

СЕВИДОВА О.К., ШЕЛКОВОЙ О.М., РУДНЕВ О.В., ГУЦАЛЕНКО Ю.Г.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ З ТВЕРДИМ ЗМАЩУВАННЯМ

Досліджено вплив твердого змащування на процеси алмазного шліфування (АШ) та алмазно-іскрового шліфування (АІШ) важкооброблюваних матеріалів – твердого сплаву ВК6, титанового сплаву ВТ22 і жароміцної нержавіючої сталі 10Х11Н23Т3МР. Описано умови виконаних експериментальних досліджень. Оцінку проведено за показниками параметра шорсткості поверхні Ra та постконтактної температури T_{пк}. Встановлено, що використання твердого змащувального матеріалу (ТЗМ) на основі стеаринової кислоти (65%) та дисульфиду молибдену (35%) зменшує в 1,4...2,1 рази постконтактну температуру і шорсткість в 1,3...1,6 рази при алмазному шліфуванні сплаву ВТ22 і сталі 10Х11Н23Т3МР. При АІШ характер впливу ТЗМ на Ra і T_{пк} не змінюється, але їх абсолютні значення збільшуються в 1,1...1,5 рази.

Ключові слова: твердий змащувальний матеріал, алмазне шліфування, алмазно-іскрове шліфування, важкооброблювані матеріали, постконтактна температура.

СЕВИДОВА Е.К., ШЕЛКОВОЙ А.Н., РУДНЕВ А.В., ГУЦАЛЕНКО Ю.Г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТВЕРДЫХ СМАЗОК

Исследовано влияние твёрдой смазки на процессы алмазного шлифования (АШ) и алмазно-искрового шлифования (АИШ) труднообрабатываемых материалов – твёрдого сплава ВК6, титанового сплава ВТ22 и жаропрочной нержавеющей стали 10Х11Н23Т3МР. Оценка проведена по показателям параметра шероховатости поверхности Ra и постконтактной температуры T_{пк}. Установлено, что использование твёрдого смазочного материала (ТСМ) на основе стеариновой кислоты (65%) и дисульфида молибдена (35%) уменьшает в 1,4...2,1 раза постконтактную температуру и шероховатость в 1,3...1,6 раза при алмазном шлифовании сплава ВТ22 и стали 10Х11Н23Т3МР. При АИШ характер воздействия ТСМ на Ra и T_{пк} не меняется, но их абсолютные значения увеличиваются в 1,1...1,5 раза. Наилучшие результаты при твёрдой смазке достигнуты на поверхности нержавеющей стали 10Х11Н23Т3МР – Ra = 0,22...0,39 мкм и Ra = 0,38...0,49 мкм при АШ и АИШ соответственно.

Ключевые слова: твердый смазочный материал, алмазное шлифование, алмазно-искровое шлифование, труднообрабатываемые материалы, постконтактная температура.

SEVIDOVA E.K., SHELKOVY A.N., RUDNEV A.V., GUTSALENKO YU.G.

EXPERIMENTAL STUDIES OF TEMPERATURE OF DIAMOND GRINDING OF HEAVILY PROCESSED MATERIALS WITH SOLID LUBRICATION

The influence of hard lubrication on the processes of diamond grinding (DG) and diamond spark grinding (DSG) of hard-working materials - hard alloy VK6, titanium alloy VT22 and heat-resistant stainless steel 10H11N23T3MP was studied. The conditions of the performed experimental researches are described. The evaluation was performed according to the parameters of the surface roughness parameter Ra of the postcontact temperature T_{pk}. It was found that the use of solid lubricants (SL) based on stearic acid (65%) and molybdenum disulfide (35%) reduces 1.4... 2.1 times post-contact temperature and roughness 1.3... 1.6 times with diamond grinding of alloy VT22 and steel 10X11H23T3MP. At DSG the character of influence of SL on Ra and T_{pk} does not change, but their absolute values increase in 1.1... 1.5 times.

Key words: solid lubricant, diamond grinding, diamond-spark grinding, roughness, difficult-to-process materials, post-contact temperature.

1. Вступ. Тверді змащувальні матеріали (ТЗМ) як різновид змащувально-охолоджувальних технологічних засобів (ЗОТЗ) почали використовувати для механічної обробки металів, зокрема шліфування, у 80-х роках 20 сторіччя [1 - 4]. Їх доцільність незаперечна у тих випадках, коли застосування традиційних ЗОТЗ ускладнено, не припустимо або не забезпечує технологічного ефекту. Але кожен оброблюваний матеріал потребує додаткових досліджень для вибору раціонального складу ТЗМ.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз літературних даних [1 – 10], результатів попередніх власних досліджень показує, що на сьогодні не існує універсального складу ТЗМ, який забезпечує оптимальні показники обробки навіть для металів однієї групи. Марка матеріалу, параметри режиму шліфування, марка круга впливають на якість оброблюваної поверхні та теплові ефекти в зоні контакту. Кожен матеріал потребує додаткових досліджень для вибору раціонального складу ТЗМ. Лідером в розробці і використанні ТЗМ залишається авіакосмічна корпорація Boeing (США). Корпорація випускає мастила в широкому асортименті не тільки для своїх потреб, а й для інших споживачів.

3. Мета дослідження. Оцінка впливу твердого змащування на показники алмазного та алмазно-іскрового шліфування важкооброблюваних матеріалів – ВК6, ВТ22 і 10Х11Н23Т3МР.

4. Викладення основного матеріалу. До суттєвих переваг твердого змащування порівняно з традиційними ЗОТЗ можна віднести економічність за рахунок оптимальної концентрації мінімальної кількості мастила в точно визначеному місці. Крім того, ТЗМ характеризуються екологічністю і зручністю нанесення на інструмент, не визивають корозії деталей та устаткування, не забруднюють робочі місця.

До складу ТЗМ зазвичай входять базові наповнювачі або зв'язки, антифрикційні, протизносні модифікатори та хімічно-активні компоненти [5 - 10], які знижують сили різання, тертя та температуру в зоні обробки, що сприяє покращенню показників процесу шліфування. Подальший розвиток і розширення практичного впровадження твердого змащування для металообробки пов'язаний саме з розробкою і дослідженням нових видів твердих мастил.

Застосовувалися наступні умови проведення експериментальних досліджень.

При проведенні експериментів були вибрані представники з 3-х груп важкооброблюваних матеріалів. Перший – це твердий сплав ВК6, який використовують для виготовлення ріжучих пластин усіх видів лезової обробки.

Із титанових сплавів для експериментів було вибрано сплав ВТ22 (**Fe** – 0,5 - 1,5%, **C** – до 0,1%, **Si** – до 0,15%, **Cr** – 0,5 – 2%, **Mo** – 4 - 5,5%, **V** – 4 - 5,5%, **N** – до 0,05%, **Al** – 4,4 - 5,9%, **Zr** – до 0,3%, **O** – до 0,2%, **H** – до 0,015%, **Ti** – 78,485 - 86,6%).

Сплав ВТ22 використовують для виготовлення силових деталей і зварних вузлів планерів (силові балки, лонжерони, шпангоути, вузли агрегатів, нервюри, рельси закрилків і передкрилків), силові деталі і вузли шасі (підкоси, коромисло візка, шліц-шарніри, гальмівні важелі). Унікальні властивості цього матеріалу дозволяють виготовляти елементи шасі. Доля деталей із сплаву ВТ22 в конструкціям шасі складає ~30% [11].

До недоліків титанових матеріалів відносять важку оброблюваність різанням, зокрема шліфуванням, через схильність до налипання, низьку теплопровідність і поганих антифрикційних властивостей [12].

Представником третьої групи важкооброблюваних матеріалів була вибрана дисперсійно твердіюча сталь 10X11Н23Т3МР. Склад: **C** – до 0,1%, **Cr** – 10 – 15%, **Ni** – 21 – 25%, **Ti** – 2,6 – 3,2%, **Mo** – 1 – 1,6%, **Si** – до 0,6%, **Mn** – до 0,6%, **Al** – до 0,8%, **S** – до 0,01%, **B** – до 0,02%, **P** – до 0,025%, **Fe** ~ 59%.

Сталь використовують для виготовлення деталей, які експлуатуються за підвищених температур в агресивних середовищах. Це можуть бути лопатки, деталі для турбін, диски, пружини.

Механічну обробку здійснювали за двома методами шліфування – алмазного (АШ) і алмазно-іскрового, розробленого в НТУ «ХП».

Експериментальні дослідження проводили на базі універсально-заточувального верстата моделі ЗД642Е, модернізованого для алмазно-іскрового шліфування (рис. 1).



Рис. 1 – Модернізований універсально-заточний верстат мод. ЗД642Е

В умовах АШ використовували алмазні круги з металевою зв'язкою: АС6 50/40 100% М1-01. Класичне алмазне шліфування здійснювали кругами з бакелітовою зв'язкою: АС4 50/40 100% В1-01.

Рациональний склад ТЗМ шукали з урахуванням літературних даних та результатів власних попередніх дослідів [13 - 16]. Зокрема, за базову основу була взята стеаринова кислота, яка відноситься до класу вищих насичених жирних кислот. Оскільки її молекула полярна, то сама по собі кислота є поверхнево-активною речовиною і може самостійно виконувати змащувальну функцію на ювенильній поверхні оброблюваного металу. Плівка кислоти, що утворюється в результаті хімічної адсорбції відноситься до типових прикладів граничного змащування. Окрім самостійної змащувальної функції в інших відомих складах ТЗМ стеаринова кислота виконує роль зв'язуючої речовини для класичних твердих мастил (змащувачів) – дисульфиду молібдену, графіту, гексагональному нітриду бору і т.п. Ці дані були враховані при розробці експериментальних складів ТЗМ.

Складові інгредієнти ТЗМ зважували на технічних вагах АХІS ВТУ-210 і змішували в скляній ємності. Суміш розтоплювали на водяній бані і перемішували до однорідної субстанції, яку виливали в спеціально розроблену форму для виливок. Після охолодження на повітрі до кімнатної температури зразки ТЗМ товкачем виштовхували з форми.

На робочу поверхню шліфувального круга ТЗМ наносили через два подвійні ходи на третьому без зміни його швидкості.

Одним з головних показників дії будь-яких ЗОТЗ є температура в зоні контакту. Її зниження в усіх процесах різання, зокрема, шліфуванні, сприятливо позначається на якості обробленої поверхні – зменшуються залишкові напруження поверхневого шару і його товщина, зникають припали. Одночасно покращуються умови для експлуатації шліфувального круга, збільшується його зносостійкість.

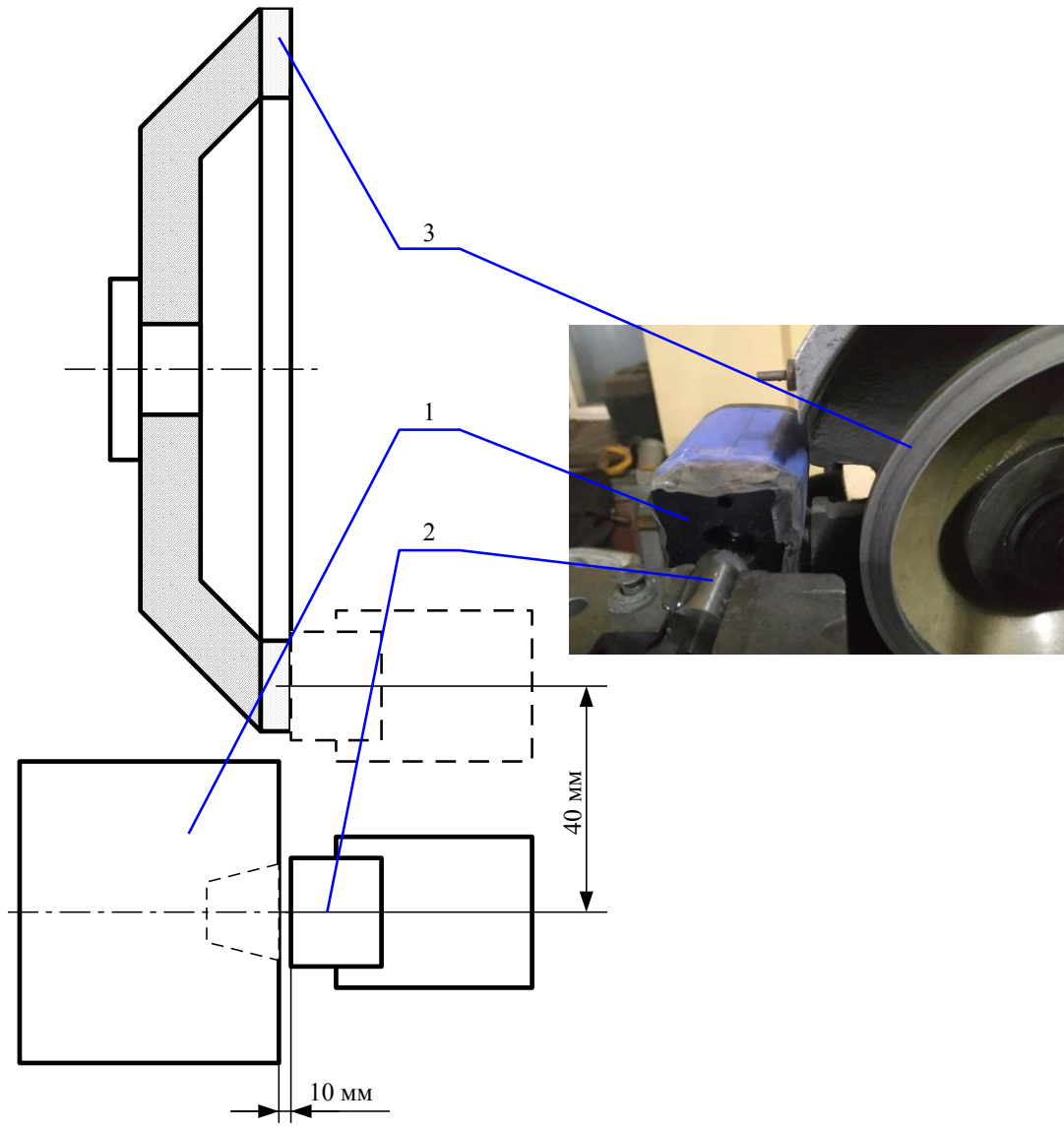
Основною функцією ТЗМ є змащувальна, а не охолоджувальна дія. В той же час ефективно змащування призводить до зменшення сил різання і тертя в зоні контакту, що, в свою чергу, проявляється зменшенням генерованого тепла. Таким чином, за температурним показником можна оцінювати вплив ТЗМ на шліфувальний

процес в цілому.

Вимірювання температури в зоні обробки при шліфуванні методично ускладнене і зазвичай реалізується через штучні термодари, кінці яких виводять в площину шліфування [17].

Нами було зроблено припущення, що дію ТЗМ можна якісно оцінювати за постконтактною температурою $T_{пк}$ поверхні деталі (зразка) на її виході із зони контакту з кругом.

Температуру поверхні вимірювали безконтактним способом за допомогою інфрачервоного пірметра Flus IR-833, жорстко закріпленого на кронштейні верстата на відстані 10-15 мм від площини зразка (рис. 2).



1 – пірметр; 2 – зразок (деталь); 3 – шліфувальний круг

Рис. 2 – Схема вимірювання постконтактної температури

Якість шліфованої поверхні оцінювали показником шорсткості R_a і дослідженням її стану на предмет наявності дефектів – тріщин, припалів і т.п.

Аналіз результатів досліджень (рис. 3 – 5) показує, що використання ТЗМ (СтК 65% + MoS_2 35%) неоднозначно впливає на показники процесу шліфування, а залежить від матеріалів і режимів обробки.

За малої поперечної подачі (0,005 мм/подв. хід) чинник постконтактної температури від дії ТЗМ майже нівелюється на всіх важкооброблюваних металах. Це можна пояснити, перш за все, мінімальним тепловиділенням при цьому режимі, а по-друге – наступним відносно швидким охолодженням поверхні на повітрі. Даний ефект особливо характерний для найбільш теплопровідного матеріалу – ВК6 $\left(\lambda \approx 60 \frac{Вт}{м \cdot К} \right)$ і зберігається на ньому при збільшенні подачі до 0,01 мм/подв.хід.

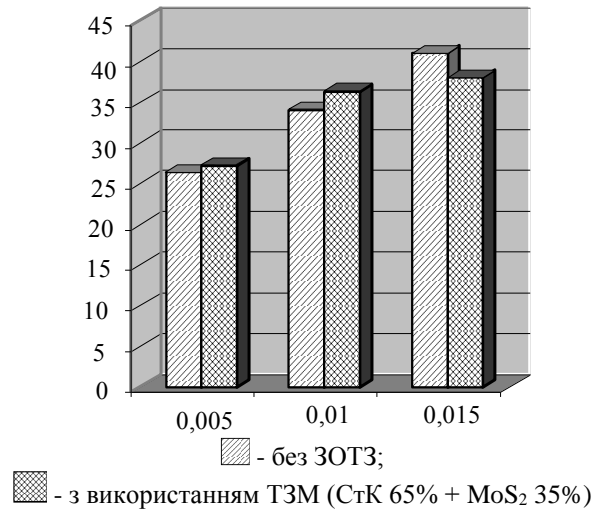


Рис. 3 – Температура шліфування при обробці твердого сплаву ВК6 методом алмазного шліфування

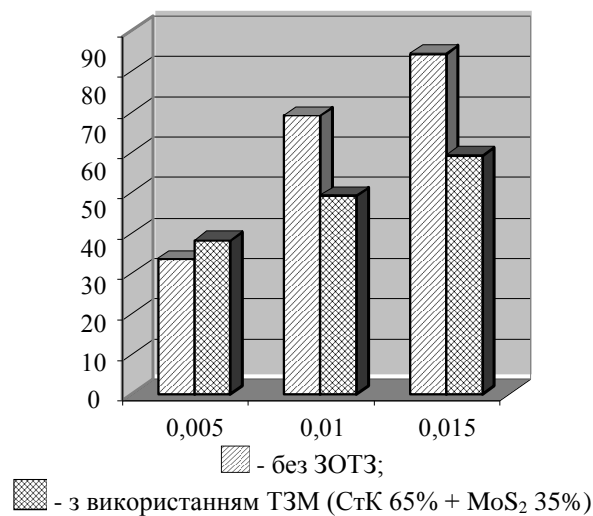


Рис. 4 – Температура шліфування при обробці титанового сплаву ВТ22 методом алмазного шліфування

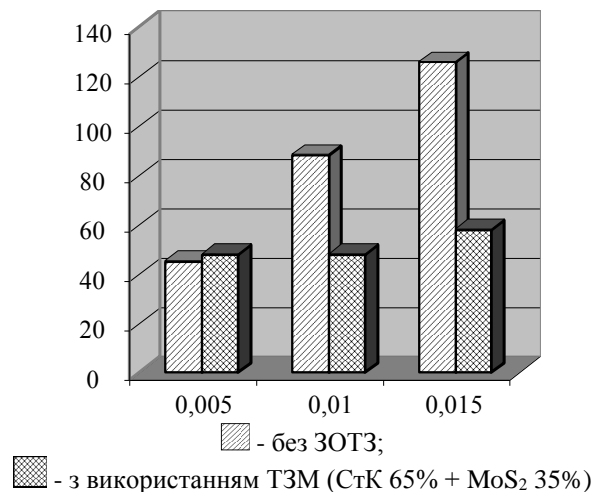


Рис. 5 – Температура шліфування при обробці сталі 10X11H23T3MP методом алмазного шліфування

Найбільш суттєво ТЗМ зменшує тепловиділення в зоні шліфування, а, відповідно і пост-контактну температуру, при обробці титанового сплаву ВТ22 і сталі 10X11H23T3MP – матеріалів з низькою теплопровідністю $\lambda \approx 22 \dots 12 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ відповідно, схильних до налипання і наволокання на інструмент [18]. Комбінація саме цих чинників призводить до генерації високих контактних температур в зоні різання. При збільшенні подачі до 0,01 і 0,015 мм/подв.хід значення

T_n зменшується в 1,4...2,1 рази порівняно з процесом без змащування.

Режим алмазно-іскрового шліфування (рис. 6 – 8) практично не змінює характер впливу ТЗМ на показники процесу на всіх оброблюваних матеріалах. При цьому слід зазначити, що величини контрольованої температури оброблюваних поверхонь в умовах АІШ, як без змащування, так і з використанням ТЗМ, мають більші абсолютні значення, ніж при класичному алмазному шліфуванні. Їх різниця зростає від 3...6° на сплаві ВК6 до 8...40° на сталі 10Х11Н2ЗТЗМР.

Факт збільшення температури в зоні шліфування, а, відповідно, її значення на виході із контакту, можна пояснити введенням додаткової енергії електричного імпульсу за умов АІШ [19].

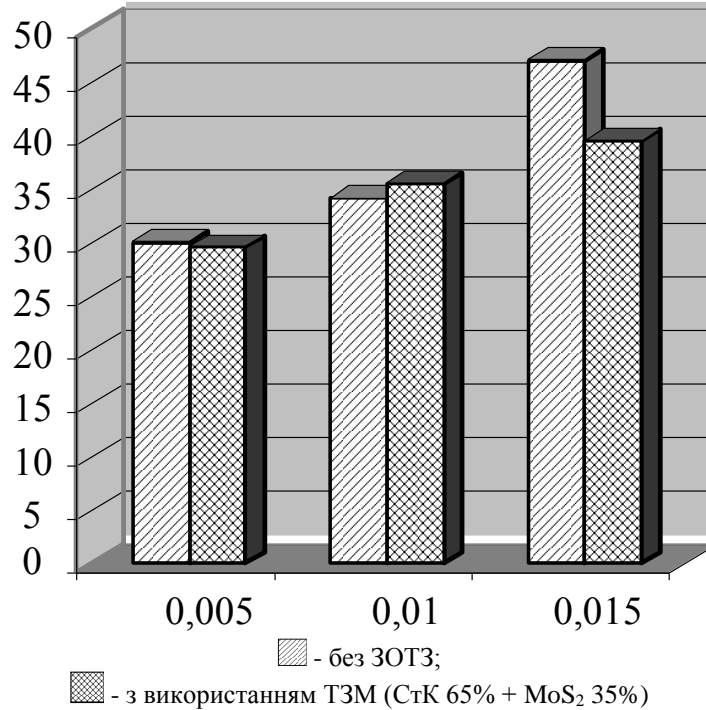


Рис. 6 – Температура шліфування при обробці твердого сплаву ВК6 методом алмазно-іскрового шліфування

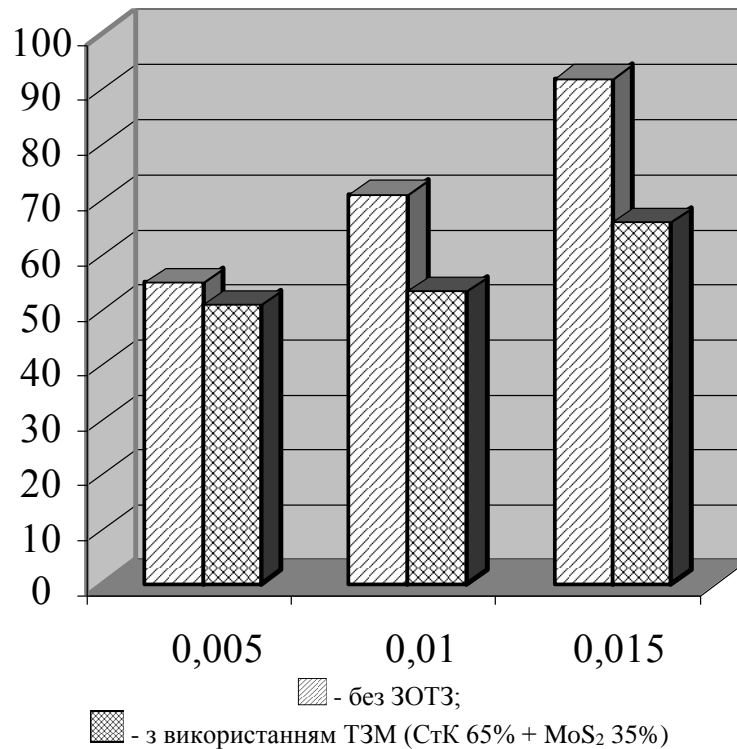


Рис. 7 – Температура шліфування при обробці титанового сплаву ВТ22 методом алмазно-іскрового шліфування

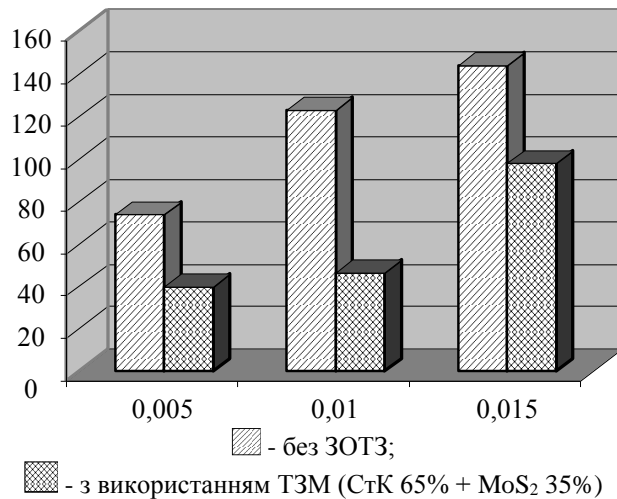


Рис. 8 – Температура шліфування при обробці сталі 10X11H23T3MP методом алмазно-іскрового шліфування

Висновки. Застосування ТЗМ на основі стеаринової кислоти (65%) і дисульфиду молібдену (35%) неоднозначно впливає на показники алмазного шліфування ВК6, ВТ22 і 10X11H23T3MP в залежності від хімічного складу оброблюваного матеріалу та режимів обробки.

В умовах алмазно-іскрового шліфування характер впливу ТЗМ на показники шорсткості і постконтактної температури майже не змінюються, але їх абсолютні значення збільшуються в 1,1...1,5 рази.

Інформативність показника $T_{пк}$ зростає при обробці металів з низькою теплопровідністю. Його можна ефективно застосовувати на етапі первинних досліджень по вибору раціональних складів ТЗМ для шліфування таких матеріалів.

Найкращі результати від використання ТЗМ – мінімальна шорсткість поверхні і максимальне зниження постконтактної температури – досягнуті при шліфуванні жароміцної нержавіючої сталі 10X11H23T3MP, що є підставою вважати цей склад твердого мастила перспективним для обробки схожих матеріалів.

Список літератури:

- Лысаков В.С., Рибоков В.А., Кремь З.И. и др. Применение твёрдых смазочных материалов при заточке инструмента кругами из эльбора: методические рекомендации / Узуня М.Д., Нилов И.М., Агу Коллінз Агу; власник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № 10 і 2010 11928; заявл. 08.10.2010; опубл. 25.03.2011. Бюл. №6.
- Энтелис С.Г., Берлинер Э.М. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера — М.: Машиностроение, 1986. 352 с, ил.
- Рутман П.А., Лобанова В.С. Использование твёрдых смазок с легкоплавкими металлическими наполнителями при обработке металлов резанием // Смазочно - охлаждающие технологические средства в процессах абразивной обработки. Теоретические основы и техника применения: Сборник научных трудов. – Ульяновск: УлПИ, 1988. - С. 112 – 117.
- Безъязычный В.Ф., Лобанов А.В., Рудин Ю.А. Эффективность применения твёрдых смазочных композиций при обработке лопаток ГТД // Вестник машиностроения. 1994. № 3. С. 32 – 34.
- Пат 58078 Україна, МПК (2011.01) В24В 1/10. Твердый змащувальний матеріал для комбінованої обробки матеріалів струмопровідним абразивним інструментом / Узуня М.Д., Нилов И.М., Агу Коллінз Агу; власник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № 10 і 2010 11928; заявл. 08.10.2010; опубл. 25.03.2011. Бюл. №6.
- Патент РФ № 96117774 Твердая смазка для абразивной обработки металлов / Булатов М.А., Кононенко В.И., Лундина В.Г., Курникова Л.И., Алехина В.Д., Шевченко В.Г., Швейкин Г.П., Нохрин А.С. – заявл. 04.09.1996, опубл. 20.11.1998.
- Патент РФ № 2525293 Твердая смазка для абразивной обработки металлов и сплавов / Торокин В.В., Алехина В.Д., Шевченко В.Г., Рябина А.В. – заявл. 14.03.2014, опубл. 10.08.2014.
- Патент РФ № 96120057 Твердая смазка для абразивной обработки сталей и твёрдых сплавов (ее варианты) и антиприжоговая добавка к смазкам для абразивной обработки сталей и твёрдых сплавов / Стариков С.В., Прушак В.Я., Богданович П.Н. – заявл. 03.10.1996, опубл. 27.06.1997.
- Кремнев Г.П., Наддачин В.Б., Якимов А.В., Винникова В.И., Яровой Ю.В. Новые составы твёрдых смазок для лезвийной и абразивной обработки труднообрабатываемых материалов. // Вісник інженерної академії України. Київ, – 2001. – №3. С. 351...353.
- Ларшин В.П., Гречиха А.А., Якимов А.В. Применение твёрдых технологических смазок при шлифовании вырубных штампов // Вісник інженерної академії України. - 2001. - №3. - С.354 - 358.
- Путырский С.В., Яковлев А.Л., Ночовная Н.А. Преимущества и применение высокопрочных титановых сплавов и перспективные направления при разработке новых // Вестник машиностроения. - 2018. - № 7. - С. 68-71. - (Технология машиностроения). - Библиогр.: с. 71 (21 назв.). - ISSN 0042-4633
- Киселев Е. С. Влияние условий шлифования на свойства поверхностного слоя заготовок из титановых сплавов / Е. С. Киселев, Ж. К. Джавахия, А. Б. Маркелов // Станки и инструмент. 1988. - № 5. С. 30 - 31.
- Агу Коллінз Агу Шлифование твёрдых сплавов с применением технологии минимальной смазки: монография / Агу Коллінз Агу, Узуня М.Д., Руднев О.В. – Х. : НТУ «ХПИ», 2019. – 188 с.
- Стариков С.В., Прушак В.Я., Богданович П.Н. Твердая смазка для абразивной обработки сталей и твердых сплавов (ее варианты) и антиприжоговая добавка к смазкам для абразивной обработки сталей и твердых сплавов: патент РФ № 96120057, заявл. 03.10.1996, опубл. 27.06.1997.
- Булатов М.А., Кононенко В.И., Лундина В.Г., Курникова Л.И., Алехина В.Д., Шевченко В.Г., Швейкин Г.П., Нохрин А.С. Твердая смазка для абразивной обработки металлов: патент РФ № 96117774, заявл. 04.09.1996, опубл. 20.11.1998.
- Кононенко В.И., Алехина В.Д., Байдалин Ю.А., Рябина А.В., Торокин В.В., Шевченко В.Г. Твердая смазка для абразивной обработки материалов: патент РФ № 2005134068, заявл. 03.11.2005, опубл. 10.05.2007.
- Панайоти В.А. Исследование теплового режима при шлифовании с применением твердых смазок / Вестник Брянского государственного технического университета, №6(59), 2017, С. 32 –38.
- Худобин Л.В., Худобин И.Л. Шлифование заготовок из титановых сплавов и сталей с применением технологических гидкостей //

19. Кобзарь Л.Е., Фадеев В.А., Беззубенко Н.К. Прогрессивное алмазно-искровое шлифование. - Харьков : ХГПУ - ХНПО «ФЭД», 1995. - 152 с.

List of references:

1. V.S. Lysakov, V.A. Rybakov, Z.Y. Kremen. and others. Application of solid lubricants when sharpening tools with elbor wheels: methodical recommendations M.: NIIMash, 1981. – 43 p.
2. Entelis S.G., Berliner E.M. Lubricating and cooling technological means for cutting metals: Handbook / Ed. S.G. Entelisa, E.M. Berlinera — M.: Mashinostroenie, 1986. 352 p., illustrations.
3. Rutman P.A., Lobantsova V.S. The use of solid lubricants with low-melting metal fillers during metal cutting // Lubricating and cooling technological means in the processes of abrasive processing. Theoretical foundations and application techniques: Collection of scientific works. – Ulyanovsk: UIPI, 1988. - P. 112 – 117.
4. Bezyazychnyy V.F., Lobanov A.V., Rudyn Yu.A. Effectiveness of the use of solid lubricant compositions in the processing of blades of a gas turbine engine // Vestnyk mashinostroeniya. 1994. No. 3. P. 32-34.
5. Pat 58078 Ukraine, IPC (2011.01) B24B 1/10. Solid lubricant for combined processing of materials with a conductive abrasive tool / M.D. Uzunyan, I.M. Pyzhov, Agu Collins Agu; owner National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". – No. and 2010 11928; statement 08.10.2010; published 25.03.2011. Bul. No. 6.
6. Patent of the Russian Federation No. 96117774 Solid lubricant for abrasive processing of metals / Bulatov M.A., Kononenko V.Y., Lundina V.G., Kurnikova L.Y., Alyokhina V.D., Shevchenko V.G., Shveykin G. P., Nokhryn A.S. - statement 09/04/1996, publ. 20.11.1998.
7. Patent of the Russian Federation No. 2525293 Solid lubricant for abrasive processing of metals and alloys / Torokin V.V., Alyokhina V.D., Shevchenko V.G. Ryabina A.V. - statement 14.03.2014, publ. 10.08.2014.
8. Patent of the Russian Federation No. 96120057 Solid lubricant for abrasive processing of steels and hard alloys (its variants) and anti-stick additive to lubricants for abrasive processing of steels and hard alloys / S.V. Starykov, V.Ya. Prushak, P.N. Bogdanovich. - statement 03.10.1996, publ. 27.06.1997.
9. Kremnev G.P., Naddachyn V.B., Yakimov A.V., Vinnikova V.I., Yarovoi Yu.V. New compositions of solid lubricants for blade and abrasive processing of hard-to-process materials. // Bulletins of the Engineering Academy of Ukraine. Kyiv, - 2001. - No. 3. P. 351...353.
10. Larshin V.P., Grechikha A.A., Yakimov A.V. The use of solid technological lubricants in the grinding of punches // Herald of the Academy of Engineering of Ukraine. - 2001. - No. 3. - P.354 - 358.
11. Putyrsky S.V., Yakovlev A.L., Nochovnaya N.A. Advantages and application of high-strength titanium alloys and promising directions in the development of new ones // Vestnyk mashinostroeniya. - 2018. - No. 7. - P. 68-71. - (Engineering Technology). - Bibliogr.: p. 71 (21 titles) . - ISSN 0042-4633
12. E. S. Kiselev Influence of grinding conditions on the properties of the surface layer of workpieces from titanium alloys / E. S. Kiselev, Zh. K. Javakhia, A. B. Markelov // Machine tools and tools. 1988. - No. 5. P. 30 - 31.
13. Agu Collins Agu Grinding of solid alloys using minimal lubrication technology: monograph / Agu Collins Agu, Uzunyan M.D., Rudnev O.V. - Kh.: NTU "KhPI", 2019. - 188 p.
14. Starykov S.V., Prushak V.Ya., Bogdanovich P.N. Solid lubricant for abrasive treatment of steels and hard alloys (its variants) and anti-stick additive to lubricants for abrasive treatment of steels and hard alloys: RF patent No. 96120057, application. 03.10.1996, publ. 27.06.1997.
15. Bulatov M.A., Kononenko V.Y., Lundina V.G., Kurnikova L.I., Alekhina V.D., Shevchenko V.G., Shveikin G.P., Nokhrin A.S. Solid lubricant for abrasive processing of metals: RF patent No. 96117774, application. 09/04/1996, publ. 20.11.1998.
16. V.Y. Kononenko, V.D. Alekhina, Yu.A. Baidalyn, A.V. Ryabina, V.V. Torokin, and V.G. Shevchenko. Solid lubricant for abrasive processing of materials: RF patent No. 2005134068, application. 03.11.2005, publ. 10.05.2007.
17. Panayota V.A. Investigation of the thermal regime when grinding with solid lubricants / Bulletin of the Bryansk State Technical University, No. 6(59), 2017, pp. 32-38.
18. Khudobyn L.V., Khudobyn I.L. Grinding of workpieces from titanium alloys and steels with the use of technological viscosity // Vestnik mashinostroeniya. 1982. - No. 11. - P. 40-43.
19. Kobzar L.E., Fadeev V.A., Bezsubenko N.K. Progressive diamond spark grinding. - Kharkiv: KhHPU - KhNPO "FED", 1995. - 152 pp.

Поступила (received) 20.02.2022

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Севидова Олена Костянтинівна (Севидова Елена Константиновна, Elena Sevidova) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник кафедри «Інтегровані технології машинобудування» ім. М.Ф. Семка Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID 0000-0001-8762-6230; тел.: (057) 7076143; e-mail: hightech@kpi.kharkov.ua.

Шелковий Олександр Миколайович (Шелковой Александр Николаевич, Shelkovyi Oleksandr) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-7414-4854; тел.: (057) 7076143 e-mail: alnikshelk@gmail.com

Руднев Олександр Віталійович (Руднев Александр Витальевич, Aleksandr Rudnev) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри «Інтегровані технології машинобудування» ім. М.Ф. Семка Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-4091-6748; тел.: (057) 7076143; e-mail: aleksandr1827.64@gmail.com.

Гуцаленко Юрій Григорійович (Гуцаленко Юрий Григорьевич, Yuriy Gutsalenko) – старший науковий співробітник кафедри «Інтегровані технології машинобудування» ім. М.Ф. Семка Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-4701-6504; тел.: (057) 7076143; e-mail: yu.gutsalenko@gmail.com.