

Dr hab. inż. Anna ZAWADA-TOMKIEWICZ, prof. PK;  
mgr inż. Izabela WIERUCKA (Politechnika Koszalińska):

## **METODY ZAPEWNIENIA JAKOŚCI TECHNOLOGICZNEJ NA PRZYKŁADZIE GWINTU**

### Streszczenie

Przedstawiono metodę zapewnienia jakości technologicznej wyrobu na przykładzie wykonywania gwintu. Kolejno omówiono ograniczenia w procesie pomiarowym gwintu oraz możliwości zapewnienia jakości w procesie przygotowania produkcji oraz procesie wytwarzania.

**Słowa kluczowe:** *dokładność wymiarowo-kształtowa, zdolność systemu pomiarowego, analiza MSA*

## **TECHNOLOGICAL QUALITY ASSURANCE METHODS ON THE EXAMPLE OF A THREAD**

### Abstract

A product technological quality assurance method has been presented on the example of thread cutting. Subsequently, the limitations of the thread measurement process and the possibilities of quality assurance in the production preparation process and the manufacturing process were discussed.

**Keywords:** *dimensional and form accuracy, measurement system capability, MSA analysis*

# METODY ZAPEWNIENIA JAKOŚCI TECHNOLOGICZNEJ NA PRZYKŁADZIE GWINTU

Anna ZAWADA-TOMKIEWICZ<sup>1</sup>, Izabela WIERUCKA

## 1. WPROWADZENIE

Wytwarzanie wyrobu jest podstawowym zagadnieniem dotyczącym zapewnienia jakości technologicznej, zdefiniowanej przez wartości wymiarów, zarysów okrągłości, walcowości i kształtu oraz chropowatości i falistości [1, 2, 3]. Zbiór właściwości, opisanych parametrami, definiuje własności wyrobu i jego przydatność w eksploatacji.

Aby zapewnić przedmiotowi po obróbce założoną w specyfikacji jakość technologiczną należy dysponować systemem produkcyjnym, który ma odpowiednią zdolność zapewnienia jakości w zadanej tolerancji oraz systemem pomiarowym, który będzie w stanie ją zweryfikować.

Aby uzyskać wyrób charakteryzujący się zadanymi własnościami, definiowane są ograniczenia dotyczące jego właściwości. W przypadku ograniczeń geometrycznych są to tolerancje dla każdej ze zdefiniowanych powierzchni wyrobu. Uwzględnia się to w procesie przygotowania produkcji, gdzie wyznaczona zostaje projektowa jakość wyrobu, technologia, oraz tworzone są warunki dla zapewnienia odpowiedniej jakości wykonania wyrobu i realizacji technologii.

W procesie przygotowania produkcji, gdzie jakością wyrobu steruje się off-line, można przyjąć strategię zaproponowaną przez Taguchiego [5]. Polega ona na uwzględnieniu w projektowaniu trzech faz zapewnienia jakości:

- Faza 1, projektowanie systemu, która polega na opracowaniu specyfikacji wyrobu oraz koncepcji procesu wytwarzania.
- Faza 2, projektowanie parametru, która obejmuje testowanie próbných nominalnych wartości i na podstawie testowania określenie najlepszych kombinacji poziomów parametrów oraz operatywnych poziomów wskaźników procesu, tak aby były one najbardziej odporne na zmiany zachodzące w otoczeniu zewnętrznym i na inne czynniki zakłócające.

---

<sup>1</sup> Politechnika Koszalińska, 75-620 Koszalin, ul. Raławicka 15-17,

- Faza 3, projektowanie tolerancji, która polega na ustaleniu ścisłych tolerancji dla tych parametrów gwintu lub wskaźników procesu jego wytwarzania, których odchylenia od wartości nominalnych wywierają duży wpływ na zmienność końcową.

Omówione działania odnoszą się do etapu przygotowania produkcji. Natomiast podczas procesu wytwarzania jakość technologiczna gwintu podlega ocenie ze względu na spełnienie wymagań geometrycznych. Realizowane jest to metodami on-line lub off-line. Celem artykułu było zestawienie możliwości zapewnienia jakości technologicznej wyrobu na przykładzie gwintu. Przedstawiono kolejne ograniczenia w procesie pomiarowym gwintu oraz możliwość zapewnienia jakości w procesie przygotowania produkcji oraz w procesie wytwarzania.

## 2. SPECYFIKACJA WYROBU NA PRZYKŁADZIE GWINTU

W przypadku wytwarzania gwintu metrycznego ISO ogólnego przeznaczenia, najczęściej stosowanego w konstrukcji i technologii maszyn, powierzchnie gwintu opisane są parametrami zdefiniowanymi w PN-ISO 68-1:2000 [10], które następnie toleruje się w głąb materiału przyjmując za linię zerową zarys nominalny. Zbiór szeregów tolerancji i pól tolerancji tolerowanych średnic zestawiony jest w normie PN-ISO 965-1:2001 [11].

Opracowanie specyfikacji gwintu obejmuje dobór zbioru wymagań odnośnie parametrów geometrycznych, które przykładowo dla gwintu M8 x 1 w tolerancji 6h obejmują:

- rodzaj gwintu: zewnętrzny, trójkątny, walcowy, prawy o krotności 1,
- podziałka gwintu:  $P = 1$  mm,
- średnica zewnętrzna gwintu:  $d = 8$  mm,
- średnica podziałowa gwintu:  $d_2 = 7,350$  mm,
- kąt zarysu gwintu:  $60^\circ$ ,
- dno bruzdy: zaokrąglone,
- technologia zarysu: gwint toczoney,
- stan powierzchni zwojów: bez zadziorów,
- rodzaj wyjścia zwojów: podtoczone, gubione,
- tolerancja wykonania: 6h.

Koncepcja procesu wytwarzania odnosi się do dokładności geometrycznej gwintu oraz niezmienności wytworzonej jakości geometrycznej w czasie. Stąd określa się parametry technologiczne zależnie od przeznaczenia, charakteru ilościowego produkcji oraz dokładności wykonania. Koncepcja procesu wytwarzania założonego w specyfikacji gwintu zewnętrznego M8 x 1 obejmuje zbiór wymagań odnośnie:

- przedmiotu obrabianego: średnica zewnętrzna gwintu wykonana jest „na gotowo” i nie będzie już obrabiana, materiał obrabiany stal EN 41Cr4,

- narzędzia: ostrze o uniwersalnym kształcie do gwintu metrycznego o podziałce 1 mm,
- obrabiarka: tokarka uniwersalna z możliwością toczenia gwintu metodą ze sprzężeniem kinematycznym,
- metody wytwarzania: toczenie gwintu metodą ze sprzężeniem kinematycznym,
- posuwu: posuw równy podziałce gwintu,
- dosuwu: promieniowy wglębny, stosowany do mniejszych skoków gwintów i materiałów silnie umacniających się, realizowano w kilku przejściach, zgodnie z zaleceniami: 5 przejść, kolejne dosuwy: 0,20, 0,15, 0,13, 0,10, 0,08 mm,
- prędkości skrawania: zalecenia producenta narzędzia: płytka trójkątna jednostronna z węgla spiekanego powlekanego –  $v_c \in (80, 160)$  m/min.

### 3. SPRAWDZENIE DOKŁADNOŚCI GEOMETRYCZNEJ GWINTU W PROCESIE WYTWARZANIA

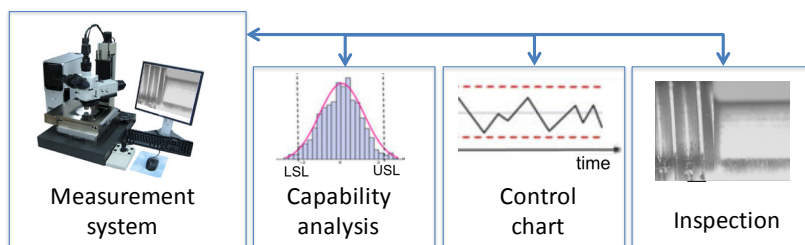
Po wykonaniu badań wstępnych nastąpiło przejście do etapu drugiego projektowania gwintu – projektowania parametru. Etap ten jest ściśle powiązany z wykorzystaniem metod eksperymentalnych. Celem jest poszukiwanie nominalnych wartości dla czynników sterowalnych, które będą miały najmniejszą wrażliwość na działanie zakłóceń.

Dla danej koncepcji wykonania gwintu przeprowadzono badania sprawdzające. Uzyskany toczeniem gwint zewnętrzny charakteryzował się dobrą wizualnie jakością. Nie obserwowano przerw ani karbowania powierzchni. Z tego względu przyjęto wstępnie, że udało się uzyskać założoną jakość technologiczną gwintu.

Dokładność geometryczną gwintu należało potwierdzić za pomocą pomiaru. Pomiar wielkości opisujących gwint realizowany jest metodami bezpośrednimi lub za pomocą wielkości pośrednich, dla których została potwierdzona zależność z dokładnością wymiarowo-kształtową.

Z punktu widzenia procesu wytwarzania, dobierana jest technologia tak, aby można było uzyskać gwint w zdefiniowanej tolerancji. Wyróżnić można następujące przypadki:

- system nie jest w stanie wytworzyć gwintu w zadanej tolerancji,
- system wytwórczy w każdym przypadku wytworzy gwint w zadanej tolerancji,
- system jest w stanie wytworzyć gwint w zadanej tolerancji, ale nie ma pewności, że to zostało osiągnięte. Wymagana jest ciągła lub okresowa ocena zdolności systemu wytwórczego i jego komponentów.



Rys. 1. Zastosowanie systemów pomiarowych w zapewnieniu jakości technologicznej wyrobu

Aby upewnić się, że wyrób został wytworzony zgodnie ze specyfikacją należy posiadać system pomiarowy, który będzie zdolny dokonać kontroli jakości wytworzonego wyrobu (rys. 1). Dokonać to można metodami analizy systemów pomiarowych MSA (ang. *Measurement System Analysis*) oraz VDA (niem. *Verband der Automobilindustrie*) [4, 8]. Ocena zdolności systemu pomiarowego powinna być wykonana dla każdego systemu pomiarowego i powinny być podane wielkości oraz zakresy wartości tych wielkości, dla których system pomiarowy ma zdolność pomiarową (tabela 1).

Tabela 1. Zastosowanie MSA do oceny zdolności systemu pomiarowego

Współczynnik wpływu	MSA 4	
Rozdzielczość	$ndc \geq 5$	$\%RE = \leq 5\% TOL$
Powtarzalność	błąd systematyczny musi być mały	$Cg = \geq 1,33$
Obciążenie	t-Test	$Cgk = > 1,33$
Liniowość	t-Test	$\%LIN = \geq 5\%$
Współczynnik wpływu	MSA 4	
Rozdzielczość	$ndc \geq 5$	$ndc = 16,32$
Powtarzalność	błąd systematyczny musi być mały	$GRR = 3,6 \mu m$
Obciążenie	t-Test – 95% przedział ufności dla obciążenia	górna
		dolna
Liniowość	t-Test	$p=0,46$

W przypadku gwintów dokładnych mierzy się wszystkie jego parametry. Pomiar gwintów zewnętrznych i wewnętrznych, walcowych oraz stożkowych można realizować mikroskopem pomiarowym, metodą trójwałeczkową lub współrzędnościowymi maszynami pomiarowymi [3]. Zastosowanie sond optyczno-dotykowych we współrzędnościowych maszynach pomiarowych umożliwi pomiary z wykrywaniem błędów nawet rzędu  $0,35 \mu m$  [6, 7].

W pomiarach podziałki (skoku) gwintów walcowych zewnętrznych często stosowane są techniki pomiarowe optyczne. Istotnymi zaletami pomiarów optycznych jest bezstykowy sposób pomiaru, możliwość pomiarów bardzo małych gwintów, wygodna obserwacja procesu pomiarowego na monitorze i duża szybkość pomiarów. Do po-

miaru zastosowano system optyczny do oceny jakości gwintu zewnętrznego oparty o kamerę cyfrową, obiektyw układu optycznego, układ oświetleniowy, komputer z kartą akwizycji obrazu oraz oprogramowanie do cyfrowego przetwarzania obrazu, identyfikacji i pomiarów wybranych parametrów wymiarowo-kształtowych [9]. Mocowanie i pozycjonowanie wałka 8 mm następowało w kłach. Zastosowano układ oświetleniowy dla światła przechodzącego i oświetlacz diodowy dla światła odbitego.

Dokonano 20 powtórzeń pomiaru wzorca kreskowego dla poszczególnych rozdzielczości obrazu przez 2 operatorów. Sprawdzono obciążenie, liniowość, powtarzalność i odtwarzalność  $GRR$  zgodnie z analizą systemów pomiarowych MSA [4] oraz potwierdzono zdolność systemu pomiarowego dla zadanej tolerancji.

#### 4. ANALIZA ZDOLNOŚCI POMIAROWEJ DLA SYSTEMU POMIARU GWINTU

W celu spełnienia wymagań specyfikacji gwintu stosowany jest system CLM (ang. *Closed Loop Manufacturing*) do monitorowania oraz zapewnienia sprzężenia zwrotnego z systemem projektowania i przygotowania produkcji. Konieczne jest w tym przypadku przeprowadzenie pomiaru wielkości zdefiniowanych w specyfikacji przy użyciu systemu pomiarowego o zdolności pomiarowej uwzględniającej zadaną tolerancję wykonania [1, 2]. Dodatkowo na system pomiarowy mogą być nałożone wymagania, takie jak czas przeprowadzenia pomiaru czy nieniszczący charakter badań. Pętla CLM zostanie zamknięta, gdy pomiary zostaną wykonane i użyte do potwierdzenia jakości geometrycznej gwintu.

Skalibrowany system wizyjny umożliwia automatyczną identyfikację wybranych cech geometrii przedmiotu. Ocena przydatności określonego systemu pomiarowego do monitorowania procesu produkcyjnego zakłada spełnienie warunków zdolności przyrządu pomiarowego  $c_g$  przy określonej wartości tolerancji wyrobu i odpowiedniej małej niepewności pomiarowej. Według zaleceń podanych przez autorów [2, 4] wartość wskaźnika  $c_g$  powinna spełniać warunek zależny od tolerancji  $T$ :

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s} \geq 1,33 \quad (1)$$

i jednocześnie spełniać zależność ze względu na niepewność pomiaru:

$$2 \cdot s \leq 0,05 \cdot T \quad (2)$$

Odchylenie standardowe  $s$  we wzorach (1) i (2) dotyczy wielokrotnych pomiarów gwintu dla wyrobu pobranego z procesu, którego tolerancja wynosi  $T$ . W celu sprawdzenia przydatności zaprojektowanego i wykonanego systemu optycznego dokonano pomiarów śruby M8x1. Mierzoną cechą z obrazu był podziałka gwintu M8x1 na śred-

nicy zewnętrznej i średnicy podziałowej ( $T_d = 112 \mu\text{m}$  oraz  $T_{d2} = 180 \mu\text{m}$  dla tolerancji 6h) w 12 przekrojach przez 2 operatorów (tabela 2).

Uzyskana wartość odchylenia standardowego  $s$  dla pomiarów podziałki gwintu M8x1 w świetle odbitym i przechodzącym przy rozdzielczości pozyskiwanego obrazu wynoszącej 704 x 576 punktów obrazu wynosiła max 3  $\mu\text{m}$ . Wyznaczona wartość wskaźnika zdolności przyrządu pomiarowego  $c_g$  ze wzoru (1) i (2), z uwzględnieniem tolerancji 6h dla M8x1, przyjętej na podstawie specyfikacji geometrii wyrobów, wynosiła powyżej 1,33.

Dla określenia niepewności całego systemu pomiarowego wykorzystano procedurę określenia jego zmienności, na którą składają się powtarzalność systemu pomiarowego *EV* (ang. *Equipment Variation*), odtwarzalność systemu pomiarowego *AV* (ang. *Appraiser Variation*) oraz rozrzut całkowity *R & R* (ang. *Repeatability and Reproducibility*) oznaczany często jako *GRR* [4]. Ocenę zdolności systemu pomiarowego przeprowadzono dla kilku przypadków, gdzie czynnikiem zmiennym był rodzaj zastosowanego oświetlenia przy rozdzielczości pozyskiwanego obrazu wynoszącej 704 x 576 punktów obrazu przy wielkości 1 piksela odpowiadającej 0,00714 mm.

Zastosowanie metody MSA pozwala na ewaluację zdolności systemu pomiarowego przez ograniczenie wyliczonej wartości powtarzalności wzorca (*%GRR*) wymaganymi kryteriami oceny. Poradnik MSA zaleca sprawdzenie, czy błąd systematyczny jest wystarczająco mały. Co więcej, według procedury MSA oceniana jest liczba kategorii danych *ndc*. Liczba ta musi być większa niż 5. Przekroczenie wartości dla *%GRR* ponad kryterium (ang. *specific limit*) nie wskazuje jednoznacznie na przyczynę tego przekroczenia. Stąd, najczęściej poprawia się system pomiarowy i wyznacza się wartość *%GRR* od nowa do czasu, gdy znajdzie się w zalecanym zakresie.

Kryterium oceny dzieli zdolność pomiarową systemu na dwie kategorie:

- gdy *%GRR* < 10 % – zakres taki jest najbardziej preferowany, gdyż oznacza, że system jest bezwzględnie zdolny do pomiaru danej wielkości w zadanej tolerancji,
- gdy 10 % < *%GRR* < 30 % – zakres może być warunkowo akceptowany w zależności od zastosowań.

Tabela 2. Analiza niepewności całego systemu pomiarowego podczas pomiaru podziałki gwintu

Wielkość	Wzór obliczeniowy	Pomiar w świetle odbitym	Pomiar w świetle przechodzącym
Liczba operatorów $k = 2$			
$\bar{R}$ [mm]	$\frac{1}{k}(\bar{R}_1 + \bar{R}_2), k=2$	0,0053	0,0044
$\bar{X}_{Diff}$ [mm]	$\bar{X}_{Diff} = \bar{X}_{max} - \bar{X}_{min}$	0,0016	0,0009
$EV$ [mm]	$EV = K_1 \cdot \bar{R}, K_1=0,88$	0,00072	0,00069
$AV$ [mm]	$AV = \sqrt{(\bar{X}_{Diff} \cdot K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{n \cdot r}\right)}$ $K_2=0,7071$	$AV < 0$ , to $AV = 0$	$AV < 0$ , to $AV = 0$
$GRR$ [mm]	$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	0,0072	0,00069
Gwint M8 x 1 6h			
$d: e_i = -180 \mu\text{m}, e_s = 0$			
$TV$ [mm]	$TV = (UCL - LSL)/6$	0,0300	0,0300
$PV$ [mm]	$PV = \sqrt{TV^2 - GRR^2}$	0,0296	0,0297
% $EV$ [%]	% $EV = 100(EV/TV)$	15,68	12,89
% $AV$ [%]	% $AV = 100(AV/TV)$	0	0
% $GRR$ [%]	% $GRR = 100(GRR/TV)$	<b>15,68</b>	<b>12,89</b>
% $PV$ [%]	% $PV = 100(PV/TV)$	98,76	99,16
$ndc$	$ndc = 1.41(PV/GRR)$	<b>8,87</b>	<b>10,84</b>
$d_2: e_i = -112 \mu\text{m}, e_s = 0$			
$TV$ [mm]	$TV = (UCL - LSL)/6$	0,0187	0,0187
$PV$ [mm]	$PV = \sqrt{TV^2 - GRR^2}$	0,0180	0,0183
% $EV$ [%]	% $EV = 100(EV/TV)$	25,20	20,73
% $AV$ [%]	% $AV = 100(AV/TV)$	0	0
% $GRR$ [%]	% $GRR = 100(GRR/TV)$	<b>25,20</b>	<b>20,73</b>
% $PV$ [%]	% $PV = 100(PV/TV)$	96,77	97,83
$ndc$	$ndc = 1.41(PV/GRR)$	<b>5,41</b>	<b>6,65</b>
dla $\bar{R}$ – rozstęp, $\bar{X}_{Diff}$ – średnia różnica, $n$ – liczba części, $r$ – liczba prób, $EV$ – powtarzalność systemu pomiarowego, $AV$ – odtwarzalność systemu pomiarowego, $GRR$ – wskaźnik powtarzalności i odtwarzalności, $TV$ – zmienność całkowita, $PV$ – zmienność w obrębie części, $ndc$ – liczba kategorii danych			

Zgodnie z zestawionymi w tabeli 2 danymi można jednoznacznie stwierdzić, że optyczny system pomiarowy może być zastosowany do pomiaru gwintu metrycznego M8 x 1 w tolerancji 6h, gdyż system ten spełnia wszystkie kryteria oceny.



## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Oceniono, że zaproponowana metodyka pozwala na zapewnienie jakości technologicznej gwintu. W przypadku toczenia gwintu przy zastosowaniu narzędzia uniwersalnego, dla którego średnica zewnętrzna gwintu była wykonana wcześniej „na gotowo”, wskaźniki  $ndc$  oraz  $\%GRR$  zarówno w przypadku światła odbitego jak i przechodzącego mieszczą się w założonym przedziale zmienności. W przypadku, gdyby zastosowano niewłaściwą technologię wytwarzania gwintu, to mogłyby pojawić się zadziory, czy inne zakłócenia (przerwania na gwincie, karbowanie powierzchni, narost, zmiana geometrii narzędzia), które spowodowałyby pogorszenie dokładności średnicy zewnętrznej. W przyszłości należałoby zaproponować takie ulepszenie technologii, które zachowałoby dokładność średnicy zewnętrznej gwintu.

W przypadku średnicy podziałowej, tolerancja  $6h$  ( $e_i = -112 \mu\text{m}$ ) jest mniejsze od  $e_i$  dla średnicy zewnętrznej. Zachowanie tolerancji podczas wykonywania gwintu wynika z procesu toczenia i ograniczenia czynników zakłócających takich jak drgania czy zużycie narzędzia. Kryteria zdolności pomiarowej dla systemu optycznego są zachowane, lecz mniejsza wartość  $e_i$  powoduje, że kluczową rolę w tym przypadku jest dokonywanie pomiarów przez dobrze wyszkolonego operatora lub opracowanie systemu automatycznego odczytu wartości mierzonych.

## LITERATURA

- [1] ADAMCZAK S. *Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu, falistość i chropowatość*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008.
- [2] HUMIENNY Z. (RED.) I IN., *Specyfikacje Geometrii Wyrobów (GPS). Podręcznik europejski*. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2004.
- [3] MALINOWSKI J., JAKUBIEC W., PŁOWUCHA W.: *Pomiary gwintów w budowie maszyn*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2008.
- [4] *Measurement Systems Analysis Reference Manual, 4th Edition*. AIAG, Michigan, USA, 2010.
- [5] Krishankant J.T., Mohit B., Rajesh K. Application of Taguchi Method for Optimizing Turning Process by the effects of Machining Parameters International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) 2/1 (2012) 263-274.
- [6] RATAJCZYK E., *Współrzędnościowa technika pomiarowa*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [7] SŁADEK J., *Dokładność pomiarów współrzędnościowych*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2011.
- [8] *VDA 5, Capability of Measurement Processes, 2nd Edition*. VDA, Berlin, Niemcy, 2011.
- [9] WIERUCKA I., ZAWADA-TOMKIEWICZ A., ŁUKIANOWICZ CZ. *Ocena przydatności wybranych optycznych systemów pomiarowych w procesie wytwarzania i eksploatacji części maszyn* Mechanik 7/2013 538-543.
- [10] PN-ISO 68-1: 2000 *Gwinty ogólnego przeznaczenia. Zarys nominalny. Gwinty metryczne*.
- [11] PN-ISO 965-1: 2001 *Gwinty metryczne ISO ogólnego przeznaczenia. Tolerancje. Część 1: Zasady i dane podstawowe*.