

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Egidijus Nikolaitis

ATSKIRI UŽLAIĐŲ IR TARPINIŲ MATMENŲ
SKAIČIAVIMO ATVEJAI

MAGISTRO DARBAS

DARBO VADOVAS

Doc. J. Rimkus

ŠIAULIAI, 2006

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU:

Katedros vedėjas

Lekt. Z. Ramonas

ATSKIRI UŽLAIĐŲ IR TARPINIŲ MATMENŲ
SKAIČIAVIMO ATVEJAI

MAGISTRO DARBAS

MAGISTRANTAS **MM4 gr. stud**

E. Nikolaitis

DARBO VADOVAS **Doc. J. Rimkus**

RECENZENTAS **Doc. A. Povilionis**

ŠIAULIAI, 2006

TURINYS

SUMMARY	4
ĮVADAS	5
1.UŽLAIDOS	6
1.1 Užlaidų skaičiavimo metodikos raida.....	6
1.2. Pagrindinės užlaidų sąvokos.....	11
1.3. Optimali užlaida.....	13
1.4. Užlaidų parinkimas iš lentelių.....	14
1.5. Tarpiniai ir ruošinio matmenys.....	15
1.6. Užlaidų skaičiavimas.....	19
2. TECHNOLOGINIS SISTEMOS SPAUDIMAS IR TAMPRIOSIOS DEFORMACIJOS ..	23
2.1 Technologinės sistemos standumo skaičiavimas, vertinimas ir didinimas.....	24
3. ATSKIRI UŽLAIDŲ IR TARPINIŲ MATMENŲ SKAIČIAVIMO ATVEJAI	27
3.1. Užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimas apdirbant cilindrinis paviršius.....	27
3.2. Ekscentrisiteto įtaka užlaidoms ir tarpiniams matmenims.....	33
3.3. Apdirbimas bandomųjų ėjimų metodu.....	37
IŠVADOS	38
LITERATŪRA	39
PRIEDAI	40

PAVEIKSLAI

1. Bendra užlaidos schema.....	12
2. Ruošinių su minimalia ir maksimalia užlaidomis apdirbimas.....	14
3. Užlaidų, tarpinių matmenų ir tolerancijų schema apdirbant automatiniu matmenų gavimo būdu	15
4. Ruošinio paviršiaus schema.....	18
5. Apdirbamųjų paviršių padėties erdviniai nuokrypiai bazinių paviršių atžvilgiu.....	19
6. Nustatymo paklaidos schema.....	21
7. Technologinės sistemos standumo apskaičiavimo schema, tekinant ilytse įtvirtintą veleną.....	23
8. Technologinės sistemos standumo įtaka ruošinių partijos apdirbimo tikslumui.....	25
9. Technologinės sistemos standumo įtaka ruošinių partijos apdirbimo našumui.....	26
10. Užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimo schema pagal V.Kovana.....	27
11. Detalės apdirbimo schema (a), užlaidų, tolerancijų ir paklaidų grandinė (b).....	28
12. Vidinių cilindrinų paviršių apdirbimo schema (a), užlaidų, tolerancijų ir paklaidų grandinė(b)	29
13. Detalės apdirbimo schema (a), užlaidų, tolerancijų ir paklaidų grandinė (b).....	30
14. Detalės apdirbimo schema (a), užlaidų, tolerancijų ir paklaidų grandinė (b).....	32
15. Matmenų ir užlaidų geometrinė schema, , esant apdirbamo ir apdirbto paviršiaus (suklio) ašių nesutapimui.....	33
16. Atstumai tarp apskritimų ir ašių nesutapimas.....	34
17. Matmenų, užlaidų ir tolerancijų geometrinė schema.....	37

Master student E. Nikolaitis
Scientific adviser J. Rimkus
Šiauliai University
Department of Mechanical Technology
2006 06 08 Šiauliai

SUMMARY

The method of counting allowances is created by prof. V. M. Kovan more than 40 years ago. Therefore today, when computers are used, it is possible to estimate more deeply the components of allowances and in that way it is possible to make the method of counting more accurate.

The research object: it is a theoretical character job, which include dependent on such factors as: material solidity and of used up instrument.

The purpose of the paper the allowance size depends on the production cost. The increase of allowance size, it will increase metal outlay, cost on cutting tool, electrical power, and so on. However on decrease of allowance size it will depend on worse detail waster percent and in some case the netting tool will work in malevolence conditions. So it's very important to calculate allowance size.

The elastic deformations of technological system which appear because the hardness of the material changes and because the machining tool wears mechanically. It is shown in this case intermediate dimensions of parts are counted.

IVADAS

Temos aktualumas

Šiuo metu sparčiai vystantis modernioms technologijoms vis labiau aktualesnis tampa tarpinių užlaidų ir matmenų skaičiavimo klausimas. Jau senai mašinų gamyboje buvo iškeltas uždavinys, kuo tiksliau apskaičiuoti tarpines užlaidas, kad sumažinti gamybos kaštus. Pagal šiuo metu naudojamą prof. V. M. Kovano užlaidų skaičiavimo metodiką nėra įvertinami kai kurie faktoriai, kurie įtakoja į užlaidos dydį.

Ištobulėjusi skaičiavimo technika, bei kompiuterių atsiradimo faktorius pakeitė gamybos technologijų sampratą. Išsiplėtusios automatizuoto projektavimo, bei automatizuotos gamybos galimybės, leidžia didinti produkcijos kiekius, gerinti kokybę ir mažinti savikainą.

Užlaidų skaičiavimai užima per daug laiko ir nėra pakankamai tikslūs. Projektuojant naują gaminį ir parenkant užlaidas dažniausiai taikoma metodika, yra naudoti bandomuosius gaminius, po kurių užlaidos yra koreguojamos ir tik tada pradedama normali gamyba. Jai pavyktų pakoreguoti esamas užlaidų skaičiavimo metodikas ir jas automatizuoti, tuo sumažėtų gamybos įdiegimo trukmė ir viso gaminio savikaina.

Darbo problema

Jau senai žinoma, kad nuo užlaidos dydžio labai priklauso gaminio savikaina ir kokybė. Padidinus užlaidą galima pastebėti, kad padidėja visos gaminio savikainos dedamosios, t.y. reikės daugiau medžiagos, nuimant didesnę metalo sluoksnį greičiau nudils įrankis, bus sunaudota daugiau elektros energijos ir t.t. Be to užlaida gali įtakoti visa gamybinį procesą. Reikalingų operacijų ar perėjimų skaičių, įrankių sunaudojimą ir broko tikimybę. Kuo daugiau operacijų reikės užlaidai šalinti tuo ilgesnis ciklas bus detalei pagaminti, tuo didesnė bus jos savikaina.

Svarbu yra sukurti patikslintas užlaidų skaičiavimo metodikas. Užlaidų skaičiavimai panaudojus kompiuterio siūlomas galimybes, galėtume spręsti daug sudėtingesnius uždavinius įvertinančius daug daugiau faktorių lemiančių užlaidą.

Darbo objektas

Tarpinės užlaidos ir matmenys.

Darbo tikslas

- Įvertinti faktorius, įtakančius į užlaidos dalį, kurie pagal šiuo metu naudojamą V.M. Kovano užlaidų skaičiavimo metodiką nėra įvertinami. Šiame darbe nagrinėjama užlaidos priklausomybė nuo medžiagos kietumo ir įrankio dilimo.
- Išanalizuoti esamą prof. V. M. Kovano pasiūlytą metodiką užlaidų skaičiavimui, rasti šios teorijos trūkumas bei pateikti pasiūlymus kaip galėtume šiuos trūkumus spręsti.

1.UŽLAIDOS

1.1 Užlaidų skaičiavimo metodikos raida

Pagrindinis mašinų gamybos uždavinys – užtikrinti gaminių reikalaujamą kokybę esant mažiausioms bendroms sąnaudoms. Iškeltam uždaviniui didelę reikšmę turi optimalių užlaidų nustatymas technologiniam apdirbimui. Nuo jų dydžių priklauso medžiagos panaudojimas ir technologinių operacijų efektyvumas.

Užlaidų skaičiavimo metodikos pradininku laikomas prof V.M. Kovanas. Iki jo pasiūlyto metodo užlaidos buvo nustatomos lentelių būdu arba empirine formules, sudarytas pagal statistinius tyrimus, priklausomai nuo ruošinio storio ar gabaritinių matmenų. 1935 m. prof. V.M. Kovanas savo darbe [1] pastebėjo, kad šie metodai neleidžia tiksliai nustatyti užlaidos dydžio. Užlaidos, nustatomos tokiais metodais, buvo vienodos visuose paviršiuose, nepriklausomai nuo praėjimų skaičiaus technologinio apdirbimo metu ir kitų faktorių, įtakojančių į užlaidos dydį. Ypač netikslus buvo būdas nustatantis užlaidas pagal ruošinio svorį, kadangi tuščiaviduris ruošinys gali turėti pakankamai didelius gabaritinius matmenis esant pakankamai mažam svoriui, o kai kurių faktorių reikšmė, sąlygojanti užlaidos dydį, priklauso nuo jų dydžių.

Keletą dešimtmečių buvo siekiama išspręsti problemą, kaip nustatyti užlaidos dydį, kuri iškilo tada, kai ruošiniu pradėta apdirbti metalo pjovimo staklėmis. 1928 m. V.E. Makarovilis savo darbe [2] truputi apžvelgė klausimą apie užlaidų nustatymą. Čia buvo siūloma apdirbamų paviršių pirmai mechaninei operacijai (tekinimui, frezavimui...) užlaidas priimti pastovias, o jų dydį paskirti priklausomai nuo ruošinio svorio. Jo darbe pastebėta keletas svarbių faktorių įtakojančių į užlaidos dydį.

Toliau autorius nebenagrinėjo nurodytų faktorių, o pasiūlė empirinę formulę užlaidos nustatyti, priklausomai nuo ruošinio dydžio.

$$\Pi = K^3 \sqrt{D}. \quad (1.1)$$

čia: Π - užlaida;

D - ruošinio dydis;

K - koeficientas, nurodantis ruošinio tikslumo klasę.

Šio formulės pagrindu buvo sukurtos užlaidų lentelės, kur jų dydis buvo nustatomas priklausomai nuo ruošinio dydžio ir tikslumo klasės.

1930 m. I. Molianovas [3] pabrėžė, kad užlaidos paliekamos ne tik dėl mechaninio apdirbimo, bet ir dėl tam tikros atsargos, kad palengvinti kaltinį gaminį. Tai padidina kaltinių svorį,

kuri priklausomai nuo veleno diametro dydžio sudaro nuo 1,3 iki 2,25 baigtos detales svorio. Jo darbe, kaltiems velenams, užlaidos dydžio nustatymui buvo išvesta užlaidos dydžio priklausomybė nuo gabaritinių matmenų ir kitų charakterinių dydžių. Šios priklausomybės išaiškintos statistiškai ir tokiu būdu buvo sudaromos užlaidų lentelės nurodytoms detalėms.

1931 m. V.F. Piškovas savo darbe [4] pabrėžė svarbų faktą, kad „turi būti nustatytas maksimalus užlaidos dydis (metalo taupymui) ir minimalus dydis – kad po mechaninio apdirbimo aprūpinti paviršių reikalingu glotnumu“. Pateikiami kiti faktoriai įtakojantys į užlaidos dydį:

1. ruošinio medžiaga;
2. kaltinio konfigūracija;
3. kaltinių pjūvio forma;
4. pjūvio matmenys;
5. kaltinio ilgis;
6. įrangos galingumas;
7. gamyklos darbo apimtį (masinė, serijinė, vienetinė);
8. darbininko kvalifikacija.

Apie pirmus penkis punktus jau buvo kalbėta anksčiau. Faktoriai 7 ir 8 iš esmės įtakoja ne į užlaidos dydį, bet į toleranciją. Šeštasis faktorius, kuris priklauso nuo gamybos organizacijos kokybės, negali būti priskiriamas prie faktorių įtakojančių į užlaidos dydį.

1935 m. prof. V.M. Kovanas [5] savo darbe pirmą kartą suformulavo užlaidos nustatymą, taip pat autorius pateikia tokią įtaką, ekonominiu požiūriu, turi užlaidos nustatymas, pabrėždamas, kad reikia stengtis sumažinti užlaidą, net jei galima ją pašalinti vienu praėjimu. Kad pagrįsti šį teiginį autorius įrodo, kad nuo užlaidos dydžio priklauso apdirbimo laikas ir savikaina. Padidinus užlaidą padidėja visos savikainos dedamosios. Tačiau užlaidos mažinimas iššaukia broką. Vėlesniuose savo darbuose autorius pateikia praktinius metodus užlaidai nustatyti(priklausomai nuo ruošinio svorio ir gabaritinių matmenų) ir šių metodų kritiška analizę.

Nagrinėjant bet koki klausimą, tame tarpe ir apie užlaidos nustatymo metodą, pirmas ir svarbiausias etapas yra faktorių, kurie įtakoja nagrinėjamą objektą. Prof. V.M. Kovanas nurodo šiuos pagrindinius faktorius įtakojančius į užlaidos dydį:

1. gaminio konstrukcinės formos ir matmenys;
2. detalės medžiaga (plienas, ketus ar spalvoti lydiniai; anglinis ar legiruotas plienas štampuotiems ir kaltiems gaminiams);
3. technologinės sąlygos (leidžiami smulkūs įplyšimai, įtrūkimai kaltiniuose; reikalaujami apdirbtų paviršių tikslumas ir glotnumas);
4. mechaninio apdirbimo metodas ir terminis apdirbimas, kaip terminių sąlygų pasekmė;

5. ruošinio gavimo metodas (rankinis ar mašininis formavimas; ruošinio liejimo būdas; kaltas ar štampuotas ruošinys ir t.t.);

Aišku visi faktoriai, išskyrus trečiąjį, įtakoja į užlaidos dedamąsias (R_z , T , ρ ,). Techninės sąlygos žinoma turi įtakos į užlaidos dydį, tačiau kitokio charakterio. Apdirbtų paviršių reikalaujamas tikslumas ir glotnumas nustato paėjimų skaičių ir tuo pačiu, nustato bendrą užlaidos dydį. Užlaidos skaičiavimui autorius pateikė formulę:

$$Z_u = \Sigma Z_m + Z_z + T. \quad (1.2)$$

- čia: Z_u – normali apdirbimo užlaida;
 ΣZ_m – tarpinių mechaninio apdirbimo operacijų užlaidų suma;
 Z_z – viršutinis sluoksnis, kuris turi būti pašalintas rupaus apdirbimo metu, sudarytas iš vieno ar kitų defektų (nuanglintas sluoksnis, suardyta struktūrai t.t.);
 T – neigiamos užlaidos dydis, priklausantis nuo ruošinio dydžio.

Šios formulės esmė ta, kad bendra užlaida priimama kaip suma operacinių užlaidų ir defektinis ruošinio sluoksnis išskiriamas kaip užlaidos sudarantysis narys. Darbe pateikta svarbi normatyvinė medžiaga: vidutinių užlaidų lentelės, sudarytos atskiriems mechaninio apdirbimo būdams, priklausomai nuo ruošinio diametro ir ilgio.

1944 m. V.M. Kovanas atliktame darbe [6] pabrėžė, kad „normalinių užlaidų nustatymas, kuris aprūpina minimaliomis metalo sąnaudomis ir išlaidos plovimo įrankiai, o taip pat leidžia sutrumpinti technologinį laiką, turi remtis ištirtais fiziniais reškiniiais, kurie atsiranda detalės paviršiuje, apdirbimo proceso metu, ir tą tikslumą, kuris gaunamas skirtingų apdirbimo būdų metu“. Nagrinėjimame darbe pateikta užlaidų klacifikacija: tarpės, bendros, viepusės ir simetriškai išdėstytos, išorinių ir vidinių paviršių užlaidos. Duotos tikros tarpinės ir bendros užlaidos radimas. Pirmoji tai skirtumas tarp tikrųjų matmenų prieš ir po praėjimo, o antroji – skirtumas tarp tikrųjų ruošinio matmenų ir apribotos detalės. Autorius minimalia užlaida laiko skirtumą tarp mažiausio prieš apdirbimą ir didžiausio po apdirbimo matmenų, maksimalia užlaida – skirtumą tarp didžiausios ir mažiausios ribinių matmenų. Tai reiškia, skėčiojant tarpinius matmenis dar neįvertina technologinės sistemos tamproji deformacija. Šiame darbe V.M. Kovanas atkerpė dėmesį į svarbų klausimą: ar negalima paviršiaus defektinį ruošinio sluoksnį paskirstyti perėjimams, kad nereiktų jo nuimti pirmu praėjimu. Į šį klausimą galima atsakyti remiantis išnagrinėtais reiškiniais, kurie atsiranda detalės paviršiuje esant daliniam defektinio sluoksnio pašalinimui nuo padirbimo paviršiaus. Neturinti šių tyrimų rezultatų ir laikant nereikšmingu defektinio sluoksnio gylio dydį, o taip pat nedidelį paviršiaus nelygumų aukštį, reikia pripažinti racionalu pilnai pašalinti paviršiaus nelygumų aukštį ir defektinį sluoksnį kiekvieno sekančio praėjimo metu. Mano nuomone šiuo metu,

kai metalo taupymo klausimas ypač aktualus, reikia atkreipti dėmesį į duotą kausimą. Sumažinus pjovimo gylį ne tik taupomas metalas, bet padidėja visos gamybos ekonomiškumas: padidėja gamybos apimtis, apdirbimo tikslumas, sumažėja visos gamybos ekonomiškumas: padidėja gamybos apimtis, apdirbimo tikslumas, sumažėja skaičiavimų apimtis, kadangi reikia tiksliau nustatyti atskirų faktorių dydžių, įeinančių į užlaidos sudėtį. Šis trūkumas nėra esminis, kadangi šiuo metu skaičiavimams galima naudoti kompiuterius. Šiame darbe minimali užlaida randama pagal formulę:

$$Z_{un}=H_m + T_m. \quad (1.3)$$

čia: Z_{un} —minimali tarpinė užlaida, sekančio praėjimo apdirbimui;

H_m —didžiausias paviršiaus nelygumų aukštis, gautas ankstesnės operacijos metu;

T_m —didžiausiais paviršiaus defektinio sluoksnio gylis, gautos ankstesnės operacijos metu.

Nors į šią formulę dar neįvesti užlaidos dedamieji, kaip erdviniai nukrypimai ir pastatymo paklaida, apie jų būtinumą skaičiuojant užlaidas autorius pabrėžia atskirai. Čia autorius pastatymo paklaidą laiko bazavimo paklaidą.

1943m. P.T. Jemeljanovas ir N.V. Poniuškinas [7] atliktame darbe pažymima, kad tarp priešasčių, didžiausių užlaidos dydį, tokių kaip ruošinio geometrinės formos nukrypimas, viršutinio metalo sluoksnio defektai, ne mažesnės įtakos turi priimtas ruošinio matmenų skaičiavimo metodais. Duotame darbe išanalizuotas svarbus klausimas apie ruošinio matmenų ir užlaidos dydžių sumažinimą, kai tikimybių teorijos pagrindu sumuojami geometriniai ruošinio parametrai (diametrai, sienelių storiai, ruošinio išlinkimo dydžiai). Pažymėta, kad naudojant pasiūlytą ruošinio matmenų skaičiavimo metodą sulaupyti nuo 30% iki 40% metalo. Klausimas apie skirtingų paklaidų sumavimą, tikimybių teorijos pagrindu, skaičiuojant užlaidas arba operacinius matmenis iki šių dienų dar pilnai neatsakytas. Pavyzdžiui, erdviniai nukrypimai ir pastatymo paklaidos sumuojamos pagal kvadratinę šaknį. Tikrovėje šių vektorių sumos dydį reikėtų nustatyti priklausomai nuo priimto broko rizikos procento. Šiuo klausimu buvo atlikti tyrimai, bet jų rezultatai praktiškai nebuvo taikomos. V. N. Gluškovas [8] pateikė keletą faktorių įtakojančių į užlaidos dydį: pirminė mechaninių apdirbimo bazė, mechaninio apdirbimo metodas, naudojama įranga, plieno markė, terminis apdirbimas. Pavyzdžiui, pirminė įtakoja į užlaidos dydį per pastatymo paklaidą, mechaninio apdirbimo metodas per mikronelygumų dydį ir viršutinio sluoksnio defektus ir t.t. Reikia pabrėžti, kad autorius pirmasis paminėjo tokį svarbų faktorių įtakojančią į užlaidą, kaip pirminio mechaninio apdirbimo bazė.

Svarbiu faktoriumi siekiant sumažinti užlaidų tolerancijas yra matmenų grandinių skaičiavimas. Keičiant bazinius paviršius vienu užlaidų tolerancijos didėja, o kitų mažėja. Tokiu būdu galima parinkti tokias bazavimo schemas, kad užlaidų tolerancijos būtų kuo mažesnės. Šios matmenų grandinių teorijos naudojimo svarbą, skaičiuojant užlaidas, savo darbe [9] pabrėžė I.A. Ivaščenko. Jis pastebėjo tai, kad apdirbant laiptuotą ruošinį užlaidos neturėjo vieno sutartinio pavadinimo. Jos buvo vadinamos tarpinėmis, tarpoperacinėmis, tarp praėjiminėmis ir t.t. Autorius pasiūlė naudoti labiau tinkantį terminą „operacinę užlaidą“. Jis pateikė formulę didžiausiai galimai užlaidai apskaičiuoti:

$$Z_{i \max} = Z_i + \delta_i. \quad (1.4)$$

čia: Z_i – nominali užlaida;

Iš šios formulės matyti, kad mažiausia detalės matmenį galima gauti esant maksimaliam ruošinio matmeniui, t.y. dydis tampriosios deformacijos dydis nepriklauso nuo pjovimo gylio. Toks atvejis galimas apdirbant detales, kai pjovimo gylis mažas, tada kai dėl mažos pjovimo jėgos technologinės sistemos tampriosios deformacijos svyravimas yra beveik nepastebimas ir jo galima neįvertinti. Bet tai dar reikia eksperimentiškai patikrinti.

Minimaliai operacinei užlaidai skaičiuoti autorius pasiūlė šią formulę:

$$Z_{i \min} = Z_i - \delta_{i-1}. \quad (1.5)$$

Tokią minimalios užlaidos reikšmę galima gauti atskirais apdirbimo atvejais (šlifavimas, išbaigimas) arba kaip anksčiau minėta, tuo atveju kai neįvertinamas technologinės sistemos tampriosios deformacijos svyravimas. Pažymima, kad techninėje literatūroje ir praktikoje suskaičiuotas užlaidos dydis priimamas kaip įvairios reikšmės: nominali Z_i , mažiausia $Z_{i \min}$, vidutinė $Z_{i \text{ vid}}$ ir garantuota $Z_{i \text{ gar}}$. Autorius teisingai pastebi, kad pirminis yra mažiausias užlaidos dydis, o kiti – išvestiniai dydžiai. Todėl, nelabai suprantama tokių išsireiškimų, kaip „apskaičiuotas“ nominalus, „suskaičiuotas“ vidutinis ir t.t. esmė, juk projektuojant technologinius procesus svarbu nustatyti maksimalią užlaidą, minimalius ir maksimalius detalės matmenis po apdirbimo operacijos, o visi šie skaičiavimai remiasi minimalia užlaida.

Šiuo metu yra sudaryta normatyvinė minimalių užlaidų bazė. Tai leidžia sumažinti užlaidas ir tuo pačiu metalo sąnaudas. Bet pagrindinis normatyvinio metodo trūkumas išlieka, t.y. neįvertinamos konkrečios apdirbimo sąlygos ir dėl to minimali užlaida bus padidinta.

Autorius minimalią užlaidą išreiškia šia formule:

$$Z_{i \min} = Z_{ia} - Z_{ib}. \quad (1.6)$$

čia: $Z_{ia} = 2(R_z + T)_{i-1}$ – sukimosi paviršiams;

$Z_{ia} = (R_z + T)_{i-1}$ – plokštiems paviršiams;

R_z – mikronelygumų aukštis;

T – defektinio sluoksnio gylis.

Dedamasis Z_{ib} kompensuoja užlaidos nelygumus gautus dėl erdviųjų nukrypimų, pastatymo paklaidos ir nekontroliuojamų formos paklaidų. Tai gi minimalios užlaidos dedamosios, išskyrus nekontroliuojamas formos paklaidas, tokios pat kaip ir prof. V.M. Kovano metode. Jų sujungimas į dvi grupes Z_{ia} ir Z_{ib} nieko naujo į užlaidų skaičiavimo metodiką neįneša.

Autorius savo darbe paliečia svarbų klausimą, iškelta anksčiau V.P. Firago, apie tvirtinimo paklaidų įvertimą minimalios užlaidos skaičiavime. Jo darbe rašoma apie nustatymo paklaidą ir teigiama, kad nustatymo paklaida priimta vadinti nustatymo baze padėties svyravimą užduoto matmens kryptimi.

Tai nėra visiškai teisinga. Literatūroje duota paklaida vadinama tvirtinimo paklaida. Darbe nurodoma, kad pastatymo paklaidą reikia įvertinti dvipusio apdirbimo metu, o esant vienpusiam apdirbimui ir sukimosi paviršiams nurodyta paklaida įeina į tolerancijos dydžio sudėtį ir jos nereikia papildomai įvertinti. Be to, pažymima, kad minimalios užlaidos struktūra ir pastatymo paklaida priklauso nuo atskaitos sistemos. Su tuo negalima sutikti, nes minimalios užlaidos $Z_{i \min}$ pagrindu nustatoma maksimali užlaida $Z_{i \max}$, operaciniai matmenys $a_{i \max}$ ir $a_{i \min}$, o pagal juos skaičiuojami derinimo matmenys. Klausimas ar įjungti į $Z_{i \min}$ sudėtį tvirtinimo paklaidą priklauso tik nuo to, ar užtikrins nurodyti skaičiavimai minimalų metalo sluoksnį $R_z + T$, kurį reikia nuimti pačiomis nepalankiomis apdirbimo sąlygomis. Duota analizė parodo, kad visais atvejais tvirtinimo paklaida turi būti įvertinta arba nustatant $Z_{i \min}$ arba skaičiuojant operacinius matmenis.

1.2. Pagrindinės užlaidų sąvokos

Užlaida yra vadinamas medžiagos sluoksnis [10], kurį reikia pašalinti nuo ruošinio, norint gauti nustatytas apdirbamo paviršiaus savybes. Apdirbamo paviršiaus savybės gali būti matmuo, forma, kietumas, šiurkštumas ir t.t. Nuėmus užlaidą [11], turi nelikti paruošimo ir tarpinių operacijų metu sugadintų medžiagos sluoksnių, neapdirbtų paviršių.

Užlaida, pašalinama atliekant viena technologijos operaciją, yra vadinama operacijos užlaida. Operacijos užlaida ne visada pašalinama vienu kartu. Jeigu užlaida pašalinama viena technologijos pakopa, ji vadinama pakopos užlaida. O visų operacijų metu pašalinamų užlaidų suma sudaro bendrą užlaidą.

Užlaidos yra matuojamos apdirbamajam [11] paviršiui statmena kryptimi. Jos gali būti simetrinės ir nesimetrinės. Jei iš abiejų ruošinio šonų pašalinamas vienodos medžiagos sluoksnis, tokia užlaida vadinama simetrine, o jei nevienodas, - nesimetrine. Užlaidos gali būti nurodomos vienam arba dviem šonams. Simetrinės sukimosi paviršių užlaidos dažnai nurodomos skersmeniui ir žymimos $2z$. Taip pat gali būti nurodomos ir žymimos simetrinės užlaidos dviem priešpriešiais esančioms plokštumoms:

$$2z = D_{\text{ruoš}} - D_{\text{det}}. \quad (1.7)$$

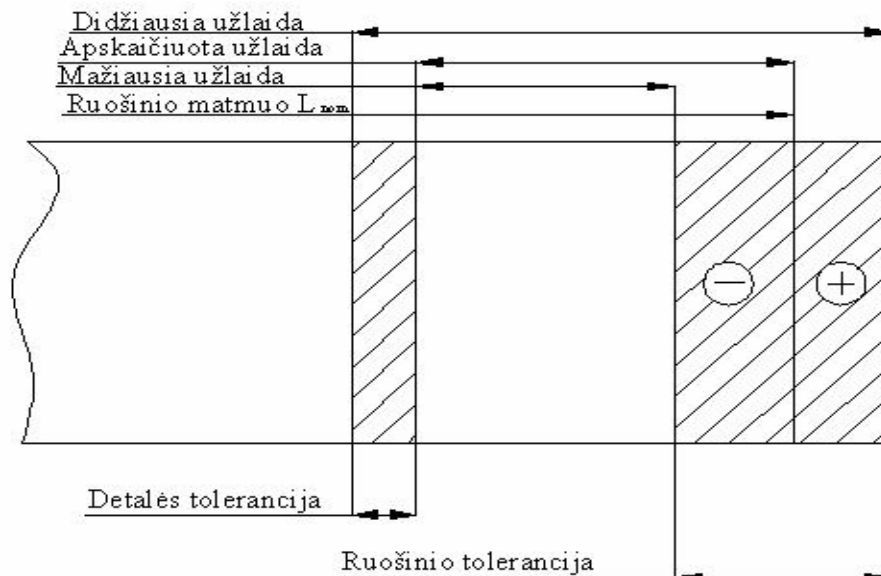
čia: z – bendroji užlaida vienam cilindrinio detalės paviršiaus šonui;
 $D_{\text{ruoš}}$ – ruošinio skersmuo;
 D_{det} – detalės skersmuo;

$$2z = \sum_{i=1}^n 2z_i. \quad (1.8)$$

čia: z_i - operacijos užlaida vienam cilindrinės detalės paviršiaus šonui;
 n – operacijų skaičius.

Išorinių paviršių matmenų, gautų ankstesnėje ir vėlesnėje operacijoje, skirtumas yra teigiamas dydis, o vidinių – neigiamas.

Bendra užlaidų schema parodyta 1.1 pav.



1.1 pav. Bendra užlaidos schema

1.3. Optimali užlaida

Užlaidų dydis turi svarbią reikšmę projektuojamam technologijos procesui. Jeigu užlaida yra per didelė, detalei pagaminti sunaudojama daug medžiagos, daromos papildomos technologijos pakopos, papildomai gaištamas laikas, eikvojama energija, dyla pjovimo įrankiai. Todėl padidėja detalės savikaina. Jeigu paviršinis ruošinio sluoksnis yra atsparus dilimui, negerai, kai per didelės užlaidos jis yra pašalinamas. Užlaida negali būti per daug maža, nes jos gali neužtekti ruošinio ar ankstesnio apdirbimo paklaidoms ištaisyti, netinkamam paviršiaus sluoksniui pašalinti ir reikiamam mikronelygumų aukščiui gauti. Dėl mažos užlaidos gali susidaryti netinkamos pjovimo įrankio darbo sąlygos, jam pjaunant liejimo pluta arba sukietintą sluoksnį. Per maža užlaida gali būti broko priežastis. Didelės užlaidos pasitaiko vienetinėje gamyboje, kai apdirbami netikslūs ruošiniai [11]. Formuluoti technologinį procesą tiksliam ruošiniui gauti vienetinėje gamyboje ne visada ekonomiškai apsimoka, tuo tarpu stambiaserijinėje ar masinėje gamyboje įdėti didesni kaštai ruošinio gavimui turi didelės įtakos savikainai dėl aukščiau išvardintų priežasčių.

Šios priežastys verčia siekti optimalių užlaidų. Optimalios užlaidos nustatymas siejasi su ruošinio matmenų ir tarpinių ruošinio apdirbimo matmenų ir tolerancijų nustatymu. Ruošinys turi būti kaip galima tikslesnis, ypač jeigu toliau jį numatoma apdirbti automatinio matmenų gavimo būdu, nes netikslų ruošinį sunku tvirtinti įtaisuose ir pasiekti reikiamą apdirbimo tikslumą. Štampams, presformoms, modeliams, įtaisams, specialiams pjovimo ir matavimo įrankiams konstruoti ir įrengimams derinti reikia žinoti ir ruošinio matmenis, ir tarpinius matmenis, gautus po

vienos ar kelių operacijų. Turint optimalias užlaidas, galima teisingai apskaičiuoti ruošinių masę, pjovimo režimus, normuoti.

Užlaidos gali būti parenkamos iš lentelių arba apskaičiuojamos sumuojant į jas įeinančius elementus. Tarpinius matmenis, tolerancijas patogiau apskaičiuoti naudojantis matmeninės analizės metodika.

1.4. Užlaidų parinkimas iš lentelių

Mašinių gamyboje užlaidos dažnai parenkamos iš lentelių [10], pateikiamų standartuose ir žinynuose. Lentelės yra sudarytos apibendrinus pirmaujančių įmonių patirtį. Šiuo būdu užlaidos parenkamos greitai ir paprastai.

Standartuose nurodomos lietinių, kaltinių, šampuotų ruošinių bendros užlaidos visoms operacijoms priklausomai nuo ruošinio matmenų ir paviršiaus padėties (viršus, šonas, apačia). Pasirinkus bendrą užlaidą, žinant technologijos kelią, iš žinynuose esančių lentelių parenkama užlaida paskutiniai operacijai. Toliau renkama užlaida priešpaskutiniai operacijai ir t.t. Paskutinei, rupiojo apdirbimo operacijos, užlaidai tenka nuo ankstesnių operacijų likęs metalo sluoksnis. Tarpinių matmenų tolerancijos randamos iš lentelių, žinant, kokį matmens tikslumą galima pasiekti vienu ar kitu apdirbimo būdu. Pavyzdžiui, jeigu technologijos kelyje numatyta glotniojo frezavimo operacija, iš lentelės pasitiksliname, kad po tokio apdorojimo galima pasiekti apie 10 kvaliteto matmens tikslumą. Pagal apdirbamo paviršiaus matmenį surandami 10 kokybę (10H, 10h) atitinkantys nuokrypiai.

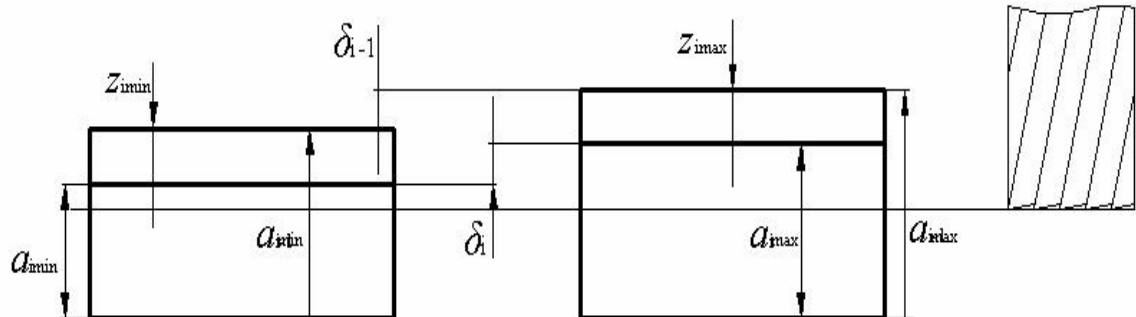
Jei ruošinį numatoma gaminti iš valcuotos medžiagos, bendra užlaida pradžioje gali būti nežinoma. Tada iš lentelių parenkamos užlaidos kiekvienai operacijai, pradedant paskutine. Užlaida pirmajai, rupiojo apdirbimo, operacijai lentelėse gali būti nenurodyta. Tada ji pasirenkama taip, kad sudarytų apie 70% bendrosios užlaidos. Jeigu ruošinys yra tikslus, pirmosios operacijos užlaida gali būti gerokai mažesnė. Bendroji užlaida ir ruošinio matmenys gaunami susumavus visų operacijų užlaidas.

Užlaidų parinkimo iš lentelių būdas turi trūkumų – neįvertinamos ruošinio technologijos kelio ir konkrečių operacijų sąlygos. Siekiant išvengti broko dėl per mažų užlaidų, lentelėse nurodomos padidintos jų vertės. Dėl to sunaudojama daug medžiagos ir padidėja apdirbimo išlaidos.

Užlaidos iš lentelių parenkamos vienetinėje ir serijinėje gamyboje

1.5. Tarpiniai ir ruošinio matmenys

Apskaičiuavus užlaidas, apskaičiuojami ruošinio matmenys, kurie turi būti gauti po kiekvienos pakopos ar operacijos.



1.2 pav. Ruošinių su minimalia ir maksimalia užlaidomis apdirbimas

Dirbant automatinio matmenų gavimo būdu ir vienu ėjimu nupjaunant užlaidą [10] dėl tampriųjų sistemos nuspaudimų atsiranda kopijavimo reiškinys. Dėl to, apdirbant mažiausio matmens ruošinį a_{i-1}^{\min} , esant mažiausiam pjovimo gyliui z_i^{\min} , įrankis nuo paviršiaus bus atstumiamas mažiausiai ir gausime mažiausią matmenį a_i^{\min} , (1.2 pav.). Apdirbant didžiausią ruošinį, kurio matmuo yra a_{i-1}^{\max} , pjovimo gylis bus didžiausias ir veiks didžiausia įrankį nuo ruošinio stumianti jėga. Po apdirbimo gausime didžiausią matmenį a_i^{\max} .

Mažiausia tarpinė užlaida:

$$z_i^{\min} = a_{i-1}^{\min} - a_i^{\min}; \quad (1.9)$$

$$\text{didžiausia} - z_i^{\max} = a_{i-1}^{\max} - a_i^{\min}. \quad (1.10)$$

Kadangi $a_{i-1}^{\max} = a_{i-1}^{\min} + \delta_{i-1}$ ir $a_i^{\max} = a_i^{\min} + \delta_i$ šias vertes įrašę į (1.10) gausime:

$$z_i^{\max} = a_{i-1}^{\min} + \delta_{i-1} - a_i^{\min} - \delta_i = z_i^{\min} + \delta_{i-1} - \delta_i. \quad (1.11)$$

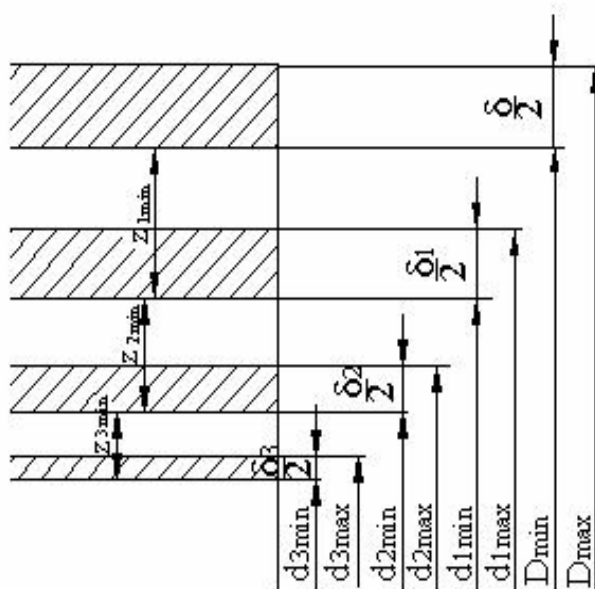
arba

$$z_i^{\max} - z_i^{\min} = \delta_{i-1} - \delta_i. \quad (1.12)$$

čia δ_{i-1} - ruošinio matmens, o δ_i - apdirbtojo paviršiaus matmens tolerancijos.

(1.12) priklausomybė naudojama užlaidos skaičiavimo teisingumui patikrinti.

Pažiūrėkime, kaip apskaičiuojami tarpiniai apdirbamojo paviršiaus matmenys, apdirbant išorinį cilindrinį paviršių iš anksto numatytomis staklėmis (1.3 pav.). Sakykim, kad detalei iš ruošinio pagaminti reikalingos trys operacijos: rupusis, glotnasis ir tikslusis tekinimas. Indeksai prie matmenų, užlaidų ir tolerancijų žymi operacijas: 1 – rupusis tekinimas, 2 – glotnasis tekinimas, 3 – tikslusis tekinimas.



1.3 pav. Užlaidų, tarpinių matmenų ir tolerancijų schema apdirbant automatinio matmenų gavimo būdu

Schema pradedama sudaryti nuo darbo brėžinyje duotų baigtos detalės matmenų d_{3min} ir d_{3max} , kurie gaunami po paskutinės – tiksliojo tekinimo – operacijos. Prie mažiausio baigtos detalės matmens d_{3min} pridedama minimali užlaida tiksliojo tekinimo operacijai z_{3min} , ir gaunamas mažiausias matmuo po glotniojo tekinimo operacijos d_{2min} . Prie šio matmens pridėję minimalią užlaidą glotniajam tekinimui z_{2min} , gausime mažiausią matmenį po rupiojo tekinimo operacijos d_{1min} . Ir pagaliau prie matmens d_1 pridėję minimalią užlaidą rupiajam tekinimui z_{1min} , gausime mažiausią ruošinio matmenį D_{min} . Didžiausi matmenys D_{max} , d_{1max} , d_{2max} gaunami prie atitinkamų mažiausių matmenų pridėjus tolerancijas, panašiai, kaip buvo daroma parenkant užlaidas iš lentelių.

Susumavus visų operacijų mažiausias užlaidas, gaunama mažiausia bendra užlaida, o susumavus didžiausias, - didžiausia bendra užlaida.

Ši schema būdinga, apdirbant ruošinį iš anksto suderintomis staklėmis (automatinio matmenų gavimo būdu), kai tarpinė užlaida nupjaunama vienu ėjimu. Jeigu dirbama bandomųjų ėjimų būdu, kas pvz., gana dažnai būna šlifuojant paviršių, užlaidų ir tolerancijų schema šiek tiek keičiasi. Baigiamosiose operacijose pjovimo jėgos yra mažos, dėl to technologinė sistema nėra

deformuojama, o darbininkas, kontroliuodamas matmenį kalibru, stengiasi gauti didžiausią ribinį matmenį. Esant tokioms aplinkybėms, mažiausia tarpinė užlaida yra lygi mažiausio ribinio matmens, gauto ankstesnėje operacijoje, ir didžiausio matmens atliekamoje operacijoje skirtumui. Ši užlaida turi būti pakankama visiems ankstesnio apdirbimo netikslumams pašalinti, o tai yra ypač svarbu, jei tai paskutinė technologijos proceso operacija. Apdirbimas, siekiant didžiausio galimo matmens paskutinėje stadijoje, pateisinamas ir tuo, kad tada lieka didesnė metalo atsarga nudilimui.

Užlaidų ir tarpinių matmenų išoriniams (vidiniams) paviršiams skaičiavimo tvarka yra tokia:

1. Vadovaujantis detalės brėžiniu ir mechaninio apdirbimo technologine kortele, į lentelę surašomi apdirbami paviršiai ir jų apdirbimo pakopos, pradedant ruošiniu ir baigiant galutiniu apdirbimu.
2. Užrašomos R_z , h , ρ , ε ir T vertės.
3. Apskaičiuojamos visų technologijos pakopų minimalios užlaidos $z_{i \min}$.
4. Paskutinei pakopai į grafą „Apskaičiuotas minimalus matmuo“ įrašomas mažiausias (didžiausias – jei apdirbama skylė) ribinis detalės matmuo pagal brėžinį.
5. Apskaičiuojamas priešpaskutinės pakopos matmuo, pridedant užlaidą $z_{i \min}$ prie mažiausio ribinio detalės matmens pagal brėžinį (jei apdirbama skylė – iš didžiausio ribinio matmens pagal brėžinį atimant užlaidą $z_{i \min}$).
6. Apskaičiuojami kiekvienos ankstesnės pakopos matmenys, pridedant prie skaičiuojamojo matmens (atimant iš skaičiuojamojo matmens) tolesnės pakopos apskaičiuotą užlaidą.
7. Surašomi visų technologijos pakopų ribiniai mažiausi (didžiausi) matmenys, suapvalinant jų vertes iki tiek ženklų po kablelio, kiek jų turi kiekvienos pakopos tolerancija.
8. Apskaičiuojami didžiausi (mažiausi) ribiniai matmenys, pridedant toleranciją prie mažiausio suapvalinto ribinio matmens (atimant toleranciją iš didžiausio suapvalinto ribinio matmens).
9. Užrašomos ribinės užlaidų z_{max} vertės, gautos kaip didžiausių (mažiausių) ribinių verčių skirtumas, ir z_{min} , kaip mažiausių (didžiausių) ankstesniosios ir atliekamosios pakopų ribinių verčių skirtumas.
10. Sumuojant tarpines užlaidas, apskaičiuojamos bendrosios užlaidos z_{0max} ir z_{0min} .
11. Skaičiavimams patikrinti naudojamos formulės:

$$z_{i \max} - z_{i \min} = \delta_{i-1} - \delta_i ; \quad (1.13)$$

$$2z_{i \max} - 2z_{i \min} = \delta_{D_{i-1}} - \delta_{D_i} ; \quad (1.14)$$

$$z_{0 \max} - z_{0 \min} = \delta_{\text{ruoš}} - \delta_{\text{det}} ; \quad (1.15)$$

$$2z_{0 \max} - 2z_{0 \min} = \delta_{D_{\text{ruoš}}} - \delta_{\text{det}} ; \quad (1.16)$$

Paskutinės apdirbimo pakopos tolerancija ir tikro nelygumo aukštis imami iš detalės brėžinio, pasitikrinant žinynuose, ar juos galima pasiekti pasirinktuojų technologijos būdu. Ruošinyje po rūpiojo ir pusglotnio apdirbimo, taip pat ir po šiluminio apdorojimo, jei anksčiau jų ir nebuvo, būtina įvertinti erdvinius nuokrypius. Po glotniojo ir baigiamojo apdirbimo jos tiek sumažinamos, kad tampa nereikšmingos.

Pildant skaičiavimo lentelę, išorinius ir vidinius paviršius rekomenduojama sugrupuoti ir surašyti atskiromis grupėmis. Užlaidos reikalingos įvairiems technologiniams skaičiavimams. Didžiausia pjovimo jėga, staklių galia, ruošinio įtvirtinimo įtaise jėga apskaičiuojamos pagal didžiausią užlaidą. Pjovimo įrankio patvarumas, skaičiuojant režimus, vertinamas pagal vidutinę užlaidą.

Išnagrinėtas užlaidų tarpinių matmenų apskaičiavimo būdas taikomas masinėje stambių ir vidutinių serijų gamyboje. Jis taip pat rekomenduojamas sunkiųjų mašinų gamybai, net ir pavienėms detalėms gaminti. Stambių detalių apdirbimas trunka ilgai, joms reikia daug metalo, dėl to, žinant tikslesnes užlaidas, galima sumažinti darbo imlumą ir metalo sąnaudas.

Skaičiuojant užlaidas pavienėms detalėms, įvertinama jų apdirbimo specifika. Nustatymo paklaida čia dažnai būna ruošinio padėties staklėse išlyginimo paklaida, priklausanti nuo padėties išlyginimo būdo. Erdvinės pavienių laisvuojų kalimu kaltų ruošinių nuokrypiai būna įlinkis, velenų laiptų ašių nesutapimas, diskų išorinio paviršiaus ir skylės ašių nesutapimas. Liejinių erdvinei nuokrypiai dažnai atsiranda dėl gurgučių, pagal kuriuos išliejamos skylės ir vidinės ertmės.

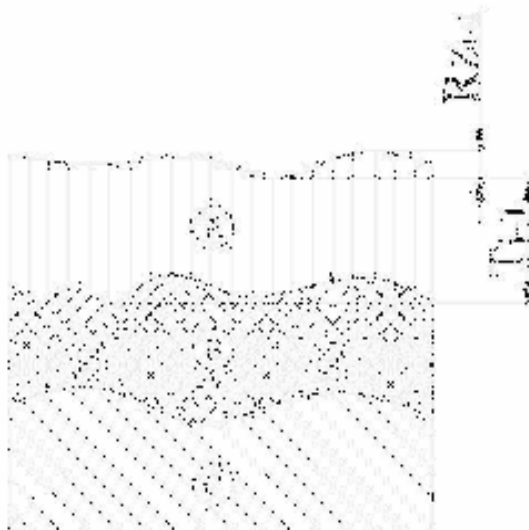
Kartais tenka apdirbti surinktus junginius, pavyzdžiui, ištekinti iš dalių sujungtus reduktorių korpusus, vidaus degimo variklių švaistiklius. Skaičiuojant užlaidas surinktų detalių operacijoms, reikia įvertinti galimus jų poslinkius viena kitos atžvilgiu renkant. Dėl tokių poslinkių padidėja bendrojo apdirbimo užlaida.

1.6. Užlaidų skaičiavimas

Tarpinė užlaida turi būti apskaičiuojama taip, kad, ją nupjaunant būtų pašalintos ankstesnėse pakopose atsiradusios apdirbimo paklaidos ir paviršiaus sluoksnių defektai, taip pat ruošinio pastatymo kitai operacijai paklaidos. Svarbu yra tai, kad šiuo būdu metodikoje įvertinamas konkrečios technologijos proceso sąlygos. Dėl to projektuojant naujus technologijos procesus, ir analizuojant jau naudojamus, galima mažinti medžiagų sąnaudas ir darbo imlumą.

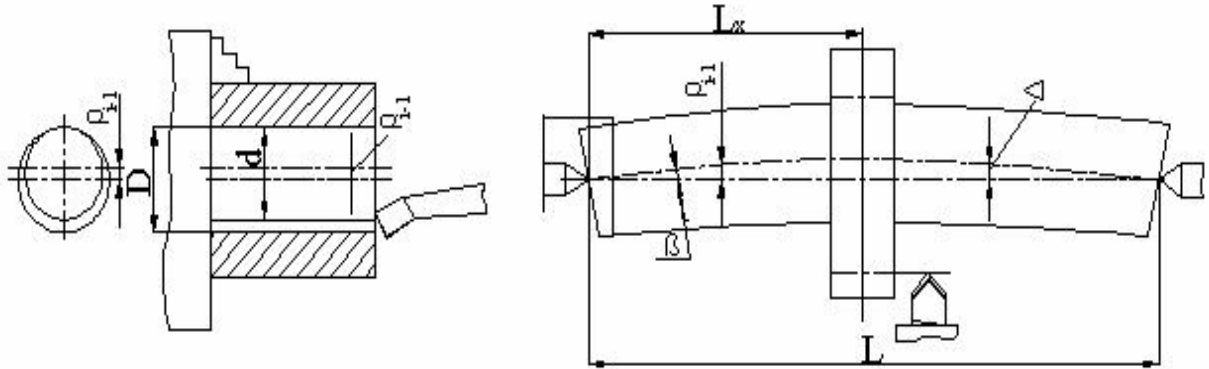
Apskaičiuojamą minimalią užlaidą sudaro tokie elementai:

1. mikronelygumų aukštis $R_{z_{i-1}}$, gautas ankstesnėje technologijos pakopoje apdirbant nagrinėjamąjį paviršių. (Dabartinė pakopa ar operacija žymima indeksu i , ankstesnė – $i-1$.) Pirmojoje operacijoje skaičiavimams imamas ruošinio mikronelygumų aukštis. Antrojoje operacijoje reikia pašalinti pirmojoje operacijoje (arba pakopoje) atsiradusius mikronelygumus, trečiojoje – antrojoje operacijoje atsiradusius mikronelygumus ir t.t
2. Netinkamas paviršinis sluoksnis, gautas ankstesnėje pakopoje h_{i-1} . Sluoksnis priklauso nuo ruošinio gamybos ir tolesnio apdirbimo būdo. Jeigu paviršinis sluoksnis yra specialiai sukietinamas, pvz., paviršiniu grūdinimu, plastiniu deformavimu ar kitaip, apdirbant jį reikia palikti; nupjaunama tik ta jo dalis, kuri būtina reikiamam mikronelygumų aukščiui gauti ir ankstesnėms paklaidoms ištaisyti. Ruošinio paviršiaus sluoksnio schema parodyta 1.4 pav.



1.4 pav. Ruošinio paviršiaus schema: A – pašalinamoji paviršinio sluoksnio dalis; B – nešalinamoji paviršinio sluoksnio dalis; C – pagrindinė struktūra; $R_{z_{i-1}}$ - mikronelygumų aukštis; h_{i-1} - šalinamoji sluoksnio gylis

3. Apdirbamojo paviršiaus padėties ruošinio bazinių paviršių atžvilgiu erdviniai nuokrypiai ρ_{i-1} . Erdviniai nuokrypiai – tai išorinio (bazinio) paviršiaus ir vidinio ištekiamo įvorės paviršiaus ašių nesutapimas (1.5 pav., a); aptekiamo laiptuotojo veleno laiptų ašių nesutapimas su ilčių linijos ašimi (1.5 pav., b) arba su baziniais kakliukais; galinio paviršiaus nestatmenumas baziniam cilindriniam ruošinio paviršiui; korpusinės detalės apdirbamojo paviršiaus nelygiagretumas su baziniu paviršiumi ir kitos apdirbamųjų ir bazinių paviršių tarpusavio padėties paklaidos.



1.5 pav. Apdirbamųjų paviršių padėties erdviniai nuokrypiai bazinių paviršių atžvilgiu:

a – skylės ištekimas išorinės cilindrinio paviršiaus atžvilgiu;

b – laipto ir ilčių linijos ašių nesutapimas

1.5 paveiksle, a, parodyta įvorės išorinio ir vidinio cilindrinio paviršių ašių nesutapimo ρ_{i-1} įtaka skylės ištekimo užlaidai. Išoriniu paviršiumi įvorė bazuojama trijų kumštelių centravimo griebtuve. Reikia ištekinti D skersmens skylę. Ašių nesutapimą kompensuojanti užlaidos dalis skersmeniui yra $2\rho_{i-1}$. Jeigu ruošinio skylės skersmuo būtų apskaičiuojamas įvertinant tik tą vieną dedamąją, jis būtų lygus $d = D - \rho_{i-1}$.

Vidurinio laipto ašių nesutapimo su ilčių linija, atsiradusio dėl ruošinio įlinkio, įtaka to laipto tekinimo užlaidai parodyta 1.5 pav., b. Norint kompensuoti tą įtaką, prie užlaidos reikia pridėti $2\rho_{i-1}$ dydį.

Erdviniai nuokrypiai atsiranda dėl ruošinių netikslumo, o išlieka dėl netikslumų paveldėjimo tolesnėse operacijose. Jos priklauso nuo pasirinktos bazavimo schemas.

4. Nustatymo paklaida ε_i atliekamojoje pakopoje. Joms kompensuoti reikia atitinkamai padidinti užlaidą. Vadinasi, mažiausia tarpoperacinė apdirbimo užlaida z_i^{\min} , kai ruošinio išorinis ribinis matmuo mažiausias ir kai vidinis ribinis matmuo didžiausias, apskaičiuojama iš formulės:

$$z_i^{\min} = R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{ni} \quad (1.17)$$

$$2z_i^{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}). \quad (1.18)$$

čia: $R_{z_{i-1}}$ - vidutinis mikronelygumų aukštis;
 T_{i-1} – paviršiaus defektinio sluoksnio storis;
 ρ_{i-1} - tarpusavyje susijusių paviršių erdviųjų nuokrypų geometrinė suma;
 ε_{ni} - nustatymo paklaida;
 $i-1$ – indeksas, reiškiantis ankstesnę operaciją;
 i – indeksas, reiškiantis atliekama operaciją.

Iš (1.17) ir (1.18) formulių matome, kad į tarpoperacinę užlaidą įeina ankstesnės operacijos paklaidos ir atliekamos operacijos nustatymo paklaida.

Apdirbant plokščius paviršius, įskaitoma didžiausioji tarpusavyje susijusių paviršių padėties nuokrypa apdirbamo paviršiaus statmens kryptimi. Tada suminė ρ_{i-1} reikšmė randama kaip erdviųjų nuokrypų vektorinė suma. Kai vektoriai ρ_1 ir ρ_2 vienodos krypties (kampas tarp jų lygus nuliui):

$$\rho_{i-1} = \rho_1 + \rho_2. \quad (1.19)$$

Kai vektorių kryptys priešingos (kai kampas 180^0):

$$\rho_{i-1} = \rho_1 - \rho_2. \quad (1.20)$$

Apdirbant sukinių paviršius, įskaitomos suminės priklausomų paviršių nuokrypos, kurių vektoriai gali būti įvairių krypčių, todėl, kai negalima nustatyti jų krypties, reikia skaičiuoti pagal formulę:

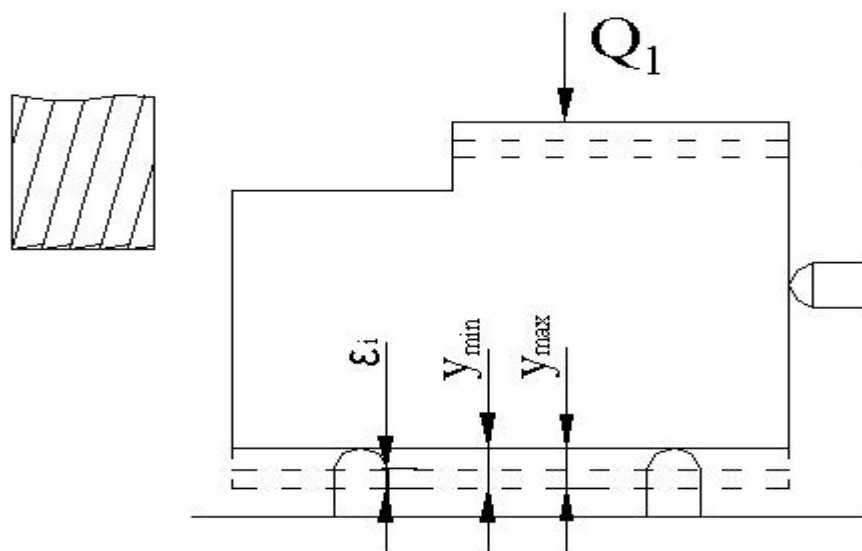
$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}. \quad (1.21)$$

Jeigu ruošinių partija yra apdirbama automatiniu matmenų gavimo būdu [10], įtvirtinus įtaise ir prispaudus jėga Q , kiekvieno ruošinio apdirbamasis paviršius atsidurs skirtingoje padėtyje, nes skirsis jų prispaudimo sąlygos. Dėl prispaudimo jėgos Q nevienodumo ir dėl skirtingo ruošinio

bazavimo paviršiaus kietumo viena ruošinys bus labiau įspaustas į atramas ir atsidurs žemesnėje, o kitas – mažiau įspaustas – aukštesnėje padėtyje. Ruošinių poslinkis vertikalia kryptimi svyruos nuo Y_{\max} iki Y_{\min} . Tvirtinimo paklaida:

$$\varepsilon_i = Y_{\max} - Y_{\min} \quad (1.22)$$

Tvirtinimo paklaidos susidarymo schema dėl kontaktinių deformacijų bazinių paviršiaus lietimosi su įtaiso atramomis vietose parodyta 1.6 paveiksle, ε_i turi būti mažesnė už norimo gauti matmens toleranciją. Jeigu taip nėra, reikia taikyti bandomųjų ėjimų metodiką. Jeigu įtaisuose įtvirtinama pneumatiniiais, hidrauliniiais ar kitokiais mechanizuotais įrengimais ir prispaudimo jėga nedaug svyruoja, ε_i mažai teturi įtakos užlaidos dydžiui.



1.6 pav. Nustatymo paklaidos schema

Paviršiaus, kuriam skaičiuojama užlaida, formos paklaidos – cilindrinų paviršių ovališkumas, kūgiškumas, statinės pavidalas, plokštumų iškilimai ir įdubimai ir k.t. – įtakos užlaidos dydžiui neturi. Taip yra todėl, kad išorinio paviršiaus užlaida matuojama nuo ruošinio mažiausiojo matmens, o vidinio paviršiaus – nuo didžiausiojo.

Erdviniai nuokrypiai ir nustatymo paklaida yra vektoriai. Jie sumuojami laikantis vektorių sumavimo taisyklių t.y. vektorių suma yra lygi jų verčių aritmetinei sumai.

Užlaidą sudarantys elementai yra pateikti žinynuose pagal ruošinio gamybos būdą, medžiagą, pavidalą ir tolesnį apdirbimą. Įvertinamas ruošinio tvirtinimo staklėse būdas.

2. TECHNOLOGINIS SISTEMOS SPAUDIMAS IR TAMPRIOSIOS DEFORMACIJOS

Mechaninio apdirbimo metu metalo pjovimo staklės, ruošinys, įtaisas jam įtvirtinti, pjovimo įrankis ir kiti apdirbimui reikalingi įrankiai sudaro tamprią sistemą vadinamą technologine sistema.

Technologinės sistemos standumu [10] suprantama pjovimo jėgos dedamosios P_y santykį su įrankio pjaunančiosios briaunos poslinkiu apdirbamojo paviršiaus normalės kryptimi:

$$J = \frac{P_y}{Y} \quad (2.1)$$

Kartais šis dydis vadinamas standumo koeficientu, kadangi čia įvertinama tik viena pjovimo jėgos dedamoji P_y .

Technologinės sistemos standumas įvertina jos gebėjimą priešintis reliatyviam įrankio pjaunančiųjų briaunų poslinkiui, veikiant pjovimo jėgai.

Nagrinėjant technologinės sistemos standumą, technologą daugiausia domina tos deformacijos, kurios turi įtakos apdirbimo tikslumui. Tuo atžvilgiu didžiausią reikšmę turi deformacijos apdirbamojo paviršiaus normalės kryptimi, tai yra ašie Y kryptimi, kurios yra sukeltos pjovimo jėgos dedamosios P_y . Deformacijos kitomis (z ir x ašių) kryptimi tikslumui didesnės įtakos neturi ir dažniausiai į jas galima nekreipti dėmesio. Tačiau kai kada būtina įvertinti ir pjovimo jėgos dedamasias P_x ir P_z . Pavyzdžiui, tekinant disko pavidalo ruošinio galinį paviršių P_x , dedamoji turės nemažą įtaką. Jeigu reikia įvertinti kelių pjovimo jėgos dedamųjų sukeltus poslinkius, tie poslinkiai randami atskirai, o paskui sumuojami.

Technologinė sistema padirbimo metu veikianti pjovimo jėga yra nepastovi. Dažniausiai pjovimo jėga svyruoja iki 10% jos nominalaus dydžio. Tas svyravimą būna didesnis rupiojo apdirbimo metu, ypač esant nevienodai užlaidai, ir mažesnis – glotniai apdirbant, kai užlaida yra vienosesnė.

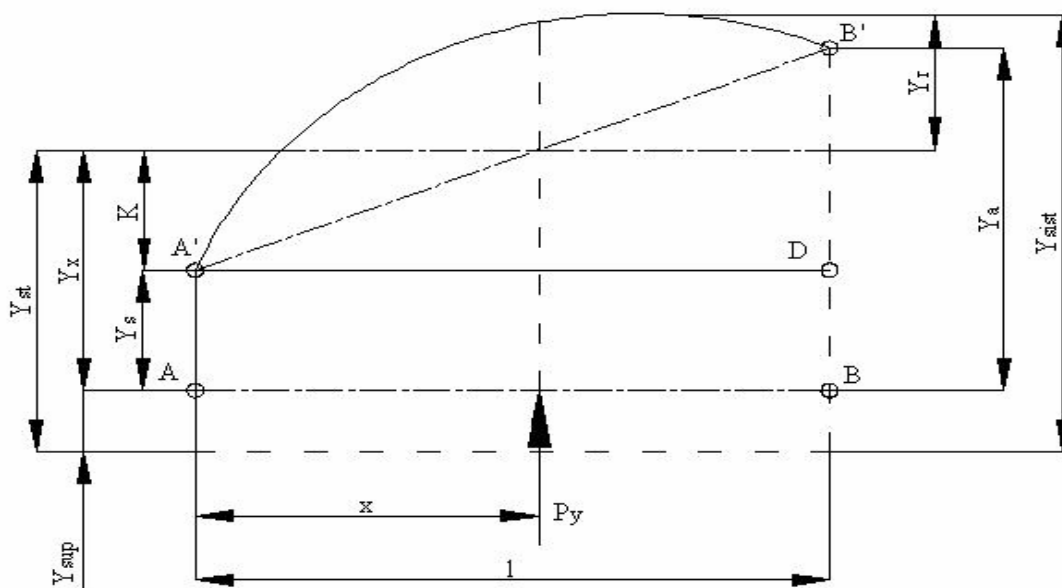
Metalo pjovimo staklių, suportų, stalų, rogių standumas nepriklauso nuo pjovimo režimų ir yra pastovus. Išimtį sudaro staklių mazgai. Pavyzdžiui, tekinimo staklių suklio apsisukimams didėjant nuo 0 iki 1200 aps./min., suklio mazgo standumas padidėja iki 25%. Panašus reiškinys pastebimas apvaliojo ir becentrio šlifavimo staklėse. Tai galima iš dalies paaiškinti besisukančių masių groskopiniu reiškiniu, o iš dalies – dideliu tepalo sluoksnio guoliuose pasipriešinimu radikaliajam suklio kakliuko perstūmimui. Dėl to suklio standumą patariama matuoti, kai jis sukasi

darbiniais sūkliais. Jeigu suklio sukimosi dažnis nedidelis (mažiau kaip 500 aps./min), į standumo pokytį sukantis galima nekreipti dėmesio.

Nustatant įvairių staklių mazgų standumą, reikia nurodyti, kurioje vietoje ir kuria kryptimi jis matuojamas, nes, matuojant įvairiose vietose ir įvairiomis kryptimis, rezultatai gaunami skirtingi.

Į technologinę sistemą, kaip buvo sakyta anksčiau, įeina staklės, ruošinys, įtaisas, įrankis. Visos sistemos standumas nustatomas sumuojant jos sudėtinių dalių standumus. Staklėms veikiant, įrankis juda ir įvairių sistemos dalių įtaka suminiam poveikiui keičiasi. Nevienodas yra ir ruošinio standumas įvairiose jo vietose. Todėl technologinės sistemos standumas kinta. Dėl to, taip pat dėl pjovimo jėgos svyravimo gaunamos detalės apdirbimo paklaidos.

2.1 Technologinės sistemos standumo skaičiavimas, vertinimas ir didinimas



2.1 pav. Technologinės sistemos standumo apskaičiavimo schema, tekinant iltyse įtvirtintą veleną

Panagrinėkime technologinės sistemos – tekinimo staklių, įtaiso, ruošinio, pjovimo įrankio standumo įtaką tekinamo veleno, įstatyto iltyse, tikslumui. 2.1 pav. parodytoje schemoje linija AB vaizduoja velenėlio ašį prieš pradėdant darbą. Taškas A yra suklio ašyje, taškas B – arkliuko ašyje. Tekinant nagrinėjamu momentu, peilio viršūnė yra taške C, nutolusiame nuo suklio atstumu x , o matmuo l žymi atstumą nuo suklio iki arkliuko. Peilis veikia ruošinį, o per jį ir visa sistemos jėga P_y – pjovimo jėgos dedamoji, nukreipta statmenai apdirbamajam veleniui. Tos jėgos veikiamas

suklio taškas A pasislinks į tašką A_1 atstumu Y_s . Arkliuko taškas pasislinks į padėtį B_1 , atstumu Y_a . Ruošinys pjūvyje x išlinks dydžiu Y_r . Suportas, veikiamas jėgos P_y , pasislinks dydžiu Y_{sup} į priešingą pusę. Mūsų nagrinėjamoje padėtyje – atstumu x nuo suklio taško A – suklio ir arkliuko ašis pasislinks dydžiu Y_x .

Turėdami duomenis apie ruošinio ir staklių standumą arba santykinę poslinkį [11], galime rasti suminę sistemos santykinę deformaciją arba absoliutinį sistemos poslinkį:

$$W_{sist} = W_{st} + W_{ruoš} \quad (2.2)$$

$$Y_{sist} = Y_{st} + Y_{ruoš} \quad (2.3)$$

Ruošinio paslankumas:

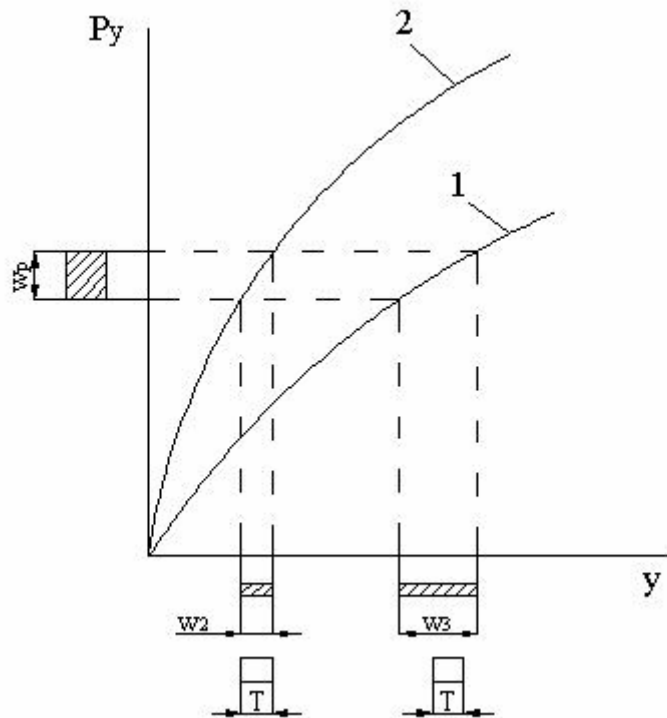
$$W_r = \frac{Y_r}{P_y} = \frac{1}{3EJ} \frac{(1-x)^2 x^2}{l}. \quad (2.4)$$

Visos technologinės sistemos paslankumas susidės iš staklių ir ruošinio palankumo:

$$W_{st} = W_{sup} + W_s \left(\frac{1-x}{l} \right)^2 + W_a \left(\frac{x}{l} \right)^2 + \frac{1}{3EJ} \frac{(1-x)^2 x^2}{l}. \quad (2.5)$$

Iš gautos lygybės matome, kad, tekinant velenėlį, įtvirtintą iltyse, technologinės sistemos paslankumas (arba standumas) keičiasi, įrankiui judant išilgai ruošinio. Tai rodo kintamasis dydis x , įeinantis į (2.5) lygybę. Vadinasi, keisis ir įrankio pjaunančiosios briaunos padėtis apdirbamojo paviršiaus atžvilgiu, gausime didesnes arba mažesnes veleno paklaidas.

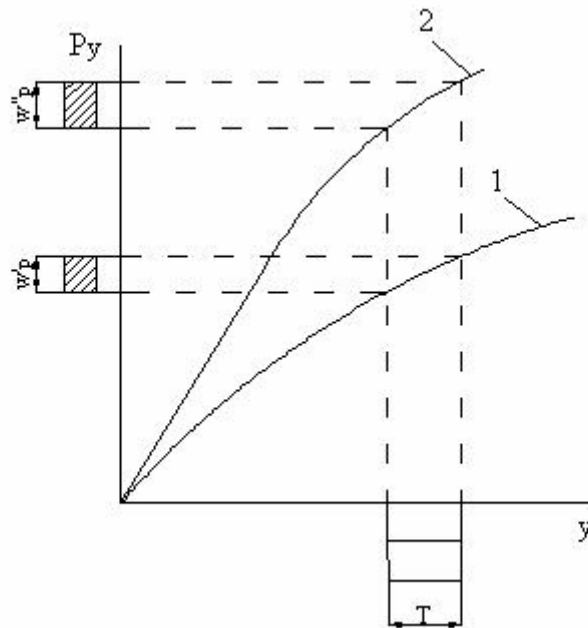
Jeigu ruošinys yra nestandus, tada paskutinis (2.5) lygybės narys būna palyginti didelis. Apdirbto ruošinio paviršius būna statinės pavidalo. Jeigu ruošinys standus, o staklės nestandžios, aptekinto veleno vidurys būna mažesnio skersmens negu jo galai – gaunama vadinamoji korseto forma. Kai suklio mazgas standus, o arkliuko nestandus, vienas veleno galas būna storesnis.



2.2 pav. Technologinės sistemos standumo įtaka ruošinių partijos apdirbimo tikslumui

Matome, kad technologinės sistemos standumas turi didelę reikšmę apdirbamosios detalės tikslumui [10]. 2.2 pav. parodytas grafikas, kuriame ordinačių ašyje atidėta pjovimo jėgos dedamoji P_y , o abscisėje – įrankio pjovimo briaunos poslinkiai y . Kreivės 1 ir 2 vaizduoja dviejų technologinių sistemų standumus: 1 – nelabai standžią, 2 – standesnę. Parinkus tinkamus našius režimus, pjovimo jėgos dedamoji P_y svyruos dydžiu w_p . Jeigu technologinės sistemos standumas bus toks, kokį vaizduoja kreivė 1, peilio briaunų padėtis apdirbamojo paviršiaus atžvilgiu keisis dėl jėgos svyravimo ir, apdirbę ruošinių partiją, gausime matmenų sklaidos lauką w_1 . Šis sklaidos laukas bus didesnis už tolerancijos lauką T , skirtą paklaidoms dėl sistemos paslankumo kompensuoti. Jeigu technologinė sistema būtų didesnė, pvz., tokia, kokią vaizduoja kreivė 2, tai tokiais pat našiais ir ekonomiškais režimais apdirbtos ruošinių partijos matmenų sklaidos laukas w_2 bus siauresnis ir tilps į tolerancijos lauką T . Matome, kad, didinant technologinės sistemos standumą, galima padidinti apdirbimo tikslumą.

2.3 pav. koordinatėse $P_y - y$ parodytos dvi kreivės, vaizduojančios dviejų skirtingų technologinių sistemų standumus. Norint išlaikyti toleranciją T , esant sistemos standumui, kurį rodo kreivė 1, pjovimo jėga turi svyruoti nedaug ir neišeiti už sklaidos lauko w'_p ribų. Dėl to tektų dirbti nenašiais režimais, pavyzdžiui, mažinti pjovimo gylį ir didinti darbo eigų skaičių. Norint dirbti našiais režimais ir išlaikyti tą pačią toleranciją T , reikėtų, kad technologinė sistema būtų standesnė, pavyzdžiui, tokia, kokią vaizduoja kreivė 2. Matome, kad, didinant standumą, galima padidinti ne tik tikslumą, bet ir darbo našumą.



2.3 pav. Technologinės sistemos standumo įtaka ruošinių partijos apdirbimo našumui

Technologinės sistemos standumas turi įtakos ir sistemos virpesiams. Jeigu detalių susijungimuose yra tarpelių, detalių bazavimas tampa neapibrėžtas, detalių, veikiamų kintamą pjovimo jėgų, padėtis yra nepastovi. Kai sistema standi, savųjų virpesių dažnis būna didesnis, amplitudė mažesnė, o tai teigiamai veikia pjovimo procesą ir apdirbtojo paviršiaus kokybę. Esant mažam dažniui ir didelei amplitudei, apdirbtasis paviršius būna šiurkštus, įrankio darbo sąlygos blogos, dėl to kartais jis gali ir lūžti.

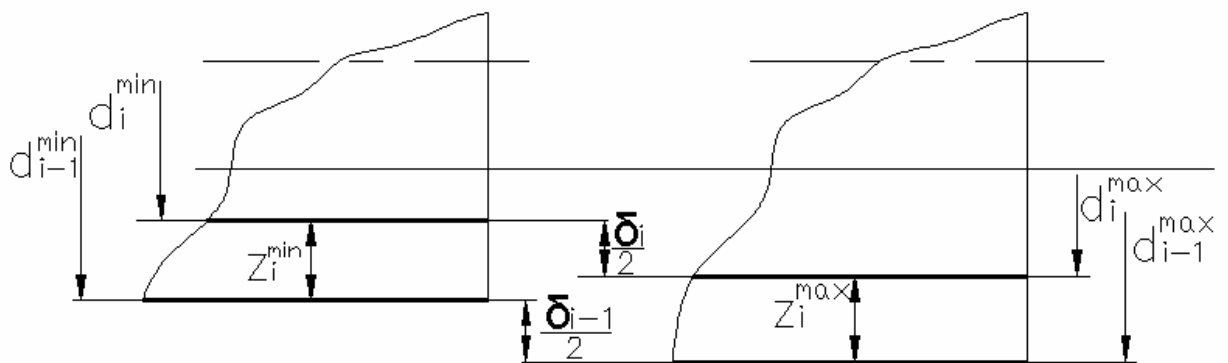
Kadangi technologinės sistemos standumas yra labai svarbus veiksnys, siekiant geros apdirbimo kokybės ir didelio darbo našumo, reikia stengtis jį didinti. Svarbiausi didinimo būdai yra tokie:

- 1) Detalių skaičiaus junginiuose mažinimas, matmenų grandinių trumpinimas, sujungimų skaičiaus mažinimas. Tai galima pasiekti konstruojant naujas stakles arba turimoms staklėms naudojant racionalios konstrukcijos įtaisus;
- 2) Sujungimų įveržimas;
- 3) Sujungimų kontaktinio standumo padidinimas, gaminant mašiną ir eksploatacijos metu reguliuojant bei parenkant tinkamą tepalą ir kt.;
- 4) Technologinės sistemos detalių standumo, taip pat ir apdirbamojo ruošinio standumo padidinimas;
- 5) Sistemos temperatūros stabilizavimas. Tuo tikslu prieš tikslųjį apdirbimą technologinė sistema iššildoma, staklėms dirbant be apkrovos. Taip siekiama pastovaus ir kiek galima didesnio standumo.

3. ATSKIRI UŽLAIDŲ IR TARPINIŲ MATMENŲ SKAIČIAVIMO ATVEJAI

3.1 Užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimas apdirbant cilindrinis paviršius

Šiuo momentu užlaidos ir tarpiniai matmenys skaičiuojami pagal prof. V.Kovano sukurtą metodiką. Ši metodika buvo skirta rankiniam skaičiavimui. Kad ji būtų kuo paprastesnė nebuvo įvertinta dalis faktorių, kurie turi įtakos į užlaidos dydį ir į tarpinius matmenys (3.1 pav.).



3.1 pav. Užlaidų ir tarpinių matmenų skaičiavimo schema pagal V.Kovaną

Dabar, kai įvairiems skaičiavimams plačiai naudojami kompiuteriai, galima pilnai įvertinti visus veiksnius, kurie turi įtakos į užlaidą ir tarpinius matmenis.

Kaip parodyta 3.1 pav., skaičiuojant užlaidas ir tarpinius matmenis dėmesin priimta tik technologinės sistemos tampriosios deformacijos, gaunamos dėl pjovimo gylio pasikeitimo, apdirbant ruošinius su mažiausiais ir didžiausiais skersmenimis.

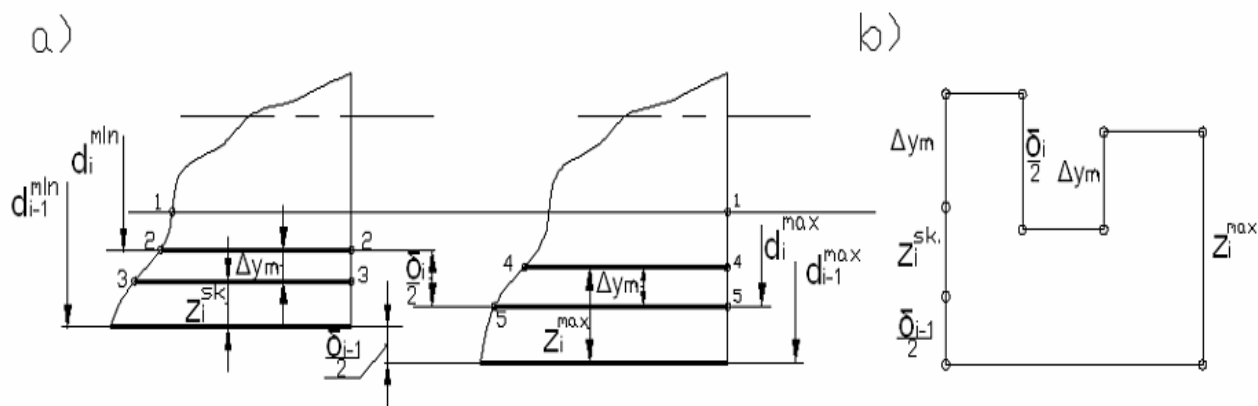
Skaičiuojant užlaidas ir tarpinius matmenis reikėtų įvertinti tokius faktorius:

1. technologinės sistemos tampriųjų deformacijų pokytį dėl ruošinio medžiagos kietumo kitimo,
2. tekinimo peilio nudilimo dydį,
3. technologinės sistemos tampriąsias deformacijas dėl pjovimo jėgų padidėjimo nudilus peiliui.

Išnagrinėsime kiekvieno faktoriaus įtaką atskirai ir vėliau bendrą visų faktorių įtaką į užlaidas ir tarpinius matmenis.

Pirmiausia panagrinėkime, kokią įtaką turi tampriųjų deformacijų pokytis dėl ruošinio medžiagos kintamo kietumo. 3.2 pav. parodyta išorinio cilindrinio paviršiaus tekimo schema (3.2 pav., a) ir užlaidų bei paklaidų uždara grandinė (3.2 pav., b), pagal kurią galima surasti ryšį tarp didžiausios ir mažiausios užlaidos. 3.2 pav. parodytas ruošinio didžiausias ir mažiausias skersmuo ir įvairios linijos, kurios atitinka peilio perslinkimo linijas. Linija 1-1 – tai peilio perslinkimo linija jo neapkrovus, t.y. peiliui nepjaunant ruošinio skersmuo arba tai linija pagal peilio suderintą padėtį. Linija 2-2 atitinka peilio trajektoriją, kai ruošinio skersmuo ir medžiagos kietumas yra mažiausi. Linija 3-3 atitinka peilio judesio trajektoriją, kai ruošinio skersmuo mažiausias, o medžiagos kietumas didžiausias. Skaičiuojant užlaidą, aišku, yra atstumas tarp linijos 3-3 ir cilindrinio paviršiaus, kai ruošinio skersmuo mažiausias.

Panašus vaizdas gaunamas, kai ruošinio skersmuo yra didžiausias. Linija 4-4 parodo peilio trajektoriją, kai ruošinio medžiagos kietumas yra mažiausias. Ši linija yra daugiau atsitraukusi nuo ruošinio ašies, negu linija 2-2, kadangi yra didesnė technologinės sistemos tamprioji deformacija dėl didesnio pjovimo gylio. Linija 5-5 yra peilio trajektoriją, kai medžiagos kietumas yra didžiausias. Atstumas tarp linijų 2-2 ir 5-5 yra lygus puse skersmens tolerancijos po apdirbimo. Didžiausia užlaida susidaro tarp linijos 4-4 ir ruošinio išorinio paviršiaus, kai skersmuo didžiausias.



3.2 pav. Detalės apdirbimo schema (a), užlaidų, tolerancijų ir paklaidų grandinė (b)

Pagal detalės apdirbimo schemą (3.2 pav., a) sudarome uždara grandinę (3.2 pav., b) susidedančią iš skaičiuojamosios ir didžiausios užlaidos, paklaidų ir skersmens tolerancijos prieš ir po apdirbimo. Pagal šią grandinę galima surasti ryšį tarp didžiausios ir skaičiuojamosios užlaidos. Sudarome lygtį:

$$\frac{\delta_{i-1}}{2} + Z_i^{sk} + \Delta y_m - \frac{\delta_i}{2} + \Delta y_m - Z_i^{max} = 0 \quad (3.1)$$

čia Δy_m – technologinės sistemos tampriosios deformacijos dėl medžiagos kietumo pokyčio.

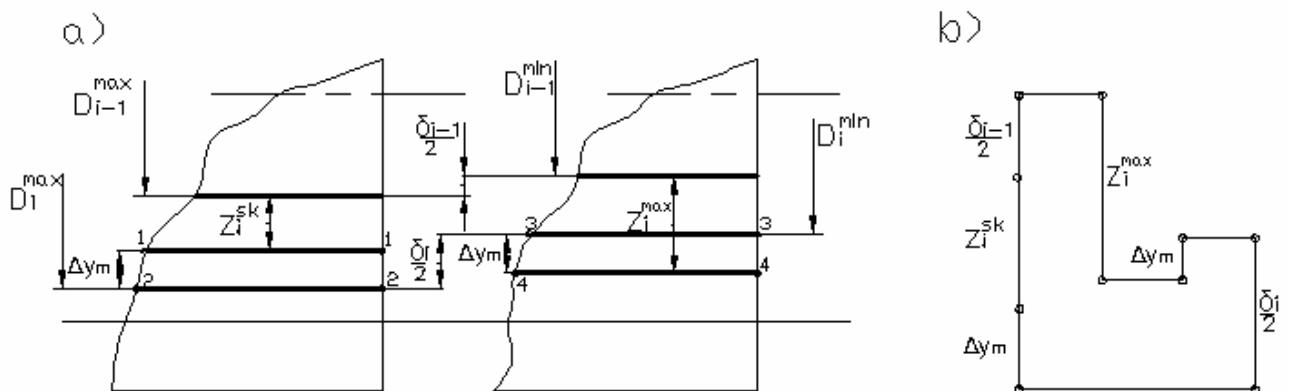
Tuomet

$$Z_i^{\max} = Z_i^{\text{sk}} + \frac{\delta_{i-1}}{2} - \frac{\delta_i}{2} + 2\Delta y_m \quad (3.2)$$

Pagal detalių apdirbimo schemą nesunkiai nustatomas ryšys tarp mažiausio skersmens prieš ir po apdirbimo:

$$d_{i-1}^{\min} = d_i^{\min} + 2\Delta y_m + 2Z_i^{\text{sk}}. \quad (3.3)$$

Išnagrinėsime užlaidų, paklaidų ir tolerancijų geometrinę struktūrą apdirbant vidinius cilindrinis paviršius.



3.3 pav. Vidinių cilindrinis paviršių apdirbimo schema (a), užlaidų, tolerancijų ir paklaidų grandinė (b)

3.3 pav. parodytas skylės ištekinimas, esant mažiausiam ir didžiausiam skersmeniui. Linija 1-1 – tai peilio trajektorija, kai medžiagos kietumas didžiausias, o linija 2-2 – peilio trajektorija, kai medžiagos kietumas mažiausias. Skersmens pasikeitimas dėl technologinės sistemos tampriosios deformacijos, kai kinta medžiagos kietuma, lygus $2\Delta y_m$. Analogiška padėtis gaunama, kai apdirbama skylė su mažiausiu skersmeniui. Linija 3-3 ir 4-4 – tai peilio trajektorijos atitinkamai esant didžiausiam ir mažiausiam medžiagos kietumui.

Sudarome užlaidų, paklaidų ir tolerancijų uždara grandinę (3.3 pav., b), kurios pagalba surandame Z_i^{\max} išraišką:

$$\Delta y_m + Z_i^{\text{sk}} + \frac{\delta_{i-1}}{2} - Z_i^{\max} + \Delta y_m - \frac{\delta_i}{2} = 0 \quad (3.4)$$

$$Z_i^{\max} = Z_i^{\text{sk}} + 2\Delta y_m + \frac{\delta_{i-1}}{2} - \frac{\delta_i}{2} \quad (3.5)$$

Pagal apdirbimo schemą surandame ryšį tarp didžiausio skylės skersmens prieš ir po apdirbimo:

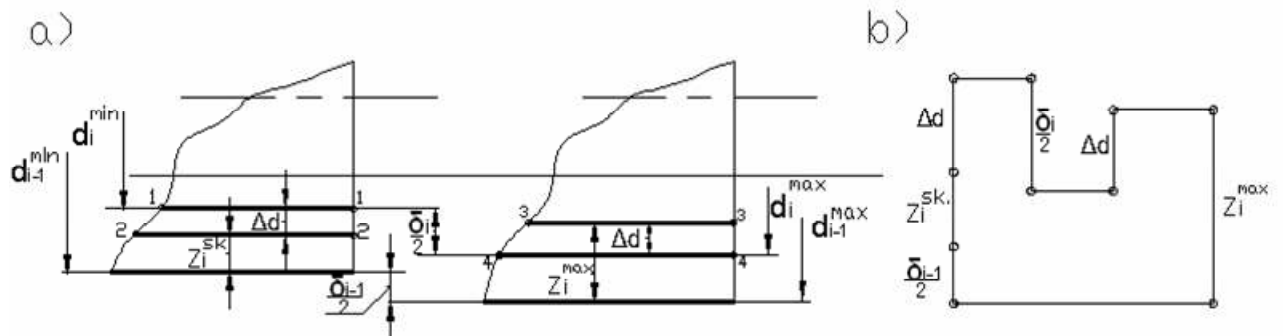
$$D_{i-1}^{\max} = D_i^{\max} - 2Z_v^{\text{sk}} - 2\Delta y_m \quad (3.6)$$

Formulė (3.6) panaši, kaip ir apdirbant išorinius paviršius (3.3), tik ženklai prie $2Z_i^{\text{sk}}$ ir $2\Delta y_m$ yra skirtingi.

Paimame kitą faktorių, kuris turi įtakos į nurodytų parametrų geometrinę struktūrą. Viena iš didžiausių apdirbamo paviršiaus matmens paklaidos dedamųjų yra pjovimo įrankio dilimas. Dylant pjovimo įrankiui, jo viršūnė atsitraukia nuo apdirbimo paviršiaus ir, tokiu būdu, didėja apdirbamos detalės skersmuo (kai apdirbami išoriniai paviršiai). Be to, dylant pjovimo įrankiui, didėja pjovimo jėga, o tuo pačiu ir jos dedamoji P_y , kuri turi tiesioginę įtaką į išlaikomo matmens paklaidą.

Išnagrinėsime pjovimo įrankio dilimo įtaką į užlaidų, tolerancijų ir paklaidų geometrinę struktūrą ir į tarpinių matmenų skaičiavimą. 3.4 pav. parodyta apdirbimo schema ir nurodytų parametrų uždara grandinė.

Linija 1-1 parodo peilio trajektoriją, kai jis pradeda dirbti, y. kai jis nenudilęs ir kai ruošinio skersmuo mažiausias. Linija 2-2 – tai peilio viršūnės trajektorija, kai įrankis nudilęs, t.y. prieš baigiantis įrankio patvarumui. Linijos 3-3 ir 4-4 parodo trajektoriją atitinkamai dirbant užgalastu peiliu ir nudilus peiliui, kai ruošinio skersmuo didžiausias.



3.4 pav. Detalės apdirbimo schema (a), užlaidų, tolerancijų ir paklaidų grandinė (b)

Pagal užlaidų, paklaidų ir tolerancijų uždara grandinę surandame Z_i^{\max} išraišką:

$$\frac{\delta_{i-1}}{2} + Z_i^{sk} + \Delta d - \frac{\delta_{i-1}}{2} + \Delta d - Z_i^{\max} = 0 \quad (3.7)$$

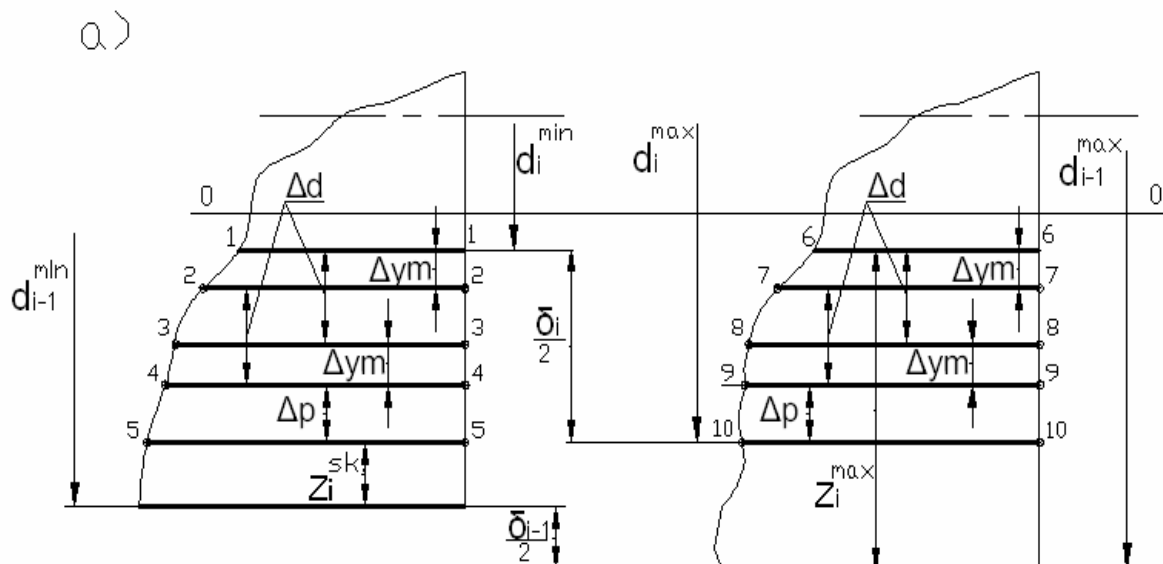
$$Z_i^{\max} = Z_i^{sk} + \frac{\delta_{i-1}}{2} + 2\Delta d - \frac{\delta_1}{2} \quad (3.8)$$

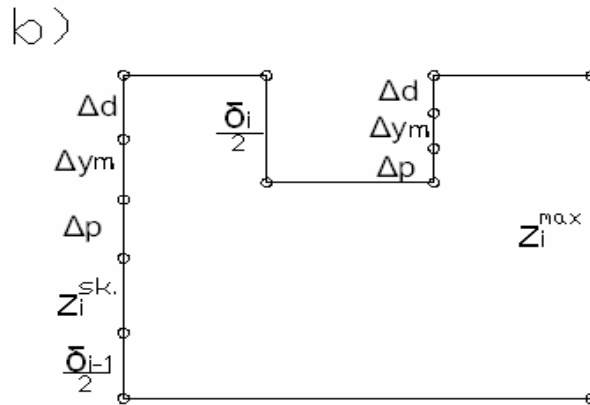
čia Δd – įrankio nudilimo dydis.

Minimalus ruošinio skersmuo yra lygus:

$$d_{i-1}^{\min} = d_i^{\min} + 2Z_i^{sk} + 2\Delta d \quad (3.9)$$

Toliau panagrinėsime sudėtingiausią (bendrą) atveją, kai įvertinami visi faktoriai: apdirbamos medžiagos kietumas, peilio nudilimo dydis, bei pjovimo jėgos padidėjimas, o tuo pačiu ir technologinės sistemos tampriųjų deformacijų padidėjimas. Ruošinio apdirbimo schema ir užlaidų, tolerancijų ir paklaidų uždara grandinė parodyta 3.5 pav.





3.5 pav. Detalės apdirbimo schema (a), užlaidų, tolerancijų ir paklaidų grandinė (b)

Linija 0-0 – peilio tuščios eigos trajektorija.

Linijos 1-1, ..., 5-5 parodo tokias peilio viršūnės trajektorijas:

1-1 (6-6) – peilis užgalastas ir medžiagos kietumas mažiausias,

2-2 (7-7) - peilis užgalastas, medžiagos kietumas didžiausias,

3-3 (8-8) - peilis nudilęs, medžiagos kietuma mažiausias,

4-4 (9-9) - peilis nudilęs, medžiagos kietumas didžiausias,

5-5 (10-10) – įvertinus pjovimo jėgos ir sistemos tampriųjų deformacijų padidėjimą.

Tampriosios deformacijos:

1-2 (6-7) ir 3-4 (8-9) – dėl medžiagos kietumo kitimo

4-5 (9-1) – dėl pjovimo jėgos padidėjimo Δp .

Atstumai 1-3 (6-8) arba 2-4 (7-9) – peilio nudilimo dydis Δd .

Pasinaudojant uždara grandine (5 pav., b) parašome užlaidų, tolerancijų ir paklaidų lygtį:

$$\frac{\delta_{i-1}}{2} + Z_i^{sk} + \Delta p + \Delta y_m + \Delta d - \frac{\delta_{i-1}}{2} + \Delta p + \Delta y_m + \Delta d - Z_i^{max} = 0 \quad (3.10)$$

Iš šios lygties išreiškiame Z_i^{max} :

$$Z_i^{max} = Z_i^{sk} + \frac{\delta_{i-1}}{2} + 2\Delta p + 2\Delta y_m + 2\Delta d - \frac{\delta_i}{2} \quad (3.11)$$

Iš apdirbimo schemas (3.5 pav.) surandame ruošinio minimalaus skersmenis išraišką:

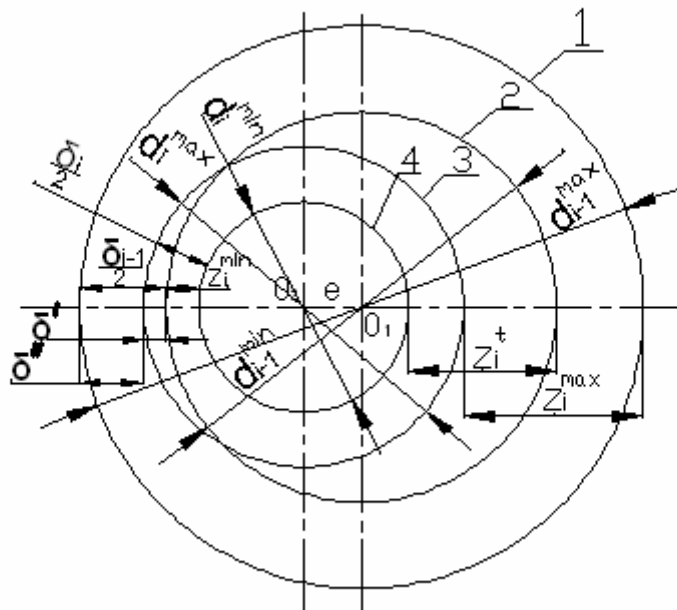
$$d_{i-1}^{min} = d_i^{min} + 2Z_i^{sk} + 2\Delta p + 2\Delta y_m + 2\Delta d. \quad (3.12)$$

3.2. Ekscentrisiteto įtaka užlaidoms ir tarpiniams matmenims

Tvirtinant sukimosi kūno formos detalę trijų kumštelių ar kitame griebtuve, apdirbimo cilindrinio paviršiaus ašis nesutampa su špindelio sukimosi ašimi. Dėl šių ašių nesutapimo apdirbimo paviršiaus forma gaunama cilindrinė, tačiau ašis būna persislinkusi bazinio paviršiaus ir kitų paviršių atžvilgiu. Nurodytas ašių nesutapimas gaunamas dėl tokių priežasčių:

1. apdirbimo ir bazinio paviršiaus ašių nesutapimas,
2. tvirtinimo paklaida,
3. apdirbamos detalės, o tuo pačiu ir apdirbamo paviršiaus ašies išlinkimas.

Išnagrinėsime, kokią įtaką turi užlaidų dydžiui nurodytas ekscentrisitetas (3.6 pav.). Šiame paveiksle parodyta, kad apdirbimo paviršiaus ašis yra persislinkusi ruošinio ašies atžvilgiu dydžiu e .

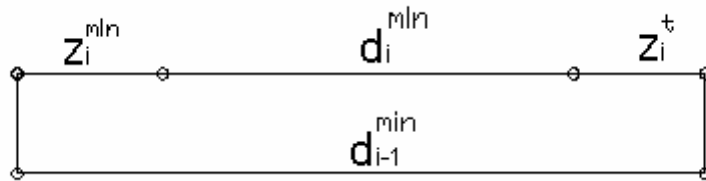


3.6 pav. Matmenų ir užlaidų geometrinė schema, esant apdirbamo ir apdirbto paviršiaus (suklio) ašių nesutapimui

čia: O_1 – apdirbamo paviršiaus geometrinė ašis, O_2 – apdirbto paviršiaus (suklio) ašis.

3.6 pav. parodyti tokie skersmenys: 1 – maksimalus ruošinio skersmuo, 2- minimalus ruošinio skersmuo, 3 – maksimalus apdirbto paviršiaus skersmuo, 4 – minimalus apdirbto paviršiaus skersmuo.

Tarpinių matmenų skaičiavimui, remiantis 3.6 pav., sudarome matmenų ir užlaidų uždara grandinę:

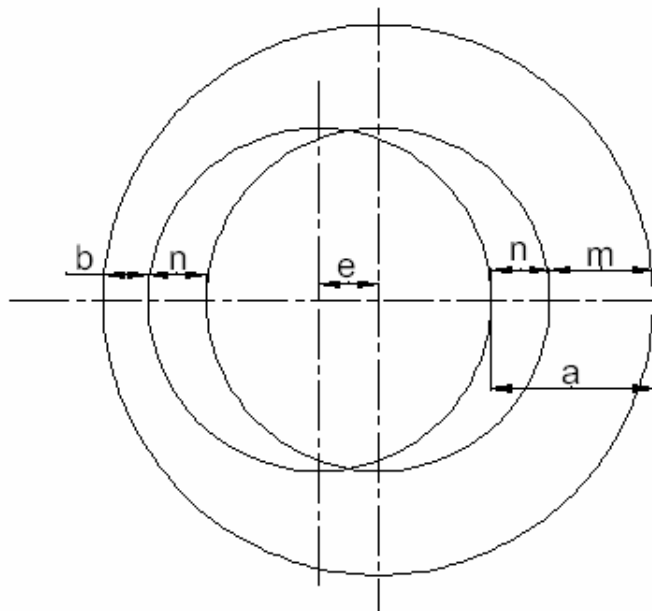


Parašome lygtį:

$$Z_i^{\min} + d_i^{\min} + Z_i^t - d_{i-1}^{\min} = 0 \quad (3.13)$$

čia: $Z_i^t = Z_i^{\min} + 2e$ - minimali užlaidos reikšmė, gauta dėl nurodyto ekscentriciteto, apdirbant ruošinį su minimaliu skersmeniu.

Parodysime, kaip gaunama Z_i^t išraiška (3.7 pav.). Čia parodyta du apskritimai: vienas didesnio skersmens (ruošinio skersmuo), kitas – mažesnio skersmens (apdirbto paviršiaus skersmuo). Kai abiejų apskritimų centrai sutampa, atstumą tarp apskritimų pažymime m . Tegul mažesnis apskritimas persislenka dydžiu n . Po perslinkimo atstumą tarp apskritimų vienoje pusėje pažymime a , kitoje pusėje – b . Mums svarbu surasti išraišką tarp a ir b . Perslinkimo dydis n yra lygus ašių nesutapimui (ekscentricitetui) e .



3.7 pav. Atstumai tarp apskritimų ir ašių nesutapimas

Remiantis 3.7 pav. galime užrašyti:

$$m=b+n \quad (3.14)$$

Pridedame prie abiejų lygybės pusių po n :

$$m+n=b+n+n \quad (3.15)$$

Kadangi $m+n=a$ ir $n=e$ gauname:

$$a=b+2e \quad (3.16)$$

Toliau tęsiame geometrinę analizę. Iš lygties (3.13) išreiškime d_{i-1}^{\min} :

$$d_{i-1}^{\min} = d_i^{\min} + Z_i^{\min} + Z_i' = Z_i^{\min} + d_i^{\min} + Z_i^{\min} + 2e = d_i^{\min} + 2Z_i^{\min} + 2e \quad (3.17)$$

Kadangi $e = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2 + \varepsilon^2}$, tai suma $2Z_i^{\min} + 2e$ yra lygi:

$$2Z_i^{\min} + 2e = 2\left(Z_i^{\min} + \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2 + \varepsilon^2}\right) = 2\left(R_2 + T + \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2 + \varepsilon^2}\right) = 2Z_i^{sk} \quad (3.18)$$

čia ρ_1 - apdirbamo ir bazinio paviršiaus ašių nesutapimas,

ρ_2 – apdirbamo paviršiaus ašies išlinkimo dydis.

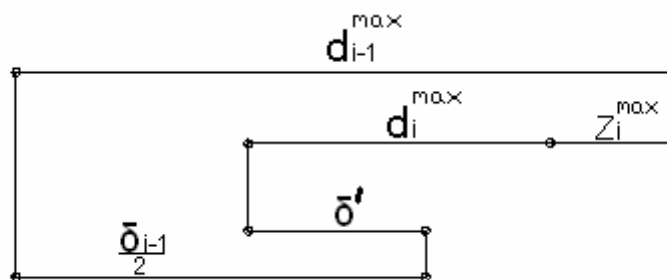
ε – tvirtinimo pakalaida

Tuomet

$$d_{i-1}^{\min} = d_i^{\min} + 2Z_i^{sk} \quad (3.19)$$

Vadinasi, skaičiuojant minimalų skersmenį prieš apdirbimą ašių nesutapimas (ekscentrisitetas) įtakos neturi.

Dabar išnagrinėsime, kaip skaičiuojama didžiausia užlaida. Tam tikslui pagal 3.6 pav. sudarome tokią grandinę:



Parašome lygtį:

$$d_{i-1}^{\max} - Z_i^{\max} - d_i^{\max} + \delta^I - \frac{\delta_{i-1}}{2} = 0 \quad (3.20)$$

čia: $\delta^I = \frac{\delta_i}{2} - Z_i^{\min}$

Įstatome δ^I išreiškiame ribinius matmenis:

$$d_{i-1}^{\max} - d_i^{\max} = Z_i^{\max} - \frac{\delta_i}{2} + Z_i^{\min} \frac{\delta_{i-1}}{2} \quad (3.21)$$

Kaip matome $d_{i-1}^{\max} - d_i^{\max}$ išraiška skiriasi nuo duotos literatūroje [11]. Didžiausios užlaidos reikšmė surandama pagal 3.6 pav., pasinaudojant (3.16) formule:

$$Z_i^{\max} = \delta^{II} + 2e \quad (3.22)$$

Dydis δ^{II} surandame pagal 3.6 pav.

$$\delta^{II} = \frac{\delta_{i-1}}{2} - \delta^I = \frac{\delta_{i-1}}{2} - \frac{\delta_i}{2} + Z_i^{\min} \quad (3.23)$$

Tuomet Z_i^{\max} lygi:

$$Z_i^{\max} = \frac{\delta_{i-1}}{2} - \frac{\delta_i}{2} + Z_i^{\min} + 2e \quad (3.24)$$

Į formule (3.24) įvedame skaičiuojamosios užlaidos Z_i^{sk} reikšmę:

$$Z_i^{\text{sk}} = Z_i^{\min} + e \quad (3.25)$$

Gauname:

$$Z_i^{\max} = \frac{\delta_{i-1}}{2} - \frac{\delta_i}{2} + Z_i^{\min} + e + e = \frac{\delta_{i-1}}{2} - \frac{\delta_i}{2} + Z_i^{\text{sk}} + e \quad (3.26)$$

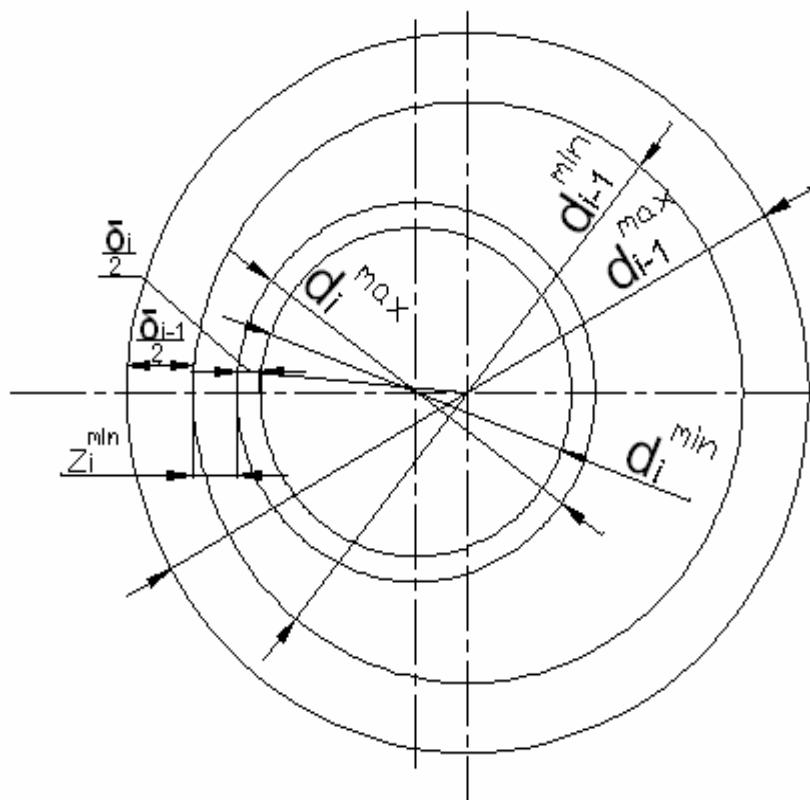
Matome, kad didžiausios užlaidos reikšmė skaičiuojant pagal panašią formulę kaip ir literatūroje, tačiau skiriasi dydžių e .

Kaip žinome, maksimali užlaidos reikšmė yra prilyginimą pjovimo gyliui. Vadinasi, pjovimo gylis, surastas pagal literatūrą [11], yra mažesnis už realų pjovimo gylį dydžiu e .

Kada tekiname cilindrinį ruošinį, esant jo ekscentricitetui suklio ašies atžvilgiu, pjovimo gylis kinta nuo Z_i^{\min} iki Z_i^{\max} ir dėl to aptekintas paviršius nebus idealus cilindras. Kadangi pjovimo jėgos dydis priklauso nuo pjovimo gylio, tai technologinės sistemos, o tuo pačiu ir peilio tampriosios deformacijos dydis kinta per visą apskritimo ilgį. Po apdirbimo gausime paviršių, panašų į ovalą. Todėl, kad būtų galima analitiškai paskaičiuoti apdirbto paviršiaus formos paklaidą, reikia žinoti tikslus Z_i^{\min} ir Z_i^{\max} dydžius.

3.3. Apdirbimas bandomųjų ėjimų metodu

Išnagrinėsime, kaip skaičiuojama maksimali užlaida, kai matmuo nustatomas bandomųjų ėjimų metodu. Šis metodas naudojamas vienetinėje gamyboje, kai reikia apdirbti keletą detalių, o taip pat masinėje gamyboje, pavyzdžiui, šlifuojant. Šiuo atveju, esant didžiausiam ruošinio skersmeniui, galima gauti minimalų apdirbto paviršiaus matmenį (3.8 pav.).



3.8 pav. Matmenų, užlaidų ir tolerancijų geometrinė schema

Remiantis šia geometrine schema, surandame didžiausios užlaidos išraišką:

$$Z_i^{\max} = Z_i^{\min} + \frac{\delta_{i-1}}{2} + \frac{\delta_i}{2} + 2e = Z_i^{sk} + \frac{\delta_{i-1}}{2} + \frac{\delta_i}{2} + e \quad (3.27)$$

Matome, kad šiuo atveju didžiausios užlaidos skaičiavimas skiriasi, palyginus su apdirbimu ant suderintų staklių. Šioje formulėje $\delta_i/2$ yra su pluso ženklu, o formulėje (3.26) - su minuso. Vadinasi šiuo atveju didžiausia užlaida gavosi didesnė reikšmė δ_i .

IŠVADOS

1. Norint tiksliau paskaičiuoti tarpinius matmenis ir didžiausius užlaidos reikšmę, reikia įvertinti, technologinės sistemos tampriąsias deformacijas dėl ruošinio medžiagos kietumo pasikeitimo, technologinės sistemos tampriąsias deformacijas dėl pjovimo jėgų padidėjimo nudilus įrankiui, taip pat pjovimo įrankio nudilimo dydį.
2. Gautos užlaidų ir tarpinių matmenų formulės leidžia tiksliau apskaičiuoti užlaidos dydį. Kuo tiksliau apskaičiuota užlaida, tuo geresnės kokybės ir ekonomiškesnį gaminį galima pagaminti.
3. Tekinant cilindrinį ruošinį esant jo ekscentricitetui suklio ašies atžvilgiu, pjovimo gylis kinta nuo Z_i^{\min} iki Z_i^{\max} ir dėl to aptekintą paviršių gausime panašų į ovalą. Todėl, kad būtų galima analitiškai paskaičiuoti apdirbto paviršiaus formos paklaidą, reikia žinoti tikslius Z_i^{\min} ir Z_i^{\max} dydžius.

LITERATŪRA

1. Кован В. М. Технология автотракторостроение. – ОТНИ , 1978. -228с.
2. Макаровил В. Допуски в кузнечном деле. – Техника и производство, 1974. –284с.
3. Молянов И. Припуски в поковках и коленчатых валов и шатунов. – Предприятие, 1981. -264с.
4. Пушков П. Ф. Припуски и допуски при лужечных работах, 1980. -489с.
5. Кован В. М. Технология автотракторостроение. – ОТНИ, 1976. -274с.
6. Кован В. М. Припуски на обработку деталей стрелкового оружия, 1981. –293с.
7. Емельяненко П. Т. Манюшкин Н. В. Определение размеров труб и заготовок, подвергающихся муханической обработки. –Сталь, 1977. –246с.
8. Глушков И. Н. Нормали допусков на объёмные штамповкию – Вестник машиностраение, 1981. -412с.
9. Иващенко И. А. Технолгические размерение, разчётные и способы их автоматизаци. – М.: Машиностраение, 1975. -327с.
10. Bražiūnas A.J. Mašinų gamybos technologijos pagrindai. Mokomoji knyga. Kaunas: Technologija 2004m. 120p, 128 – 134p, 241 – 245p, 246 – 247p.
11. Kumpikas L. Gamybos technologijos pagrindai. Mokomoji knyga. Vilnius 1978m. 99p, 100 – 102p, 181 – 184p.
12. Danilevskis V. Mašinų gamybos technologija. Mokomoji knyga. Vilnius 1981m. 77p, 78 – 82p.
13. Rimkus J. Tarpinių užlaidų skaičiavimas. Mechanika – 2001: Tarptautinė konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas: Technologija, 2001, 115 – 118p.
14. Под. ред. А.Ф. Горбачевича и др. Курсовое проектирование по технологии машиностраения. –Минск 1975. 62-66с.

1.1 lentelė. Užlaidų ir tarpinių matmenų apskaičiavimas

Technologijos kelias	Užlaidos elementai, μm				Apskaičiuota		Toleracija tarpiniams matmenims μm	Parinkti (suapvalinti) tarpiniai matmenys, mm		Užlaidų ribinės reikšmės, μm	
	R_z	h_{i-1}	ρ_{i-1}	ε_{i-1}	Užlaida z_i , μm	Minimalus matmuo		max	min	Z_{max}	Z_{min}
Štampavimas	-	-	-	-	-	53,39	2000	55,50	53,50	-	-
Rupusis tekimas	200	300	700	200	2800	50,59	500	51,10	50,60	4400	2900
Glotnasis tekimas	50	55	75	15	390	50,20	150	50,35	50,20	750	400
Paruošiamasis šlifavimas	25	35	15	5	160	50,04	100	50,14	50,04	210	160
Baigiamasis šlifavimas	15	25	5	-	90	49,95	50	50,00	49,95	140	90
										5500	3550