

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
doc. Z. Ramonas

2007 06

„PLOKŠTUMŲ KAMPINIŲ PAKLAIDŲ
GRANDINIŲ SUDARYMO FORMALIZACIJA“

„ FORMALISATION OF FORMING CHAINS OF
PLANE SURFACES“
Mechanikos inžinerijos magistro darbas

Vadovas

_____ Doc. dr. J.Rimkus
2007 06

Autorius

_____ MM - 5 gr. stud. I.Vanagas
2007 06

Recenzentas

_____ Doc. A.Povilionis
2007 06

ŠIAULIAI, 2007

TURINYS

ĮVADAS.....	3
1.TIKSLUMAS.....	4
1.1 MAŠINOS TIKSLUMAS.....	7
1.2 TECHNOLOGIŠKUMAS.....	9
1.3 PARAMETRAI, CHARAKTERIZUOJANTYS TIKSLUMĄ.....	17
2. MATMENŲ GRANDINĖS.....	18
2.1 PAGRINDINĖS MATMENŲ GRANDINIŲ SĄVOKOS.....	20
2.2 PLOKŠTUMŲ PAKLAIĐŲ GRANDINĖS.....	24
IŠVADOS.....	33
SUMMARY.....	34
LITERATŪRA.....	35

IVADAS

Daug uždavinių, kurie išskyla analizuojant detalių apdirbimo technologinio proceso tikslumą, sprendžiami panaudojant technologines paklaidų grandines. Jas galima suskirstyti į tris grupes:

- 1) plokštumų padėčių paklaidų grandinės, kai plokštumos keičia savo padėtį persislinkdamos lygiagrečiai,
 - 2) plokštumų kampinių paklaidų grandinės
 - 3) sukimosi kūnų ašių padėčių paklaidų grandinės.
- Mažiausiai išnagrinėtos yra pastarosios dvi paklaidų grandinės.

Darbo problematika

Gaminant detales, gamybos procese pasireiškia plokštumų kampinės paklaidos. Kad būtų galima gauti tikslias detales, reikia atlikti technologinius skaičiavimus, sprendžiant paklaidų grandines.

Tyrimo tikslas

Išanalizuoti plokštumų kampinių paklaidų garndinių sudarymą, panaudojant grafų teoriją ir matricas.

Darbo aprobavimas

Darbas buvo išdėstytas ir aptartas studentų mokslinėje konferencijoje „STUDENTŲ MOKSLINIAI DARBAI“ Šiauliai, 2007.

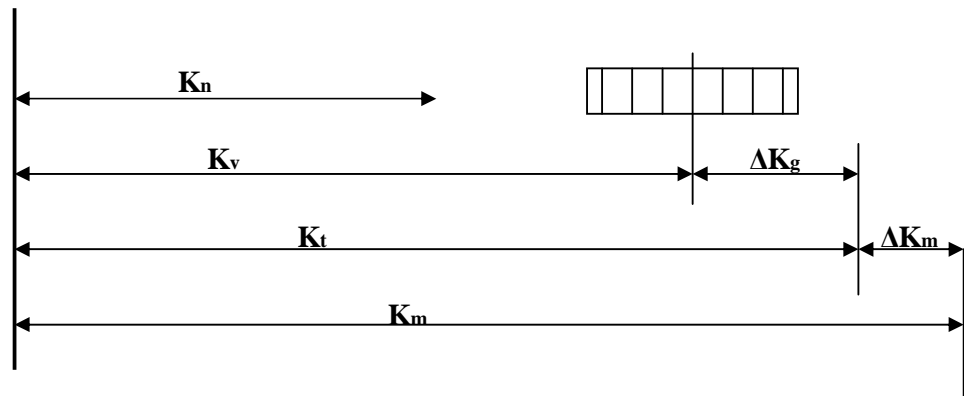
1. TIKSLUMAS

Detalių apdirbimo metu veikia daug atsitiktinių faktorių, todėl atsiranda detalių kokybės rodiklių paklaidos. Tarp reikalingo gauti rodiklio dydžio ir gautos reikšmės gamybos procese visuomet yra tam tikras skirtumas. Be to, matuojant bet kokį detalės kokybės rodiklį, jis nustatomas su tam tikra paklaida. Vadinasi, gamybos procese gautas rodiklio dydis matuojant yra iškreipiamas. Skiriamos keturios bet kokio rodiklio reikšmių rūšys (1.1 pav.):

1. Nominali arba teorinė reikšmė K_n , gauta skaičiavimo metu.
2. Reikšmė K_v , kurią norima gauti gamybos procese. Tai gali būti nominali rodiklio reikšmė

(paviršių tarpusavio padėties paklaida, paviršių geometrinės formos paklaida ir kt.) arba rodiklio vidurinė reikšmė, t.y. atstumas iki tolerancijos lauko vidurio (paviršių matmenys, atstumai tarp paviršių).

3. Tikra, objektyviai egzistuojanti reikšmė K_t , gauta gamybos procese.
4. Išmatuota K_m , t.y. tikra reikšmė, pažinta su tam tikra paklaida.



1.1 pav. Keturios tam tikro rodiklio reikšmių rūšys

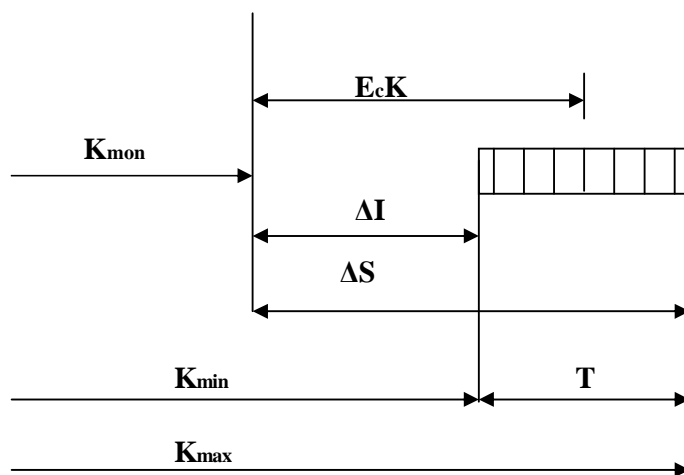
ΔK_g - rodiklio paklaida, gauta gamybos procese

ΔK_m - rodiklio matavimo paklaida

Rodiklio K tikslumas - tai tikros rodiklio reikšmės K_t priartėjimo laipsnis prie tos reikšmės K_v , kurią norima gauti gamybos procese. Rodiklio K matavimo tikslumas - tai išmatuoto dydžio K_m priartėjimo laipsnis prie tikro, realaus rodiklio dydžio K_r .

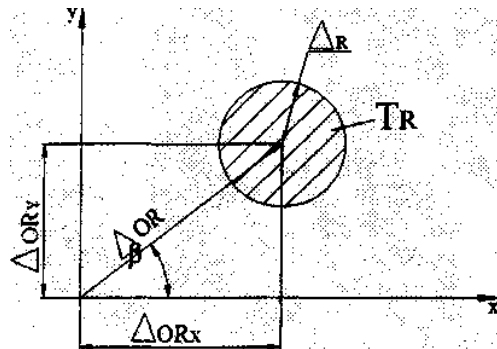
Paklaidos apdirbant detales yra neišvengiamos, ir absoliutaus bet kokio rodiklio tikslumo pasiekti neįmanoma. Todėl detalių kokybės rodiklių reikšmėms nustatomi tam tikri jų kitimo intervalai, kuriems esant detalės ar visa mašina pasižymi reikiama kokybe, o gamybos savikaina tenkina gamintojus. Nustatyti rodiklių kitimo intervalai vadinami tolerancijomis.

Mašinų gamyboje susiduriama su skaliariniais ir vektoriniais dydžiais. Skaliarinio dydžio tolerancijos laukas pateikiamas trimis būdais: rodiklio viršutine ΔS ir apatine nuokrypa ΔI , tolerancijos lauku T ir jo vidurio koordinate $E_c K$, rodiklio maksimalia K_{max} ir minimalia K_{min} reikšme (1.2 pav.).



1.2 pav. Trys tolerancijos uždavinio būdai

Dvimačio vektorinio dydžio tolerancija pateikiama kokia nors geometrine figūra, kurios ribose gali būti atsitiktinio vektoriaus smaigalys. Tokia figūra vadinama hodografu (1.3 pav.). Jo forma ir padėtis pasirinktoje koordinatinių sistemoje priklauso nuo sprendžiamo uždavinio. Pavyzdyje (1.3 pav.) parodytas vektoriaus R apskritimo pavidalo tolerancijos laukas.



1.3 pav. Atsitiktinio vektorinio dydžio R tolerancijos laukas T:

Δ_{OR} - tolerancijos lauko vidurio reikšmė,

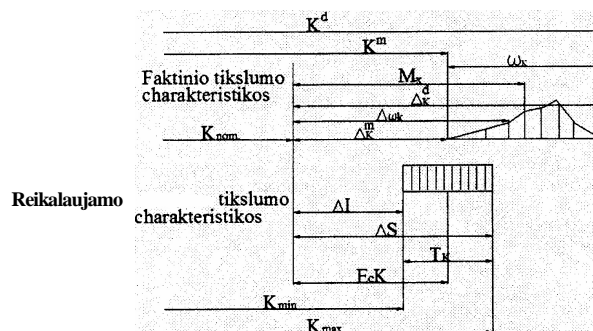
Δ_{ORx} , Δ_{ORy} - tolerancijos lauko vidurio reikšmių projekcijos.

Trijų matavimų atsitiktinio vektoriaus paklaidos apibrėžiamos erdvės dalimi, kurios padėtis ir dydis nusakoma tam tikrais dydžiais. Pagal analogiją supratimą apie toleranciją galima išplėsti n-matei erdvei.

Nagrinėjant tikslumą, visų pirma reikia apibrėžti, apie kokią tikslumą eina kalba: reikalaujamą ar faktinį. Reikalaujamas mašinos detalių rodiklių tikslumas nustatomas, atsižvelgiant į mašinos paskirtį ir matmenų grandinių uždarančiųjų narių tikslumo siekimo metodą.

Faktinis bet kurio rodiklio tikslumas gaunamas kaip atitinkamo apdirbimo proceso rezultatas. Faktinį tikslumą, panašiai kaip ir reikalaujamą (1.4 pav.), galima apibrėžti trim būdais:

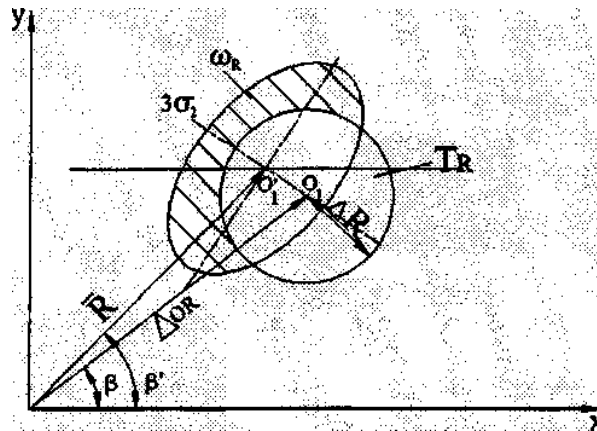
1. Rodiklio K reikšmių didžiausia Δ^d_K ir mažiausia Δ^{mk} nuokrypa.
2. Sklaidos lauko dydžiu w_K ir sklaidos lauko vidurio koordinate Δ_{wk}
3. Didžiausia K^d ir mažiausia K^m rodiklio reikšme.



1.4 pav. Dydžiai, charakterizuojantys reikalaujamą ir faktinį tikslumą

1.5 pav. parodytas atsitiktinio vektoriaus reikalaujamas faktinis tikslumas gaunamas,

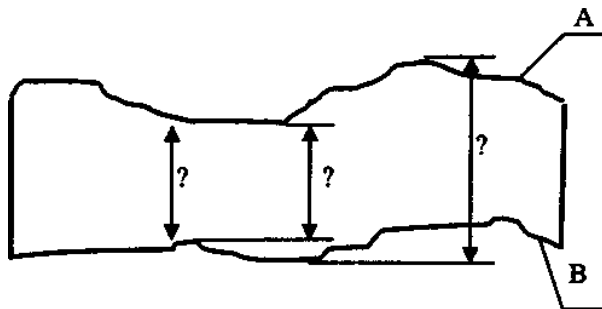
sutapdinant vektoriaus reikšmių išsibarstymo plotą ir tolerancijos plotą. Reikalaujamas tikslumas pateiktas apskritimu, o faktinis vektoriaus kitimas apribotas elipse.



1.5 pav. Atsitiktinio vektoriaus reikalaujamo ir faktinio tikslumo charakteristikos

Detalių kokybė geometrinu požiūriu nusakoma tokiomis charakteristikomis: matmenų tikslumas, paviršių geometrinės formos tikslumas, paviršių tarpusavio padėties tikslumas ir paviršių glotnumas.

Tarp šių charakteristikų būtinai turi būti išlaikytas toks santykis: paviršių tarpusavio padėties paklaidos turi būti mažesnės už matmenų paklaidas, paviršių formos paklaidų dydis turi būti mažesnis už paviršių padėties tarpusavio padėties paklaidų dydį ir t.t.



1.6 pav. Atstumo tarp plokštumų A ir B nustatymo neapibrėžtumas

Jeigu nebūtų išlaikomas toks dėsningumas, būtų sunku įvertinti aukštesnio rango rodiklio paklaidą. 1.6 pav. parodyta, kad nustatant atstumą tarp plokštumų, susiduriama su sunkumais, jeigu neplokštumo paklaidos yra didelės.

1.1 MAŠINOS TIKSLUMAS

Detalės ir mašinos tikslumu laikomas jos priartėjimo prie geometriškai taisyklingo jos prototipo laipsnis.

Detalės tikslumas vertinamas šiais rodikliais: matmenų tikslumu, paviršių kampinės

padėties tikslumu, geometrinės formos tikslumu, paviršiaus glotnumu.

Mašinos tikslumas, panašiai kaip ir detalės tikslumas, apibūdinamas darbinių paviršių matmenų nuokrypomis, jų kampinės padėties nuokrypomis, geometrinės formos tikslumu (įskaitant ir makrogeometrines nuokrypas bei banguotumą) ir paviršių glotnumu.

Be to, mašinos tikslumas vertinamas ir pagal jos detalių santykinio judesio tikslumą (kinematinį tikslumą), pavyzdžiui, pagal staklių stalo ar įrankio judesio tiesialinijškumą, pavarų perdavimo santykio pastovumą (krumpliaračių kinematinės ir ciklinės pavaros ir kt.). Kinematiškai netikslios mašinos dirba triukšmingai, greit išdyla mechanizmai. Judesio tikslumui įvertinti ir apriboti nustatomos kampinės ir linijinės tolerancijos.

Mašinos kokybės rodikliais taip pat laikomi detalių paviršiaus sluoksnio fizinės-mechaninės savybės ir fizinė-cheminė sudėtis. Padidinus paviršiaus kietumą, pagerinus struktūrą, suregulavus liekamųjų įtempimų pobūdį, padidėja mašinos atsparumas dilimui, mažiau keičiasi jos tikslumas.

Kuo siauresnės įvairių mašinų rodiklių tolerancijos, tuo tiksliau ir ekonomiškiau dirba mašina. Tačiau, didinant tikslumą (mažinant nuokrypas), neproporcingai sparčiai, maždaug pagal parabolės dėsnį, didėja pagaminimo išlaidos.

Skiriamos dvi tikslumo sąvokos: galimas tikslumas ir ekonomiškasis tikslumas.

Ekonomišku tikslumu vadinamas toks tikslumas, kuris pasiekiamas normaliomis gamybos sąlygomis, esant mažiausioms gamybos išlaidoms t.y. atliekant darbą tvarkingomis staklėmis, naudojant reikalingus įrankius bei įtaisus, kai darbininkų kvalifikacija atitinka darbo pobūdį, jie dirba be ypatingų pastangų ir sugaišta normalų darbo laiką.

Galimu tikslumu vadiname tokį tikslumą kuris pasiekiamas ypatingomis, labiausiai palankiomis sąlygomis, dirbant aukštos kvalifikacijos darbininkams, nesiskaitant su darbo laiku ir išlaidomis.

Iš paskutinių dviejų sąvokų matome, kad serijinėje ir masinėje gamyboje, kur siekiama gamybos automatizavimo, naudotinas tik ekonomiškasis tikslumas.

Mašinos kokybę nustatančias tolerancijas galima laikyti sudarytas iš dviejų dalių:

- 1) gamybai skirtos dalies,
- 2) mašinos susidevėjimui skirtos dalies.

Nuo gamybinės detalių ir mazgų tolerancijos, taip pat surinkimo tikslumo labai priklauso mašinos patikimumas, bei jos ilgaamžiškumas. Pavyzdžiui, netiksliai pagaminus paslankų mazgą, tarp jo detalių susidaro per dideli tarpeliai, detalės, veikiant mašinai, ima vibruoti, atsiranda dinaminės jėgos, dėl to mazgas greičiau susidėvi, mašina pradeda netiksliai atlikti savo funkcijas, nepatikimai veikia.

Dėl to, gaminant brangias, tikslias mašinas, pavyzdžiui precizines stakles, tam tikra

tolerancijos atsarga turi būti palikta dilimui eksploatacijos metu. Todėl, atestuojant pagamintas stakles, žiūrима, kad suminė matuojamojo objekto paklaida būtų nedidesnė kaip 0,6 leistinosios paklaidos. Neekonomiška ir neleistina, kad nauja mašina, tik truputį paveikusi, nustotų savo tikslumo. Precizinės ir brangios staklės apskaičiuojamos taip, kad po 3-5 eksploataavimo metų būtų tokio tikslumo, koks nurodytas pase.

Gamybinė suminė tolerancija turi apimti visas gamybines paklaidas: pačių detalių standumo ir sujungimo standumo paklaidas, taip pat reguliavimo ir surinkimo paklaidas.

Detalių pagaminimo paklaidos išryškėja gamybos metu, o mašinos paklaidos, susidedančios iš detalių, mazgų ir mechanizmų paklaidų, išaiškinamos tikrinant surinktą mašiną (be apkrovos).

Detalių ir jų mazgų pagaminimo bei surinkimo tikslumas priklauso nuo daugelio gamybinių veiksnių. Visų pirma, nuo pačių tolerancijų ir leistinų nuokrypų didumo, nuo detalių bazavimo ir pastatymo tikslumo, nuo staklių, įtaisų ir įrankių tikslumo ir jų standumo apdirbimo procese, nuo ruošinių užlaidų didumo ir vienodumo, temperatūrinių deformacijų ir kt.

Didelės įtakos mašinos tikslumui turi konstrukcijos technologiškumas. Konstrukcija vadinama technologiška, kai ji paprasta, gaminys patogiai, lengvai ir pigiai pagaminamas, atitinka funkcinę paskirtį.

Konstruojant mašiną ir jos atskiras dalis, reikia patenkinti ne tik eksploatacinius reikalavimus, bet ir žiūrėti, kad ją būtų galima ekonomiškai pagaminti, sunaudojant mažiausiai darbo ir medžiagų. Tai ir yra technologiškumo esmė.

Mašinos konstrukcijai keliami šie pagrindiniai technologiškumo reikalavimai:

- a) mašina turi būti lengvai surenkama iš atskirų mazgų. Mazgai savo ruožtu turi būti tokios konstrukcijos, kad juos būtų galima surinkti lygiagrečiai atskirose vietose ir, kad eksploatuojant mašiną, juos būtų patogu remontuoti.
- b) reikia naudoti unifikuotus mazgus, standartizuotas bei normalizuotas detales;
- c) turi būti kuo mažiau originalios ir sudėtingos konstrukcijos detalių;
- d) surinkimui taikyti pakeičiamumo principą, vengti šaltkalviškų pritaikymo darbų; detalių formą parinkti tokią, kad būtų galima mechanizuoti bei automatizuoti mašinos surinkimo darbus.

Detalių konstrukcijai keliami tokie technologiškumo reikalavimai:

- a) mechaniškai apdirbami detalės paviršiai turi būti kuo mažesni ir kuo plonesnis nuimamas medžiagos sluoksnelis;
- b) detalė turi būti pakankamai standi, kad jai būtų galima taikyti intensyvius apdirbimo režimus;

c) detalės forma parinktina tokia, kad detalę būtų galima gerai ir greitai įtvirtinti, kad būtų patogiu prieiti prie paviršių pjovimo įrankiais. Jei patogiu bazavimo paviršių nėra, reikia padaryti ruošiniuose dirbtines bazines-prielajas.

1.2 TECHNOLOGIŠKUMAS

Parentant konstrukciją, atsižvelgiama į gamybos būdą. Konstrukcija, laikoma technologiška vienetinėje gamyboje, esant serijinei gamybai, gali būti netechnologiška arba mažiau technologiška.

Pavyzdžiui, švaistikliai arba variklio pagrindiniai slydimo guoliai vienetinėje gamyboje daromi be įdėklų — tiesiog įliejamas antifrikcinės medžiagos sluoksnelis; serijinėje gamyboje tie patys guoliai daromi su keičiamais įdėklais.

Visos vartojamos medžiagos turi atitikti eksploatacijos ir gamybos reikalavimus. Vadinasi, jos turi būti nedeficitinės, atsparios dilimui, lengvai apdirbamos. Taikant metalavimą arba metalų paviršiaus sukietinimą terminės difuzijos būdu, galima detalių gamybai panaudoti paprastesnes, pigesnes medžiagas.

Konstruojant detalę, negalima pamiršti tokios svarbios medžiagos savybės, kaip apdirbamumas, nes nuo jo tiesiogiai priklauso darbo našumas.

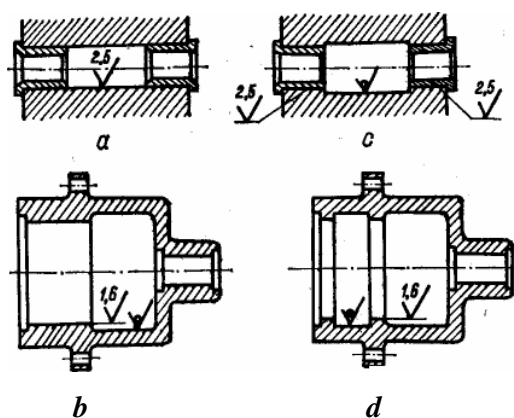
Reikia stengtis, kad naujai konstruojami gaminiai būtų nedidelių gabaritų, lengvi. Taigi konstruoti reikia optimalios formos detales, panaudojant joms lengvuosius lydinius (aliuminio, magnio, titano) ir plastmases, didinti detalės konstrukcijos standumą, nes tuomet galima sumažinti jos gabaritus. Mažesnių matmenų ir masės detalei mažiau reikia medžiagos, mažiau susidaro atliekų, mažesnės darbo sąnaudos. Atitinkamai mažesnėms detalėms reikia mažesnių staklių ir įrangos, daugiau gaminių tenka gamybinio ploto vienetui.

Konstruodamas detalę, konstruktorius jau iš anksto turi numatyti, kokio tipo bus ruošinys, ir vengti sunkiau apdirbamų formų. Kuo paprastesnės formos detalė, tuo lengviau parinkti jai ruošinį. Labai svarbu, kad ruošinio forma atitiktų arba beveik atitiktų detalės formą. Detalių ir ruošinių geometrinis panašumas yra svarbus veiksnys darbo našumui didinti. Ekonomiška detales gaminti tiesiog iš pirminės žaliavos, pavyzdžiui, lieti jas tikslaus liejimo būdu iš spalvotųjų metalų lydinių, gaminti iš plastmasių.

Konstruktorius turi žiūrėti, kad prie kiekvieno apdirbamo detalės paviršiaus būtų galima lengvai prieiti su įrankiu ir jį apdirbti, turi iki minimumo sumažinti apdirbamo paviršiaus plotą, supaprastinti atskirų detalės elementų formą, racionaliai parinkti paviršiaus

šiurkštumo klasę, nes nuo šių veiksnių labai priklauso darbo našumas. 1.7 paveiksle matome dvi dvejopo išpildymo detales. Pakeitus detalių konstrukciją taip, kaip tai parodyta brėžiniuose *c* ir *d*, sumažėja apdirbamo paviršiaus plotas ir tuo pačiu sutrumpėja detalės apdirbimo ciklas.

Tekinamų detalių skersmenys, ypač keturų, flanšų, neturi labai smarkiai skirtis, nes priešingu atveju bus sunku jas tenkinti daugiapeiliais pusautomačiais. Detalės konfigūraciją reikia parinkti tokią, kad apdirbant būtų nesunku ją įtvirtinti įtaise. 1.8 paveiksle parodyta, kaip, sumažinus kyšuliuko aukštį, detalę galima patikimai įtvirtinti trijų kumštelių griebtuve.



1.7 pav. Detalės konstrukcijos pakeitimo variantai:

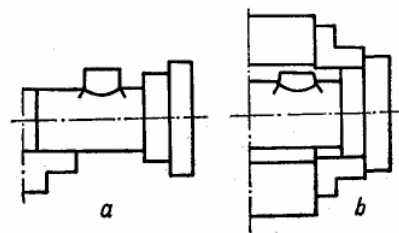
a, b — senos konstrukcijos; *c, d* — technologiškesnės konstrukcijos

Korpusinėse detalėse (greičių dėžėse ir kt.) galiniai paviršiai, pro kuriuos praeina skylės, turi būti vienoje plokštumoje. Tokias skylės galima apdirbti vieną kartą nustačius ir netgi vienu perėjimu. Didesnes skylės, palengvinančias montavimą arba vidinių paviršių apdirbimą, reikia daryti iš vieno šono 1.9 pav.

Sudėtingesnės formos detalių stabiliam bazavimui daromos papildomos pralajos (1.10 pav., *b*).

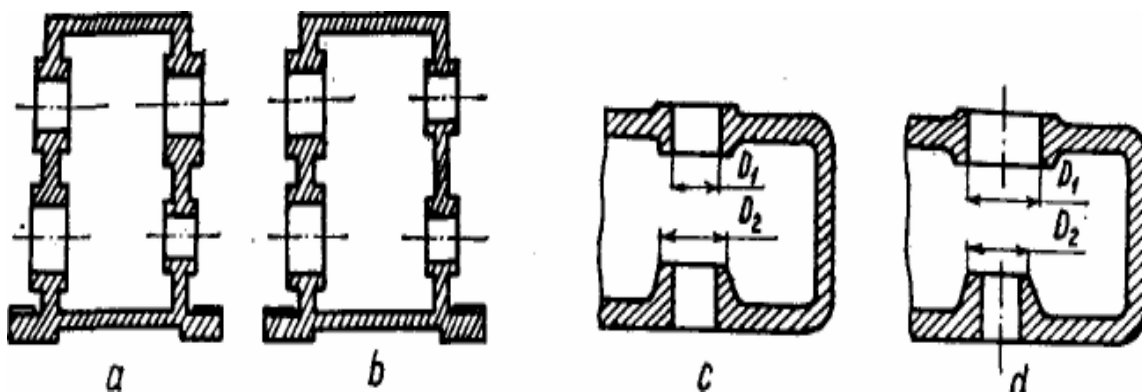
1.11 paveiksle, *b* ir *c*, atvaizduotos dviejų tipų asimetrinės detalės, kurias galima laisvai pakeisti viena detale *a*.

Kiekvienoje mašinoje, be unifikuotų, yra nemažai originalių detalių, kurios turi analogiškus apdirbamus paviršius, pavyzdžiui, velenai, tvirtinimo detalės, srieginiai, pleištiniai, šliciniai paviršiai, skylės. Mažinant paviršių, detalių matmenų ir tipų skaičių, paspartinamas apdirbimas ir surinkimas. Be to, tuomet mažiau reikia pjovimo, matavimo bei kitokių įrankių (sriegiklių, plėstuvų, grąžtų, kalibrų), taigi juos būna lengviau pagaminti ir užsakyti.



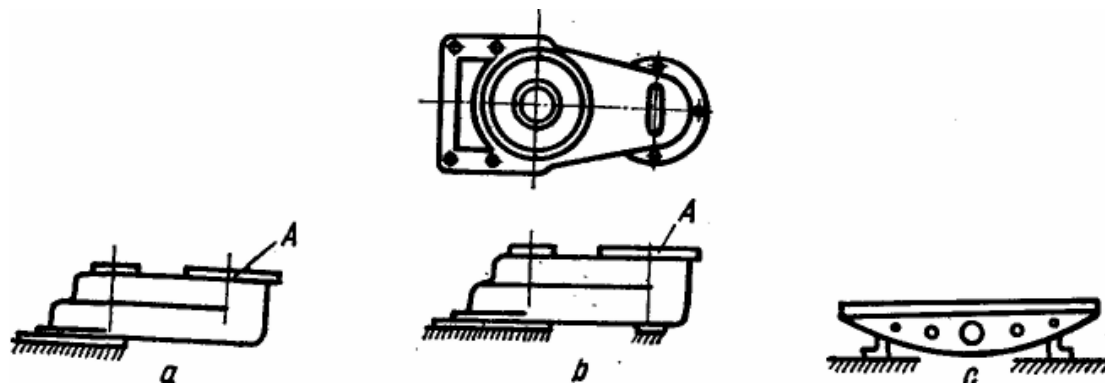
1.8 pav. detalės formos pakeitimas norint palengvinti jos įtvirtinimą staklėse:

a — sena konstrukcija; b — patogesnė įtvirtinti konstrukcija



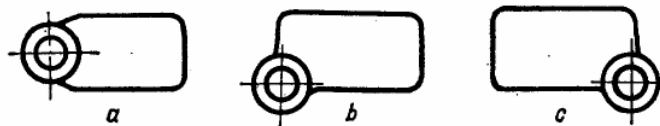
1.9 pav. Korpusinės detalės: a, c — netechnologiškos; b, d

— technologiškos



1.10 pav. Korpusinės detalės: a — netechnologiška bazavimo požiūriu; b ir c — bazavimui padaryta prielaja

Konstruojant detales, reikia vengti sudėtingų paviršių, nes juos sunkiau apdirbti. Tokiu atveju geriau vieną sudėtingą detalę pakeisti keliomis paprastesnėmis, tipinės formos detalėmis, apdirbamomis pagal tipinę technologiją (1.13 pav.). Būtina atsižvelgti į išardomų sujungimų surinkimo ypatybes. Mazgai, turintys išardomų sujungimų, turi būti lengvai ir patogiai surenkami. 1.14 paveiksle atvaizduotas velenėlis, kurį reikia įpresuoti į dvi vienodo skersmens skylės.



1.12 pav. Detalių unifikavimo pavyzdys: *a* — unifikuota detalė; *b*, *c* — detalės iki unifikavimo

Įpresavę velenėlį į vieną auselę, turėsime jį stumti išilgai ašies, kol išsprausime į antrąją skylę. Reikiamos įvaržos jau nebegausime. Pakeitę velenėlio konstrukciją, kaip parodyta brėžinyje *b*, visų tų nepatogumų išvengsime, be to, bus didesnis surinkimo darbo našumas.

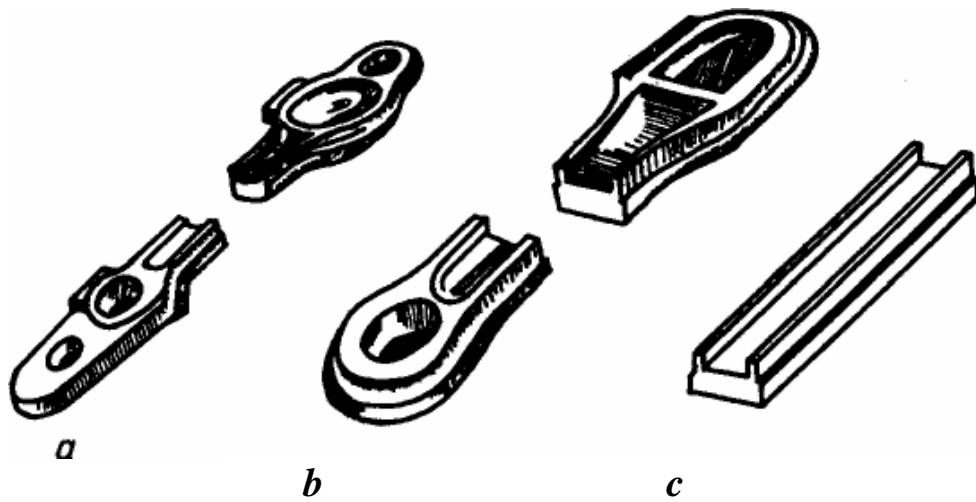
Konstruojant mašinas arba prietaisus, reikia taikyti agregavimo principą, t. y. konstruoti juos iš atskirų agregatų arba mazgų, nes, taikant šį principą, daug sparčiau surenkamas gaminys.

Šiame skyrelyje paliesti tik bendri technologiškumo klausimai. Projektuojant atskirų detalių apdirbimo technologinius procesus ir nagrinėjant tipinių detalių technologiją, technologiškumas turi būti išnagrinėtas labai išsamiai.

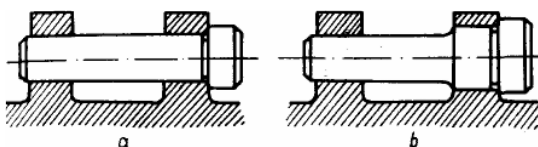
Detalės tikslumą taip pat galima padidinti tinkamai ją suprojektavus. Detalių konstrukcijai keliami tokie technologiškumo reikalavimai:

- a) mechaniškai apdirbami paviršiai turi būti kuo mažesni ir kuo plonesnis nuimamas medžiagos sluoksnis;
- b) detalė turi būti pakankamai standi, kad jai būtų galima taikyti intensyvius apdirbimo režimus;

detalės formą parinkti tokią, kad detalę būtų galima gerai ir greitai įtvirtinti, kad būtų patogų prieiti prie apdirbimo paviršių pjovimo įrankiais. Jei patogių bazavimo paviršių nėra, reikia padaryti ruošinius



1.13 pav. Sudėtingos detalės pakeitimas paprastesnės formos detalėmis: *a, b* — štampuoti elementai; *c* — standartinio profilio atpjova



1.14 pav. Velenėlio ir skylių konstrukcijos pakeitimas:
a — sena konstrukcija; *b* — racionali konstrukcija

dirbtines bazes- prielajas.

Sprendžiant detalės ar mašinos tikslumo klausimus, būtina įvertinti konkrečius reikalavimus, kuriais turės remtis technologinis procesas:

1) Detalė ar mašina turi išlaikyti užduotą tikslumą tam tikrą nustatytą laiko tarpą. Procese gali būti leidžiamas tam tikras nukrypimo nuo brėžinio rizikos laipsnis, jei tai

ekonomiškai apsimoka, tačiau visais atvejais šis rizikos laipsnis turi būti iš anksto žinomas.

2) Išlaidos, skirtos detalės projektavimui ir gamybai, atsižvelgiant į analogiškas detales, turi būti minimalios. Be to, technologinis procesas turi tenkinti ir tokius reikalavimus: minimalus sunaudojimo metalo kiekis vienai detalei, operacijų sinchroniškumas pagal vienetinį laiką, minimalus transportavimo kelias, pjovimo įrankio pozicijos pasikeitimo greitis ir t.t. Atskiroms pramonės šakoms gali būti keliami skirtingi prioritetai, tačiau dažniausiai svarbiausiais laikomi tokie reikalavimai, kaip technologinio proceso patikimumas, atitinkantis brėžinyje nurodytas sąlygas, ir minimalios išlaidos detalės gamybai.

Projektuojant technologinį procesą, būtina įvertinti technologinio proceso patikimumo laipsnį. Diegiant naują technologinį procesą, reikia remtis esama patirtimi, arba palyginti su analogišku procesu, nes eksperimentuojant sugaištama daug laiko ir prarandama lėšų, o kartais tiesiog neįmanoma to atlikti. Diegiant į gamybą naują mašiną ar detalę, reikalinga išnagrinėti šimtus, o kartais net ir tūkstančius technologinių procesų, tad darosi aišku, kad prognozės paremtos eksperimentu, yra neįmanomos. Todėl technologinio proceso patikimumo laipsnio projektavimas tampa labai svarbus. Prognozuoti taip pat ne visada pavyksta, ypač kada diegiama kokia nors unikali detalė ar mašina. Taip pat prognozavimą sunkina technologinio proceso operacijos, kurios stokoja statistinių duomenų.

Mašinų gamyboje, priklausomai nuo jos tipo, tikslumo siekiama dvejopai:

a) *individualiai pavienių detalių*, atskirai nustatant kiekvieną detalę ir sureguliuojant jos padėtį staklėse; pjovimo įrankis nustatomas, naudojantis matavimo įrankiais; čia tikslumas priklauso nuo darbininko kvalifikacijos ir matavimo priemonių tikslumo;

b) *automatiškai visos detalių partijos*; taip dirbama masinėje ir serijinėje gamyboje, panaudojant įtaisus, automatus, automatines linijas. Čia tikslumas priklauso nuo technologinės sistemos tikslumo (staklių, įtaisų), bet ne nuo darbininko individualių sugebėjimų.

Detalių tikslumo gamybos procese siekiama palaipsniui, per keletą operacijų. Ekonomiškiausia būtų gaminti detales tiesiog iš žaliavos. Taip gaminamos, pavyzdžiui, plastmasinės detalės. Metalinių detalių taip gaminti dažnai nėra galimybių. Todėl stengiamasi metalinių detalių ruošinius gauti kuo tikslesnės formos, kad jiems apdirbti reikėtų kuo mažiau operacijų. Kadangi detalės kokybė įvertinama ne tik matmens tikslumu, bet ir paviršiaus sluoksnio savybėmis, tai jos apdirbimui reikia parinkti tokią technologinę sistemą, kad iš karto būtų gauti visi kokybės rodikliai. Jei to negalima padaryti, vieni perėjimai skiriami matmens tikslumui gauti, kiti — paviršiaus kokybei užtikrinti. Pavyzdžiui, reikiamas veleno tikslumas gaunamas, jį apdirbus šlifavimo staklėmis, o glotnumui pagerinti reikia papildomai atlikti

superfinišavimo operaciją, kuri mažai turi įtakos matmens tolerancijai.

Detalės apdirbimo procese skiriami trys etapai:

1) *detalės nustatymas* staklėse arba įtaise, orientavimas staklių darbinų paviršių atžvilgiu ir įtvirtinimas reikiamu tikslumu; šiame etape *atsiranda nustatymo paklaidų*; -

2) *statinis technologinės sistemos derinimas*; atliekant šią operaciją, įrankis priartinamas prie ruošinio arba, atvirkščiai, ruošinys — prie įrankio ir užfiksuojamas reikiamoje padėtyje, dar neapkrovus įrankio pjovimo jėgomis; šiame etape *susidaro statinio derinimo (matmenų ir kinematinių grandinių) paklaidų*;

3) *apdirbimo operacijos* su visais darbo procesą lydinčiais reiškiniiais; šiam etapui būdingos *dinaminės, kintančios, nuo nustatymo ir bazavimo nepriklausančios paklaidos*.

Kartais pirmieji du etapai sukeičiami vietomis. Pavyzdžiui, serijinėje gamyboje naudojant įtaisus, pirmiausia statiškai suderinama technologinė sistema, nustatomas įrankis ir tik paskui nustatomas apdirbamasis objektas.

Nustatymo paklaidų priežastys:

- a) netinkamas technologinių bazių parinkimas, jų paviršiaus glotnumo, formos, kampinių matmenų ir atstumų paklaidos;
- b) apdirbimui naudojamų staklių bei įtaisų netikslumas, jų geometrinės paklaidos;
- c) netinkamas matavimo bazių, matavimo priemonių ir metodų parinkimas;
- d) žema darbininko kvalifikacija (vienetinėje ir smulkiaserijinėje gamyboje) ir t.t.

Statinio derinimo paklaidų priežastys:

- a) netinkamos technologinės bazės;
- b) blogai ir netinkamomis priemonėmis matuojama;
- c) blogai nustatyti įtaisai, netinka derinimo metodai ir priemonės;
- d) netinkamai nustatyti pjovimo įrankio ašmenys apdirbamų paviršių atžvilgiu;
- e) per mažas staklių, įtaisų ir įrankių geometrinis tikslumas;
- f) per žema darbininko derintojo kvalifikacija.

Dinaminės paklaidos priklauso nuo tokių veiksnių:

- a) ruošinių medžiagos kokybės nevienodumo;
- b) apdirbimui skirtų užlaidų didumo svyravimo;
- c) technologinės sistemos standumo;
- d) įrengimų, įtaisų ir įrankių būklės (jų susidėvėjimo laipsnio);
- e) vartojamų aušinimo-tepimo priemonių kiekio ir kokybės;
- f) sistemos derinimui arba paderinimui pasirinktų metodų ir priemonių tikslumo;
- g) darbininko derintojo kvalifikacijos ir kitų priežasčių.

Visuose mechaninio apdirbimo etapuose, nuo pat ruošinio nustatymo iki gatavos detalės gavimo, įvairiomis matavimo priemonėmis tikrinama darbų kokybė, veiksmų tikslumas. Dėl to, vertinant tikslumą, negalima užmiršti matavimo paklaidų.

1.3 PARAMETRAI, CHARAKTERIZUOJANTYS TIKSLUMĄ

Detalės ir jų atskiri paviršiai charakterizuojami sekančiais parametrais: atskirų paviršių matmenų tikslumu arba atstumu tarp jų; formos ir tarpusavio padėties tikslumu, banguotumu ir paviršiaus šiurkštumu.

Detalės tikslūs parametrai formuojami per visas technologines operacijas, nuo ruošinio suformavimo iki detalės išbaigimo. Priimta, kad tikslumas vienos ar kitos technologinės operacijos, charakterizuojamas paklaidos dydžiu, atsirandančiu toje operacijoje. Kuo mažesnė paklaidos atsiranda apdirbimo metu tuo detalė yra aukštesnio tikslumo. Projektuojant detalės dirbimo technologines operacijas dažniausiai nepavyksta apskaičiuoti norimo tikslumo. Todėl yra sudaromos tikslumo lentelės, turinčios skirtingų apdirbimo metodų statistinius duomenis, matmenų grandinės ar paklaidų medis.

Technologinių matmenų skaičiavimo supaprastinimui paklaidų formos ir jų išsidėstymas vadinamas erdvinėmis paklaidomis, kurios, priklausomai nuo kontrolės būdo, skirstomos į dvi grupes:

- 1) erdvinės paklaidos, esančios tarp kelių paviršių dydžiu t ;
- 2) erdvinės paklaidos, neįeinančios į užlaidos dydį, pvz., cilindro ašis.

Inžinierius, projektuodamas technologines operacijas, nurodo ne tik operacijos atlikimo būdą, bet ir kontrolės būdą, nes tai leidžia nustatyti vienokią ar kitokią erdvinę paklaidą. Tokio paskirstymo būtinumas taps akivaizdus, kuomet bus atliekamas matmenų skaičiavimas. Techniniams reikalavimams keliamas uždavinys, pagal paviršių išsidėstymą, susideda iš dviejų dalių. Pirma - užlaidų dydžių parinkimas pagal statistinio tikslumo lenteles. Antra - būtinų ir pakankamų techninių reikalavimų paskyrimas, vienareikšmiškai nusakančių kiekvienoje operacijoje atsirandančių paviršių padėtį. Jei šių sąlygų nevykdytume, tai taptų neįmanoma prognozuoti technologinio proceso tikslumo ir detalės kokybė, paremta šiuo procesu, negarantuojama.

Techninės sąlygos gali būti žymimos sutartiniais simboliais arba tekstu. Remiantis techniniais pasiūlymais apdirbtas paviršius turi užimti apibrėžtą padėtį bazės atžvilgiu. Todėl

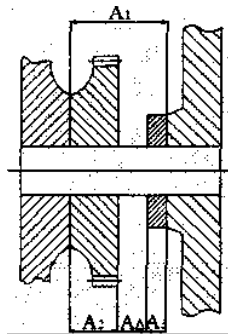
techninių reikalavimų kiekis, kuris turi būti užduotas, surištas su šešiais laisvumo laipsniais. Techninių reikalavimų kiekis neturi būti pateiktas per didelis arba per mažas, nes viena ir kita veda prie paviršiaus padėties neapibrėžtumo.

2 MATMENŲ GRANDINĖS

Matmenų grandinė - tai matmenų, betarpiškai dalyvaujančių sprendžiant uždavinį ir sudarančių uždara kontūrą, visuma.

Atsižvelgiant į sprendžiamų uždavinių charakterį, matmenų grandinės skirstomos į dvi grupes: konstruktorines ir technologines. Konstruktorinių matmenų grandinių sudarymo pagrindas yra mašinos ar mazgo konstrukcija. Šioms grandinėms padedant sprendžiami tokie uždaviniai: detalių matmenų ir jų tikslumo nustatymas, detalių paviršių tarpusavio padėties tikslumo nustatymas ir kt. Konstrukcinių matmenų grandinių sudarymas paprastai nesudaro sunkumų. Mašinos ar mazgo konstrukcija yra stabili sistema ir detalių matmenys, kurie įeina į matmenų grandinę, laikui bėgant nesikeičia.

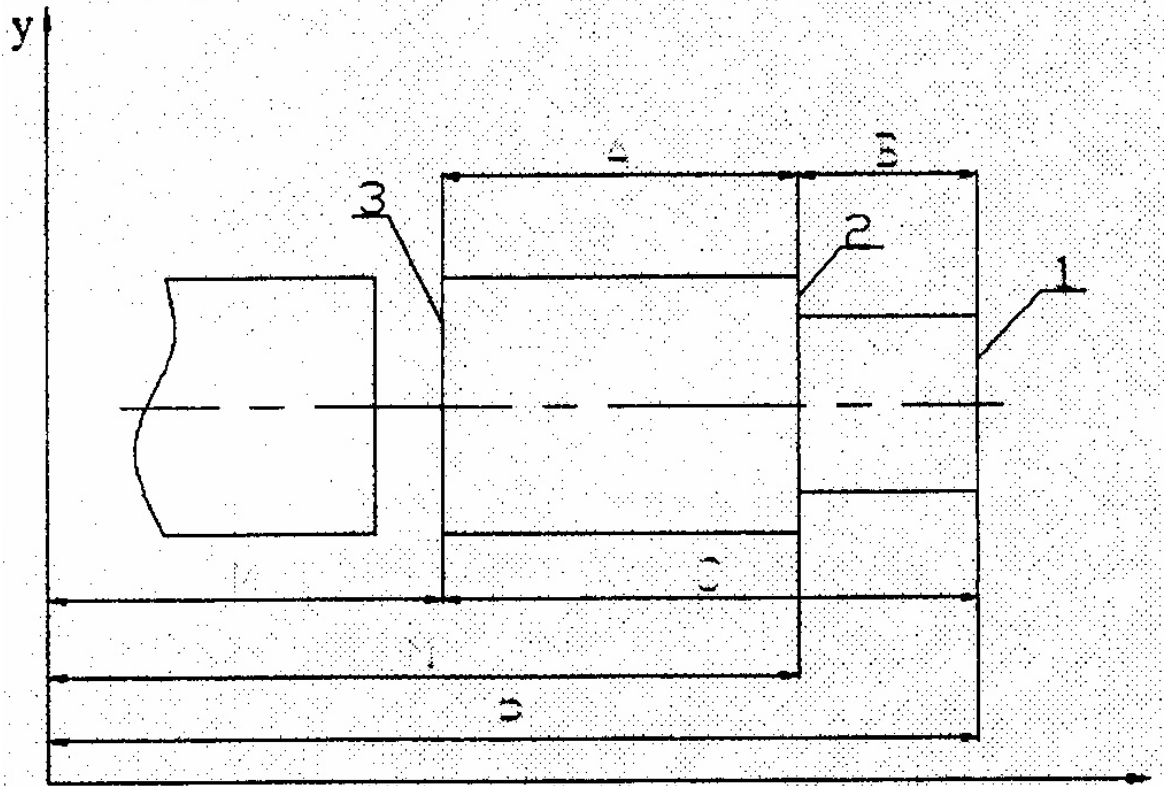
Reikia atkreipti dėmesį į tai, kad sudedamieji ir uždarantieji matmenų grandinių nariai yra atitinkamų detalių matmenys, o uždarantieji nariai - atstumai tarp skirtingų detalių paviršių. Pavyzdžiui, 2.1 pav. parodyta matmenų grandinė, kur A_1 , A_2 ir A_3 yra sudedamieji nariai, t. y. korpusinės detalės, A_4 - krumpliaračio ir įvorės matmuo, A_5 - uždarantysis narys - tai tarpelis arba atstumas tarp krumpliaračio ir įvorės plokštumos. Dažniausiai uždarantieji nariai konstrukcinėse matmenų grandinėse būna tarpeliai tarp dviejų detalių paviršių arba įvaržos dydis.



2.1 pav. Mazgo schema ir jo matmenų grandinė

Technologijos matmenų grandinės yra žymiai sudėtingesnės. Visų pirma detalių matmenys formuojami per visą technologijos procesą. Apdirbimo metu keičiasi baziniai paviršiai, o uždarantieji nariai šiose grandinėse yra galutiniai detalių matmenys, operaciniai matmenys

ir užlaidų dydžiai. Svarbiausia yra tai, kad matmenys, kurie įeina į technologines matmenų grandines, yra pateikiami tarp dviejų plokštumų (geometrinių elementų) ir todėl, kai apdirbimo procese keičiasi matmens dydis, jo pasikeitimą nusako abiejų plokštumų, tarp kurių pateiktas matmuo, padėčių



2.2 pav. Detalės apdirbimo schema ir matmenų grandinės

paklaida.

Sudaryti technologinę matmenų grandinę nėra paprasta net ir apdirbant nesudėtingas detales. Pavyzdžiui, 2.2 pav. parodytas detalės apdirbimas ant revolverinių staklių iš strypo. Pirmiausia tekinama plokštuma 1, paskui sudaroma plokštuma 2 ir po to detalė atpjaunama, t.y. sudaroma plokštuma 3. Šiuo atveju susiformuoja trys matmenys: A, B ir C. Kaip tokiu atveju atrodys matmenų grandinė? Čia netinka uždarančiojo nario suradimui panaudoti staklių derinimo schemą. Pavyzdžiui, jeigu staklės bus derinamos tokiu būdu, kad tekinimo peilio, kuris apdirba plokštumą 2, padėtis bus nustatoma peilio, kuris apdirba plokštumą 1 atžvilgiu, o atpjovimo peilio padėtis derinama pagal antros plokštumos peilį. Tuomet gauname, kad uždarantysis narys yra matmuo C. Tai būtų visiškai teisinga, jeigu nagrinėtume derinimo matmenų grandinę. Tuomet, apdirbant daug detalių partijų su skirtingais derinimais, iš tikrųjų, matmens C derinimo paklaida (o ne apdirbimo) bus lygi matmenų A ir B derinimo paklaidų sumai. Tačiau tai neturi nieko bendro su apdirbimo paklaidomis. Kaip matome iš 3.2 pav., galima sudaryti tris lygtis:

$$\begin{aligned}
C &= A + B \\
A &= C - B \\
B &= C - A
\end{aligned}
\tag{1}$$

Nors visais trim atvejais matmenys sudaro uždara kontūrą, tačiau nė viena iš šių lygčių nėra matmenų grandinė. Visų pirma dėl to, kad čia nėra uždarančiojo nario, t.y. nėra matmens, kurio paklaida būtų lygi kitų dviejų matmenų paklaidų sumai. Pavyzdžiui, paimame pirmą lygtį: $C = A + B$. Kaip matome iš 3.2 pav., matmens C paklaidą sudaro dviejų plokštumų 1 ir 3 padėčių paklaidų suma, matmens A paklaida yra lygi plokštumų 2 ir 3 padėčių paklaidų sumai ir matmens B paklaida lygi plokštumų 1 ir 2 padėčių paklaidų sumai. Todėl matmuo C negali būti uždarantysis matmuo, kaip parodyta lygčių sistemoje (1).

Iš tikrųjų visi trys matmenys A, B ir C yra uždarantieji nariai. Dedamieji nariai yra atstumai nuo laisvai pasirinktos koordinačių sistemos ašies Y iki kiekvienos apdirbamos plokštumos, t.y. matmenys M, N ir P (2.2pav.). Tokiu atveju galima sudaryti tris matmenų grandines:

$$\begin{aligned}
A &= N - M \\
B &= P - N \\
C &= P - M
\end{aligned}
\tag{2}$$

Kadangi koordinačių sistemos, o drauge ir Y ašies padėtis pastovi, tai matmenų M, N ir P paklaidos yra lygios atitinkamai plokštumų 3, 2 ir 1 padėčių paklaidoms. Tuomet:

$$\begin{aligned}
w_A &= w_N + w_M = w_2 + w_3 \\
w_B &= w_P + w_N = w_1 + w_2 \\
w_C &= w_P + w_M = w_1 + w_3
\end{aligned}
\tag{3}$$

Koordinatinių matmenų M, N ir P įvedimas nepalengvina technologijos matmenų grandinių sudarymo, nes detalės paprastai apdirbamos ne per vieną, o per daugelį operacijų.

Tačiau galima kitu būdu surasti matmeninius ryšius, kurie susidaro per keletą operacijų. Tai technologijos detalių geometrinių elementų (plokštumų, ašių ir kt.) padėčių paklaidų grandinių panaudojimas.

2.1 PAGRINDINĖS MATMENŲ GRANDINIŲ SAŲVOKOS

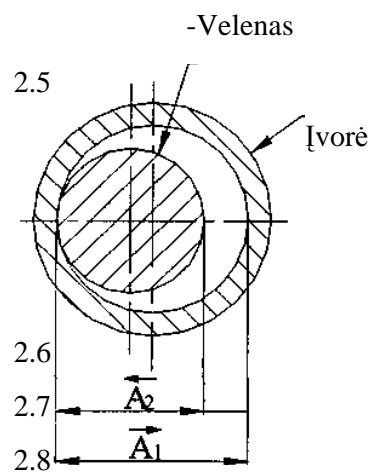
Projektuojant technologines operacijas, konstruojant mašinas ir prietaisus, parenkant matavimo ir kontroliavimo metodus bei priemones, turi būti analizuojami matmenų ryšiai, nustatomos matmenų tolerancijos ir jų ribinės nuokrypos. Tai nustatoma, sprendžiant matmenų grandines. Mašina be sutrikimų veikia tada, kai ją sudarančios detalės užima

reikiamą padėtį. Tai pasiekama tinkamai parinkus detalių matmenis, o tuo pačiu ir suleidimus.

Matmenų, betarpiškai dalyvaujančių uždavinio sprendime ir sudarančius uždara kontūrą, visuma vadinama matmenų grandine. Matmenų pavyzdys parodytas (2.3 pav.). Kiekvienas matmenų grandinės matmuo ir jo tikslumas turi būti parenkamas atsižvelgus į kitus matmenis ir jų tikslumą. Sprendžiant matmenų grandines, galima nustatyti kelių ar keliolikos surinktų detalių ašių ir paviršių tarpusavio padėties tikslumą.

Kiekvieną matmenų grandinę sudaro uždarantysis narys ir du ar daugiau sudarančiųjų narių. Uždarantysis narys yra matmuo, kuris gaunamas paskutinis, gaminant detalę ar surenkant mašinos dalis (žymimas A_0 , B_0 , arba AA , ...). Nariai, kurie lieka grandinėje atmetus uždarantįjį narį vadinami sudarančiaisiais nariais (žymimi A_1 , A_2 , ... A_{m-1}). Sudarantieji nariai būna didinantieji ir mažinantieji. Didinančiuoju vadinamas narys, kuriam didėjant, didėja uždarantysis arba pradinis narys. Mažinančiuoju vadinamas tas narys, kuriam didėjant mažėja uždarantysis arba pradinis narys. Matmenų grandinę grafiškai sudaro uždara kontūrą.

Matmenų grandinės gali būti plokštuminės ir erdvinės. Plokštumine vadinama tokia matmenų grandinė, kurios visi nariai yra vienoje plokštumoje. Erdvine vadinama tokia matmenų grandinė, kurioje yra nors vienas narys, nepatenkinantis plokštuminės grandinės sąlygų.



2.3 pav. Matmenų grandinės pavyzdys.

Pagal vietą gamyboje matmenų grandinės skiriamos į: konstrukcines, technologines, metrologines.

Pagal vietą gaminyje matmenų grandinės klasifikuojamos į: atskiros detalės ir surinkimo.

Pagal narių išsidėstymą matmenų grandinės skiriamos į: linijines, kampines, plokščias, erdvines.

Didinantieji grandinės nariai žymimi rodykle į dešinę A_1 , o mažinantieji nariai rodykle į kairę A_2

Viena iš pagrindinių matmenų grandinės savybių yra jos uždarumas. Tai būtina grandinės sudarymo ir analizės sąlyga. Tačiau brėžiniuose matmenys neturi sudaryti uždaros grandinės: vienas matmuo nenurodomas arba nurodomas kaip informacinis. Priešingu atveju, analizuojant brėžinį, uždarantysis matmuo gali būti palaikytas sudarančiuoju ir, apdirbant detalę, šį matmenį bus stengiamasi apdirbti nurodytu tikslumu. Taigi nebus pasiekta reikalingo kitų matmenų tikslumo.

Labai svarbu tinkamai sudaryti matmenų grandinę. Uždarančiojo nario tolerancija konstrukcinėse matmenų grandinėse parenkama pagal funkcinę paskirtį; technologinės matmenų grandinėse - atsižvelgus į detalės elementų tikslumą, o matavimo grandinėse - siekiant mažesnės matavimo paklaidos. Nustačius uždarantįjį narį, sudarantieji nariai atrenkami, laikantis grandinės uždarumo principo. Pradedama nuo uždarantįjį narį ribojančių paviršių, einama prie detalių pagrindinių bazių, o - nuo jų prie pagrindinių detalių, kuriomis remiasi pirmosios detalės, bazių. Šitaip nustatomi visi matmenų grandinės nariai, tiesiogiai veikiantys uždarantįjį narį. Sudarant grandines, siekiama, kad linijinėje matmenų grandinėje būtų kuo mažiau narių ir į ją įeitų tik po vieną kiekvienos detalės matmenį.

Nagrinėjant matmenų grandines, galima išspręsti daug detalių gamybos, mašinų surinkimo ir eksploatacijos klausimų: nustatyti mašinos detalių kiekybinę ryšį, patikslinti tarpusavyje susietų nominalinių matmenų išdėstymą brėžiniuose, nustatyti tarpoperacines tolerancijas, perskaičiuoti konstrukcinius matmenis į technologinius, kai konstrukcinės bazės nesutampa su technologinėmis ir kt. Matmenų skaičiavimas yra vienas konstruktoriaus darbo etapų. Juo siekiama pagerinti mašinų ir prietaisų kokybę, užtikrinti pakeičiamumą bei sumažinti išlaidas. Matmenų grandinių skaičiavimo esmę sudaro visų grandinės narių tolerancijų ir ribinių nuokrypų nustatymas, konstrukcijos ir technologijos reikalavimai. Sprendžiant matmenų grandines, skiriami du atvejai: patikrinimo ir projektinis.

Sprendžiant pirmąjį uždavinį, pagal matmenų grandines sudarančiųjų narių nominalius matmenis ir ribines nuokrypas apskaičiuojamas uždarančiojo nario nominalus matmuo, jo

tolerancija ir ribinės nuokrypos. Šio uždavinio tikslas – patikrinti, ar konstruojamos mašinos detalių matmenys ir jų tolerancijos atitinka uždarančiajam nariui leistiną toleranciją.

Antrasis uždavinys (projektinis) sprendžiamas, projektuojant mechanizmą ir sudarant matmenų grandines. Pagal duotą uždarančiojo nario reikšmę ir sudarančiųjų narių nominalius matmenis reikia nustatyti visų grandinės narių tolerancijas ir ribines nuokrypas.

Matmenų grandinės gali būti sprendžiamos šiais metodais:

1) Visiško pakeičiamumo metodu. Taikant šį metodą, mašina ar mazgas surenkami be jokios detalių atrankos, pritaikymo ar derinimo. Tokiu būdu visose be išimties pagamintose mašinos atstumai tarp gaminių paviršių ir uždarančiosios narys yra reikiamo tikslumo.

2) Dalinio pakeičiamumo metodas. Taikant šį metodą, reikalaujamas uždarančiojo nario tikslumas pasiekiamas ne visuose objektuose, bet daugumoje. Jis taikomas, siekiant padidinti matmenų grandinės narių tolerancijas, supaprastinti ir atpiginti gamybą.

3) Reguliavimo metodas, panaudojant kompensatorius. Esmė ta, kad reikalaujamas uždarančiojo nario tikslumas pasiekiamas, keičiant kompensuojamojo nario didumą, nenuimant nuo jo medžiagos sluoksnio.

4) Pritaikymo - suleidimo metodas. Taikant šį metodą, uždarančiojo nario tikslumas pasiekiamas pakeičiant vieno iš anksto numatyto matmenų grandinės nario didumą, t.y. nuimant nuo jo reikalingą medžiagos sluoksnį.

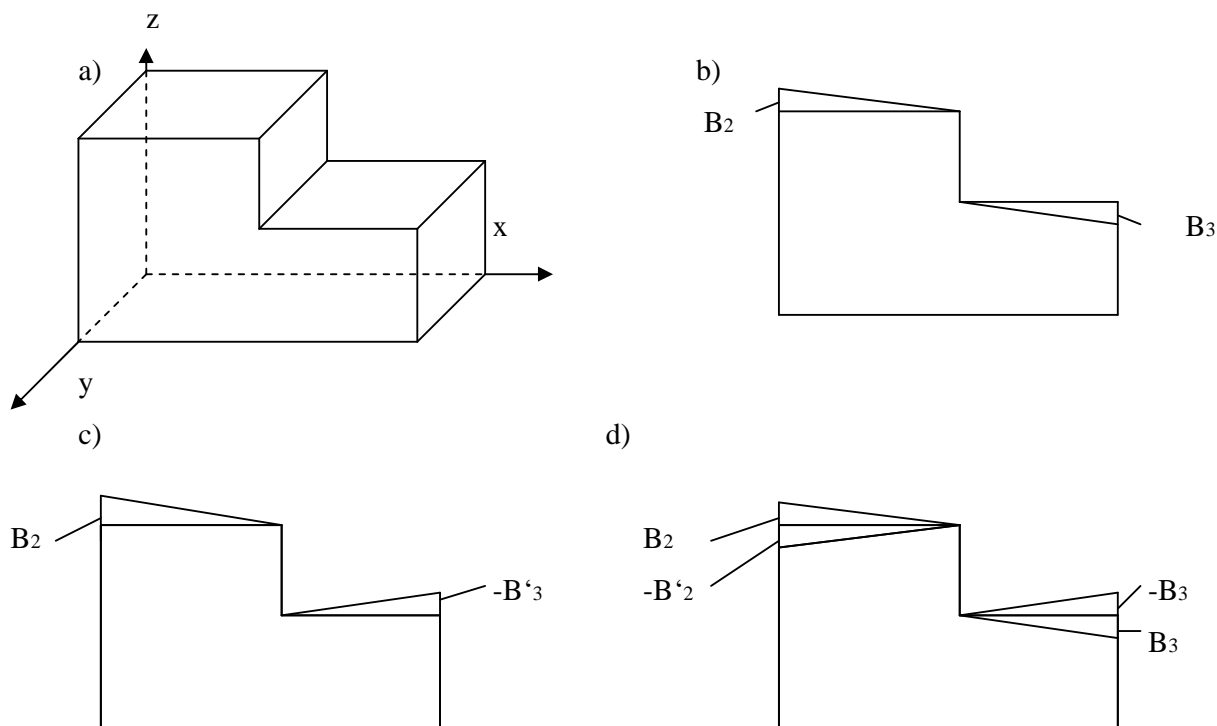
5) Selektyvinio surinkimo metodas. Esmė ta, kad siekiant padidinti matmenų grandinės uždarančiojo nario tikslumą, į grandinę įjungiami tik vienos, kurios nors matmenų grupės nariai, iš anksto surūšiuojant juos į grupes pagal didumą.

3. PLOKŠTUMŲ PAKLAIDŲ GRANDINĖS

Plokštumų kampinės paklaidos- tai tokios paklaidos, kurios atsiranda pasisukant plokštumai apdirbimo metu apie vieną ar dvi koordinačių ašis. Čia bus nagrinėjama plokštumų nuokrypos nuo lygiagretumo, joms pasisukant apie vieną koordinačių ašį.

Nagrinėjant plokštumų kampinių paklaidų grandines reikia įvertinti ne tik plokštumos pasisukimo dydį, bet ir kryptį. Tam tikslui reikalingos dvi koordinačių sistemos. Viena iš jų- $X_1Y_1Z_1$ laisvai sutapadinama su detale, antra- XYZ yra staklių koordinačių sistema. Pirmą koordinačių sistemą būna pastoviai sutapdinta su detale per visą jos apdirbimo procesą ir jo reikalinga plokštumų pasisukimo krypties nustatymui. Priimame, kad teigiama pasisukimo kryptimi laikysime pasisukimą pagal laikrodžio rodyklę, žiūrint iš Y (X,Z) ašies galo ir neigiama- pasisukimą prieš laikrodžio rodyklę. Antros koordinačių sistemos pagalba nustatomas plokštumų pasisukimo dydis.

Plokštumų 2 ir 3 kai kurie pasisukimo variantai apdirbimo metu parodyti 3.1 b, c, d pav. Antros ir trečios plokštumos pasisukimų dydžiai plokštumos 1 atžvilgiu yra dedamieji grandinių nariai, o plokštumų 2 ir 3 tarpusavio kampinė paklaida yra uždarantysis narys. Iš 3.1 b, c, d pav. matome, kad kiekvienu konkrečiu plokštumų 2 ir 3 pasisukimo atžvilgiu plokštumos 1 atveju uždarantysis narys skaičiuojamas skirtingai.



3.1 pav plokštumų pasisukimo variantai

Parodytame 3.1 pav. uždariantysis narys skaičiuojamas atitinkamai taip:

$$B_{2-3} = \max(B_2, B_3)$$

$$B_{2-3} = B_2 + |B'_3| \quad 4$$

$$B_{2-3} = \max[(|B'_2| + B_3) + (B_2 + |B'_3|)]$$

Čia B_{2-3} – uždariantysis grandinės narys (plokštumos 3 nelygegretumo dydis plokštumos 2 atžvilgiu), B_i – atskirų detalės plokštumų kampinė paklaida.

Apdirbant bet kokias detales, uždarančiųjų narių paklaidas galima surasti pagal plokštumų kampinių paklaidų grafą. Norint šį procesą automatizuoti, grafą reikia pakeisti matrica. Paimame kitą detalę. Pagal jos apdirbimo schemą (3.2 pav.) sudarome plokštumų kampinių paklaidų grafą, o po to matricą, kuri atitinka parodytą grafą. 3.2 a pav parodytas ruošinys ir jo plokštumų kampinės paklaidos, gaunamos formuojant ruošinį. Plokštumų kampinių grafą sudarysime taip:

1. grafas- tai apskritimų visuma, sujungta rodyklėmis ir pan.
2. apskritimais žymėsime detalių plokštumas ir koordinatinę ašį Y, kadangi priimtoje koordinatinių sistemoje pav. 2 plokštumos keičia savo padėtį pagal ašį Y pagal laikrodį, žiūrint iš ašies galo.
3. rodyklės žymi paklaidas

Taigi, brėžiam penkis apskritimus Y_0 , 1, 2, 3 ir 4. Y_0 reiškia, kad ruošinio plokštumos 1, 2, 3 ir 4 yra su paklaidom pagal Y ašį, indeksas 0 reiškia, kad kalba eina apie ruošinį. Iš apskritimo Y_0 vedam keturias rodykles į apskritimus 1, 2, 3 ir 4. Prie rodyklės iš Y_0 į 1 rašome B_{10} ir $-B'_{10}$, prie rodyklės iš Y_0 į 2 rašome B_{20} ir $-B'_{20}$ ir t.t. Taigi raidė B prie rodyklių reiškia atitinkamos plokštumos kampinę paklaidą, o neigiamas ženklas ir apostrofas reiškia, kad kampo kryptis yra prieš laikrodžio rodyklę žiūrint iš Y ašies galo.

Dabar brėžiam apskritimą Y_1 ir vedam rodyklę iš apskritimo su 1 į apskritimą Y_1 , o prie rodyklės rašom ϵ_1 ir $-\epsilon'_1$. Indeksas prie Y reiškia, kad ateityje iš jo išvesime paklaidas po pirmo apdirbimo (1. frezavimas), vedam rodyklę iš apskritimo 1, nes bazuojamės į 1 paviršių. ϵ reiškia tvirtinimo paklaidą, indeksas prie tvirtinimo paklaidos reiškia operacijos numerį.

Brėžiam dar tris apskritimus $2'$, $3'$ ir $4'$ vedam iš Y_1 į juos rodykles ir prie jų atitinkamai užrašome B_{21} , $-B'_{21}$, B_{31} , $-B'_{31}$, B_{41} ir $-B'_{41}$. Apostrofas su 2, 3, 4 reiškia, kad duotieji paviršiai yra po pirmo apdirbimo.

Brėžiam paskutinius du apskritimus Y_2 ir $1'$ ir, sujungę juos rodyklėmis ϵ_2 ir $-\epsilon'_2$ bei B_{12} ir $-B'_{12}$, užbaigiam plokštumų kampinių paklaidų grafą.

Iš plokštumų kampinių paklaidų grafo matome uždarančiuosius narius B_{1-2} ir B_{2-4} tai yra kelias tarp $1'$ ir $2'$ B_{1-2} atveju ir tarp $4'$ ir $2'$ B_{2-4} atveju.

Simbolis	Reikšmė	Indekso reikšmė	Pastabos
Y_i	Pagal kokią ašį plokštuma keičia savo padėtį (pagal Y)	Operacijos numeris	0- operacija gaminant ruošinį
B_{ij}	Atitinkamos plokštumos padėties paklaida po apdirbimo	i- plokštumos numeris j- operacijos numeris	
ϵ_i	Tvirtinimo paklaida	i- operacijos numeris	
1...4	Detalės plokštumos numeris		1'-pirma plokštuma po pirmo apdirbimo
B_{i-j}	Uždarantysis narys	Tarp plokštumų i ir j	

3.1 lentelė simbolių ir indeksų reikšmės grafe ir matricoje

	B_{10}	B_{20}	B_{30}	B_{40}	ϵ_1	B_{21}	B_{31}	B_{41}	ϵ_2	B_{12}
Išeina	Y_0	Y_0	Y_0	Y_0	1	Y_1	Y_1	Y_1	3'	Y_2
Ateina	1	2	3	4	Y_1	2'	3'	4'	Y_2	1'

3.2 lentelė lentelė naudojama matricos sudarymui

Labai patogiu naudotis technologine lentele (3.3 lentelė), sudarant grafą ir matricą. Joje nuosekliai išdėstytas technologinis maršrutas su visom paklaidom.

Operacija	Bazuojamas pav	Apdirbamas pav	Paklaida
Ruošinio gamyba Y_0		1	$B_{10} (-B'_{10})$
		2	$B_{20} (-B'_{20})$
		3	$B_{30} (-B'_{30})$
		4	$B_{40} (-B'_{40})$
1. frezavimas Y_1	1		$\epsilon_1 (-\epsilon'_1)$
		2'	$B_{21} (-B'_{21})$
		3'	$B_{31} (-B'_{31})$
		4'	$B_{41} (-B'_{41})$
2. frezavimas Y_2	3		$\epsilon_2 (-\epsilon'_2)$
		1'	$B_{12} (-B'_{12})$

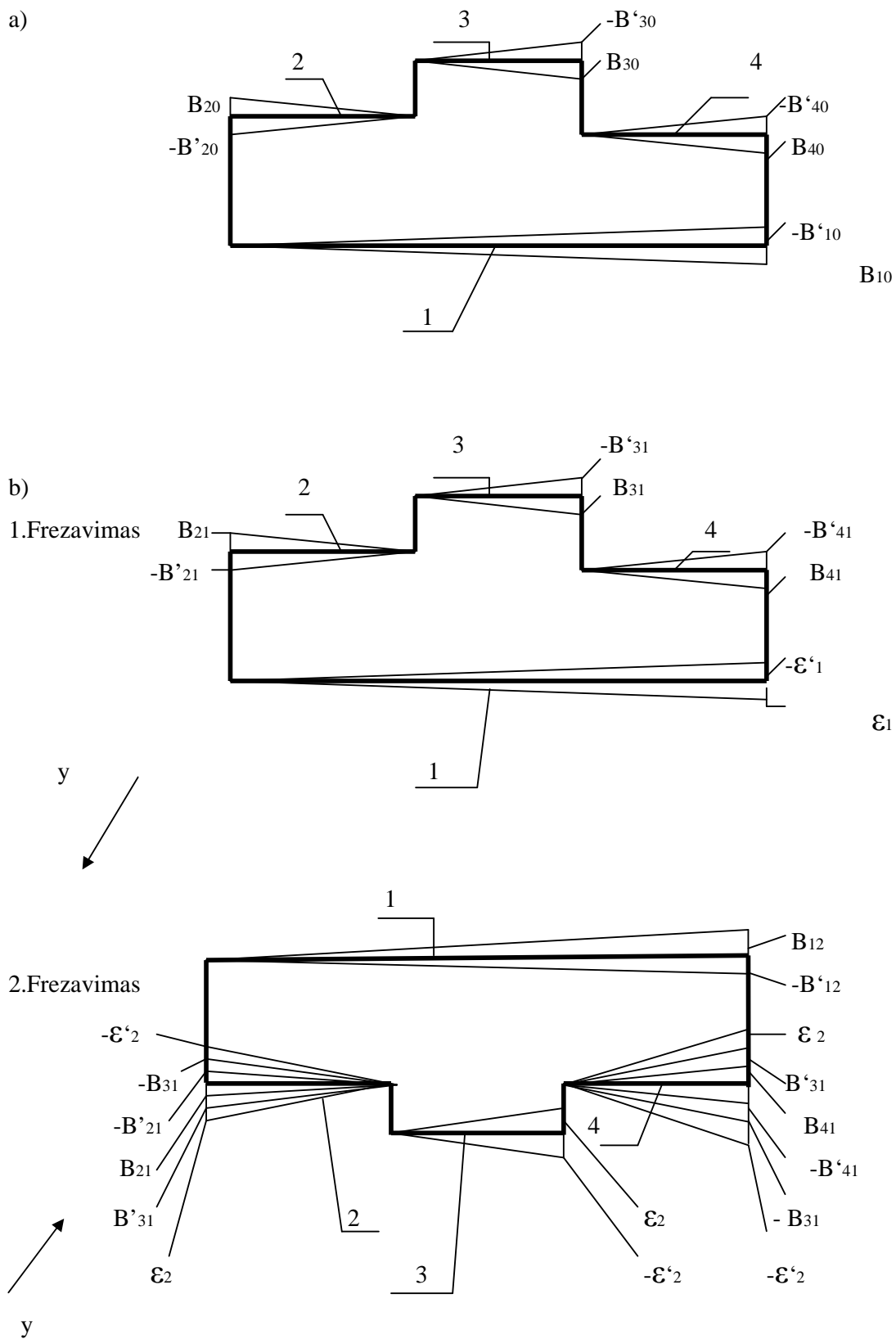
3.3 lentelė technologinė lentelė, pagal kurią galima sudaryti grafą ir matricą

Kaip matome iš detalės apdirbimo schemos (3.2b pav.), po paskutinės operacijos plokštumos 2 nelygiagretumo dydis plokštumos 1 atžvilgiu yra lygus plokštumos 1 neigiamų pasisukimų dydžių absoliučių reikšmių ir plokštumos 2 neigiamų pasisukimų dydžių absoliučių reikšmių sumai. Tą galima užrašyti taip:

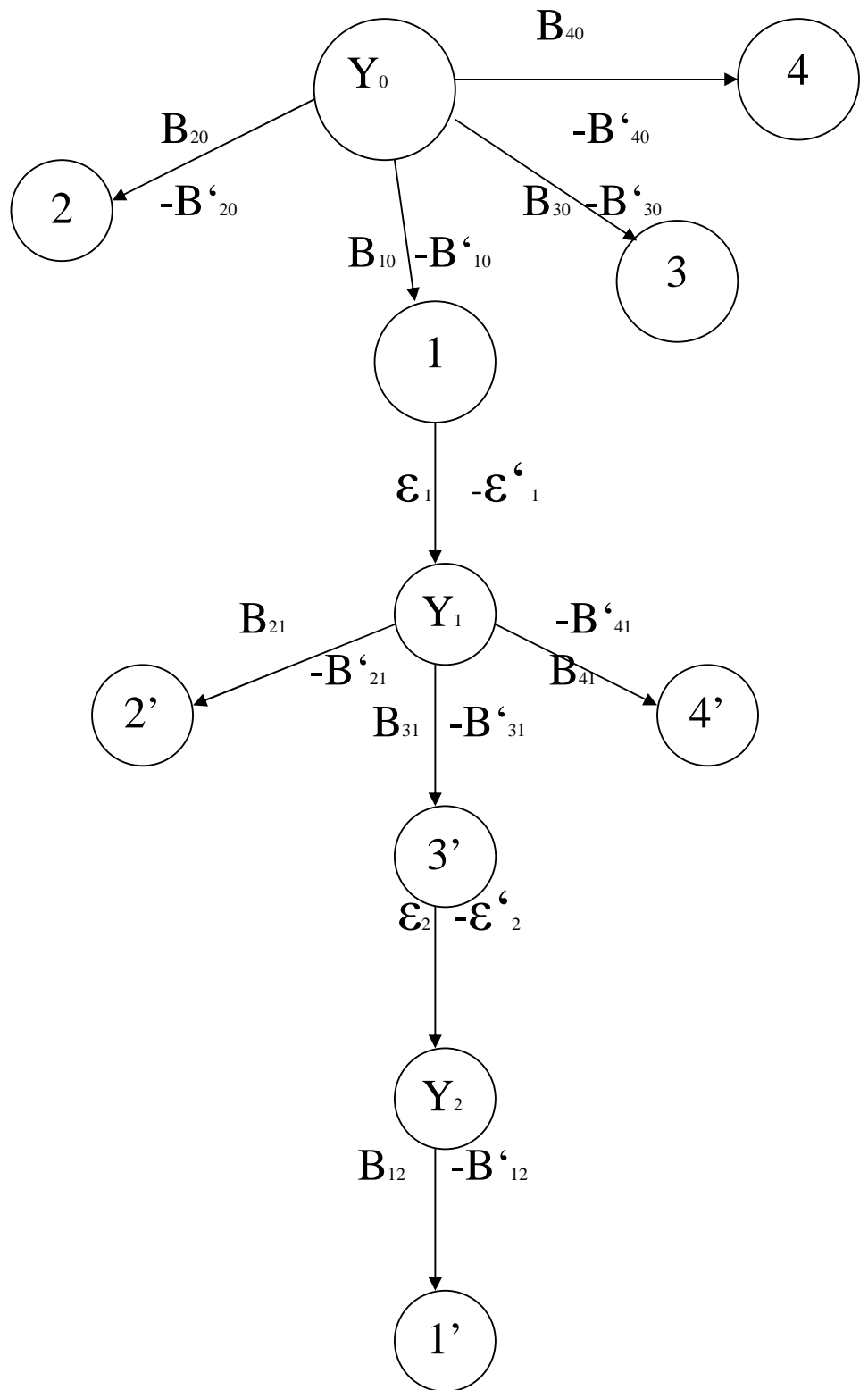
$$B_{1-2} = \max[(|B'_{12}| + B_{21} + |B'_{31}| + \epsilon_2), (B_{12} + |B'_{21}| + B_{31} + |\epsilon'_2|)] \quad 5$$

Uždarančiojo nario B_{2-4} lygtis yra lygi:

$$B_{2-4} = \max[(B_{21} + |B'_{41}|), (|B'_{21}| + B_{41})] \quad 6$$



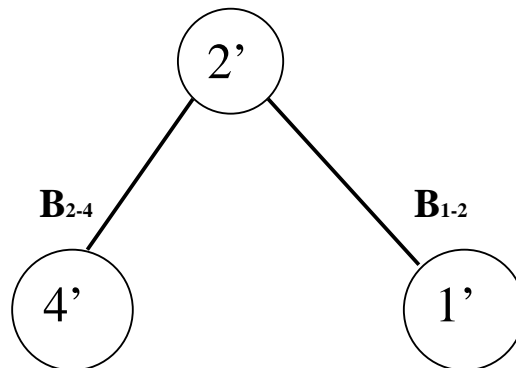
3.2 pav. Ruošinyje suplokštumų kampinės paklaidos (a), ruošinio apdirbimo schema ir plokštumų kampinės paklaidos (b).



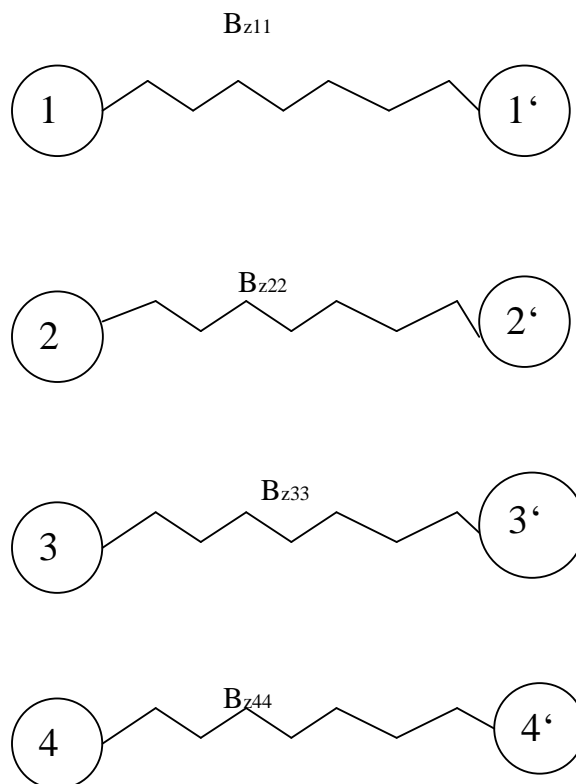
3.3 pav. Plokštumų kampinių paklaidų grafas

Gavome paklaidų grafa, kuris vadinamas „medžiu“, kadangi nėra uždarų kontūrų. Šio grafo visos paklaidos (rodyklės) yra technologijos paklaidų grandinių dedamieji nariai.

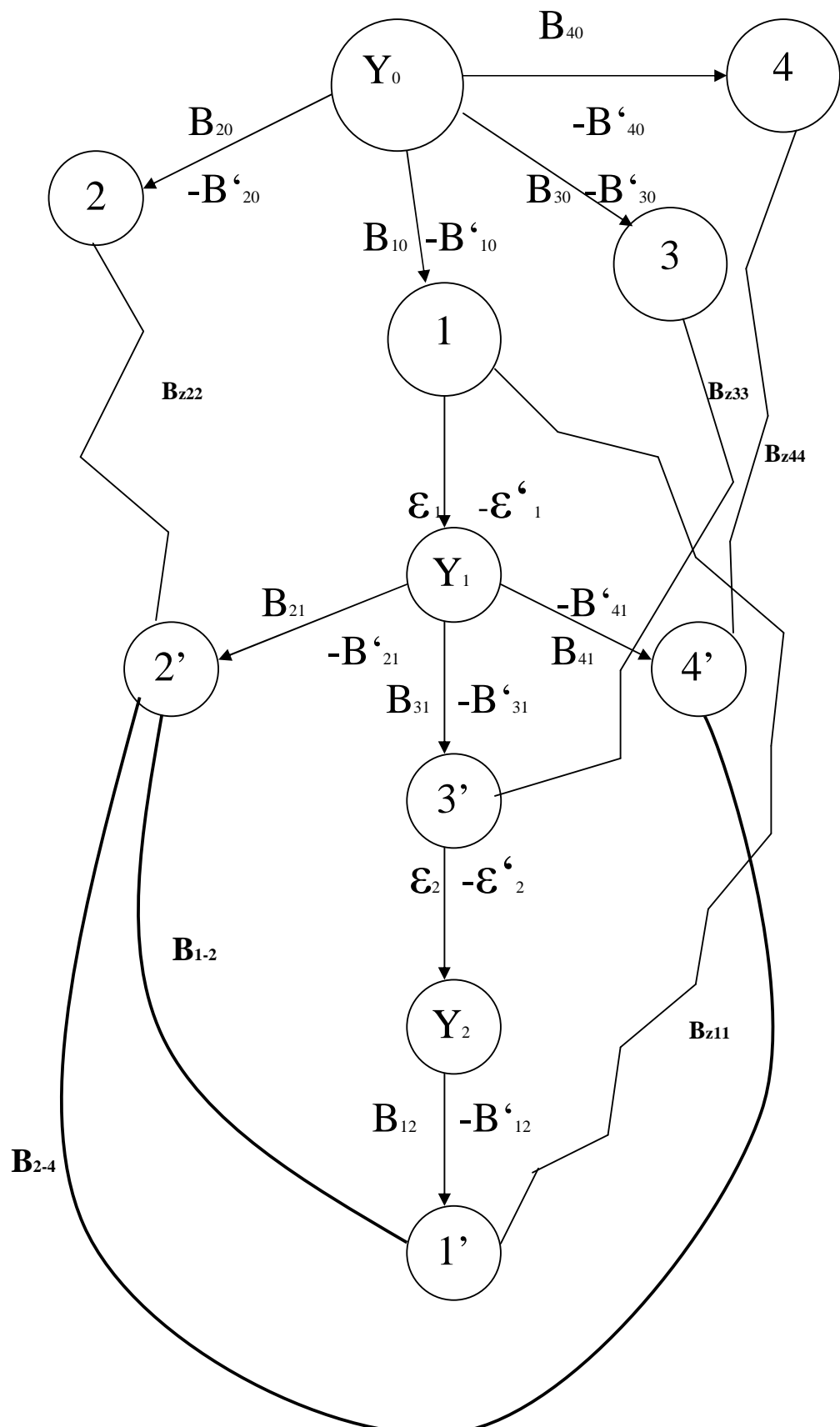
Uždarantieji nariai yra detalės galutinių matmenų ir užlaidų paklaidos.3.4 ir 3.5 pav



3.4 pav galutinių matmenų paklaidų grafas



3.4 užlaidų paklaidų grafas



3.6 pav. Bendras grafas

Detalės apdirbimo schemoje (3.2b pav.) matome, kad plokštumos 2 ir 4 pasisuka žymiai didesniu kampu negu nurodyta formulėje (6). Tačiau dydžiai B_{31} ir ε_2 abi plokštumas pasuka vienu metu ir dėl to jie neturi įtakos jų tarpusavio kampinės paklaidos dydžiui. Tai aiškiai matosi iš grafo (4.3 pav.)

Pažiūrėkime, kaip formuojamos nurodytos sumos (5) ir (6), pasinaudojant sudarytu bendru grafu (3.6 pav.). Tai atliekama pagal tokias taisykles.

1. Uždarantysis narys nurodo, nuo kurių paviršių reikia pradėti dedamųjų narių paiešką. Pavyzdžiui, uždarantysis narys B_{1-2} parodo, kad paieškas reikia pradėti nuo plokštumų 1 ir 2 po paskutinės jų apdirbimo operacijos, t.y. nuo apskritimų 1' ir 2'.

2. Nuo kiekvienos iš šių plokštumų einame grafo briaunomis iki apskritimo, nuo kurio briaunos šakojasi ir surašome visus rastus tame kelyje dedamuosius narius į dvi atskiras eilutes. Pavyzdžiui, nagrinėjant uždarantįjį narį B_{1-2} , einam nuo plokštumos (apskritimo) 1' iki išsišakojimo vietos (Y_1) ir surašome rastus dedamuosius narius: B_{1-2} , ε_2 , B_{31} . Toliau einame nuo plokštumos (apskritimo) 2'. Šiuo atveju turime tik vieną narį- B_{21} .

3. Toliau formuojant sumas reikia nustatyti, su kokiais ženklais reikia imti dedamuosius narius, kurie bus sumuojami.

4. Pirmas vienos eilutės narys, nuo kurio prasideda eilutė, imamas, pavyzdžiui, teigiamas. Tuomet kitoje eilutėje imamas pirmo nario neigiamas absoliutus dydis. Pavyzdžiui, pirmos eilutės pirmas narys imamas teigiamas t.y. B_{12} . Antros eilutės pirmas ir vienintelis narys yra B_{21} . Paimame jos neigiamos reikšmės absoliutinį dydį, t.y. $|B_{21}|$.

5. Toliau nustatomi kiekvienos eilutės kitų dedamųjų narių ženklai. Toje eilutėje, kur pirmas narys priimtas teigiamas, kiti nariai, kurie žymi plokštumų kampines paklaidas, gaunamas apdirbimo metu- B_{ij} , imami teigiami, o narių ε imami neigiamų reikšmių absoliutiniai dydžiai, t.y. $|\varepsilon^i|$. Ir atvirkščiai- toje eilutėje, kur pirmas narys priimtas neigiamas, imami neigiamų narių B^i_{ij} absoliutiniai dydžiai $|B^i_{ij}|$, o plokštumų paklaidos ε_i , kurios atsiranda, tvirtinant detalę, imamos teigiamos reikšmės. Pirmoje eilutėje gaunam tokius dydžius: B_{12} , $|\varepsilon^2|$, B_{31} . Antroje eilutėje- $|B^2_{21}|$. Tuomet pirma suma lygi: $(B_{12} + |\varepsilon^2| + B_{31} + B^2_{21})$.

6. Toliau eilučių pirmų narių ženklai apkeičiami vietomis, t.y. paimame $|B^1_{12}|$ ir B_{21} . Gauname antrą sumą: $(|B^1_{12}| + \varepsilon_2 + |B^1_{31}| + B_{21})$.

Briaunos Viršūnės	B_{10} $(-B_{10})$	B_{10} $(-B_{10})$	B_{10} $(-B_{10})$	B_{10} $(-B_{10})$	ϵ_1 $(-\epsilon'_1)$	B_{10} $(-B_{10})$	B_{10} $(-B_{10})$	B_{10} $(-B_{10})$	ϵ_2 $(-\epsilon'_2)$	B_{10} $(-B_8)$
Y_0	-1	-1	-1	-1						
Y_1					1	-1	-1	-1		
Y_2									1	-1
1	1				-1					
2		1								
3			1							
4				1						
2'						1				
3'							1	-1		
4'								1		
1'										1

3.4 lentelė Incidentinė matrica, atitinkanti grafą (4.3 pav.)

Toliau sudarome matricą (3.4 lentelė), kuri atitinka grafą, parodytą 3.6 pav. Tai atliekama tokiu būdu: matricos eilutėse surašomos grafo viršūnės $Y_0, Y_1, \dots, 1'$, o matricos

stulpeliai atitinka grafo briaunas: $B_{10}, B_{20}, \dots, B_{12}$, kiekvienas stulpelis atitinka teigiamą ir neigiamą briaunų reikšmę. Stulpelių ir eilučių reikšmių išdėstymo tvarka gali būti bet kokia, išskyrus vieną reikalavimą- viršutinėje eilutėje turi būti pradinė grafo viršūnė Y_0 . Matricos elementai pildomi tokiu būdu: imame kiekvieną stulpelį ir žiūrime, iš kokios viršūnės ši briauna išeina ir į kokią ateina. Langelyje, kur susikerta briauna ir jos išėjimo viršūnė, rašoma -1, o langelyje, kur susikerta briauna ir viršūnė į kurią ji ateina, rašomas 1. Pavyzdžiui, briauna B_{10} išeina iš viršūnės Y_0 ir ateina į viršūnę 1. Todėl langelyje, kur susikerta B_{10} ir Y_0 rašomas -1, o langelyje, kur susikerta B_{10} ir 1 rašomas 1. Langeliuose, kurie liko neužpildyti, laikoma, kad yra nuliai ir jie matricoje neužpildomi.

Turint matricą (3.4 lentelė), galima surasti plokštumų kampinių paklaidų grandines. Uždarantieji nariai yra žinomi- tai detalės brėžinyje nurodyti plokštumų nelygiagretumų dydžiai ir plokštumų, tarp kurių formuojama užlaida, nelygiagretumas. Paimame vieną pavyzdį. Priimame, kad detalės brėžinyje nurodytas leistinas nelygiagretumo dydis tarp plokštumų 1 ir 2 yra B_{1-2} . Vadinasi, dedamųjų narių paiešką reikia pradėti nuo dviejų eilučių 1' ir 2' (plokštumų 1 ir 2 po jų galutinio apdirbimo). Pradedam nuo eilutės 1'. Einam ta eilute iki skaičiaus 1, paskui einam stulpeliu iki skaičiaus -1, vėl einam eilute iki 1 ir t.t., kol pasiekiam viršutinę eilutę, pažymėtą Y_0 . Vertikalios linijos parodo, kuriuos dedamuosius narius (briaunas) reikia paimti. Surašom į eilutę visus gautus narius: $B_{12}, \epsilon_2, B_{31}, \epsilon_1, B_{10}$. Tokią pat paiešką vykdome ir nuo eilutės 2'. Kelias matricoje pažymėtas brūkšnine laužyta linija. Gauname tokią eilutę: $B_{21}, \epsilon_1, B_{10}$. Iš abiejų eilučių pašaliname pasikartojančius elementus ϵ_1 ir B_{10} . Gaunam tokią pirmą eilutę $B_{12}, \epsilon_2, B_{31}$. Antroje eilutėje lieka vienas elementas B_{21} .

Pagal anksčiau nurodytas taisykles sudaromos dvi dedamųjų narių sumos ir gauname B_{1-2} išraišką, nurodytą (5) lygtyje.

Pradiniai kiekvienos eilutės elementai nustatomi pagal reikšmių B_{ij} indeksus. Pirmas skaičius nurodo plokštumos numerį. Kadangi uždarantysis narys nurodytas tarp plokštumų 1 ir 2, tai pirmoje surastose eilutėje imame briauną, kur $i=1$. Antras indeksas, kuris nurodo operacijos numerį, imamas didžiausias. Gauname pirmos eilutės pradinį elementą B_{12} . Antroje eilutėje pradinis yra vienintelis gautas elementas B_{21} .

Matricą galima suformuoti ne tik pagal grafą (3.6pav.), bet ir tiesiog pagal detalės apdirbimo schemą. Tuomet plokštumų kampinių paklaidų skaičiavimą galima pilnai automatizuoti.

IŠVADOS

Detalės plokštumų kampinių paklaidų skaičiavimas yra žymiai sudėtingesnis, negu nagrinėjant plokštumų padėčių paklaidas, kada jos persislenka lygiagrečiai, t.y., kada nagrinėjame ilgio matmenų paklaidas.

Tačiau ir šiuo atveju paklaidų grandinių sudarymą galima pilnai formalizuoti, panaudojant tam tikslui matricas, kurias suformuoti galima tiesiog pagal detalių apdirbimo schemą.

Šiame darbe išnagrinėtas atvejis, kada plokštumos pasisuka apie vieną ašį ir įvertinamas tik plokštumų nelygiagretumas. Tačiau tokiu pat principu galima nagrinėti bendrą atvejį, kada plokštumos apdirbimo metu pasisuka apie dvi koordinacinių ašis, ir galima analizuoti ne tik plokštumų nelygiagretumą, bet ir nestatmenumo paklaidas.

SUMMARY

Vanagas I. Chain forming formalism for plane surfaces angular errors. Mechanical engineering masters thesis.

Point of investigation:

Analyze chain forming of plane surfaces angular errors, using graph theory and matrixes.

Surface's location error chains are named „tree“ was modified into matrix. It let to make program, permissive to make calculating in the computer.

LITERATŪRA

1. J.Rimkus. Teoriniai mechaninio apdirbimo pagrindai.- Šiauliai.: Leidykla Liucilijus, 2005
2. L.Kumpikas. Mašinų gamybos technologijos pagrindai.- Vilnius.: leidykla „Mokslas“, 1978m.
3. Библиотека технолога, Размерный анализ технологических процессов. Москва: Машиностроение, 1982,