

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Aurimas Tamošauskas
DFM (Design For Manufacturability) METODO
TAIKYMAS GAMINIAMS IŠ PLASTIKO GAMINTI
Magistro darbas

Vadovas
prof. habil. dr. A.Bargelis

Šiauliai, 2008

TURINYS

ĮŽANGA	5
1. SPECIALIZUOTA GAMINIO KONSTRAVIMO – TECHNINIŲ PARAMETRŲ ĮVERTINIMO METODIKA	6
1.1. DFM metodo esmė	6
1.2. Nauja gamybos sistemos aplinka	8
1.3. Naujo gaminio kūrimas taikant DFM metodą.....	8
1.4. Proceso galimybių rodiklių įvertinimas	11
1.5. Gaminio konstravimas įvertinant gamybos procesų galimybes.....	15
2. GAMINIO PROJEKTAVIMO GALIMYBĖS IR JO ANALIZĖS MODELIS.....	17
2.1. Gaminio gyvavimo ciklo trumpėjimas.....	17
2.2. Gaminio konstravimo modelis.....	18
2.3. Kokybės kontrolė	20
3. RUOŠINIŲ GAMYBOS PROCESAI, JŲ OPERACIJOS IR NAUDOJAMI ĮRENGINIAI...	22
3.1. PET (Polietyleneteraftalate) gaminių atsiradimas	22
3.2. Džiovinimo procesas	25
3.3. Fizinių savybių kitimas kaitinant.....	26
3.4. PET ruošinių gamyba.....	27
3.4.1. PET deformavimo ypatybės	28
3.4.2. PET ruošinių asortimentas.....	29
4. SUKURTOS DFM METODIKOS YPATUMAI SIEKiant MAŽIAUSIŲ GAMYBOS SĄNAUDŲ IR OPTIMALAUS GAMINIO FUNKCIONALUMO.....	30
4.1. DFM kokybės nurodymai presuojamojo liejimo formos procesui	30
4.2. Preliminarūs presuojamojo liejimo formos apdirbimo sąnaudų (C_d) ir apdirbimo konstrukcijos sąnaudų detalei (C_{dc}) veiksniai.....	31
4.3. Faktoriai įtakojantys gaminio apdirbimo sąnaudas	33
4.3.1. Kiti faktoriai įtakojantys (C_b).....	37
4.3.2. Koeficiento nustatymas (C_s).....	38
4.3.3. Koeficiento nustatymas (C_t).....	39
4.3.4. Naudojimas ruošinio koduojančia sistema, kad nustatyti (C_b), (C_s), (C_t).....	40
5. PRAKTINĖ DALIS.....	42
5.1. Bendros preliminarios ruošinio konstrukcijos apdirbimo sąnaudos	42
5.2. Preliminarios formos medžiagos sąnaudos.....	43

5.3. Preliminarūs ruošinio apdirbimo sąnaudų skaičiavimai.....	46
6. IŠVADOS	51
SUMMARY	52
LITERATŪRA.....	53

PAVEIKSLĖLIAI

1.1 pav. Gaminio konstravimas naudojant DFM žinias.....	9
1.2 pav. Grafinė priklausomybė tarp gaminio parametrų ir jo detalių apdirbimo laiko ir išlaidų.....	10
1.3 pav. Proceso galimybių grafinis atvaizdavimas.....	14
1.4 pav. Gaminio ir jo technologijos procesų alternatyvų įvertinimo medis.....	15
2.1 pav. Gaminio projektavimo procesas.....	19
3.1 pav. PET cheminė sudėtis	22
3.2 pav. PET gaminiai.....	24
3.3 pav. PET ruošinių džiovinimo principas.....	25
3.4 pav. PET gamyba	26
3.5 pav. Medžiagų deformacija tempiant.....	28
3.6 pav. Plastiko tempimo kreivė.....	28
3.7 pav. PET ruošinių asortimentas.....	29
4.1 pav. Detalės „bazinis vokas“.....	34
4.2 pav. Detalės skirstymo paviršiai.....	35
4.3 pav. Vidinių išpjovų pavydžiai	36
4.4 pav. Išorinės išpjovos.....	36
4.5 pav. Detalės liejimas vienos pusės formavimo.....	37
5.1 pav. Formos bendras vaizdas	43
5.2 pav. Forma uždaroje pozicijoje	43
5.3 pav. Formos pagrindiniai matmenys.....	44
5.4 pav. (C) vertė	45
5.5 pav. Preliminarios formos medžiagos sąnaudos (C_{dm}).....	45
5.6 pav. Projektuojamasis ruošinys.....	46
5.7 pav. Perkonstruotas ruošinys.....	48
5.8 pav. Ruošinio alternatyvų įvertinimas.....	49

LENTELĖS

1.1 lentelė. (C_p , P_p) rodiklių įvertinimas.....	12
3.1 lentelė. NEOPET® 82 Fast Reheat granulių savybės.....	23
3.2 lentelė. NEOPET® 78 granulių savybės.....	23
3.3 lentelė. Ramapet 82 granulių savybės.....	23
4.1 lentelė. Systemos klasifikacija detalės bazinei sudėčiai.....	33
4.2 lentelė. Ruošinio klasifikacijos reitingas	38
4.3 lentelė. Papildomas detalės klasifikacijos sudėties reitingas (C_s).....	39
4.4 lentelė. Tolerancijų ir paviršiaus išbaigtumo reitingas (C_t).....	40
5.1 lentelė. Preliminarios apdirbimo sąnaudos presuojamojo liejimo formavimo būdui.....	48

IŽANGA

Kiekvienos kompanijos tikslas – siekti kuo modernesnių bei jai palankesnių metodų ir technologijų pritaikymo praktikoje. Per pastaruosius 20 metų konstravimas gamybai lengvinti (angl. DFM – Design for Manufacturability) technologija žymiai pažengė į priekį. Projektavimas persikėlė iš braižymo lentos į kompiuterį bei evoliucionavo iš 2D karkasinės geometrijos į 3D erdvinį modeliavimą. Gamybos cechuose rankinės frezavimo bei tekinimo staklės užleido vietą kompiuteriais valdomiems (Computer Numerical Control, CNC) mechaninio apdirbimo mechanizmams.

Konstravime gamybai lengvinti (DFM), iš esmės yra viena taisyklė, kuri nurodo, kad norint palengvinti gamybą konstruojant, reikia kiek įmanoma minimizuoti detalių skaičių gaminyje, taip kad jos nedaug kainuotų ir lengvai būtų pagaminamos. Šiandieniniame pasaulyje norint išsilaikyti arba pirmauti konkuruojant yra būtina plėtoti gamybą, kurti naujus ir tobulinti senus gaminius per kuo trumpesnę laiko tarpą. Šis metodas – tai efektyvus procesas, kurio metu projektuojamas gaminy, siekiant: 1 - optimizuoti visas gamybinės veiklos funkcijas: gamybą, surinkimą, bandymus, įsigijimą, gabenimą, aptarnavimą ir remontą; 2 – garantuoti geriausią kainą, kokybę, patikimumą, saugumą, „laiką į rinką“ ir klientų pasitenkinimą.

Darbo tikslas: DFM metodo taikymas gaminiams iš plastiko gaminti, siekiant mažiausių gamybos sąnaudų.

Uždaviniai:

- sudaryti specializuotą gaminio konstravimo – techninių parametrų įvertinimo metodiką,
- sukurti ruošinių gamybos projektavimo modelį,
- Išnagrinėti ruošinių gamybos procesus, jų operacijas ir naudojamus įrenginius,
- išanalizuoti gamybos ypatumus siekiant aukštesnio darbo našumo,
- ištirti sukurtos metodikos tikslumą ir efektyvumą,

Darbo naujumas ir originalumas: presuojamojo liejimo formavimo gaminiams konstruoti ir gaminti taikoma “šešių laipsnių kodavimo sistema” norint nustatyti preliminarias gaminio apdirbimo sąnaudas.

Metodika: 1) optimalių ruošinio matmenų bei konfigūracijos parinkimas, 2) gaminio apdirbimo kaštų mažinimas, 3) detalizuota DFM (Design For Manufacturability) analizė.

1. SPECIALIZUOTA GAMINIO KONSTRAVIMO – TECHNINIŲ PARAMETRŲ ĮVERTINIMO METODIKA

1.1 DFM metodo esmė

Vienas iš pagrindinių klausimų, kuris užduodamas norint pagaminti kokybišką gaminį yra “Dabar, kai mes jau turime suprojektuotą gaminį, ar mes jį galime pagaminti”. Projektuojant reikia atsižvelgti, kad produktas būtų lengvai eksploatuojamas, t.y. būtų patikimas ir paprastas. Dauguma vartotojų perka gaminį ilgam laikui ir blogas gaminio funkcionavimas labai daug kainuoja gamintojams. Nepatikimas daiktas nėra naudingas vartotojui ir jis jam tada nėra reikalingas, dėl to sumažėja paklausa ir įmonei tampa sunku konkuruoti su kitomis įmonėmis. Konkurencijoje taip pat labai svarbus aspektas yra greitis projektuojant gaminį. Jei projekto įgyvendinimas užtrunka per ilgai, tada konkurentai yra pajėgūs kontroliuoti rinką išleisdami į ją savo produkciją daug greičiau. Konkurencinėje aplinkoje labai svarbus faktorius yra gaminio paprastumas ir funkcionavimo efektyvumas. Paprastesnės sudėties gaminys mažiau kainuoja pagaminti ir mažiau iškyla problemų, kurios gali atsirasti eksploatuojant gaminį. Taigi, kad įveikti visas kliūtis ir sutaupyti laiko gaminio įgyvendinimui buvo pradėtas naudoti projektavimas gamybai lengvinti. Dėl projektavimo sudėtingumo didinimo ir rinkos spaudimo, inžinieriai turi atlikti darbą per trumpesnę laiką. Geras būdas taupyti laiką ir pinigus - projektavimas gamybai, naudojant automatizacijos priemones ir proceso integraciją.

Gera kokybė gali būti gaunama naudojant optimalų detalių parinkimą ir tinkamą detalių įkomponavimą, minimizuojant gamybos problemas. Tokiu būdu gaminiai lengviau pagaminami ir surenkami greičiau ir geresnės kokybės. DFM skatina standartizuoti detales, maksimizuoti perkamų detalių išnaudojimą, modulinį projektą ir standartines projekto ypatybes. Projektuotojai taupo laiką ir pinigus neturėdami poreikio perprojektuoti gaminio. Rezultatas – daug platesnė gamybos apimtis, kuri tenkintų klientų poreikius. Įmonės, kurios naudojami DFM suprato metodo privalumus. Išlaidos ir laikas į rinką dažnai yra apkarpona per pusę sureikšminant didėjančią kokybę, patikimumą, platų gaminių pasirinkimą, pristatymą, klientų poreikius ir galiausiai konkurencijos padėtį. Projektuojant gamybai, kiekvienas gaminio tobulinimo komandoje turi:

- Suprasti kaip produktas yra gaminamas remdamasis patirtimi gamyboje, mokydamasis, remdamasis taisyklėmis/vadovaujančiais principais.
- Nustatyti, kad projektas daugiau ar mažiau atitiktų galimus atlikti gamybos procesus. Jeigaminiai bus gaminami standartiniais procesais, projektavimo komandos privalo suprasti juos ir projektuoti jiems. Jei procesai yra nauji, tada projekto komanda privalo tuo pačiu metu projektuoti naujus procesus, todėl kad jie projektuoja gaminį.

Prieš atsirandant DFM, buvo šūkis “ aš tai sukūriau, jūs tai pagaminsite!”. Projekto inžinieriai dirbo vieni arba tik kitų inžinierių kompanijoje “Inžinerijos skyriuje”. Projektai buvo išmetami už skyriaus sienos paliekant gamybos žmones su dilema ir klausimais (bet jau vėlu keisti projektą!) arba kovojančius išleisti gaminį, kuris buvo suprojektuotas ne pagal gamybos galimybes. Dažnai gaminių išleidimas bei gamyba uždelsdavo gana ilgai, bei visa tai atsiliepdavo rinkoje. Vienas būdas, kuriuo gamyba gali būti užtikrinta yra gaminio vystymas su ankstyvu dalyvavimu gamyboje, marketinge, kokybėje, aptarnavime, pirkimuose, pardavimuose ir kituose įmonės darbuose. Reikia dirbti kartu ne tik projektuojant, kad gaminys gerai funkcionuotų, bet taip pat įvertinant ankstyvoje stadijoje gaminio kainą, pristatymą, kokybę, patikimumą, lengvą surinkimą, kontroliavimą, lengvą aptarnavimą, žmogiškuosius faktorius, saugumą, reguliavimą ir į kitas aplinkybes. Vienas iš pirmų sprendimų, kuriuos turi priimti projektavimo komanda – tai optimalus panaudojimas turimų detalių. Daugumoje atvejų, tikriausiai tenka konstrukciją tiesiog projektuoti panašią į jau turimas konstrukcijas, tačiau tai gali užtikrinti esminius privalumus gaminio ir gaminio vystymo procesus. Tačiau kiekviena naudojama priemonė gamyboje yra kažkiek naudinga, kažkiek nuostolinga.

Kai kurie DFM trūkumai:

- Nereikalauja daug gamybos gabumų;
- Dauguma kompiuterizuotų DFM priemonių beveik užbaigia projektą, bet kada projektas yra galutinai analizuojamas atsiranda nemažai kliūčių esminiam projekto pasikeitimui;
- Derinant per daug funkcijų vienoje detalėje gali padidėti gamybos kaina.

DFM privalumai:

- DFM gali duoti optimalų surinkimą ir automatizacijos laipsnį;
- DFM padeda renkantis tiek medžiagas, tiek gamybos bei surinkimo procesus;
- DFM yra vienas iš būdų gerinti kokybę;
- DFM sumažina produkto vystymosi ciklinį laiką;
- Mažina gamybos kainą;
- Padidina produkto eksploatacijos laiką.

1.2 Nauja gamybos sistemos aplinka

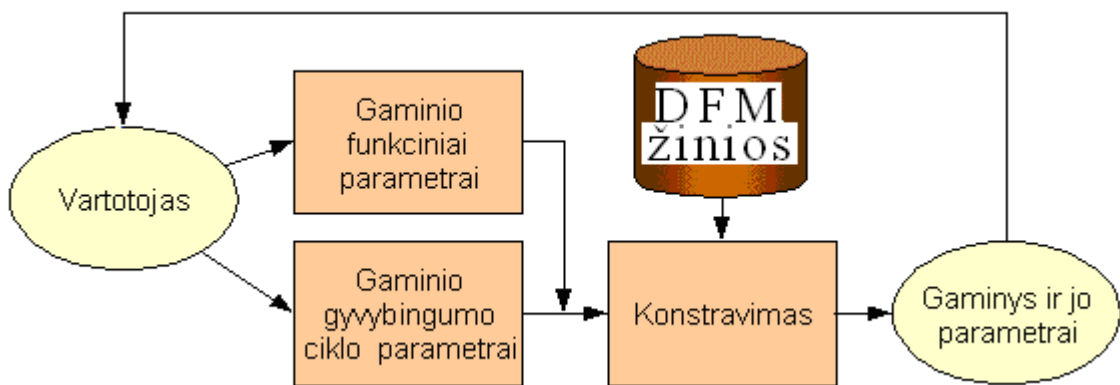
Didelę įtaką naujų gaminių gamybos trukmės mažėjimui turi nauja moderni gamybos aplinka ir jos pokyčiai. Naujoji gamybos aplinka apima visos šalies gamybinį potencialą ir turi tendenciją pasiskleisti visoje mūsų planetoje. Naujų gaminių konstrukcinių parametrų tobulumas, jų kokybė, rinkos prisotinimas reikiamais įvairios paskirties gaminiais priklauso nuo gamybos sistemų lygio. Tik aukšto, šiuolaikinio lygio gamybos sistemos sugeba tiekti rinkoje paklausius gaminius. Aukštas gamybos sistemos lygis nusakomas joje dirbančių žmonių sugebėjimu jausti ir laiku perimti svarbiausias nuolat besikeičiančias kurias nors gamybos sistemos funkcijas. Šios funkcijos keičiasi todėl, kad gamybos sistema tampa svarbiausia, kompetentingiausia grandimi rinkoje ir dauguma tyrinėtojų siūlo, kad kiekviena firma savo biznio planuose parengtų specialias priemones, padedančias pasiekti sąvosios gamybos sistemos tobulumą. Tokiu būdu gamybos sistema tampa lygiaverčiu kiekvienos korporacijos valdybos partneriu (šalia marketingo, finansinių, ekonominių, valdymo ir kitų tarnybų). Todėl šiuolaikinėse gamybos sistemose kreipiamas didžiulis dėmesys į kompleksinę gamybos sistemų kompiuterizavimą, siekiant, kad ateityje jos galėtų funkcionuoti kaip integruotos kompiuterizuotos gamybos sistemos. Gamybos sistemoms tapus kompetentingiausia priemone kompleksiskai tiekiant vartotojams naujus gaminius, dauguma firmų pastebėjo, kad jų veikla prasidėjo iš esmės pasikeitusioje aplinkoje. Ši pasikeitusi aplinka neapsiriboja viena kuria nors pramonės šaka, bet yra būdinga be išimties visoms pramonės sritims (plataus vartojimo prekių, gamybos priemonių, elektronikos ir kt.). Šie gamybos sistemų naujos aplinkos pokyčiai privertė ieškoti naujos strategijos, tinkančios šiai pasikeitusiai aplinkai. Ne visais atvejais pasirodė tinkama senoji masinės gamybos strategija, turėjusi didžiausio gamybos ekonominio efekto viziją, nes, plečiantis gaminių įvairovei, vis mažiau vietos liko šiai senajai strategijai, atsirado naujoji – lanksčios gamybos strategija, taip pat poreikis mažinti gaminio konstravimo ciklą, trumpinti pagamintų gaminių pardavimo ciklą ir vartotojui reikalingų prekių paieškos trukmę.

1.3 Naujo gaminio kūrimas taikant DFM metodą

DFM koncepcija konstravimo procesą dalija į dvi sritis: gaminio konstravimą ir jo gyvybingumo ciklo procesų konstravimą. Šios abi sritys yra neatskiriama siejamos tarpusavyje, o parametrai X konstravimo proceso metu parenkami priklausomai nuo gaminio paskirties ir jo gamintojo tikslų:

- kai gamintojas siekia mažiausių gaminio kūrimo ir gamybos sąnaudų, parametrai X orientuojami išlaidų kontrolės metodams; šiuo atveju DFM strategija turi būti kruopščiai parengta.
- kai gamintojas siekia įvairesnių gaminių, tai X parametrai orientuojami minėtam įvairumui pasiekti. Gaminų struktūros įvairovės siekiama ir naudojant modulinį konstravimą ir kitus įmanomus būdus tikslui pasiekti.
- kai gamintojas gamina sudėtingus gaminius ir siekia mažinti jų pristatymo trukmę vartotojui, tada siekiama atitinkamų priemonių ir įrangos, kuri suaktyvintų konstravimo procesą šiems tikslams pasiekti.

DFM – tai konstravimo parametrų ir gaminio savybių priklausomybė. Gaminio savybės aprašo jo elgesį visumoje ir atskirose jo gyvavimo ciklo fazėse. Kitaip sakant, konstravimas turi tenkinti ir gaminio funkcinius, ir dar papildomai jo gyvybingumo ciklo parametrų reikalavimus



1.1 pav. Gaminio konstravimas naudojant DFM žinias

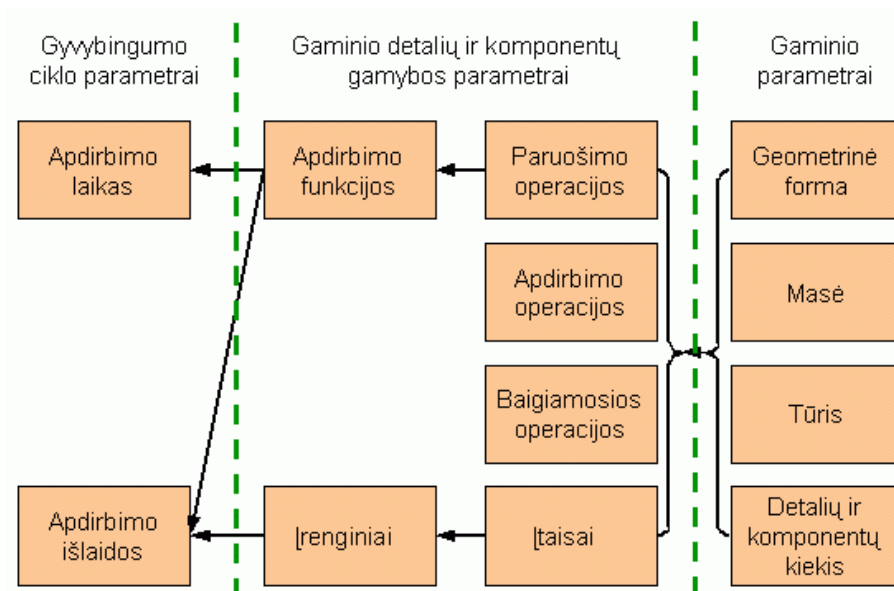
Tarkime, jog gaminio funkciniai parametrai išreiškiami baigtine aibe A:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}, i = 1, \dots, n,$$

o jo gyvybingumo ciklo parametrai – baigtine aibe B:

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_m\}, j = 1, \dots, m.$$

Kiekvienam b_j gali tekti keli a_i , ir atvirkščiai, bet kuriam a_i gali tekti keli b_j . Šios b_j ir a_i proporcijos priklauso nuo gaminio tipo ir vartotojo reikalavimų.



1.2 pav. Grafinė priklausomybė tarp gaminio parametrų ir jo detalių apdirbimo laiko ir išlaidų

Kai šie reikalavimai nuosekliai nagrinėjami visose gaminio gyvybingumo ciklo fazėse, tai lengviau galima rasti tinkamiausius sprendimus. Mažinant baigiamųjų bei mechaninio apdirbimo operacijų skaičių didėja tikimybė rasti mažiausio apdirbimo laiko ir išlaidų procesus, tačiau tai norint įvykdyti reikia rasti sprendimus, kaip išvengti įvairių tokio proceso projektavimo apribojimų pavyzdžiui, 3D CAD detalės ar komponento geometrinės formos projektavimas ribojamas atitinkamo apdirbimo proceso ar įrenginio galimybėmis. Kitoms parametrų reikšmėms griežtų apribojimų gali ir nebūti. Jeigu panašių apribojimų galima formuluoti daugiau, tada reikia sudaryti daugiau negu vieną.

Specifinė konstravimo įranga gali būti skirta individualiam konstruktoriui ar projektuotojų komandai. Reikėtų išskirti 4 pagrindines DFM specifinės įrangos klases:

- konstravimo nuorodos;
- specializuota gaminio konstravimo įvertinimo įranga;
- CAD sistemose integruotos konstravimo įvertinimo įrangos;
- CAD/CAPP vartotojo sąsajomis pagrįsta konstravimo įvertinimo įranga.

Konstravimo nuorodos skiriamos konstruktoriaus darbui lengvinti ir spartinti. Konstravimo nuorodos – tai puikios konstravimo praktikos kvalifikuotas aprašymas, kuriame nurodyta, ką konstruktorius turėtų daryti ir ko nereikėtų daryti. Toks aprašymas gali būti naudojamas gaminio konstravimo metu; konstravimo nuorodos gali būti specialios ir bendrosios paskirties. Specialios paskirties nuorodos siejamos su tam tikros klasės gaminių konstravimu.

Pagrindinis konstravimo nuorodų privalumas – vartotojui jas nesunku suprast, tačiau dažnai tai tampa ir jų trūkumu, nes vieniems konstruktoriams jos tinka, kai tuo tarpu kitiems jose per mažai naudingos informacijos. Antra vertus, didėjant jų apimčiai, pasidaro sunku rasti reikiamą informaciją. Kartais tai galima palengvinti skirstant informaciją į bendrąją ir specialią.

1.4 Proceso galimybių rodiklių įvertinimas

Technologijos procesų kokybė ir parametrai nėra pastovūs. Jie priklauso nuo sisteminių ir atsitiktinių paklaidų. Jei sisteminės paklaidas galima įvertinti ir pašalinti jų įtaką procesui, tai atsitiktinių paklaidų iš anksto įvertinti neįmanoma. Todėl nelieka nieko kito, kaip tik taisyti ar koreguoti procesą.

Gamybos procese galima pastebėti daug nepastovumų (matmenų, masės, fizinių, mechaninių ir cheminių savybių), kurie pasiskirsto pagal normalinę dėsnį. Tokiais atvejais galima analizuoti proceso nepastovumą ieškant sprendimų, didinančių procesų galimybes.

Proceso ar operacijos galimybių studijos taip pat suteikia informaciją konstruktoriams, ar esamas įrenginys gali kokybiškai pagaminti jų siūlomus naujus gaminius neviršijant numatytų gamybos išlaidų. Žinios apie tai, kaip lengvai ir gerai procesas gali išlaikyti reikiamą tikslumą, padeda konstruktoriams ir technologams pasirinkti iš galimų alternatyvų tokį gamybos procesą, kuris leistų pagaminti geresnį gaminį mažesne kaina.

Gaminio komponentų gamybos procesų parinkimas yra viena iš gamybos rengimo sudėtinių dalių, nuo kurios gero atlikimo priklauso darbo ir medžiagų sąnaudos. Proceso parinkimas grindžiamas reikiamu atitikimu tarp komponento ar detalės parametru, kuriuos reikia pasiekti apdirbimo metu ir parametru, kurie gali būti gauti esamais įrenginiais prisilaikant nustatytų ekonomiškai pagrįstų gamybos sąnaudų. Minėtas atitikimas gali būti nustatomas tik teoriniais ir praktiniais gaminio bei gamybos proceso parametru tyrimais.

Gamybos proceso galimybės įvertinamos rodikliais, kurie sieja realų procesą su konstrukcinėje dokumentacijoje nurodyta užduotimi, t.y. jie sieja proceso sklaidą su gaminio tolerancija. Proceso galimybių tyrimo metodų yra gana daug. Metodo pasirinkimas priklauso nuo tyrimo tikslų ir dominančių proceso parametru:

- trumpalaikio proceso kitimo (parametru sklaida ir standartinis nuokrypis nustatomi pagal vienos detaliu partijos imtis);
- ilgalaikio proceso kitimo (parametru sklaida ir standartinis nuokrypis nustatomi pagal keliu detaliu partijos imtis);
- tik proceso sklaidos;
- proceso sklaidos ir centravimo.

Visus proceso galimybių rodiklius galima suskirstyti į dvi grupes: *potencialius* ir *realius*. Potencialūs procesų galimybių rodikliai apibūdina teorines proceso galimybes, t.y. įvertina tik proceso sklaidą, kai tuo tarpu realūs procesų galimybių rodikliai įvertina ir proceso sklaidą, ir jo vidurkio padėtį.

Proceso galimybių rodiklius galima suskirstyti į kelis tipus:

- rodikliai, skirti procesų galimybės nustatyti esant įprastai tolerancijai;
- rodikliai, skirti procesų galimybės nustatyti esant vienpusei tolerancijai (pvz., sriegio vijų skaičius turi būti ne mažesnis už 3);
- rodikliai, skirti procesų galimybės nustatyti, kai tolerancijos vidurys nelygus reikiamam gaminio parametro nominalui (pvz., kai detalė dengiama brangiomis dangomis, dangos storis turi būti nustatytose ribose, tačiau dėl dangos medžiagos brangumo norima vidurkio reikšmė gali būti perslinkta į plonesnės dangos pusę, siekiant sumažinti kainą).

Labiausiai paplitę proceso galimybių rodikliai yra (C_p, P_p) ir (C_{PK}, P_{PK}) . Trumpalaikis procesų galimybių rodiklis (C_p) ir ilgalaikis rodiklis (P_p) parodo kiek (6σ) telpa į gaminio toleranciją, t.y. rodikliai įvertinantys idealiai centruoto proceso galimybes. Kadangi procesas praktiškai nebūna idealiai centruotas, tai šie rodikliai vadinami potencialiais. Jie apskaičiuojami pagal formules:

$$C_p = \frac{\text{Tolerancija}}{6\hat{\sigma}_{ST}} = \frac{VNR - ANR}{6\hat{\sigma}_{ST}} ;$$

$$P_p = \frac{\text{Tolerancija}}{6\hat{\sigma}_{LT}} = \frac{VNR - ANR}{6\hat{\sigma}_{LT}} .$$

Čia: VNR ir ANR – viršutinė ir apatinė matmens nuokrypos;

δ_{LT} - ilgalaikis standartinis nuokrypis;

δ_{ST} - trumpalaikis standartinis nuokrypis.

Šių rodiklių žodinis įvertinimas pateiktas:

1.1 lentelė

C_p, P_p rodiklių įvertinimas

<i>Rodiklių reikšmės</i>	<i>Įvertinimas</i>
2,00<=...	Puikus
1,67<=...<2,0	Labai geras
1,33<=...<1,67	Geras

1,00<=...<1,33	Pakankamas
0,67<=...<1,00	Blogas
0,00<=...<0,67	Labai blogas

Šie rodikliai yra gana lengvai apskaičiuojami, neturintys dimensijų ir lengvai suprantami dydžiai. Rodiklis mažesnis už 1,0 reiškia per mažas proceso galimybes, didesnis už 1,0 – proceso galimybės geros. Be to, aiški vertinimo skalė: kuo daugiau, tuo geriau. Tokią skalę naudoja ir daugelis kitų rodiklių. Pagrindinis šių rodiklių trūkumas yra tai, kad jie neapibrėžia nekokybiškų gaminių kiekio.

Realių procesų galimybių rodikliai C_{PL} , C_{PU} ir P_{PL} , P_{PU} įvertina parametro vidurkį ir atitinkamai apatinę ar viršutinę tolerancijos ribas. Šie rodikliai apskaičiuojami pagal formules:

$$C_{PL} = \frac{Z_{ISL,ST}}{3} = \frac{\hat{\bar{X}} - ANR}{3\sigma_{ST}}; \quad C_{PU} = \frac{Z_{USL,ST}}{3} = \frac{VNR - \hat{\bar{X}}}{3\sigma_{ST}};$$

$$P_{PL} = \frac{Z_{ISL,LT}}{3} = \frac{\hat{\bar{X}} - ANR}{3\sigma_{LT}}; \quad P_{PU} = \frac{Z_{USL,LT}}{3} = \frac{VNR - \hat{\bar{X}}}{3\sigma_{LT}}.$$

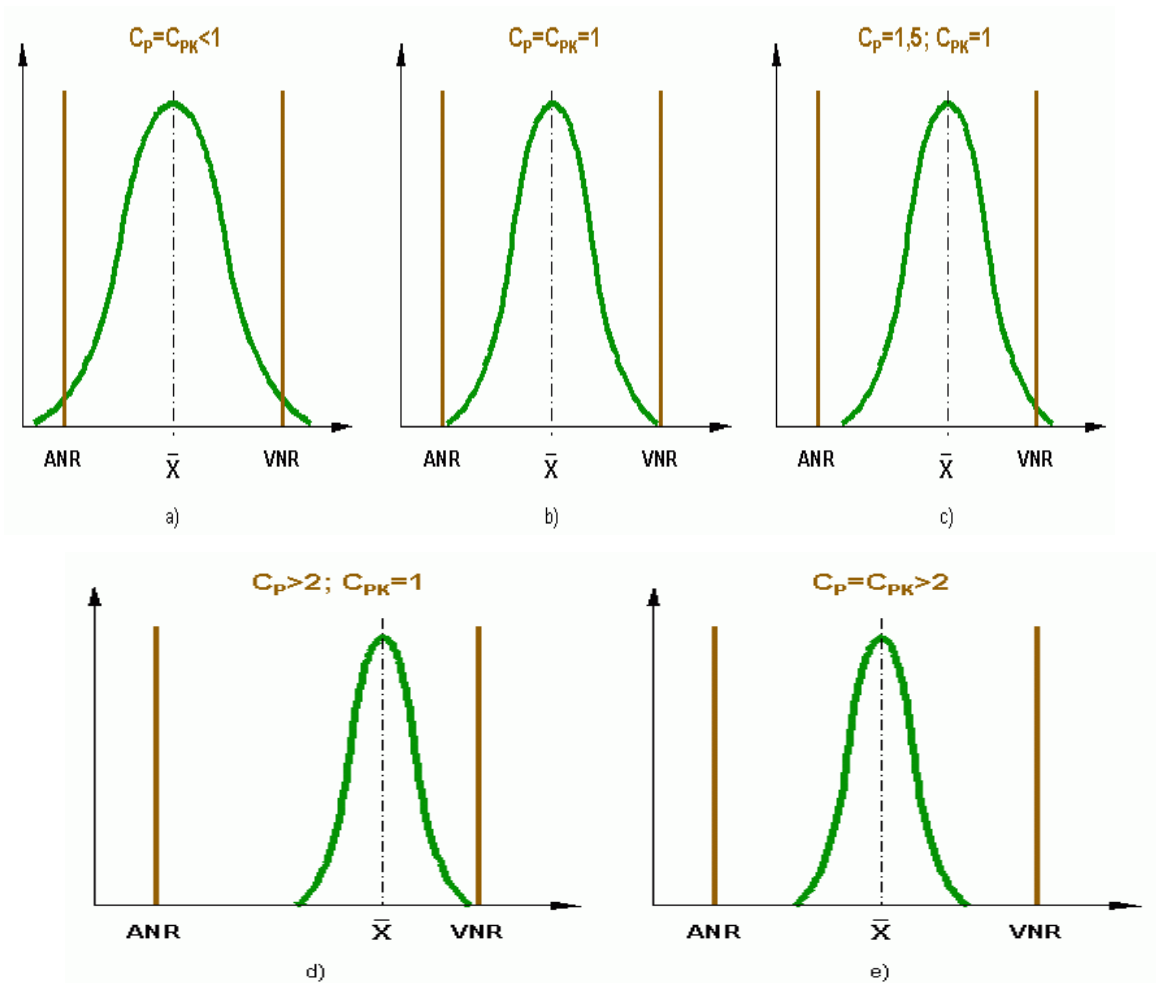
Realių procesų galimybių rodikliai C_{PK} ir P_{PK} apskaičiuojami pagal formules:

$$C_{PK} = \text{Min}(C_{PL}, C_{PU}) = \text{Min}\left(\frac{\hat{\bar{X}} - ANR}{3\sigma_{ST}}, \frac{VNR - \hat{\bar{X}}}{3\sigma_{ST}}\right);$$

$$P_{PK} = \text{Min}(P_{PL}, P_{PU}) = \text{Min}\left(\frac{\hat{\bar{X}} - ANR}{3\sigma_{LT}}, \frac{VNR - \hat{\bar{X}}}{3\sigma_{LT}}\right).$$

Šiuo atveju procesą įvertina vienas rodiklis, tačiau iš esmės jis įvertina procesą pagal tą sklaidos pusę, kur gaunamas didesnis kiekis neatitikčių. Toks vertinimas kai kuriais atvejais duoda klaidingus rezultatus. Todėl norėdami teisingai įvertinti procesą, turime naudotis ne vienu, o keliais rodikliais.

Šių rodiklių vertinimo skalė yra tokia pati kaip C_P ir P_P rodiklių. Kaip minėta anksčiau, jei C_P ir C_{PK} ar P_P ir P_{PK} rodikliai būna mažesni už 1,0, proceso galimybės per mažos (žr. 1,3 pav a).



1.3 pav. Proceso galimybių grafinis atvaizdavimas

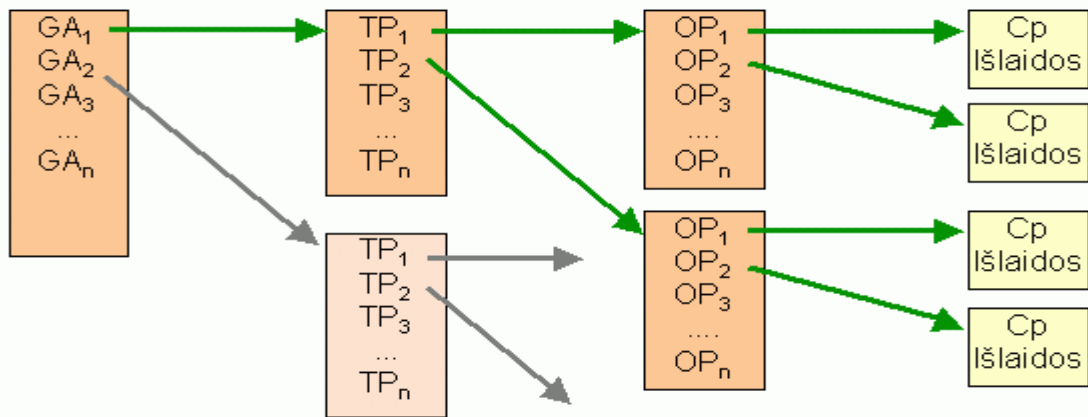
Kai šie rodikliai lygūs 1, neatitikčių bus lygiai 2,7 proc. (žr. 1,3 pav b). Geresnio, tačiau blogai centruoto proceso atveju (kai $C_P = 1,5$ ir $C_{PK} = 1$) bus apie 1,3 proc neatitikčių (žr. 1,3 pav c). Kai abu rodikliai didesni už 1,0, parametro sklaida telpa į tolerancijos ribas (žr. 1,3 pav d,e). Siekiant saugaus proceso šie rodikliai turėtų būti lygūs 2,0.

Kai proceso galimybės yra nepakankamos, gamintojas turi 6 galimybes:

- Sumažinti proceso sklaidą. Tą gali padaryti suremontuojant esamą arba perkant naują įrenginį, keliant operatoriaus kvalifikaciją, ieškant ir naudojant geresnes medžiagas, darbo metodus, įrangą bei įrankius (viską, kas padėtų sumažinti proceso sklaidą).
- Peržiūrėti gaminio tolerancijas (gal vartotojui užtektų žemesnės kokybės gaminio?).
- Pakeisti gaminio konstrukciją. Kitokia gaminio konstrukcija gali būti mažiau jautri to parametro kitimui.
- Tikrinti visus gaminius, norint atrinkti tik kokybiškus. Turėti padidėjusias neatitikčių ir gaminių taisymo išlaidas, galimus vartotojų skundus.
- Surasti kitą kompaniją, kuri gali pagaminti reikiamą detalę su pakankamomis proceso galimybėmis, ir užsakyti ją toje kompanijoje.

1.5 Gaminio konstravimas įvertinant gamybos procesų galimybes

Konstruojant naują gaminį tuo pat metu projektuojamas ir gamybos procesas. Tai leidžia jau ankstyvojoje gaminio konstravimo stadijoje numatyti, kokie gamybos procesai bus naudojami, patikrinti jų tinkamumą, apskaičiuoti gaminio gamybos sąnaudas. Konstruktorius, padedant sukurtoms priemonėms, gali įvertinti gaminio ir jo technologijos procesų alternatyvas bei nustatyti procesų galimybes ir gamybos išlaidas. T.y., turint kiekvienos gaminio ir gamybos technologijos proceso alternatyvų užtikrinamus proceso galimybių rodiklius bei išlaidas, konstruktorius gali pasirinkti geriausią gaminio ir technologijos proceso alternatyvą .



1.4 pav. Gaminio ir jo technologijos procesų alternatyvų įvertinimo medis

- Čia: GA₁...GA – gaminio alternatyvos;
 TP₁...TP_n – technologijos proceso alternatyvos;
 OP₁...OP_n – alternatyvos operacijos;
 Cp – proceso galimybių rodiklis.

Tipiški reikalavimai – tai tam tikros aplinkos ir rinkos paveikti vartotojo norai. Tačiau yra ir daugiau veiksnių, tokių kaip ankstesni gaminiai, kompanijų aukštų technologijų „*know how*“ duomenys ir patyrimai.

Gamyboje siekiamas procesų galimybių rodiklių dydis nustatomas atsižvelgiant į gaminio kokybės kontrolės išlaidų dydį ir gamybos sugriežtintomis tolerancijomis išlaidas. Kadangi tolerancijų nustatymas yra susietas su gaminio kokybe ir jo funkcionalumu, o tolerancijų dydis – su gamybos išlaidomis bei gamybos procesų galimybėmis, labai svarbu, kad konstruktorius naudotų tinkamą priemonę, leidžiančią jam jau ankstyvojoje gaminio konstravimo stadijoje įvertinti esamų

gamybos procesų galimybes ir gamybos išlaidas bei parinkti racionalią gaminio konstrukciją ir jo gamybos procesą, užtikrinančius reikiamą gaminio kokybę.

Gaminio konstravimo jo gamybos procesų galimybėms gerinti metodas (angl. DFM – *Design for Manufacturability*) padeda mažinti mechaninio apdirbimo precizinių operacijų darbo imlumą, o tuo pačiu ir gamybos išlaidas gaminant gaminio detales. Tai galima pasiekti parenkant gaminio komponentų tolerancijas pagal procesų galimybes ar mažinant mechaninio apdirbimo operacijų skaičių, užtikrinant reikiamą gaminio kokybę. Kadangi gaminio tolerancijų keitimas yra susijęs su galutine gaminio kokybe ir jo funkcionalumu, konstruktoriui reikia turėti papildomų techninių priemonių, kurios padėtų jam įvertinti gamybos sąnaudas keičiant ir gaminių, ir jų gamybos procesų alternatyvas. Be to, šios priemonės sietų detalių tolerancijas ir prognozuotų gamybos proceso galimybes ankstyvojoje gaminio konstravimo stadijoje. Tyrimų eigoje sukurtos priemonės sieja gaminio tolerancijų dydžius su gaminio kokybe ir gamybos procesų galimybėmis bei gamybos išlaidomis.

Gaminio konstravimo jo gamybos procesų galimybėms gerinti tikslai:

- siekti reikiamų procesų galimybių rodiklių;
- keičiant gaminio konstrukciją;
- keičiant gamybos procesus (operacijas);
- keičiant gaminio komponentų tolerancijas, t.y. perskirstant matmenų grandinės uždarmojo nario toleranciją kitiems nariams pagal procesų galimybes ir išlaidas.
- vengti labai didelių procesų galimybių rodiklių, nes tai sukelia gamybos išlaidų padidėjimą, matmenų grandinės narį, kurio apdirbimo operacija turi žymiai didesnę už reikiamą galimybių rodiklį, reikia gaminti tiksliau (su mažesne tolerancija), o kitus matmenų grandinės narius su didesnėmis tolerancijomis;
- gaminio detalių gamybai parinkti tokius procesus, kurie užtikrintų reikiamą jų galimybių rodiklį ir būtų pigiausi iš galimų alternatyvų.

2. GAMINIO PROJEKTAVIMO GALIMYBĖS IR JO ANALIZĖS MODELIS

2.1 Gaminio gyvavimo ciklo trumpėjimas

Pradinėje stadijoje naujo gaminio poreikis nedidelis, bet ilgainiui labai sparčiai didėja, vėliau, komercinės gamybos stadijoje, šis jo poreikis stabilizuojasi. Trečioje – pastebimas laipsniškas gaminio paklausos mažėjimas, kol galiausiai visai nutraukiama jo gamyba. Gaminio kaina turi būti nustatoma ankstyvojoje jo konstravimo stadijoje, atsižvelgiant į visas projektavimo, gamybos paruošimo bei jos vykdymo išlaidas.

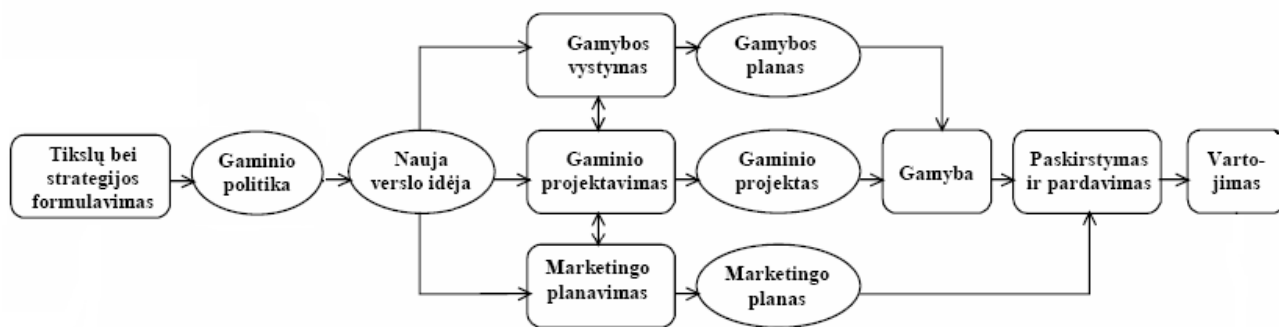
Naujo gaminio konstravimas ir gamybos rengimas yra atsakingiausias viso integruoto gamybos proceso etapas, nes jį sudaro keletas fazių (konceptijos formulavimas pagal rinkos tyrimo duomenis, konceptijos įgyvendinimas inžineriniais sprendimais ir galiausiai visiškai konstrukcijos išbaigimas ir technologinis gamybos paruošimas). Tai labai imlus ir brangus darbo etapas, nes konstruktorius turi konstruoti gamini taip, kad jis ir jo detalės būtų gaminamos lengvai, ekonomiškai ir tenkintų jam keliamus našumo, tikslumo ir kokybinių parametrų reikalavimus. Gamybos lengvumas – tai ne vien gaminio atskirų detalių apdirbimo, bet ir gaminio rinkimo paprastumas. Gaminio rinkimas – atsakingiausia jo gamybos fazė, nes čia susikaupia visi apdirbamųjų procesų netikslumai, lieka daug reguliavimo ir derinimo darbų. Be to, rinkimo procesas sunkiai robotizuojamas, nes jam būdingos intelektualinio darbo operacijos, turinčios daug renkamų detalių atpažinimo ir paieškos problemų. Todėl buvo iškelti konstravimo principai siekiant gaminio rinkimo lengvumo - prastinama gaminio konstrukcija, atskiros jo dalys konstruojamos taip, kad būtų lengviau renkamos. Padaryti gaminį lengviau renkamą dažnai imanoma didinant jo atskirų dalių gamybos kainą. Dėl šių priešasčių rinkimo lengvumo konstravimas negali būti atliekamas atskirai nuo detalių gamybos lengvumo konstravimo, nes tarp šių procesų esama nemažos sąveikos. Pasirinkti, kuris šių labai prieštaringų tikslų yra tinkamiausias, gali padėti tik išsami naujo gaminio kurimo strategija. Ji turi būti taip parengta, kad leistų pasirinkti racionaliausias gaminio ir jo detalių formas, tinkamiausias medžiagas, sukurti ar išsirinkti efektyviausius technologijos procesus, gamybos metodus, kol gaminys dar konstruojamas. Anksčiau gaminio konstravimo bei gamybos stadijos eidavo nuosekliai viena po kitos, daug laiko atimdavo įvairių sprendimų derinimas, nes dažnai šie darbai buvo atliekami skirtingose vietose. Tik visiškai baigus gaminio konstravimą, prasidėdavo jo gamybos technologijos paruošimas ir galiausiai gamybos procesas. Tai reikalavo didelių laiko sanaudų iki gaminio komercinės gamybos pradžios. Naujoje gamybos aplinkoje vis labiau įsigali vienalaikės inžinerijos principai, leidžiantys pasiekti maksimalaus šių procesų sutapimo laiko atžvilgiu, t.y. jų vienalaikio atlikimo. Tokiai galimybei atsirasti palankias sąlygas sudarė sukurti kompiuteriniai konstravimo ir gamybos valdymo metodai. Gaminio konstravimas ir

technologinis gamybos paruošimas reikalauja dideliu pradinių investicijų. Gaminiai išsivertinūs rinkoje, gamintojas kelerius metus naudojasi aukšta jo paklausa, iki gaminys pasensta. Per šiuos metus surenkamos lėšos gaminių gamybos paruošimo išlaidoms padengti. Tačiau šiuolaikinės gamybos aplinkos sunkumai neteikia gamintojui garantijų, kad gerai gaminama produkcija bus paklausi ilgesnį laikotarpį, nes nepertraukiamai kuriamos naujos gaminių versijos, trumpinančios senesnių konstrukcijų gaminių gyvybingumo ciklą. Be to, šį ciklą dar trumpina ir konkurentinės firmos, ieškancios vietos rinkoje. Visos šios priežastys verčia gamintojus ieškoti naujesnių, lankstesnių gamybos procesų, greičiau įgyvendinti nauju gaminių konstravimą, nedidinant pradinės gaminių kainos. Priešingu atveju didelės gaminių konstravimo ir technologinio gamybos paruošimo išlaidas bus žymiai sunkiau padengti per trumpesni jo gyvavimo ciklą. Trumpėjant gaminių gyvavimo ciklui, gamintojai negali skirti didžiulių lėšų labai tobulų gaminių konstravimui, kadangi daug išlaidų reikalauja įrengimai ir jų gamybos technologija. Pasitelkiamas kartotinis gaminių konstrukcijos atnaujinimas – kad juos būtų galima gaminti tais pačiais įrengimais. Pereinama prie naujos ekonominės kompetencijos koncepcijos, kai tie patys įrengimai, sujungti į tam tikrą derinį, gali gaminti pigiau ir daugiau produkcijos, negu veikdami atskirai. Tai kompiuteriais valdomos staklės, taip pat lanksčios gamybos sistemos, kurių perderinimas nereikalauja daug laiko ir lėšų. Šia galimybe ir naudojasi gamintojai, pratęsdami įrengimų funkcionavimo laiką gaminant skirtingus gaminius. Be to, tai svarbu įvertinant įrengimų įsigijimo investicijas. Žodžiu, didesnė gaminamos produkcijos įvairovė, trumpesnis gaminių gyvybingumo ciklas ir trumpesnis gaminių pardavimo laikotarpis rinkoje pagrindė naują ekonominės kompetencijos koncepciją.

2.2. Gaminio konstravimo modelis

Gaminio konstravimą galima apibrėžti kaip įmonės pramoninio inovacinio proceso dalį, kuri apima ne tik fizinio gaminių sukūrimą, bet visos gaminių sistemos, susidedančios iš įvaizdžio, pakuotės, serviso ir pan., sukūrimą bei pateikimą vartotojui. Kadangi gaminių aplinkosauginio projektavimo integravimas į gaminių kūrimą reiškia tik tai, kad, be techninių ir ekonominių reikalavimų, gaminiams keliami ir aplinkosauginiai kriterijai, prieš pradėdant taikyti aplinkosauginio projektavimo priemones, būtina išanalizuoti esamą gaminių projektavimo procesą įmonėje. Mano tiriamoje įmonėje „X“ pagrindinius gaminių projektavimo etapus suskirsto į keturis procesus:

- gaminių planavimą ir užduoties formulavimą,
- gaminių koncepcijos vystymą,
- koncepcijos realizavimą,
- detalų projektavimą.



2.1 pav. Gaminio projektavimo procesas

Gaminių projektavimo pagrindiniai etapai:

- Gaminio planavimas:

1. Situacijos analizė ir politikos formulavimas.

Šiame etape įmonėje atliekama esamos situacijos (padėties rinkoje, vidinių išteklių) analizė bei numatomos strateginės vystimosi kryptys. Ypatingas dėmesys turėtų būti skiriamas pažangių technologijų analizei bei teisinių aplinkos apsaugos reikalavimų identifikavimui. Po šio etapo įmonės politikoje suformuluojami gaminių poveikio aplinkai mažinimo tikslai bei strategijos.

2. Projektavimo užduoties iškėlimas:

Įmonės vadovybei priėmus sprendimą kurti saugesnius aplinkos apsaugos požiūriu gaminius, pradedami parengiamieji gaminio projektavimo darbai. Pirmiausia apibrėžiami konkretūs projektavimo tikslai bei pagrindiniai projektuojamo gaminio reikalavimai specifikacijose. Kadangi pagrindinis aplinkosauginio projektavimo tikslas – mažinti gaminio poveikį aplinkai, todėl būtina identifikuoti ir atsižvelgti į reikšmingus aplinkosauginius aspektus per visą gaminio būvio ciklą.

- Gaminio projektavimas:

3. Gaminio koncepcijos vystymas ir realizavimas.

Šiame etape generuojamos, vertinamos bei pagal užsibrėžtus projektavimo tikslus ir funkcinius, ekonominius bei aplinkosauginius kriterijus atrenkamos idėjos. Po šio etapo parengiamas gaminio projektas – detalizuojamas gaminio dizainas, sudedamosios dalys bei parenkamos medžiagos.

4. Detalusis gaminio projektavimas.

Detalaus projektavimo metu rengiami brėžiniai ir kita dokumentacija, atliekami eksperimentiniai darbai, gaminio prototipo išbandymas bei patvirtinamas detalus gaminio projektas.

- Gamyba ir realizavimas:

5. Gaminio gamybos ir realizacijos rinkoje planavimas.

Šiame etape parengiamas gamybos ir marketingo planas, įskaitant informacijos priemonių tikslinėms vartotojų grupėms ir tiekėjams parengimą (pvz., aplinkosauginis ženklavimas t.t.).

Siekiant padidinti gaminių projektavimo efektyvumą, sukurtas integruotos inžinerijos metodas, kuriuo siūlomą marketingą bei gamybą planuoti kartu su gaminio projektavimu. Ši organizacinė struktūra leidžia sumažinti gaminio įėjimo į rinką riziką, – rengti kokybiškesnį gaminį mažesniais kaštais ir per trumpesnę laiką, kadangi į gaminio projektavimo procesą intensyviau įtraukiami marketingo specialistai, kaupiantys informaciją apie vartotojų poreikius ir konkurentus rinkoje, bei gamybininkai, galintys įvertinti imonės technologines galimybes. Plačiąja prasme gaminių projektavimas apima ir gaminių gamybą, realizavimą bei periodišką pažangos ivertinimą.

2.3 Kokybės kontrolė

Įmonė gali dirbti našiai, gaminti kokybiškus gaminius, tačiau norint visa tai išlaikyti reikia nuolatos tikrinti kokybę. Palaikyti nusistatytą kokybės lygį. To nedarant, gaminių kokybė nejučia gali suprastėti. Visa tai gali atsilipti darbo našumui, nes užsakovo gražintus brokuotus ar neatitinkančius kokybės reikalavimų gaminius reikės ištaisyti, perdaryti. O tai ne tik papildomi kaštai, bet ir sugaištas laikas, per kurį imonė galėtų pagaminti kitą gaminį ir gauti iš jo pajamas. Galima sakyti, kad imonė nukenčia dvigubai. Viso to išvengti galima tik tikrinant kokybę. Kokybei tikrinti naudojami įvairūs būdai. Plačiai taikomas atrankos metodas, kuomet gaminamos didelės prekių partijos. Šis būdas naudojamas ir priimant medžiagas iš tiekėjų, komplektuojančias detales, elementus ir kt. Tokia kontrolė yra pigesnė, negu išsisinė, tik jai būdinga tam tikra rizika darant atranką. Praktikoje gamintojas su vartotoju susitaria kaip bus tikrinama kokybė. Technologijos proceso kontrolei naudojami specialūs lapai, kuriuose gamybos metu pažymimi proceso parametrai. Šios kontrolės tikslas yra nustatyti momentą, kai technologinis procesas pradeda nukrypti nuo nustatytų režimų. Technologinis procesas paprastai tikrinamas periodiškai. Kokybė valdoma vadovaujantis keliomis koncepcijomis. Pirmiausia reikia turėti nuolatinę, visapusišką, viską apimančią programą kokybei gerinti. Ši programa turi apjungti tiekėjus, vartotojus, investitorius, projektuotojus ir gamintojus. Šiuo požiūriu didelį vaidmenį vaidina *statistinė gaminamo produkto kontrolė*. Tačiau norint pasiekti aukštą kokybę ar ją išlaikyti reikia tikrinti ne tik patį gaminį, bet ir visą jo pagaminimo procesą. Nevykdant proceso kontrolės ir atsiradus gaminio defektui, ne visalaikis įmanoma surasti defekto atsiradimo priežastis. Tik kokybiškai suprojektuoti ir pagaminti gaminį nepakanka. Dar reikia, kad pagamintas produktas pilnai atitiktų suprojektuotą. Tai įgyvendinti mums padeda *statistinė proceso kontrolė* (SPK) (Statistical process control). Statistinė proceso kontrolė apima statistinius matavimo būdus ir procesų kitimų analizę. Dažniausiai tai naudojama gamybos procese. SPK tikslas yra kontroliuoti gaminio kokybę ir išlaikyti nustatytus rodiklius. Statistinė kokybės kontrolė remiasi statistiniais matavimo metodais ir kokybės procesų tobulinimu. I SPK įeina ir kitokie metodai.

Tokie kaip:

- atrankos metodai,
- eksperimentinis (bandomasis) projektavimas,
- nukrypimų mažinimas,
- procesų pajėgumu analizė,
- ir procesų tobulinimo būdai.

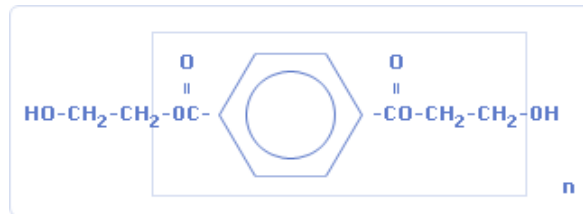
Įmonėje dažnai kuriami kokybės rateliai, kurie reguliariai susirenka aptarti kokybės problemų. Ratelio nariai specialiai mokomi, kad galėtų spręsti kokybės klausimus. Tačiau reikia atsiminti, kad nei statistiniai kontrolės metodai, nei kokybės bureliai, nei racionalizacinių pasiūlymų skatinimo sistemos, nei programos ar bet kuri priemonė, vartojama atskirai neišspręs kokybės ir efektyvumo gerinimo problemų. Šioms problemoms spręsti reikia visų šių priemonių kartu. Svarbų vaidmenį vaidina visų dirbanciujų įtraukimas į kokybės valdymą, o pirmiausia neformalių grupių. Produkcijos kokybės valdymo klausimai yra aukščiausios valdžios prerogatyva. Organizacijos vadovas negali šio darbo perduoti niekam. Kokybės klausimai turi kompleksinį pobūdį, jie nagrinėjami visuose valdymo lygiuose ir visuose padaliniuose.

3. RUOŠINIŲ GAMYBOS PROCESAI, JŲ OPERACIJOS IR NAUDOJAMI ĮRENGINIAI

3.1 PET (Polietyleneteraftalate) gaminių atsiradimas

Stiklas, daugiasluoksnis kartonas, metalinės dėžutės gėrimams pilstyti naudojami jau daugelį metų. Palyginti neseniai šalia šių pakuočių – senbuvių atsirado ir vienas naujokas – polietilenteraftalatas (PET).

PET (Polietilentereftalatas) yra polimeras, naudojamas taros, skirtos gaiviesiems gėrimams, sultims, vandeniui, aliejui ir kt. gamybai. PET sudaro ilgos molekulinės grandinės. Polietilentereftalatas gaunamas jungiantis monoetilenglikolio ir tereftalio rūgšties molekulėms, kurios tolesnės polikondensacijos eigoje susijungia į polimerines grandines.



3.1 PET cheminė sudėtis

Šios medžiagos gaunamos iš naftos po visos eilės sudėtingų perdirbimų chemijos gamyklose. Gautos PET žaliavos kokybė priklauso nuo naudojamų gamybai medžiagų grynumo, o taip pat nuo to, kaip valdomas technologinis procesas cheminių reakcijų metu. Iš PET žaliavos daromos granulės, kurios naudojamos PET ruošinių gamyboje.

Mano tiriamoje įmonėje „X“ ruošiniai gaminami iš skirtingo klampumo ir savybių granulių, priklausomai nuo kliento pageidavimo, koks produkto laidumas deguoniui, ultravioletiniams spinduliams, acetaldehido kiekio.. t.t. Dažniausiai naudojamų granulių savybės yra šios:

3.1 lentelė

NEOPET® 82 Fast Reheat granulių savybės

Parametras	Bandymų metodas	Reikšmė	Vienetas
Vidinis klampumas	WN-B 010-7040D Capillary viscometer	0.82 ± 0.02	dl/g
COOH grupės	WN-B 010-7013D Potentiometric titration	20-30 ± 3	mmol/kg
Dulkių kiekis	WN-B 010-9031D	< 50	ppm
Acetaldehidai	WN-B 010-9013D Gas chromatography	? 1.0	ppm
Colour L	WN-B 010-7136D HUNTER Lab	? 80	
Colour B	WN-B 010-7136D HUNTER Lab	? 1.0	
Drėgmė	WN-B 010-7059D	? 2000	ppm
Lydymosi temperatūra	WN-B 010-7089D DSC	245-252	°C
Granulės svoris	WN-B 010-9038D	1.7	g/100 granulių
Granulės forma	Sferinės granulės		

3.2 lentelė

NEOPET® 78 granulių savybės

Parametras	Bandymų metodas	Reikšmė	Vienetas
Vidinis klampumas*	WN-B 010-7040D Capillary viscometer	0.78 ± 0.02	dl/g
COOH grupės	WN-B 010-7013D Potentiometric titration	20-30 ± 3	mmol/kg
Dulkių kiekis	WN-B 010-9031D	? 50	ppm
Acetaldehidai	WN-B 010-9013D Gas chromatography	? 1.0	ppm
Color b	WN-B 010-7136D	? 1.0	
Supylimo tankis		890-920	kg/m ³
Drėgmė	WN-B 010-7059D	? 0.2	%
Lydymosi temperatūra	WN-B 010-7089D DSC	245-252	°C
Granulės svoris	WN-B 010-9038D	1.7±0.1	g/100 granulių
Granulės forma	Sferinės granulės		

3.3 lentelė

Ramapet 82 granulių savybės

Vidinis klampumas*	WN-B 010-7040D* Capillary viscometer	0.82 ± 0.02	dl/g
COOH grupės	WN-B 010-7013D Potentiometric titration	20-30 ± 3	mmol/kg
Dulkių kiekis	WN-B 010-9031D	< 50	ppm
Acetaldehidai	WN-B 010-9013D Gas chromatography	? 1.0	ppm
Color b	WN-B 010-7136D	? 1.0	
Drėgmė	WN-B 010-7059D	? 0.2	%
Lydymosi temperatūra	WN-B 010-7089D DSC	245-252	°C
Granulės svoris	WN-B 010-9038D	1.7±0.1	g/100 granulių
Granulės forma	Sferinės granulės		

Šis poliesteris – tai lengva, patvari, skaidri, lengvai formuojama medžiaga, kuri gali būti dažoma bet kuria norima spalva, yra chemiškai inertiška ir praktiškai nesuteikia gėrimui pašalinio skonio bei kvapo. Visos šios savybės leidžia PET-ui užkariauti vis naujas panaudojimo sritis pakuočių pramonėje. Išpilstyti į plastikinius butelius gaivieji gėrimai, sultys, kokteiliai gazuotas ir negazuotas mineralinis vanduo jau seniai dominuoja viso pasaulio parduotuvių lentynose. Vis dažniau į PET butelius pilstomi stiprieji alkoholiniai gėrimai, stalo actas, kiti prieskoniniai skysčiai. Sėkmingai pradėti pilstyti pieno produktai. Įvairiausių formų PET buteliukai ir kitokios pakuotės naudojamos kosmetikos priemonėmis. Tinka PET buteliai ir daugeliui sanitarijos priemonių, ploviklių, techninių skysčių.

PET taros pritaikymas:

- 1) gaiviesiems gėrimams, mineraliniui vandeniui,
- 2) alui ir kitiems alkoholiniams gėrimams,
- 3) sultims,
- 4) aliejaus produktams,
- 5) maisto produktams: padažams, majonezui ir pan.,
- 6) pienui,
- 7) buitinei chemijai,,
- 8) farmacijai,
- 9) biriems produktams (kavai, prieskoniams).

PET pakuotės privalumai:

- 1) nedūžta,
- 2) daug lengvesnė už stiklą,
- 3) visada sandariai užsidaro, galima pakartotinai uždaryt,
- 4) skaidri arba spalvota,
- 5) didelis įvairių formų asortimentas,
- 6) geras perdirbimas,
- 7) palyginti mažas pralaidumas dujoms

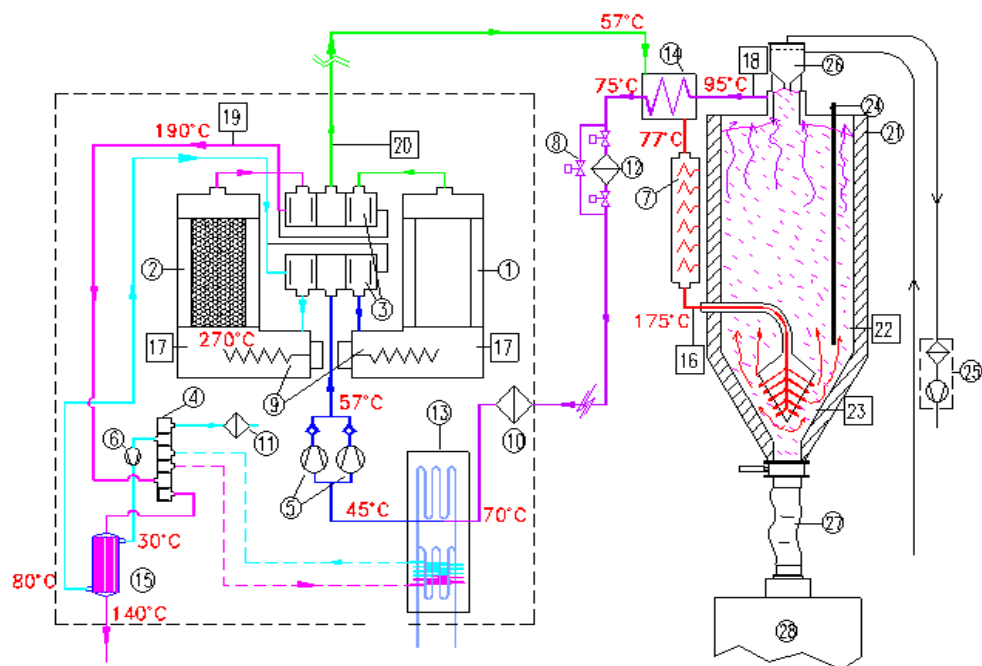


3.2pav. PET gaminiai

3.2 Džiovinimo procesas

Tiriamoje įmonėje „X“ gaminio vystimosi etapas vyksta dviem pakopom. Pirmiausia presuojamojo liejimo formos mašina iš plastiko išliejami ruošiniai, po to eksploatuojami į kitus formavimo įrenginius ir galiausiai išpučiami buteliai, kurie pagal užsakovo pageidavimus gaminami įvairaus dizaino ir paskirties. Detaliam tyrimui DFM metodą pritaikiau pirmos pakopos, presuojamojo liejimo formos etapui, kuriame gaminami ruošiniai.

Gamyboje, kurioje įdiegtos ruošinių liejimo mašinos, svarbų vaidmenį atlieka džiovinimo procesas, kuris sunaudoja didžiąją dalį energijos.



3.3pav. PET ruošinių džiovinimo principas:

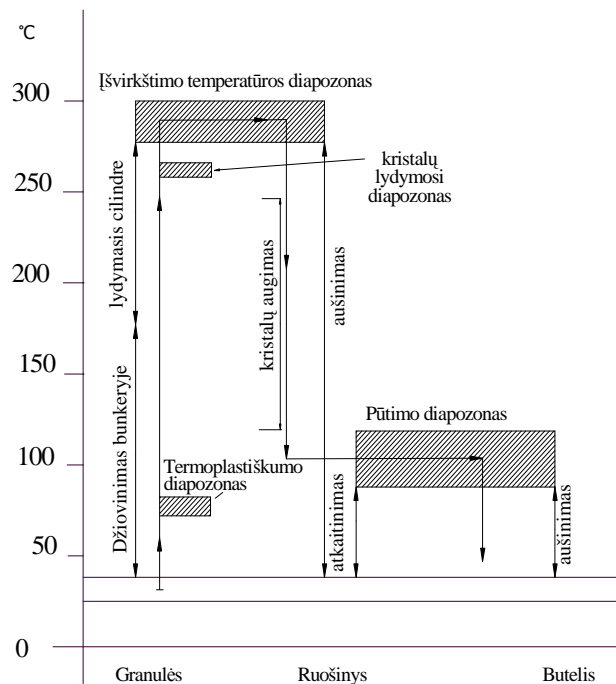
1 - desikanto kamera proceso metu; 2 - desikanto kamera regeneracijos metu; 3 - proceso keitimo vožtuvas; 4- regeneracijos keitimo vožtuvas; 5 - proceso ventiliatoriai; 6 - regeneracijos ventiliatoriai; 7 - proceso kaitinimo kamera; 8 – pusiau - automatinis bunkerio filtras; 9 - regeneracijos kaitinimo kameros; 10 - proceso oro filtras; 11 - regeneracijos oro filtras; 12 - pagrindinis oro filtras; 13 - proceso ir regeneracijos aušintuvas; 14 - karščio reguliatorius; 15 - regeneracijos kaitinimo keitiklis; 16 - proceso oro temperatūros matuoklis; 17 - regeneracijos temperatūros matuoklis; 18 - grįžtamasis oro temperatūros matuoklis; 19 - regeneracijos oro paleidimo zondas; 20 - rasos taško matuoklis; 21 - džiovinimo bunkeris; 22 - medžiagos temperatūros matuoklis (cilindro zona); 23 - medž. temp. zona (kūgio zona); 24 - medžiagos lygio sensorius; 25 - vakuminis ventiliatorius; 26 - vakuminis resyveris; 27 - medžiagos tekėjimo vamzdis; 28 – presuojamojo ruošinių liejimo formavimo mašina.

Granulato džiovinimui paprastai naudojami oro džiovituvai su desikantais 1; 2 desikantai – tai drėgmę sugeriančios medžiagos, kurios žemoje temperatūroje gali sugerti didelius drėgmės kiekius iš aplinkos oro, o kaitinamos drėgmę vėl atiduoda aplinkai. Oras, kuris naudojamas žaliavos

džiovinimui, galingų ventiliatorių 15; 25 varomas cirkuliuoja uždaru ratu. Po to oras įkaitinamas kaitintuvo 7, iki nustatytos temperatūros ir nukreipiamas į bunkerio su žaliava apatinę dalį. Skverbdamasis tarp granulių oras sugeria iš jų drėgmę. Perėjęs granulių sluoksnį drėgnas ir atvėsęs oras pirmiausia gerai išfiltruojamas nuo žaliavos dulkių 8; 12, po to jis nukreipiamas į aušintuvą 13, kuriame ataušinamas iki 45 - 50⁰C. Ciklas kartojasi. Paprastai džiovinuve būna dvi ar daugiau talpų su desikantu, kurių dalis dirba džiovindamos orą, o kita dalis tuo pat metu regeneruojama. Praktiškai nustatyta, kad optimali PET džiovinimo trukmė esant 175 - 180⁰C temperatūrai, turi būti ne mažesnė, kaip 6val. Atsižvelgiant į tai, džiovinimo bunkeris 21, parenkamas tokio dydžio, kad į jį tilptų ne mažesnė granulių atsarga, kaip 6 – 8 val.

3.3 Fizinių savybių kitimas kaitinant

Žemoje temperatūroje PET yra kieta medžiaga, nepriklausomai nuo to ar ji yra amorfinė ar kristalinė būklėje.



3.4 pav. PET gamyba

Kaitinant amorfinėje būklėje esančią medžiagą, pvz., ruošinį, jis palaipsniui pradeda įgauti elastines savybes, kurios labiausiai pasireiškia maždaug 90-120 °C temperatūrų intervale. Šis

temperatūros intervalas, dar vadinamas termoplastiškumo diapazonu (3.4 pav.), kuris naudojamas butelių pūtimui. Didinant temperatūrą virš 120 °C prasideda medžiagos kristalizacija – medžiaga pasidaro balkšva, o vėliau balta, kaip porcelianas dėl joje atsiradusių sferulitų, t.y. nelinijinės formos kristalų. Čia PET praranda elastingumą ir vėl įgauna visas kieto kūno savybes. Kristalizacijos greitis didžiausias maždaug 180 °C temperatūroje. Dar padidinus temperatūrą, pasiekiamas skilimas, medžiaga pasidaro tamsiai ruda ir tolimesniam perdirbimui nebetinkama. Išlydytai PET medžiagai ataušus iki kristalų augimo diapazono, joje vėl atsiranda kristalai, kurių kiekis priklauso nuo medžiagos drėgmės, klampumo, o svarbiausia, nuo laiko, kurį medžiaga išbūna minėtame temperatūros diapazone. Jei PET greitai (per keleta sekundžių) atšaldomas iki žemesnės, nei kristalizacijos temperatūros, kristalų beveik visai neatsiranda ir medžiaga išlieka amorfiška, skaidri. Todėl gaminant PET ruošinius, labai svarbus greitas jų atšaldymas.

3.4 PET ruošinių gamyba

Gamyboje naudojamos HUSKY INDEX, HyPet ir GL įrengimai (presformų detalės pagamintos 5 mikronų tikslumu) leidžia parinkti optimalius technologinius parametrus bei pasiekti aukščiausią ruošinių kokybę, minimalią gamybos ciklo trukmę, tuo pačiu minimizuojant polimero molekulių suirimą, klampumo praradimą bei acetaldehido kiekį.

Pagrindinės liejimo - formavimo mašinų charakteristikos yra:

1. Formos uždarymo jėga

Didžiausia išvystoma jėga, kurią uždarius forma laikoma jos judanti plokštė. Paprastai matuojama kiloniutonais arba jėgos tonomis ($9,8 \text{ kN} = 1 \text{ t}$). Gaminiamis iš PET paprastai naudojama 0,5-0,6 tonos jėga vienam gaminiui projekcijos ploto cm^2 . Mašinos HUSKY GL300 formos maksimali uždarymo jėga yra 300 t.

2. Išvirkštimo svoris

Medžiagos kiekis, kuris gali būti išvirkštas vienu pilnu išvirkštimo stūmoklio judesiu. Paprastai jis nurodomas polistirenui, kurio tankis yra apie 1 g/cm^3 . Kadangi PET tankis yra apie $1,33 \text{ g/cm}^3$, tai mašina, kurios techninėje charakteristikoje nurodytas išvirkštimo svoris 800 gr, gali išvirkšti 1 064 gr PET.

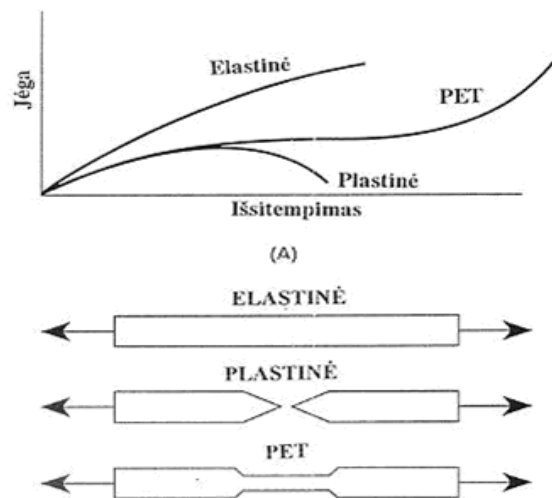
3. Sraigto matmenys

Dažniausiai nurodomas sraigto skersmuo bei jo ilgio ir skersmens santykis, pvz., 120 mm ir 25:1. Tai reiškia, kad sraigto ilgis yra 3000 mm. PET išvirkštimo agregatuose paprastai naudojami sraigtai, turintys santykį nuo 20:1 iki 25:1.

3.4.1 PET deformavimo ypatybės

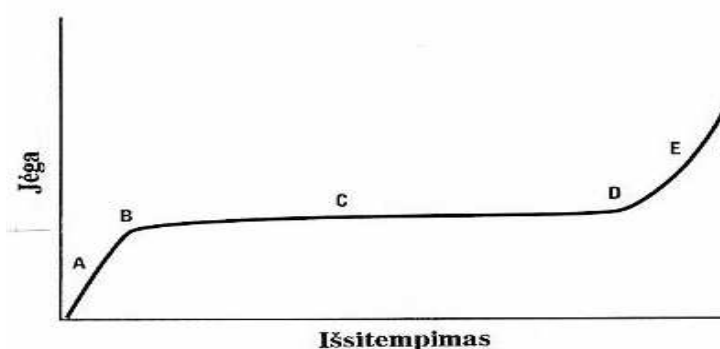
Pagal tai kaip medžiagos tempiamos deformuojasi, skiriami trys pagrindiniai deformacijos tipai:

- Elastinė arba tamprioji,
- Plastinė arba klampioji,
- Mišri, būdinga kai kurioms plastmasėms, tame tarpe ir PET



3.5 pav. Medžiagų deformacija tempiant

Elastinga medžiaga, kaip pavyzdžiui, guma ją ištempus „prisimena“ savo pirmąją formą ir kai tik veikusi medžiagą jėga pašalinama, ji grįžta į savo ankstesnį pavidalą. Plastinės medžiagos, kaip derva, plastilinas ar švinas tokios „atminties“ neturi ir pašalinus jėgą, lieka deformuotos. Kiek padalinus veikiančią jėgą, medžiagą suplonėja ir silpniausioje vietoje trūksta. PET priklauso trečiam medžiagos tipui. Būdinga tokių medžiagų jėgos – ištempimo kreivė.



3.6 pav. Plastiko tempimo kreivė

Kai tokią medžiagą veikia palyginti nedidelė jėga, ji deformuojasi panašiai, kaip elastinė medžiaga: šiek tiek išsitempia, o pašalinus veikiančią jėgą grįžta į savo ankstenį pavidalą (kreivės dalis A). Tempiant didesne jėga, po kurio laiko pasiekiamas takumo riba (B), kai medžiaga pradeda smarkiai temptis ir žymiai išsitempia, beveik nedidinant ją veikinačios jėgos (kreivės dalis C). Ši deformacijos dalis negrįžtama ir pašalinus jėgą, medžiaga lieka išsitempusi. Medžiagą toliau tempiant, pasiekiamas taškas (D). Norint medžiagą dar ištempti už šios ribos, būtina žymiai padidinti naudojamą jėgą. Šis taškas vadinamas *natūralia tempimo riba* (NTR). Ištempus medžiagą truputį už šios ribos, pasiekiamą zoną, kur medžiagos fizinės savybės, kurios tokios svarbios PET indams, yra pačios geriausios. Bandant ištempti medžiagą dar daugiau, tenka naudoti žymiai didesnę jėgą, kol pagaliau medžiaga nutrūksta.

3.4.2 PET ruošinių asortimentas

.

Įmonė „X“ yra įvaldžiusi visas ruošinių gamybos technologijas iš įvairiausių žaliavų su įvairiais priedais: dažais, barjeriniais priedais, antrinėmis žaliavomis ir kt.

PET ruošinių asortimentą sudaro:

- 1) PCO 28mm (gr): 20;21;23;28;31;34;36;38;40;41;43;47.
- 2) PetCycle PCO 28mm (gr):31,5.
- 3) 38mm Milk(gr):21.

Iš ruošinių gaminami 0,5 iki 2,5 ltr įvairių formų buteliai.

Klientams ruošinius tiekiamo kartoninėse oktabinose arba metaliniuose konteineriuose.



3.7 pav.PET ruošinių asortimentas

4. SUKURTOS DFM METODIKOS YPATUMAI SIEKIANT MAŽIAUSIŲ GAMYBOS SĄNAUDŲ IR OPTIMALAUS GAMINIO FUNKCIONALUMO

4.1 DFM kokybės nurodymai presuojamojo liejimo formos procesui

Presuojamojo liejimo formavimas yra vidaus srauto procesas, kuriuose aušinamas plastikas sukietėja ir įgyja tam tikros formos pavidalą. PET (polietilenteraftalatas) plastikas užpildo formos ertmę, tada skysta masė aušinama, kad suformuotų kietąjį kūną tuomet ruošinys numetiklių pagalba išstumiamas iš formos. Pagrindiniai DFM kokybės nurodymai: formos detalės turi būti idealiai suprojektuotos kad: (1) plastikas vientisai ir vienodai užpildytų formos ertmę, (2) aušinimas ir stingimas turi būti greiti, kad sutrumpinti ciklo laiką, sumažinti deformacijas ir susitraukimą, (3) numetikliai turi būti suprojektuoti kaip galima paprastesne konstrukcija. Sukonstruoti tinkamai detales šiam gamybos procesui, projektuotojai turi gerai suprasti formos uždarymo kryptį ir jos atsiskiriančius paviršius. Formos ertmė gali nežymiai skirtis nuo gaminio, nes čia neišvengsime plastiko deformacijų ir susitraukimo sąlygų. Nustatant formos uždarymo kryptį ir paviršiaus atsiskyrimą, plastiko išvirkštimo į formą tolygumą, formos numetiklių sandaros paprastumą — projektuotojai turi gerai suprasti ir sudaryti nuoseklią DFM nurodymų seką:

- pagamintas ruošinys turi būti lengvai išstumiamas iš formos, formos gamyba bus pigesnė, jei bus mažiau nereikalingų judančių dalių, jos turi būti susietos su išmetimo dalimi. Žinant formos uždarymo kryptį ir skiriantį paviršių, projektuotojai gali priimti preliminarius sprendimus apie gaminio sudedamąsias dalis (skyles, briaunas, įdubas), kad išvengtų išpjovų kur būtų galima.
- Dėl skystos masės ir metalo ryšio, kad tekėtų per formos ertmę, kurios aprūpina palyginti lygius ir lengvus vidaus srauto kelius mažu srauto pasipriešinimu yra teigiama savybė. Pavyzdžiui, aštrių kampų ir staigių pakeitimų ar didelių sienos storio skirtumų reikia išvengti todėl, kad jie abu kuria plastiko srauto problemas. Tokie detalių elementai taip pat daro aušinimą sudėtingu.
- Storos sienos sulėtins aušinimo procesą, tai ypač aktualu presuojamojo liejimo formos procesui, kadangi plastikas yra prastas šiluminis laidininkas. Detalės be storų sienų ar kitų storų kiaurymių reikalauja mažesnių gamybos sąnaudų.
- Be to, daug pastangų turi būti įdėta, kad suprojektuoti vienodas detales, lygius sienų storius. Jei yra ir storų ir plonų skyrių detalėje, stingimas gali tęstis nelygiai ir bus sudėtingiau kontroliuoti vidaus įtempį ir deformavimą. Storoji dalis nustato didžiąją dalį stingimo laiko ir įeina į visą ciklo laiką.

4.2 Preliminarūs presuojamojo liejimo formos gaminio sąnaudų (C_d) ir apdirbimo konstrukcijos sąnaudų detalei (C_{dc}) veiksniai

Mes panaudosime optimalius matmenis ir gaminio sudedamąsias dalis, kad įvertintume preliminarias sąnaudas apdirbto ruošinio liejimo formavimo metu. Gebėjimas įvertinti ruošinio gamybos konfigūracijos stadiją - prieš tikslius matmenis buvo nustatyta - kad tai yra svarbu todėl, kad praktiškai konstravimo sprendimai priimti šioje stadijoje dažnai tampa nepaprastai svarbūs apdirbimo kainai. Tokiu būdu einant toliau į sudėtingą skaičiavimą ir daug darbo reikalaujančią užduotį skirtas vertes požymiams (t.y., parametriniam konstravimui), projektuotojams svarbu būti užtikrintiems, kad išrinkta konfigūracija būtų geriausia, svarstant ir apie funkcijas ir gamybą.

Geriausias būdas sumažinti apdirbimo sąnaudas, tai sumažinti surinkimo dalių skaičių. Tai dažnai įvykdoma kombinuojant kelias atskiras dalis į vieną. Padaryti tai, kad būtų atliktas išsamus procesas, reikalinga kad projektuotojai įvykdytų detalizuotą DFM analizę.

Presuojamojo liejimo formavimo sąnaudos gaminiui susideda iš trijų dalių : 1) Formos mechaninio apdirbimo sąnaudos K_d / N (N – detalių skaičius); 2) apdorojimo (proceso) sąnaudos K_e ; 3) detalės medžiagos sąnaudos K_m .

$$\text{Bendros sąnaudos detalei} = K_d / N + K_e + K_m$$

Mes mažai ką galime padaryti, kad įvertintume proceso sąnaudas (K_e) ar detalės medžiagos sąnaudas (K_m). Tačiau mes galime padaryti tikslų apskaičiavimą formos mechaninio apdirbimo sąnaudoms nustatyti (K_d). Iš tikrųjų jei mes patys apribojame preliminarią apdirbimo kainą, tada analizė gaunasi gana tiksli, kad galėtume palyginti tarp konkuruojančių konstravimų. Analizė padeda projektuotojams identifikuoti detalės elementų konfigūracijas, kurios turi įtakos prie apdirbimo kainų, kad nereikalingos gaminio sudedamosios dalys galėtų būti pašalintos, ar bent jau kad jų neigiamas poveikis gamybos sąnaudoms galėtų būti sumažintas.

Faktinės išlaidos priklauso nuo praktikos ir taikytinų metodų, be to gali žymiai pasikeisti dėl daugelio priežasčių.

Pagamintos detalės bendros sąnaudos yra:

Čia: C_d - pagamintos detalės bendros sąnaudos,

$$C_d = (K_{dm} + K_{dc}) / (K_{dmo} + K_{dco})$$

K_{dmo} , K_{dco} - formos medžiagos sąnaudos ir formos konstrukcijos sąnaudos gaminamai detalei,.

$$C_d = K_{dm} / (K_{dmo} + K_{dco}) = K_{dc} / (K_{dmo} + K_{dco}) = A(K_{dm} / K_{dmo}) + B(K_{dc} / K_{dco});$$

$$A = K_{dmo} / (K_{dmo} + K_{dco});$$

$$B = K_{dco} / (K_{dmo} + K_{dco});$$

Pagrįstais duomenimis rinktais iš liejimo formų gamintojų, priimtina vertė A yra tarp 0.15 ir 0.20, priimtina vertė B yra tarp 0.80 ir 0.85. Mūsų tikslais mes paimsime A ir B, kad būtų 0.2 ir 0.8, atitinkamai [1]. Vadinasi:

$$C_d = 0.8C_{dc} + 0.2C_{dm}; \quad (4.1)$$

Čia: C_d - pagamintos detalės bendros sąnaudos, C_{dc} - gaminio apdirbimo konstrukcijos sąnaudos, C_{dm} - yra formos medžiagos sąnaudos .

Kad įvertinti preliminarus apdirbimo konstrukcijos ruošiniui sąnaudas, projektuotojai turi suprasti susijusius ryšius tarp ruošinio ir formos. Gali būti, kad detalių funkcijos, charakteristikos ar jų kombinacijos negali būti pakeistos ar pašalintos, bet taip galima būti sutaupoma laiko ir pinigų. Bet koku atveju projektuotojai turi žinoti apdirbimo kainas, kurias projektai numato ir jie turi stengtis sumažinti jas. Laikas reikalingas apdirbimui projektuojant, gaminant ir testuojant yra taip pat faktorius. Apskritai kuo didesnė apdirbimo kaina, tuo ilgiau laiko reikia tam, kad padaryti gaminį. Preliminarios gaminio konstrukcijos apdirbimo sąnaudos (C_{dc}) yra apskaičiuojama kaip trijų faktorių produktas:

$$C_{dc} = C_b C_s C_t; \quad (4.2)$$

Čia: C_b - apytikslės gaminio preliminaros apdirbimo sąnaudos, atsižvelgiant į gaminio dydį ir bazinę sudėtį[1],

C_s - koeficientas apskaičiuojamas kitais sudetingumo faktoriais, vadinamais papildomais faktoriais[1],

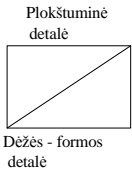
C_t - koeficientas apskaičiuojamas tolerancijos ir paviršiaus išbaigtumo pritaikymu[1].

Ruošinių gamybai, kuriems taikomas presuojamojo liejimo formavimo procesas, apskaičiuosime kiekvieną iš šitų faktorių ir žvelgsime į pavyzdžius jų naudojimą detalėms ir konstravimą gamybai lengvinti principais.

Vertė (C_b)- preliminarus gaminio apdirbimo sąnaudų faktorių dėl bazinės detalės sudėties pavaizduota „vidinės matricos dėžės“ (4.1. lentelė). Skaičiai virš pakrypusių linijų dėžės (4.1 lentelė) priskiriama prie „plokštuminių“ detalių, žemiau pakrypusios linijos prisitaiko prie „dėžės – formos“ detalės. Vertė (C_b) viršutiniame kampe matricos „plokštuminei“ detalei yra 1.00 - ši vertė atitinka minimos detalės kainą. Vertės (C_b) matricos mažėjimui pereina iš dešinės į kairę. Šis faktorius palengvins projektuotojus sudaryti gaminio alternatyvų įvertinimą, kuris gali sumažinti presuojamojo liejimo apdirbimo sąnaudas.

4.1 lentelė

Systemos klasifikacija detalės bazinei sudėčiai

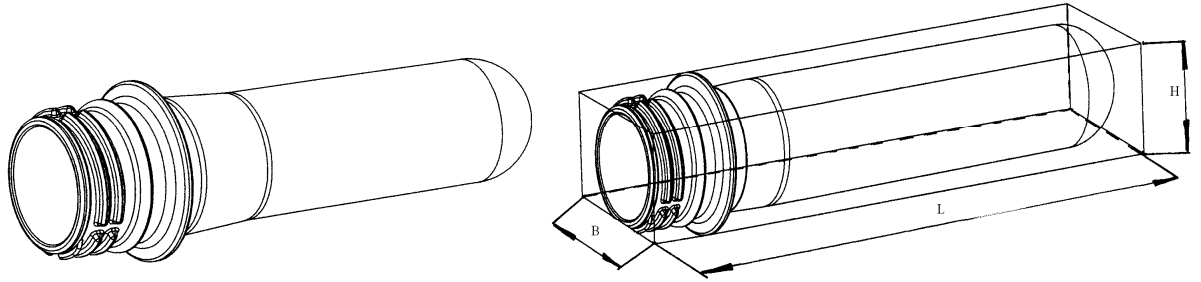
		Bazinė detalės sudėtis	Antras laipsnis													
			L < 250 mm				250 < L < 480 mm				L > 480 mm					
			Išorinių išpjovų kiekis				Išorinių išpjovų kiekis				Išorinių išpjovų kiekis					
			–	viena	dvi	daugia už dvi	–	viena	dvi	daugia už dvi	–	viena	daugia už dvi			
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Pirmas laipsnis	detalės be vidinių išpjovų	detalės, kurios periferinis aukštis plokštumos skiriamamo paviršiaus yra vienodas (konstanta)	detalė vienos pusės formavimo	0	1.00	1.23	1.38	1.52	1.42	1.65	1.79	1.94	1.83	2.07	2.33	
			detalė iš abiejų pusių formavimo	1	1.14	1.37	1.52	1.66	1.61	1.84	1.99	2.13	2.09	2.32	2.58	2.84
		detalės, kurios periferinis aukštis plokštumos skiriamamo paviršiaus nėra vienodas	2	1.28	1.51	1.66	1.80	1.81	2.04	2.19	2.33	2.34	2.58	2.84	3.10	3.36
			3	1.92	2.15	2.29	2.44	3.38	3.61	3.76	3.90	5.01	5.24	5.50	6.07	6.33
		detalė vienos pusės formavimo	detalės, kurios skiriamasis paviršius yra plokštuminis ir aukštis vienodas	4	2.33	2.57	2.71	2.86	2.75	2.98	3.13	3.27	3.17	3.40	3.66	3.92
				5	3.19	3.43	3.57	3.72	4.44	4.68	4.82	4.97	5.83	6.07	6.33	6.59
	detalės su vidinėmis išpjovomis	detalė be skiriamųjų plokštuminių paviršių kurio periferinis aukštis nevienodas	6	2.98	3.21	3.36	3.50	3.52	3.75	3.89	4.04	4.04	4.28	4.54	4.80	
			7	3.73	3.97	4.11	4.26	5.20	5.43	5.58	5.72	6.82	7.06	7.32	7.58	
		detalė iš abiejų pusių formavimo	detalės, kurios skiriamasis paviršius yra plokštuminis ir aukštis vienodas	8	4.20	4.43	4.58	4.72	4.62	4.85	4.99	5.14	5.03	5.27	5.53	
				9	5.37	5.61	5.75	5.89	6.62	6.86	7.00	7.14	8.01	8.24	8.51	
	detalė be skiriamųjų plokštuminių paviršių kurio periferinis aukštis nevienodas	10	5.37	5.60	5.74	5.89	5.90	6.13	6.28	6.42	6.43	6.67	6.93	7.19		
		11	6.28	6.52	6.66	6.81	7.74	7.98	8.12	8.27	9.37	9.60	9.86	10.12		

4.3 Faktoriai įtakojantys gaminio apdirbimo sąnaudas

Bazinis vokas

Norint įvertinti ir suklasifikuoti detalę kaip „plokštuminę“ ar kaip „dėžės – formos“ pavidalo pasinaudosim (4.1 lentele). (Tai daroma todėl, kad „dėžės-formos“ pavidalo detalei reikalinga daugiau formos mechaninio apdirbimo laiko, vadinasi yra didesnės konstravimo sąnaudos negu „plokščios“ detalės.) Kad nustatytume ar detalė yra „plokštuminė“ ar „formos-dėžės“ pavidalo mes nustatome gaminio santykį „baziniam vokui“. Pagrindinis „vokas“ yra stačiakampė prizmė,

kuri visiškai apima ruošinį. Ilgiai pagrindinio voko pusių pažymėti L, B ir H, kur $L \geq B \geq H$.



4.1 pav. Detalės „bazinis vokas“:(kairėje) detalė; (dešinėje) bazinis vokas.

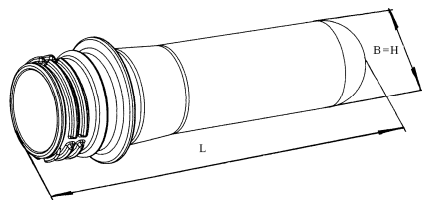
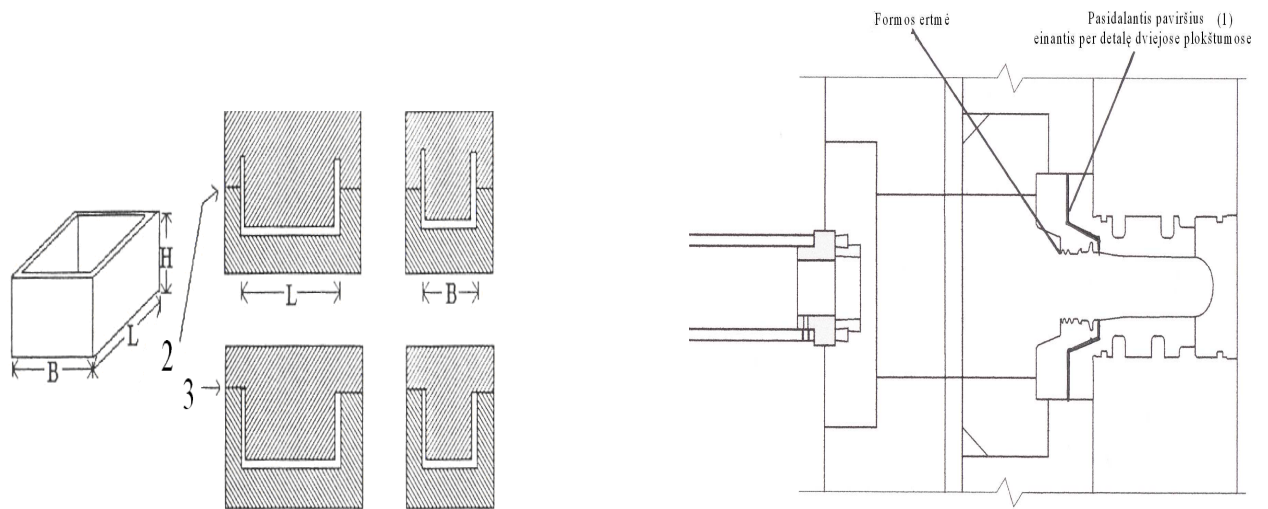
Detalė yra „plokštuminė“, jei L/H yra daugiau negu 4, kitu atveju detalė yra sudaryta iš „dėžės-formos“ pavidalo.

Formos uždarymo kryptis

Kad projektuotojai galėtų sukonstruoti kuo paprastesnį apdirbimo procesą turi gerai išmanyti formos uždarymo kryptį. Šios žinios taip pat reikalingos, kad pasinaudoti (4.1 lentelė) ir įvertinti gaminio apdirbimo sąnaudas, norint pasinaudoti formos detalių alternatyvų įvertinimu.

Detalės dalijamasis paviršius

Formos uždarymo krypties nustatymui, gaminio apdirbimo kainos įvertinimui didelę reikšmę turi detalės atsiskiriančio paviršiaus padėtis tarp formos pusių. Formos uždarymo kryptis ir atsiskirianti detalės paviršinė vieta kartu nustato, kurie išsikišimų, išpjovų, įdubų, briaunų sudedamosios dalys gali būti suformuotos formos uždaroje būsenoje, to pasekoje gali būti reikalinga ypatingo apdirbimo veiksmų seka, kad leistų detalės išmetimą iš formos. Kad nustatyti, kuris atsiskiriantis paviršius turi būti, mes įvesime pasidalančio paviršiaus koncepciją. Atsižvelgiant į formos uždarymo kryptį, pasidalantis paviršius (4.2 pav. (1),(2),(3)) yra apibrėžtas kaip paviršius pavaizduotas vienoje ar daugiau formos plokštumų einančia per detalę, kur detalė iš abiejų pusių paviršiaus gali būti ištraukta lygiagrečia formos uždarymo kryptim.



4.2 pav. Detalės skirstymo paviršiai:

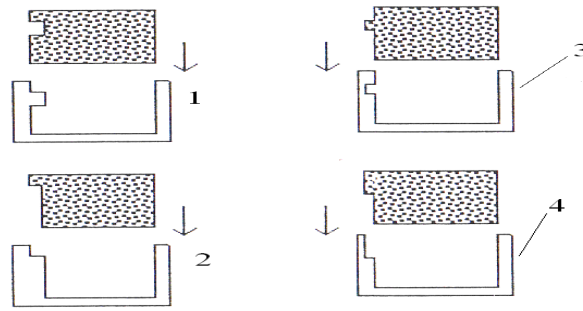
1;2 – pasidalantis paviršius einantis per detalę dviejuose formos plokštumose, 3 - pasidalantis paviršius einantis per detalę vienoje formos plokštumoje

Išpjovos

Išpjovos yra kombinuojamos detalės elementų sukurtų iš ildubų, briaunų, kurių kryptys nėra lygiagrečios presformos uždarymo kryptiai. Išpjovos yra klasifikuojamos kaip vidinės ir kaip išorinės. Išorinės išpjovos didina detalės apdirbimo sąnaudas (4.1 lentelė) perkeldamas detalių vietą dešinės figūros pusėn. Panašiai sužymėta kiek vidinių išpjovų perkelti detalės matricos vietą žemyn, tokiu būdu taip pat didinama apdirbimo kaina.

1) Vidinės išpjovos

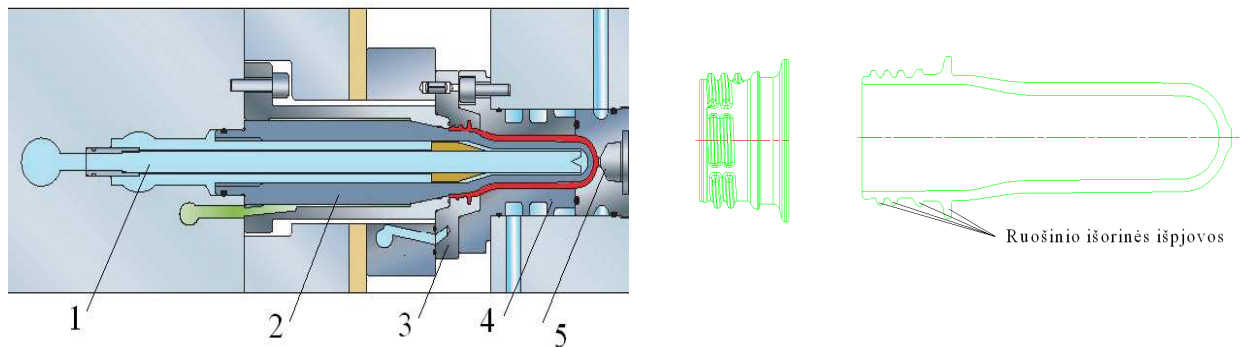
Vidinės išpjovos yra įpjovos, ertmės ar projekcijos ant vidinio detalės paviršiaus, kuri be ypatingų sąlygų, neleistų presformos pagrindu būti uždarymo linijoje (dažnai vadinama pratraukimo linija) (4.3pav).



4.3 pav. Vidinių išpjovų pavydžiai:
1;3 - vidinės išpjovos, 2;4 – išpjovos nepriskiriamos vidinėms.

2) Išorinės išpjovos:

Išorinės išpjovos yra skylės, briaunos ar įdubos ant išorinės dalies paviršiaus, kuri nėra lygiagreti presformos uždarymo kryptčiai (4. 4 pav).



4.4 pav. Išorinės išpjovos:

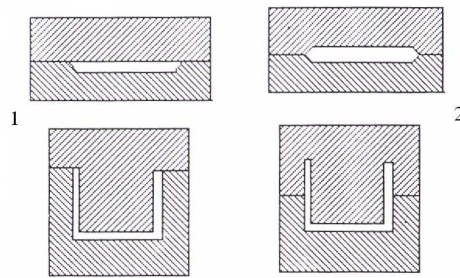
1 –šerdis šaldymo pirštas, 2 – šerdis, 3 – numetikliai, 4 – formos ertmė, 5 – adatinis vožtuvas.

Detalės išorinės išpjovos yra lygios skaičiui paviršių, kurie turi išorines išpjovas. Išorinių išpjovų buvimas reikalingas, kad atsižvelgti į išmetimą detalės nuo formos ertmės. Kad leistų išmetimą, formos šerdis turi būti įtaisyta ir valdoma stačiu kampu į presformos uždarymo kryptį. Kai plastikas šaldomas kietėja, jis sustingsta ant šerdis, įgaudamas ruošinio pavidalą 2. Presforma tada atsidaro, kai šerdis ir detalė užsisklendžia iš ertmės 4, tuomet atsidaro presformos judama dalis ir ruošiniai pneumatiniiais numetikliais 3 nustumiami ir vakumu pritraukiami į roboto ranką. Numetiklių sandara taip pat prisideda prie apdirbimo sunkumo ir kainos.

4.3.1 Kiti faktoriai įtakojantys (C_b)

Detalės liejimas vienos pusės formavimo

Formos kainai turi įtakos tam tikras kiekis apdorojimo, kuris turi būti padarytas, kad sukurti šerdį ir formos ertmės skyrius. Jei formos ertmė gali būti suformuota visiškai vienoje formos pusėje, tai kitai formos daliai nereikia jokio ypatingo apdorojimo. (4.5 pav), detalė yra ant vienos plokštuminio dalijimo paviršiaus pusės.



4.5 pav. Detalės liejimas vienos pusės formavimo:

1 – detalės liejimas vienos pusės formavimo, 2 – detalės liejimas iš abiejų pusių formavimo.

Periferinis aukštis

Panaudoti detalės skiriamąjį paviršių reikalingi maži matmenys vertikaloje projekcijos dalyje, lygiagrečios presformos uždarymo krypties, kad detalė galėtų būti lengvai atskirta nuo formos. Detalės skiriamasis paviršius gali būti sudarytas skirtingai, atsižvelgiant į periferinį aukštį, tai turi įtakos detalės apdirbimo sąnaudoms.

Įvedant ir naudojant lentelę 4.1

(C_b) vertė nustatoma (4.1 lentelės) duotos informacijos ir žinant detalės charakteristikas :

1 - ilgiausias bazinės detalės matmuo (L), 2 - išorinių išpjovų skaičius, 3 - skaičius ir vieta (ant vienos ar daugiau detalės pusių) vidaus išpjovų, 4 - ar detalė bus suformuota vienoje presformos pusėje ar ne, 5 - ar detalės periferinis aukštis nuo plokštuminio dalijimo paviršiaus yra pastovus (konstanta) ar ne, 6 - ar detalė yra „plokštuminė ar formos – dėžės“ pavidalo.

4.3.2 Koeficiento nustatymas (C_s)

Kaip minėta anksčiau, preliminarios gaminio konstrukcijos apdirbimo sąnaudos yra:

$$C_{dc} = C_b C_s C_t ; \quad (4.3)$$

Čia: C_b - apytikslės preliminarios gaminio apdirbimo sąnaudos atsižvelgiant į detalės dydį ir bazinę sudėtį;

C_s - koeficientas apskaičiuojantis kitais gaminio sudėties faktoriais, vadinamais papildomais faktoriais;

C_t - koeficientas apskaičiuojantis tolerancijas ir paviršiaus išbaigtumą.

Elementai, kaip briaunos, skylės, įdubos su presformos uždarymo kryptimi sudaro ruošinio formos sudėtingumą. (4.2 lentelė) Rodo klasifikacijas ruošinio sudėtingumo, kuris skirstomas į žemą, vidutinę, aukštą ir labai aukštos klasifikacijos reitingą.

4.2 lentelė

Ruošinio klasifikacijos reitingas

Detalės elementai		Skaičius elementų	Elementų sankcija	Sankcija
Skylės ir įdubos	apvalios		2n	
	staciakampės		4n	
	netaisyklingos		7n	
Sustorėjimai	vientisi		n	
	su tuštuma		3n	
Neperiferinės sienos, briaunos			3n	
Detalės išsikišimai	vientisi		2.5n	
	kompleksiniai		n	
bendras rezultatas				

Maža detalė ($L \leq 250\text{mm}$)

bendras rezultatas ≤ 10 = žemos klasifikacijos detalės sudėties reitingas

$10 < \text{bendras rezultatas} \leq 25$ = vidutinės klasifikacijos detalės sudėties reitingas

$25 < \text{bendras rezultatas} \leq 40$ = aukštos klasifikacijos detalės sudėties reitingas

bendras rezultatas > 40 = labai aukštos klasifikacijos detalės sudėties reitingas

Vidutinio dydžio detalė ($250 < L \leq 480 \text{ mm}$)

bendras rezultatas ≤ 15 = žemos klasifikacijos detalės sudėties reitingas
$15 <$ bendras rezultatas ≤ 30 = vidutinės klasifikacijos detalės sudėties reitingas
$30 <$ bendras rezultatas ≤ 60 = aukštos klasifikacijos detalės sudėties reitingas
bendras rezultatas > 60 = labai aukštos klasifikacijos detalės sudėties reitingas

Ilgą detalė > 480

bendras rezultatas ≤ 20 = žemos klasifikacijos detalės sudėties reitingas
$20 <$ bendras rezultatas ≤ 40 = vidutinės klasifikacijos detalės sudėties reitingas
$40 <$ bendras rezultatas ≤ 80 = aukštos klasifikacijos detalės sudėties reitingas
bendras rezultatas > 80 = labai aukštos klasifikacijos detalės sudėties reitingas

Detalės lygmenį (C_s) įtakoja detalės sudėtingumas ir išorinių išpjovų skaičius. (4.3 lentelė) Reikalinga, kad parinkti ar didelis išpjovų sudėtingumas egzistuoja ar neegzistuoja. Išorines išpjovas be vienakrypčių duobių ar įdubų laiko sudėtinėmis kadangi tokio apdirbimo sukūrimas yra brangesnis.

4.3 lentelė

Papildomas detalės klasifikacijos sudėties reitingas (C_s)

		KETVIRTAS LAIPSNIS			
				Elementari išorinė išpjova	Sudėtinė išorinė išpjova
				0	1
TREČIAS LAIPSNIS	Detalės sudėties reitingas	žemas	0	1.00	1.25
		vidutinis	1	1.25	1.45
		aukštas	2	1.60	1.75
		labai aukštas	3	2.05	2.15

4.3.3 Koeficiento nustatymas (C_f)

Padariniai paviršių išbaigimo reikalavimų R_a , kartais vadintų kaip paviršinė kokybė ir griežtumas reikalingos tolerancijos T_a siejantis su preliminaria gaminio apdirbimo kaina yra sudaromas faktorius (C_f), kuris yra gaunamas iš (4.4 lentelės). Nurodymai siejantys paviršiaus detalės ir SPI formos kokybę (Society of the Plastics Industry) duoti:

SPI-SPE 1: skaidriems paviršiams, minimalių iškraipymų ir paviršinių defektų. Tinka daugumai optinių lęšių.

SPI-SPE 2: Artimas optiniam naudojimui, kai reikalingas geras skaidrumas, aiškumas ir aukšto lygio nudailinimas.

SPI-SPE 3: Smulkiai nutrintas paviršius. Primena lengvai nušveistą nerūdijantį plieną.

SPI-SPE 4: Vidutiniškai nutrintas paviršius, primenantis nušveistą plieną. Naudojamas neestetiniuose plotuose, nematomas. Nebrangus paviršius, aprūpina lengvą išmetimą nuo presformos.

SPI-SPE 5: 40 mikrocolių tekstūruotas paviršius, kuris turi matinio stiklo pavidalą, nestiklinis paviršius, sugeria šviesą.

SPI-SPE 6: Vidutinės tekstūros paviršius, panašus į 400-600-grit švitrinį popierių. Geras siejimui ir šviesos sugėrimui. Nebrangi, gera medžiaga pramoniniams produktams ir kai kuriems plataus vartojimo gaminiams.

4.4 lentelė

Tolerancijų ir paviršiaus išbaigtumo reitingas (C_t)

		ŠEŠTAS LAIPSNIS			
			Komercinė tolerancija T_a	Standartinė tolerancija T_a	
			0	1	
PENKTAS LAIPSNIS	Paviršiaus šiurkštumas R_a	SPI 5-6	0	-	-
		SPI3-4	1	1.00	1.05
		Tekstūra	2	1.05	1.10
		SPI1-2	3	1.10	1.15

4.3.4 Naudojimas ruošinio koduojančia sistema, kad nustatyti (C_b), (C_s), (C_t)

Analizuojant detalę pasitelkiant (4.1; 4.2; 4.3; 4.4 lentelėmis) patogiu naudoti detalės koduojančia sistema. Koduojanti sistema sudaro šešis laipsnius, kurie apibūdina detalės technologiškumą. Kaip matome (4.1 lentelėje) duomenys yra parengti matricos, kuri duoda kokybinį apibūdinimą, nustato detalės sudėtingumo lygį. Be to tai aprūpina platų sąrašą kainos faktorių ir supažindina vartotoją su nuosekliu DFM sisteminiu metodu. Čia apibūdinamos reikšmės skaitmenų koduojančioje sistemoje ir jų interpretacijoje. (4.1 lentelėje) *pirmasis laipsnis* (0-4): pirmas skaitmuo koduojančioje sistemoje identifikuoja eilę 4.1 lentelėje (C_b), kuris apibūdina detalę. Taikomas (1) skaitmuo paviršių su vidaus išpjovomis, (2) detalė yra vienos pusės presformos uždarymo ar ne, (3) ar pasidalantis gaminio paviršius yra plokštuminis ar neplokštuminis, (4) ar gaminio periferinis aukštis yra pastovus (konstanta) pasidalančio paviršiaus. *Antrasis laipsnis* (0-10): antras laipsnis identifikuoja skiltį (4.1 lentelėje), kuri

apibūdina detalę. Taikoma (1) detalės ilgis (L) ir (2) išorinių išpjovų skaičius. Kartu, pirmas ir antras laipsniai nustato vietą (4.1 lentelėje), kur C_b vertė yra nustatoma. (vertės virš pakrypusios linijos (4.1 lentelėje) siejasi su „plokštumine“ detale; vertės žemiau linijos siejasi su „dėžės-formos“ pavidalo detale.)

(4.3 lentelei (C_s)), nustatomas (3) ir (4) laipsniai sekančiai:

Trečias laipsnis (0-3) : trečias laipsnis koduojančioje sistemoje identifikuoja eilę (4.3 lentelėje) (C_s), kuris apibūdina detalę. Tai nustatoma pagal klasifikaciją formos detalės kaip parodyta (4.2. lentelėje). *Kvirtas laipsnis* (0-1): 4 laipsnis identifikuoja skiltį (4.3 lentelėje), kuris apibūdina detalę. Tai nustatoma pagal sudėtinį išpjovos sunkumo mastą.

(4.4 Lentelei (C_t)), nustatomas 5 ir 6 laipsniai sekančiai:

Penktas laipsnis (0-3): penktas laipsnis identifikuoja eilę (4.4 lentelėje (C_t)), kuris apibūdina detalę. Tai nustatoma pagal paviršiaus išbaigtumą R_a . *Šeštas laipsnis* (0-1): šeštas laipsnis identifikuoja skiltį (4.4 lentelėje), kuris apibūdina detalę. Tai nustatoma ar reikalaujama tolerancija T_a yra komercinė ar standartinė.

5. PRAKTINĖ DALIS

5.1 Bendros preliminarios gaminio konstrukcijos apdirbimo sąnaudos

Kaip žinome iš anksčiau bendros preliminarios gaminio konstrukcijos apdirbimo sąnaudos yra:

$$C_{dc} = C_b C_s C_t ; \quad (5.1)$$

Čia: C_b - apytikslės preliminarios gaminio apdirbimo sąnaudos atsižvelgiant į detalės dydį ir bazinę sudėtį;

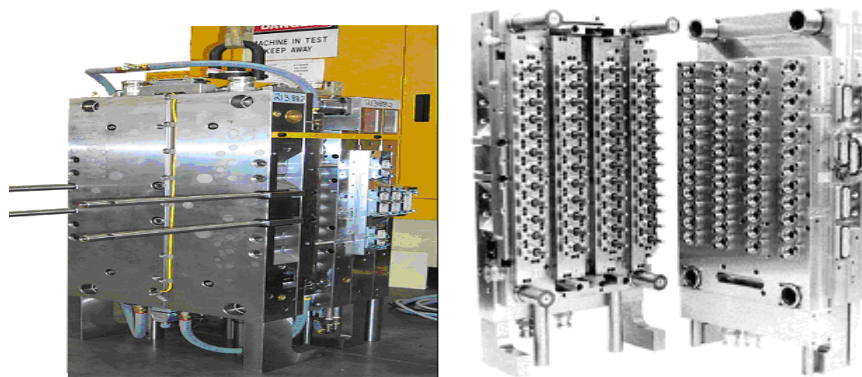
C_s - koeficientas apskaičiuojantis kitais gaminio sudėties faktoriais, vadinamais papildomais faktoriais;

C_t - koeficientas apskaičiuojantis tolerancijas ir paviršiaus išbaigtumą.

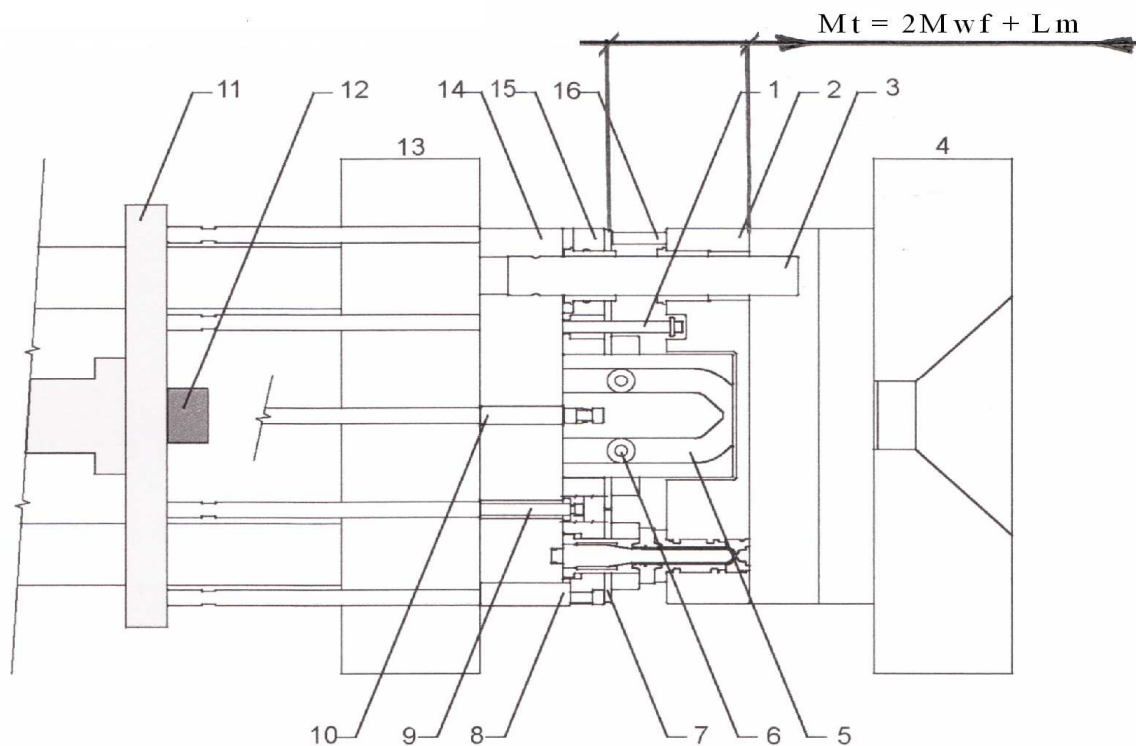
tai nustatoma, konfigūracijos stadijoje, ruošinio konstravime, kuris priklauso nuo ruošinio matmenų, briaunų dydžių, sienos storio t.t. Rezultatai parodo labai aiškiai ir paprastai detalės konstravimo aspektus, kurie labiausiai turi įtakos apdirbimo konstravimo kainai. (4.1lentelėje) Projektuotojai gali aiškiai pamatyti, kad detalė gali būti perkonstruota jei būtina, kad pakelti kategoriją ar supaprastinti detalę, tokiu būdu galima paskaičiuoti kiek gali būti sutaupoma sąnaudų. Išpjovų pašalinimas įvykdo šį tikslą, taip pat ir kiti supaprastinimo pakeitimai, kurie mažina detalę ar šalina tikslų detaės elementų išbaigtumą ar standartinių tolerancijų reikalingumą.

5.2 Preliminarios formos medžiagos sąnaudos

Kad apskaičiuoti galutines preliminarias gaminio apdirbimo sąnaudas, mes turime sugebėti įvertinti formos medžiagos sąnaudas taip pat gerai kaip jos konstrukcijos sąnaudas. Tai palyginti lengva padaryti įvertinant apytikslių detalės dydį — kuris savo ruožtu diktuoja reikalingą formos dydį. (5.2 pav) mes apibrėžiame sekančius presformos matmenis:

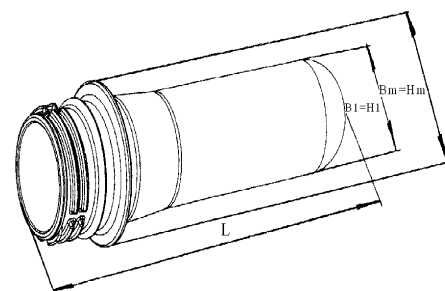
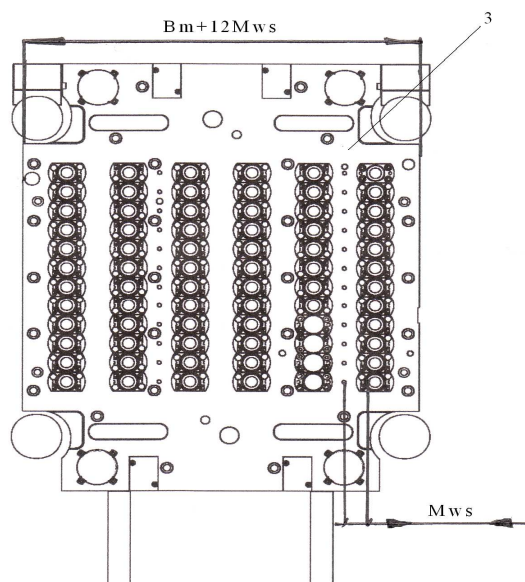
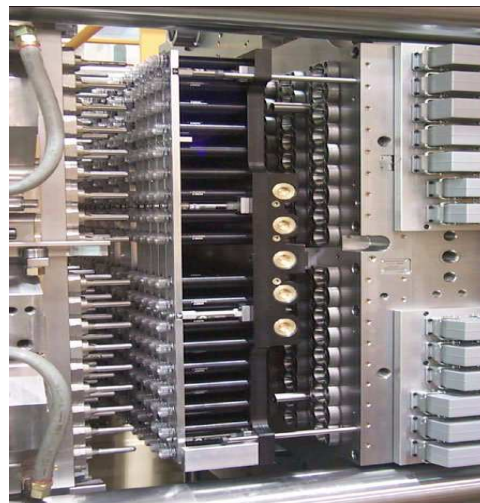
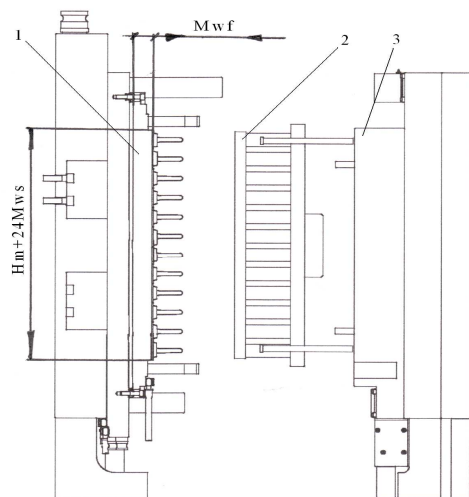


5.1 pav. Formos bendras vaizdas



5.2 pav. Forma uždaroje pozicijoje:

- 1 – formos ribotuvas, 2 – formos plokštė, 3 – pagrindinė atraminė kolona, 4 – nejudama plokštė, 5 – dvigubas pakeliantis ekscentrikas, 6 – ekscentrikas, 7 – judama plokštelė, 8,9,10 – numetiklių cilindriukai, 11 – numetiklių plokštė, 12 – numetiklių ribotuvas, 13 – judanti plokštuma, 14 - šerdies plokštė, 15 – striperis, 16 – formos apsauginis blokas.



5.3pav. Formos pagrindiniai matmenys:

1 – šerdies plokštė, 2 – roboto ranka, 3 – ertmės (formos) plokštė.

Čia: M_{ws} - formos sienos ilgis tarp lizdų (mm);

M_{wf} - storis šerdies (pagrindo) plokštės (mm);

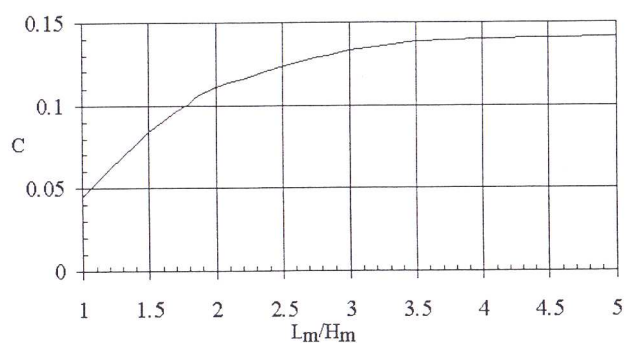
L_m, B_m - detalės ilgis ir plotis (mm);

H_m - detalės aukštis (mm);

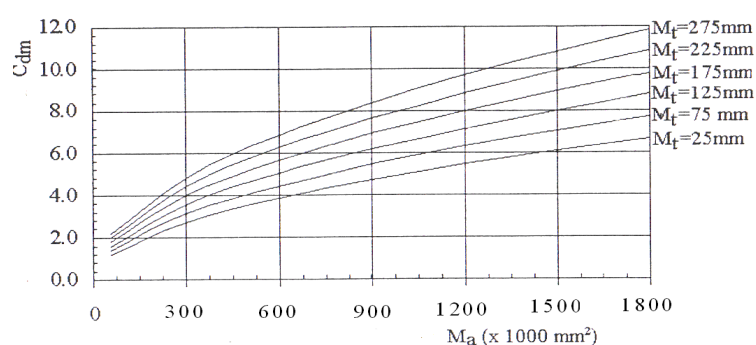
M_t - rekomenduojamas storis bazinės presformos (mm).

Su šiais parametrais, kitos lygtys gali būti panaudotos nustatyti projekcinį plotą bazinės presformos (M_a), reikalingo storį formų pagrindų (M_t), kurie yra apskaičiuojami, kad gauti

preliminarias formos medžiagos sąnaudas (C_{dm}). 5.5pav). Vertė (C) gaunama iš (5.4pav.)



5.4Pav. C vertė.



5.5pav. Preliminarios formos medžiagos sąnaudos (C_{dm})

$$M_{ws} = (0.006CL_m^4)^{1/3} \quad (5.2)$$

$$M_{wf} = 0.04L_m^{4/3}; \quad (5.3)$$

$$M_a = (12M_{ws} + L_m)(24M_{ws} + B_m); \quad (5.4)$$

$$M_t = (L_m + 2M_{wf}). \quad (5.5)$$

(5.5pav) parodyta kaip bazuojasi dvi standartinės plokštumos. Tai atitinka DME A-seriją. Aukščiausios kokybės plienas, būtent P-20 ir S-7 yra parinktas kaip formos medžiaga [2]. Galutinės preliminarios gaminio apdirbimo sąnaudos nustatomos iš (5.6) lygties:

$$C_d = 0.8C_{dc} + 0.2C_{dm}; \quad (5.6)$$

Čia: C_d - galutinės preliminarios ruošinio apdirbimo sąnaudos ,

C_{dc} - preliminarios gaminio konstrukcijos apdirbimo sąnaudos,

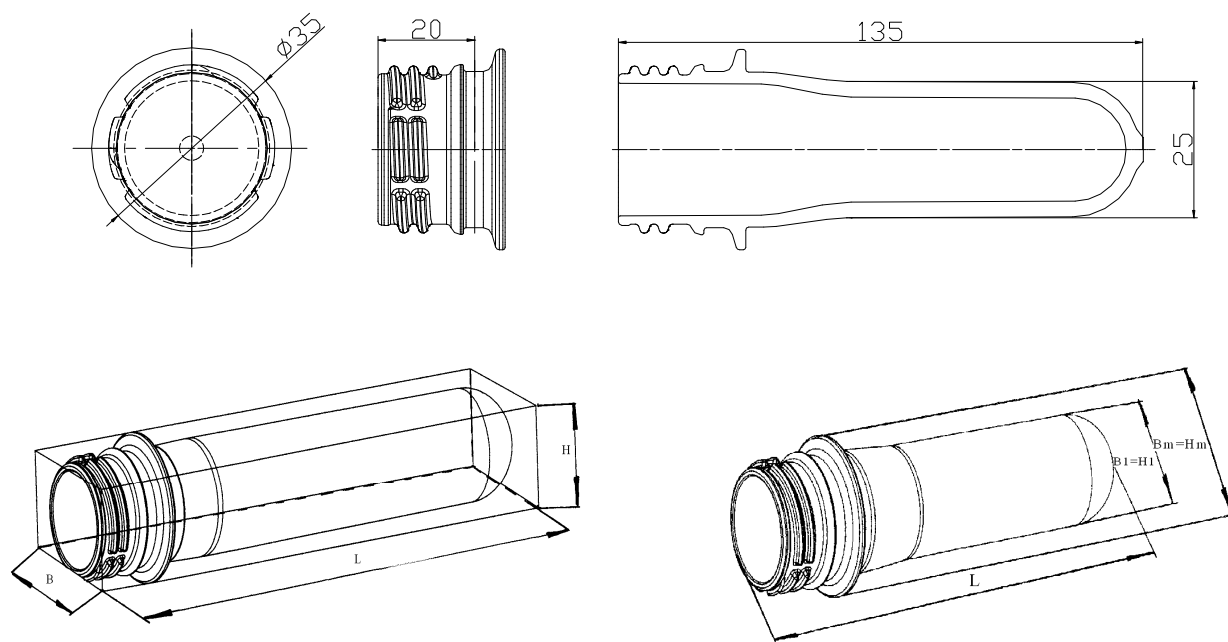
C_{dm} - preliminarios formos medžiagos sąnaudos .

Presforma sudaryta iš 72 lizdų(ertmių).Tuomet daugialypės formos ertmių konstrukcijos sąnaudos susideda iš n_c ertmių:

$$C_{dc}(n_c) = C_{dc}(0.73n_c + 0.27); \quad (5.7)$$

5.3 Preliminarūs ruošinio apdirbimo sąnaudų skaičiavimai

Bazinis ruošinio komplektavimas: Pritaikysime ruošiniui komercinę toleranciją ir paviršiaus išbaigtumą priimsime SPI-3 (Society of the plastics industry)[1], primena skaidrų smulkiai nutrintą paviršių, dažniausiai taikomą industrinėje pramonėje.



5.6pav. Projektuojamasis ruošinys

Pagrindiniai ruošinio matmenys: $L = 135\text{mm}$, $B_m = 35\text{mm}$, $H_m = 35\text{mm}$. Jeigu L/H gausime mažiau už 4, tuomet ruošinį taikysime kaip „dėžės – formos“ pavidalo skaičiavimus. Taigi ruošinys „dėžės – formos“ pavidalo $\frac{135}{35} = 3,86$ (4.1 pav.). Ruošinys neturi vidinių išpjovų, periferinis aukštis nėra pastovus (nelygus konstantai), tuomet pirmasis laipsnis kodavimo sistemoje (4.1 lentelė) yra 2. Išorinių išpjovų ruošinio kaklelio zonoje yra 12, kai L yra mažiau už 250, tai antrasis laipsnis kodavimo sistemoje yra 3. Su parinktais dviem laipsniais 2 ir 3, iš (4.1 lentelės) parenkame (C_b) vertę kuri lygi 2,44.

Papildomas ruošinio komplektavimas: ruošinys kaklelio zonoje turi $n=10$ pasvirusių 16° laipsnių briaunų (sriegių) pavadintomis išorinėmis išpjovomis. Tuomet detalės klasifikacijos reitingas $3n = 30$ (4.2 lentelė) bendra sankcija priskiriama mažai detalei $L \leq 250$ ir priklauso aukštos klasifikacijos reitingui. Tuomet trečiasis laipsnis yra 2 (4.3 lentelė), ketvirtasis laipsnis lygus 0, nes nėra sudėtinių išorinių išpjovų. Gauname (C_s) vertę 1,60.

Paviršiaus išbaigtumas ir tolerancija: ruošinio paviršiaus išbaigtumas R_a SPI –3 ir priklausanti komercinė tolerancija T_a kuri yra parenkama [1]. Tuomet penktasis laipsnis yra 1 ir

šeštasis 0. Parenkam (C_t) vertę iš (4.4 lentelės) kuri yra 1.00.

Preliminarios ruošinio konstrukcijos apdirbimo sąnaudos (C_{dc}):

$$C_{dc} = C_b C_s C_t ; \quad (5.8)$$

$$C_{dc} = 2,44 \cdot 1,60 \cdot 1,00 = 3,9.$$

Kadangi forma yra daugialypė sudaryta iš 72 lizdų, tuomet:

$$C_{dc}(n_c) = C_{dc}(0,73n_c + 0,27); \quad (5.9)$$

$$C_{dc}(72) = 3,9(0,73 \cdot 72 + 0,27) = 206.$$

Preliminarios formos medžiagos sąnaudos: Iš (5.4 pav.) $\frac{Lm}{Hm} = 3,9$ parenkam (C) reikšmę 0,14, tuomet formos ilgiai tarp lizdų apskaičiuojami:

$$M_{ws} = (0,006CL_m^4)^{1/3}; \quad (5.10)$$

$$M_{ws} = (0,006 \cdot 0,14 \cdot (135)^4)^{1/3} = 65,3\text{mm}.$$

Storis šerdies plokštės yra lygus:

$$M_{wf} = 0,04L_m^{4/3}; \quad (5.11)$$

$$M_{wf} = 0,04 \cdot (135)^{4/3} = 39,4\text{mm}.$$

Projekcinis plotas bazinės presformos yra:

$$M_a = (12M_{ws} + H_m)(24M_{ws} + B_m); \quad (5.12)$$

$$M_a = (12 \cdot 65,3 + 35) \cdot (24 \cdot 65,3 + 35) = 1310599,6\text{mm}^2.$$

Reikalingas storis bazinės formos:

$$M_t = (L_m + 2M_{wf}); \quad (5.13)$$

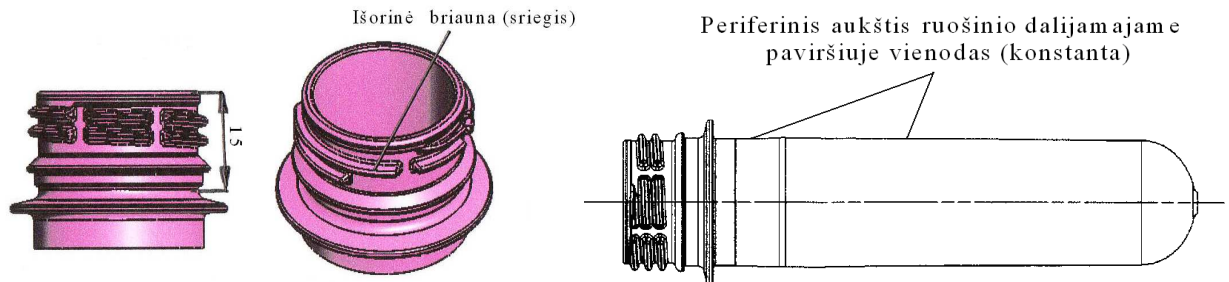
$$M_t = (135 + 2 \cdot 39,4) = 213,8\text{mm}.$$

Iš (5.5pav) parenkame preliminarias formos medžiagos sąnaudas (C_{dm}) duotam ruošiniui kuris yra 8,8 ir galutinės preliminarios ruošinio apdirbimo sąnaudos yra:

$$C_d = 0,8C_{dc} + 0,2C_{dm}; \quad (5.14)$$

$$C_d = 0,8 \cdot 206 + 0,2 \cdot 8,8 = 166.$$

Alternatyvų įvertinimas: dvi priežastys, kurios turi ruošinio sudėtingumo apdirbimui, tai kaklelio zonoje esančios briaunos (sriegiai), kurios sudaro išorines išpjovas. Mes sumažinsime kaklelio aukštį iki 15mm (sutaupomi ruošinio ir formos šerdies medžiagos ištekliai) ir sumažinsime briaunų (sriegių) skaičių iki 7, be to ruošinio periferinį aukštį perkonstruosim į vienodą (konstantą).



5.7 pav. Perkonstruotas ruošinys

5.1 lentelė

Preliminarios apdirbimo sąnaudos presuojamojo liejimo formavimo būdai

Suprojektuotas ruošinys

Preliminarios ruošinio konstrukcijos apdirbimo sąnaudos

Ruošinio pagr. matmenys	Lm = 135	Bm = 35	Hm = 35	Dėžės-formos pavidalo
Bazinis ruošinio komplektavimas	pirmasis laipsnis = 2	antrasis laipsnis = 3	$C_b = 2,44$	
Papildomas ruošinio komplektavimas	trečiasis laipsnis = 2	ketvirtasis laipsnis = 0	$C_s = 1,60$	
Ta/Ra	penktasis laipsnis = 1	šeštasis laipsnis = 0	$C_t = 1,00$	

Preliminarios ruošinio konstrukcijos apdirbimo sąnaudos (C_{dc}) $C_{dc}(72)$	$C_b C_s C_t = 3,9$ $C_{dc}(n_c) = C_{dc}(0.73n_c + 0.27)$ $3,9(0.73 \cdot 72 + 0.27) = 206$
--	--

Preliminarios formos medžiagos sąnaudos

Lm = 135	Bm = 35	Hm = 35
Lm/Hm = 3,86		C = 0,14

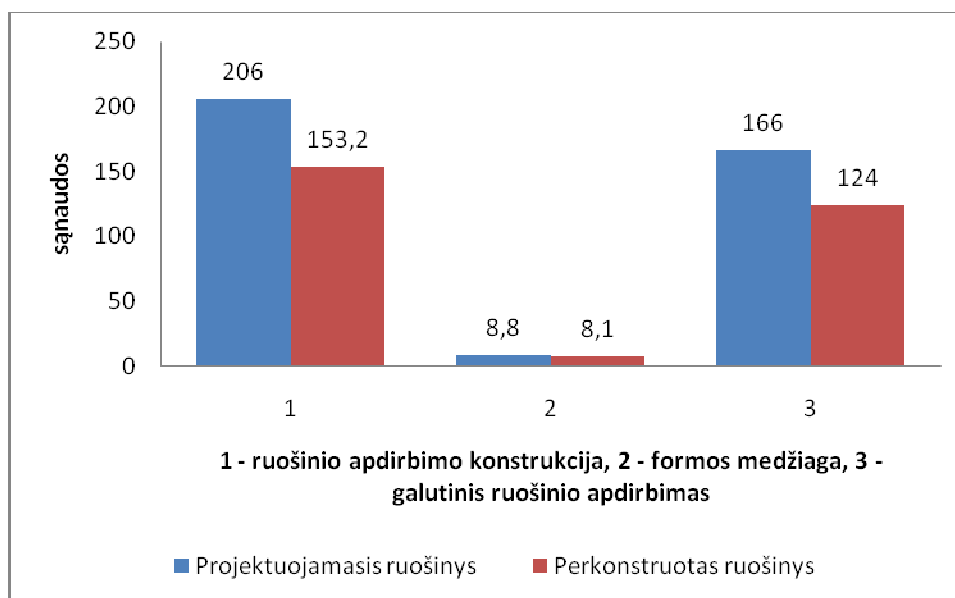
$M_{ws} = (0.006CL_m^4)^{1/3} = 65,3\text{mm}$
$M_{wf} = 0.04L_m^{4/3} = 39,4\text{mm}$
$M_a = (12M_{ws} + H_m)(24M_{ws} + B_m) = 1310599,6\text{mm}^2$
$M_t = (L_m + 2M_{wf}) = 213,8\text{mm}$

$C_{dm} = 8,8$	$C_d = 0.8C_{dc} + 0.2C_{dm} = 166$
----------------	-------------------------------------

Perkonstruotas ruošinys

Ruošinio pagr. matmenys	Lm = 130	Bm = 35	Hm = 35	Dėžės-formos pavidalo
Bazinis ruošinio komplektavimas	pirmasis laipsnis = 1	antrasis laipsnis = 3	$C_b = 2,38$	
Papildomas ruošinio komplektavimas	trečiasis laipsnis = 1	ketvirtasis laipsnis = 0	$C_s = 1,25$	
Ta/Ra	penktasis laipsnis = 1	šeštasis laipsnis = 0	$C_t = 1,00$	

Preliminarios ruošinio konstrukcijos apdirbimo sąnaudos (C_{dc}) $C_{dc}(72)$	$C_b C_s C_t = 2,9$ $C_{dc}(n_c) = C_{dc}(0.73n_c + 0.27)$ $2,9(0.73 \cdot 72 + 0.27) = 153,2$
Preliminarios formos medžiagos sąnaudos $C_{dm} = 8,1$	Galutinės preliminarios ruošinio apdirbimo sąnaudos $C_d = 0.8C_{dc} + 0.2C_{dm} = 124$
Sutaupyta % = $(166-124) \div 166 = 0,253 = 25,3\%$	



5.8 pav. Ruošinio alternatyvų įvertinimas:

Taigi perkonstruojant gaminį preliminarios ruošinio konstravimo sąnaudos (C_{dc}) sumažėjo - 25%, preliminarios formos medžiagos sąnaudos (C_{dm}) - 7,9% ir galutinės preliminarios ruošinio

apdirbimo sąnaudos sumažėjo (C_d) – 25,3%.

Šis ištirtas DFM metodas padeda atkreipti projektuotojų dėmesį į tas presuojamojo liejimo formavimo ypatybes, kurios yra linkusios didinti gaminio apdirbimo sąnaudas. Tyrime naudojame „šešių laipsnių koduojančia sistema“ tam, kad nustatyti galutines preliminarias ruošinio apdirbimo sąnaudas. Čia pabrėžiamos tos ypatybės, kurios žymiai didina kainą, kad projektuotojai galėtų sumažinti gaminamos detalės sudėtingumą. Naudojant pristatytą metodologiją, projektuotojai gali įvykdyti ruošinių apdirbimo sąnaudų įvertinimą ankstyvojoje konstravimo stadijoje. Tai gali būti įvykdyta pasitelkiant jų apytiksle vieta ir orientacija. Išsamūs matmenys nėra būtini. Metodologija parodo tai, ką detalių charakteristikos įtakoja kainai, kad pagerintų perkonstruotą detalę.

6. IŠVADOS

- Darbe naudojamas DFM metodas padeda sistemiskai mažinti presuojamojo liejimo formų detalių mechaninio apdirbimo operacijų darbo imlumą, užtikrinant reikiamą liejamo gaminio kokybę.
- Naudojant šią metodologiją projektuotojai gali nustatyti presuojamojo liejimo formos detalių ruošinių apdirbimo sąnaudų įvertinimą ankstyvojoje konstravimo stadijoje.
- Siekiant mažiausių gamybos sąnaudų ir optimalaus gaminio funkcionalumo, naudotinas formos detalių alternatyvų įvertinimas.
- DFM (konstravimo gamybai lengvinti) metodo eksperimentinis tyrimas parodė jo teisingumą naudojant presuojamojo liejimo formoms konstruoti ir gaminti.
- Presuojamojo liejimo formavimo detalių sąnaudų nustatymui pateiktas procentinis tikslumas.

Tamošauskas A. DFM (Design For Manufacturability) methodology application to the part, made from plastic: Master thesis of mechanical engineer/research advisor prof. habil. dr. A.Bargelis; Šiauliai University, Technological Faculty, Mechanical Engineering Department. – Šiauliai, 2008. 55p.

SUMMARY

The master's thesis presents the review of design manufacture method. Mechanical part design plays an important role whether company will succeed in market or will fail.

From my point of view there are three main measures of the DFM (Design For Manufacture) process: cost, quality and time, which are pivotal in design process. Regardless of the product being designed – whether it is an entire system or some small subpart of a larger product - the customer and management always want it cheaper, better and faster.

In this project has described a systematic approach for calling designers attention to those features of injection molding that tend to increase the tooling cost to manufacture parts – and for estimating the relative costs of tooling. The system employs a six – digit coding system for determining total relative tooling cost, which groups parts according to their similarity in tool construction difficulty. The system highlights those features that significantly increase cost so that designers can minimize difficult – to – produce features.

Using the DFM methodology presented, designers can perform a tooling cost evaluation of a proposed part using only the information available at the configuration stage of part design. Detailed dimensions are not needed. The methodology points out what features or arrangements of features contribute to the cost so that the direction of improved redesign is made apparent.

LITERATŪRA

1. Poli. C. Design for Manufacturing: A Structured Approach, Butterworth Heinemann, Boston, 2001.p.376
2. Poli C. Escudero. J, Fernande. R. How part design affects Injection Molding Tool Costs. Machine Design 60, 1988, p101 – 104
3. Poli. C, Dastidar. P, graves. R.A. design Knowledge Acquisition for DFM Methodologies. Research in engineering Design, 1992, p 131- 145
4. Jonas Bareišis, Vaclovas Tričys. Polimerų ir kompozitų mechanika. Šiauliai, 2003
5. Husky Injection Molding System Ltd.2005.
6. Dym, J.B. Product Design with Plastics. New York: Industrial Press,1983
7. Bargelis A. Integruotos gamybos pagrindai. Kaunas, 1998.
8. Lawrence P. Design Process Error-Proofing: International Industry Survey and Research Roadmap/. P. Lawrence, Chao, K. A. Beiter (Corresponding Author), Kosuke Ishii// Design Division, Mechanical Engineering Dept. Stanford University; Stanford, California, 94305-4022, USA.
9. Gutauskas M. Techninės kūrybos pagrindai. Kaunas, 1996.
10. Herrmann J.W. New Directions of Design for Manufacturing/ J.W.Herrmann, J.Cooper/ Available from Internet: www.google.lt , keyword: DFM tools
11. Mašinų gamybos ekonomika, organizavimas ir planavimas. Vilnius, 1976.
12. <http://distance.ktu.lt/cdk/courses/541>, keyword DFX
13. http://www.engineersedge.com/design_guidelines.htm
14. <http://www.npd-solutions.com/dfmcons.html>