

METALLGA ISHLOV BERISH JARAYONIDA SOVUTISH- MOYLASH SUYUQLIKLARINING FOYDALI ISH KOEFFITSIYENTINI (FIK) OSHIRISH

Oxunjonov Farruhbek Farxodjon o'g'li 1,
Oxunjonova Odina Ardasher qizi 2

Annotatsiya: Ushbu maqolada metallarga ishlov berish jarayonida sovutish-moylash suyuqliklarining foydali ish koeffitsiyentini (FIK) oshirish usullari o'rganildi. Xususan, legirlangan yuqori qattqlikdagi po'latni frezalash jarayonida turli sovutish sharoitlari (quruq ishlov berish, an'anaviy suyuq sovutish, minimal miqdorda moylash (MQL) turli suyuqliklar bilan va kriyogen sovutish) ta'siri tadqiq qilindi. Olingan natijalar zamonaviy moylash strategiyalari ishlov berish samaradorligini sezilarli darajada oshirishini ko'rsatdi. Masalan, suv asosli emulsiyadan foydalangan MQL usuli quruq kesishga nisbatan kesish kuchlarini taxminan 20% ga kamaytirib, asbob xizmat muddatini ikki baravardan ortiqqa uzaytirdi. Kriyogen sovutish esa kesish kuchlarini yanada pasaytirib, asbobning xizmat muddatini sezilarli darajada oshirdi. Ushbu natijalar sovutish va moylash usullarini optimallashtirish orqali qattiq po'latlarni ishlov berishda samaradorlikni oshirish, sirt sifatini yaxshilash, asbobning xizmat muddatini uzaytirish hamda energiya sarfi va ekologik ta'sirni kamaytirish imkonini berishini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: sovutish-moylash suyuqligi; foydali ish koeffitsiyenti; yuqori qattqlikdagi po'lat; frezalash; minimal miqdorda moylash (MQL); kriyogen sovutish; kesish kuchi; asbobning xizmat muddati; sirt sifati; yashil ishlov berish.

Kirish

Metall kesish jarayonlarida kesish zonasi yuqori harorat va ishqalanishga duchor bo'ladi. Buni kamaytirish uchun odatda sovutish- moylash suyuqliklari (SMS) qo'llaniladi. An'anaviy suyuq sovutish (ko'p miqdordagi emulsiyali suyuqlik oqimi) haroratni pasaytirib, ishqalanishni kamaytiradi, ammo bunday usulning jiddiy kamchiliklari ham mavjud – bunday suyuqliklarni saqlash va utilizatsiya qilish qimmatga tushadi hamda ular atrof-muhit va inson salomatligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Qolaversa, qattqligi yuqori bo'lgan po'latlarni uzluksiz bo'lmagan (diskret) kesishda (masalan, frezalashda) oddiy sovutish suyuqligi asbobda keskin termal zarbalarni keltirib chiqarib, asbobning cho'kishi yoki sinishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli ba'zi hollarda quruq (suyuqliksiz) ishlov berish afzal ko'riladi – u ekologik toza, lekin bunda kesish kuchlari va kesish zonasi harorati oshib ketadi, natijada asbob tez eskiradi.

Bundan kelib chiqib, so'nggi yillarda ishqalanish va issiqlikni pasaytirish bilan birga ekologik xavfsizlikni ta'minlaydigan muqobil sovutish-moylash usullari bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda. Shulardan biri minimal miqdorda moylash, ya'ni

MQL usulidir. MQL usulida kesish zonasiga siqilgan havo oqimida juda oz miqdorda (odatda bir necha millilitr) moy aralashmasi sepiladi. Bu usul ishqalanishni kamaytirib, qisman sovutish ta'sirini ham ko'rsatadi. Ko'plab tadqiqotlar natijasida MQL qattiq materiallarni ishlov berishda an'anaviy ko'p miqdordagi suyuqlik bilan sovutishga nisbatan yaxshiroq sirt sifati va uzoqroq asbob umrini ta'minlashi aniqlangan. Masalan, MQL qo'llanganda kesish kuchlari quruq va ho'l ishlov berishga nisbatan kamroq bo'lishi qayd etilgan.

Bundan tashqari, MQL samaradorligini oshirish maqsadida moylarga nanozarrachalar (masalan, Al_2O_3 , MoS_2) qo'shilgan nanofluidlardan foydalanish bo'yicha izlanishlar olib borilmoqda. Alternativ yondashuv sifatida kriyogen sovutish texnologiyasi ham jadal rivojlanmoqda. Suyuq azot yoki karbonat angidrid kabi juda past haroratli suyuq gazlar yordamida sovutish orqali kesish zonasi issiqligi keskin kamaytiriladi. Natijada asbobning xizmat muddati sezilarli oshib, kesish kuchlari keskin pasayishi mumkin. Masalan, kriyogen sovutish ba'zi hollarda quruq kesishga nisbatan kesish kuchlarini 75% gacha kamaytirgan va asbob umrini ikki baravar oshirgan natijalar kuzatilgan.

Ushbu ishda legirlangan yuqori qattiqlikli po'latni frezalash jarayonida turli sovutish va moylash usullarining (quruq, an'anaviy suyuqlik bilan sovutish, MQL hamda kriyogen sovutish) kesish samaradorligiga ta'siri eksperimental ravishda o'rganildi. Maqsad – sovutish-moylash suyuqliklarining foydali ish ko'effitsiyentini oshirish, ya'ni ularning kesish jarayonidagi samaradorligini maksimal darajada oshirish imkonini beradigan sharoitlarni aniqlash.

Tadqiqot usullari

Tadqiqotlar laboratoriya sharoitida vertikal frezalash dastgohida olib borildi. Tekshirish uchun material sifatida legirlangan instrumental po'lat tanlandi; namunalar o'lchami $100 \times 50 \times 50$ mm bo'lib, qattiqligi termik ishlov orqali ~60 HRC ga yetkazilgan. Kesish asbobi sifatida diametri 10 mm li, 4 keskichli qattiq qotishma (volfram karbid) freza ishlatildi (keskichlar TiAlN qoplama bilan qoplangan). Ishlov berish RDB frezalash dastgohida olib borilib, barcha sinovlarda bir xil kesish rejimi tanlandi: shpindel aylanish tezligi ~3200 aylanish/min (bu keskich chetining chiziqli tezligi ~100 m/min ga mos), oziqlantirish tezligi 0,05 mm/keskich, frezalash chuqurligi 0,5 mm.

Tadqiqotda besh xil sovutish/moylash sharoiti taqqoslab o'rganildi:

1. Quruq frezalash – suyuqliksiz ishlov berish (faqat siqilgan havo bilan chiplarni uchirish uchun puflash).
2. To'liq suyuqlik bilan sovutish – an'anaviy usulda suvda 5% emulsiyalangan mineral industrial moy suyuqligi doimiy oqim bilan berib borildi (taxminan 5 L/min).
3. MQL (o'simlik moyi) – minimal miqdorda moylash rejimi, unda buzg'unchi orqali siqilgan havo oqimiga aralashtirilib, taxminan 50 ml/soat miqdorda tozalangan o'simlik moyi (masalan, yer yong'oq moyi) sepib berildi.

4. MQL (5% emulsiya) – minimal moylash rejimida 5% suvli emulsiyadan (suv + sintetik moy konsentrati) xuddi shunday ~50 ml/soat sarf bilan foydalanildi.

5. Kriyogen sovutish – kesish zonasiga suyuq azot (-196°C) maxsus kriyogen purkagich orqali yo'naltirildi.

Har bir rejimda kesish vaqtida hosil bo'ladigan kesish kuchlari uch o'lchovli dinamometr yordamida o'lchandi. Asbobning eskirish darajasi mikroskop orqali muntazam kuzatilib borildi. Har bir sinovda frezalash bir xil sharoitda asbob tig'ining yon qirrada yeyilishi 0,3 mm ga yetguncha davom ettirildi (0,3 mm lik flank yeyilishi asbobning ishdan chiqish mezoni sifatida belgilandi). Ishlov berilgan sirtning g'adir-budurligi (R_a) har bir tajribadan so'ng portativ profilometr yordamida o'lchandi. Shuningdek, turli rejimlarda umumiy quvvat sarfi solishtirildi (buning uchun dastgoh shpindelining tok sarfi nazorat qilindi), bu esa har bir usulning energiya samaradorligini baholash imkonini berdi.

Tadqiqot natijalari

Barcha tajriba rejimlari uchun kuzatilgan natijalar 1-jadvalda keltirilgan (asosiy ko'rsatkichlar: kesish kuchlari, asbob umr ko'rsatkichi va sirt qo'poliligi).

Quruq frezalashda kesish kuchlari eng yuqori bo'lib, asbobning xizmat muddati ham qisqa (taxminan 20 daqiqa) bo'ldi. An'anaviy suyuq sovutish rejimida kesish kuchlari biroz kamaydi (quruqqa nisbatan ~15% past), biroq tez-tez termal sikllanish tufayli asbob tig'i erta maydalanib, umri hatto quruq rejimdagidan ham qisqaroq bo'ldi.

Minimal miqdorda moylash (MQL) rejimida yakka o'simlik moyidan foydalanganda ishqalanishning bir oz kamayishi kuzatilib, kesish kuchlari quruq rejimga nisbatan biroz pasaydi. Biroq sovutish ta'siri yetarli emasligi bois uzoq kesishda moy qizib ketib, yonib qolganligi aniqlandi. Natijada asbobning xizmat muddati kutilganidek uzaymadi – aksincha, quruq kesishga nisbatan ~25% ga qisqaroq bo'ldi.

MQL usulida suvli emulsiyadan foydalanganda esa eng yaxshi natijalarga erishildi. Kesish kuchlari eng past darajaga tushib, quruq holatga nisbatan ~20% ga kam bo'ldi. Asbobning xizmat muddati deyarli 2,1 barobarga uzayib, taxminan 45 daqiqani tashkil etdi. Sirtning qo'polilik darajasi ham MQL (emulsiya) rejimida eng yaxshi bo'lib ($R_a \sim 0,3 \mu\text{m}$), silliq va tiniq yuzaga erishildi.

1-jadval

Tajriba rejimlari uchun kuzatilgan natijalar

Ishlash rejimi	Kesish kuchi (N)	Asbob umri (min)	Sirt qo'poliligi R_a (μm)
Quruq (suyuqliksiz)	~300	20	~0,50
To'liq suyuqlik bilan sovutish	~250	15	~0,40
MQL (o'simlik moyi)	~270	15	~0,60
MQL (5% suvli emulsiya)	~240	45	~0,30

Kriyogen sovutish (suyuq N ₂)	~210	>50	~0,45
--	------	-----	-------

Kriyogen sovutish sharoitida kesish kuchlari juda past bo'lib (quruqqa nisbatan ~25–30% kam), asbobning yeyilishi esa juda sekin kechdi. Suyuq azot bilan sovutishda tajriba yakuniga qadar (50 daqiqa davomida) asbobda belgilangan 0,3 mm lik yeyilish darajasiga yetmadi, ya'ni asbob umrini ikki baravardan ko'proq oshirish imkoni kuzatildi. Biroq kriyogen sovutishdagi sirt sifatiga doir kuzatuvlar shuni ko'rsatdiki, moylashning yo'qligi sababli yuzada mayda notekisliklar paydo bo'lib, MQL (emulsiya) rejimidagi kabi ideal silliq sirt hosil bo'lmadi (kriyogen rejimda o'lchangan Ra ~0,4–0,5 μ m atrofida edi).

Muhokama

Natijalarni tahlil qilar ekanmiz, ko'rinib turibdiki, an'anaviy ko'p miqdordagi suyuqlik bilan sovutish usuli qattiq po'latni diskret frezalashda o'zini samarasiz ko'rsatdi. Termal zarbalar sababli asbobning muddatidan oldin ishdan chiqishi natijasida bu usul hatto quruq ishlov berishga nisbatan yomonroq natija berdi. Bu holat avvalgi tadqiqotlarda ham kuzatilgan bo'lib, masalan, Race va hamkorlari ishida quruq hamda MQL rejimlarida asbob yeyilishining an'anaviy sovutishga nisbatan sezilarli kamayishi va sirt yaxshilanishi qayd etilgan. Shu bilan birga, quruq rejimning o'zi yuqori ishqalanish va harorat sabab kesishda yuqori kuchlar va tez eskirishga olib kelishini ham ko'rdik. Demak, suyuqlikdan to'liq voz kechish ham yechim emas, ayniqsa yuqori kesish tezliklarida.

Minimal miqdorda moylash (MQL) esa muvozanatli yondashuv sifatida o'z samaradorligini isbotladi. MQL rejimida o'simlik moyidan foydalanilganda ishqalanishni kamaytirish evaziga ma'lum foyda kuzatildi, lekin to'liq sovutish yetishmagani tufayli asbobning tez qizib ketishi oldini olib bo'lmadi. Natijada sof o'simlik moyi bilan MQL usuli asbob umrini uzaytira olmadi, chunki yuqori haroratda moyning yonib qoldiqlari asbob yuzasiga yopisha boshladi va eskirish tezlashdi. Buning aksiga, suvli emulsiyali MQL esa bir vaqtda samarali sovutish va moylash qobiliyatini namoyish qildi. Emulsiyadagi suv bug'lanib issiqlikni oladi, moy esa yupqa himoya qatlami hosil qilib, ishqalanishni pasaytiradi. Shu tufayli emulsiyali MQLda asbob yeyilishi ancha sekinlashib, uning xizmat muddati keskin oshdi. Adabiyotlarda ham MQL uchun suv-aralash emulsiyalar yuqori samaradorligi bilan ajralib turgani, aksincha sof o'simlik moylarida qo'shimchalarsiz natija sustligi ta'kidlangan. Masalan, moy tarkibiga nanozarrachalar qo'shish orqali uning sovutish-moylash xususiyatlarini yaxshilash hozirgi tadqiqotlarning muhim yo'nalishlaridan biridir.

Kriyogen sovutish kutilganidek eng kuchli sovutish ta'sirini berdi va asbobni eskirishdan asradi. Sovuq azot tufayli kesish zonasi harorati keskin tushib, karbid asbob o'z qattiqligini uzoqroq saqlab qoldi. Bizning natijalarda kriyogen sovutish asbob umrini MQL emulsiyaga teng yoki undan ham yuqori darajada uzaytirgani, shuningdek kesish kuchlarini sezilarli kamaytirgani kuzatildi. Bu yondashuv ayniqsa

yuqori kesish tezliklarida samarali bo'lishi ma'lum va boshqa tadqiqotchilar ham kriyogen sovutish yordamida asbob umrini ikki barobardan ko'proqqa oshirish mumkinligini ko'rsatganlar. Biroq, faqat kriyogen sovutishda yog' komponenti ishtirok etmagani bois ishqalanish to'liq bartaraf etilmaydi. Shu sababli ayrim hollarda sirt sifati MQL ga nisbatan yomonroq bo'lishi mumkin – bizning tajribamizda ham kriyogen rejimda sirtning qo'poliligi biroz yuqori bo'ldi. Ilmiy manbalarda esa kriyogen sovutishni oz miqdordagi moylash (ya'ni CMQL) bilan birga qo'llash eng yaxshi natija berishi, ya'ni bir vaqtda kuchli sovutish va yetarli moylashga erishish mumkinligi ta'kidlanadi. Demak, kriyogen sovutishning afzalliklarini moylash bilan uyg'unlashtirish sirt sifati va barqarorligi muammosini hal qilishi mumkin.

Yuqoridagi natijalardan ko'rinadiki, sovutish-moylash usullarini to'g'ri tanlash va takomillashtirish metallga ishlov berish jarayonining foydali ish koeffitsiyentini sezilarli darajada oshiradi. Asbobning uzoqroq xizmat qilishi va sirt sifatining yaxshilanishi ishlab chiqarishda mahsuldorlikni oshiradi. MQL kabi usullar esa suyuqlik sarfini keskin kamaytirib, iqtisodiy va ekologik jihatdan ham foyda keltiradi – bizning tajribamizda, masalan, MQL rejimida suyuqlik iste'moli an'anaviy sovutishga nisbatan ming barobar kam bo'ldi, asbob almashish oraliqlari esa uzoqroqqa cho'zildi. Natijada energiya sarfi va ekspluatatsion xarajatlar ham pasayadi. Xuddi shunday, kriyogen kabi innovatsion sovutish texnologiyalari qo'llanilganda ham kesish kuchlari, harorat va asbob yeyilishini kamaytirish evaziga umumiy jarayon samaradorligi ortadi. Shu tariqa, sovutish-moylash suyuqliklarining yangi qo'llanilish usullari va tarkibini rivojlantirish orqali qiyin ishlov beriladigan metallarda ham yuqori FIKga erishish mumkin.

Xulosa

Xulosa qilib aytganda, o'tkazilgan tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, qattiq po'latni frezalashda sovutish-moylash usulini to'g'ri tanlash orqali jarayon samaradorligini sezilarli oshirish mumkin. An'anaviy ko'p miqdorli sovutish usuli bunday sharoitda samarasiz bo'lib, termal zarbalar tufayli asbobning tez ishdan chiqishiga sabab bo'ladi. Minimal miqdorda moylash (MQL) usuli ayniqsa suvli emulsiyadan foydalanganda yuqori natija berdi – kesish kuchlarini kamaytirib, asbob umrini ikki hissa oshirdi va sirt sifatini yaxshiladi. Sof moyli MQL esa yetarli sovutish ta'siri bo'lmagani uchun asbobni to'liq himoya qila olmadi. Kriyogen sovutish eng kuchli sovutish samarasini ta'minlab, asbob eskirishini minimallashtirdi va FIK ni yanada oshirdi, ammo uni oz miqdordagi moylash bilan qo'shib qo'llash sirt sifati uchun ma'qul usuldir. Umuman olganda, zamonaviy sovutish-moylash texnologiyalarini qo'llash metallarga ishlov berish jarayonining mahsuldorligi va sifatini oshirishi barobarida, uni iqtisodiy hamda ekologik jihatdan ham samaraliroq qilmoqda.

Adabiyotlar

1. Ngo M. Tuan, T. M. Duc, T. T. Long, V. L. Hoang, and T. B. Ngoc, Investigation of Machining Performance of MQL and MQCL Hard Turning Using Nano Cutting Fluids. Fluids 7(5): 143 (2022). DOI: 10.3390/fluids7050143.

2. Tran M. Duc, Tran T. Long, Investigation of MQL-Employed Hard- Milling Process of S60C Steel Using Coated-Cemented Carbide Tools. Journal of Mechanics Engineering and Automation 6: 128–132 (2016).
3. Shafahat Ali, Said Abdallah, Salman Pervaiz, Ibrahim Deiab, Progress on Sustainable Cryogenic Machining of Hard-to-Cut Material and Greener Processing Techniques: A Combined Machinability and Sustainability Perspective. Lubricants 13(8): 322 (2025). DOI: 10.3390/lubricants13080322.

