będące równoznaczne ze zwiększeniem ilości zarodków krystalizacji prowadzi do zmiany struktury polimeru skutkującej zmniejszeniem wielkości wydzieleń fazy krystalicznej, a co za tym idzie polepszeniem właściwości wytrzymałościowych gotowego wyrobu. Wzrost ilości fazy krystalicznej spowodowany kształtowaniem wyrobu w podwyższonej temperaturze prowadzi do zwiększenia skurczu przetwórczego mogącego prowadzić do zmian wymiarów formowanego wyrobu [4, 5].

WSPÓLRZĘDNOŚCIOWA TECHNIKA POMIAROWA

W pomiarach wielkości geometrycznych, dotyczących elementów maszynowych, zaczyna dominować współrzędnościowa technika pomiarowa. Umożliwia ona wyznaczenie wymiarów, przestrzennie ukształtowanych części maszyn, ze stosunkowo wysoką dokładnością i w czasie dostosowanym do rytmu ich wytwarzania. Technika ta, jakościowo odmienna od dotychczasowych metod pomiaru, charakteryzuje się procedurami pomiarowymi opartymi na wartościach współrzędnych lokalizowanych punktów pomiarowych, które są podstawą wyznaczania wszystkich geometrycznych figur, z których składa się element maszyny. Na przykład, wyznaczanie średnicy otworu odbywa się przez wyznaczenie co najmniej czterech wartości punktów tego okręgu w miejscach dowolnie, chociaż w

miarę równomiernie, rozmieszczonych. Aproksymacja okręgiem średniokwadratowym umożliwia wyznaczenie średnicy lub promienia okręgu oraz współrzędnych jego środka. Skraca to czas pomiaru w stosunku do metod klasycznych, w których, jak w przypadku długościomierza, niezbędne było usytuowanie końcówki pomiarowej w osi mierzonego otworu, co czyniło pomiar pracochłonnym, bowiem polegał on na wyznaczeniu średnicy jako odległości końcówki między przeciwległymi ściankami otworu [3].

Opis i charakterystyki narzędzi pomiarowych są dość istotne, gdyż służą do przedstawienia i odpowiedniego sformułowania ich przydatności do wykonywania pomiarów, bez względu na zakres wartości sprawdzanych wielkości i oczekiwanej dokładności pomiarów. Współrzędnościowa technika pomiarowa stosowana w maszynach pomiarowych polega na wyznaczeniu współrzędnych punktów (x_i, y_i, z_i) tworzących zarys rzeczywisty, ustalonych względem układu współrzędnych (x, y, z) maszyny pomiarowej [1].

Technika współrzędnościowa zmienia filozofię pomiaru w stosunku do metod klasycznych, a jej zrozumienie i poznanie powinno wchodzić w skład podstawowego wykształcenia współczesnego inżyniera związanego z budową maszyn, automatyką, robotyką, a szczególnie z metrologią [3].



Rys. 1. Optyczny skaner 3D ATOS II firmy GOM.

Fig. 1. Optical 3D scanner ATOS II from GOM Company.

OPTYCZNY SKANER 3D

Zasada działania optycznego skanera ATOS II (rys.1) bazuje na triangulacji. Projektor głowicy dokonuje projekcji sekwencji prążków mory na mierzony obiekt, a dwie kamery rejestrują przebieg tych prążków. Poprzez rozwiązanie równań transformacji optycznej, system z określoną dokładnością oblicza współ-

rzędne dla każdego pojedynczego piksela kamery. Rezultatem poszczególnych pomiarów jest chmura punktów, ilość tych punktów jest zależna od rozdzielczości kamer (od 0,8 do 8mln punktów). Mierząc dany element, system składa poszczególne chmury punktów, bazując na punktach referencyjnych, których odległości między sobą się nie zmieniają w czasie pomiarów. Po pomiarach następuje proces poligonizacji, którego rezultatem jest powierzchniowy model składający się na siatkę trójkątów, który bazuje na wcześniej zebranej chmurze punktów. Taki model poddany zostaje analizie wymiarowej. Systemu tego teoretycznie nie ogranicza wielkość skanowanych elementów.

Opisany skaner wraz z oprogramowaniem znajduje się na wyposażeniu Zakładu Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Poznańskiej.

MATERIAŁY, METODYKA PRZETWÓRSTWA I POMIARÓW

Do badań wykorzystano komercyjny izotaktyczny polipropylen o nazwie handlowej Moplen HP500J o gęstości 900kg/m^3 oraz wskaźniku szybkości płynięcia $\text{MFI}=3,2\text{g}/10\text{min}$ ($230^\circ\text{C}/2,16\text{kg}$). Jako nukleant powodujący modyfikację struktury i właściwości zastosowano benzoesan sodu w dalszej części opracowania oznaczany jako NaBz.

W przypadku materiału modyfikowanego osnowa polimerowa została wymieszana z nukleantem w ilości 1% wag. NaBz, w procesie dwukrotnego wytłaczania na wytłaczarce jednoślindakowej z wykorzystaniem ślimaka o specjalnej konstrukcji (wyposażonego w strefę intensywnego mieszania). Granulat, niezbędny w kolejnym etapie wtrysku, otrzymywany był metodą ciągłej paletyzacji, z wytłoczyny utwardzonej uprzednio w wannie chłodzącej. Przygotowanie tworzywa odbywała się na prostym granulatorze frezowym.

Tabela . 1. Parametry przetwarzania iPP; wtryskarka ENGEL ES 80/20 HLS

Table. 1. Parameters of processing iPP; injection machine ENGEL ES 80/20 HLS

Ciśnienie wtrysku:	70 [MPa]	Ciśnienie docisku:	55 [MPa]
Prędkość obrotowa ślimaka:	105 [obr/min]	Ciśnienie uplastyczniania:	1,5 [MPa]
Skok ślimaka:	65 [mm]	Prędkość wtrysku:	100 [mm/s]
Temperatury układu uplastyczniania:	Dysza: $210\text{ }^\circ\text{C}$; III Strefa: $230\text{ }^\circ\text{C}$; II Strefa: $215\text{ }^\circ\text{C}$; I Strefa: $195\text{ }^\circ\text{C}$		

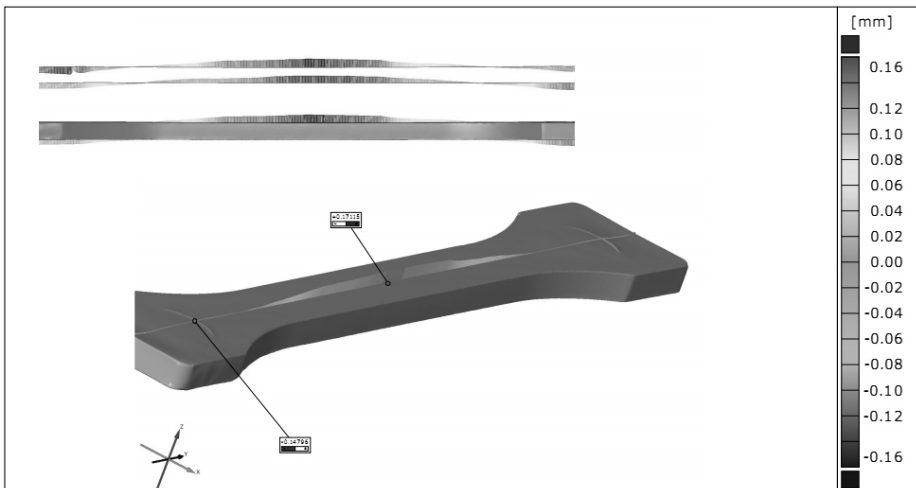
Wypraski kształtowane były w procesie wtryskiwania z wykorzystaniem wtryskarki hydraulicznej ENGEL ES 80/20 HLS przy zmiennej temperaturze formy wynoszącej w kolejnych próbach odpowiednio 20, 40, 60 i 80°C . Pozostałe parametry procesu przetwórczego przedstawione zostały w Tabeli 1.

W przypadku wtryskiwania polipropylenu modyfikowanego NaBz udział fazy krystalicznej jest większy co powoduje zwiększenie skurczu przetwórczego przy niezmiennych pozostałych parametrach procesu.

Pomiary z wykorzystaniem skanera optycznego zostały wykonane głowicą o polu pomiarowym 75x75mm. Wyniki zaprezentowano w postaci mapy odchyłek oraz przekrojów inspekcyjnych w charakterystycznych punktach (rys. 2, 3 i 4). Jako element referencyjny przyjęto próbkę wtryskiwaną w temperaturze formy wynoszącej 20°C.

WYNIKI BADAŃ

Ze względu na dużą objętość wyników zaprezentowane zostały przykładowe odkształcenia o największych wartościach oraz ilustracje oddające charakterystykę pracy z oprogramowaniem firmy GOM.

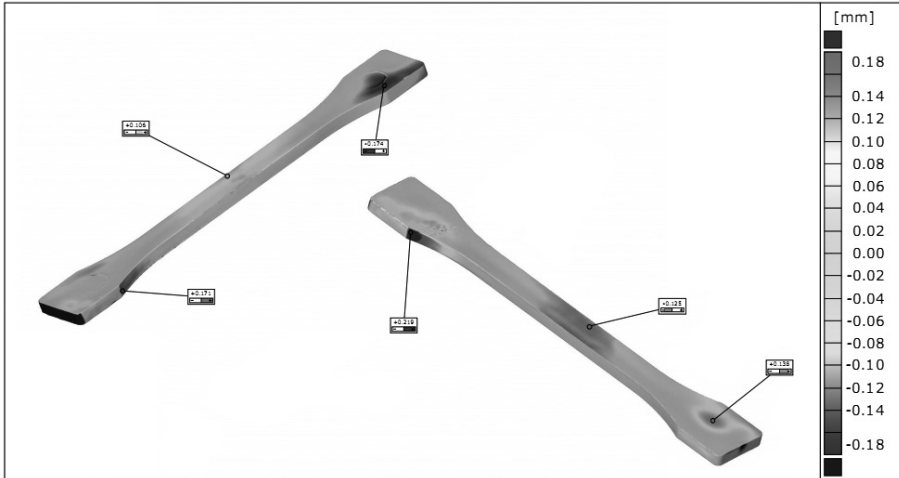


Rys. 2. Wzdłużny przekrój inspekcyjny z oznaczeniem punktów o maksymalnych i minimalnych odchyłkach względem modelu referencyjnego.

Fig. 2. Longitudinal inspection section with the designation of the points of maximum and minimum deviations of the reference model.

Na rysunku nr 2 zaprezentowano przykład przekroju inspekcyjnego w orientacji wzdłużnej z oznaczeniem punktów minimalnej i maksymalnej odchyłki. Opisany przekrój powstał poprzez nałożenie modelu zeskanowanej próbki polipropylenowej wtryskiwanej w temperaturze 40°C na zeskanowany model próbki polipropylenowej w temperaturze 20°C (element referencyjny). Zauważyć można znaczne wygięcie wyroby wykonanego z PP wtryskiwanego w temperaturze 40°C.

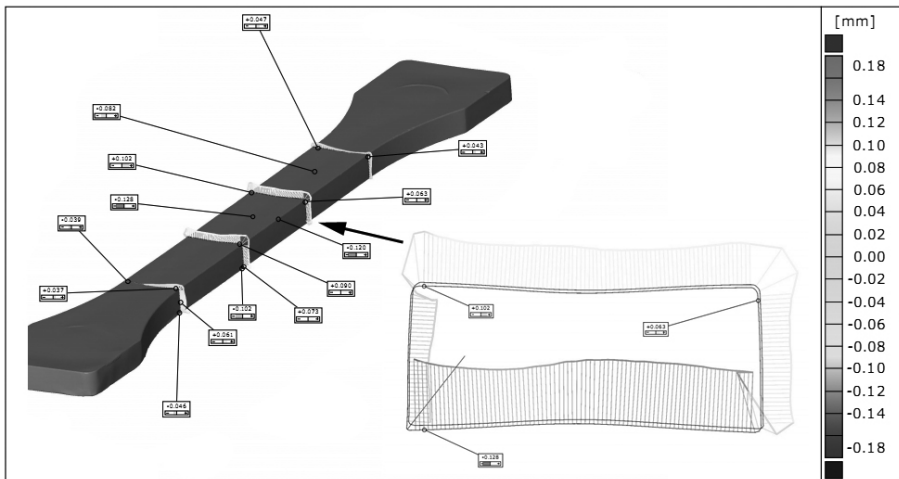
Rysunek nr 3 to prezentacja globalnej mapy odchyłek (w dwóch położeniach) wyrobu wykonanego z PP wtryskiwanego w temperaturze 80°C w odniesieniu do elementu referencyjnego. Widoczne punkty to lokalne maksima i minima zaobserwowanych deformacji z oznaczeniem ich wartości.



Rys. 3. Mapa odchyłek z oznaczeniem punktów charakterystycznych analizowanego elementu, przedstawionego w dwóch położeniach.

Fig. 3. Deviations map with a characteristic points of the analyzed element, shown in two positions.

Wyniki pomiaru na rysunku nr 4 zaprezentowane zostały jako poprzeczne przekroje inspekcyjne w czterech (równomiernie oddalonych od siebie) miejscach badanego elementu. Przekroje inspekcyjne powstały poprzez nałożenie modelu próbki wykonanej z PP wtryskiwanej w temperaturze 80°C na element referencyjny. Oznaczone zostały również punkty minimalne i maksymalne odchyłki z prezentacją jej wartości.



Rys. 4. Poprzeczne przekroje inspekcyjne z oznaczeniem punktów charakterystycznych. W dolnym prawym rogu, powiększenie jednego z przekrojów.

Fig. 4. Cross inspection section of the marked landmarks. In the lower right corner, magnification of one of the sections.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Ważne i decydujące znaczenie ma we współczesnej metrologii sprzęt pomiarowy. Dotyczy to szczególnie pomiarów stosowanych w budowie i eksploatacji maszyn oraz różnego rodzaju urządzeń mechanicznych. Jak wykazują dotychczasowe obserwacje, jakość wytwarzania i warunki praktycznego stosowania takich wyrobów są w dużej mierze uzależnione od stosowanej techniki pomiarowej, w której stosuje się nowoczesne narzędzia pomiarowe [1].

Z przeprowadzonych badań wynika, że technika współrzędnościowa to nowoczesne i przyszłościowe narzędzie w procesie kształtowania dokładności wykonania wyrobu. Podstawową przewagą współrzędnościowych maszyn pomiarowych nad innymi przyrządami pomiarowymi jest ich dokładność i możliwość pomiaru dowolnej geometrii wyrobu. Te cechy pozwalają zastosować WTP do badań wymagających dużej dokładności oraz wszędzie tam, gdzie zależy nam na kompleksowej ocenie spełnienia wymagań geometrycznych [2].

Optyczne metody pomiaru z wykorzystaniem techniki współrzędnościowej cechują się: skróceniem czasu pomiaru i późniejszej analizy, brakiem konieczności programowania maszyny. Co najważniejsze ilość danych dostarczonych do analizy metrologicznej zmierzonego elementu jest nieporównywalnie większa niż w tradycyjnych metodach pomiaru. Późniejsze przeprowadzenie działań inspekcyjnych dostarcza kompleksowych informacji dotyczących geometrii i jej odchyłek od znamionowego profilu wyrobu. Ponadto niepewność pomiaru optycznych skanerów 3D jest na poziomie, który w zupełności pokrywa potrzeby dokładności formowania wyrobów w przetwórstwie tworzyw sztucznych. Te wszystkie cechy warunkują skuteczne i zasadne zastosowanie optycznych narzędzi współrzędnościowej techniki pomiarowej w geometrycznych pomiarach części wykonanych z tworzyw sztucznych. Ponadto cecha tworzyw polipropylenowych czyli ich mała gęstość a przez to ich mała sztywność, w metrologii jest ich wadą, gdyż nawet najmniejszy nacisk pomiarowy prowadzi do odkształceń, co uniemożliwia uzyskanie wiarygodnych wyników lub prowadzi do konieczności projektowania specjalnego oprzyrządowania. Ta bariera nie dotyczy optycznych narzędzi współrzędnościowej techniki pomiarowej.

PIŚMIENNICTWO

1. Adamczak S.: Pomiary geometryczne powierzchni. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008, s. 219, 269.
2. Grzelka M., Augustyniak M.: Wykorzystanie WTP w analizie wpływu nawęglania na dokładność geometryczną w procesie kształtowania wyrobu. Materiały konferencyjne wydane jako praca zbiorowa pod redakcją Jerzego Śładka i Władysława Jakubca pt. Postępy w metrologii współrzędnościowej. Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała 2010, s.157-158.

3. Ratajczyk E.: Współrzędnościowa technika pomiarowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994, s. 7.
4. Sterzyński T.: Nucleation by Additives In Semi-Crystalline Polymers: Effects on Mechanical Behaviour [w Performance of plastics, Praca zbiorowa], Hanser Verlag, Munich 2001, rozdział 12.
5. Sterzyński T.: Processing and property improvement in isotactic polipropylen by heterogeneous nucleation. Polimery 2000, nr 45, s. 786-791.
6. Pachała A., Grzelka M.: Program dla sprawdzania dokładności maszyn współrzędnościowych wzorcem stopniowym z wykorzystaniem oprogramowania PC-DMIS, „Pomiary, Automatyka, Kontrola” nr 1/2010 s.70-72

THE USE OF OPTICAL TOOLS OF COORDINATE MEASURING TECHNIQUE IN THE STUDY OF DEFORMATION OCCURRING IN POLYMER PROCESSING

Summary

This paper presents a practical aspect of the application of modern coordinate measuring technique in plastics processing. On the example of the 3D scanner ATOS II GOM's analysis of the possibility and appropriateness of use of these tools in the researches of polymeric materials. In connection with the use of different parameters of the injection molding of polymeric materials receive different degrees of crystallinity of the material which we can observe as geometry deformation in the metrological analysis. Observation of these deformations and the subsequent analysis of the sample allows to determine the impact of process parameters on the accuracy of the geometric moldings.

Keywords: CMM, deformations, plastics, 3D scanner.