

## ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

УДК 621.923

DOI 10.31319/2519-2884.36.2020.7

КУЗЬМЕНКО М.С., студент

ЧУХНО С.І., к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

### АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДОМИХ СПОСОБІВ РОЗПИЛЕННЯ РІДИН ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИ ВНУТРІШНЬОМУ ШЛІФУВАННІ

**Вступ.** Аналіз сучасних способів охолодження [1] показує, що найбільш перспективним є охолодження струменем повітряно-рідинної суміші, яка подається на поверхню деталі у безпосередній близькості від зони шліфування. Відомі способи та пристрої для такого охолодження при плоскому та зовнішньому круговому шліфуванні [2]. Однак, проведені літературний аналіз та пошук патентів виявили цілковиту відсутність спроб використання способу охолодження розпиленою охолоджувальною рідиною при внутрішньому шліфуванні. В той же час саме цей вид шліфування відрізняється найбільш складними умовами різання. Йому притаманні велика довжина зони різання та, відповідно, подовжений час дії теплового джерела. Крім того, зона різання та оброблювана поверхня при цьому значно закритіші для доступу мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), а невеликий обсяг простору між деталлю та шліфувальним кругом утруднює застосування навіть простих пристроїв для підводу МОР. Це є однією з причин значного зниження режимів внутрішнього шліфування у порівнянні з круговим та плоским шліфуванням.

Таким чином, задача виявлення найбільш перспективних напрямків застосування охолодження розпиленою МОР при внутрішньому шліфуванні та розробка пристроїв, що їх реалізує, є важливою та актуальною.

**Постановка задачі.** Розглядається задача визначення можливості використання відомих способів розпилення рідин з метою знаходження найбільш ефективного з них для охолодження оброблюваної при внутрішньому шліфуванні поверхні деталі розпиленою МОР.

**Результати роботи.** Класифікацію способів розпилення рідин наведено в [3]. При гідравлічному розпиленні основним енергетичним чинником, що призводить до розпаду рідини на краплі, є тиск нагнітання. Проходячи через розпилювальний пристрій, рідинний потік, по-перше, набуває досить високої швидкості і, по-друге, перетворюється у форму, яка сприяє швидкому і ефективному розпаду (струмінь, плівка, крупні частинки залежно від приналежності розпилювача до того чи іншого класу). Розпилювальні пристрої, за допомогою яких реалізується цей спосіб, широко відомі під назвою механічних (гідравлічних) форсунок. Дисперсність розпилення – в діапазоні від 50 до 500мкм.

Гідравлічне розпилення – найбільш економічне за споживанням енергії (2-4 кВт на диспергування 1т рідини) та найбільш поширене унаслідок його порівняльної простоти.

Проте, створюване при цьому розпилення доволі грубе і неоднорідне, утруднено регулювання витрати при заданій якості дроблення, а також розпилення високов'язких

рідин. Головний недолік використання гідравлічного розпилення при шліфуванні – це неможливість розпилення з малою витратою рідини та дрібнодисперсного розпилення, що нівелює економічність споживання енергії при цьому способі. Також цей спосіб потребує подачі рідини або повітря під високим тиском, а тож і присутності відповідних пристроїв.

При механічному розпиленні рідина отримує енергію унаслідок тертя об робочий елемент, що швидко обертається. Набуваючи разом з робочим елементом обертального руху, вона під дією відцентрових сил зривається з розпилювача (у вигляді пливків або струменів) і дробиться на краплі. Дисперсність розпилення в діапазоні від 50 до 400 мкм.

До переваг цього способу слід віднести можливість розпилення високов'язких і забруднених рідин і широкого регулювання продуктивності розпилювача без істотної зміни дисперсності.

Недоліками є те, що такі розпилювачі дорогі, складні у виготовленні і експлуатації, енергоємні (15 кВт на диспергування 1т рідини) і, крім того, мають вентиляційний ефект. Механічне розпилення використовується головним чином для дроблення в'язких рідин і суспензій.

В умовах шліфування цей спосіб розпилення видається перспективним з огляду на те, що у технологічному процесі вже є швидкообертальні елементи – деталь та шліфувальний круг. Вентиляційний ефект, що супроводить механічне розпилення та вважається недоліком цього способу при шліфуванні, навпаки може стати позитивним фактором, якщо він буде привалювати над аналогічним ефектом шліфувального круга та сприяти кращому доступу МОР до поверхні деталі. При цьому енергоємність механічного розпилення компенсується невеликими витратами МОР, потрібних для охолодження розпиленою рідиною.

Основним недоліком усіх механічних розпилювачів є те, що площа розпилення і вектор руху розпиленого потоку перпендикулярні осі обертання елементів, що розпиляються. При внутрішньому шліфуванні це призводить до необхідності подавання МОР через шпindel шліфувального круга, який обертається зі швидкістю десять тисяч обертів за хвилину, що дуже ускладнює такий процес. Для подачі МОР у зону обробки ззовні вісь обертання елементів, що розпиляються, і напрямок руху розпиленого потоку повинні співпадати. Таке співпадіння рухів забезпечують пристрої пневматичного розпилення.

При пневматичному розпиленні енергія підводиться до рідини головним чином в результаті її динамічної взаємодії з високошвидкісним потоком газу (розпилювального агента). Завдяки великій відносній швидкості потоків в розпилювачі або за його межами рідина спочатку розшаровується на окремі нитки, які потім розпадаються на краплі. Дисперсність розпилення – в діапазоні від 40 до 350 мкм.

До переваг пневматичного способу відносяться невелика (тоді як при гідравлічному способі вона істотна) залежність якості розпилення від витрати рідини, надійність в експлуатації, можливість розпилення високов'язких рідин.

Недоліками є дуже велика витрата енергії на розпилення (50-60кВт на 1т рідини), необхідність в розпилювальному агенті і в устаткуванні для його подачі.

Акустичне розпилення багато в чому схоже з пневматичним. Рідина отримує енергію при взаємодії з потоком газу. Але при цьому, на відміну від пневматичного розпилення, газу надаються коливання ультразвукової частоти, що за інших рівних умов забезпечує тонше і однорідніше дроблення. Цей спосіб розпилення економічніший та перспективніший, ніж пневматичне диспергування, проте конструкції акустичних розпилювачів дещо складніші, ніж пневматичних.

Електростатичне розпилення відрізняється тим, що рідині ще до її витоку або у момент його закінчення надається електростатичний заряд. Під дією кулонівських сил струмін (плівка) рідини розпадається на краплі таких розмірів, при яких сили взаємного відштовхування крапель врівноважуються силами поверхневого натягнення. Можливий і інший варіант, коли рідину подають в область сильного електростатичного поля, під дією якого на поверхні рідини відбувається деякий розподіл тиску. Це викликає деформацію струменя і розпад його на краплі.

Недоліками електростатичного розпилення є необхідність у дорогому устаткуванні, його висока енергоємність, мала продуктивність і складність обслуговування.

Ультразвукове розпилення забезпечує дисперсність в діапазоні від 10 до 120 мкм. Рідина подається на елемент, що коливається з ультразвуковою частотою, п'єзоелектричного або магнітострикційного генератора і зривається з нього у вигляді дрібних крапель. Недоліком п'єзоелектричних та магнітострикційних розпилювачів є мала продуктивність (від 0,5 до 6 кг/год.), що однак є достатньою при шліфуванні з охолодженням розпиленою МОР. Значно більший недолік полягає у необхідності залучення складного і дорогого устаткування. Ультразвукове розпилення, зберігаючи всі недоліки пневматичного розпилювання, є економічнішим і перспективнішим. Проте конструкція ультразвукових розпилювачів значно складніша.

Істотна особливість пульсаційного розпилення – накладення пульсацій тиску або витрат (частіше – і того, і іншого) на потік рідини, що розпилюється. Додаткові коливання рідинної плівки, що виникають при цьому, сприяють збільшенню поверхневої енергії, швидкій втраті стійкості потоку і, як наслідок, тоншому диспергуванню. Пульсаційне розпилення може поєднуватися з будь-яким з розглянутих способів. При цьому до переваг того чи іншого способу додається ще одне: підвищення якості та однорідності дроблення, що відбувається у ряді випадків без збільшення енерговитрат і при незначному ускладненні конструкції розпилювачів. Разом з тим цей спосіб диспергування рідин практично ще не вивчений.

При розпиленні з попереднім газонасиченням рідину перед подачею в розпилювач або безпосередньо в самому розпилювачі насичають газом. Розподілений в рідині у вигляді бульбашок газ стискається до її тиску і частково розчиняється. При цьому зростає і поверхнева енергія потоку. Зростання енергії, а також швидке розширення бульбашок і десорбція газу при виході рідини з розпилювача призводять до її розпаду на дрібніші, ніж в умовах звичайного гідравлічного розпилення, краплі, однак інші недоліки останнього зберігаються.

За способом електрогідравлічного розпилення потоку рідини надається додаткова енергія за рахунок високовольтного електричного розряду (пробою рідини) в порожнині розпилювача. У плазмовому шнурі, що утворюється, спостерігається стрибок температури до декількох тисяч градусів і стрибок тиску до декількох тисяч атмосфер. Відбувається викид високошвидкісного потоку крапель, які наздоганяють і додатково дроблять частинки, що покинули розпилювач в період між імпульсами. Крім того, супроводжуючий розряд також призводить до дроблення рідини, що покидає розпилювач за цей час. Це забезпечує мале енергоспоживання при розпиленні, великий діапазон регульованості якості розпилення та його високу однорідність, високу дисперсність розпилення (в діапазоні від 0,5 до 50 мкм). Недоліком є складність апаратури для диспергування та відсутність відомостей про розробку працюючих прототипів даних пристроїв диспергування.

Поєднання декількох перерахованих способів розпилення дозволяє отримувати такі характеристики розпилення, які неможливо забезпечити застосуванням кожного з них окремо. Наприклад, поєднання пневматичного та гідравлічного методів (пневмогідрав-

лічне розпилення) дозволяє отримувати розпил з дисперсними характеристиками, що не поступаються отриманим при пневматичному розпилюванні, але при значно менших витратах енергії.

При поєднанні пневматичного та механічного способів в умовах внутрішнього шліфування можна очікувати високої дисперсності розпилення при відносно невеликих енерговитратах, невеликій залежності якості розпилення від витрати рідини, відсутності необхідності в спеціальних приводах за рахунок використання швидкого обертання шліфувального круга та використання вентиляційного ефекту від цього обертання.

Наведені дані про способи розпилення та аналіз можливостей їх використання в умовах внутрішнього шліфування з охолодженням розпиленою МОР показують, що найбільш перспективним з них є комбінований пневмомеханічний спосіб.

Пристроями, які реалізують комбінований пневмомеханічний спосіб розпилення, що відповідає специфічним умовам внутрішнього шліфування, є відцентрові та ротаційні форсунки [4]. Відцентрові – нерухомі і розпилюють за рахунок тиску повітря. Вони потребують значного тиску, мають малий діапазон регулювання по продуктивності, швидко зношуються і легко забруднюються. Ротаційні – такі, що обертаються, і саме обертальний рух з високою швидкістю є чинником як розпилення, так і направлення повітряно-рідинного потоку. Ротаційні форсунки можна застосовувати при різній продуктивності, зокрема і для дуже малої. Саме такий принцип є найбільш перспективним для здійснення пневмомеханічного способу охолодження розпиленою МОР при внутрішньому шліфуванні.

У цих форсунках рідина подається на чашу, що швидко обертається, та розподіляється тонким шаром по внутрішній поверхні чаші. Внаслідок конусності чаші шар рідини переміщується вздовж стінок та виходить з неї, подрібнюючись на дрібні краплі, що отримують криволінійне направлення руху. Зі збільшенням швидкості обертання розміри крапель зменшуються. Струмінь повітря, що генерує вентилятор, відхиляє потік крапель, звужуючи факел. Щоб струмінь повітря ефективно відхилив краплі, необхідна така швидкість, що запобігає випадінню крапель із зони факела.

**Висновки.** Найбільш перспективним напрямком забезпечення високої якості та продуктивності внутрішнього шліфування є ефективне охолодження струменем повітряно-рідинної суміші, що забезпечується комбінованим пневмомеханічним способом розпилення за допомогою розпилювача ротаційного типу з приводом від шпинделя шліфувального круга та вентиляційним нагнітанням повітря для керування факелом розпилення і подолання вентиляційного ефекту від роботи шліфувального круга.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Дуботалов А.С., Чухно С.І. Аналіз способів охолодження при шліфуванні і перспектив їх розвитку. *Збірник наукових праць ДДТУ*. Дніпродзержинськ: ДДТУ. 2017. Вип. 2(31). С.47-50.
2. Патент 128991 України на корисну модель МПК В24В 5/06 (2006.01) В24В 55/02 (2006.01). Пристрій для охолодження виробу мастильно-охолоджувальною рідиною при внутрішньому шліфуванні / Чухно С.І., Шаповал Я.А., Чернишов О.В. Заявник та патентовласник Дніпровський державний технічний університет. - №u201805974, заявл. 29.05.2018; опубл. 10.10.2018, бюл. №19.
3. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыления жидкостей. М.: Химия. 1984, 256с.
4. Карабин А.И., Раменская Е.С., Энно И.К. Сжигание жидкого топлива в промышленных установках. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Металлургия, 1966. 372с.

Надійшла до редколегії 16.12.2019.