

Ruiskuvalu

Tuula Höök – Tampereen teknillinen yliopisto

Sanna Nykänen – Tampereen teknillinen yliopisto

Valuprosessi

Ruiskuvalu on termoplastisten polymeerien ja elastomeerien, termosettien ja joidenkin silikonilaitujen valamiseen käytettävä menetelmä. Ruiskuvalulaitteistoon kuuluu ruiskuvalukone, ruiskuvalumuotti ja (usein koneesta erillään oleva) muotin jäähdyttämiseen käytettävä laitteisto.

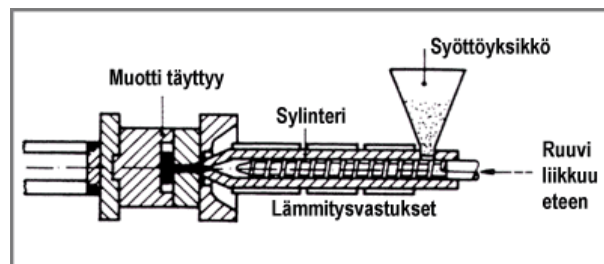
Ruiskuvalukoneen valujakso voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin:

- Muotin sulkeminen
- Muotin täyttäminen eli ruiskutus (Kuva 1 a)
- Jälkipaine ja kappaleen jäähdytys (Kuva 1 b)
- Muotin avaaminen ja kappaleen ulostyöntö (Kuva 1 c)

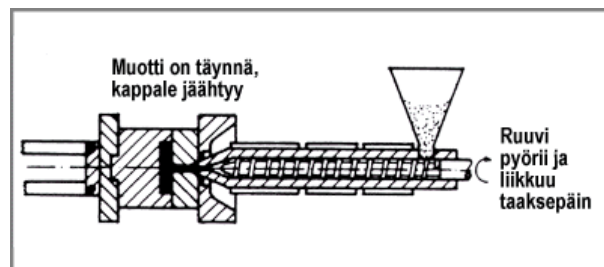
Näiden rinnalla kulkee toinen prosessi, jonka tarkoituksena on valmistaa uusi raaka-aineannos täytettäväksi muottiin seuraavan valujakson aikana. Annoksen valmistamiseen kuuluu:

- Raaka-aineen syöttö ruuville
- Raaka-aineen plastisointi

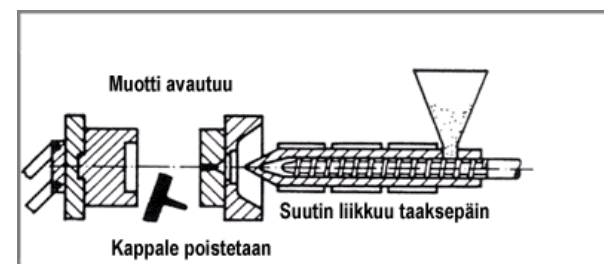
a) Muotin täyttäminen



b) Jälkipaine ja kappaleen jäähdytys

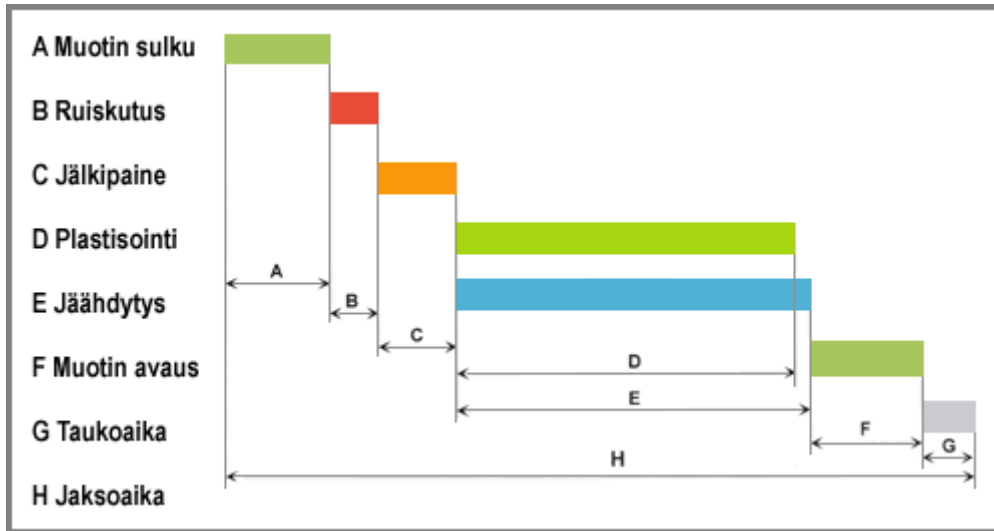


c) Muotin avaaminen ja kappaleen ulostyöntö



Kuva 1. Ruiskuvaluprosessin vaiheet

Ruiskuvalukoneen valujakson vaiheet on esitetty väripylväin seuraavassa kuvassa (Kuva 2). Pylvään pituus kuvaa kunkin vaiheen suhteellista kestoa. Ruiskuvalukoneen jaksoaika (H) on aika, joka alkaa muotin sulkemisesta (A) ja kestää muotin avaamista ja kappaleen poistamista (F) seuraavan tauon (G) loppuun. Jaksoaika on siis yhden muottipesällisen valmistukseen kuluva aika. Se riippuu kappaleen muodoista ja valettavan materiaalin ominaisuuksista. Kappaleen jäädyttämiseen kuluva aika (E) vaikuttaa eniten kokonaisjaksoajan pituuteen.



Kuva 2. Ruiskuvalun vaiheet ja ruiskuvalukoneen jaksoajan jakautuminen. (Lähde: Järvelä et al., Ruiskuvalu, Plastdata Oy, 2000)

Raaka-aineen syöttö ruuville

Raaka-aineen syöttö tapahtuu yksinkertaisimmillaan painovoimaan perustuvana virtauksena syöttösuppilosta ruuviin. Hyvin usein raaka-aineen syöttölaitteen yhteydessä on raaka-aineen kuivauslaitteisto. Jos raaka-aine ei virtaa hyvin, käytetään apuna pakkosyöttölaitteita.

Muotin sulkeminen

Muotin sulkemislake on alussa nopea ja hidastuu sulkemisen loppuvaiheessa muotin jakopintojen ollessa lähellä toisiaan. Ruiskuvalukoneet luokitellaan sulkuvoiman perusteella. Sulkuvoimalla tarkoitetaan voimaa, jolla ruiskuvalukone kykenee puristamaan muottipuoliskoja toisiaan vasten valuprosessin aikana.

Muotin täyttäminen

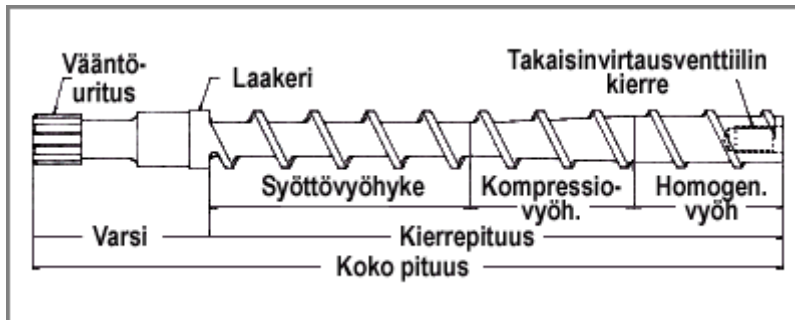
Ruiskuvaluprosessin tärkein vaihe on muotin täyttäminen. Perusvaatimuksena on, että massan jähmettymisen pitäisi tapahtua mahdollisimman tasaisesti ja tästä syystä muotin tulee täyttyä nopeasti, käytännössä niin nopeasti kuin mahdollista.

Ruiskuvalukone kuljettaa kappaleen valuprosessin rinnalla raaka-aineen valmisteluprosessia. Ruiskutusyksikössä on jo odottamassa valmis raaka-aineannos, kun muottia suljetaan. Ruiskutusyksikkö voidaan raaka-aineesta ja siinä olevan suuttimen tyypistä riippuen pitää jatkuvasti muotissa kiinni tai ajaa taaksepäin muotin täyttövaiheen päätyttyä. Muotin täyttäminen eli ruiskutus voidaan aloittaa heti, kun muotti on täysin suljettu ja ruiskutusyksikön suutin on tiiviisti muotin suutinta vasten. Ruiskutuksen kesto vaihtelee kymmenesosasekunneista muutamaan sekuntiin muovilajista, kappaleen paksuudesta ja muodosta riippuen. Ruiskutusvaiheella täytetään muottipesän tilavuudesta n. 95 %.

Ruiskutusvaihetta seuraa jälkipainevaihe, jonka tarkoituksena on täyttää ruiskutusvaiheessa täytymättä jäänyt osa muottipesän tilavuudesta sekä kompensoida muovin kutistumaa. Jälkipaineella on huomattava vaikutus kappaleen mittatarkkuuteen, muovin sisäisiin jännityksiin sekä kappaleen painoon.

Raaka-aineen plastisointi

Ruiskuvalukone aloittaa uuden raaka-aineannoksen valmistelun jälkipainevaiheen päätyttyä. Vaihetta kutsutaan plastisoinniksi. Plastisointi tapahtuu nykyisissä koneissa ulkoisen lämmön ja ruuvien avulla. Seuraavassa kuvassa (Kuva 3) on esitetty kaaviokuva normaalista ruiskuvalukoneen ruuvista eri vyöhykkeineen.



Kuva 3. Ruiskuvalukoneen ruuviin vyöhykkeet. Ruuvi jaetaan kolmeen vyöhykkeeseen: syöttö-, kompressio- (paineistus) ja homogointivyöhyke. Syöttövyöhykkeen tehtävänä on raaka-aineen kuljettaminen ja tiivistäminen; kompressiovyöhykkeen tehtävänä sen sulattaminen. Sulamiseen tarvittava energia syntyy pääasiassa raaka-ainepartikkelien esim. granulaattien hankautuessa toisiinsa ja sylinterien seinämiä vasten. Hankauksessa partikkeleihin kohdistuu leikkaavia voimia. Samalla vapautuu energiaa. Homogointivyöhykkeellä sulatettu massa sekoitetaan mahdollisimman tasalaatuiseksi.

Usein muovimateriaalista irtoaa sen plastisoinnin aikana höyryjä ja kaasuja, jotka voivat aiheuttaa valukappaleeseen huokoisuutta tai heikentää sen pinnanlaatua. Kappaleen pinnasta on helposti havaittavissa, jos muottiin on jäänyt ilmaa tai vesihöyryä. Ongelman ratkaisemiseksi on kehitetty ns. kaasunpoistoruuveja.

Jäähdytys

Muovimassan jäähtyminen alkaa välittömästi sen kohdattua kylmän muottipinnan, mutta varsinaisen jäähtytysajan katsotaan alkavan jälkipainevaiheen päätyttyä. Jäähdytysajasta muodostuu ruiskuvalukappaleen jaksonaika hallitseva tekijä, sillä muovien ruiskutuslämpötilat ovat suhteellisen korkeita (150 - 450 °C) ja massan lämpötilan on laskettava n. 60 - 200 °C:een ennen kuin kappale voidaan poistaa muotista.

Muotin avaus ja ulostyöntö

Kun kappale on jäähtynyt ja jähmettynyt riittävästi muotissa, voidaan muotti avata ja kappale työntää muotista ulos. Jos taukoaikaa ei tarvita, voidaan seuraava ruiskuvalujakso aloittaa tämän jälkeen. Usein taukoaika on tarpeellinen, jos esim. kappale ei irtoa muotista yhdellä ulostyöntökerällä. Kun taukoaika on päättynyt, alkaa uusi ruiskuvalujakso muotin sulkemisella.

Ruiskuvalukone

Ruiskuvalukoneen (Kuva 4) pääasialliset tehtävät ovat muotin avaus ja sulkeminen, muottipuolikaiden riittävän sulkuvoiman muodostaminen, plastisoidun massan ruiskutus muottiin ja uuden massa-annoksen plastisointi seuraavaa muotin täyttämistä varten.

Ruiskuvalumuotti valmistetaan lähes aina pelkästään yhtä tuotetta tai tuoteperhettä varten. Koneetta voidaan kuitenkin käyttää yhdessä erilaisten muottien kanssa siten, että muotin koko ja valettavan kappaleen tilavuus ovat koneelle sopivat. Muovisula ruiskutetaan useimmiten hyvin suurella nopeudella muottipesään. Vaadittavan nopeuden saavuttamiseksi ja muotin täyttymisen varmistamiseksi tarvitaan korkea ruiskutuspainne. Ruiskutuspainne aiheuttaa muotissa massan paineen, joka pyrkii aukaisemaan muottia ja tälle voimalle tarvitaan vastavoima, eli sulkuvoima.

Ruiskuvalukoneet luokitellaan yleensä sulkuvoiman, ruiskutuspaineen tai ruuvikoon mukaan. Tavanomaisille koneille alueet ovat yleisesti seuraavat:

- Sulkuvoima 200 - 100000 kN
- Ruiskutuspainne 120 - 250 MPa
- Ruuvin halkaisija 18 - 120 mm

Ruiskuvalukone voidaan jakaa neljään toiminnalliseen yksikköön:

- Sulkuyksikkö
- Ruiskutusyksikkö
- Käyttöyksikkö
- Ohjausyksikkö

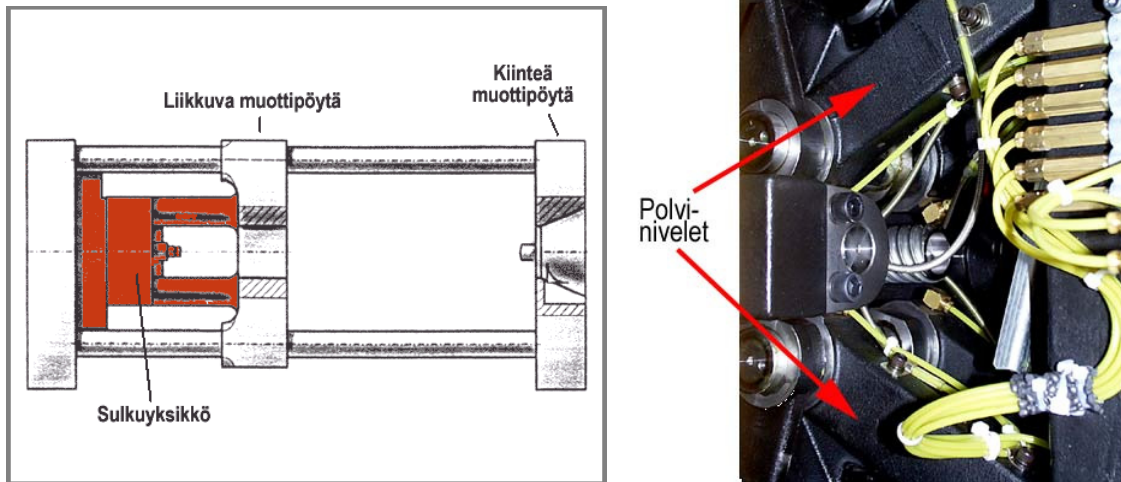


Kuva 4. Ruiskuvalukone.

Sulkuyksikkö

Sulkuyksikkö (Kuva 5) on yleensä ruiskuvalukoneen kookkain osa. Sulkuyksikkö avaa muotin kappaleen ulostyöntöä varten ja sulkee sen ennen seuraavan massan ruiskutusta. Sulkuyksikkö koostuu kolmesta levystä, joista etulevy on kiinteästi kiinni ruiskuvalukoneen rungossa ja johon muotin etupuolisko kiinnitetään. Takimmainen levy toimii sulkuyksikön toisena ankkurilevynä. Etu- ja takalevy ovat normaalisti kiinni toisissaan neljän yhdensuuntaisen johteen avulla. Näiden levyjen välissä on kolmas levy, johon kiinnitetään takamuotti ja joka pystyy liikkumaan vapaasti etu- ja takalevyn välisten johteiden välissä. Takalevyyn on rakennettu ns. ulostyöntösyylinteri, joka ohjaa takamuotissa olevaa kappaleenpoistomekanismia.

Sulkuvoima on keskeisin ruiskuvalukoneen kokoa ja suorituskykyä kuvaava tekijä. Sulkuvoimat vaihtelevat muutamasta tonnista aina 10 000 tonniin asti. Useimmissa ruiskuvalukoneissa on polvinivelistö, joka tukee liikkuvaa muottipöytää ruiskutusprosessin aikana ja tuottaa sulkuvoiman yhdessä sulkusylinterin kanssa.



Kuva 5. Vasemmalla: Sulkusyysikön rungon kaaviokuva. Oikealla: Polvinivelistöä.

Ruiskutusyksikkö

Ruiskutusyksikön päätehtävät ovat:

- Lämmittää ja plastisoida muoviraaka-aineet, jotka on syötetty supillon kautta koneen sylinteriin
- Ruiskuttaa plastisoitu muoviraaka-aine muottipesään
- Muodostaa jälkipaine

Lisäksi:

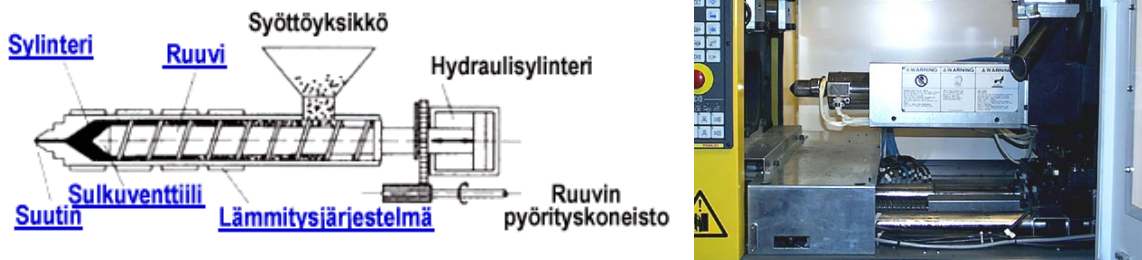
- Siirtää tarvittaessa ruiskutusyksikkö muottia vasten ja vastaavasti irrottaa sen ruiskutusjaksion jälkeen
- Muodostaa voima, jolla ruiskutusyksikön suutin pidetään tiiviisti muotin suutinta vasten

Ruiskutusyksikön tärkeimmät osat ovat syöttösuppilo, sylinteri, ruuvi, sulkurengas, suutin sekä lämmitysvastukset (Kuva 6). Ruuvi liikkuu plastisointivaiheessa taaksepäin keräten eteensä yhteen ruiskutuskertaan tarvittavan materiaalmäärän. Itse ruiskutusvaiheessa ruuvi liikkuu eteenpäin työntäen plastisoitua massaa muottiin ja ruuvissa oleva sulkurengas estää massan virtauksen taaksepäin. Ruiskutustilavuus on eräs ruiskuvalukoneen kokoa kuvaava suure.

Ruiskutusliike saadaan aikaan hydraulisylinterillä, joka työntää ruuvia eteenpäin antaen massalle ruiskutuspaaineen, joka maksimissaan on alueella 1500...2000 bar.

Ruiskutussylinterin kärjessä on suutin, jonka kautta massa ruiskutetaan muottiin. Suutin voi olla varustettu sulkumeکانismilla, joka estää massan virtaamisen plastisointivaiheen aikana pois sylinteristä. Sulkusuutin voi olla joko ulkoisesti ohjattu tai paineohjattu.

Massan takaisinvirtaus sylinterissä estetään sulkurenkaan avulla, joka toimii eräänlaisena takaiskuventtiilinä systeemissä.



Kuva 6. Vasemmalla: Kaaviokuva ruiskutusyksiköstä. Oikealla: Ruiskutusyksikkö.

Ohjausyksikkö

Pääosa ruiskuvalukoneista on tällä hetkellä tietokoneohjattuja. Ohjaus tapahtuu ns. ohjausyksikön avulla. Ohjausyksiköllä säädetään ja ohjataan normaalisti seuraavia toimintoja:

- Sylinterilämpötilat, sulan, kuumakanavan ja muotin lämpötila
- Kierukkaruuvien pyörimisnopeus, ruiskutusnopeus
- Jälkipaine
- Pöydän liikkeet, keernatoiminnot

Muotti

Muotti on ruiskuvalukoneen vaihdettava osa, jonka avulla ruiskuvaltavalle kappaleelle annetaan haluttu muoto. Ruiskuvalumuotti on paineastia, joka on mitoitettava kestävänsä sulan materiaalin paine valutapahtuman aikana. Käytännössä paine saattaa nousta korkeimmillaan aina 2 000 bar saakka.

Ruiskuvalumuottien valmistukselle on tällä hetkellä tyypillistä se, että muotit pyritään tekemään mahdollisimman pitkälle standardiosista ja moduulirakenteisena. Standardiosista ja modulaarisuudesta on esimerkiksi seuraavia hyötyjä:

- Muotti on nopeampi valmistaa
- Osat ovat vaihtokelpoisia
- Muotin laatu on parempi
- Vanhoja muotteja voidaan käyttää uudelleen

Yksinkertaisimmillaan muotti koostuu kahdesta osasta, jotka on kiinnitetty ruiskuvalukoneen muottipöytiin. Kaksi peruselementtiä, kiinteä muottipuolikas ja liikkuva puolikas, voidaan löytää jokaisesta ruiskuvalumuotista.

Muotin perustehtävät ovat

- Toimia massasulan juoksukanavana
- Antaa ruiskuvalukappaleelle haluttu muoto
- Jäähdyttää ja jähmettää massasula kiinteään muotoon
- Poistaa valmis kappale muottipesästä

Ruiskuvalun prosessiparametrit

Ruiskuvalun prosessiparametrit jakaantuvat seuraavanlaisesti:

- **Lämpötilat:** Sylinteri ja muotti
- **Nopeudet:** Ruuvin pyörimisnopeus (annostelunopeus), ruuvin ruiskutusnopeus ja jälkipainenopeus (muotin liikenopeus ja ulostyöntönopeus)
- **Paineet:** Vastapaine, ruiskutusaine, jälkipaine
- **Ajat:** Jälkipaineaika, jäähtytysaika (maksimi ruiskutusaika ja annostelu-aika)

Annostelunopeus

Nostamalla ruuvin pyörimisnopeutta eli annostelunopeutta pystytään lyhentämään annostelu-aikaa. Liian suuri annostelunopeus saattaa johtaa sulamattomiin granulaatteihin ja massan hajoamiseen. Osittain kiteisten muovien annostelun pitäisi tapahtua hitaammin kuin amorfisten muovien.

Vastapaine

Vastapaine vastustaa ruuvin liikettä taaksepäin plastisoinnin aikana. Vastapaine auttaa massan homogenoimista ja sulattamista lisäämällä massan sisäistä kitkaa. Sisäisen kitkan vaikutus on suurimmillaan ruuvin etuosan homogenoituvuudella. Liian matala vastapaine saattaa johtaa epähomogeeniseen sulaan, jossa voi jopa olla osittain sulamattomia granulaatteja. Liian suuri vastapaine puolestaan voi johtaa massan termiseen hajoamiseen. Amorfisten muovien vastapaineen kesto ruiskuvalussa on yleensä huomattavasti pienempi kuin osittain kiteisten muovien.

Ruiskutusaine

Ruiskutuksen aikainen paine ei ole vakio. Asetusarvo saavutetaan usein vasta muotin täyttymisvaiheen lopussa. Ruiskutusainetta on oltava riittävästi, jotta massa saadaan virtaamaan riittävästi muotin täyttymiseen. Paineita ei kuitenkaan saisi olla tätä enempää. Ohutseinäiset tuotteet, jotka vaativat pitkä virtausmatkan, vaativat myös korkean ruiskutusaineen.

Ruiskutusnopeus

Ruiskutusnopeus säätelee ruiskutusvaihetta. Tarkoituksena on saavuttaa pienin mahdollinen ruiskutusaine, jolla muotti saadaan täyttymään. Ruiskutusnopeudella on vaikutus kappaleen pinnanlaatuun ja sisäisiin jännityksiin. Muovi on ruiskutettava niin nopeasti, ettei sen jähmettymistä ehdi tapahtumaan ennen muotin täyttymistä.

Jälkipaine ja painenvaihto ruiskutusaineelta jälkipaineelle

Jälkipaineella pyritään kompensoimaan massan termisen kutistumisen sen jähmettyessä. Paineen vaihtaminen oikeassa kohdassa ruiskutusaineelta jälkipaineelle on tärkeää, sillä vääräaikainen vaihto voi johtaa esim. mittatarkkuusongelmiin kappaleessa, jännityssäröilyyn sekä sisäisiin jännityksiin (jäännösjännitykset).

Painenvaihtokohta määräytyy joko

- ruuvin matkasta
- tai ruiskutusajasta
- tai hydraulipaineesta
- tai muottipaineesta

Myöhästynyt paineenvaihto aiheuttaa painepiikin ja saattaa vahingoittaa muottia sekä aiheuttaa pursetta. Liian aikainen vaihto voi puolestaan aiheuttaa vajavaisesti täyttyneen kappaleen sekä erittäin hidas lopputäyttö voi johtaa kosmeettisiin ongelmiin tai heikkoihin yhtymäsaumoihin.

Jälkipainevaiheessa ruuvi liikkuu hitaasti ja puristaa massaa muottiin. Se on tyypillisesti 40 -80 % ruiskutusaineesta. Jos jälkipaine ei ehdi vaikuttaa riittävää aikaa, syntyy kappaleen pintaan epäta-saisuuksia, kuplia ja kieroutumista. Liian korkea jälkipainetaso johtaa sisäisiin jännityksiin kappaleessa ja vastaavasti liian matala jälkipainetaso johtaa liian vajaan täyttöön. Jälkipaineaika on riippuvainen portin koosta sekä kappaleen seinämänvahvuudesta.

Sylinterin lämpötila

Sylinterin lämpötila on riippuvainen materiaalista (raaka-ainetoimittajien ohjelämpötilat!) sekä jonkin verran annoskoosta ja kappaleen seinämänvahvuudesta. Heikosti virtaavat materiaalit tarvitsevat korkeamman sylinterin lämpötilan.

Muotin lämpötila

Muotin lämpötilalla on vaikutus

- Sykلياikaan: muotin lämpötilan nostaminen yhdellä asteella pidentää sykliä 2%.
- Tuotteen ominaisuuksiin:
 - kiteisyysasteeseen ja kiteiden kokoon
 - jäännösjännityksiin -> vääntyilyyn
 - pintavirheisiin
 - kutistumaan

Korkealla muotin lämpötilalla saavutetaan usein paremmat tuoteominaisuudet. Samalla kuitenkin sykلياika pidentyy.

Jäähdytysaika

Jäähdytysjakso alkaa heti massasulan virratessa muottiin. Sitä jatketaan kunnes kappale on mitoit-taan tarkka sekä riittävän jäykkä., jottei sen deformatumista tapahdu poistettaessa sitä muotista. Jäähdytys jatkuu siis vielä jälkipaineen jälkeenkin.

Poistettaessa ruiskuvalukappale muotista, joutuu se muotista poikkeavaan ympäristöön. Lämpöti-laolosuhteet saattavat muuttua sekä jälkipaineen aiheuttamat sisäiset jännitykset pystyvät purkautumaan kappaleen muodon vääristymänä, koska muotin tukea ei enää ole. Lyhyt jäähdytys-aika vaikuttaa usein merkittäväällä tavalla kappaleen jännitysten laukeamiseen ulostyönnön jälkeen. Pitkä jäähdytysaika puolestaan yleensä pienentää kappaleessa syntyvää kutistumaa.

Ruiskuvaltavat materiaalit

Ruiskuvalua käytetään kestopuovien, termoelastien ja kumien työstön lisäksi myös jossakin määrin kertamuovien ja lujitemuovien valmistuksessa. Ruiskuvalumenetelmä soveltuu lähinnä seuraavissa tapauksissa:

- Materiaali muovattavissa paineen avulla
- Materiaalilla riittävät virtausominaisuudet
- Epäsyyntetrinen muotokappale
- Suuret valmistusmäärät

Esimerkiksi seuraavat materiaalityypit ovat työstettävissä ruiskuvalun avulla:

- Kestomuovit
- Kertamuovit
- Seokset
- Komposiitit
- Solumuovit
- Kumit
- Keraamit
- Metallit

Erikoisprosessit

Ruiskuvaluprosessia voidaan modifioida vastaamaan erilaisia tarpeita ja siitä onkin kehitetty monenlaisia erikoistekniikoita. Seuraavassa on mainittu joitain niistä.

- **Kaasuavusteinen ruiskuvalu**
- **Monikomponenttiruiskuvalu**
- **Muotissa pinnoittaminen:** Muotissa pinnoittamisen tavoitteena on saada ruiskuvalettava kappale kerralla valmiiksi. Näin pystytään välttämään kappaleen pintakäsittely ja pinnoittaminen jälkeensä. Suursarjatuotannossa muotissa pinnoittaminen on huomattavasti jälkeensä tapahtuvaa pinnoittamista edullisempi vaihtoehto. Erilaisia muotissa pinnoittamisen tekniikoita ovat:
 - **Muotissa etiketöinti:** Muottionkaloön asetetaan etiketti, joka on mahdollista kiinnittää muotin pintaan kiinni alipaineen avulla ja ruiskuvalun aikana se tarttuu kiinni sulaan muovimassaan. Näin tehdään pääasiassa etikettejä muovikappaleen tasomaisiin pintoihin. Prosessi on melko hidas, sillä etiketin laitto muottionkaloön tapahtuu muotin ollessa auki.
 - **Pinnoittaminen insertin avulla:** Ruiskuvalettavaan kappaleeseen haluttu pinnoite laitetaan valmiina inserttinä muottionkaloön.
 - **Siirtokalvopinnoitus:** Siirtokalvopinnoituksessa valmiiksi tehty kalvo lämmitetään ennen ruiskuvalua ja muovataan muotin muotoihin, jonka jälkeen muottionkalo täytetään muovilla.
- **Taustaruiskuvalu:** Taustaruiskuvalussa ruiskuvalettava kappale pinnoitetaan esim. tekstiilikudoksella ruiskuvaluprosessissa.

Lähteet

Järvelä et al., Ruiskuvalu, Plastdata Oy, 2000.

Polymeerimateriaalien prosessointi- luentomoniste, TTY, Muovi- ja elastomeeritekniikan laboratorio.

Ruiskuvalukoulutus- luentokalvot, Heli Vesanto.

Polymeerimateriaalien muotit ja työkalut- luentomoniste, TTY, Muovi- ja elastomeeritekniikan laboratorio.