

Krzysztof NOZDRZYKOWSKI
AKADEMIA MORSKA W SZCZECINIE

Optymalne parametry odniesieniowych metod pomiarów geometrycznych odchyłek części maszyn bazowanych w pryzmach

Dr inż. Krzysztof NOZDRZYKOWSKI

Dr inż. Krzysztof Nozdrzykowski jest kierownikiem Zakładu Podstaw Budowy i Eksploatacji Maszyn Instytutu Nauk Podstawowych Technicznych Akademii Morskiej w Szczecinie. Jego działalnością naukową objęte są zagadnienia metrologii, makro- i mikrogeometrii powierzchni ze szczególnym uwzględnieniem pomiarów błędów kształtu i położenia osi cylindrycznych dużych elementów maszyn.



e-mail: inpt@am.szczecin.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań symulacyjnych, których efektem było wyznaczenie optymalnych parametrów układów pomiarowych zalecanych do pomiarów odchyłek geometrycznych zespołu powierzchni cylindrycznych dużych elementów maszyn ustalonych w pryzmach. Badaniami tymi objęto ustalenie układów pomiarowych najkorzystniejszych z punktu widzenia wyznaczenia harmonicznych zarysu mierzonego w zakresie $n=2\div 15$, najkorzystniejszych przy zastosowaniu dwóch czujników pomiarowych (pomiaru n -parzystych i n -nieparzystych) oraz najkorzystniejszych do tzw. pomiarów przybliżonych.

Słowa kluczowe: pomiary odniesieniowe, odchyłki geometryczne, bazowanie w pryzmach.

Optimal parameters of reference measurements of geometrical deviations for machinery parts supported in V-blocks

Abstract

Verification measurement of compliance between geometrical realisation of produced machinery details and geometrical requirements assumed by designer are performed using reference methods by fixing of those elements in V-blocks. The feature of measurement in V-block is such, that during measurement so based detail is displaced. The reason of displacement is constant points of contact between shapes of measured detail and V-block. In result measured roundness shape $\Delta F(\varphi)$ and measured roundness deviation $\Delta R(\varphi)$ differs less or more from real roundness shape $\Delta R(\varphi)$ and real roundness deviation ΔR . The measure of this distortion is so called distortion measurement coefficient k_n , expressed by formulae (1) or (2) (theory of harmonic analysis of roundness shape). Hitherto researches proved that values of k_n coefficient for different methods performed in single V-block configuration are depending on parameters of measuring system (α and γ angles) [1, 2, 3, 4, 5]. The mentioned researches permitted to select optimal in sense of usefulness in detection of roundness deviation measuring systems. The author's efforts were focused on selection of most convenient method from point of view determination of harmonic components of measured shape in range $n=2\div 15$, most convenient method in two sensor measurement (odd and even values of n) as well as for so called approximate measurements. The obtained results, meeting with assumed criteria were shown in tabular form (Table 2) and in graphical form (Graphs 1, a – m). Discussed in the paper simulative research results although not present in all cases of which can be considered as useful in measurements of geometrical deviation of machinery parts fixed in two V-blocks, from the other hand are the most representative group of measuring systems applied in practical measurements.

Keywords: reference measurement, geometric deviation, support in V-blocks.

1. Wprowadzenie

Pomiary weryfikacyjne zgodności geometrycznego wykonania produkowanych dużych elementów maszyn z wymogami geometrycznymi założonymi przez konstruktora na etapie ich wytwarza-

nia realizowane są najczęściej metodami odniesieniowymi poprzez ustalenie tych elementów w pryzmach. Pomiary odniesieniowe w pryzmach charakteryzują się jednak tym, że zmierzony zarys okrągłości $\Delta F(\varphi)$ a więc i odchyłka okrągłości ΔF różnią się niekiedy w sposób znaczny od zarysu rzeczywistego $\Delta R(\varphi)$ i rzeczywistej odchyłki okrągłości ΔR .

Parametrem pozwalającym ocenić różnicę pomiędzy wartością zmierzonej odchyłki okrągłości ΔF a jej wartością rzeczywistą ΔR jest współczynnik k_n określamy mianem współczynnika zniekształcenia pomiarów w pryzmie lub współczynnika wykrywalności, wyrażony jako:

$$k_n = \frac{\Delta F}{\Delta R} \quad (1)$$

Wykorzystując teorię analizy harmonicznej zarysu okrągłości, na podstawie której dowolny zarys okrągłości można przedstawić w postaci sumy n -składowych cosinusoidalnych trygonometrycznego szeregu Fouriera, odpowiednie współczynniki wykrywalności dla poszczególnych n -harmonicznych mogą być zdefiniowane jako:

$$k_n(\alpha, \gamma) = \frac{C_{Fn}}{C_{Rn}} \quad (2)$$

gdzie:

- C_{Fn} – amplituda n -harmonicznej zmierzonego zarysu okrągłości,
- C_{Rn} – amplituda n -harmonicznej rzeczywistego zarysu okrągłości.

Wykazano [1, 2, 3, 4, 5], że współczynniki te dla określonych metod odniesieniowych pomiarów realizowanych za pomocą układów jednopryzmowych zależne są od parametrów metody czyli kątów α , γ (kąt α jest kątem określającym położenie trzpienia pomiarowego czujnika względem przyjętego układu współrzędnych, kąt γ jest kątem określającym tzw. stałe punkty podparcia).

Z praktycznego punktu widzenia najbardziej korzystne są układy pomiarowe, dla których współczynnik $k_n(\alpha, \gamma)$ dla poszczególnych składowych przyjętego do analizy zakresu n -harmonicznych przyjmuje wartość większą od jedności. Układy takie charakteryzują się wtedy dobrą wykrywalnością wszystkich składowych harmonicznych.

Przeprowadzone dotychczas badania symulacyjne dotyczące pomiarów realizowanych za pomocą układów jednopryzmowych, pozwoliły na ustalenie szeregu układów pomiarowych będących optymalnymi kombinacjami kątów α i γ z punktu widzenia ich przydatności do pomiarów zarysu okrągłości. Dla układów tych optymalne kombinacje kątów zestawiono w tabeli 1 [6, 7]. Układy te w większości przypadków charakteryzują się dobrą wykrywalnością składowych harmonicznych w zakresie $n=2\div 10$. Bardziej szczegółowe badania symulacyjne doprowadziły w dalszej kolejności do ustalenia optymalnych parametrów metody w szerszym zakresie zmienności n .

Pozwoliło to na dostosowanie metod odniesieniowych do wzrastających wymogów odnośnie dokładności oceny błędów zarysów okrągłości wymagających uwzględnienia harmonicznych w zakresie $n \in (2\div 15)$ lub $n \in (2\div 50)$, obejmujących nawet niektóre składowe falistości powierzchni [6, 7]. Badania te doprowadziły do ustalenia następujących parametrów [6]:

$$\gamma=60^\circ \text{ i } \alpha=-25^\circ \text{ oraz } \gamma=60^\circ \text{ i } \alpha=-18^\circ$$

Dla tych układów kątów osiągnięto wystarczającą wykrywalność wszystkich harmonicznych znajdujących się w przedziale $n \in (2 \div 15)$.

Tab. 1. Optymalne kombinacje kątów α i γ dla pomiarów odchyłek okrągłości przy podparciu jednopryzmowym [7]

Tab. 1. Optimal combinations of α and γ angles for roundness deviation measurement with using one-point support

Lp.	Zakres odchyłek	$-\pi/2 \leq \alpha < 0$				$0 \leq \alpha < \pi/2$			
		kąty γ typowe		kąty γ nietypowe		kąty γ typowe		kąty γ nietypowe	
		γ	α	γ	α	γ	α	γ	α
Układ pomiarowy o jednym czujniku z rejestratorem									
1.	$n=2 \dots 10$	45°	-83,5°	70°	-38°	54°	80°	53°	78,5°
2.	$n=2 \dots 10$	45°	-83,5°	70°	-38°	45°	81°	-	-
Układ pomiarowy o dwóch czujnikach: jeden do odchyłek „parzystych”, a drugi do „nieparzystych”									
3.	$n=2 \dots 10$	45°	-75°	-	-	45°	75°	-	-
4.	$n=2 \dots 10$	45°	-30°	-	-	45°	30°	-	-
5.	$n=2 \dots 10$	45°	-81°	-	-	45°	81°	-	-
Układ pomiarowy o jednym czujniku do pomiarów przybliżonych (szacunkowych)									
6.	$n=2 \dots 10$	45°	-15°	31,5°	-6°	45°	80°	-	-
7.	$n=2 \dots 10$	-	-	38,5°	-13°	54°	66°	-	-
8.	$n=2 \dots 10$	-	-	49,5°	-19°	60°	80°	-	-
9.	$n=2 \dots 15$	30°	-10°	37°	-16°	45°	81°	-	-
10.	$n=2 \dots 15$	-	-	-	-	60°	80°	-	-

2. Ustalenia optymalnych parametrów metody dla pomiarów odchyłek geometrycznych przedmiotów bazowanych podczas pomiarów w dwóch przyzmach

Specyfika pomiarów błędów geometrycznych dużych elementów maszyn, które ze względu na duże gabaryty i masy wymagają ustalenia ich w co najmniej dwóch przyzmach powoduje iż zmierzony zarys okrągłości $\Delta F_3(\varphi)$ zniekształcany będzie przemieszczeniami obiektu mierzonego wynikającymi z nieregularności zarysów okrągłości stykających się z tworzącymi przyzma ustalających.

Wykazano, że wartości składowych A_{Rn3} , B_{Rn3} amplitud C_{Rn3} poszczególnych n -harmonicznych zarysu rzeczywistego $\Delta R_3(\varphi)$ wyrazić można za pomocą składowych amplitud harmonicznych A_{Fn1} , B_{Fn1} , A_{Fn2} , B_{Fn2} zarysów zmierzonych $\Delta F_1(\varphi)$, $\Delta F_2(\varphi)$ ustalonych w przyzmach oraz składowych amplitud harmonicznych A_{Fn3} , B_{Fn3} zarysu zmierzonego $\Delta F_3(\varphi)$ o tych samych numerach harmonicznych n oraz parametrów metody czyli kątów α , γ i wymiarów liniowych l_i , l [8].

Wyprowadzone zależności matematyczne pozwalają więc po dokonaniu pomiarów zarysów $\Delta F_1(\varphi)$, $\Delta F_2(\varphi)$ i $\Delta F_3(\varphi)$ oraz ich dyskretyzacji a następnie wyznaczeniu składowych A_{Fn1} , B_{Fn1} , A_{Fn2} , B_{Fn2} oraz A_{Fn3} i B_{Fn3} wyznaczyć składowe A_{Rn3} , B_{Rn3} amplitud rzeczywistego zarysu okrągłości $\Delta R_3(\varphi)$ a w rezultacie wartości współczynników zniekształcenia k_{n3} .

Współczynniki k_{n3} dla pomiarów odniesieniowych realizowanych przy podparciu przedmiotu w dwóch przyzmach uzależnione są więc od większej liczby zmiennych, w tym oczywiście od parametrów metody czyli kątów α i γ .

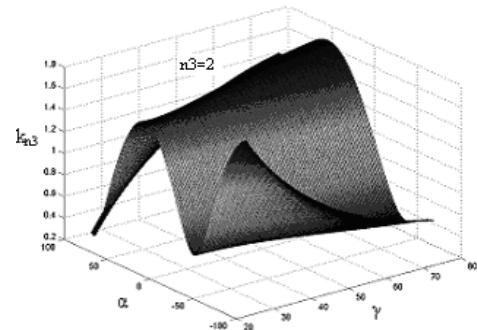
W celach porównawczych i weryfikacyjnych oceny przydatności stosowanych parametrów w układach jednopryzmowych do pomiarów realizowanych w układach dwupryzmowych, przeprowadzono obszerne kompleksowe badania symulacyjne zmienności

współczynnika k_{n3} w zależności od kątów α i γ w całym zakresie ich stosowności. Badania przeprowadzono dla przedziałów zmienności kątów $\alpha \in (-90^\circ \div 90^\circ)$ i $\gamma \in (30^\circ \div 80^\circ)$ stopniując wartości tych kątów co $0,5^\circ$. Badania te doprowadziły do ustalenia układów pomiarowych według kryteriów sformułowanych w pracy S. Adamczaka [7]. Kryteria te obejmowały ustalenie w zakresie $n=2 \div 15$ układów pomiarowych:

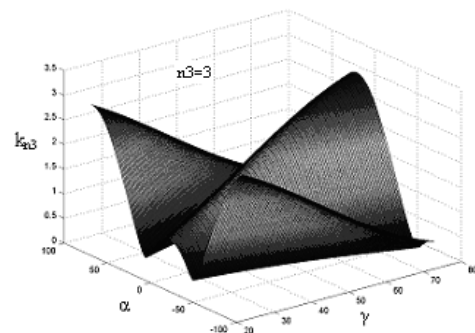
- optymalnych do wykrywania wszystkich harmonicznych w przyjętym przedziale zmienności n o możliwie dużych wartościach współczynnika k_{n3} ,
- zalecanych do pomiarów przybliżonych (szacunkowych) wykazujących możliwie najmniejszą różnicę pomiędzy wartością największego i najmniejszego współczynnika k_{n3} ,
- zalecanych do pomiarów w układach o stałym kącie γ , z dwoma czujnikami ustawionymi pod kątami α_1 , α_2 , z których jeden wykrywałby zarysy „parzyste” a drugi „nieparzyste”.

Wybrane zalecane układy pomiarowe spełniające przyjęte kryteria zestawione w układzie tabelarycznym przedstawiono w tabeli 2. Otrzymane wyniki badań symulacyjnych stanowią potwierdzenie wniosku sformułowanego w szeregu opracowaniach dotyczących odniesieniowych pomiarów zarysów okrągłości, że w pomiarach takich powinno się wykorzystywać układy pomiarowe o możliwie dużych kątach γ . Układy takie wykazują się bowiem dobrą wykrywalnością większości harmonicznych n rys. 1(a÷m).

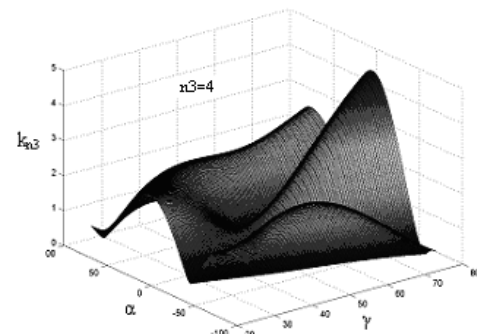
a)

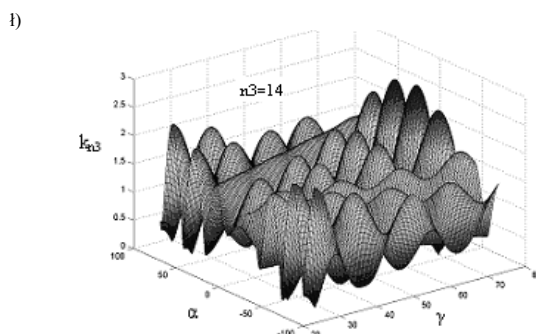
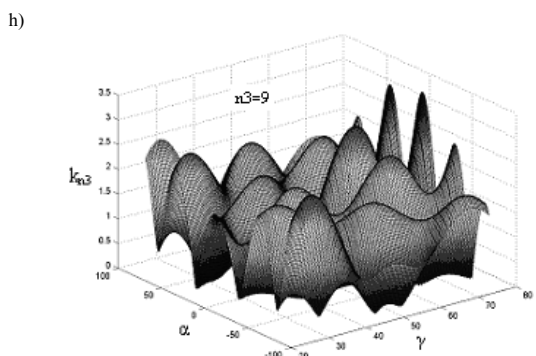
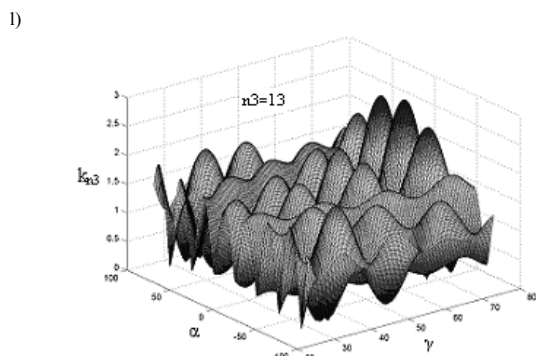
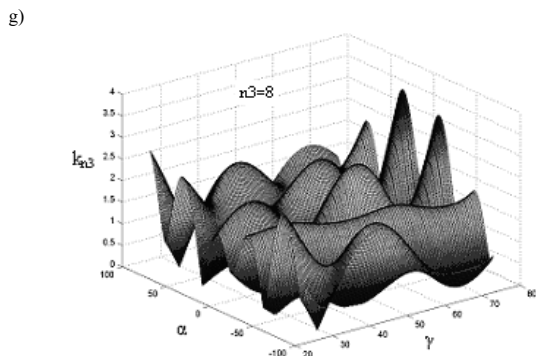
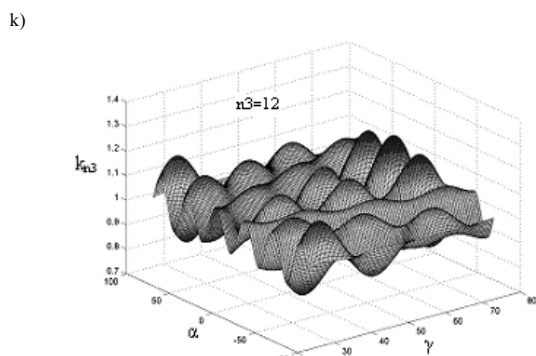
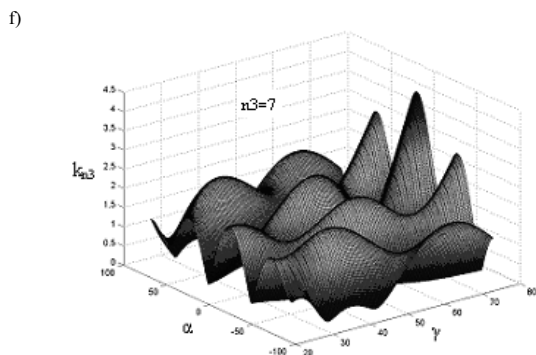
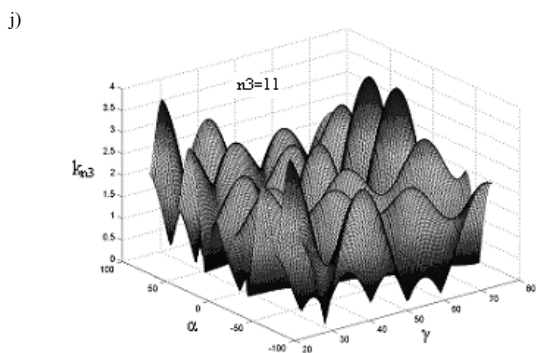
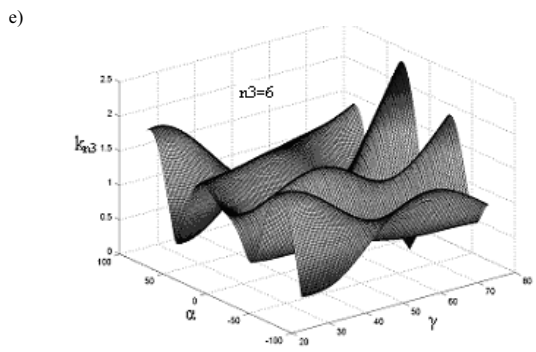
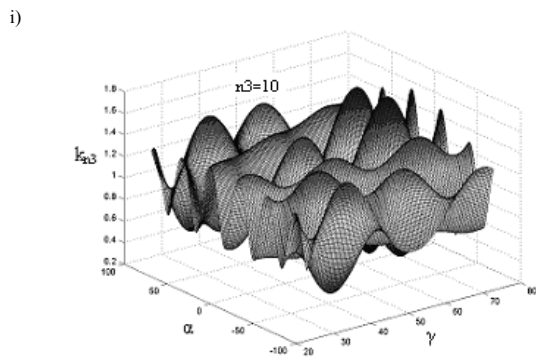
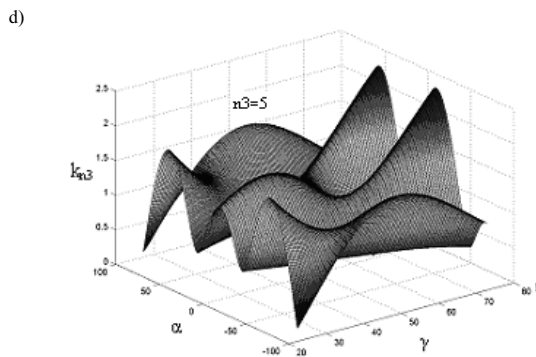


b)

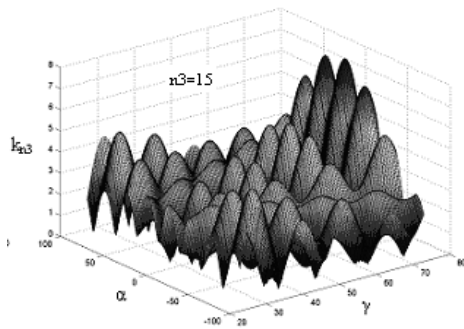


c)





m)



Rys. 1. Wykresy zmian wartości współczynnika k_{n3} w zależności od parametrów α i γ dla $n_3=2\div 15$

Fig. 1. Values of k_{n3} coefficient depending on α and γ parameters for $n_3=2\div 15$

Tab. 2. Optymalne kombinacje kątów α i γ dla pomiarów odchyłek okrągłości przy podparciu dwuprzymowym

Tab. 2. Optimal combinations of α and γ angles for roundness deviation measurement with using two-point support

Zakres odchyłek $n=2\div 15$	kąty		
	γ	α	
Układy pomiarowe z jednym czujnikiem do wykrywania wszystkich n	60°	-19°	
	60°	-20°	
	59°	-18°	
	70°	10°	
	77°	14°	
Układy pomiarowe z dwoma czujnikami ustawionymi pod kątem α_1 dla „parzystych” n i α_2 dla „nieparzystych” n	40°	α_1	α_2
		80°	71°
	50°	-20°	-20°
		40°	-19°
	60°	-20°	83°
		-19°	88°
		-2°	
	70°	-40°	-42°
		-30°	-40°
		-11°	-20°
		0°	-18°
		10°	-10°
20°		7°	
25°		10°	
50°		50°	
60°	51°		
66°			
Układy pomiarowe z jednym czujnikiem do tzw. pomiarów przybliżonych	γ	α	
		41°	1°
		42°	17°
		40°	-1°

Za optymalne układy pomiarowe charakteryzujące się dobrą wykrywalnością wszystkich n -harmonicznych (współczynniki

$k_{n3}>0$) w przedziale $n=2\div 15$ należy uznać układy o kątach: $\alpha = -19^\circ, \gamma = 60^\circ$ oraz $\alpha = -18^\circ, \gamma = 59^\circ$. Wartości kątów α i γ oscylują więc w granicach wartości kątów zalecanych jako optymalne dla układów pomiarowych jednoprzymowych. Stwierdzenie to ma bardzo istotne stwierdzenie z punktu widzenia podstawowego założenia przeprowadzonych badań, wykazano bowiem że stosowane w odniesieniowych pomiarach zarysów okrągłości optymalne parametry układów jednoprzymowych mogą być z powodzeniem wykorzystywane do pomiarów w układach dwuprzymowych.

Do pomiarów z dwoma czujnikami przeznaczonymi do wykrywania zarysów „parzystych” i „nieparzystych” zalecane układy to w większości układy pomiarowe o nietypowych kątach $\gamma = 40^\circ, 50^\circ$ i 70° .

Do pomiarów natomiast przybliżonych jako najkorzystniejszy układ pomiarowy można uznać układ o kątach $\alpha = 0^\circ$ i $\gamma = 40^\circ$.

Zamieszczone wyniki badań symulacyjnych nie wyczerpują wszystkich wyznaczonych układów pomiarowych, które można uznać za przydatne do pomiarów odchyłek geometrycznych elementów maszyn bazowanych w pryzmach. Stanowią jednak najbardziej reprezentatywną grupę układów pomiarowych do zastosowania w pomiarach praktycznych.

3. Wnioski

Przeprowadzone badania symulacyjne pozwalają na sformułowanie następujących wniosków końcowych:

- optymalne wartości kątów α i γ do wykrywania wszystkich n -harmonicznych zarysu mierzonego w zakresie $n=2\div 15$ dla układów dwuprzymowych zbliżone są do optymalnych wartości kątów α i γ zalecanych przy pomiarach w układach jednoprzymowych i odpowiadają wartościom kątów $\alpha = -18^\circ$ oraz $\gamma = 60^\circ$;
- optymalne wartości kątów α, γ do wykrywania n „parzystych” i „nieparzystych” to układy pomiarowe o nietypowych wartościach kąta γ , spośród których wyróżnić można takie układy dla których $\alpha_1 = \alpha_2$ i są to układy dla kąta $\gamma = 50^\circ; \alpha_1 = \alpha_2 = -20^\circ$, dla kąta $\gamma = 70^\circ; \alpha_1 = \alpha_2 = -40^\circ, \alpha_1 = \alpha_2 = 10^\circ, \alpha_1 = \alpha_2 = 50^\circ$;
- za optymalne wartości kątów α i γ dla pomiarów przybliżonych (wykorzystujący minimalny zakres zmienności współczynnika wykrywalności k_{n3}) można uznać układy o kątach $\alpha = 0^\circ$ i $\gamma = 40^\circ$.

4. Literatura

- [1] Cserna T.: Allgemeintheoretische Annäherung und neue Ausführungsmethode der Rundheitsmessungen im Prisma. Acta Technica Academiae Scientiarum Hungaricae, T.79, (3-4), 1974, pp.351-382.
- [2] Fita S.: Analiza błędów metod pomiaru kształtu przedmiotu o przekroju kołowym. Rozprawa doktorska, Politechnika Wroclawska 1977.
- [3] Palej M.A.: Trekhkontaktnye ustrojstva dlja kontrolija nekruglosti, Stanki i Instrument, No.1,1964, s.39-40.
- [4] Steger A.: Über Möglichkeiten und Grenzen der Dreipunktmessung zur Bestimmung der Formabweichung von Kreis Dissertation TH Chemnitz 1978.
- [5] Adamczak S.: Teoretyczne podstawy niesymetrycznej trójpunktowej metody pomiaru odchyłek kołowości. Zeszyt Naukowy Politechniki Świętokrzyskiej. Mechanika 18, Kielce 1978, s.151-165.
- [6] Adamczak S.: Koncepcja pomiarów zarysów okrągłości dokonywanych bezpośrednio na obrabiarce. VII Konferencja Naukowo-Techniczna, Metrologia w technikach wytwarzania maszyn, Kielce 1997.
- [7] Adamczak S.: Odniesieniowe metody pomiaru zarysów okrągłości części maszyn. Monografie, Studia, Rozprawy. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 1998.
- [8] Nozdrzykowski K.: Wyznaczanie składowych amplitud harmonicznym transformowanego zarysu okrągłości. VIII/V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna OMiU 2009. Akademia Morska w Szczecinie, Artykuł do publikacji w Problemach Eksploatacji 2009.

otrzymano / received: 07.10.2009

przyjęto do druku / accepted: 10.11.2009

artykuł recenzowany