POLIMER MAHSULOTLARIDA DEFORMATSIYA VA QOLDIQ KUCHLANISHLARNI ANIQLASH

Yusubov Abdulaziz Abdulajonovich
Toshkent davlattexnika universiteti Olmaliq filiali o‘quv bo‘limi boshlig‘i
E-mail: abdulaziz.yusupov1@tdtu.uz
Yo‘ldashev Hayrullo Hasanboy o‘g‘li
Toshkent davlattexnika universiteti Olmaliq filiali 2-bosqich tayanch doktoranti
E-mail: hayrulloh0411@gmail.com

Annotatsiya. Plastmassa buyumlarning ishlash sifatiga ularning ichki qoldiq kuchlanishlari va deformatsiya darajasi katta ta’sir ko‘rsatadi. Qolipdan chiqish paytida sovutish tezligi, geometrik murakkablik va materialning termal xususiyatlari natijasida qoldiq kuchlanishlar paydo bo‘ladi. Ushbu maqolada plastmassa buyumlarda deformatsiya va qoldiq kuchlanishlarni tahlil qilishning nazariy va sonli usullari ko‘rib chiqiladi. Hisoblashlar SolidWorks Simulation va ANSYS dasturlari yordamida amalga oshiriladi.

Kalit so‘zlar: polimer mahsulotlari, deformatsiya, qoldiq kuchlanishlar, mexanik xususiyatlar, tahlil usullari, termik ta’sir, elastiklik chegarasi, plastik deformatsiya.

Аннотация. На эксплуатационные качества пластиковых изделий значительное влияние оказывают их внутренние остаточные напряжения и степень деформации. Остаточные напряжения возникают в процессе охлаждения при извлечении из формы в результате скорости охлаждения, геометрической сложности и термических свойств материала. В данной статье рассматриваются теоретические и численные методы анализа деформации и остаточных напряжений в пластиковых изделиях. Расчёты выполняются с использованием программ SolidWorks Simulation и ANSYS.

Ключевые слова: полимерные изделия, деформация, остаточные напряжения, механические свойства, методы анализа, термическое воздействие, предел упругости, пластическая деформация.

Annotation. The operational quality of plastic products is significantly influenced by their internal residual stresses and degree of deformation. Residual stresses arise during the cooling process as the part is removed from the mold, due to cooling rate, geometric complexity, and the thermal properties of the material. This article examines theoretical and numerical methods for analyzing deformation and residual stresses in plastic products. The simulations are carried out using SolidWorks Simulation and ANSYS software.

Keywords: polymer products, deformation, residual stresses, mechanical properties, analysis methods, thermal effect, elastic limit, plastic deformation.

1. Kirish

Deformatsiya kirishishning disbalansi detalning mexanik mustahkamligidan ortiq bo‘lganda vujudga keladi.Agar kirishish **anizotrop** bo‘lsa — bu bosim ostida quyish (in’eksiya) yo‘li bilan tayyorlangan barcha detallar uchun xosdir. Biroq, agar u struktura mustahkamligini yemirish uchun yetarlicha

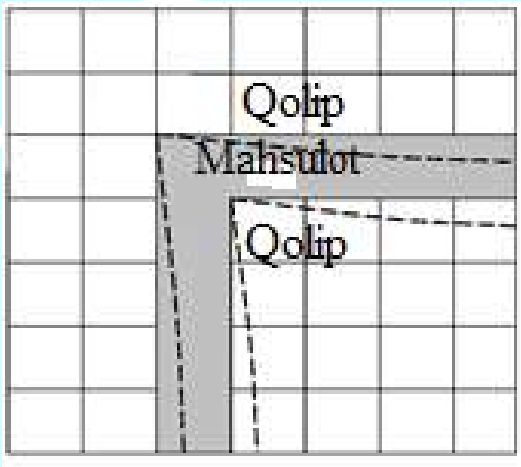
ISSN 3030-3907

kuchli bo‘lmasa, natijada **qoldiq kuchlanishlar** hosil bo‘ladi. Bu kuchlanishlar detalning muddatidan oldin yemirilishiga yoki vaqt o‘tishi bilan zaiflashishiga sabab bo‘lishi mumkin. Hajmiy va chiziqli kirishishlar jarayonning turli-tuman parametrlariga bog‘liq bo‘ladi.

Ularning orasida **issiqlikning detal qalinligi va maydoni bo‘ylab taqsimlanishi** eng muhim omil hisoblanadi. Oldingi bo‘limda hajmiy va chiziqli kirishish natijasida yuzaga keladigan kuchlanishlarning asosiy hodisalari ko‘rib chiqildi. Harorat muvozanatlashmagan holda taqsimlanganda bu kirishishlarning ta’siri ikki xil sabab bilan yuzaga kelishi mumkin:

1. Haroratning detal qalinligi bo‘ylab turlicha taqsimlanishi;
2. Haroratning detal maydoni bo‘ylab turlicha taqsimlanishi.

Detalning qalinligi bo‘ylab **harorat gradiyentlari** qarama-qarshi yuzalarning sovish tezliklari turlicha bo‘lishi tufayli vujudga keladi. Bu farq sovuq tomonda yuqori bosim ostida qalinroq qotgan qatlam hosil bo‘lishiga olib keladi. Natijada, bu qatlam issiqroq tomonga nisbatan deformatsion kuchlar hosil qiladi va sof **bukuvchi moment** paydo bo‘ladi. Boshqa bir misol — **burchaklarning g‘ijimlanishi** (1-rasmga qarang).Ichki burchakning sovishi qiyin kechadi va qalinlikning mahalliy ortishi tufayli o‘tkir burchak sohasida detalning boshqa qismlariga nisbatan ko‘proq chiziqli kirishish kuzatiladi. Natijada kichikroq burchak hosil bo‘ladi. O‘tkir burchakni **radius** bilan almashtirish orqali bu kirishishni kamaytirish mumkin.



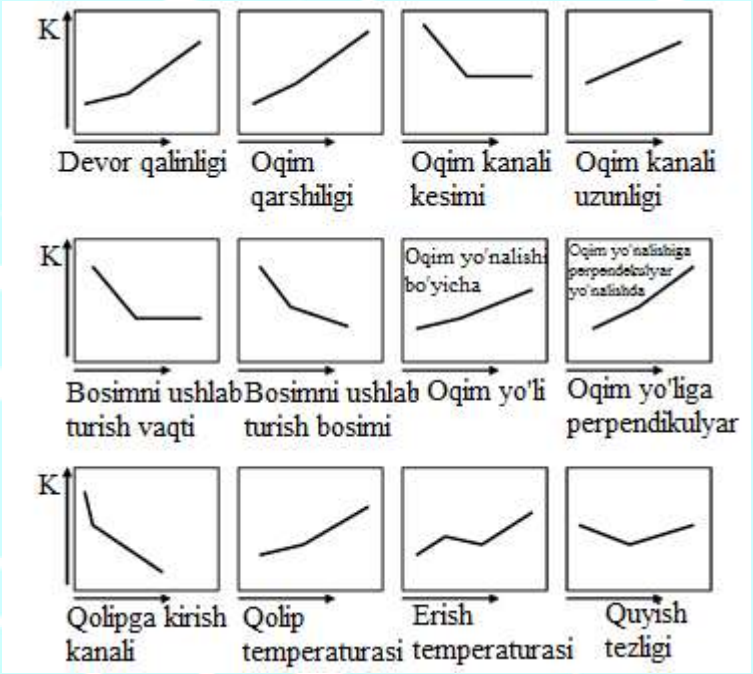
1-rasm. Burchakning ichki tomonidagi yomon sovish. Detalning deformatsiyaga tortilgan geometriyasi punktir chiziq bilan ko‘rsatilgan.

Turli zonalarda kirishish qolip devorlarining qalinligi, qurshab turuvchi bosim yoki haroratdagi farqlar bilan bog‘liq bo‘ladi. Yupqaroq uchastkalar, agar sovish tezligi doimiy bo‘lsa, qalin uchastkalarga nisbatan tezroq qotadi. Yupqa kesimda qotgan qatlam qalinlikning qalin kesimga qaraganda kattaroq qismini tashkil etadi. Shundan kelib chiqib, yuqori bosim ostida yupqa joylar avval qotadi va bu **kamroq kirishishga** olib keladi. Qolip devorlarining haroratlaridagi

ISSN 3030-3907

farqlar ham xuddi shunday ta’sir ko‘rsatadi: Sovuqroq uchastkalar issiqroq zonalardan issiqlikni tortib oladi va ular yuqori bosim ostida birinchi bo‘lib qotadi, bu esa issiqroq uchastkalarga qaraganda kamroq kirishish hosil qiladi.

G‘ijimlanishga bundan tashqari jarayonni shakllantirishdagi o‘zgarishlar, ya’ni press-qolip materiali va konstruksiyasidagi farqlar ham ta’sir ko‘rsatadi. Qoliplashning turli parametrlariga bog‘liq kirishish orasidagi asosiy bog‘liqlik **2-rasmda** keltirilgan.



2-rasm. Kirishish va bosim ostida quyishni parametrlari o‘rtasidagi bog‘lanish.

Plastmassa quyish jarayoni yuqori ishlab chiqarish samaradorligi bilan ajralib turadi, biroq unda issiqlik va mexanik jarayonlarning nomutanosibligi tufayli **qoldiq kuchlanishlar (σ_r)** hosil bo‘ladi.

Bu kuchlanishlar quyidagi salbiy oqibatlarga olib keladi:

- Detalning o‘lchamli aniqligi buziladi;
- Deformatsiya (warpage) yuzaga keladi;
- Mexanik mustahkamlik kamayadi.

Shuning uchun plastmassa detallarni loyihalashda issiqlik tarqalishi, sovutish tezligi va materialning elastik-parametrik xususiyatlarini chuqur o‘rganish zarur.

Asosiy fizik model

Qoldiq kuchlanishlarning hosil bo‘lishi termal va mexanik deformatsiyaning birgalikda kechishiga asoslanadi.

Umumiy holatda deformatsiya tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^{el} + \varepsilon_{ij}^{pl} + \varepsilon_{ij}^{th}$$

bu yerda:

ISSN 3030-3907

- ε_{ij}^{el} — elastik deformatsiya,
- ε_{ij}^{pl} — plastik deformatsiya,
- ε_{ij}^{th} — issiqlik ta'siridan hosil bo'lgan deformatsiya.

Issiqlik deformatsiyasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\varepsilon_{ij}^{th} = \alpha(T - T_0)$$

bu yerda:

- α — termik kengayish koeffitsienti,
- T— joriy harorat,
- T_0— dastlabki harorat.

Qoldiq kuchlanish esa Hook qonuni asosida:

$$\sigma_{ij} = E(\varepsilon_{ij} - \varepsilon_{ij}^{th})$$

bu yerda EEE — Young moduli (modul elastiklik).

3. Modellashtirish usuli

Tadqiqot quyidagi bosqichlarda olib boriladi:

- **Model yaratish:** 3D plastmassa detal SolidWorks yoki ANSYS'da yaratiladi.
- **Material parametrlari kiritiladi:**
- Polipropilen (PP): $E = 1.6 \times 10^9\ Pa$, $\alpha = 1.2 \times 10^{-4} 1/℃$
- Polikarbonat (PC): $E = 2.3 \times 10^9\ Pa$, $\alpha = 6.5 \times 10^{-5} 1/℃$
- **Sovutish shartlari:** qolip harorati 20°C, quyish harorati 230°C.

Chegaraviy shartlar: qolip devorlarida issiqlik o'tkazuvchanlik $k = \frac{0.33}{m \cdot K}$4.

- Hisoblash natijalari
- Model asosida olingan natijalar quyidagicha:

Material	Maksimal deformatsiya (mm)	Qoldiq kuchlanish $\sigma_r\ (MPa)$	Harorat farqi $\Delta T\ (°C)$
Polipropilen (PP)	0.42	8.3	52
Polikarbonat (PC)	0.31	6.7	49

Diagrammalardan ko'rinadiki, sovutish notekisligi deformatsiya miqdoriga bevosita ta'sir qiladi. 3D issiqlik xaritalarida markaziy sohalarda harorat yuqori bo'lib, bu joylarda eng katta qoldiq kuchlanish hosil bo'ladi.

5. Natijalarni tahlil qilish

Analiz shuni ko'rsatdiki:

- Deformatsiya darajasi sovutish kanallarining joylashuviga bog'liq;
- Qolip materiali issiqlikni tez uzatsa, qoldiq kuchlanish kamayadi;

ISSN 3030-3907

• Termoplastik materiallarda sovutish tezligini optimallashtirish orqali warpage 30% gacha kamayadi.

Issiqlik oqimini to‘g‘ri yo‘naltirish uchun **konformal sovutish tizimlari** qo‘llanilishi tavsiya etiladi.

6. Xulosa

1.Qoldiq kuchlanish plastmassa buyumlarda deformatsiya va o‘lchamli noaniqliklarga sabab bo‘ladi.

2.Termal tahlil va mexanik modellashtirish asosida bu kuchlanishlarni oldindan prognoz qilish mumkin.

3.SolidWorks yoki ANSYS yordamida 3D issiqlik tahlili o‘tkazish – optimal sovutish tizimini tanlash imkonini beradi.

4.Konformal sovutish kanallari qoldiq kuchlanishlarni kamaytirishning eng samarali usuli hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. **Raximov, A. A., & Sattorov, M. Sh. (2020).** *Plastmassalarni qayta ishlash texnologiyasi.* Toshkent: TTYMI nashriyoti. Plastmassa quyish, sovutish va qoliplash jarayonlarining texnologik asoslari haqida.

2. **Usmonov, B. S., & Jo‘rayev, I. M. (2019).** *Mashinasozlik texnologiyasi asoslari.* Toshkent: “Fan va texnologiya” nashriyoti.-Qolip materiallari, sovutish tizimlari va issiqlik jarayonlari bo‘yicha amaliy yondashuv.

3. **Toshpo‘latov, D. A. (2018).** *Texnologik jarayonlarni modellashtirish.* Toshkent: “Muhandis” nashriyoti.— Raqamli modellashtirish va optimallashtirish usullarining nazariy asoslari.

4. **Raxmonov, S. N. (2021).** *Issiqlik texnikasi va sovutish tizimlari.* Toshkent: TDPU nashriyoti.— Issiqlik almashinuvi, tabiiy konveksiya va sovutish samaradorligi masalalari bayon etilgan.

5. Gao, R., & Zhang, Y. (2020). *Thermal optimization of injection mold cooling systems using CFD and design of experiments. International Journal of Heat and Mass Transfer*, 153, 119578.— Qolip sovutish tizimlarini CFD yordamida issiqlik oqimi nuqtai nazaridan optimallashtirish.

6. Kazmer, D. O. (2016). *Injection Mold Design Engineering. Carl Hanser Verlag, Munich.*— Qolip dizayni, sovutish tizimlari va issiqlik muvozanatini hisoblash bo‘yicha darslik.

7. Bejan, A. (2013). *Convection Heat Transfer (4th Edition). John Wiley & Sons.*— Tabiiy konveksiya va issiqlik almashinuvining nazariy asoslari keltirilgan manba.

8. Yusupov A.A., Yo‘ldashev X.X. Kompozitsion materiallar Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali Murakkab shakldagi plastik detallarni ishlab chiqarishda qolipining sovutish samaradorligini oshirish.

ISSN 3030-3907

9. Yusupov A.A., Yo‘ldashev X.X., Jo‘raqulov I.Ch. Mashinasozlikda materialshunoslik, payvandlab ishlab chiqarish, materiallar olish va ishlov berishning innovatsion texnologiyalarining dolzarb muammolari-2024 Murakkab shakldagi plastik detallarni ishlab chiqishda sovutish jarayonini matematik modellashtirish 513

10. Yusupov A.A., Yo‘ldashev X.X. mashinasozlikda materialshunoslik, payvandlab ishlab chiqarish, materiallar olish va ishlov berishning innovatsion texnologiyalarining dolzarb muammolari-2024 Murakkab shakldagi plastik detallarni ishlab chiqishda sovutish kanallarining ahamiyati.

ISSN 3030-3907