

М.С. Степанов, д.т.н., проф. <sup>1</sup>,  
Л.П. Іванова, ст. викл. <sup>2</sup>,  
П.І. Літовченко, к.т. н., доц. <sup>2</sup>,  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут» <sup>1</sup>  
Національна академія Національної гвардії України <sup>2</sup>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ СИСТЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ МОР ПРИ ШЛІФУВАННІ

До сучасних машин висуваються підвищені вимоги щодо технічного рівня та конкурентоздатності на внутрішньому і зовнішньому ринках. Однією з головних умов досягнення вказаних характеристик виробів машинобудування є підвищення точності виготовлення, якості функціональних поверхонь, покращення технологічної культури виробництва. Доля шліфувальних операцій при виготовленні деталей машин знижується за рахунок застосування високотехнологічних способів отримання заготовок литтям, пластичним деформуванням, тощо. Однак вона залишається достатньо великою, особливо при високих вимогах щодо точності виготовлення та шорсткості поверхонь деталей, що обробляються.

Важливою умовою високої продуктивності шліфування та забезпечення точності і якості обробки є підтримка стабільного теплового режиму у зоні різання, яка здійснюється ефективним відводом теплоти, що виділяється. Вказану функцію виконує МОР – мастильно-охолоджуюча рідина, яка сприяє зниженню потужності і сили різання, пришвидшенню теплообміну, забезпечує зменшення температури у зоні різання.

Аналіз теплових потоків шліфувального верстату, проведений авторами, показує, що найбільша нестабільність характерна для теплоти, що поступає у верстат із системи застосування МОР. З цієї причини очевидно, що актуальною проблемою є зменшення впливу теплових потоків верстату на точність шліфування, яка може бути забезпечена, в тому числі, покращенням охолоджувальної здатності МОР.

На ефективність охолоджуючої дії МОР при шліфуванні впливають: схема обробки, геометрична форма шліфувального круга, режими різання, площа зони контакту круга і заготовки, характеристики круга і матеріалу, що обробляється. Температурні деформації верстатів порушують їх геометричну точність і викликають похибки розмірів і форми оброблюваних деталей. Крім того, температурні деформації шліфувального верстата призводять до відхилення від перпендикулярності осі шпинделя до площини столу. За відомостями авторів, при зміні температури на 5°C зміна кутового положення осі шпинделя може скласти 0,1 мм на довжині 1000 мм. В результаті цього відхилення від паралельності торців шліфованої заготовки становить 0,012 мм на довжині 300 мм.

У даній роботі вирішувалася актуальна задача – побудова загальної математичної моделі теплового режиму системи застосування МОР круглошліфувального верстату, встановлення функціонального зв'язку між зміною температури МОР і тепловими деформаціями верстата, розробка рекомендацій і засобів стабілізації теплового режиму верстата.

Авторами запропонована і удосконалена схема та побудована математична модель температурного режиму системи застосування МОР, яка має ряд переваг у порівнянні з традиційною методикою визначення параметрів температурного режиму системи охолодження шліфувального верстата, а саме:

- дає можливість визначити поточну температуру охолоджуючої рідини в кожній з декількох контрольних точок, зв'язаних з окремими елементами системи застосування МОР;
- дозволяє здійснити розрахунок як поточної температури при роботі системи у нестационарному режимі, так і сталої температури МОР у резервуарі при роботі системи у стаціонарному режимі.

Математична модель реалізована у авторській програмі (Свідоцтво № 92215 про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма «Моделювання теплового режиму мастильно-охолоджуючої рідини при круглому врізному шліфуванні (Heat T)»). Дата реєстрації 10.01.2020 р.). Програма дозволяє виконати багатоваріантний розрахунок температури МОР у всіх контрольних точках системи при роботі у нестационарному і стаціонарному режимах.

За допомогою програми Heat T проведено цикл розрахунково-аналітичних досліджень. Визначались залежності температури МОР від часу роботи системи застосування МОР у робочому режимі і від об'єму резервуара. Дослідження проводилися для наступних даних: витрата 45дм<sup>3</sup>/хв, робочий тиск 0,06 МПа; тип МОР – УКРІНОЛ-1 з концентрацією 3%. В результаті проведених розрахунково-аналітичних досліджень встановлено, що стабілізація теплового режиму МОР настає після 0,5...15 годин роботи шліфувального верстата при точності визначення величини усталеної температури 0,5...0,001°C, що дозволяє використовувати вказані результати при розробці алгоритмів і засобів компенсації температурних деформацій верстатів при обробці високоточних деталей. На цій основі з'являється можливість визначити раціональний об'єм МОР у системі її застосування з врахуванням витрати на охолодження зони різання, параметрів режиму шліфування, характеристик шліфувального круга.

Послідовність зміни температури у резервуарі МОР показує, що вони криві температури мають характерну форму, яка складається з двох ділянок: кривої, що характеризує роботу систему застосування МОР у нестационарному режимі і майже прямої лінії, яка асимптотично наближається до горизонтальної лінії усталеної температури, що характеризує роботу системи у стаціонарному режимі.

Як показав аналіз результатів, збільшення температури МОР після теплообміну із заготовкою і кругом

пояснюється високою теплонапруженістю процесу врізного шліфування, особливо на стадії попереднього шліфування, де температура навіть при застосуванні МОР коливається у діапазоні 200...900 °С. Очевидно, що для прийнятних параметрів системи застосування МОР умовою підтримання середньої температури МОР у межах 25...35 °С в резервуарі його об'єм повинен бути 150...500 дм<sup>3</sup>. Природно, він може бути й більшим, але подальше підвищення об'єму МОР при прийнятних умовах шліфування буде надмірним і приведе тільки до необґрунтованого збільшення габаритів резервуару.

Дослідження показало, що інструментами забезпечення раціонального теплового режиму системи застосування МОР є підбір потрібного об'єму резервуара і відповідних характеристик насоса на основі автоматизованого розрахунку параметрів температурного режиму МОР за допомогою розроблених програмних засобів. Розроблені математичні і програмні засоби передбачається застосувати при розробці нормативів потрібного об'єму МОР в системах її застосування для шліфувальних верстатів.

Крім того, у роботі запропоновано спосіб подачі охолоджуючої рідини, суть якого полягає в тому, що для збільшення точності обробки деталей шліфування здійснюється без контакту нагрітої МОР з поверхнями шліфувального круга, шліфувальної бабки та хвостовика, станини та столу верстата, а також зі відходами шліфування. Для практичної реалізації цього методу було розроблено пристрій (Stepanov, M., Litovchenko, P., et al.: Coolant supply device. Patent of Ukraine № 136095, 2019. (In Ukrainian)) для подачі рідкого теплоносія під час механічної обробки зовнішнім круглим шліфуванням. Цей пристрій містить насадку для подрібнення відходів, розподільну насадку, яка закриває заготовку, і приймач з повітряними каналами та радіальними насадками, виготовленими з різним діаметром. В теперішній час проводяться дослідження для визначення раціональних параметрів (діаметрів та кількості повітряних форсунок) цього пристрою.

Запропонований спосіб і пристрій, що передбачає ізоляцію контакту МОР з поверхнями елементів машини та збільшення жорсткості технологічної системи машини, що виникає під дією повітряних струменів, утворених певним чином, можна використати для збільшення точності шліфування деталей за рахунок зниження температури та пружних деформацій. Зазор між поверхнею заготовки і кінцями насадок на загальну силу повітряних струменів практично не впливає. Деформацію внаслідок дії повітряних струменів можна зменшити на 21%. Особливо цей ефект досягається під час остаточного подрібнення, і характер розташування насадок є важливим.

У процесі досліджень запропонованої схеми подачі виявлено явище перекриття ділянок зони контакту шліфувального круга і заготовки повітряними струменями, що виникає при утворенні повітряних перешкод для запобігання контакту рідкого холодоагенту зі шліфувальним верстатом. Перекриття зони контакту потоком повітря запобігає потраплянню охолоджуючої рідини в зону різання, що впливає на коефіцієнт теплопередачі. Визначено параметри, що формують схему перекриття, найважливішими з яких є тиск повітря на вході і розмір кільцевого зазору між заготовкою і внутрішньою поверхнею торцевих елементів пристрою подачі теплоносія.

Одночасне вплив потоків МОР і повітряних струменів викликає зміна процесів теплопередачі, що відбуваються в зоні різання. Авторами розглянуті зміни коефіцієнта тепловіддачі по лінії контакту шліфувального круга і заготовки. Виявлено явище перекриття ділянок зони контакту шліфувального круга і заготовки, що виникає через виїмок в охолоджуючої рідини під дією повітряного струменя з обох сторін. Визначено, що характер перекриття багато в чому залежить від тиску вхідного повітря і величини кільцевого зазору між заготовкою і внутрішньою поверхнею кінцевих елементів пристрою подачі охолоджуючої рідини.

Запропоновано конструктивні заходи, що дозволяють мінімізувати (зменшити більш ніж в 4 рази) довжину ділянок перекриття струмами повітря і, тим самим, забезпечити безперешкодний доступ рідкого теплоносія в зону контакту шліфувального круга і заготовки.

Розроблені математичні і програмні засоби передбачається застосувати при розробці нормативів потрібного об'єму МОР в системах її застосування для шліфувальних верстатів.