

Zbigniew HUMIENNY

POLITECHNIKA WARSZAWSKA, WYDZIAŁ SAMOCHODÓW I MASZYN ROBOCZYCH

Nowe spojrzenie na tolerancje geometryczno-wymiarowe

Dr inż. Zbigniew HUMIENNY



Adiunkt na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej. Ukończył Wydział Mechaniki Precyzyjnej PW. Zastępca przewodniczącego Komitetu Technicznego Nr 48 ds. Podstaw Budowy Maszyn w PKN. Ekspert ISO/TC 213. Redaktor i współautor monografii Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – podręcznik europejski. WNT, 2004. Stypendysta University of North Carolina at Charlotte (USA) i DAAD. Prowadzi szkolenia GDT/GPS.

e-mail: zhu@simr.pw.edu.pl

Streszczenie

Przedstawiono trzy główne normy dotyczące tolerancji geometrycznych stosowane w przemyśle w Polsce. Podkreślono, iż te same symbole graficzne mogą mieć różną interpretację w zależności od tego, jaką normę przywołuje konstruktor lub metrolog. Podano szereg przykładów tolerancji, które przy tej samej symbolice rysunkowej mają różną interpretację.

Słowa kluczowe: tolerowanie geometryczne, ISO 1110, ASME Y14.5M, GDT, tolerancje kształtu, kierunku, położenia i bicia.

New Approach to Dimensional and Geometrical Tolerancing**Abstract**

Three main standards dedicated to geometrical tolerancing used in industry in Poland are presented. It is pointed that exactly the same graphical symbols may have different definition and explanation depending on particular standard that is referred by designer or quality engineer. A few examples of specifications that with the same symbols have pretty different explanations are given.

Keywords: geometrical tolerancing, ISO 1110, ASME Y14.5M, GDT, tolerances of form, orientation, location and run-out

1. Tolerancje geometryczno-wymiarowe w systemach jakości

Tolerancje geometryczno-wymiarowe określają w jakim stopniu geometria wykonanego elementu może odbiegać od nominalnej podanej w jego dokumentacji konstrukcyjnej, aby mógł on zachować tak istotne właściwości jak funkcjonalność, bezpieczeństwo, niezawodność i zamienność.

Język specyfikacji geometrii wyrobów oparty jest na zbiorze symboli graficznych, które można porównać do zbioru liter alfabetu łacińskiego używanego przez wiele języków słowiańskich. Jak powszechnie wiadomo Polacy, Czesi, Słowacy i Chorwaci mogą się ze sobą porozumieć mówiąc do siebie w swoich ojczystych językach, ale zdarzają się nieporozumienia, pomyłki i lapsusy językowe. Dobrze, gdy kończą się uśmiechem i rozbawieniem rozmawiających, znacznie gorzej, gdy prowadzą do konfliktów i wzajemnego obrażania się. Podobnie jest w skali globalnej z symbolami specyfikacji geometrycznych oraz ich stosowaniem i interpretacją. W oparciu o te symbole w świecie wykształciły się trzy główne dialekty oparte na:

- normie międzynarodowej ISO 1101:2004 *Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Tolerances of form, orientation, location and run-out* oraz kilkudziesięciu innych normach posiadających wspólny nadtytuł *GPS – Specyfikacje geometrii wyrobów*,

- normie amerykańskiej ASME Y14.5M: 1994, R1999 – *Engineering drawing and related documentation practices. Dimensioning and tolerancing*,
- normie СЭВ 301:1976 – *Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения* opracowanej w ramach Rady Wzajemnej Pomocy Gospodarczej.

Przy obecnej globalizacji i wykorzystywaniu dostawców z różnych części świata korzystanie z tych samych symboli przy ich różnej interpretacji przez konstruktorów, technologów i metrologów, wskutek niedostatecznej wiedzy opartej tylko na jednej normie, prowadzi nie tylko do konfliktów i nieporozumień, ale może być źródłem znacznych strat. Ponadto, jak wykazuje praktyka, często znajomość norm jest powierzchowna i cząstkowa, tak iż rysunki konstrukcyjne nie są zwymiarowane w sposób jednoznaczny. Kolejnym problemem jest to, że przy pomiarach w wielu przypadkach stosuje się uproszczone procedury nie realizujące w pełni wymagań podanych w dokumentacji konstrukcyjnej [7].

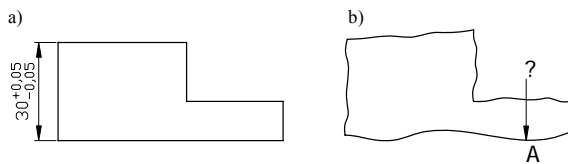
W skali międzynarodowej zagadnienia tolerancji geometryczno-wymiarowych są hasłowo określane akronimami GPS oraz GDT. Skrót GPS (*Geometrical Product Specifications*) *Specyfikacje Geometrii Wyrobów* został wprowadzony przez Komitet Techniczny ISO/TC 213 [2, 3, 6, 9] i jest stosowany jak wspólny nadtytuł wszystkich norm poświęconych tolerancjom wymiaru, kształtu, kierunku, położenia, bicia, strukturze warstwy wierzchniej oraz sprzętowi pomiarowemu do pomiarów wielkości geometrycznych. W literaturze amerykańskiej powszechnie przyjęty jest skrót GDT (*Geometrical Dimensioning and Tolerancing*) *Wymiarowanie i Tolerowanie Geometryczne* [4].

Specyfikacja techniczna ISO/TS 16949 *Systemy zarządzania jakością – Szczegółowe wymagania do stosowania ISO 9001:2000 w przemyśle motoryzacyjnym w produkcji seryjnej oraz w produkcji części zamiennych* jak również specyficzne wymagania dla producentów przemysłu motoryzacyjnego sformułowane w podręcznikach opracowanych przez przedstawicieli "Wielkiej Trójki" producentów samochodów z USA tj. *Daimler-Chrysler Corporation*, *Ford Motor Company* oraz *General Motors Corporation* kładą szczególnie nacisk na jakość wyrobu na etapach projektowania i wytwarzania. W ISO/TS 16949 w punkcie 7.3.3.2 stwierdzono m.in., że dane wyjściowe z projektowania procesu produkcyjnego muszą obejmować rysunki oraz plany kontroli. Rysunek bez tolerancji geometryczno-wymiarowych jest niekompletny, plan kontroli bez jednoznacznego określenia na rysunku konstrukcyjnym, co ma być kontrolowane jest bezwartościowy. W podręczniku PPAP (*Production Part Approval Process*) *Proces zatwierdzania części produkcyjnych* [1] występuje w sposób jawny odwołanie do akronimu GDT. W podręczniku APQP (*Advanced Product Quality Planning*) *Planowanie jakości nowych uruchomień* przy opisie projektowania dla wytwarzania i montażu metodą projektowania współbieżnego stwierdzono, że zespół projektowy powinien uwzględnić odpowiednie tolerancje, przy czym należy sprawdzić, czy rysunki techniczne zawierają dość informacji dla kontroli wymiarów poszczególnych części.

2. Konieczność stosowania tolerancji geometrycznych

Wraz z rozwojem produkcji masowej i potrzebą zapewnienia zamienności części maszyn narodziło się tolerowanie. Początkowo tolerowano tylko wymiary [3], gdyż odchyłki kształtu, kierunku położenia i bicia występujące w sposób naturalny przy każdym

procesie produkcyjnym były znacznie mniejsze od możliwego do uzyskania zakresu zmienności wymiaru, a więc ich wpływ na montowalność i funkcjonalność części był pomijalny. Jednocześnie z zawężaniem tolerancji wymiaru w połowie XX wieku coraz silniej zarysowała się potrzeba wprowadzenia tolerancji geometrycznych, gdyż w przedmiocie rzeczywistym, którego powierzchnie nie są idealnymi płaszczyznami nachylonymi pod nominalnymi kątami nie można jednoznacznie określić i sprawdzić wymiaru długościowego (rys. 1). Warto zauważyć, że pierwszą praktycznie wprowadzoną tolerancją geometryczną było *bicie* promieniowe, które na rysunkach konstrukcyjnych pojawiło się w postaci opisu słownego metody pomiaru. Definicja bicia ma charakter czysto metrologiczny i oparta jest na łatwym do wykonania pomiarze. Na rysunkach wykonawczych zaczęto podawać w skrócie opis wymaganego pomiaru.



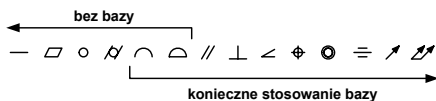
Rys. 1. a) Wysokość kostki dwustopniowej zdefiniowana na przedmiocie nominalnym za pomocą odchyłek granicznych. b) Na przedmiocie rzeczywistym nie można określić czy podane wymaganie jest spełnione – nad punktem A dolnej powierzchni kostki brak jest górnej powierzchni

Fig. 1. a) The two step block height is defined on the nominal part by limit deviations. b) On the actual part it is impossible to check whether the specified requirement is fulfilled – over A point indicated on bottom block surface does not exist any top surface

Zgodnie z najnowszymi ustaleniami przyjętymi w projekcie normy ISO/DIS 14405:2006 *Geometrical product specifications (GPS) – Dimensional tolerancing – Linear sizes /Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Tolerowanie wymiarów – Wymiary liniowe/* tolerowanie za pomocą odchyłek granicznych jest dopuszczalne tylko i wyłącznie dla wymiarów zewnętrznych lub wewnętrznych [5, 6] charakteryzujących elementy typu wałek/otwór lub dwie przeciwległe identyczne powierzchnie płaskie.

3. Tolerancje geometryczne

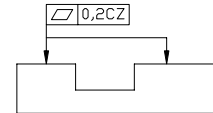
Norma PN-EN ISO 1101:2006 *Specyfikacje Geometrii Wyrobów (GPS) – Tolerancje geometryczne – Tolerancje kształtu, kierunku, położenia i bicia* została opublikowana w październiku 2006 roku. Norma PN-EN ISO 1101 wprowadza 14 symboli tolerancji geometrycznych (rys. 2).



Rys. 2. Symbole tolerancji geometrycznych zdefiniowane w PN-EN ISO 1101
Fig. 2. Symbols for geometrical tolerances defined in ISO 1101

Tolerancje kształtu dotyczą tylko elementu tolerowanego zaś tolerancje kierunku, położenia i bicia wymagają wskazania elementu bazowego. Tolerancje kształtu wyznaczonego zarysu oraz kształtu wyznaczonej powierzchni w zależności od zadanych wymagań funkcjonalnych mogą być stosowane bez elementu odniesienia lub z elementem odniesienia. Edycja ISO 1101: 2004 zastąpiła wydanie ISO 1101:1983 – *Technical drawings – Geometrical tolerancing – Tolerances of form, orientation, location and run-out – Generalities, definitions, symbols, indication on drawings /Rysunek techniczny – Tolerancje geometryczne – Tolerancje kształtu, kierunku, położenia i bicia – Podstawy, definicje, symbole, oznaczenie na rysunkach/*. Nowe wydanie nie zmienia w sposób istotny poprzednio stosowanych

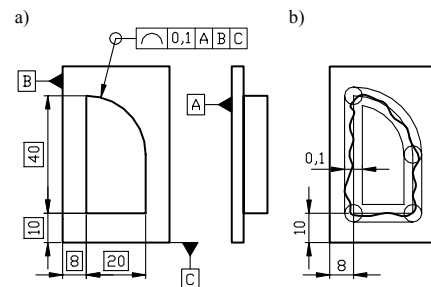
sposobów oznaczania tolerancji geometrycznych, ani interpretacji oznaczeń, przy czym należy podkreślić, że wyeliminowano te sposoby, które mogły prowadzić do niejednoznacznej specyfikacji i interpretacji. Usankcjonowano stosowanie oznaczenia wspólnego pola tolerancji przez symbol "CZ" podany w ramce tolerancji po wartości tolerancji (rys. 3) oraz symbolu "dookoła" (rys. 4) oznaczającego, że tolerancja kształtu wyznaczonego zarysu dotyczy całego zarysu wskazanego przekroju.



Rys. 3. Jedno, wspólne, pole tolerancji zastosowane dla dwóch oddzielnych powierzchni. Obydwie wskazane powierzchnie rzeczywiste powinny się równocześnie zawierać w przestrzeni między dwiema równoległymi płaszczyznami oddległymi o 0,2 mm

Fig. 3. One common tolerance zone defined for two separate surfaces. Two indicated actual surfaces shall be simultaneously contained between two parallel planes 0,2 mm apart

Norma ASME Y14.5M opracowana przez *Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Mechaników* obejmuje całość problematyki tolerowania wymiarów i geometrii. Dokument ten, liczący ponad 230 stron, prezentuje inne podejście do normalizacji, niż tradycyjnie przyjęte w ISO (a także w krajach europejskich), polegające na objęciu tematyki normalizacyjnej wieloma oddzielnymi dokumentami. Norma jest bogato ilustrowana; rysunki podają przejrzyste przykłady zastosowań i interpretacji tolerancji. Warto dodać, że swoistym załącznikiem do wspomnianej normy jest 82-stronicowa norma ASME Y14.5.1M: 1994 – *Engineering drawing and related documentation practices. Mathematical definition of dimensioning and tolerancing principles* zawierająca opis matematyczny tolerancji wymiarów i geometrii.



Rys. 4. Symbol „dookoła” – kółko dorysowane na linii wskazującej oznacza, że tolerancja kształtu wyznaczonego zarysu dotyczy całej powierzchni bocznej wskazanego występu w każdym przekroju równoległym do bazy A; a) specyfikacja – tolerancja kształtu wyznaczonego zarysu jako tolerancja położenia (układ baz odbiera wszystkie stopnie swobody); b) pole tolerancji i interpretacja wymagania

Fig. 4. Symbol „all around” – circle added on leader line means that profile tolerance of a line is applied to the entire lateral wall of the stud in each cross-section parallel to the datum A; a) Indication – tolerance of a line as location tolerance (datum system takes away all degrees of freedom); b) tolerance zone and the requirement explanation

Norma SEV 301 w związku z zmianami, które zaszły w Europie Środkowo-wschodniej ma już raczej charakter historyczny, niemniej została tu przywołana, gdyż podane w niej definicje tolerancji i odchyłek kształtu i położenia różnią się znacznie od przyjętych w ISO 1101. Norma ta była podstawą do opracowania wielu norm krajowych w naszej części Europy, w tym Polskiej Normy PN-78/M-02137: – *Tolerancje kształtu i położenia – Nazwy i określenia*, która została zastąpiona przez normę PN-EN ISO 1101:2006¹. Zgodnie z praktyką zalecaną przez ISO

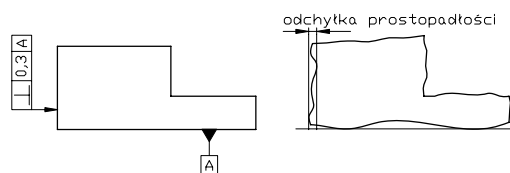
¹ W dalszej części artykułu, dla zachowania zwięzłości tekstu, norma PN-EN ISO 1101:2006 będzie często nazywana krótko normą ISO, zaś wycofana norma PN-78/M-02137 normą PN

specyfikacje podane na rysunku należy interpretować zgodnie z normami, które były stosowane w chwili sporządzania rysunku. Tak więc, tylko pozornie może się wydawać, że o normie PN-78/M-02137 można zapomnieć.

Wskutek rosnącego udziału koncernów międzynarodowych w krajowym przemyśle maszynowym doszło do niekorzystnej sytuacji, w której w Polsce używane są równoległe trzy wymienione powyżej normy. W wielu przypadkach użytkownicy rysunków konstrukcyjnych dostarczonych przez zleceniodawców nie są świadomi, do jakich norm odwoływał się konstruktor projektujący wyrób. Stwarza to niebezpieczeństwo, że symbole graficzne tolerancji geometrycznych – wspólne dla trzech norm – podane na rysunku są interpretowane niezgodnie z intencjami konstruktora. Inny problem to brak systematycznej wiedzy i interpretacja symboli tolerancji geometrycznych w sposób intuicyjny. Język obcy można znać w sposób bierny lub czynny, na poziomie podstawowym lub zaawansowanym – podobnie inżynier mechanik w wielu przypadkach potrafi jedynie interpretować tolerancje geometryczne podane na rysunku konstrukcyjnym i specyfikować najprostsze wymagania, nie posiada natomiast pełnej umiejętności specyfikacji bardziej złożonych przypadków wymagań dokładności geometrycznej.

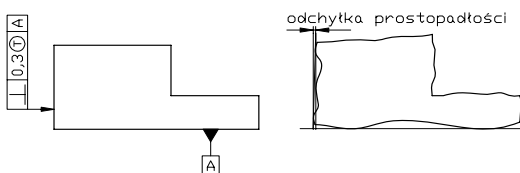
Tolerancje prostoliniowości, płaskości, okrągłości i walcowości w normach ISO 1101, ASME Y14.5M oraz PN-78/M-02137 są oznaczone tymi samymi symbolami i interpretowane identycznie – w polu tolerancji powinna zawierać się powierzchnia zaobserwowana (lub profil zaobserwowany). Wg norm ISO i ASME do wyznaczenia odchyłki preferowana jest metoda minimalnej strefy, zaś PN do wyznaczenia odchyłki kształtu zaleca wykorzystanie elementu przylegającego.

Tolerancje równoległości, prostokątności i nachylenia określane w normach ISO 1101 i ASME Y14.5M wspólnym terminem tolerancji kierunku w normach tych interpretowane są jako wymagania dotyczące elementu zaobserwowanego (linii lub powierzchni) podczas, gdy PN-78/M-02137 wymaga, aby w polu tolerancji równoległości, prostokątności i nachylenia znajdował się element zastępczy. Tak więc, w ISO i ASME tolerancje kierunku ograniczają również odchyłki kształtu tolerowanych powierzchni (rys. 5). Norma ASME poprzez stosowanie modyfikatora *Tangent plane* (*Płaszczyzna przylegająca*) daje możliwość tolerowania elementu zastępczego, ale tylko płaskościny (rys. 6).



Rys. 5. Tolerancja prostokątności specyfikacja i interpretacja wg norm ISO 1101 i ASME Y14.5M

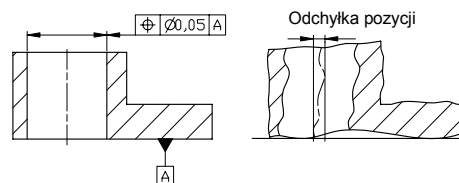
Fig. 5. Specification and explanation of perpendicularity tolerance according to ISO 1101 and ASME Y14.5M standards



Rys. 6. Tolerancja prostokątności specyfikacja i interpretacja wg normy ASME Y14.5M przy zastosowaniu modyfikatora płaszczyzna przylegająca (wartość odchyłki jest identyczna jak wyznaczona w oparciu o PN – oczywiście przy specyfikacji wg PN ramka tolerancji nie zawiera modyfikatora T)

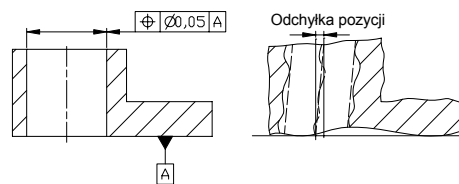
Fig. 6. Specification and explanation of perpendicularity tolerance with modifier tangent plane according to ASME Y14.5M standard. The assessed deviation is equal to value assessed according to withdrawn Polish Standard in which contacting plane was used as default

Tolerancje współosiowości, symetrii i pozycji określone w normach ISO 1101 i ASME Y14.5M wspólnym terminem *tolerancji położenia* w normach tych są interpretowane odmiennie. Jeszcze inaczej tolerancje te są interpretowane w PN-78/M-02137. Występują pewne wspólne interpretacje tych samych symboli, ale nie można w sposób ogólny wskazać, które interpretacje są wspólne. Wg ISO zawsze elementem tolerowanym jest powierzchnia lub linia rzeczywista; oznacza to, że tolerancje położenia wg ISO ograniczają zarówno odchyłki kształtu jak i kierunku rozpatrywanego elementu (rys. 7). Zgodnie z PN zawsze elementem tolerowanym jest element zastępczy – płaszczyzna lub oś. W ASME w przypadku tolerancji pozycji tolerowany jest element zastępczy (oś walca przylegającego do otworu/wałka lub zastępcza płaszczyzna symetrii), co odpowiada interpretacji wg PN (rys. 8). Wg ASME tolerancję pozycji można stosować tylko dla elementów typu wałek/otwór lub dwie przeciwległe identyczne powierzchnie płaskie, takiego ograniczenia nie sformułowano w ISO. W ASME w przypadku tolerancji symetrii tolerowana jest zaobserwowana powierzchnia środkowa, co odpowiada tolerancji symetrii zgodnie z ISO. Tolerancja współosiowości wg ASME jest bardzo specyficznym wymaganiem – chmura punktów środkowych w każdym przekroju powinna się zawierać w walcowym polu tolerancji – i nie odpowiada tolerancji współosiowości ani wg ISO ani wg PN. Odchyłka współosiowości zdefiniowana w ASME jest trudna do sprawdzenia. Tolerancja współosiowości wg ASME powinna być stosowana z największą rozwagą.



Rys. 7. Specyfikacja tolerancji pozycji wg ISO i interpretacja. Interpretacja jest identyczna jak w przypadku tolerancji prostokątności zarówno wg ISO jak i ASME

Fig. 7. Specification and explanation of position tolerance according to ISO. Explanation is just like for perpendicularity tolerance according to ISO and ASME



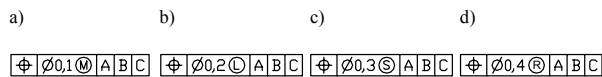
Rys. 8. Specyfikacja tolerancji pozycji wg ASME i PN oraz interpretacja jest identyczna. ISO nie daje narzędzi do specyfikacji tak zinterpretowanego wymagania

Fig. 8. Specification and explanation of position tolerance according to ASME and withdrawn PN ISO is similar. ISO does not supply tools to specify such functional requirement

Oznaczanie i interpretacja tolerancji bicia promieniowego i osiowego oraz bicia całkowitego promieniowego i osiowego są identyczne we wszystkich trzech normach, tak więc ich interpretacja nie powinna nastęrczać trudności.

W ramach tolerancji na rysunkach konstrukcyjnych można spotkać również modyfikatory oznaczone literami „M”, „L”, „R” oraz „S” ujętymi w kółka (rys. 9). Warunki „M” - *maksimum materiału* oraz „L” - *minimum materiału* są interpretowane identycznie w normach międzynarodowych, amerykańskich i polskich. Oznaczenie „R” - *warunek wzajemności* [6] jest nowym oznaczeniem proponowanym w projekcie normy ISO DIS 2692 *Geometrical Product Specification (GPS) - Geometrical tolerancing - Maximum material requirement (MMR) Least*

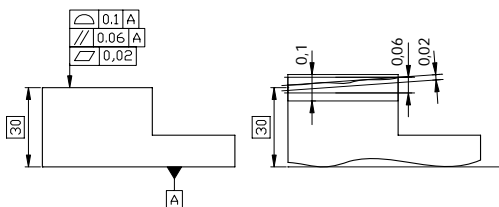
material requirement (LMR) and Reciprocity requirement (RPR) analogicznym do warunku „M” - tolerancja wymiaru może być zwiększona w przypadku, gdy zaobserwowana odchyłka geometryczna jest mniejsza od podanej na rysunku. Nie jest istotne jak część pola tolerancji jest wykorzystywana przez odchyłkę wymiaru, a jaka przez odchyłkę geometryczną – najczęściej przy tolerancji pozycji lub prostopadłości, ważne jest, aby możliwy był montaż współpracujących części. Oznaczenie „S” - RFS (*Regardless of Feature Size/Bez względu na wymiar zaobserwowany*) podane w ASME jest obecnie oznaczeniem nadmiarowym, gdyż koncepcja RFS jest obecnie zasadą domyślną w normie amerykańskiej. Stosownie do tego, oznaczenie to było obowiązkowe wg poprzedniej wersji normy ANSI Y14.5-1982.



Rys. 9. Przykłady ramek ze specyfikacją tolerancji pozycji i zastosowaniem modyfikatorów.
a) warunek maksimum materiału zdefiniowany identycznie w ISO, ASME i PN; b) warunek minimum materiału zdefiniowany identycznie w ISO, ASME i PN; c) warunek *bez względu na wymiar zaobserwowany* wg poprzedniej wersji normy ANSI Y14.5-1982; d) warunek wzajemności zdefiniowany w projekcie normy ISO DIS 2692

Fig. 9. Tolerance frames with position tolerance and modifiers.
a) Maximum material requirement has the same indication and explanation in ISO, ASME and PN; b) Least material requirement has the same indication and explanation in ISO, ASME and PN; c) Regardless feature size modifier used in ANSI Y14.5-1982; d) Reciprocity requirement defined in draft ISO DIS 2692

Na rys. 10 przedstawiono poprawny sposób tolerowania kostki z rys. 1 z wykorzystaniem możliwości oferowanych przez normę ISO 1101, tak aby można było jednoznacznie ocenić czy spełnione są wyspecyfikowane wymagania. Usytuowanie powierzchni górnej należy określić przez tolerancje kształtu wyznaczonej powierzchni – zaobserwowana powierzchnia górna powinna zawierać się między dwiema płaszczyznami odległymi od siebie o 0,1 mm równoległymi do bazy A przy czym środek pola tolerancji jest ustalony przez wymiar teoretycznie dokładny i znajduje się w odległości 30 mm od płaszczyzny przylegającej do dolnej powierzchni kostki. Warto zauważyć, że tolerancje kształtu, kierunku oraz położenia w coraz bardziej restrykcyjny sposób ograniczają usytuowanie tolerowanej powierzchni w przestrzeni poprzez odbieranie polu tolerancji kolejnych stopni swobody.



Rys. 10. Prawidłowe tolerowanie powierzchni górnej kostki zapewniające jednoznaczne stwierdzenie, czy spełnione są podane wymagania funkcjonalne – specyfikacja i interpretacja

Fig. 10. Correct tolerancing of the block top surface that provide unique assessment whether specified functional requirements are fulfilled – indication and explanation

4. Wnioski

Należy niestety stwierdzić, że wśród polskich inżynierów znajomość zagadnień tolerancji geometrycznych jest na ogół

słaba, co wynika m. in. z niedostatecznego uwzględniania problematyki tolerancji geometrycznych w programach nauczania na wydziałach mechanicznych politechnik. Stoi to w jaskrawej sprzeczności z wymaganiami norm dotyczących systemów zarządzania jakością, szczególnie w odniesieniu do przemysłu motoryzacyjnego oraz potrzebami firm poszukujących specjalistów w tym zakresie. Dodatkowym niebezpieczeństwem jest to, że nasi inżynierowie stykają się z tymi samymi oznaczeniami graficznymi tolerancji stosowanymi w trzech normach (ISO 1101, ASME Y14.5M, PN-78/M-02137), przy czym nie zawsze ten sam znak graficzny ma identyczną interpretację. Ze względu na rosnącą liczbę koncernów międzynarodowych otwierających swoje oddziały w Polsce oraz dążenie krajowego przemysłu do udziału w kooperacji międzynarodowej konieczna jest edukacja w tym zakresie, co zauważono w polskich oddziałach czołowych koncernów międzynarodowych takich jak TRW, Eaton, czy General Electric. Koszty szkoleń zwracają się w bardzo krótkim okresie dzięki obniżce kosztów produkcji uzyskanej przez świadome i optymalne stosowanie tolerancji geometrycznych. Przedmiot opisany rysunkiem konstrukcyjnym z poprawnie wyspecyfikowanymi tolerancjami geometrycznymi może być wyprodukowany przez dostawcę z dowolnego kraju na świecie, jeżeli stosuje on te same normy ISO (albo ASME) co zamawiający.

Literatura monograficzna poświęcona problematyce tolerancji geometryczno-wymiarowych obejmuje kilkanaście pozycji. W języku polskim wyczerpujący opis zawiera podręcznik [6] opracowany przez międzynarodowy zespół ekspertów z sześciu uczelni europejskich, w którym omówiono m.in. najnowszą edycję normy ISO 1101. W zapowiedziach wydawniczych sygnalizowane jest rozszerzone i poprawione wydanie [5]. W solidnym poradniku [4] liczącym ponad 700 stron przedstawiono szereg norm ASME, w tym ASME Y14.5M. Czytelnikom niemieckojęzycznym można zarekomendować [8], zaś wszyscy interesujący się problematyką tolerancji geometryczno-wymiarowych powinni regularnie odwiedzać stronę internetową Komitetu Technicznego ISO/TC213 [9], gdyż normy opisujące tolerancje geometryczne są nieustannie przeglądane, rozwijane i doskonalone.

Referat na powyższy temat był prezentowany na sympozjum „Metrologia w Systemach Zarządzania Jakością”, zorganizowanym przez Klub PF ISO 9000 w Wadowicach w dniach 18-20 października 2006 r.

5. Literatura

- [1] Bramorski T., Łuczak J.: QS-9000 system jakości dostawców na rynek motoryzacyjny, Quality Progress, Poznań 1999.
- [2] Białas S.: Tolerancje wielkości geometrycznych w pracach ISO/TC 213. Normalizacja, nr 9, s. 3-8, 1998.
- [3] Białas S.: Tolerancje geometryczne w specyfikacjach geometrii wyrobów. Mechanik, nr 3, s. 140-144, 2003.
- [4] Drake P. J. Jr.: Dimensioning and tolerancing handbook, McGraw-Hill, New York, 1999.
- [5] Henzold G.: Handbook of Geometrical Tolerancing. Design, Manufacturing and Inspection, John Wiley & Sons, Chichester, 1995.
- [6] Humienny Z. (red): Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – podręcznik europejski. WNT, 2004.
- [7] Jakubiec W., Malinowski J.: Metrologia wielkości geometrycznych. WNT, 2004.
- [8] Trumpold, H.; Beck, Ch.; Richter, G.: Toleranzsysteme und Toleranzdesign – Qualität im Aus-tauschbau. Munich: Carl Hanser, 1997.
- [9] <http://isotc213.ds.dk> – Home page of ISO TC 213.