FOLIA FORESTALIA POLONICA
Seria B, zeszyt 27, 1996

ZNACZENIE KRZYWYCH UDZIAŁU NOŚNEGO W OBSZARZE TOLERANCJI POŁĄCZENIA CZOPOWEGO

Alina Staniszewska, Wiesław Zakrzewski, Jan Żurek

Katedra Obrabiarek i Urządzeń Przemysłowych
Akademii Rolniczej w Poznaniu

W pracy badano udział skrajni zarysu nierówności w obszarze tolerancji złącza typu czop-gniazdo. Wyznaczono tolerancje wykonania i krzywe nośności występujące w warunkach przemysłowych. Posługując się obrazami graficznymi pasowań poszerzonymi o udział skrajni zarysu nierówności podjęto próbę wyjaśnienia zjawiska komprymacji wymiarów wynikających ze zmian wilgotności w trakcie montażu i użytkowania mebla.

Słowa kluczowe: gniazdo, czop, tolerancja, chropowatość

WSTĘP

Na dokładność wykonania składa się dokładność wymiaru, kształtu i struktury geometrycznej powierzchni. W dotychczasowych opracowaniach dotyczących dokładności wykonania połączenia czopowego wystąpiły dwie cechy dokładności obróbki: tolerancja wymiaru i błędy kształtu [Staniszewska i in. 1994 Staniszewska i Zakrzewski 1990 i 1995]. Błędy kształtu stanowią integralną część statystycznego sposobu wyznaczania wymiarowej dokładności obróbki.

Model wymiarowego kontaktu powierzchni rzeczywistych, poszerzony o nierówności powierzchni elementów połączenia czopowego, ułatwia tłumaczenie takich faktów jak pęcznienie i kurczenie się drewna, dobór tolerancji pasowań itp.

Spośród rozkładów statystycznych, opisujących cechy profilu nierówności powierzchni w metrologii, szersze zastosowanie ma tylko udział nośny profilu

w funkcji poziomu jego przecięcia (zbliżenia), określany również jako liniowy stopień przylegania. Krzywa udziału nośnego profilu zwana skrajnią zarysu nierówności powierzchni jest właściwością, która mówi o zdolności przenoszenia obciążeń w elementach kojarzonych (o jakości połączeń). Nierówności, ułożone według wzrastającej wysokości, na długości odcinka pomiarowego, tworzą krzywą Abbotta, charakteryzującą zmienność powierzchni nośnej w funkcji wysokości przekroju [Staniszewski 1983].

Skrajnia zarysu nierówności jest szeregowym rozwinięciem rzeczywistej powierzchni elementów kojarzonych czyli powierzchni ograniczającej przedmiot od otaczającego ośrodka, stanowiąc krzywą udziału nośnego.

W literaturze przedmiotu jedyne rozważania teoretyczne umożliwiające rozumienie skrajni zarysu nierówności zostały podjęte w KOiUP AR w Poznaniu [Palka i in. 1978, Staniszewski i in. 1983].

W pracy podjęto próbę przedstawienia łącznie elementów składowych dokładności wykonania tj. wymiaru, kształtu i struktury geometrycznej powierzchni połączenia czopowego.

Celem pracy jest określenie udziału skrajni zarysu nierówności w obszarze tolerancji na przykładzie złącza gniazdo-czop. Cel ten postanowiono osiągnąć wyznaczając tolerancje wykonania i krzywe nośności dla połączenia gniazdo - czop występującego w warunkach przemysłowych.

OPIS PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Materiał doświadczalny i warunki obróbki

Przedmiotem badań było złącze gniazdowo - czopowe oskrzyń bocznych z tylnymi nogami krzesła typ 24-01 produkcji eksportowej Swarzędzkich Fabryk Mebli. Krzesła wyprodukowano z drewna dębowego i bukowego. Do badań przyjęto elementy połączenia wykonane w drewnie bukowym. Wilgotność elementów wynosiła średnio 10%, zatem kształtowała się na poziomie wilgotności odniesienia dla tolerancji wg BN-81/7140-11.

Czopy w oskrzyniach frezowano na czopiarce obwiedniowej firmy "Bacci - Casina" narzędziem złożonym z głowicy frezarskiej i piły tarczowej. Czopowanie wykonywano z lekką zbieżnością w kierunku końca czopa, umożliwiając łatwiejszy montaż połączenia. Gniazda obrabiano na wiertarko - frezarce oscylacyjnej firmy Brevettata przy użyciu wiertła śrubowego z kolcem środkującym i krajakami.

Sposób pomiaru wymiarów liniowych i wyznaczanie dokładności wykonania

Dokładność wymiarowego wykonania wyraża się rozrzutem nazywanym tolerancją zaobserwowaną. W pracy przyjęto, że w połączeniu tolerowane są wymiar grubości czopa w oskrzyni oraz szerokości gniazda wykonanego w nodze tylnej krzesła. Wybór tych wymiarów jest uzasadniony względami konstrukcyjnymi mebla.

Pomiary grubości czopa i szerokości gniazda wykonano suwmiarką elektroniczną produkcji VIS typu 150E 24F z odczytem cyfrowym o dokładności 0,01 mm. Elementy badane pobierano losowo bezpośrednio przy obrabiarce, zgodnie z PN/N-03010 "Statystyczna kontrola jakości". Pomiaru dokonywano trzykrotnie na długości czopa oraz w trzech miejscach na szerokości gniazda, przy 30 - elementowej próbie.

Podczas pomiaru grubości czopa i szerokości gniazda założono, że powierzchnie pomiarowe szczęk suwmiarki znajdować się będą na wierzchołkach nierówności.

Traktując badany wymiar jako zmienną losową obliczono średnią arytmetyczną wyników pomiarów i odchylenie standardowe σ. Wartość sześciu odchyleń standardowych stanowiących rozrzut wymiaru nazywany jest w pracy tolerancją zaobserwowaną (wykonania).

Tolerancja wymiaru jest różnicą między górnym i dolnym wymiarem zaobserwowanym (różnicą algebraiczną odchyłki zaobserwowanej górnej i dolnej):

$T_r = B_r - A_r = (\bar{x} + 3\sigma) - (\bar{x} - 3\sigma) = 6\,\sigma$

gdzie:

B_r – wymiar zaobserwowany górny

A_r – wymiar zaobserwowany dolny

Tolerancja zaobserwowana musi spełniać warunek: $T_r \leq T_z$

gdzie T_z - tolerancja znormalizowana wg BN-81/7140-11

W tym przypadku tolerancja znormalizowana jest różnicą pomiędzy górnym i dolnym wymiarem dopuszczalnym (odpowiednio B_z i A_z).

Sposób wyznaczania pasowania

Na podstawie analizy wymiarów zaobserwowanych elementów kojarzonych określono rodzaj pasowania. Dla wyrobów z drewna przyjęto zasadę stałego otworu. Otworem podstawowym nazwano otwór, którego dolny wymiar zaobserwowany jest równy wymiarowi nominalnemu tzn. $A_{ro} = N$. W pracy, zależnie od potrzeby, przyjęto przy opisie symboli następującą kolejność indeksów: r - zaobserwowane, z - znormalizowane, o - gniazdo (otwór), w - czop (wałek).

Tolerancje wymiarów oraz luzy i wciski pasowań są niewspółmiernie małe w porównaniu z wymiarami nominalnymi kojarzonych wałków (czopów) i otworów (gniazd). Przedstawiając je graficznie (w dużym powiększeniu) zrezygnowano z rysowania wałka i otworu, ograniczając się do pokazania linii zerowej odpowiadającej wymiarowi nominalnemu. Linię zerową przedstawia się w postaci odcinka prostej poziomej, z zerami na jego końcach. Zamiast wymiarów nad linią zerową odkłada się odchyłki dodatnie, natomiast odchyłki ujemne pod linią zerową. Obrazem otworów i wałków są zatem prostokąty o wysokościach równych tolerancjom wymiarów i długościach odcinków pomiarowych chropowatości zwane polami tolerancji (odpowiednio przesunięte w stosunku do linii zerowej). Z położenia prostokątów przedstawiających wałek i otwór, wnioskuje się o luzach oraz wciskach pasowania.

Luz minimalny jest różnicą pomiędzy zaobserwowanymi wymiarami, dolnym otworu i górnym czopa:

$L_{rmin} = A_{ro} - B_{rw} = EI_{ro} - es_{rw}$

gdzie:

EI_{ro} - odchyłka zaobserwowana dolna otworu,

es_{rw} - odchyłka zaobserwowana górna czopa

Wcisk maksymalny W_{max} jest ujemną wartością minimalnego luzu. Luz maksymalny jest natomiast różnicą pomiędzy zaobserwowanymi wymiarami górnym otworu, a dolnym czopa:

$L_{rmax} = B_{ro} - A_{rw} = ES_{ro} - ei_{rw}$

gdzie:

ES_{ro} - odchyłka zaobserwowana górna otworu,

ei_{rw} - odchyłka zaobserwowana dolna czopa

Wcisk minimalny W_{min} jest ujemną wartością maksymalnego luzu.

Dobór pasowania znormalizowanego, (wg BN-81/7140-11) wynika ze znajomości pasowania zaobserwowanego. *Przy jego doborze należy kierować się zasadą, że tolerancje zaobserwowane dla gniazda i czopa powinny być zawarte w wartościach znormalizowanych, spełniając warunek minimalnych różnic. Warunek ten powinny również spełniać odchyłki i luzy.*

Tolerancja pasowania $T_{pr} = L_{rmax} - L_{rmin} = T_{ro} + T_{rw}$

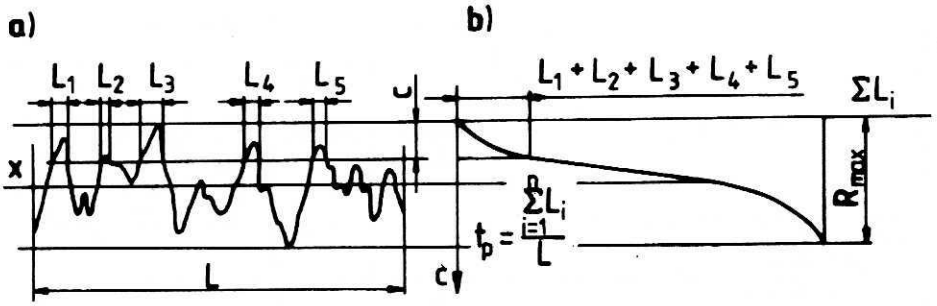
Parametry chropowatości powierzchni

Parametrem chropowatości powierzchni wg PN-84/D-01005 jest między innymi największa wysokość nierówności profilu R_z według 10 punktów, którą wyznaczono korzystając z profilogramów. Pomiar chropowatości powierzchni przeprowadzono metodą stykowego odwzorowania profilu nierówności powierzchni używając profilografometru typu Kalibr WZI-252. Profil nierówności powierzchni rejestrowano na długości odcinka pomiarowego L = 32 mm, uznając go za reprezentatywny do obliczeń parametrów chropowatości powierzchni i liniowego udziału nośnego profilu. Długość odcinka pomiarowego uwarunkowana była wymiarami elementów połączenia, tj. długością gniazda i szerokością czopa. Pomiar chropowatości powierzchni (rejestrowany na profilogramie) prowadzono na próbkach bliźniaczych, aby uniknąć zniszczenia pełnowartościowego materiału. Rozbieżności pomiędzy chropowatością powierzchni prawego i lewego złącza były nieistotne. Różnice wystąpiły w wymiarowej dokładności wykonania złącz i wynikały z nastawienia obrabiarki na wymiar.

Profilogramy wykonano dla próbek bliźniaczych, obejmujących 10 szt. czopów i 10 szt. gniazd, obustronnie na powierzchniach elementów w trzech ścieżkach na długości czopa i głębokości gniazda. Z uwagi na techniczne ograniczenie wynikające z końcówki profilografometru, w celu pomiaru chropowatości powierzchni wewnętrznych gniazda zostały rozpiłowane. Największa wysokość nierówności profilu R_{max} jest to odległość między linią wzniesień i linią wgłębień profilu.

Wyznaczanie udziału nośnego profilu

Liniowy udział nośny profilu nierówności jest równy stosunkowi sumy długości odcinków przecięć profilu przez linię równoległą do linii średniej profilu do długości odcinka pomiarowego, dla założonego poziomu przecięcia c (rys.1). Jest zatem równy prawdopodobieństwu wystąpienia profilu dla zbliżenia mniejszego od wartości c [Nowicki 1991].



Rys.1. Zasada konstrukcji krzywej nośności
a) - fragment profilogramu, b) - sposób wyznaczania udziału nosnego profilu nierówności
Fig.1. The principle of construction of the load capacity curve
a) - a fragment of a profilogram, b) - a procedure of a determination of the participation of an inequality of loading profile

Wartości udziału nośnego i poziomu przecięcia profilu mogą być podawane w wartościach względnych lub procentach. Wartość t_p podaje się łącznie z poziomem przecięcia c, np. t_{p20} = 30 %, co oznacza, że dla c = 20% R_{max} udział nośny wynosi 30%. Przyjęto 10 poziomów przecięcia dla każdego profilogramu.

Wykres udziału nośnego w funkcji poziomu przecięcia (krzywa nośności, wykres Abbotta - Firestone'a) wyznaczany jest w układzie współrzędnych (rys.1), związanym z najwyższym wierzchołkiem profilu występującym na długości odcinka pomiarowego.

Przyjęto, że wymiar zaobserwowany jest odległością linii wierzchołkowej profilów nierówności na powierzchniach ograniczających wymiar zewnętrzny, np. grubości czopa i wymiar wewnętrzny szerokości gniazda. Założono, że szczęki pomiarowe suwmiarki w czasie pomiaru spoczywają na linii wierzchołkowej nierówności.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

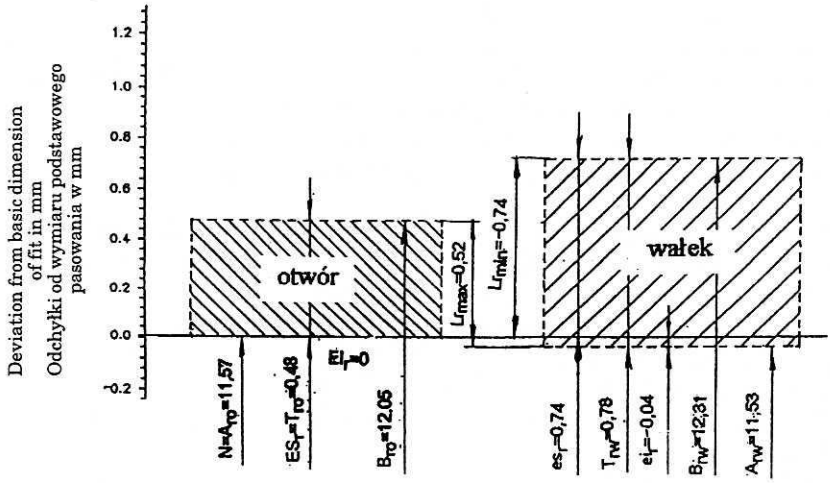
Wyniki statystycznego obliczania tolerancji połączeń czopowych

Wyniki obliczeń statystycznych tolerancji wykonania szerokości gniazda nogi tylnej (prawej i lewej) oraz grubości czopa w oskrzyniach bocznych dla krzesła typu 24-01 zawiera tab. 1 i ilustrują rys. 2, 3.

Tabela 1
Table 1

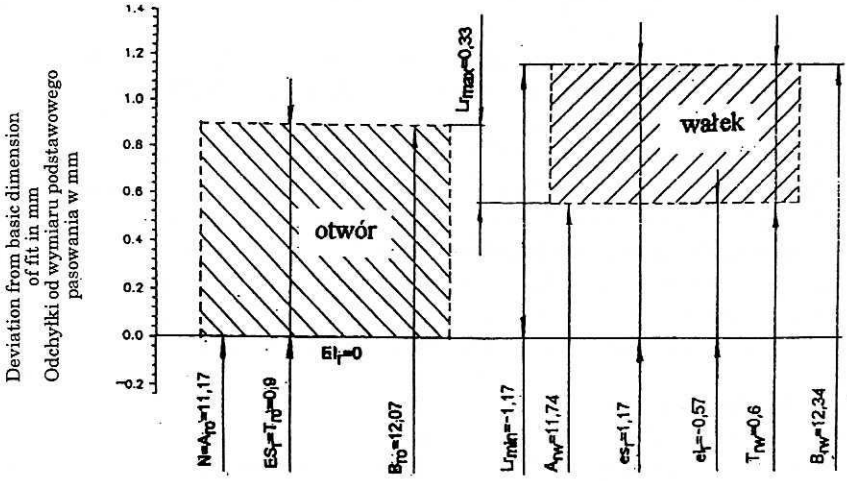
Wyniki obliczeń statystycznych i doboru tolerancji pasowania szerokości gniazda i grubości czopa nogi tylnej z oskrzynią boczną krzesła typu 24-01
Results of static calculations and choises of fit tolerance of the seat width and the back leg tenon thickness with the lateral box of the 24-01 type chair

Wielkość *Value*	**Oznaczenie** *Designation*	**Wartości liczbowe w mm** *Numerical values in mm*			
		złącze prawe *right joint*		**złącze lewe** *left joint*	
		gniazdo (o) *seat (o)*	**czop (w)** *tenon (w)*	**gniazdo (o)** *seat (o)*	**czop (w)** *tenon (w)*
Średnia arytmetyczna w mm *Arythmetic mean in mm*	$\overline{x}$	11,81	11,92	11,62	12,04
Liczba pomiarów w mm *Number of measurment in mm*	n	30	30	30	30
Odchylenie standardowe w mm *Standard deviation in mm*	σ	0,08	0,13	0,15	0,10
Tolerancja zaobserwowana w mm *Observed tolerance in mm*	T_r	0,48	0,78	0.90	0,60
Górny wymiar zaobserwowany w mm *Upper observed dimension in mm*	B_r	12,05	12,31	12,07	12,34
Dolny wymiar zaobserwowany w mm *Lower observed dimension in mm*	A_r	11,57	11,53	11,17	11,74
Wymiar nominalny pasowania w mm *Nominal dimension of fit in mm*	$N=A_{rn}$	11,57	11,57	11,57	11,57
Odchyłka górna gniazda w mm *Upper deviation of seat in mm*	ES_r	0,48	-	0,90	-
Odchyłka dolna gniazda w mm *Lover deviation of seat in mm*	EI_r	0	-	0	-
Odchyłka górna czopa w mm *Upper deviation of tenon in mm*	es_r	-	0,74	-	1,17
Odchyłka dolna czopa w mm *Lower deviation of tenon in mm*	ei_r	-	-0,04	-	0,57
Luz maksymalny w mm *Maximal clearance in mm*	L_{rmax}	0,52		0,33	
Luz minimalny w mm *Minimal clearance in mm*	L_{rmin}	-0,74		-1,17	
Tolerancja pasowania w mm *Tolerance of fit in mm*	T_{nr}	1,26		1,50	
Klasa dokładności wg BN-81/7140-11 *Class of accuracy by BN-81/7140-11*		6	9	8	9
Zapis pasowania *Fit notation*		11,57 H6/k9 lekko wciskane *light forced*		11,17 H8/n9 bardzo mocno wciskane *very strong forced*	



Light fit - 11,57 H6/k9
Pasowanie lekko wciskane - 11,56 H6/k9

Rys. 2. Obraz pól tolerancji wykonania gniazda w prawej nodze z czopem w oskrzyni bocznej krzesła typ 24-01
Fig. 2. The image of tolerance area of the seat execution in a right leg with the tenon in a lateral box of a 24-01 type chair



Very strong fit - 11,57 H8/n9
Pasowanie bardzo mocno wciskane - 11,17 H8/n9

Rys. 3. Obraz pól tolerancji wykonania gniazda w lewej nodze tylnej z czopem w oskrzyni bocznej krzesła typ 24-01
Fig. 3. The image of tolerance area of the seat execution in a left back leg with the tenon in a lateral box of a 24-01 type chair

Jak wynika z tab. 1 dla połączenia prawego tolerancja wykonania gniazda T_{ro} = 0,48 mm i czopa T_{rw} = 0,78 mm. Z tabeli 1 wynika, że wymiar zaobserwowany gniazda można zapisać: $11{,}81^{+0{,}24}_{-0{,}24}$ zaś czopa $11{,}92^{+0{,}39}_{-0{,}39}$. Gdyby elementy te połączyć ze sobą (gniazdo - czop) to według rys.2 wymiarem

nominalnym pasowania jest wymiar $N = A_{ro} = 11{,}57$ mm i można się spodziewać występowania luzów $L_{rmax} = 0{,}52$ mm i $L_{rmin} = 74$ mm ($W_{max} = 0{,}74$). Tolerancja pasowania $T_{pr} = L_{rmax} - L_{rmin} = T_{ro} + T_{rw} = 1{,}26$ mm, jest przedziałem zmienności luzów w badanym złączu.

Wyniki obliczeń statystycznych zawierają informację ułatwiającą ustalenie rodzaju pasowania, oraz decydują o klasie dokładności wykonania połączenia (tabela 1).

Pasowanie prawego złącza, zgodnie z danymi w tabeli 1 zilustrowanymi na rysunku 2, przy zachowaniu zasady $T_{zo(w)} \geq T_{ro(w)}$, oraz zgodnie z BN-81/7140-11, ustalono jako 11,57 H6/k9 - tzw. lekko wciskane.

Z porównania wymiarów i luzów zaobserwowanych ze znormalizowanymi wynikają następujace nierówności:

$B_{ro} = 12{,}05 < B_{zo} = 12{,}12$
$A_{ro} = 11{,}57 = A_{zo} = 11{,}57$
$B_{rw} = 12{,}31 < B_{zw} = 12{,}49$
$A_{rw} = 11{,}53 > A_{zw} = 11{,}27$

$L_{rmax} = 0{,}52 < L_{zmax} = 0{,}85$
$L_{rmin} = -0{,}74 > L_{zmin} = -0{,}92$

Na rys.3 pokazano wzajemne usytuowanie pola tolerancji gniazda $T_{ro} = 0{,}9$ mm i czopa $T_{rw} = 0{,}6$ mm dla połączenia oskrzyni bocznej z lewą tylną nogą krzesła typ 24-01. W połączeniu tym występują następujące luzy $L_{rmax} = 0{,}33$ mm i $L_{rmin} = -1{,}17$ mm (czyli wcisk $W_{max} = 1{,}17$ mm).

Tolerancja pasowania T_{pr} wynosi:

$T_{pr} = L_{rmax} - L_{rmin} = T_{ro} + T_{rw} = 1{,}50$

W porównaniu z połączeniem czopowym prawej nogi tylnej z oskrzynią boczną krzesła (tab.1) tolerancja ma wartość większą (mniejsza dokładność wykonania).

Pasowanie to można zapisać wg BN-81/7140-11 jako bardzo mocno wciskane o symbolu 11,17 H8/n9 z wymiarami gniazda $11{,}17^{+0{,}93}$ i czopa $11{,}17^{+2{,}04}_{-0{,}71}$. Należy powiedzieć, że rodzaj przyjętego pasowania wiąże się z wartościami luzów (wcisków) jakie wystąpią dla najgorszej jakości wykonania.

Luzy znormalizowane połączenia wynoszą: $L_{zmax} = 1{,}64$ mm, $L_{zmin} = 2{,}04$ mm, a z porównania obszaru dopuszczalnej zmienności wymiarów (wg BN-81/7140-11) z polem ich rozrzutu 6σ wynikają nierówności:

$B_{ro} = 12{,}07 < B_{zw} = 12{,}10$
$A_{ro} = 11{,}57 = A_{zo} = 11{,}17$
$B_{rw} = 12{,}34 < B_{zw} = 13{;}21$
$A_{rw} = 11{,}74 > A_{zw} = 10{,}46$

$L_{rmax} = 0{,}33 < L_{zmax} = 1{,}64$
$L_{rmin} = -1{,}17 > L_{zmin} = -2{,}04$

Wyniki pomiarów chropowatości powierzchni i udziału nośnego profilu

Pomiar chropowatości, zależnie od głębokości gniazda wykazywał wzrost wysokości nierówności. Największa wartość wysokości nierówności występuje w pobliżu dna gniazda i zdaniem autorów uwarunkowana jest zmniejszającą się sztywnością narzędzia. Na wiertarko - frezarce pracowano przy użyciu wierteł śrubowych przystosowanych do pracy jedynie krawędziami czołowymi.

Tabela 2
Table 2

Udział nośny profilu i parametry chropowatości powierzchni elementów połączenia czopowego oskrzyni bocznej z nogą tylną krzesła typu 24-01
Load participation of profile and surface roughness parameters of elements of tenon joint of the lateral box with the back leg of the 24-01 type chair

Poziom przecięcia c (%) *Cut level*	**Udział nośny profilu tp (%)** *Load participation of profile*		**Wysokość nierówności Rz (μm)** *Inequality height*		**Maksymalna wysokość nierówności Rmax (μm)** *Maximal inequality height*	
	gniazdo (o) *seat (o)*	**czop (w)** *tenon (w)*	**gniazdo (o)** *seat (o)*	**czop (w)** *tenon (w)*	**gniazdo (o)** *seat (o)*	**czop (w)** *tenon (w)*
10	4,1	4,1	275	304	360	360
20	10,3	8,9				
30	18,0	15,4				
40	27,4	24,6				
50	43,8	46,5				
60	64,4	74,6				
70	79,4	84,2				
80	91,2	90,4				
90	95,8	95,8				

Tabela 2 zawiera wyniki parametrów chropowatości powierzchni dla połączenia gniazdo - czop oraz udziału nośnego profilu. Z danych tabelarycznych, przy użyciu komputera obliczono krzywą udziału nośnego profilu gniazda w funkcji poziomu przecięcia (rys. 4), więc opisując ją równaniem:

$$R = 0{,}0229L^3 - 1{,}147L^2 + 23{,}75L + 0 \qquad (\mu m)$$

Krzywa udziału nośnego jest szeregowym rozwinięciem rzeczywistego profilu czyli tego, który oddziela od otaczającego ośrodka elementy połączenia. W pracy nazywana będzie skrajnią zarysu nierówności. Rys. 5 ilustruje krzywą udziału nośnego profilu (zwaną skrajnią zarysu nierówności) dla czopa, która opisana jest równaniem:

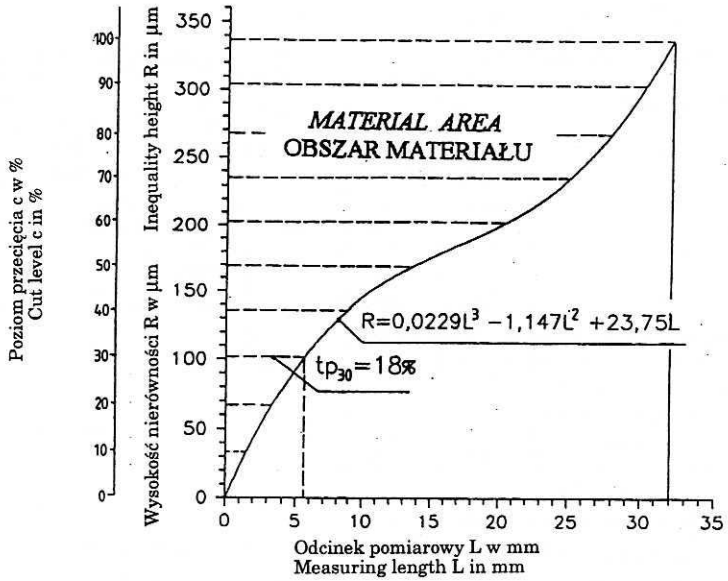
$$R = -0{,}0332L^3 + 1{,}59L^2 - 27{,}22L + 331 \qquad (\mu m)$$

słusznym dla $32 \geq L > 0$ wyrażonym w mm

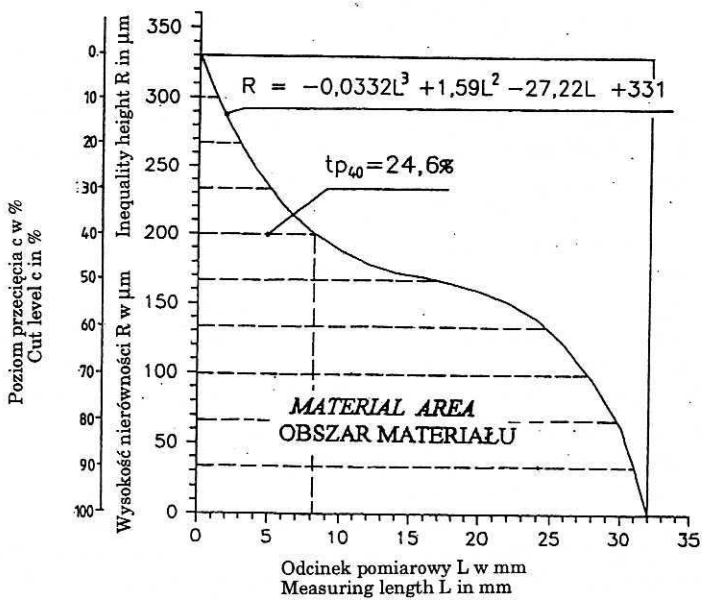
Wyznaczona wartość udziału nośnego profilu nierówności tp na poszczególnych poziomach przecięcia c, dla odcinka mierniczego L, może być potraktowana z pewnym uproszczeniem jako nośność dla całej powierzchni gniazda lub czopa. Upoważnia do tego udział nośny, ustalony dla każdego czopa lub gniazda z sześciu profilogramów. Reprezentuje on bowiem średnią arytmetyczną wyników pomiarów z trzech ścieżek na obydwóch powierzchniach ograniczających wymiary grubości czopa lub szerokości gniazda.

Na rys. 6 dla obszarów tolerancji wykonania elementów połączenia prawej nogi z oskrzynią wrysowano krzywe udziału nośnego. Szerokość gniazda jest wymiarem wewnętrznym i występujące nierówności na powierzchniach gniazd wyrażone liniowym udziałem nośnym profilu przemieszczą wgłąb otworu

obszar tolerancji wykonania zwiększając wymiar zaobserwowany górny i dolny przy zachowaniu stałej ich różnicy (rys. 6).



Rys. 4. Krzywa udziału nośnego profilu gniazda
Fig. 4. The participation of loading seat profile curve



Rys. 5. Krzywa udziału nośnego profilu czopa
Fig. 5. The participation of loading tenon profile curve

Tabela 3
Table 3

Zależność wysokości nierówności R od długości nośnej profilu L (0≤L≤32 mm)
The dependence of height of roughness R from carrying lengh of profile L (0≤L≤32 mm)

Element połączenia *Joint element*	Wymiar zaobserwowany *Observed dimension*	Równanie regresji R [μm], L [mm] *Regression equation R [μm], L [mm]*	Numer równania *Number of equation*
Gniazdo prawe *Right seat*	Dolny *Lower*	$R = 0{,}229L^3 - 1{,}14L^2 + 23{,}75L + 371$	1
	Górny *Upper*	$R = 0{,}229L^3 - 1{,}14L^2 + 23{,}75L + 851$	2
Czop prawy *Right tenon*	Dolny *Lower*	$R = -0{,}332L^3 + 1{,}59L^2 - 27{,}22L + 331$	3
	Górny *Upper*	$R = -0{,}332L^3 + 1{,}59L^2 - 27{,}22L + 1111$	4
Gniazdo lewe *Left seat*	Dolny *Lower*	$R = 0{,}229L^3 - 1{,}14L^2 + 23{,}75L + 0$	5
	Górny *Upper*	$R = 0{,}229L^3 - 1{,}14L^2 + 23{,}75L + 900$	6
Czop lewy *Left tenon*	Dolny *Lower*	$R = -0{,}332L^3 + 1{,}59L^2 - 27{,}22L + 571$	7
	Górny *Upper*	$R = -0{,}332L^3 + 1{,}59L^2 - 27{,}22L + 1171$	8

Skrajnia zarysu nierówności w obszarze tolerancji gniazda występuje w maksymalnym udziale H = 337 μm . Można przy tym ustalić następującą zależność: $H = 0{,}70\ T_{ro}$.

Wysokość nierówności (na długości nośnej) dla dolnego i górnego wymiaru zaobserwowanego gniazda prawego można opisać równaniami 1 i 2 (tab. 3).

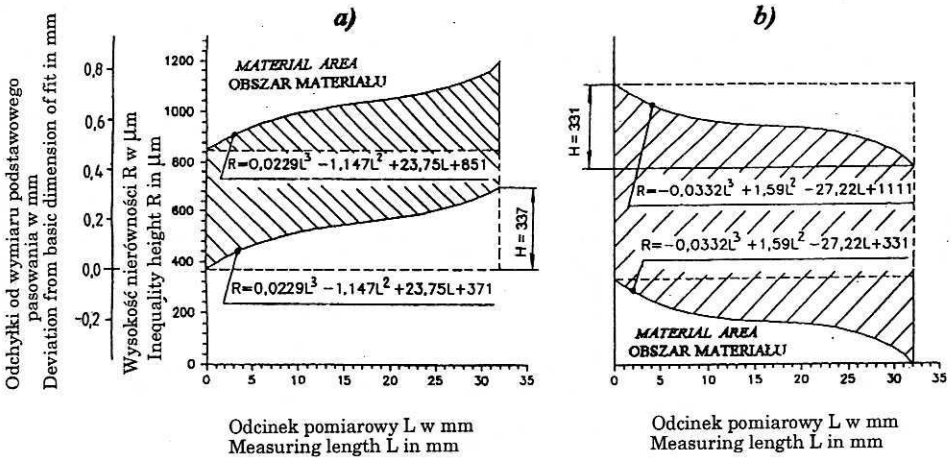
Dla wymiaru zaobserwowanego górnego różni się wymiarem wolnym, gdyż jest powiększona o wartość tolerancji gniazda.

Występujące w połączeniach czopy o tolerowanym wymiarze grubości (zewnętrznym), po uwzględnieniu udziału nośnego profilu obszar tolerancji przemieszczają wgłąb czopa zmniejszając wartości liczbowe przy zachowaniu stałej różnicy wymiarów (rys. 6). Równania 3 i 4 (tab. 3) opisują krzywe udziału nośnego profilu dla wymiaru zaobserwowanego dolnego i górnego czopa prawego.

Maksymalna wartość skrajni zarysu nierówności czopa H = 331 μm ma znaczący udział w obszarze tolerancji zaobserwowanej i wynosi $H = 0{,}42\ T_{rw}$.

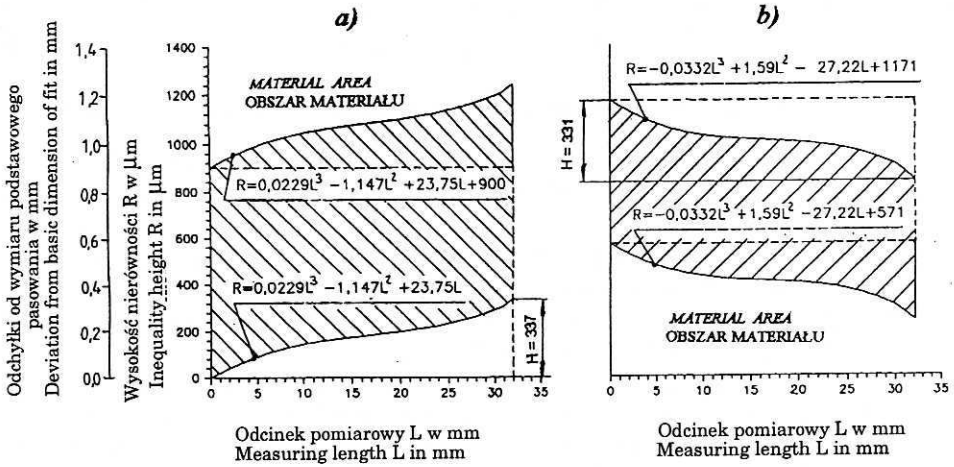
Krzywą udziału nośnego w obszarze tolerancji połączenia gniazdo - czop lewej nogi tylnej z oskrzynią krzesła przedstawia rys. 7.

Krzywa nośności, zwana skrajnią zarysu nierówności, dla wymiaru zaobserwowanego dolnego i górnego lewego gniazda określona jest równaniami 5 i 6 (tab. 3). Dla górnego wymiaru zaobserwowanego gniazda różni się wyrazem wolnym równym wartości tolerancji.



Rys. 6. Skrajnia zarysu nierówności w polu tolerancji wykonania dla połączenia czopowego prawego a) - gniazdo, b) - czop

Fig. 6. The gange of inequality of profile in the execution tolerance area for a right tenon point a) - seat, b) - tenon



Rys. 7. Skrajnia zarysu nierówności w polu tolerancji wykonania dla połączenia czopowego lewego a) - gniazdo, b) - czop

Fig. 7. The gange of inequality of profile in the execution tolerance area for a left tenon point a) - seat, b) - tenon

Z rys. 7 wynika, że maksymalny udział skrajni zarysu nierówności w obszarze tolerancji gniazda wynosi H = 0,37 T_{ro} = 337 µm. Ze względu na małe wartości zbliżeń dla poziomu przecięcia profilu w pobliżu R_{max} wartość H wynosi 337µm różniąc się od wartości tabelarycznej (tab. 2) maksymalnej wysokości nierówności.

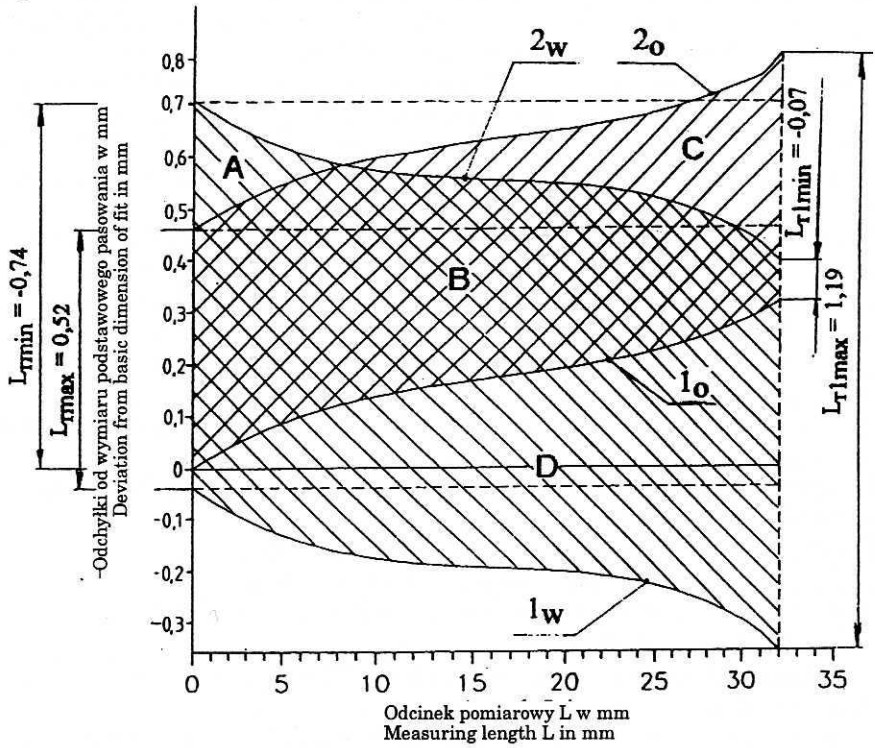
Skrajnia zarysu nierówności opisująca dolny i górny wymiar zaobserwowany czopa lewego (rys. 7) ma postać równań 7 i 8 (tab. 3).

Udział maksymalny skrajni zarysu w obszarze tolerancji zaobserwowanej czopa wynosi H = 0,55T_{rw} = 331μm. Krzywe nośności zmniejszają wymiary zaobserwowane czopa przy zachowaniu stałej wartości tolerancji tj. różnicy pomiędzy górnym i dolnym wymiarem T_{rw} = 0,6 mm.

Próba oceny powierzchni w obrazie graficznym pasowań

Na rys. 8 zilustrowano nałożone obrazy obszarów tolerancji elementów połączenia wraz z usytuowaniem krzywych udziału nośnego profilu z rys. 6. Po lewej stronie rys. 8 pokazano luzy zaobserwowane L_{rmax} i L_{rmin} (przedstawione również na rys. 2), zaś po stronie prawej luzy skorygowane o maksymalne udziały skrajni zarysu w wymiarach zaobserwowanych oznaczone L_{r1max} i L_{r1min}. Wynika stąd, że występują dwojakiego rodzaju luzy, tzn. mierzone po wierzchołkach nierówności i po dnach nierówności (prawa strona rys. 8). Przyrosty luzów wynikają z udziałów nośnych profilu na długości odcinka pomiarowego. Wartość tolerancji pasowania jest stała tzn. przy luzie mierzonym po wierzchołkach nierówności wynosi $T_{pr} = L_{rmax} - L_{rmin}$ = 0,52 - (-0,74) = 1,26 mm (tab. 1) i tolerancja pasowania przy luzie mierzonym po dnach nierówności

$T_{pr1} = L_{r1max} - L_{r1min}$ = 1,19 - (-0,07) = 1,26 mm.



Rys. 8. Współpraca krzywych udziału nośnego w połączeniu czopowym prawym
Fig. 8. The mating of loading participation curves in the right tenon joint

Z rys.8 widać, że luzy maksymalny i minimalny zwiększają się. Wartości ich wynoszą odpowiednio:

L_{rmax} = 0,52 mm - luz maksymalny mierzony po wierzchołkach nierówności,

L_{r1max} = 1,19 mm - luz maksymalny mierzony po dnach nierówności,

L_{rmin} = -0,74 mm - luz minimalny (wcisk maksymalny) mierzony po wierzchołkach nierówności,

L_{r1min} = -0,07 mm - luz minimalny (wcisk maksymalny) mierzony po dnach nierówności.

Skrajnie zarysu nierówności dla elementów kojarzonych stworzyły dodatkowe powierzchnie.

Z rys. 8 widać, że są one zawarte pomiędzy:

1. maksymalnym otworem 2_o i maksymalnym wałkiem 2_w - A - komprymacja i C - luz na klej,
2. minimalnym otworem 1_o i minimalnym wałkiem 1_w - D - luz na klej,
3. maksymalnym otworem 2_o i minimalnym wałkiem 1_w - D+B+C - luz zwiększający się od 0,52 aż do 1,19 mm,
4. minimalnym otworem 1_o i maksymalnym wałkiem 2_w - B+A - wcisk zmniejszający się od 0,74 mm do 0,07 mm,

Rys. 8 ilustruje skrajne możliwości występujące dla najgorszych warunków obróbki pkt 3 i 4. Przypadki 1 i 2 są szczególne zawarte pomiędzy skrajnymi.

Analizując połączenie, w którym gniazdo jest wykonane dokładniej niż czop, w aspekcie minimalnych luzów krzywe 1_o i 2_w (stanowiące obszar odkształceń lepko - sprężystych) zamykają powierzchnie zmienności wcisku i komprymacji głównie cienkościennych komórek drewna wczesnego A. Powierzchnia ta przewidziana jest na ściskanie drewna czopa biorąc pod uwagę, że w drugim kierunku tj. szerokości czopa i długości gniazda połączenie jest również tolerowane z wciskiem i przemieszczenie ściskanego materiału nie może mieć miejsca.

Związek skrajni zarysu nierówności z wielkością luzów w połączeniu czopowym lewym krzesła ilustruje rys. 9. Wartości luzów są następujące:

L_{rmax} = 0,33 mm - luz maksymalny mierzony po wierzchołkach nierówności,

L_{r1max} = 1,00 mm - luz maksymalny mierzony po dnach nierówności

L_{rmin} = -1,17 mm - luz minimalny (wcisk maksymalny) mierzony po wierzchołkach nierówności

L_{r1min} = -0,50 mm - luz minimalny (wcisk maksymalny) mierzony po dnach nierówności

Przedziały zmienności luzów (tolerancje pasowania) dla obydwóch przypadków są stałe i równają się:

$T_{pr} = L_{rmax} - L_{rmin} = 0{,}33 - (-1{,}17) = 1{,}50$ mm

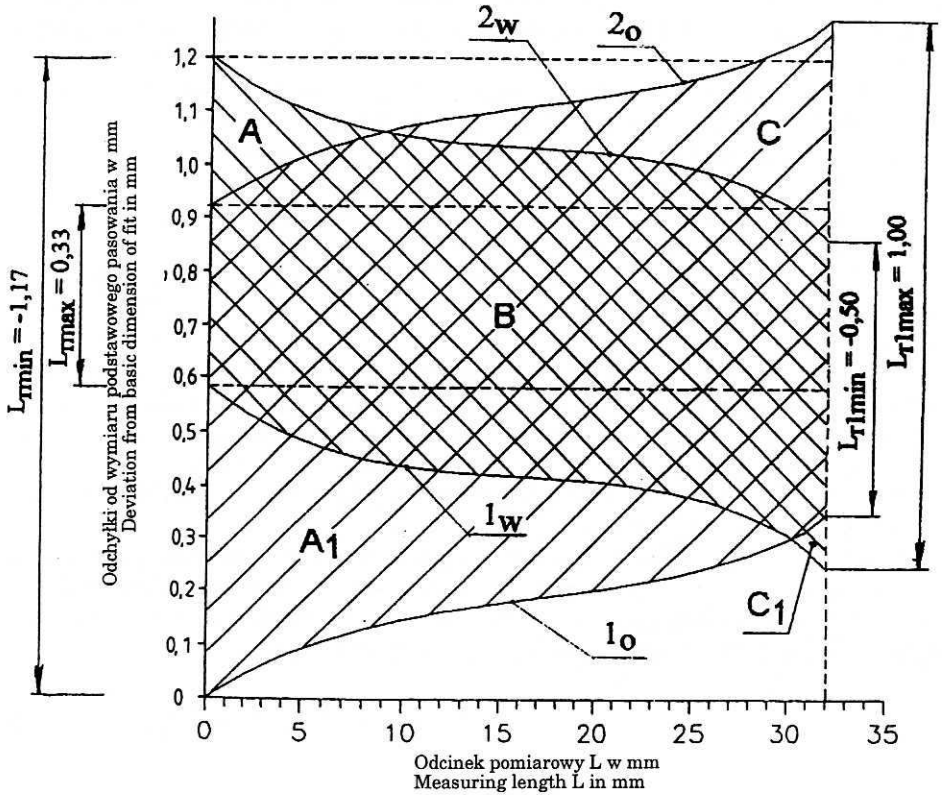
$T_{pr1} = L_{r1max} - L_{r1min} = 1{,}00 - (-0{,}50) = 1{,}50$ mm

Współpraca krzywych udziału nośnego wskazuje powierzchnie, zilustrowane na rys. 9, zawarte pomiędzy:

1. maksymalnym otworem 2_o i maksymalnym wałkiem 2_w - A - komprymacja, C luz na klej,
2. minimalnym otworem 1_o i minimalnym wałkiem 1_w - A_1- komprymacja, C_1 - luz na klej,

3. maksymalnym otworem 2_o i minimalnym wałkiem 1_w - B+C+C_1 - luz zwiększający się z 0,33 mm do 1,00 mm,

4. minimalnym otworem 1_o i maksymalnym wałkiem 2_w - A+A_1+B wcisk zmniejszający się z 1,17 do 0,50 mm.



Rys. 9. Współpraca krzywych udziału nośnego w połączeniu czopowym lewym
Fig. 9. The mating of loading participation curves in the left tenon joint

Powierzchnie A i A_1 oznaczają część zmienności wymiarów czopa podlegającą komprymacji.

Z kolei powierzchnie C i C_1, wyznaczają część zmienności wymiarów gniazda, przeznaczone są na pomieszczenie kleju i kompensację wymiarów dla ewentualnych zmian wilgotnościowych drewna zachodzących w trakcie montażu lub użytkowania wyrobu. Wymienione w punkcie 1 i 2 powierzchnie stanowią szczególne przypadki, dla których gniazdo wykonane jest dokładniej aniżeli czop.

Analizując połączenie w aspekcie minimalnych luzów (największych wcisków) krzywe 1_o i 2_w zamykają obszar odkształceń lepko-sprężystych i komprymacji głównie cienkościennych komórek drewna wczesnego A_1+A+B i stanowią przypadek skrajny - pkt 4.

WNIOSKI

Dla połączenia czopowego mieszanego występującego w warunkach przemysłowych, dla wymiarów tolerowanych szerokości gniazda i grubości czopa oskrzyń z nogami tylnymi krzesła typ 21-04 można sformułować następujące wnioski:

1. W badanych złączach występują wg BN-81/7140-11 pasowania o symbolu 11,57 H6/k9 - lekko wciskane i 11,17 H8/n9 - bardzo mocno wciskane,
2. Krzywe nośności profilu kształtują się wg zależności:
   - dla gniazda $R = 0{,}0229L^3 - 1{,}147L^2 + 23{,}75L + 0$ (μm)
   - dla czopa $R = -0{,}0332L^3 + 1{,}59L^2 - 27{,}22L + 331$ (μm)

   dla L w mm i warunku $32 \geq L \geq 0$.
3. Maksymalny udział skrajni zarysu nierówności H w obszarze tolerancji wykonania T_r gniazda lub czopa waha się w zakresie od 0,37 do 0,70 ($H = 0{,}37 - 0{,}70\ T_r$).
4. Skrajnie zarysu nierówności (krzywe nośności) przemieszczają obszar tolerancji elementów kojarzonych przy stałej tolerancji pasowania
   - gniazda w kierunku wymiarów zaobserwowanych górnych,
   - czopa w kierunku wymiarów zaobserwowanych dolnych .
5. Uwzględniając udział skrajni zarysu nierówności w polu tolerancji luzy zwiększają się (wciski zmniejszają się).
6. W obrazach graficznych pasowań, poszerzonych o udział skrajni zarysu nierówności, tworzą się powierzchnie umożliwiające podjęcie próby wytłumaczenia zjawiska komprymacji wymiarów zachodzącego w trakcie zmian wilgotności połączenia w czasie montażu i użytkowania.

Praca wpłynęła do Redakcji w czerwcu 1995

LITERATURA

Andrzejewski M., Wieczorowski K., Żurek J. (1993): Poradnik Inżyniera - Obróbka skrawaniem. WNT, Warszawa. 2 : 552-632

Nowicki B. (1991): Struktura geometryczna - chropowatość i falistość. WNT, Warszawa.

Palka Z., Porankiewicz B., Staniszewska A., Staniszewski J. (1978): Próba matematycznego opisania nierówności powierzchni drewna przy użyciu krzywych Abbotta. Roczniki AR w Poznaniu. 99 : 52-61

Porankiewicz B. (1989): Problemy układu tolerancji i pasowań dla przemysłu drzewnego. Roczniki AR w Poznaniu. 183 : 1-98

Staniszewska A., Zakrzewski W. (1988): Statystyczny sposób wyznaczania dokładności wymiarów liniowych. Przemysł Drzewny. 39 (4) : 5-7

Staniszewska A., Zakrzewski W. (1990): Przykładowe wyznaczenie rodzaju pasowania na podstawie położenia pól tolerancji zaobserwowanych elementów kojarzonych. Przemysł Drzewny. 41 (4) : 14-16

Staniszewska A., Zakrzewski W. (1992): Obróbka cięciem. Wydawnictwo AR, cz.II, Poznań.

Staniszewska A., Zakrzewski W., Michalak K. (1994): Określenie rzeczywistego pasowania złącza czopowo - gniazdowego na podstawie rozrzutu jego wymiarów w produkcji seryjnej. Roczniki AR w Poznaniu. 262 : 71-89

Staniszewska A., Zakrzewski W. (1995): Statystyczna kontrola wymiarowej dokładności obróbki. Przemysł Drzewny. 46 (1) : 22-25.

Staniszewski J., Porankiewicz B., Lisičan J. (1987): Rola skrajni zarysu nierówności powierzchni drewna w pasowaniach mieszanych i wtłaczanych. PTPN. Wydział Nauk Technicznych. Prace Komisji Technologii Drewna. Poznań. Sprawozdania nr 1 za 1981-1984 : 25-31.

Staniszewski J. (1983): Metoda oceny geometrycznej powierzchni drewna oparta na pomiarze profilu nierówności igłami. Roczniki AR w Poznaniu. 52 : 1-40.

THE MEANING OF LOADING PARTICIPATION CURVES IN THE TOLERANCE AREA

Summary

Up to now at working accuracy of component elements, it is a dimension, a form and a geometric structure of surface were treated together.

The aim of this paper was a determination of the maximal participation of a gauge of inequality of profile at the sphere of seat - tenon joint tolerance. The aim was realized by a determination of execution tolerance and load capacity curves for seat - tenon type joint occure at industrial conditions.

The maximal gauge of inequality of profile H in the sphere of execution tolerance Tr of seat, the load capacity curves of profile formed by the dependance:

- for seat $R = 0{,}0229L^3 - 1{,}147L^2 + 23{,}75L + 0$ (μm)
- for tenon $R = -0{,}0332L^3 + 1{,}59L^2 - 27{,}22L + 331$ (μm)

when $32 \geq L \geq 0$ mm.

Taking into account the participation of gauge of inequality of profile, maximal clearances increase and minimal clearances (interferences) increase. At graphic images of widening fits (fig. 8 and 9) by the participation of the gauge of inequality of profile, it occures surfaces that possibily a taking of test of explanation this joint phenomens like for example: dimension comprimations that occur by humidity changes during assembly and using etc.

Adres autorów:
Dr inż. Alina Staniszewska
Dr inż. Wiesław Zakrzewski
Prof. dr hab. Jan Żurek
Akademia Rolnicza w Poznaniu
Katedra Obrabiarek i Urządzeń Przemysłowych
60-627 Poznań, ul. Wojska Polskiego 38/42 POLAND