MEXANIK ISHLOV BERISHDA METALLGA ISHLOV BERUVCHI SUYUQLIKLARNI SOVUTISH SAMARADORLIGINING RAQAMLI MODELINI ISHLAB CHIQISH

Xasanov Otabek

Toshkent davlat texnika universiteti, katta o'qituvchisi

E -mail: otabek.xasanov.93@list.ru

Annotatsiya. Ushbu maqolada ishlov berish jarayonida hosil bo'lgan kesish harorati, uning manbalari va tarqalish yo'nalishlari o'rganilgan. Tadqiqot ob'ekti sifatida metallni kesish jarayonida energiya sarfi va metallga ishlov beradigan suyuqliklar olingan. Bundan tashqari, issiqlik tarqalish jarayonida metallga ishlaydigan suyuqliklarning ta'siri va ularning sovutish qobiliyatining ahamiyati nazariy jihatdan o'rganiladi. Tadqiqot natijasida kesuvchi yuza va suyuqlik o'rtasidagi harorat gradientining suyuqlikning zichligi va qovushqoqligiga bog'liqligi matematik jihatdan ishlab chiqilgan. Ishlab chiqilgan raqamli model metallga ishlov berish suyuqligining sovutish qobiliyatini ishlatishdan oldin tahmin qilishning oson usulini beradi. Xulosa qilish mumkinki, kesish suyuqliklarining qovushqoqligini kamaytirish suyuqliklarning sovutish qobiliyatini oshiradi, yuqori zich suyuqliklar esa yaxshiroq sovutish qobiliyatini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: kesish harorati, raqamli model, issiqlik tarqalishi, issiqlik uzatish, ishlov berish, metallga ishlov berish suyuqligi, jarayonni raqamlashtirish.

Аннотация. В этой статье рассматривается температура резания, образующаяся при обработке, ее источники и направления распространения. В качестве объекта исследования в процессе резки металла были получены энергозатраты и металлообрабатывающие жидкости. Кроме того, теоретически изучается влияние рабочих жидкостей на металл в процессе рассеивания тепла и значение их охлаждающей способности. В результате исследования математически разработана зависимость температурного градиента между режущей поверхностью и жидкостью от плотности и вязкости жидкости. Разработанная цифровая модель дает простой способ оценить охлаждающую способность металлообрабатывающей жидкости перед использованием. Можно сделать вывод, что уменьшение вязкости режущих жидкостей увеличивает охлаждающую способность жидкостей, в то время как жидкости с более высокой плотностью демонстрируют лучшую охлаждающую способность.

Ключевые слова: температура резания, цифровая модель, рассеивание тепла, теплопередача, механическая обработка, жидкость для металлообработки, оцифровка процесса.

Annotation. This article explores the cutting temperature generated during processing, its sources and directions of propagation. As an object of research,

ISSN 3030-3907

energy consumption and metal-processing liquids were obtained in the process of cutting metal. In addition, in the process of heat dissipation, the influence of working fluids on the metal and the importance of their cooling capacity are theoretically studied. As a result of the study, it was mathematically developed that the temperature gradient between the cutting surface and the fluid depends on the density and viscosity of the fluid. The developed digital model provides an easy way to estimate the cooling capacity of the metal processing fluid before use. It can be concluded that reducing the viscosity of cutting fluids increases the cooling capacity of liquids, while high-density fluids show better cooling capacity.
Keywords: cutting temperature, digital model, heat dissipation, heat transfer, processing, metal processing fluid, process digitization.

1. Kirish

Ishqalanish yuzalarining qatlamlarining holati (kesuvchi asbobning old va orqa yuzalari, qirindining old yuzasi, ishlov beriladigan detal yuzasi) ularning harorati bilan belgilanadi. Shuning uchun kesgichning ishqalanish va yeyilish qonuniyatlarini, ishlov beriladigan detallarning yuza sifatining asosiy parametrlarini o'rganishda aloqa qatlamlarining harorati haqida ma'lumotga ega bo'lish muhimdir [1-3].

Quruq ishlov berish atrof-muhit, xarajatlar va sog'liq muammolarini yumshatish tufayli kelajakdagi ishlov berishning yakuniy maqsadi hisoblanadi. Bundan tashqari, alyuminiy, po'lat va cho‘yan kabi tijorat materiallarini ishlov berishda MSS moyolvchi sovutuvchi suyuqliklardan foydalanish orqali kesish muammolarini kamaytirishning keng tarqalgan va barqaror usuli hisoblanadi. Shuningdek, quruq ishlov berish moylovchi sovutuvchi suyuqlik samaradorligini va mahsulot sifati, asboblarning yeyilishi va harorati o'rtasidagi bog'liqlikni o'lchash uchun standartdir. Shu bilan birga, an'anaviy sovutish ko'pincha asboblarning yeyilishını, ishqalanish va haroratni cheklash va toblangan po'latdan yasalgan mahsulotlarning yuza sifatini yaxshilash uchun ishlatiladi. Barqaror ishlab chiqarish texnikasini ishlab chiqish, ishlov berishdan keying tozalash tendentsiyalarni kamaytirish, atrof-muhit va sog'liq muammolari, sovutish narxining (15-17%) umumiy ishlov berish qiymatiga katta hissa qo'shishi va kriogen sovutish (suyuq azot, karbonat angidrid) usullari, suvga asoslangan moy va MQL (minimal moylash miqdori) kabi ko'plab sovutish alternativalari qabul qilingan. MQL - kesish zonasida "tuman" sovutish yoki deyarli quruq ishlov berish usuli bo'lib, unda siqilgan havo va cheklangan miqdordagi sof moy (50-100 ml / soat) aralashtiriladi va asbob-qirindi interfeysida nozik tuman hosil qiladi [4]. MQL texnologiyasidan atrof-muhit omillari, mehnat unumdorligini oshirish va ishchilar salomatligini yaxshilash kabi muammolarni hal qilishda foydalanish mumkin [5].

ISSN 3030-3907

Bundan tashqari, bugungi kunda mashinasozlik va metallni kesish jarayonining integratsiyasi sezilarli darajada rivojlanmoqda va so'nggi 5 yil ichida tadqiqotlar soni keskin o'sib bormoqda. Mate Toth va boshqalar, fizik-ma'lumotga ega bo'lgan mashinani o'rganish orqali ishlov berish resurslari samaradorligini tadqiq qildi. Uning tadqiqot guruhi grey-box modellashtirish usuli yordamida asbob barqarorligini optimallashtirishga e'tibor qaratdi. Ular ishlov berish jarayonida foydalanilgunga qadar asbobning ishlash muddatini bashorat qilish uchun model yaratdilar. Ular fizik ma'lumotga ega mashinani o'rganish asbobning ishlash muddatini optimallashtirish uchun juda kuchli vosita ekanligini xulosa qilishdi [6]. Anli du Preez va boshqalar, aqlli ishlab chiqarish uchun ishlov berish jarayonida mashinani o'rganish dasturini o'rganib chiqdi. Ular frezalash, parmalash, tokaarlik ishlov berish va hokazolarni o‘z ichiga olgan ishlov berish jarayonlarida raqamlashtirishning ba’zi qo‘llanilishini tahlil qildilar. Ular mashinani o‘rganishni qo‘llash metallni kesish jarayoniga, masalan, tannarxni tejash, mahsulot sifatini oshirish va chiqindilarni kamaytirish kabi katta ta’sir ko‘rsatadi degan xulosaga kelishdi [7]. Mohsen Soori va boshqalar, raqamli dasturda boshqariladigan (RDB) metall kesish dastgohlarida mashinani o'rganish va sun'iy intellektning afzalliklari bo'yicha tadqiqot olib bordi. Ularning fikriga ko'ra, SIni RDB dastgohlarida qo'llash aqlli ishlab chiqarishni rivojlantirishga katta ta'sir ko'rsatadi va bu soha kelajakda o'rganishning mashhur yo'nalishlaridan biri bo'ladi [8].

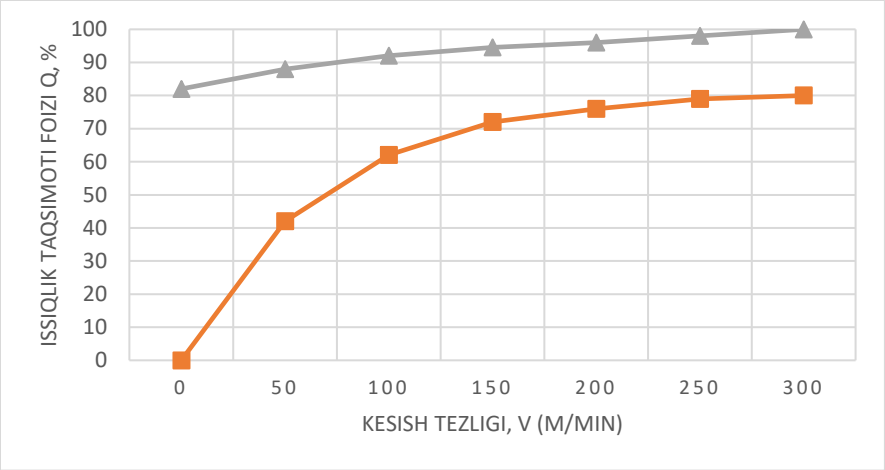
Yuqorida aytib o'tilgan tadqiqotlarga ko'ra, metallni kesish jarayonini raqamlashtirish bugungi tadqiqot sohalarida dolzarb muammolardan biridir. Bundan tashqari, turli xil ishlov berish jarayonlarida sun'iy intellektning integratsiyasi, mashinani o'rganish, buyumlar
interneti eng dolzarb mavzu sifatida berilgan. Ushbu tadqiqotda metallga ishlaydigan suyuqliklar (MWF) va ularning ba'zi xossalari o'rtasidagi munosabatlarning matematik modeli ishlab chiqilgan. Suyuqlik zichligi va qovushqoqligi kirish parametrlari sifatida qabul qilinadi, MWF ning harorat gradienti esa chiqish qiymati hisoblanadi.

2. Metall kesish jarayonida issiqlik hosil bo'lishi va tarqalishi

Kesish tezligi oshganda, deformatsiya zonasidan issiqlik tarqalish tezligi va kesish tezligi o'rtasidagi nisbatning o'zgarishi natijasida detalda qolgan issiqlik ulushi kamayadi. Agar kesish tezligi, ya'ni asbobning kesish tomoni issiqlik oqimini kesish tezligi kichik bo'lsa, u holda issiqlik qirindilarni ajratish tekisligidan to'siqsiz detalga o'tadi. Kesish tezligi oshgani sayin, asbob tig‘i issiqlik oqimini tezroq kesib o'tadi, shuning uchun detalga ozgina issiqlik o'tkaziladi va qirindida katta miqdorda issiqlik qoladi. Kesish tezligi oshganda, asbobga o'tkaziladigan issiqlik ulushining kamayishi kesuvchi qirraning oldingi yuzasida aloqa yuzasining

ISSN 3030-3907

kengligining kamayishi bilan bog'liq bo'lib, issiqlik qirindidan asbobga shu yuza orqali o'tadi. Quyidagi rasmda metallni kesish natijasida hosil bo'lgan issiqlikning taqsimlanishi ko'rsatilgan. Natijalar silindrsimon detalni 16K10 stanogida tokarlik ishlov berish orqali olinadi. Zagatovka materiali AISI 5135, asbob esa T15K6 dan tayyorlangan (GOST 3882-74 bo'yicha). Asbob materiallari parametrlari 1-jadvalda keltirilgan.



1-rasm. 40X po'latdan yasalgan detalni T5K6 (t = 1,5 mm, s = 0,12 mm / rev) qattiq qotishmadan tayyorlangan asbob bilan ishlov berishda Q ning qirindi, asbob va zagatovka o'rtasida taqsimlanishi.

Jadval 1.

GOST 3882-74 bo'yicha asboblar materialining xususiyatlari

Material	**Fizik mexanik xususiyatlar**		
	Yakuniy kuch, n/mm2	Zichlik, x103 kg/m3	Qattiqlik, HRA
T15K6	1176	11.0-11.6	90
	Kimyoviy tarkibi, % da		
	WC	TC	K
	79	15	6

Buni 1-rasimdan ko'rish mumkin. asbobga o'tkaziladigan issiqlik miqdori juda kichik (taxminan 10 foiz) va bu issiqlik energiyasi har qanday rejimda har qanday materiallarni kesishda bir xil bo'ladi. Asbobga past issiqlik o'tkazuvchanligining sababi asbob-uskunalar materialining past issiqlik o'tkazuvchanligi va issiqlik energiyasini ikkita qattiq material orqali o'tkazishi mumkin bo'lgan tor yuzalardir. Ishlov berishda hosil bo'lgan qirindi tomonidan iste'mol qilinadigan issiqlik energiyasi jarayonda eng katta hisoblanadi. Ko'rinib turibdiki, umumiy issiqlik energiyasining taxminan 70 foizi yuqori kesish tezligida qirindiga o'tkaziladi. Asosiy issiqlik manbai (1-deformatsiya zonasi) metall

ISSN 3030-3907

kesishda hosil bo'lgan qirindida joylashganligi sababli, qirindi tomonidan katta miqdorda issiqlik iste'mol qilinadi.

2. Metallga ishlov beruvchi suyuqliklar

Moylash-sovutish suyuqliklaridan MSS foydalanishning asosiy maqsadi kesish haroratini, kesish kuchlarini va kesish quvvatini kamaytirish va buning natijasida asbobning barqarorligini va ishlov beriladigan yuza sifatini oshirishdir [13]. Yuqori qotishma va zanglamaydigan po'latlarni kesishda LCFlardan foydalanish alohida ahamiyatga ega.

Detallarni kesuvchi asboblar yordamida mexanik ishlov berishda, MSS larini kesish zonasiga yetkazib berishda turli xil usullar qo'llaniladi, jumladan suyuqlikni quyish, suyuqlikni havo aralashmasi (aerozol yoki MQL) shaklida purkash, namlash, kesishdan oldin kesuvchi asbobga vaqti-vaqti bilan quyish (moylash moslamasidan drenajlash, cho'tka bilan ishqalash [14]). Bu usullar orasida eng keng tarqalgani LCF ning suv bosish usulidir (bosim P=0,02-0,03 MPa bo'lgan in'ektsiya). Ushbu usulning samaradorligi moylash-sovutish oqimining iste'moli (5-20 litr / min) va shakl va oqim traektoriyasiga bog'liq. Ushbu usulning asosiy maqsadi kesish zonasini moylash texnologik muhiti bilan to'liq qoplashdir.

Yuqorida qayd etilgan xususiyatlarni raqamlashtirish va ularning kesish jarayoniga ta'sirini nazorat qilish katta ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Sovutish qobiliyati ularning issiqlik uzatish qobiliyati, issiqlik sig'imi, kinematik qovushqoqlik va issiqlikning fazoviy o'zgarishi kabi termofizik parametrlari bilan belgilanadi. Bu xususiyatlar kesish jarayonining asosiy ko'rsatkichlari bo'lgan haroratga, qirindilarning hosil bo'lish xususiyatiga, asboblarning yeyilishiga va ishlash muddatiga, ishlov berishning aniqligiga, yuza g‘adir-budurligiga va detalning yuza qatlamidagi qoldiq kuchlanishga ta'sir qiladi. Zichlik va qovushqoqlik LCF ning sovutish qobiliyatiga ta'sir qiluvchi asosiy omillarga qaratiladi va ushbu tadqiqotda LCF ning zichligi va qovushqoqligiga nisbatan sovutish ta'sirini bashorat qila oladigan model ishlab chiqilgan.

3. Raqamli modelni ishlab chiqish

Moylash-sovutish suyuqliklaridan (LCF) foydalanishning asosiy maqsadi kesish haroratini, kesish kuchlarini va kesish kuchini kamaytirish va buning natijasida asbobning ishlash muddatini va ishlov beriladigan yuza sifatini oshirish, shuningdek, mehnat unumdorligini oshirishdir [15, 16]. Zanglamaydigan va yuqori qotishma po'latlarni kesishda LCF dan foydalanish alohida ahamiyatga ega.

LCFlarning eng muhim xususiyatlaridan biri ularning sovutish effektidir [17, 18]. LCF ning sovutish qobiliyati ularning issiqlik uzatish qobiliyati, issiqlik sig'imi, kinematik qovushqoqlik va issiqlikning fazoviy o'zgarishi kabi termofizik parametrlari bilan belgilanadi. Bu xususiyatlar kesish jarayonining asosiy ko'rsatkichlari bo'lgan haroratga, qirindi hosil bo'lish tabiatiga, asboblarning

ISSN 3030-3907

yeyilishiga va ishlash muddatiga, ishning aniqligiga, yuza g‘adir-budurligi va detal yuzasi qatlamidagi qoldiq kuchlanishga ta'sir qiladi.

Yog' sovutgichining kesish haroratini pasaytirish u bilan kesish zonasidan olinadigan issiqlik miqdori bilan belgilanadi. LCF va kesish zonasida issiqlik almashinuvi jarayoni konveksiya tufayli sodir bo'ladi. Issiqlik uzatish jarayonida konveksiya har doim issiqlik o'tkazuvchanligi bilan birga keladi. Ya'ni, LCF qattiq jismning yuzasi bo'ylab harakat qilganda, turli haroratli suyuqlikning zarralari o'rtasida energiya almashinuvi sodir bo'ladi. Ma'lumki, issiqlik energiyasini konveksiya va issiqlik o'tkazuvchanligi orqali uzatish konvektiv issiqlik uzatish deyiladi. Shunga asoslanib, suyuqlik va qattiq jism yuzasida harakatlanuvchi jism orasidagi issiqlik almashinuvi jarayoni Nyuton-Rixman teoremasi bilan ifodalanadi.

$$Q = \propto (T_d - T_{LCF}) \cdot F, \qquad (1)$$

Bu yerda, a – issiqlik uzatish koeffitsienti [Vt/m^2·K], T_d – detal yuzasidagi harorat [°C], T_{LCF} – LCF harorati [°C], F – suyuqlik oqayotgan yuza [m^2].

Shuni aytish mumkinki, LCF olib boradigan harorat $\Delta T=T_d-T_{LCF}$ ga teng va LCF ko'targan harorat qancha yuqori bo'lsa, bundan ΔT qiymati shunchalik kichik bo'ladi. Bundan kelib chiqadiki, ΔT qiymatining pasayishi kesish haroratining pasayishiga bog'liq.

Agar (1) ifodaga α ni qo‘ysak va qattiq jism va suyuqlik oqimi o‘rtasidagi issiqlik uzatish jarayonlarining o‘xshashligini tavsiflovchi Nusselt mezonidan ΔT ni topsak, quyidagi ifoda (2) hosil bo‘ladi:

$$q = \frac{Q}{F}$$

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}$$

$$q = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}\Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{q \cdot l}{Nu \cdot \lambda} \longrightarrow \begin{cases} \Delta T \sim \frac{1}{\lambda}, \\ \Delta T \sim \frac{1}{Nu} \end{cases}, \qquad (2)$$

Nusselt mezon raqamini hisoblash uchun quyidagi tenglama tavsiya etilishi mumkin:

$$Nu = 0.008 \cdot Re^{0.9} \cdot Pr^{0.43} \longrightarrow [Nu \sim Re]\ , (3)$$

Reynolds sonining qiymati quyidagi ifoda yordamida hisoblanadi:

$$Re = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\mu} \longrightarrow \begin{cases} Nu \sim \frac{1}{\mu}, \\ Nu \sim \rho \end{cases}, \qquad (4)$$

Yuqoridagi (2), (3) va (4) iboralarni birlashtirish natijasida kesish yuzasi va LCF o'rtasidagi harorat o'zgarishining LCFning qovushqoqligi va zichligiga bog'liqligining quyidagi ifodasi olinadi:

ISSN 3030-3907

$$\Delta T = \frac{q \cdot l}{0.008 \cdot Re^{0.9} \cdot Pr^{0.43} \cdot \lambda} \rightarrow \begin{cases} \Delta T \sim \mu, \\ \Delta T \sim \frac{1}{\rho} \end{cases}, \qquad (5)$$

(5) ifodadan kelib chiqadiki, LCF qovushqoqligining pasayishi va uning zichligi oshishi uning sovutish xususiyatlarining oshishiga olib keladi. Magnitlangan LCF ning qovushqoqligi va zichligi bo'yicha eksperimental tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, oqim holatida metallni kesish jarayonida LCF dan foydalanish to'g'ridan-to'g'ri chiqib ketish haroratining pasayishiga va o'z navbatida kesish asbobining yeyilishga qarshiligini oshirishga olib keladi.

Xulosa

Metalllarni kesish uchun qancha ish talab qilinsa, boshqa parametrlar teng bo'lganda kesish harorati shunchalik yuqori bo'ladi. Ishlov berilgan materialning qattiqligi va mustahkamligi oshishi bilan kesish harorati ortadi. Ishlov berilgan materialning issiqlik o'tkazuvchanligi va issiqlik sig'imi ham katta ta'sir ko'rsatadi. Ishlov berilgan materialning issiqlik o'tkazuvchanligi qanchalik yuqori bo'lsa, qirindi va ishlov beriladigan detalga issiqlik uzatish tezligi shunchalik yuqori bo'ladi, ya'ni kesish asbobi kamroq qiziydi. Asbob va zagatovka tomonidan qabul qilinadigan issiqlik miqdori ishlov beriladigan materialning issiqlik sig'imiga bog'liq. Bundan tashqari, ishlov berishda LCF samaradorligining matematik tenglamasi ishlab chiqilgan va model LCF ning zichligi va qovushqoqligiga qarab harorat gradientini taxmin qilishi mumkin. Ishlab chiqilgan model metallni kesish jarayonini raqamlashtirishda, sensorli ishlov berishda va metall kesishda qo'llaniladigan boshqa ishlov berishda qo'llanilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

[1] Reznikov AN, Reznikov LA, Teplovыe protsessы v texnologicheskix sistemax [Thermal processes and technological systems]. Moscow: Mashinastroeniya; 1990, 288p.

[2] Özel T. The influence of friction models on finite element simulations of machining. International journal of machine tools and manufacture. 2006; *46*(5): pp. 518-530. https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2005.07.001

[3] Kuram E, Simsek BT, Ozcelik B, Demirbas E, Askin S, Optimization of the Cutting Fluids and Parameters Using Taguchi and ANOVA in Milling. Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol II, 2010.

[4] Usmonov KB. Metall kesish asoslari [Metal cutting theory]. Toshkent, Oqituvchi, 2004, 160p.

[5] Kuntoğlu M. Tool Flank Wear Analysis for MQL Assisted Milling of Strenx 1100 Structural Steel. Avrupa Bilim Teknol. Derg. 2021, pp. 629–635. https://doi.org/10.31590/ejosat.938234

ISSN 3030-3907

[6] Tóth, M., Brown, A., Cross, E., Rogers, T., & Sims, N. D. (2023). Resource-efficient machining through physics-informed machine learning. *Procedia CIRP*, *117*, 347-352. https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.03.059

[7] Du Preez, A., & Oosthuizen, G. A. (2019). Machine learning in cutting processes as enabler for smart sustainable manufacturing. *Procedia Manufacturing*, *33*, 810-817. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.102

[8] Soori, M., Behrooz, A., & Dastre, R. (2023). Machine Learning and Artificial Intelligence in RDB Machine Tools: A Review. Sustainable Manufacturing and Service Economics, 2, Article ID: 100009. https://doi.org/10.1016/j.smse.2023.100009

[9] Yıldırım, ÇV. Experimental comparison of the performance of nanofluids, cryogenic and hybrid cooling in turning of Inconel 625. Tribol. Int. 2019, 137, pp. 366–378. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.05.014

[10] Sun Y, Ma L, Jia J, Tan Y, Qi S, Tang B, ... & Zhou Y. The generation mechanism of cutting heat and the theoretical prediction model for temperature on the rake face of the cutting tool in Zirconia ceramics. Journal of Manufacturing Processes. 2024; 132: pp. 584-597. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.11.013

[11] Astakhov VP, Outeiro J. (2019). Importance of Temperature in Metal Cutting and Its Proper Measurement/Modeling. In: Davim, J. (eds) Measurement in Machining and Tribology. Materials Forming, Machining and Tribology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03822-9_1

[12] Reznikov AN. Teoreticheskie osnovы aktivnogo oxlajdeniya instrumentov [Theoretical foundations of active cooling of instruments]. In: Kuybishev KAI, Machinability of heat-resistant and titanium alloys//Proceedings of the All-Union Inter-university Conference, 1962, pp. 247-260.

[13] Erkin U., Umidjon M., Umida S. Application of Magnetic Field on Lubricating Cooling Technological Condition in Metal Cutting Process // In International Conference on Reliable Systems Engineering. Springer, Cham, 2021, September. - pp. 100-106.

[14] Pastunova VA, Sladkova TA, Shpinkov VA. Opit vnedreniya novix smazochno-oxlajdayushix jidkostey [Experience of implementation of new cutting fluids]//Obrabotka konstruksionnix materialov rezaniem s primeneniem SOJ; MDNTP, 1978; pp. 34-38.

[15] Umarov TU, Mardonov UT. General characteristic of technological lubricating cooling liquids in metal cutting process. International Journal of Research in Advanced Engineering and Technology, 2020, 6(2), pp. 01-03.

[16] Erkin U, Umidjon M, & Umida S. Application of Magnetic Field on Lubricating Cooling Technological Condition in Metal Cutting Process. In

ISSN 3030-3907

International Conference on Reliable Systems Engineering. Springer, Cham, 2021, September, pp. 100-106. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83368-8_10

[17] Kiselyov YeS, Unyashin AN, Kurganova SZ. Texnologicheskaya effektivnost sovremennых SOJ dlya lezviynoy obrabotki [Technological efficiency of modern cutting fluids for blade processing]. STIN. 1995; 1: pp. 22-25.

[18] Entelisa ST, Berlinera EM. Smazochno-oxlajdayuщie texnologicheskie sredstva dlya obrabotki metallov rezaniem [Lubricating and cooling technological means for metal cutting]. handbook, 2nd ed. Moscow: Mashinostroenie; 1995. 496p.

ISSN 3030-3907