
Dr. ing. Cristina-Ileana PASCU
Dr. ing. Alexandru STANIMIR

TOLERANȚE DIMENSIONALE ȘI GEOMETRICE

EDITURA UNIVERSITARIA CRAIOVA
2009

Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing. ION DAVID

Universitatea Politehnică Timișoara

Prof.univ. dr.ing. IOAN VIDA-SIMITI

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Contribuția autorilor:

Ileana Pascu cap.1.2, cap.2, cap.3, cap.5.1, 5.4.

Alexandru Stanimir cap.1.1, cap.4, cap.5.2, 5.3.

Tehnoredactare și verificare:

dr.ing. Pascu Cristina-Ileana

dr.ing. Stanimir Alexandru

Copyright © 2009 Universitaria

Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

PASCU, CRISTINA ILEANA

Toleranțe dimensionale și geometrice / Cristina-Ileana

Pascu, Alexandru Stanimir. - Craiova : Universitaria, 2009

Bibliogr.

ISBN 978-606-510-768-7

I. Stanimir, Alexandru

514

CUPRINS

1. INTRODUCERE	5
1.1. Importanța toleranțelor dimensionale și geometrice pentru asigurarea calității produselor.....	5
1.2. Noțiuni despre interschimbabilitate.....	11
1.2.1. Generalități	11
1.2.2. Interschimbabilitatea în construcția de mașini.....	12
2. TOLERANȚE DIMENSIONALE	14
2.1. Toleranțe liniare și unghiulare.....	14
2.1.1. Noțiuni generale despre precizie.....	14
2.1.2. Dimensiuni, abateri, toleranțe.....	14
2.1.3. Poziția câmpului de toleranță.....	19
2.1.4. Mărimea câmpului de toleranță (toleranța).....	21
2.1.5. Toleranțe liniare.....	23
2.1.6. Toleranțe unghiulare.....	24
2.2. Ajustaje.....	27
2.2.1. Caracteristici generale ale ajustajelor.....	27
2.2.2. Ajustaje cu joc.....	28
2.2.3. Ajustaje cu strângere.....	30
2.2.4. Ajustaje intermediare.....	34
2.2.5. Reprezenarea grafică a toleranțelor și ajustajelor.....	35
2.2.6. Influența temperaturii asupra ajustajelor.	
Ajustaje termice.....	36
2.2.6.1. Ajustaje termice cu joc.....	37
2.2.6.2. Ajustaje termice cu strângere.....	38
2.2.6.3. Implicații ale fenomenelor termice asupra preciziei pieselor.....	39
2.2.6.4. Influențe termice asupra alezajelor. Poziționarea câmpurilor de toleranțe la calibre.....	40
2.2.6.5. Influențe termice asupra arborilor. Poziționarea câmpurilor de toleranțe la calibre.....	43
2.3. Sistemul de toleranțe și ajustaje ISO.....	47
2.3.1. Caracteristicile sistemului ISO.....	47
2.3.2. Stabilirea abaterilor în sistemul ISO.....	60
2.3.3. Utilizarea ajustajelor ISO și stabilirea preciziei acestora.....	62
2.3.4. Înscrierea pe desenele tehnice a toleranțelor și ajustajelor.....	71

2.4. Lanțuri de dimensiuni.....	74
2.4.1. Noțiuni generale. Definiții. Clasificare.....	74
2.4.2. Rezolvarea problemei directe a lanțurilor de dimensiuni liniare paralele.....	77
2.4.2.1. Metoda de maxim și minim.....	77
2.4.2.2. Metoda algebrică.....	80
2.4.2.3. Metoda probabilistică.....	82
2.4.3. Rezolvarea problemei inverse a lanțurilor de dimensiuni liniare paralele.....	91
2.4.3.1. Metoda toleranței medii.....	91
2.4.3.2. Metoda determinării preciziei lanțului.....	93
2.4.3.3. Metoda ajustării.....	99
2.4.3.4. Metoda reglării.....	100
2.4.3.5. Metoda sortării.....	101
3. TOLERANȚE GEOMETRICE.....	104
3.1. Toleranțe de formă.....	104
3.1.1. Noțiuni generale. Definiții.....	104
3.1.2. Înscrierea pe desenele tehnice a elementelor tolerate.....	105
3.1.3. Toleranța la circularitate.....	106
3.1.3.1. Concepte de bază.....	106
3.1.3.2. Reprezentarea pe desenele tehnice a toleranței la circularitate.....	109
3.1.4. Toleranța la cilindricitate.....	112
3.1.4.1. Concepte de bază.....	112
3.1.4.2. Reprezentarea pe desenele tehnice a toleranței la cilindricitate.....	115
3.1.5. Toleranța la rectilinitate.....	116
3.1.5.1. Concepte de bază.....	116
3.1.5.2. Reprezentarea pe desenele tehnice a toleranței la rectilinitate.....	117
3.1.6. Toleranța la planitate.....	126
3.1.6.1. Concepte de bază.....	126
3.1.6.2. Reprezentarea pe desenele tehnice a toleranței la planitate.....	128
3.1.7. Toleranța la forma dată a profilului unei linii.....	132
3.1.7.1. Concepte de bază.....	132
3.1.7.2. Reprezentarea pe desenele tehnice a toleranței la forma dată a profilului unei linii.....	133

3.1.8. Toleranța la forma dată a suprafeței.....	134
3.1.8.1. Concepte de bază.....	134
3.1.8.2. Reprezentarea pe desenele tehnice a toleranței la forma dată a suprafeței.....	135
3.2. Toleranțe de orientare.....	138
3.2.1. Noțiuni generale. Definiții.....	138
3.2.2. Baze de referință	139
3.2.3. Toleranța la paralelism.....	141
3.2.3.1. Concepte de bază.....	141
3.2.3.2. Reprezentarea pe desenele tehnice a toleranței la paralelism.....	144
3.2.4. Toleranța la perpendicularitate.....	153
3.2.4.1. Concepte de bază.....	153
3.2.4.2. Reprezentarea pe desenele tehnice a toleranței la perpendicularitate.....	155
3.2.5. Toleranța la înclinare.....	162
3.2.5.1. Concepte de bază.....	162
3.2.5.2. Reprezentarea pe desenele tehnice a toleranței la înclinare.....	163
3.3. Toleranțe de poziție.....	171
3.3.1. Noțiuni generale. Definiții.....	171
3.3.2. Dimensiuni teoretic exacte (TED).....	172
3.3.3. Toleranța la poziția nominală.....	173
3.3.3.1. Concepte de bază.....	173
3.3.3.2. Reprezentarea pe desenele tehnice a toleranței la poziția nominală.....	175
3.3.4. Toleranța la concentricitate și coaxialitate.....	190
3.3.4.1. Concepte de bază.....	190
3.3.4.2. Reprezentarea pe desenele tehnice a toleranței la concentricitate și coaxialitate.....	192
3.3.5. Toleranța la simetrie.....	194
3.3.5.1. Concepte de bază.....	194
3.3.5.2. Reprezentarea pe desenele tehnice a toleranței la simetrie.....	196
3.4. Toleranțe de bătaie.....	198
3.4.1. Noțiuni generale. Definiții.....	198
3.4.2. Toleranța bății radiale.....	198
3.4.2.1. Concepte de bază.....	198
3.4.2.2. Reprezentarea pe desenele tehnice a toleranței bății radiale.....	199
3.4.3. Toleranța bății axiale.....	204
3.4.3.1. Concepte de bază.....	204

	toleranței bății axiale.....	205
3.4.4.	Toleranța la bătaia circulară oblică.....	207
	3.4.4.1. Concepte de bază.....	207
	3.4.4.2. Reprezentarea pe desenele tehnice a toleranței bății axiale.....	208
4.	METODE DE TOLERARE ȘI COTARE PENTRU ASIGURAREA ROLULUI FUNCȚIONAL ȘI ÎMBUNĂȚĂȚIREA FABRICAȚIEI.....	211
4.1.	Generalități.....	211
4.2.	Metoda înfășurătorii.....	215
	4.2.1. Un exemplu de interdependență între dimensiune și formă.....	215
	4.2.2. Prezentarea cerinței înfășurătorii.....	216
	4.2.3. Exemple de utilizare a cerinței înfășurătorii.....	218
4.3.	Metoda maximului de material.....	221
	4.3.1. Un exemplu de interdependență între dimensiune și geometrie.....	221
	4.3.2. Prezentarea principiului maximului de material.....	223
	4.3.3. Tolerare geometrică zero. Diagrama dinamicii toleranței.....	227
	4.3.4. Exemple de aplicare a principiului maximului de material.....	230
4.4.	Metoda minimului de material.....	245
	4.4.1. Prezentarea cerinței minimului de material.....	245
	4.4.2. Tolerare geometrică zero. Diagrama dinamicii toleranței.....	250
	4.4.3. Exemple de aplicare a cerinței minimului de material.....	252
4.5.	Metoda zonei de toleranță proiectate.....	257
	4.5.1. Un exemplu de asamblare la care se poate utiliza zona de toleranță proiectată.....	257
	4.5.2. Prezentarea metodei zonei de toleranță proiectate.....	258
4.6.	Trecerea de la cotarea funcțională la cotarea tehnologică.....	262
5.	STAREA SUPRAFETELOR.....	273
5.1.	Noțiuni generale.....	273
5.2.	Parametrii profilului.....	278
5.3.	Corelarea stării suprafețelor cu rolul funcțional al acestora.....	284
5.4.	Indicarea pe desen a stării suprafețelor.....	291
	ANEXE.....	293
	BIBLIOGRAFIE.....	367

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE

1.1 IMPORTANȚA TOLERANȚELOR DIMENSIONALE ȘI GEOMETRICE PENTRU ASIGURAREA CALITĂȚII PRODUSELOR

O cerință esențială a dezvoltării economice contemporane o constituie realizarea unui înalt nivel calitativ al produselor. În general, calitatea unui produs este determinată de suma acelor proprietăți ale produsului care reflectă măsura în care acesta poate satisface nevoile societății și depinde de calitatea proiectării și cea a execuției. În figura 1.1 este prezentat triunghiul calității care exprimă legătura dintre calitatea concepției, calitatea execuției și calitatea produsului.

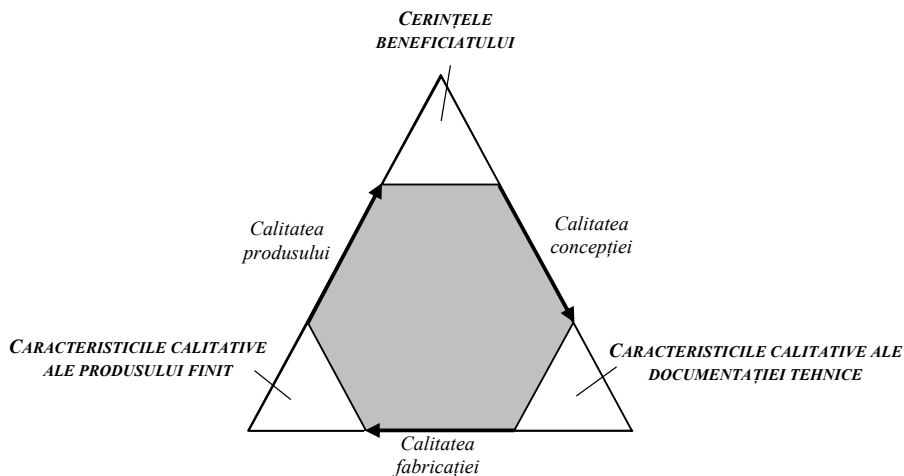


Fig. 1.1

Pentru a realiza un produs de o anumită calitate, se fac anumite cheltuieli. Costul global reprezintă suma dintre costul de achiziție și costul de exploatare și întreținere în bună stare de funcționare pe toată perioada de utilizare a produsului. Între nivelul calitativ minim și cel maxim, corespunzător produsului perfect, se poate determina un nivel calitativ optim, caracterizat printr-o calitate corespunzătoare cerințelor, realizată cu costuri minime.

Din punct de vedere tehnologic, calitatea produselor în construcția de mașini se poate aprecia prin luarea în considerare a cinci parametri principali și anume: precizia de prelucrare, calitatea suprafețelor prelucrate, economicitatea fabricației, durabilitatea și fiabilitatea produselor [21, 33, 34, 56, 84].

Corepunzător rolului funcțional al diferitelor piese, pe desenele de execuție ale acestora, sunt prevăzute anumite *condiții tehnice*, care fac referire la: dimensiuni și toleranțe dimensionale, condiții și toleranțe de formă geometrică, condiții și toleranțe de poziție reciprocă a suprafețelor, condiții privind rugozitatea suprafețelor prelucrate etc. La unele piese, pentru asigurarea rolului funcțional, se prevăd condiții tehnice suplimentare referitoare la duritate, rezistență mecanică, structura stratului superficial și a materialului de bază etc. Respectarea condițiilor tehnice este de mare însemnătate pentru asigurarea bunei funcționări și a interschimbabilității pieselor.

În cadrul acestei lucrări piesele vor fi privite ca ansambluri de suprafețe, motiv pentru care, numai condițiile tehnice dimensionale și geometrice vor fi discutate.

Precizia reprezintă un indicator de calitate care exprimă gradul de corespondență al caracteristicilor dimensionale, de formă geometrică și de poziție relativă ale suprafețelor pieselor cu valorile teoretice care rezultă din desenele de execuție. Precizia unei piese se poate analiza atât în faza de proiectare, caz în care ea se numește precizie funcțională sau precizie prescrisă, cât și în faza de execuție, când se vorbește de precizie tehnologică sau precizie de prelucrare.

Precizia funcțională sau precizia prescrisă este definită de totalitatea condițiilor tehnice prevăzute în desenul de execuție al piesei referitoare la dimensiuni, formă geometrică și poziție relativă a suprafețelor și care trebuie să fie realizate la prelucrarea acesteia. Condițiile amintite sunt determinate, nemijlocit, de rolul funcțional al piesei.

Pornind de la desenul de execuție al unei piese, se poate defini modelul teoretic al acesteia sau piesa ideală. Realizarea într-un proces tehnologic a unei asemenea piese nu este posibilă, datorită influenței mai multor factori care acționează în sistemul tehnologic, prin prelucrare obținându-se așa-numita *piesă reală*, care tinde să se apropie de modelul ei teoretic.

Precizia de prelucrare sau precizia tehnologică reprezintă gradul de corespondență (dimensională și geometrică) dintre piesa reală, rezultată în urma prelucrării, și piesa ideală. Pentru ca piesa să corespundă din punct de vedere tehnic precizia de prelucrare trebuie să fie superioară preciziei funcționale.

Diferențele dintre piesa reală și piesa ideală constituie *abateri*. De aceea, precizia de prelucrare poate fi exprimată și prin mărimea abaterilor și anume, cu cât abaterile sunt mai mici, cu atât precizia de prelucrare este mai mare.

În practică, referitor la precizia prelucrărilor, sunt utilizate noțiuni precum: prelucrare normală, prelucrare de precizie sau prelucrare ultraprecisă. În figura 1.2 este prezentată diagrama lui Norio Taniguchi privind evoluția preciziei de prelucrare [49]. Aceasta permite încadrarea prelucrărilor pe nivelele

de precizie dimensională menționate mai sus și oferă o serie de exemple privind echipamentul tehnologic necesar obținerii unor asemenea precizii, precum și o serie de aplicații.

EVOLUȚIA PRECIZIEI DE PRELUCRARE (TANIGUCHI 1983)

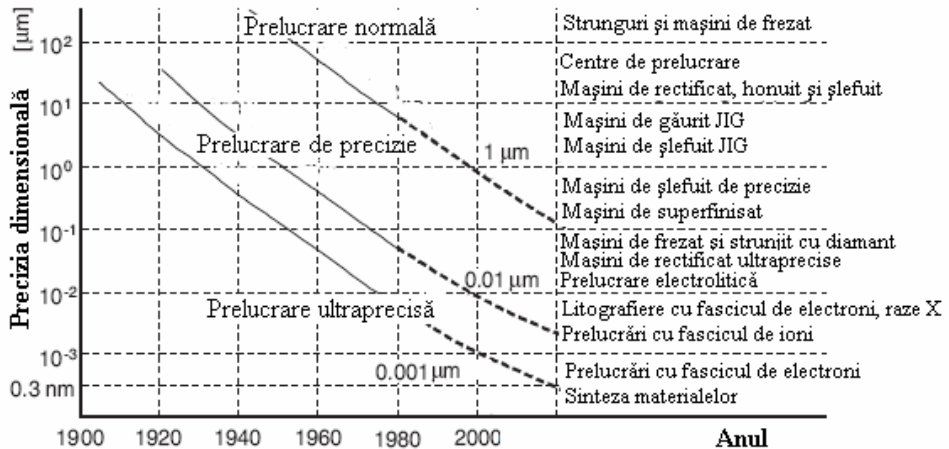


Fig. 1.2

Calitatea suprafețelor prelucrate este determinată de abaterile geometrice ale suprafeței reale în raport cu cea ideală și de proprietățile fizico-mecanice ale stratului superficial [33, 73, 74, 84].

Sub aspect geometric, suprafața prelucrată poate prezenta diverse neregularități care, în funcție de formă și dimensiuni, pot fi împărțite în macroneregularități, undulații și microneregularități. Microneregularitățile sau rugozitatea suprafețelor influențează comportarea în exploatare a produselor și anume: rezistența la uzură a suprafețelor în contact, rezistența la oboseală, rezistența la coroziune, calitatea îmbinărilor dintre piese etc.

În conformitate cu cele prezentate mai sus, proiectantul unui produs indică în documentația tehnică pe care o elaborează o serie de condiții care să asigure funcționalitatea, fiabilitatea și anumite performanțe ale acestuia și care, în același timp, să permită o realizare ușoară și cu costuri mici, fie că este vorba de prelucrare, de asamblare sau de control, iar modul de cotare și tolerare utilizat la întocmirea documentației respective trebuie să fie în concordanță cu aceste obiective. De aceea, este deosebit de important ca în etapa de proiectare a unui produs să se acorde o atenție deosebită cotării și tolerării desenelor de execuție întrucât depistarea ulterioară (de exemplu la fabricație) a unor erori sau omisiuni în legătură cu acestea poate conduce la cheltuieli suplimentare legate de pregătirea fabricației și întârzieri în livrarea produselor către beneficiari.

Odată cu evoluția produselor în sensul miniaturizării acestora și a creșterii complexității constructive și funcționale a lor [86], devine tot mai importantă realizarea unei cotări și tolerări adecvate.

În vederea descrierii cât mai exacte a rolului funcțional al piesei sau produsului, proiectantul trebuie să înscrie pe desen specificațiile dimensionale și geometrice strict necesare și să indice principiile de tolerare utilizate, fără a face exces de precizie și fără a prevedea un grad de netezire al suprafețelor nejustificat de ridicat, deoarece în asemenea cazuri este necesară de cele mai multe ori utilizarea de operații tehnologice suplimentare, care ridică costul prelucrării. De aceea este necesară o bună înțelegere a măsurii în care diferitele moduri de cotare și tolerare pot exprima rolul funcțional al piesei și utilizarea în consecință a acelor care pot exprima mai bine o anumită funcție. De exemplu, este cunoscut faptul că utilizarea toleranțelor dimensionale liniare și a celor unghiulare este în multe situații insuficientă pentru a exprima rolul funcțional al piesei, pentru aceasta ele trebuind să fie completate sau înlocuite cu o serie de toleranțe geometrice.

Pe desenul de execuție al unei piese se înscriu mai multe specificații, de aceeași natură sau de naturi diferite, pentru a căror analiză, în vederea stabilirii conformității piesei, se aplică, în general, principiul independenței, conform căruia, fiecare cerință dimensională sau geometrică trebuie respectată independent de celelalte, exceptând cazul în care este indicată o relație specială între dimensiuni și geometrie. În cazul indicării unor astfel de relații speciale, acest principiu se poate dovedi mult prea restrictiv, motiv pentru care se pot utiliza alte principii de tolerare, ca de exemplu principiul înfășurătorii (pentru relații între dimensiune și formă) sau principiile maximumului sau minimumului de material (în cazul unor relații între dimensiune și orientare sau între dimensiune și poziție).

Un alt aspect legat de analiza conformității piesei cu specificațiile dimensionale și geometrice indicate pe desen se referă la acțiunea acestora din urmă, locală sau globală și tratarea lor în consecință. Astfel, principiul înfășurătorii se poate aplica numai unei anumite suprafețe, care este cotată de exemplu $\Phi 100 \pm 0,1(E)$, sau tuturor elementelor unice de pe desen, dacă printr-o notă, aflată în general în apropierea indicatorului, este indicat ISO 8015(E).

O bună cunoaștere a cotării și tolerării pieselor este necesară controlorilor și tehnologilor. Astfel, atunci când la prinderea semifabricatelor pe mașini-unelte nu pot fi folosite suprafețele indicate pe desen ca baze de referință, pentru realizarea condițiilor dimensionale și geometrice indicate de proiectant, tehnologul trebuie să realizeze o nouă cotare și tolerare a piesei, numită în mod obișnuit cotare tehnologică. În plus, pentru întocmirea documentației tehnologice, mai este necesară o bună cunoaștere a preciziei medii economice și a preciziei limită, precum și a rugozității suprafețelor realizate prin diferite procedee de prelucrare.

În tabelul 1.1 este prezentată precizia medie economică și precizia limită care poate fi obținută prin diferite procedee de prelucrare, iar în tabelul 1.2 sunt date toleranțele fundamentale pentru dimensiuni până la 3150 mm [84].

Tabelul 1.1

PRECIZIA MEDIE ECONOMICĂ																				
CARACTERISTICĂ DIFERITELOR PROCEDEE DE PRELUCRARE																				
CLASA DE PRECIZIE	STAS ISO	PRECIZIA LIMITĂ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
			5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
Strunjire exterioară	Degroșare	10																		
	Semifinisare	9																		
	Finisare	7																		
	Neted cu diamant	5																		
Strunjire interioară	Degroșare	10																		
	Semifinisare	9																		
	Finisare	6																		
	Neted cu diamant	5																		
Rabotare	Degroșare	10																		
	Fină	8																		
Frezare	Degroșare	9																		
	Finisare	8																		
	Netezire	7																		
Burghiere		9																		
Adâncire		8																		
Lărgire		8																		
Alezare	Degroșare	7																		
	Finisare	6																		
	Foarte fină	5																		
Broșare	Degroșare	7																		
	Finisare	6																		
	Foarte fină	5																		
Prelucrare danturi	Prin rabotare	6																		
	Prin mortezare	6																		
	Prin frezare	6																		
	Rectificare	5																		
Rectificare rotundă	Degroșare	7																		
	Finisare	6																		
	Foarte fină	5																		
Rectificare plană	Finisare	6																		
	Foarte fină	5																		
Rodare	Finisare	6																		
	Foarte fină	5																		
Honuire	Medie	6																		
	Foarte fină	5																		

PRECIZIA MEDIE ECONOMICĂ																				
CARACTERISTICĂ DIFERITELOR PROCEDEE DE PRELUCRARE																				
CLASA DE PRECIZIE	STAS	PRECIZIA LIMITĂ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	ISO		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
Lepuire	Prealabilă	6																		
	Medie	6																		
	Finisare	5																		
Filetare interioară	Cu tarodul	6																		
	Cu cuțit pieptăne sau freză	5																		
Filetare exterioară	Cu filiera	6																		
	Cu cuțit pieptăne sau freză	6																		
	Prin deformare cu role	7																		
	Rectificare	5																		
Observații:			<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Precizie obținută fără măsuri tehnologice deosebite (precizie medie); Precizie obținută cu măsuri tehnologice deosebite (precizie limită). </div>																	

Tabelul 1.2

TOLERANȚE FUNDAMENTALE IT, [μm]																				
Intervalul de dimensiuni, [mm]		TREAPTA DE PRECIZIE																		
		01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Până la 1		0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60						
1	3*	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	
3	6*	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	
6	10*	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	
10	18*	0,5	0,8	1,2	2,0	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	
18	30*	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	
30	50*	0,6	1,0	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	
50	80*	0,8	1,2	2,0	3,0	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	
80	120*	1,0	1,5	2,5	4,0	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	
120	180*	1,2	2,0	3,5	5,0	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	
180	250*	2,0	3,0	4,5	7,0	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	
250	315*	2,5	4,0	6,0	8,0	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	
315	400*	3,0	5,0	7,0	9,0	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	
400	500*	4,0	6,0	8,0	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	
500	630*									44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400
630	800*									50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000
800	1000*									56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3600	5600
1000	1250*									66	105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6600
1250	1600*									78	125	185	310	500	780	1250	1850	3100	5000	7800
1600	2000*									92	150	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	9200
2000	2500*									110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000
2500	3150*									135	210	330	540	860	1350	2100	3300	5400	8600	13500
Observație:		Cifrele marcate cu * sunt incluse în intervalul de dimensiuni considerat. De exemplu, pentru dimensiunea de 120 mm și treapta de precizie 7 se obține IT = 35 μm. Valorile toleranțelor din acest tabel sunt valabile atât la prelucrarea suprafețelor de revoluție, cât și a celor plane.																		