

© О.О. Богданов¹, В.А. Дербаба¹, В.М. Рубан¹, Н.С. Назаренко²

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

²Відокремлений структурний підрозділ «Фаховий коледж ракетно-космічного машинобудування Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара», Дніпро, Україна

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ

© O. Bohdanov¹, V. Derbaba¹, V. Ruban¹, N. Nazarenko²

¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

²Separate structural unit «Applied rocket-and-space engineering college of Oles Honchar Dnipro National University», Dnipro, Ukraine

CLASSIFICATION OF OILING AND COOLING TECHNOLOGICAL MEANS

Мета. Метою дослідження є розробка комплексної системи класифікації змащувально-охолоджувальних технологічних засобів (ЗОТЗ) і аналіз їхнього впливу на основні параметри процесу механічної обробки металів різанням, такі як продуктивність, довговічність інструменту, якість поверхні деталей, силу різання та температурні деформації. Крім того, метою є встановлення оптимальних умов застосування ЗОТЗ для різних типів матеріалів та режимів обробки.

Методика. Методика дослідження включала аналіз наукової літератури, класифікацію ЗОТЗ за їх агрегатним станом, складом та функціональними властивостями. Проведено експериментальну оцінку мастильних, охолоджувальних і мийних властивостей рідких, пластичних, газоподібних і твердих ЗОТЗ. Розглянуто особливості їх впливу на зменшення температур у зоні різання, зниження тертя та поліпшення процесу видалення стружки.

Результати. На основі аналізу запропоновано класифікацію ЗОТЗ, що включає чотири основні групи: рідкі (емульсії, мастильні олії, водозмішуючі склади), тверді (графіт, тальк, воски, полімери), пластичні (мінеральні та синтетичні мастила), газоподібні (азот, аргон, повітря). Виявлено, що використання рідких ЗОТЗ дозволяє знизити температури в зоні різання та покращити охолодження, тоді як тверді ЗОТЗ ефективні в умовах високих температур і навантажень. Застосування ЗОТЗ знижує силу різання, забезпечує стабільність якості обробки та продовжує термін експлуатації інструментів.

Наукова новизна. Новизна роботи полягає в розробці комплексної системи класифікації ЗОТЗ, яка враховує їх агрегатний стан, хімічний склад, функціональні характеристики та умови застосування. Встановлено залежності між параметрами ЗОТЗ (склад, концентрація, температурні характеристики) та їх впливом на основні параметри процесу обробки металів різанням. Вперше проведено детальний аналіз комбінованих складів ЗОТЗ, що містять водні розчини з додаванням солей і поверхнево-активних речовин, для забезпечення одночасно мастильного та охолоджувального ефекту.

Практична значимість. Результати дослідження мають значну практичну значимість для підприємств металообробної галузі. Запропонована система класифікації та рекомендації щодо вибору ЗОТЗ дозволять значно підвищити продуктивність технологічних процесів за рахунок оптимізації охолодження та змащування; продовжити термін експлуатації різального

інструменту за рахунок зниження тертя та температурних деформацій; поліпшити якість поверхні деталей за рахунок зменшення шорсткості та формування залишкових напружень стиску; зменшити витрати на обслуговування інструменту та експлуатаційні витрати; скоротити негативний вплив на навколишнє середовище за рахунок застосування безпечних і екологічно чистих ЗОТЗ.

Ключові слова: змащувально-охолоджувальні технологічні засоби, класифікація, змащувально-охолоджувальна рідина, мастильний ефект, стійкість інструменту.

Вступ. Оброблюваність – це комплексне поняття, яке визначається станом оброблюваного матеріалу, різального інструмента і характером їхньої взаємодії [1–9]. Покращувати оброблюваність можна, змінюючи властивості оброблюваного матеріалу (легування, термічна обробка), властивості різального інструмента або впливати на зону, де відбувається взаємодія інструмента та оброблюваного матеріалу (наявність змащувально-охолоджувальних технологічних засобів (ЗОТЗ)). Використання в процесі механічної обробки сучасних ЗОТЗ є ефективним методом впливу на оброблюваність.

За рахунок раціонального вибору ЗОТЗ забезпечується: підвищення продуктивності обробки; збільшення стійкості різального інструмента; покращення якості поверхневого шару за рахунок зниження шорсткості, формування залишкових напружень стиску; підвищення точності обробки внаслідок зниження інтенсивності зносу інструмента, зменшення температурних деформацій заготовки, інструмента, елементів обладнання [7, 8]; евакуація стружки із зони різання, що особливо важливо під час обробки глибоких отворів; покращення санітарно-гігієнічних умов праці й екології навколишнього середовища; скорочення собівартості виробництва за рахунок збільшення продуктивності та зниження витрат на різальний інструмент.

Основна частина. При обробленні матеріалів різанням в зоні контакту інструменту з заготовкою виникають високі температури. Зниженню цих температур сприяє оптимізацією геометрії різця та використання змащувально-охолоджувальних рідин (ЗОР). Більшість операцій з обробки виконуються за допомогою ЗОР. Під час різання змащувально-охолоджувальні рідини повинні мати мастильний, охолоджуючий та миючий ефект.

Під мастильною дією розуміють здатність ЗОР утворювати міцні плівки на контактних поверхнях інструменту [9], на стружках та на оброблених поверхнях заготовки, які повністю або частково перешкоджають контакту передньої поверхні із стружкою та задньої частини поверхні з ріжучою поверхнею.

Змащувальний ефект рідин посилюється зі збільшенням проникнення речовин, що входять до його складу, та активності, з якою ці речовини взаємодіють із новоутвореними поверхнями деталі, стружки та інструментів.

Охолоджувальний ефект ЗОР полягає головним чином у відведенні тепла від нагрітих контактних поверхонь інструменту та поверхонь заготовки за рахунок конвективного теплообміну. Теплообмін між нагрітими поверхнями та ЗОР залежить від умов випаровування рідини, теплофізичних властивостей контактуючих тіл, змочувальної здатності ЗОР та швидкості його відносного руху.

Під мийною дією ЗОР розуміється здатність рідин видаляти продукти зношення з поверхні різання та контактних поверхонь інструменту. Мийна здатність ЗОР покращується зі зменшенням поверхневого натягу рідини.

Окрім мастильних, охолоджувальних та миючих властивостей, ЗОР повинні мати стійкість, не мати неприємного запаху, бути мало схильними до спінювання та не викликати корозії верстата, деталей та інструменту.

Всі використовувані в даний час ЗОР (рис. 1) можна розділити на вуглеводневі - відносять мінеральні та рослинні олії [2], ці рідини мають знижене охолодження та підвищують мастильні властивості; емульсії - являють собою систему рідин, які не розчиняються або малорозчинні одна в одній; водні [3] ЗОР поділяють на електроліти, водні розчини полімерів і поверхнево-активних речовин і суспензії, також застосовують комбіновані склади, що містять одночасно розчини солей та поверхнево-активні рідини ПАР, ці рідини покращують охолодження та знижують мастильні властивості.



Рис. 1. Змащувально-охолоджувальні рідини

Застосування ЗОР [4] зменшує силу різання, покращує якість оброблюваної поверхні і в більшості випадків збільшує термін служби інструменту.

Пластичні деформації і тертя, що виникають в процесі різання, викликають високий тиск і температури в зоні контакту оброблюваної деталі і ріжучого інструменту. Змащувально-охолоджувальні технологічні засоби (ЗОТЗ) впливають на зменшення тепловиділення (за рахунок полегшення процесу стружкоутворення і зменшення тертя), поглинають і відводять частину виділеної теплоти, знижуючи тим самим температуру різання.

На графіку (рис. 2) показано, як різні типи змащувально-охолоджувальних технологічних засобів впливають на температуру у зоні різання. Рідкі ЗОТЗ найефективніше знижують температуру, особливо при середніх режимах різання. Тверді ЗОТЗ мають найвищу стійкість до високих температур, але їх ефективність обмежена складним процесом нанесення.

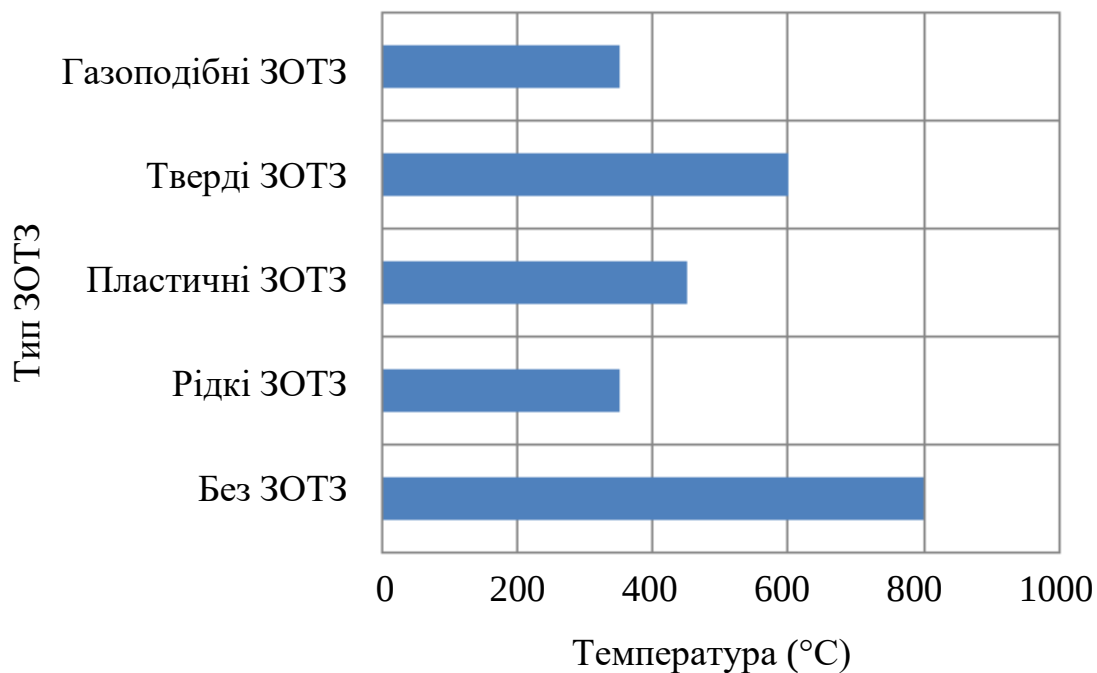


Рис. 2. Вплив типу ЗОТЗ на температуру у зоні різання

По класифікації всі змащувально-охолоджуючі матеріали розділені по агрегатному стану: охолоджуючі гази; змащувально-охолоджувальні рідини (ЗОР); пластичні мастильні матеріали; тверді технологічні мастила.

Тверді змащувально-охолоджувальні матеріали. За хімічним складом поділені на три класи - неорганічні продукти шароподібної структури (тальк, графіт, слюда, дисульфід молібдену і ін.), органічні сполуки (воски, мила, тверді жири, полімери) і м'які метали (олово, свинець, мідь). Застосовують їх в особливо важких умовах (при високих температурах і навантаженнях), а також в тих випадках, коли інші типи змащувально-охолоджувальних матеріалів неефективні. Тверді мастила наносять як поверхневі покриття на різальний інструмент або оброблюваний метал.

Пластичні змащувально-охолоджувальні матеріали. Зазвичай являють собою пластичні мастила. Їх використовують в дрібносерійному виробництві при нарізанні різі (мітчиками і плашками), свердління, протягування та розгортання,

при поліруванні. Застосування пластичних змащувально-охолоджувальних матеріалів обмежується важкістю введення їх в зону різання, неможливістю збору, очищення і повторного застосування. Пластичні змащувально-охолоджувальні матеріали розділені на наступні класи: мастила на вуглеводневих (парафін, віск і деякі полімери), мильним (натрієві, літієві, кальцієві, барієві, свинцеві тощо) і неорганічних (глина, слюда, азбест тощо) згущувачі.

Газоподібні змащувально-охолоджувальні матеріали. Розділені на нейтральні (азот, гелій, аргон) і активні, кисневмісні (повітря, діоксид вуглецю, кисень), гази. Активні гази, окрім ролі охолоджувача, також і захищають поверхню в зоні тертя від зношування, утворюючи на них оксидні плівки. Застосування газоподібних змащувально-охолоджувальних матеріалів не набуло широкого застосування. У газоподібному середовищі можливо заточувати ріжучий інструмент з інструментальних сталей і твердих сплавів, точити і свердлити кислотостійкі і жароміцні сплави, шліфувати спеціальні сталі і сплави. На графіку (рис. 3) приведено порівняння ефективності азоту, аргону та повітря у зменшенні температури у зоні різання.

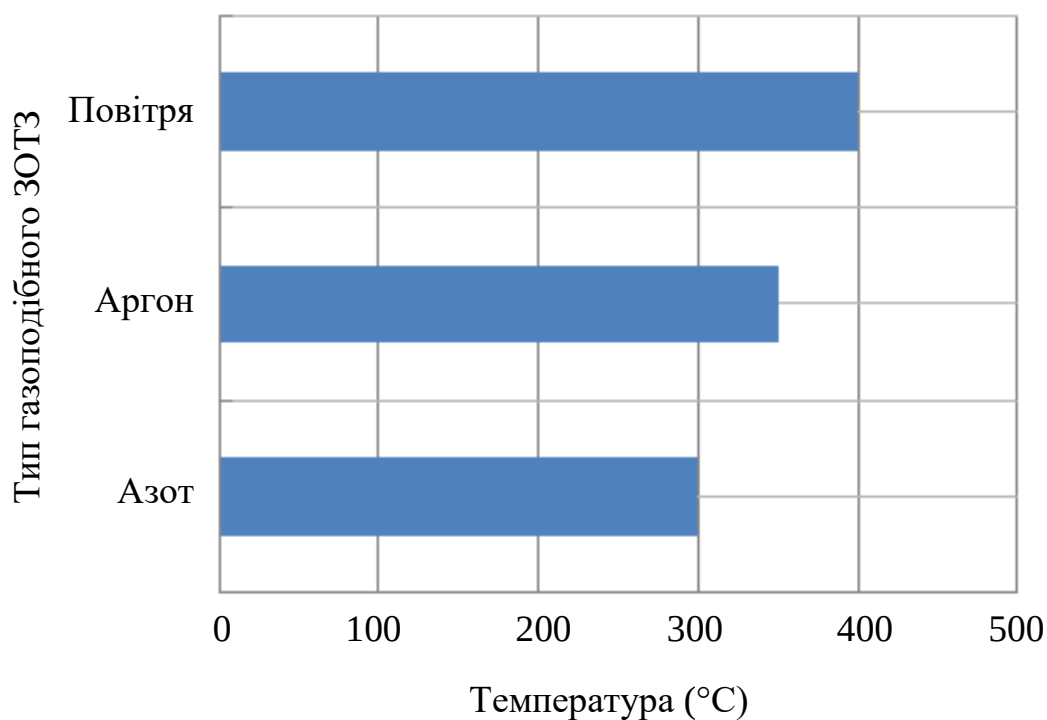


Рис. 3. Вплив газоподібних ЗОТЗ на температуру у зоні різання

Рідкі змащувально-охолоджувальні матеріали. Їх прийнято називати змащувально-охолоджувальні рідини (ЗОР). Вони розділені на класи: масляні, водозмішуючі (водні), швидкорозчинні і сплави деяких металів.

Масляні ЗОР. Складаються з мінерального масла [5], що є базовим, до якого можуть бути додані антифрикційні, антизношування і антизадирні присадки, інгібітори корозії, антиоксиданти, антипінні і антитуманні присадки.

Мінеральне масло в масляних ЗОР займає 60–95% (у відсотках по масі). Зазвичай це високоочищені нафтові або парафінові масла. Іноді в якості

основи для масляних ЗОР використовують суміш з декількох (2–3) мінеральних мастил.

Антифрикційні присадки - це зазвичай технічні рослинні масла і жири (рапсова олія, свинячий жир), жирні кислоти і їх ефіри, а також полімерні ненасичені жирні кислоти. Їх зміст зазвичай становить 5–25%.

Антизношувальні присадки - зменшують знос ріжучого інструменту при зростанні навантаження. З них в складі масляних ЗОР найбільш відомі діалкілфосфіти, а також полімерні жирні кислоти. Концентрація протизношувальних присадок в масляних ЗОР зазвичай 0,5–5%, вона залежить від призначення продукту, а також складу інших присадок.

Антизадири присадки запобігають захоплення і знос ріжучого інструменту при найбільш важких температурних і механічних навантаженнях.

Це найчастіше речовини, що містять сірку, хлор, фосфор. Залежно від умов застосування масляних ЗОР вміст в них сірки становить від 0,5–3% (сульфіди і напівсульфіди) до 3–20% (збагачені сіркою жири). Хлоровмістні протизадири присадки менш поширені. Найпоширеніша з них – хлорований парафін. Хлоровмістні присадки в кількості 3–15% застосовують при обробленні високолегованих сталей.

Інгібітори корозії запобігають корозійний вплив масляних ЗОР на виготовлені деталі та деталі машин, викликане продуктами окислення мінеральних олій, присадок, а також продуктів їх розкладання. Через схильність до корозії оброблювані матеріали досить широко варіюються, і цей факт враховується для того чи іншого способу захисту від корозії. У деяких випадках достатньо ефективними інгібіторами корозії є присадки, використовувані для поліпшення змащувальних властивостей ЗОР: полімерні, ненасичені жирні кислоти, дисульфіді, амінофосфати.

Антипінні присадки додають в масляні ЗОР для запобігання піноутворення.

Найбільше поширення набули діметилсиліконові полімери. Необхідні кількості цих речовин 0,0005–0,001%.

Антитуманні присадки знижують утворення і виділення масляного туману (аерозолі) при роботі з ЗОР на масляній основі. Антитуманні присадки рекомендуються поліолефіни, аттактичний поліпропілен. Ці присадки зазвичай вводять в кількості 0,5–3%. Масляні ЗОР мають хороші змащувальні властивості, забезпечують тривалий термін служби різального інструменту, оберігають оброблюваний метал і деталі верстатів від корозії.

Масла без присадок застосовують при обробленні магнію, латуні, бронзи, міді і вуглецевих сталей при легких режимах різання [6]. Однак вони мало ефективні при обробленні важкооброблюваних сталей і сплавів, особливо при важких режимах різання.

На рисунках 4 та 5 показано вплив використання ЗОТЗ при важких умовах різання (велика складова сили різання) і як змінюється термін експлуатації інструменту.

Графік (рис. 4) показує, як пластичні ЗОТЗ (мастила) зменшують сили різання за рахунок покращення мастильного ефекту. Ефективність пластичних ЗОТЗ найвища при середніх режимах різання, але їх застосування обмежується важкістю введення у зону різання.

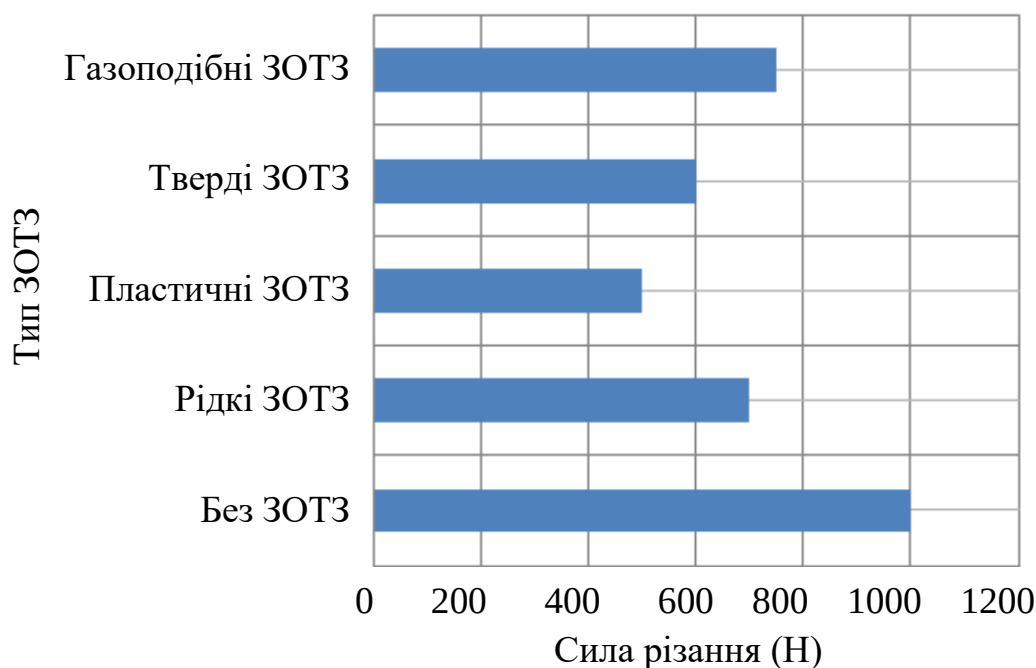


Рис. 4. Вплив ЗОТЗ на силу різання

Графік (рис. 5) графік демонструє, як тверді ЗОТЗ позитивно впливають на довговічність (термін експлуатації) різального інструменту. Тверді ЗОТЗ (графіт, слюда, дисульфід молібдену) значно підвищують тривалість життя інструменту, особливо при високих температурах та навантаженнях. Рідкі ЗОТЗ мають менший ефект для довговічності, але краще охолоджують.

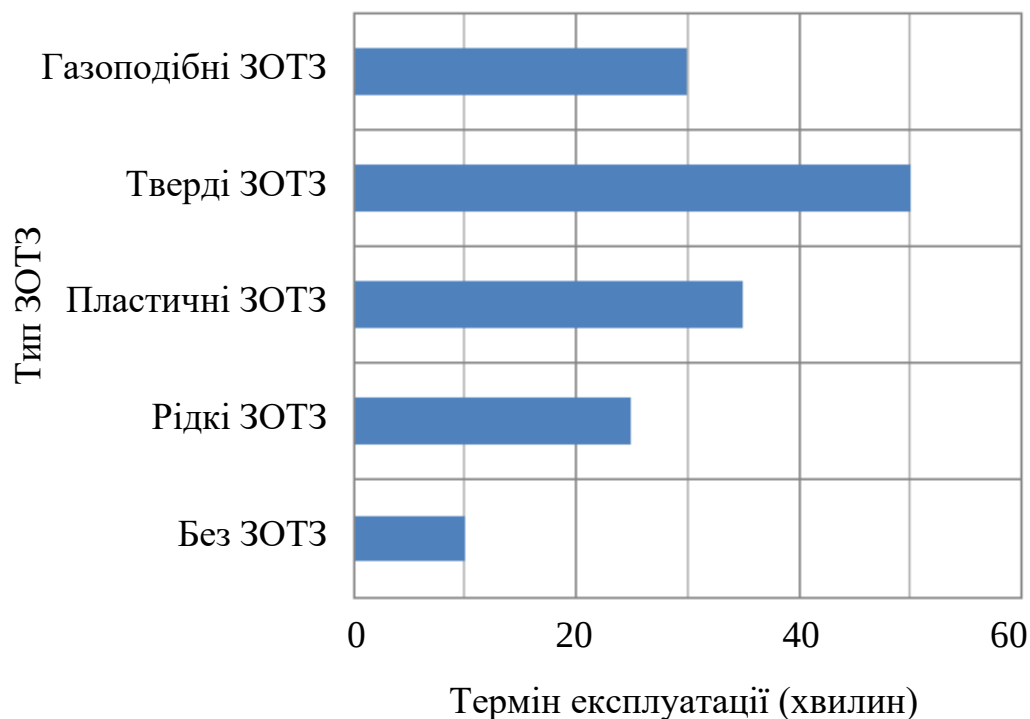


Рис. 5. Вплив ЗОТЗ на термін експлуатації інструменту

Водозмішуючі ЗОР. Такі ЗОР можуть містити емульгатори, нафтові олії, воду, спирти, гліколі, інгібітори корозії, бактерициди, протизношуванні, проти-задирні і антипінні присадки, електроліти та інші органічні і неорганічні продукти. Ці ЗОР застосовують як емульсії або справжніх водних розчинів при абразивній і лезовій обробці (легкі і середні режими різання) чорних і кольорових металів. Перевагами водозмішуючих ЗОР є більш висока, ніж у масляних ЗОР, охолоджувальна здатність, відносно низька вартість, пожежна безпека і менша токсичність. Недоліки – невисокі змащувальні властивості, низька ефективність на окремих операціях і недостатньо висока стабільність властивостей з часом. Водозмішуючі ЗОР розділені на чотири підкласу - емульгуючи (емульсоли), напівсинтетичні, синтетичні, розчини електролітів.

Емульговані ЗОР (емульсоли) при змішуванні з водою утворюють емульсії. В основи емульсолів використовують середньов'язкі нафтові масла нафтового або змішаного типу, зміст яких в емульсолі може досягати 85%. Застосовують емульсоли у вигляді 1–5%-них емульсій у воді.

Емульгатори є поверхнево-активними речовинами (ПАР) і, крім зменшення поверхневого натягу, вони виконують роль мастильних речовин та інгібіторів корозії. Як і емульгатори, найбільшого поширення в складі емульсолів отримали аніоноактивні ПАР, а також їх суміші: калієві, натрієвих жирних, смоляних і сульфокислот.

Напівсинтетичні ЗОР принципово не відрізняються від емульсолів щодо компонентного складу, однак вони суттєво відрізняються від них по концентрації компонентів. Основу напівсинтетичних ЗОР становить вода (до 50%) і емульгатори (до 40%). Обов'язковим компонентом є малов'язкі (3–10 кв. мм / с при 50° С) нафтове масло. Напівсинтетичні ЗОР, як і емульсоли, можуть містити біоциди, протизношуванні і протизадирні присадки. Синтетичні ЗОР можуть бути приготовані у вигляді порошків. Їх застосовують у вигляді 1-10% водних розчинів. По універсальності, тривалості збереження експлуатаційних властивостей синтетичних ЗОР, як правило, перевершують емульсії.

Швидковипаровувані ЗОР. Основу таких змащувально-охолоджувальних матеріалів складають швидковипаровувані галогенпохідні вуглеці. Випаровуючись, вони охолоджують ріжучий інструмент і обробляють виріб і залишають на поверхнях, що труться, тонкі змащувальні шари присадок, що входять до їх складу. Швидковипаровувані змащувально-охолоджувальні матеріали застосовують при обробленні різанням важкооброблюваних сплавів і пакетів з пластин різнорідних матеріалів на операціях свердління, розгортання, нарізування різі і протягування.

Класифікація ЗОТЗ (рис. 6) складається з чотирьох груп, що характеризують агрегатний стан дисперсійного середовища ЗОТЗ: змащувально-охолоджувальні рідини; тверді технологічні мастила; пластичні мастильні матеріали; гази.

До класифікаційної групи твердих технологічних мастил об'єднано такі класифікаційні ознаки: добавки до газових ЗОРЗ, тверді органічні склади, мазі, які наносять на поверхню інструменту, плівкові покриття, металопластичні мастильні матеріали, лід, рідини та гази у твердому стані.

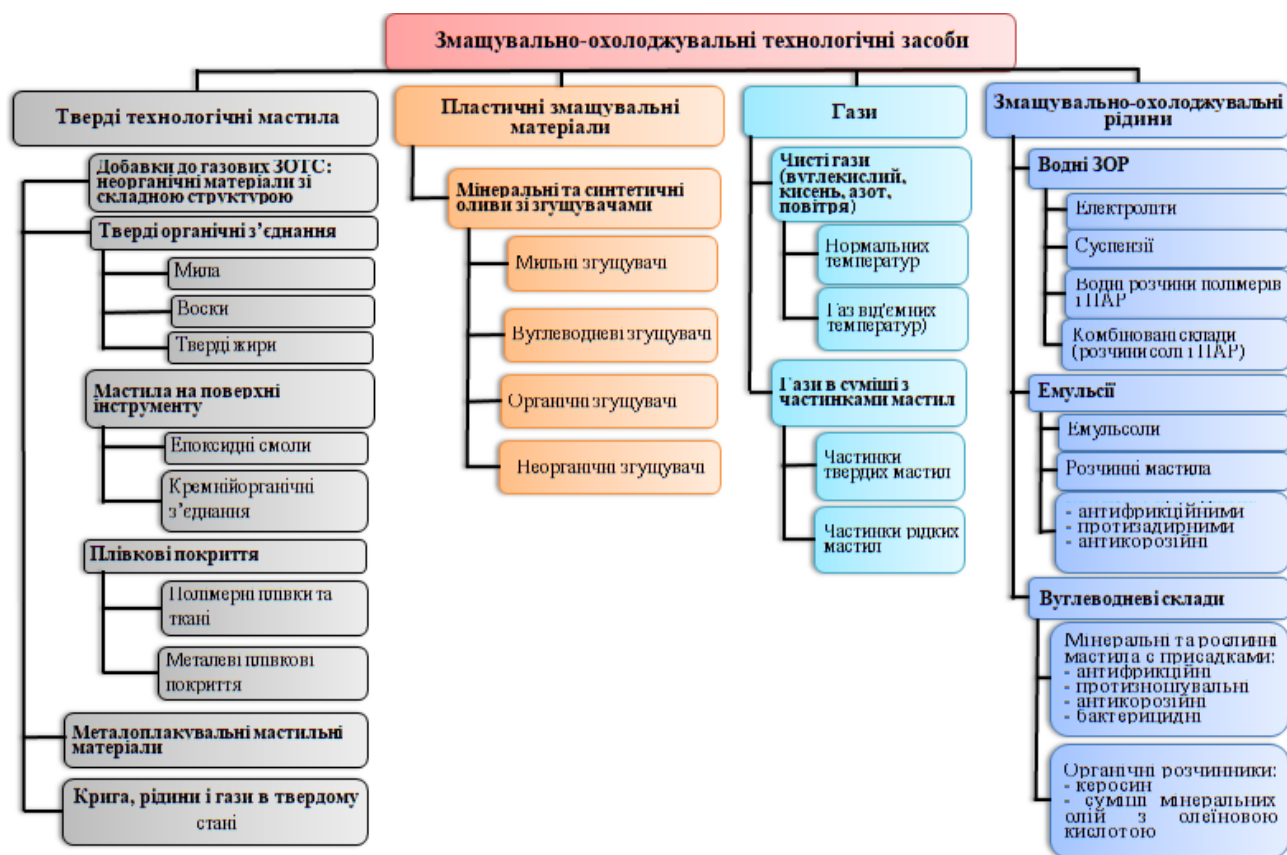


Рис. 6. Змащувально-охолоджувальних технологічних засобів

До класифікаційної групи пластичних мастильних матеріалів віднесено мінеральні та синтетичні оливи із загусниками.

До класифікаційної групи газів віднесено чисті газы, газы в суміші з частинками мастил.

До класифікаційної групи змащувально-охолоджувальних рідин віднесено водні ЗОР, емульсії та вуглеводневі склади.

Висновки.

1. Запропоновано детальну класифікацію змащувально-охолоджувальних технологічних засобів (ЗОТЗ), що враховує їх агрегатний стан, хімічний склад та функціональні характеристики. Класифікація включає чотири основні групи: рідкі, тверді, пластичні та газоподібні ЗОТЗ. Ця систематизація дозволяє ефективніше підбирати ЗОТЗ залежно від типу матеріалу, інструменту та умов обробки.

2. Застосування різних типів ЗОТЗ значно впливає на продуктивність механічної обробки. Рідкі ЗОТЗ найефективніше зменшують температуру у зоні різання і покращують охолодження, особливо при середніх режимах різання. Тверді ЗОТЗ демонструють найвищу стійкість до високих температур і навантажень, але їх застосування обмежується важкістю нанесення. Пластичні ЗОТЗ мають найкращі мастильні властивості, проте їх застосування обмежується складністю введення у зону різання. Газоподібні ЗОТЗ показують найбільший ефект охолодження, особливо при обробці матеріалів, що підлягають окисдуванню.

3. Застосування ЗОТЗ подовжує термін експлуатації різального інструменту. Тверді ЗОТЗ (графіт, слюда, дисульфід молібдену) мають найбільший позитивний вплив на довговічність інструменту, особливо при високих температурах і навантаженнях. Рідкі ЗОТЗ мають менший ефект для довговічності, але краще охолоджують.

4. Всі типи ЗОТЗ зменшують силу різання, але ефективність залежить від їх типу. Пластичні ЗОТЗ мають найбільший ефект зменшення сил різання за рахунок покращення мастильного ефекту, але їх застосування обмежується важкістю введення у зону різання.

Перелік посилань

1. Лалазарова, Н.О., Дощечкіна, І.В., Орлов, М.С., & Афанасьєва, О.В. (2020). Покращення оброблюваності високоміцного чавуну використанням технологічних середовищ. *Вісник ХНАДУ*, 91, 150–154. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2020.91.0.150>
2. Колесніков, В.О. (2020). Дослідження впливу змащувально-охолоджувальних рідин на робочі та експлуатаційні властивості корозійнотривких сталей. *Проблеми корозії та проти-корозійного захисту конструкційних матеріалів "КОРОЗІЯ-2020". XV Міжнар. конф. Матеріали*, 378–382.
3. Балицький, О.І., Колесніков, В.О., & Гаврилюк, М.Р. (2018). Вплив змащувальної охолоджувальної рідини на формування продуктів різання роторної сталі 38ХНЗМФА. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*, 54(5), 103 – 107.
4. *Змащувально-охолоджувальна рідина для обробки металів різанням* (2004). (Пат. 69836, Україна. С10М 173/02. 20031211305. Заявл. 10.12.2003. опубл. 15.09.2004, бюл. № 9. 4 с.)
5. *ДСТУ 3927-99. Нафтопродукти. Рідини мастильно-холодильні. Номенклатура показників якості* (1999).
6. *ДСТУ 3914-99. Нафтопродукти. Матила технологічні. Номенклатура показників* (1999).
7. Дербаба, В.А., Носачов, В.С., & Різо, З.М. (2021). Дослідження і удосконалення методики випробувань верстата на геометричну і кінематичну точність. *Збірник наукових праць НГУ*, 64, 198–212. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.198>
8. Kravchenko, Yu., & Derbaba, V. (2020). Empirical definition of the shearing angle and chip-edge contact length when cutting. *Збірник наукових праць НГУ*, 63, 123–133. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/63.123>
9. Щербина, Є.Ю., Дербаба, В.А. & Козечко, В.А. (2022). Критерії стійкості ріжучого інструменту для висоввідкісної обробки. *Збірник наукових праць НГУ*, 67, 77–95 <https://doi.org/10.33271/crpnmu/67.077>

ABSTRACT

Purpose. The purpose of the study is to develop a comprehensive classification system for lubricating and cooling technological means (LCTM) and analyze their impact on the main parameters of the process of mechanical metal cutting, such as productivity, tool durability, surface quality of parts, cutting force and temperature deformations. In addition, the goal is to establish optimal conditions for using LCTM for different types of materials and processing modes.

The methods. The research methodology included an analysis of scientific literature, classification of LCTM according to their aggregate state, composition and functional properties. An experimental assessment of the lubricating, cooling and washing properties of liquid, plastic, gaseous and solid LCTM was carried out. The features of their impact on reducing temperatures in the cutting zone, reducing friction and improving the chip removal process were considered.

Findings. Based on the analysis, a classification of LCTM was proposed, which includes four main groups: liquid (emulsions, lubricating oils, water-miscible compositions), solid (graphite, talc, waxes, polymers), plastic (mineral and synthetic lubricants), gaseous (nitrogen, argon, air). It was found that the use of liquid LCTM allows to reduce temperatures in the cutting zone and improve cooling, while solid LCTM are effective in conditions of high temperatures and loads. The use of LCTM reduces the cutting force, ensures the stability of the processing quality and extends the service life of tools.

The originality. The novelty of the work lies in the development of a comprehensive system for classifying LCTM, which takes into account their aggregate state, chemical composition, functional characteristics and conditions of use. Dependencies between LCTM parameters (composition, concentration, temperature characteristics) and their influence on the main parameters of the metal cutting process have been established. For the first time, a detailed analysis of combined compositions of LCTM containing aqueous solutions with the addition of salts and surfactants was carried out to provide both a lubricating and cooling effect.

Practical implementation. The results of the study have significant practical significance for enterprises in the metalworking industry. The proposed classification system and recommendations for the selection of LCTM will significantly increase the productivity of technological processes by optimizing cooling and lubrication; extend the service life of the cutting tool by reducing friction and temperature deformations; improve the surface quality of parts by reducing roughness and the formation of residual compressive stresses; reduce tool maintenance costs and operating costs; reduce the negative impact on the environment by using safe and environmentally friendly LCTM.

Keywords: *lubricating and cooling technological means, classification of lubricating and cooling fluids, lubricating effect, tool stability.*