

BOSIM OSTIDA ISHLOV BERUVCHI PRESS-FORMALARNING SOVUTISH TIZIMLARINI TAHLIL QILISH

Iskandarov Ruslan

Toshkent Davlat Texnika Universiteti 2- kurs magistri

Annotatsiya. Ushbu maqolada an’anaviy to‘g‘ri chiziqli sovutish kanallari va zamonaviy konformal sovutish tizimlarining dizayni, issiqlik uzatish mexanizmlari, CFD simulyatsiyalari va real eksperimental natijalari chuqur tahlil qilindi. Shuningdek, konformal kanallar qism konturiga imkon qadar yaqin va parallel joylashgani uchun issiqlikni bir xilda olib tashlaydi, tsikl vaqtini 20–50% gacha qisqartiradi va deformatsiyani sezilarli darajada kamaytiradi. Maqola Moldflow, ANSYS Fluent va boshqa dasturlardagi simulyatsiyalar hamda sanoat tajribalariga asoslanadi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, murakkab geometriyali qismlar uchun konformal sovutish eng samarali yondashuv hisoblanadi, ammo uning joriy etilishi qo‘shimcha ishlab chiqarish texnologiyalarini talab qiladi.

Kalit so‘zlar: press-forma, sovutish tizimi, konformal sovutish kanallari, in'eksion quyish, issiqlik uzatish, CFD tahlili, tsikl vaqti.

KIRISH

Bosim ostida ishlov beruvchi press-formalar ya’ni, plastmassa in'eksion quyish va yuqori bosimli metall quyish qoliplarida sovutish tizimi mahsulot sifati, tsikl vaqtini qisqartirish va umumiy ishlab chiqarish samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biridir. Bundan tashqari ular zamonaviy plastmassa va metall quyish sanoatining asosiy vositalaridan biri hamdir. In'eksion quyish jarayonida eritilgan polimer yuqori bosim ostida qolip bo‘shlig‘iga kiritiladi va keyin sovutiladi. Sovutish bosqichi butun tsikl vaqtining 60–80% ini tashkil etadi. Shuning uchun sovutish tizimining samaradorligi mahsulotning o‘lcham barqarorligi, ichki kuchlanishlar, egilish va ishlab chiqarish xarajatlarini to‘g‘ridan-to‘g‘ri belgilaydi. [1] An’anaviy sovutish tizimlarida kanallar to‘g‘ri chiziq shaklida burg‘ulash yo‘li bilan yaratiladi. Bu usul sodda va arzon bo‘lsa-da, murakkab geometriyali qismlarda issiqlikni bir xilda olib tashlash qiyinlashadi. Natijada “issiq nuqtalar” paydo bo‘lib, qism sifati pasayadi va tsikl vaqti uzayadi. Konformal sovutish kanallari (CCC) qism yuzasiga parallel va doimiy masofada joylashadi. Ularning yaratilishi ko‘pincha 3D bosib chiqarish texnologiyalari orqali amalga oshiriladi, chunki an’anaviy burg‘ulash bilan bunday murakkab shakllarni hosil qilish imkonsizdir. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, konformal tizimlar tsikl vaqtini 10–50% ga qisqartirishi, warpage ni 25% gacha kamaytirishi va sirt sifatini yaxshilashi mumkin.[3]

Ushbu maqolada bosim ostida ishlov beruvchi press-formalarning sovutish tizimlarining fizik asoslari, dizayn tamoyillari, tahlil usullari va amaliy natijalari ko‘rib chiqiladi. Tahlil real ilmiy maqolalar va sanoat tajribalariga tayangan holda tayyorlandi.

Sovutish tizimining fizik asoslari va issiqlik uzatish mexanizmlari

Sovutish jarayoni asosan issiqlik o‘tkazuvchanlik va konveksiya orqali amalga oshiriladi. Eritilgan materialdan chiqadigan issiqlik sovutish vositasi odatda suv yoki moyga o‘tadi. Issiqlik uzatish tezligi Nyutonning sovutish qonuni bilan ifodalanadi:

$$q = h \cdot A \cdot (T_m \cdot T_c)$$

bu yerda:

- q - issiqlik oqimi (W),
- h - konveksiya koeffitsienti ($W/m^2 \cdot K$),
- A - sirt maydoni (m^2),
- T_m - material harorati, T_c - sovutish vositasi harorati.

Turbulent oqim (Reynolds soni $Re > 4000$) laminar oqimga nisbatan issiqlik uzatishni sezilarli yaxshilaydi. Shuning uchun kanallar diametri, uzunligi va oqim tezligi turbulent rejimni ta‘minlashi kerak. An’anaviy kanallarda bu parametrlar cheklangan, konformal kanallarda esa geometrik erkinlik yuqori bo‘lgani uchun optimallashtirish imkoniyati kengayadi. Yuqori bosimli bosim ostida quyish jarayonida sovutish yanada murakkab bo‘ladi ya‘ni, harorat $600-700^\circ C$ ga yetishi va termal charchash xavfi ortadi. Konformal kanallar bu yerda ham termal muvozanatni yaxshilaydi. [5] An’anaviy sovutish tizimida kanallar to‘g‘ri chiziq shaklida burg‘ulanadi. U oddiy ishlab chiqarish va past xarajatli bo‘lgani uchun afzalliklarga ega. Kamchiliklari esa murakkab qismlarda kanallar bo‘shliqdan uzoqda qoladi, issiqlik uzatish notekis bo‘ladi, eng oxirida soviydigan qismlar paydo bo‘ladi. Natijada tsikl vaqti uzayadi va o‘z shaklini yo‘qotishlar ortadi.

Konformal sovutish (CCC) kanallar qism konturiga mos ravishda spiral, zigzag yoki serpentine shakllarda joylashadi. Afzalliklari quyidagilar hisoblanadi:

1. Bir xil harorat taqsimoti,
2. Tsikl vaqtini 20–50% ga qisqartirish,
3. Warpaga ni 25% gacha kamaytirish,
4. Sirt sifati va o‘lcham aniqligini oshirish. [3]

Bir tadqiqotda oddiy qismda an’anaviy sovutish bilan sovutish vaqti 19,66 s ni tashkil etgan bo‘lsa, konformal tizimda bu ko‘rsatkich 14,42 s ga tushgan. Harorat farqi an’anaviyda $75-105^\circ C$, konformalda esa $75-90^\circ C$ atrofida bo‘lgan. [2] Hozirgi kunda die casting usulida qoliplarida ham konformal kanallar qo‘llanilmoqda: ular qolip haroratini barqarorlashtirib, nuqsonlarni kamaytiradi.

Dizayn tamoyillari va optimallashtirish usullari

Sovutish tizimini loyihalashda quyidagi tamoyillar asos qilib olinadi:

1. Kanallar issiqlik yuklamasi yuqori bo‘lgan joylarga (darvoza yaqinida, qalin devorlarda) yaqin joylashtirilishi kerak.
2. Inlet va outlet orasidagi harorat farqi minimal ($5-10^{\circ}\text{C}$) bo‘lishi lozim.
3. Kanallar diametri odatda 4–12 mm, devordan masofa 6–15 mm oralig‘ida tanlanadi.
4. Oqim turbulent rejimda bo‘lishi ta‘minlanadi.
5. Bosim pasayishi (pressure drop) hisobga olinadi.[1]

Optimallashtirish uchun Taguchi usuli, orthogonal tajribalar, genetika algoritmlari va generative design qo‘llaniladi. Autodesk Moldflow Insight yoki ANSYS dasturlarida dizayn o‘zgaruvchilari (diametr, pitch, masofa) bo‘yicha simulyatsiya o‘tkaziladi. Bir tadqiqotda optimal parametrlar diametr 4 mm, pitch 8 mm va devordan masofa 6 mm deb topilgan.

Simulyatsiya va tahlil usullari (CFD va termal tahlil)

Zamonaviy tahlilda Computational Fluid Dynamics (CFD) va Finite Element Analysis (FEA) asosiy o‘rin tutadi. Shuningdek, Autodesk Moldflow, ANSYS Fluent, Siemens NX FLOEFD kabi dasturlar qo‘llaniladi. Simulyatsiyada quyidagilar hisoblanadi: Qolip va qismdagi harorat taqsimoti, Sovutish vaqti ejection haroratigacha, Oqim dinamikasi va bosim pasayishi, Warpage va shrinkage ko‘rsatkichlari.[4] Bir tadqiqotda FLOEFD yordamida konformal tizim an‘anaviyga nisbatan yaxshiroq natija bergani tasdiqlangan. Eksperimental validatsiya simulyatsiya natijalarini to‘g‘rilagan.

Amaliy misollar va sanoat tajribalari

1. Avtomobil va elektronika qismlari uchun konformal sovutish tsikl vaqtini 30% ga qisqartirgan va warpage ni kamaytirgan.
2. Die casting qoliplarida konformal kanallar termal charchashni kamaytirib, qolip umrini uzaytirgan.
3. 3D bosilgan qoliplarda yuqori issiqlik o‘tkazuvchanlikdagi materiallar (mis qotishmalari) qo‘llanilganda samaradorlik yanada oshgan.[5]

O‘zbekiston va Markaziy Osiyo sharoitida bu texnologiyalarni joriy etish import qoliplarni modernizatsiya qilish va mahalliy ishlab chiqarishni rivojlantirish uchun muhim ahamiyatga ega. Konformal tizimlarning yuqori dastlabki xarajat (3D bosish), kanallar ichidagi sirt roughness va tozalash qiyinligi kabi asosiy kamchiliklarni o‘z ichiga oladi. Shuningdek, materialning issiqlik o‘tkazuvchanligini oshirish uchun qo‘shimcha yondashuvlar talab etiladi. Kelajakda generative design va sun‘iy intellekt yordamida avtomatik optimallashtirish, biomimetics (tabiatga asoslangan) kanallar, gibrid (an‘anaviy + konformal) tizimlar, yangi yuqori o‘tkazuvchanlikdagi materiallar va lattice strukturalar kabi yo‘nalishlar rivojlanishi kutilmoqda.[4]

XULOSA

Xulosa sifatida ayta olamizki, bosim ostida ishlov beruvchi press-formalarning sovutish tizimlarini tahliliga ko‘ra konformal sovutish an’anaviy usullarga nisbatan sezilarli ustunliklarga ega. U bir xil sovutish, qisqa tsikl va yuqori sifat ta’minlaydi. Muvaffaqiyatli joriy etish uchun CFD simulyatsiyalari, to‘g‘ri dizayn va zamonaviy ishlab chiqarish texnologiyalari zarur. O‘zbekiston sanoati uchun bu yo‘nalishda tadqiqotlar va texnologik modernizatsiya iqtisodiy samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. Wagner G. et al. Conformal Cooling Channels in Injection Molding and Heat Transfer Performance Analysis Through CFD - A Review. *Energies*, 2025.
2. Masoudi S. et al. Recent advancement in conformal cooling channels: A review on design, simulation and future trends. *Computers in Industry*, 2025.
3. Li J. et al. Optimization Design of Injection Mold Conformal Cooling Channel. *Processes*, 2024.
4. Venkatesh G. et al. Comparison of Straight Line to Conformal Cooling Channel. *Materials Today: Proceedings*, 2017.
5. Shu L. et al. Design and simulation of conformal cooling for a die-casting mold insert. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021.