

Painevalukappaleen mittatarkkuus ja toleranssit

Tuula Höök – Tampereen teknillinen yliopisto

Painevalukappaleen muoto- ja mittatarkkuus riippuvat seuraavista tekijöistä:

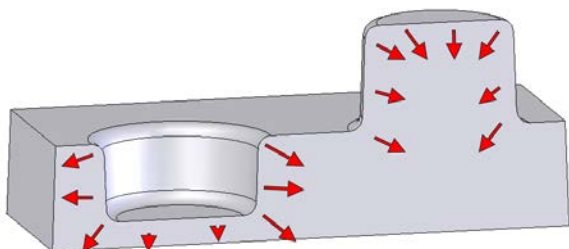
- Muotin lämpötasapaino
- Muotin lujuus ja jäykkyys
- Ulostyöntön aikana tapahtuva laahautuminen ja takertuminen
- Jakolinjan sijainti
- Liikkuvien keernojen sijainnit

Muotin lämpötasapaino

Muotin lämpötasapaino vaikuttaa valukappaleen mitta- ja muototarkkuuteen useilla mekanismeilla. Mekanismit vaikuttavat periaatteessa joko muottiin tai kappaleeseen. Muita kohteita ei ole.

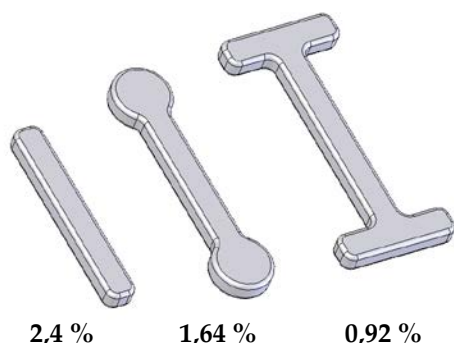
Painevalumuotteihin käytettävillä teräksillä on tietty lämpöpidenemiskerroin, joka on otettu huomioon kappaleen kutistumakertoimessa. Kutistumakerroin huomioi ulostyöntölämpötilan ja huoneenlämpötilan välisen kutistuman ja sen lisäksi muotin lämpöpidenemisen. Kappaleen ulostyöntölämpötila voi vaihdella valukierrosta toiseen riippuen muotin lämpötilasta, metallin valulämpötilasta sekä lämpöhäviöistä annostelun ja valukierron aikana. Jos valulaitteisto on hyvin lämpötasapainossa, ulostyöntölämpötila pysyy suhteellisen vakiona. Lämpötasapainon saavuttamiseen kuluu 1 – 2 tuntia sen jälkeen, kun tuotanto on aloitettu, mutta toisaalta tasapainotila hukkuu jo lyhyenkin tauon aikana. 5 – 10 minuutin pysähdys on riittävä.

On hyvin vaikea määrittellä täsmällisesti, kuinka paljon muottiteräs on lämpöpidentynyt ulostyöntön aikana, koska muotin lämpötila vaihtelee eri puolilla muottipesää ja myös ajan suhteen. Lämpö siirtyy varsin hitaasti, jonka vuoksi muottipesän alla ja sivuilla oleva muottiteräs lämpenee vielä sen jälkeen, kun kappale on jo poistettu muotista. Muotin korkeat ja kapeat kohdat (keernapinnat) lämpenevät muutaman kymmenen valukierron jälkeen korkeampaan tasapainolämpötilaan kuin syvennykset (pesäpinnat) ja tasomaiset muotin osat. Lämpeneminen on voimakkaampaa, koska muotissa on näillä kohdin vähemmän lämpöä johtavaa ainetta. (Katso kuva alla.)



Kuva 1. Muotin syvennysten (pesäpintojen) ja tasomaisten pintojen takana on enemmän lämpöä johtavaa materiaalia kuin ulokkeiden (keernapintojen) alla. Tästä syystä keernat lämpenevät korkeampaan tasapainolämpötilaan kuin tasopinnat tai syvennykset.

Keernat vastustavat kappaleen vapaata kutistumista. Valukappaleessa oleva, muotin sisällä vapaasti liikkuva tasomainen alue voi kutistua miltei kaksinkertaisesti keernojen välissä olevaan alueeseen verrattuna. (Katso kuvat seuraavalla sivulla)



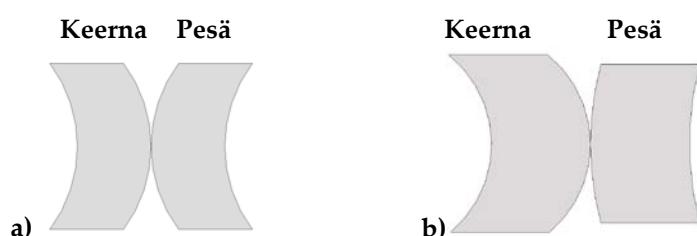
Kuva 2. Erilaiset muodot kutistuvat eri tavoin. Jos kuvassa olevat valukappaleet olisivat teräksisiä, kutistumat olisivat merkittyjen prosenttien mukaiset. Kuva perustuu lähteeseen J. Campbell, *Castings*, 2nd edit.

Muottipesä työstetään hiukan kappaleen toivottuja mittoja suuremmaksi. Kappaleen mitat kerrotaan kutistumakertoimella eli krympillä. Periaatteessa kutistumakertoimen suuruus on määritettävissä valumateriaalin ja muottimateriaalin lämpöpitenemiskertoimien perusteella, mutta käytännössä tarkka määrittäminen ei ole mahdollista. Kutistumakertoimen arvo riippuu sekä valumateriaalista että kappaleen muodoista. Useimmiten käytetään jotakin valimokohtaista, käytännössä hyväksi havaittua arvoa. Alumiinisen painevalukappaleen kutistuma vaihtelee esimerkiksi välillä (0,0 %) 0,2 % – 0,7 %, vaikka alumiinin lämpöpitenemiskerroin on huomattavasti suurempi.

Jos kappaleessa on tarkaksi toleroituja mittoja, valimon tulisi kyetä pitämään laitteiston lämpötilat mahdollisimman vakiona valukierrosta toiseen. Ulostyöntölämpötilan tulisi pysyä mahdollisimman samana ja muotin lämpötilan tulisi olla jatkuvasti kontrolloitu siten, että laitteisto säätää muotin, ei pelkästään jäähdytysaineen lämpötilaa. Perinteiset öljy- tai vesikiertoon perustuvat temperointilaitteistot eivät säädä muotin lämpötilaa suoraan. Ne säätävät kiertävän nesteen lämpötilaa ja vasta sen avulla muotin lämpötilaa. Vastaava tilanne koskee ruiskutuslaitteistoja. Ruiskutuksen kesto ja ruiskutusaineen vesipitoisuus säädetään kokemuserustaisesti tietylle tasolle, joka pysyy samana muotin lämpötilassa tapahtuvista muutoksista riippumatta. Jos muotin lämpötila halutaan säätää tosiaikaisesti, muottiin tulee asettaa lämpötila-antureita ja liittää ne temperointilaitteistoon.

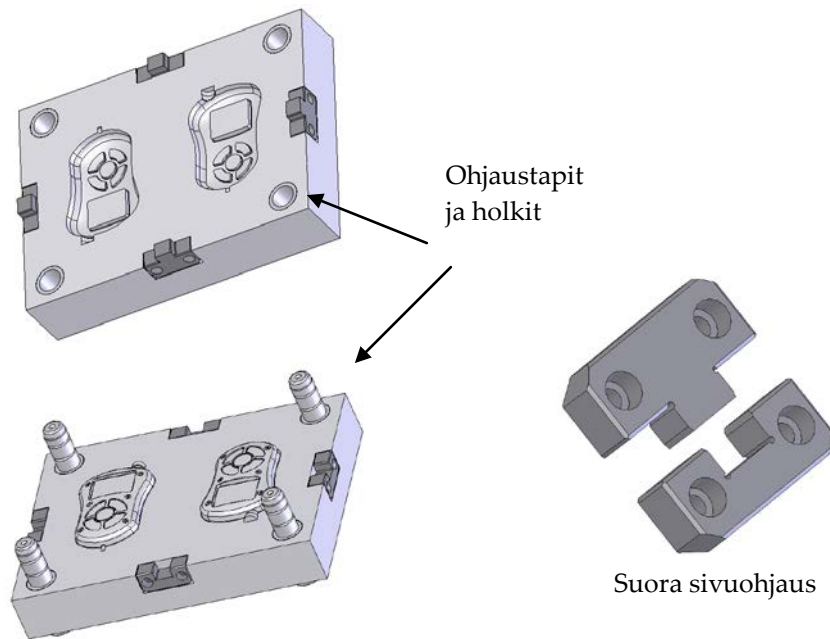
Kun muotin valmistusmateriaalit lämpenevät, ne laajenevat lämpöpitenemiskertoimeen ja muotin eri osien lämpötiloihin verrannollisesti. Jos muottimateriaalien lämpöpitenemiskertoimet ovat samat ja lämpötila kaikkialla muotissa on sama, muotti pysyy täysin tasomaisena ja muottipuoliskot sopivat hyvin toisiinsa. Tavallisesti tilanne ei kuitenkaan ole näin hyvä. Muottipesän pinta on lämpimämpi kuin muut alueet ja muotti taipuu (Kuva 3a).

Ihanteellisessa tilanteessa muottipuoliskojen lämpötilat olisivat samat. Useimmiten muotin keernapuoli lämpenee korkeampaan tasapainolämpötilaan kuin muotin pesäpuoli. Lämpötilaerot muottipuoliskojen välillä johtavat tilanteeseen, joka on esitetty mainitun kuvan kohdassa b).



Kuva 3. a) Taipuma, joka johtuu muottimateriaalin sisällä olevista lämpötilaeroista. b) Taipuma, joka johtuu muottimateriaalin sisällä olevista lämpötilaeroista ja muottipuoliskojen välisistä lämpötilaeroista. Keernapuoli pyrkii lämpenemään pesäpuolta enemmän.

Muotin perusohjaukset muodostuvat ohjaustapeista ja holkeista. Näillä perusohjauksilla lämpötilaerojen aiheuttamia mittamuutoksia voidaan tasapainottaa jossain määrin, mutta suurempi paikoitustarkkuus vaatii ylimääräiset ohjaukset muotin tai muottipesän sivuille. (Katso seuraavat kuvat).

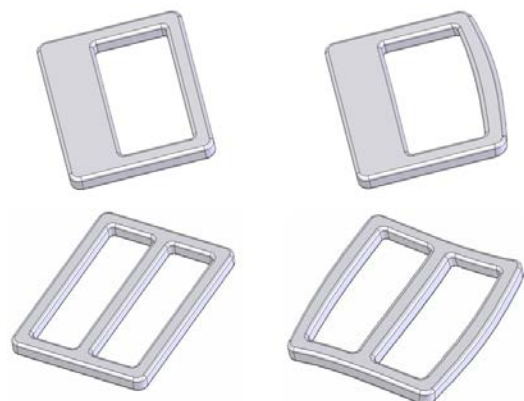


Kuva 4. Painevalumuottiin ja esimerkiksi ruiskuvalumuottiin sopivat sivuohjaukset. Muottipesän tai muottilaatan sivuille asennettavilla ylimääräisillä ohjauksilla voidaan paikoittaa muottilaatat tarkemmin yhteen kuin perusohjauksilla. Perusohjauksia ovat ohjaustapit ja -holkit. Ohjaustapit ja -holkit valmistetaan sopivilla sovitteilla siten, että ne sietävät jonkin verran lämpötilaeroja muottipuoliskojen välillä. Samalla ne kuitenkin sallivat jonkin verran epätarkkuutta muottipuoliskojen paikoituksessa.

Jos muotissa on kuumia ja viileämpiä kohtia, muotti taipuu, mutta samalla taipuu myös valukappale. Lämpötilavaihtelut aiheuttavat kappaleeseen sisäisiä jännityksiä, koska kutistumis- ja kiteytymisolosuhteet ovat eri lämpötiloissa erilaiset. Kun kappale on poistettu muotista, osa jännityksistä purkaantuu ja kappale alkaa vääntyillä. Jos kappaleeseen on suunniteltu sekä ohuita että paksuja kohtia tai kohtia, jotka jostain muusta syystä kerryttävät lämpöä muottiin, niistä voi aiheutua valuteknisin keinoin vaikeasti hallittavia ongelmia. Tämän tyyppiset ongelmat tulisi ennakoida jo kappaletta suunniteltaessa.

Jos sisäiset jännitykset keskittyvät sopivasti, paksut kohdat voivat jopa murtua rasiitettuna. Valukappaleeseen voi muodostua rakenteita, jotka muistuttavat vääntymien tutkimisessa käytettäviä rasiitusristikkoita. On syytä harkita tarkkaan ennen kuin suunnittelee alla olevan kuvan mukaisia ristikkorakenteita valukappaleeseen.

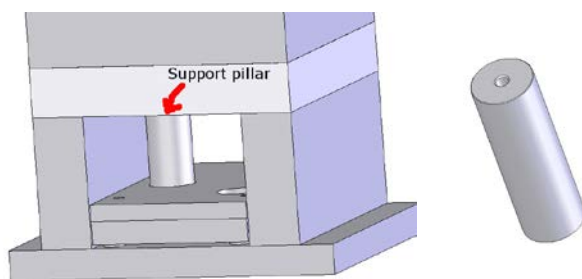
Kuva 5. Vääntymien tutkimisessa käytettävää rasiitusristikkoa muistuttavia muotoja. Erilaiset jäähtymisnopeudet aiheuttavat vääntymiä ja sisäisiä jännityksiä. Kappale voi jopa murtua rasiitettuna paksuimmasta kohdasta, jos jännitykset kertyvät ei-toivotulla tavalla. Jäykistysriivoista voi tulla tällainen rakenne, jos niitä ei suunnitella huolella.



Muotin ja koneen lujuus ja jäykkyys

Jokainen valuisku aiheuttaa voimakkaan rasituksen muotin liikkuvan puoliskon muottilaataan ja valukoneen sulkujärjestelmään. Liikkuvan muottipuoliskon muottilaatta makaa sivukiskojen päällä eikä koneen pöytä tue sitä samalla tavoin kuin kiinteällä puolella. Tästä syystä liikkuva muottilaatta tuetaan tavallisesti rakennetta jäykistävillä tukipylväillä (support pillar). Ilman niitä muottipesän sisäinen paine taivuttaa muottilaatan valuiskun aikana.

Painevalukone on varustettu hydraulis-mekaanisella tai sähköis-mekaanisella sulkujärjestelmällä. Sulkujärjestelmä pitää muotin kiinnityspöydät tiukasti toisiaan vasten painautuneina valuiskun aikana. Jos mekanismi on riittävän vahva, muotti pysyy kiinni. Jos mekanismin voima ei riitä, muotti raottuu valuiskun aikana päästäten jonkin verran alumiinia pursuamaan muotin jakotasolle. Valukappaleeseen muodostuu pursetta ja samalla valukappaleen syvyyssuuntaiset mitat kasvavat hieman.



Kuva 6. Muotin ulostyöntölaatikkoon kiinnityslaatan ja muottilaatan välille asetettu tukipylväs (support pillar).

Ulostyönnön tai muotin avautumisen aikana tapahtuva kappaleen laahautumisen ja takertelu

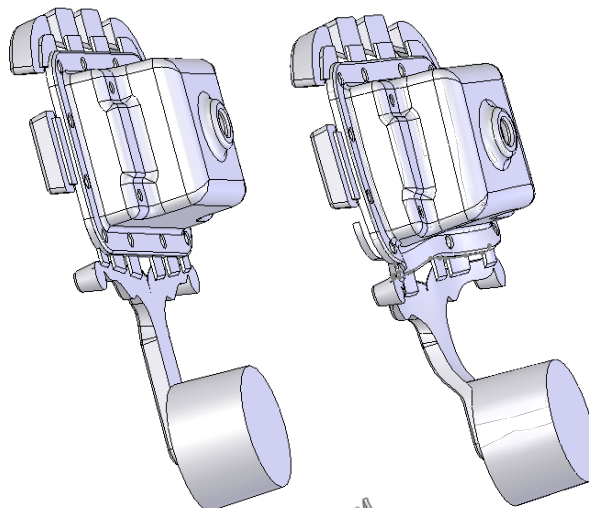
Laahautumista ja takertelua tapahtuu, jos:

- Valukappaleessa on liian pieniä hellityksiä
- Valukappaleessa on vastapäästöjä
- Valumetalliseos (tyypillisesti alumiini tai sinkki) hitsaantuu muottipesän pintaan
- Tabletti juuttuu männän päähän kylmäkammion menetelmässä
- Ruiskutusainetta alkaa kerrostua muottipesän pintaan liian paksult, jolloin kitka kappaleen ja muotin välillä kasvaa

Jos valukappale laahaa ulostyönnön tai muotin avautumisen aikana tiettyä, muottipesän pinnassa olevaa kohtaa vasten, siihen alkaa muodostua paljain silmin selvästi näkyviä naarmuja tai jopa uria. Naarmut ja urat kopioituvat valukappaleen pintaan suonimaisina ulkonemina, jotka voivat sellaisenaan johtaa kappaleen hylkäämiseen.

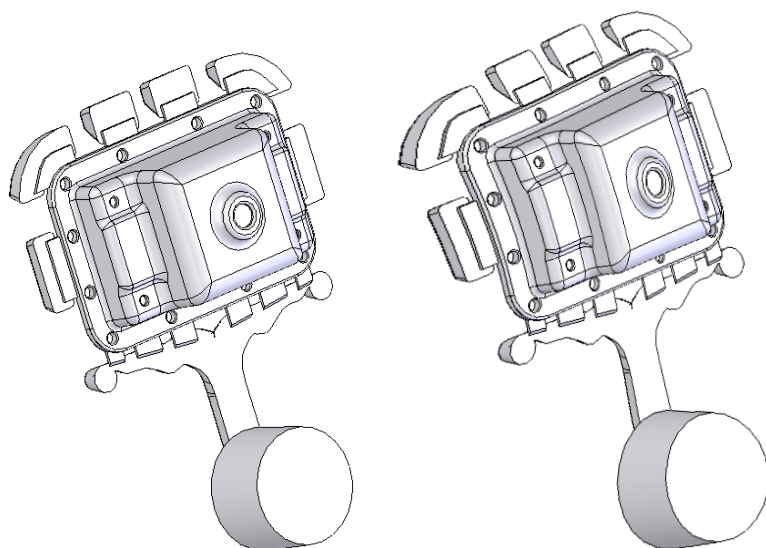
Laahautuminen ja takertelu voi aiheuttaa myös mittamuutoksia. Jos tabletti esimerkiksi juuttuu mäntään kiinni, kappale murtuu valuportin kohdalta, mutta ennen kuin murtuma tapahtuu, valukappaleeseen kohdistuu vetojännityksiä. Vetojännitykset voivat vääntää vielä pehmeän kappaleen. Kuva 7 esittää juuttuneen tabletin aiheuttamat vääntymät mittasuhteiltaan liioiteltuina.

Samanlainen vaikutus on sillä, että kappale takertuu kiinteään muottipuoliskoon esimerkiksi hitsautumisen, vastapäästöjen tai hellittämättömien pintojen vuoksi. Seuraava kuva (Kuva 9) näyttää, mitä vaikutusta on liikkuvalla puolella tapahtuvalla takertelulla. Muotin ja koneen ulostyöntöjärjestelmä kohdistaa ulostyöntövoimat epätasaisesti kappaleen eri puolille, koska osa kappaleesta irtoaa helposti ja osa ei. Epätasaiset ulostyöntövoimat taivuttavat ja vääntävät kappaletta, koska se kiilaantuu muottipesään vinoon asentoon.



Kuva 7. Vasemmalla: Vääntymätön jakokanavisto ja muototarkka valukappale. Oikealla: Vääntynyt kanavisto ja kappale, jossa on muotoepätarkkuutta. Vääntymät on aiheuttanut määntään juuttunut tabletti.

Kuva 8. Kanaviston vääntymät. Jakokanava voi katketa paksusta, mutta vielä lämpimästä kohdasta tai portin kohdalta. Ennen kuin murtuma tapahtuu, kappale altistuu vetojännityksille.

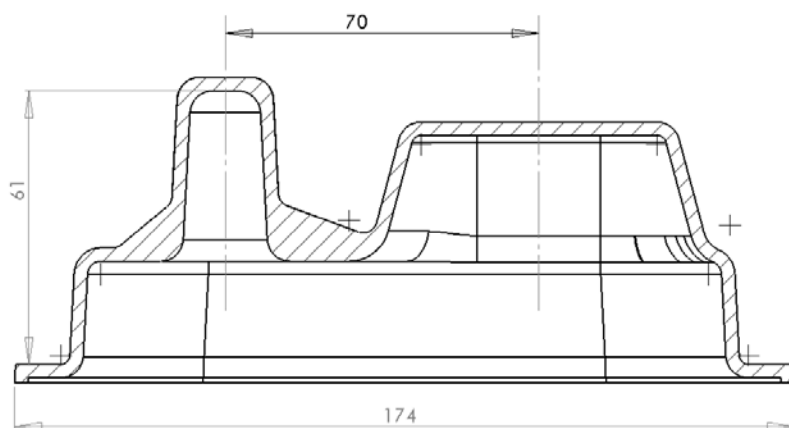


Kuva 9. Vasemmalla: Normaali, mitan ja muodon suhteen tarkka kappale. Oikealla: Vääntymiä, jotka ovat aiheutuneet epätasaisista ulostyöntövoimista. Vaikutus on esitetty kuvassa liioiteltuna. Epätasainen ulostyöntövoima voi kääntää ulostyöntölaatat vinoon ja rikkoa ulostyöntimet, jos kappale juuttuu riittävän voimakkaasti muottiin kiinni.

Jakolinjan ja liikkuvien keernojen sijainnit sekä niiden vaikutus kappaleen mittatarkkuuteen

Jakolinjan ja liikkuvien keernojen paikat vaikuttavat valukappaleen toleransseihin. North American Die Casting Association (NADCA) on määritellyt säännöt toleranssien laskemista varten. Toleranssit määritellään erikseen mitoille yhden muottipuoliskon sisällä ja mitoille muottipuoliskojen välillä. Jakolinja ja liikkuvat keernat suurentavat toleranssialuetta + -suunnassa, koska muotti voi raottua ja liikkuva keerna antaa myöten, mutta mittojen pieneneminen ei ole mahdollista. Uusin kansainvälinen ISO standardi mainitsee, että: *“Many dimensions of a casting are affected by the presence of a mould joint or a core, requiring increased dimensional tolerance.”*¹ Standardi ei kuitenkaan esitä sääntöjä, joiden mukaan toleranssit voisi laskea.

Mitat, joissa on tiukkoja mittatoleranssivaatimuksia, tulisi asettaa samaan muottipuoliskoon. Toisinaan on hankala hahmottaa, milloin mitta on samassa muottipuoliskossa ja milloin se ylittää jakotason. (Kuva 10).



Kuva 10. Mitat yhdessä muottipuoliskossa ja jakopinnan ylitse muottipuoliskojen välillä. Mitat 174 mm ja 70 mm ovat mittoja yhdessä muottipuoliskossa olevien piirteiden välillä. 61 mm mitta ylittää jakotason, koska se on mitta kappaleen ulko- ja sisäpuolella olevien piirteiden välillä.

Toleranssien asettaminen

North American Die Casting Association (NADCA) on laatinut standardin painevalukappaleen toleranssien laskemista varten. Kansainvälinen ISO -standardi sarja, ISO 8062 käsittelee myös valukappaleiden toleransseja. Sarja korvaa aikaisemman ISO 8062:1994 -standardin. ISO 8062:1994 ei käsitellyt lainkaan painevalukappaleita. Uusi standardisarja sisältää ohjeistuksen kaikkia valumenetelmiä varten.

Uusi ISO 8062-1...3 -standardisarja määrittelee valutoleranssit DCT (Dimensional Casting Tolerance) asteina ja GCT (Geometrical Casting Tolerance) asteina. Aikaisempi ISO 8062 määritteli toleranssit yksinkertaisesti CT (Casting Tolerance) asteina.

ISO 8062-1...3 -standardisarja koostuu seuraavista osista.

- ISO 8062-1:2007 Geometrical product specifications (GPS). Dimensional and geometrical tolerances for moulded parts. Part 1: Vocabulary²

¹ Muotin liitoskohta tai keerna vaikuttaa useisiin valukappaleen mittoihin ja niihin tarvitaan suurempi mittatoleranssialue.

² ISO 8062-1:2007 Geometriset tuotespesifikaatiot (GPS). Mitta- ja muototoleranssit valetuille kappaleille. Osa 1: Sanasto

- CEN ISO/TS 8062-2 Geometrical Product Specifications (GPS). Dimensional and geometrical tolerances for moulded parts. Part 2: Rules (ISO/TS 8062-2:2013)³
- ISO 8062-3:2007 Geometrical product specifications (GPS). Dimensional and geometrical tolerances for moulded parts. Part 3: General dimensional and geometrical tolerances and machining allowances for castings⁴

Painevalukappaleen toleranssit jaetaan NADCA standardissa kahteen ryhmään: normaalit toleranssit (normal tolerances) ja tarkkuustoleranssit (precision tolerances). Kansainvälinen ISO standardi ei käytä näitä käsitteitä, mutta määrittelee tiukimman toleranssiasteen valimon kanssa erikseen sovitavaksi. Tarkkuustoleranssit voivat olla vaikeammin saavutettavissa ja ne voivat aiheuttaa enemmän kustannuksia kuin normaalitoleranssit, koska valimon on huolehdittava prosessoinnin aikaisesta lämpötasapainosta huolellisemmin kuin normaalitoleranssien tapauksessa.

Muotin on lisäksi oltava jäykempi ja paremmin testattu. Tavallisesti jäykkyys vaatii paksummat laatat, joiden vuoksi muotista tulee kalliimpi valmistaa.

NADCA -standardi määrittää seuraavat toleranssit⁵:

- mittatoleranssi
- kulmatoleranssi, johon kuuluu tasomaisuus-, yhdensuuntaisuus- ja kohtisuoruustoleranssi
- samankeskisyystoleranssi
- jakopinnan siirtymätoleranssi
- tasomaisuustoleranssi

ISO 8062 määrittää seuraavat toleranssit:

- mittatoleranssi
- yhdistetty ympyrämäisyys-, yhdensuuntaisuus-, kohtisuoruus- ja symmetriatoleranssi
- samankeskisyystoleranssi
- suoruustoleranssi
- tasomaisuustoleranssi

Mittatoleranssit

Mittatoleranssit kattavat saman muottipuoliskon sisällä olevien mittojen toleroinnin ja muottipuoliskojen välisten mittojen toleroinnin. ISO 8062-3 standardi pyytää huomioimaan mitat, jotka ylittävät jakotason, mutta ei anna tarkkoja sääntöjä, kuinka nämä mitat tulisi huomioida.

³ CEN ISO/TS 8062-2:fi Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Muotilla valmistettujen kappaleiden mittatoleranssit ja geometriset toleranssit. Osa 2: Säännöt. Julkaistu 28.10.2013

⁴ ISO 8062-3:2007 Geometriset tuotespesifikaatiot (GPS). Mitta- ja muototoleranssit valetuille kappaleille. Osa 3: Yleiset mitta- ja muototoleranssit ja koneistusvarat valukappaleille

⁵ NADCA: Product Specification Standards for Die Castings, USA, 2006

Taulukko 1. NADCA mittatarkkuustoleranssit, mitat samassa muottipuoliskossa

Standardi	Alumiini	Magnesium	Sinkki	Kupari
Normaali	+/- 0,25 mm per 25 mm + lisäksi +/- 0,025 mm per jokainen täysi 25 mm			+/- 0,36 mm per 25 mm + lisäksi +/- 0,076 mm per jokainen täysi 25 mm
Tarkkuus	+/- 0,05 mm per 25 mm + lisäksi +/- 0,025 mm per jokainen täysi 25 mm			+/- 0,18 mm per 25 mm + lisäksi +/- 0,05 mm per jokainen täysi 25 mm

Taulukko 2. ISO 8062-3:2007 mittatoleranssit

Suurin mitta	Alumiini	Magnesium	Sinkki	Kupari
≤ 50 mm	DCTG 6:		DCTG 3 – 6	DCTG 6 – 8
> 50 mm ≤ 180 mm	DCTG 7			
> 180 mm ≤ 500 mm	DCTG 8			
> 500 mm	DCTG 9			

Taulukko 3. NADCA mittatoleranssit, mitat jakotason ylitse; normaali (ja tarkkuus-) toleranssit

Valukappaleen projisioitu pinta-ala	Sinkki	Alumiini	Magnesium	Kupari
65 cm²	+0,114 mm (+0,076) mm	+0,14 mm (0,089) mm	+0,14 mm (+0,089) mm	+0,20 mm (+0,20) mm
65 – 130 cm²	+0,13 mm (+0,089) mm	+0,165 mm (+0,102) mm	+0,165 mm (+0,102) mm	+0,23 mm (+0,23) mm
130 – 325 cm²	+0,15 mm (+0,102) mm	+0,19 mm (+0,153) mm	+0,19 mm (+0,153) mm	+0,25 mm (+0,25) mm
325 – 650 cm²	+0,23 mm (+0,153) mm	+0,30 mm (+0,203) mm	+0,30 mm (+0,203) mm	-
650 – 1300 cm²	+0,30 mm (+0,203) mm	+0,46 mm (+0,305) mm	+0,46 mm (+0,305) mm	-
1300 – 1950 cm²	+0,46 mm (+0,305) mm	+0,61 mm (+0,406) mm	+0,61 mm (+0,406) mm	-

Taulukko 4. NADCA mittatoleranssit, mitta liikkuvaa keernaa kohti; normaali (ja tarkkuus-) toleranssit

Valukappaleen projisioitu pinta-ala	Sinkki	Alumiini	Magnesium	Kupari
65 cm ²	+0,15 mm (+0,127) mm	+0,20 mm (0,152) mm	+0,20 mm (+0,127) mm	+0,12 mm (+0,254) mm
65 – 130 cm ²	+0,23 mm (+0,178) mm	+0,33 mm (+0,254) mm	+0,33 mm (+0,178) mm	-
130 – 325 cm ²	+0,33 mm (+0,254) mm	+0,48 mm (+0,356) mm	+0,48 mm (+0,254) mm	-
325 – 650 cm ²	+0,48 mm (+0,356) mm	+0,61 mm (+0,457) mm	+0,61 mm (+0,356) mm	-
650 – 1300 cm ²	+0,66 mm (+0,483) mm	+0,81 mm (+0,61) mm	+0,81 mm (+0,483) mm	-
1300 – 1950 cm ²	+0,81 mm (+0,61) mm	+0,1 mm (+0,762) mm	+0,1 mm (+0,61) mm	-

Muototoleranssit

Muototoleransseihin kuuluu suoruus-, tasomaisuus, yhdistetty ympyrämäisyys-, yhdensuuntaisuus-, kohtisuoruus- ja symmetriatoleranssi, samankeskisyys- sekä jakopinnan siirtymätoleranssi.

Taulukko 5. ISO 8062-3 suoruustoleranssi

Valukappaleen raakamitta (mm)		GCTG (Geometrical casting tolerance grade) aste suoruutta varten		
Alkaen	Asti	2: Vain erikseen sovittuna	3: Tavallinen valukappale, jossa ei ole liikkuvia keernoja vaativia muotoja	4: Monimutkainen valukappale ja kappale, jossa on liikkuvia keernoja vaativia muotoja
–	10	0,08	0,12	0,18
> 10	30	0,12	0,18	0,27
> 30	100	0,18	0,27	0,4
> 100	300	0,27	0,4	0,6
> 300	1000	0,4	0,6	0,9

Taulukko 6. ISO 8062-3 ja NADCA tasomaisuustoleranssit

Valukappaleen raakamitta (mm)		GCTG (Geometrical casting tolerance grade) aste tasomaisuutta varten			NADCA toleranssi tasomaisuutta varten
Alkaen	Asti	2: Vain erikseen sovittuna	3: Tavallinen valukappale, jossa ei ole liikkuvia keernoja vaativia muotoja	4: Monimutkainen valukappale ja kappale, jossa on liikkuvia keernoja vaativia muotoja	
—	10	0,12	0,18	0,27	Ensimmäinen 75 mm 0,20 mm + 0,08 mm jokaista 25 mm lisää- taa kohti ⁶
> 10	30	0,18	0,27	0,4	
> 30	100	0,27	0,4	0,6	
> 100	300	0,4	0,6	0,9	
> 300	1000	0,6	0,9	1,4	

Toleranssi mm

Taulukko 7. NADCA jakopinnan siirtymätoleranssi

Projisioitu pinta-ala	Toleranssi
< 325 cm ²	± 0,102 mm
325 - 650 cm ²	± 0,152 mm
650 - 1290 cm ²	± 0,203 mm
1290 - 1940 cm ²	± 0,279 mm
1940 - 3225 cm ²	± 0,406 mm
3225 - 5160 cm ²	± 0,508 mm
5160 - 7740 cm ²	± 0,635 mm

⁶ Lasketaan suurimmalle mitalle, esimerkiksi ympyrän halkaisija ja suorakaiteen mitta kulmasta kulmaan.

Taulukko 8. ISO 8062-3:2007 yhdistetty toleranssi ympyrämäisyyttä, samansuuntaisuutta, kohtisuoruutta ja symmetriaa varten

Valukappaleen raakamitta (mm)		2: Vain erikseen sovittuna	3: Tavallinen valukappale, jossa ei ole liikkuvia keernoja vaativia muotoja	4: Monimutkainen valukappale ja kappale, jossa on liikkuvia keernoja vaativia muotoja
Alkaen	Asti			
—	10	0,18	0,27	0,4
> 10	30	0,27	0,4	0,6
> 30	100	0,4	0,6	0,9
> 100	300	0,6	0,9	1,4
> 300	1000	0,9	1,4	2

Toleranssi mm

Taulukko 9. NADCA kulmatoleranssi (yhdistetty tasomaisuus-, yhdensuuntaisuus- ja kohtisuoruustoleranssi)

Standardi	Molemmat pinnat samassa muottipuoliskossa	Pinnat jakotason ylitse tai toinen pinnoista jakopinta	Molemmat pinnat samassa muottipuoliskossa, toinen pinnoista liikkuvan keernan pinta	Pinnat jakopinnan ylitse tai toinen pinnoista jakopinta, toleranssi liikkuvan keernan pinnan suhteen
Normaali	0,13 mm per 75 mm + 0,025 mm jokaista lisäksi tulevaa 25 mm kohti	0,20 mm per 75 mm + 0,038 mm jokaista lisäksi tulevaa 25 mm kohti	0,20 mm per 75 mm + 0,038 mm jokaista lisäksi tulevaa 25 mm kohti	0,28 mm per 75 mm + 0,076 mm jokaista lisäksi tulevaa 25 mm kohti
Tarkkuus	0,08 mm per 75 mm + 0,025 mm jokaista lisäksi tulevaa 25 mm kohti	0,13 mm per 75 mm + 0,025 mm jokaista lisäksi tulevaa 25 mm kohti	0,13 mm per 75 mm + 0,025 mm jokaista lisäksi tulevaa 25 mm kohti	0,20 mm per 75 mm + 0,05 mm jokaista lisäksi tulevaa 25 mm kohti

Taulukko 10. ISO 8062-3:2007 samankeskisyystoleranssi

Valukappaleen raakamitta (mm)		2: Vain erikseen sovittuna	3: Tavallinen valukappale, jossa ei ole liikkuvia keernoja vaativia muotoja	4: Monimutkainen valukappale ja kappale, jossa on liikkuvia keernoja vaativia muotoja
Alkaen	Asti			
–	10	0,27	0,4	0,6
> 10	30	0,4	0,6	0,9
> 30	100	0,6	0,9	1,4
> 100	300	0,9	1,4	2
> 300	1000	1,4	2	3

Toleranssi mm

Taulukko 11. NADCA samankeskisyystoleranssi

Projisioitu pinta-ala	Molemmat pinnat samassa muottipuoliskossa	Pinnat jakopinnan ylitse, lisätoleranssi
< 325 cm ²	0,20 mm per 75 mm + 0,05 mm jokaista lisäksi tulevaa 25 mm kohti	0,20 mm
325 – 650 cm ²		0,30 mm
650 – 1290 cm ²		0,41 mm
1290 - 1940 cm ²		0,56 mm

Liite 1: ISO 8062:2007 Valutoleranssiasteet (DCTG)

Taulukko esittää toleranssiasteet ja mittavälin, joka on käyttökelpoinen painevalujen tapauksessa.

Valukappaleen raakamitta (mm)		DCTG (Dimensional casting tolerance grade) –aste									
Alkaen	Asti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
–	10	±0,09	±0,13	±0,18	±0,26	±0,36	±0,52	±0,74	±1	±1,5	±2
10	16	±0,1	±0,14	±0,2	±0,28	±0,38	±0,54	±0,78	±1,1	±1,6	±2,2
16	25	±0,11	±0,15	±0,22	±0,3	±0,42	±0,58	±0,82	±1,2	±1,7	±2,4
25	40	±0,12	±0,17	±0,24	±0,32	±0,46	±0,64	±0,9	±1,3	±1,8	±2,6
40	63	±0,13	±0,18	±0,26	±0,36	±0,5	±0,7	±1	±1,4	±2	±2,8
63	100	±0,14	±0,2	±0,28	±0,4	±0,56	±0,78	±1,1	±1,6	±2,2	±3,2
100	160	±0,15	±0,22	±0,3	±0,44	±0,62	±0,88	±1,2	±1,8	±2,5	±3,6
160	250	–	±0,24	±0,34	±0,5	±0,7	±1	±1,4	±2	±2,8	±4
250	400	–	–	±0,4	±0,56	±0,78	±1,1	±1,6	±2,2	±3,2	±4,4
400	630	–	–	–	±0,64	±0,9	±1,2	±1,8	±2,6	±3,6	±5
630	1 000	–	–	–	–	±1	±1,4	±2	±2,8	±4	±6
1 000	1 600	–	–	–	–	–	±1,6	±2,2	±3,2	±4,6	±7

Toleranssi ± mm

Liite 2: ISO 8062:1994 Valutoleranssiasteet (CTG)

Käyttökelpoiset CT-asteet riippuvat valumenetelmästä ja valettavasta metalliseoksesta. Tavallinen painevalukappaleille sopiva toleranssiasteväli on CT 5-7 alumiini- ja magnesiumseoksille, CT 6-8 kupariseoksille ja CT 4-6 sinkkiseoksille.

Valukappaleen raakamitta (mm)		CTG (Casting tolerance grade) valutoleranssiasteet										
Alkaen	Asti	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
-	10	0,26	0,36	0,52	0,75	1,00	1,5	2,0	2,8	4,2	-	-
10	16	0,28	0,38	0,54	0,78	1,10	1,6	2,2	3,0	4,4	-	-
16	25	0,30	0,42	0,58	0,82	1,20	1,7	2,4	3,2	4,6	6,0	8,0
25	40	0,32	0,46	0,64	0,90	1,30	1,8	2,6	3,6	5,0	7,0	9,0
40	63	0,36	0,50	0,70	1,00	1,40	2,0	2,8	4,0	5,6	8,0	10,0
63	100	0,40	0,56	0,78	1,10	1,60	2,2	3,2	4,4	6,0	9,0	11,0
100	160	0,44	0,62	0,88	1,20	1,80	2,5	3,6	5,0	7,0	10,0	12,0
160	250	0,50	0,70	1,00	1,40	2,00	2,8	4,0	5,6	8,0	11,0	14,0
250	400	0,56	0,78	1,10	1,60	2,20	3,2	4,4	6,2	9,0	12,0	16,0
400	630	0,64	0,90	1,20	1,80	2,60	3,6	5,0	7,0	10,0	14,0	18,0
630	1000	-	1,00	1,40	2,00	2,80	4,0	6,0	8,0	11,0	16,0	20,0
1000	1600	-	-	1,6	2,2	3,0	4,6	7,0	9,0	13,0	18,0	23,0

Toleranssi ± mm

Lähteet

J. Campbell, Castings, 2nd edition, Elsevier, UK, 2005

ISO 8062: 1994 Castings – System of dimensional tolerances and machining allowances

EN ISO 8062-3:2007 Geometrical Product Specifications (GPS). Dimensional and geometrical tolerances for moulded parts. Part 3: General dimensional and geometrical tolerances and machining allowances for castings

Product Design for Die Casting, NADCA, USA 1998

Product Specification Standards for Die Castings, NADCA, USA, 2006