MUHANDISLIK & IQTISODIYOT

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

2026-YIL
NOYABR / 11-SON I QISM



Milliy nashrlar

OAK: https://oak.uz/pages/4802

05.00.00 - Texnika fanlari
08.00.00 - Iqtisodiyot fanlar

Google Scholar

ISSN INTERNATIONAL STANDARD SERIAL NUMBER INTERNATIONAL CENTRE

OpenAIRE



ISSN: 3060-463X

РЭУ.РФ ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА ТАШКЕНТСКИЙ ФИЛИАЛ

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

TOSHKENT

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 2026-yil, noyabr.

Bosh muharrir:
Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

Bosh muharrir o'rinbosari:
Shakarov Zafar G'afforovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

Tahrir hay'ati:
Abduraxmanov Kalandar Xodjayevich, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor
Sharipov Kongratbay Avezimbetovich, texnika fanlari doktori, professor
Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor
Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor
Shaumarov Said Sanatovich, texnika fanlari doktori, professor
Turayev Bahodir Xatamovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor
Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor
Allayeva Gulchexra Jalgasovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor
Arabov Nurali Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor
Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor
Xamrayeva Sayyora Nasimovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor
Bobonazarova Jamila Xolmurodovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor
Irmatova Aziza Baxromovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor
Bo'taboyev Mahammadjon To'ychiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor
Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,
Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent
Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent
Amanov Otabek Amankulovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent
Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
Qurbonov Samandar Pulatovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
Tabayev Azamat Zaripbayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
Sxay Lana Aleksandrovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent
Ismoilova Gulnora Fayzullayevna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent
Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent
Kasimova Nargiza Sabitdjanovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent
Kalanova Moxigul Baxritdinovna, dotsent
Ashurzoda Luiza Muxtarovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent
Bauyetdinov Majit Janizaqovich, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD
Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
Sultonov Shavkatjon Abdullayevich, Kimyo fanlari doktori, (DSc)
Jo'raeva Malohat Muhammadovna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.
Yusupov Maxamadamin Abduxamidovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor
Kalonova Moxigul Baxritdinovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi (PhD), dotsent
Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor.
Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
Norboyev Odil Abrayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent
Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
Pardaev Umidjon Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor
Xolmirzayev Ulug'bek Abdulazizovich, Iqtisodiyot fanlari doktori (DSc)

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi
05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari
05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash
05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari
05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti
05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi
05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari
05.01.07 – Matematik modellashtirish
05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt
05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik
05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari
05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti
05.04.01 – Telekommunikasiya va kompyuter tizimlari, telekommunikasiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash
05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi
05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari
05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari
05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi
05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish
05.08.06 – "G'ildirakli va gusenisali mashinalar va ularni ishlatish" (texnika fanlari)
05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar
05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari
10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik
10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti
08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi
08.00.02 – Makroiqtisodiyot
08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti
08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti
08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti
08.00.06 – Ekonometrika va statistika
08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit
08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit
08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti
08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti
08.00.11 – Marketing
08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot
08.00.13 – Menejment
08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari
08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti
08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya
08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

Muassis: "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

Hamkorlarimiz:

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti

MUNDARIJA • СОДЕРЖАНИЕ • CONTENTS

MUNDARIJA

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ЗАТОЧКА СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА 9
Желтухин Андрей Владимирович

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ЗАТОЧКА СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА



Желтухин Андрей Владимирович
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова
старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения»
ORCID: 0000-0003-0106-9387

Abstract. The aim of the study is to summarize Russian and international research on twist drill sharpening and to substantiate the potential of ultrasonic vibrations for improving cutting-edge quality and axial tool performance.

The methodology is based on a systematic analysis of journal papers, monographs, and reference literature on tool sharpening, abrasive machining, and ultrasonic- and vibration-assisted cutting. Sharpening methods were compared in terms of technological capabilities, quality indicators, and process controllability.

Conventional sharpening schemes provide the required geometry, while also offering opportunities for further improvement in cutting-edge quality. In related processes such as grinding, turning, and drilling, ultrasonic excitation contributes to reducing machining forces, wheel loading, and contact-zone temperature. Ultrasonic sharpening of twist drills therefore represents a promising direction for further systematic research.

Based on the analysis, working hypotheses were formulated regarding the effect of ultrasound on cutting-edge parameters, together with excitation schemes, quality assessment criteria, and an experimental research programme. The practical significance lies in identifying technological opportunities for increasing drill life and providing a scientific and methodological basis for the development of ultrasonic sharpening systems and experimental planning.

Keywords: twist drill, tool sharpening, ultrasonic vibrations, cutting edge, tool life, axial tool, ultrasonic-assisted grinding.

Annotatsiya. Ishning maqsadi spiralsimon parmalarni charxlash sohasidagi Rossiya va xorijiy tadqiqotlar natijalarini umumlashtirish hamda kesuvchi qirralar sifatini va o‘qli asbobning ishlash qobiliyatini oshirishda ultratovush tebranishlaridan foydalanish istiqbollarini asoslashdan iborat.

Metodologiya asbobni charxlash, abraziv ishlov berish, ultratovushli va vibratsion kesish bo‘yicha ilmiy maqolalar, monografiyalar hamda ma’lumotnoma adabiyotlarining tizimli tahliliga asoslangan. Charxlash usullari texnologik imkoniyatlari, sifat ko‘rsatkichlari va jarayonning boshqaruvchanligi bo‘yicha taqqoslangan.

An’anaviy charxlash sxemalari talab etilgan geometriyani ta’minlashi, shu bilan birga kesuvchi qirra sifatini yanada takomillashtirish imkoniyatlari mavjudligi ko‘rsatilgan. Aniqlanishicha, turdosh jarayonlarda — silliqlash, yo‘nish va parmalashda — ultratovush ta’siri ishlov berish kuchlarini, silliqlash doirasining yuklanishini va kontakt zonasidagi haroratni kamaytirishga yordam beradi. Spiral parmalarni ultratovush yordamida charxlash yo‘nalishi esa tizimli tadqiqotlarni yanada rivojlantirish uchun istiqbolli hisoblanadi.

Tahlil asosida ultratovushning kesuvchi qirra parametrlariga ta’siri bo‘yicha ishchi gipotezalar shakllantirilgan, tebranishlarni qo‘zg‘atish sxemalari, sifatni baholash mezonlari va eksperimental tadqiqotlar dasturi belgilangan. Tadqiqotning amaliy ahamiyati parmalarning chidamliligini oshirish imkoniyatlarini aniqlash hamda ultratovushli charxlash tizimlarini ishlab chiqish va tajribalarni rejalashtirish uchun ilmiy-uslubiy asos yaratishdan iborat.

Kalit so‘zlar: spiralsimon parma, asbobni charxlash, ultratovush tebranishlari, kesuvchi qirra, asbobning chidamliligi, o‘qli asbob, ultratovushli silliqlash.

Аннотация. Цель работы — обобщить результаты российских и зарубежных исследований в области заточки спиральных сверл и обосновать перспективность применения ультразвуковых колебаний для повышения качества режущих кромок и работоспособности осевого инструмента.

Методология основана на систематизированном анализе научных статей, монографий и справочной литературы по заточке инструмента, абразивной обработке, ультразвуковому и вибрационному резанию. Способы заточки

сопоставлены по технологическим возможностям, показателям качества и управляемости процесса.

Показано, что традиционные схемы заточки обеспечивают требуемую геометрию, при этом сохраняются возможности дальнейшего повышения качества режущей кромки. Установлено, что в смежных процессах — шлифовании, точении и сверлении — ультразвуковое воздействие способствует снижению сил обработки, уменьшению засаливания круга и температуры в зоне контакта. Направление ультразвуковой заточки спиральных сверл представляет значительный интерес для дальнейшего системного развития исследований.

На основе анализа сформулированы рабочие гипотезы о влиянии ультразвука на параметры режущей кромки, определены схемы возбуждения колебаний, критерии оценки качества и программа экспериментальных исследований. Практическая значимость состоит в выявлении технологических возможностей повышения стойкости сверл и создании научно-методической основы для разработки ультразвуковых заточных систем и планирования экспериментов.

Ключевые слова: спиральное сверло, заточка инструмента, ультразвуковые колебания, режущая кромка, стойкость инструмента, осевой инструмент, ультразвуковое шлифование.

ВВЕДЕНИЕ

Сверление остаётся одной из наиболее распространённых операций механической обработки, а спиральное сверло — одним из наиболее массовых видов осевого инструмента [1; 2]. Работоспособность сверла определяется не только маркой инструментального материала и покрытием, но также геометрией и состоянием режущих кромок, перемычки и ленточек, которые формируются при изготовлении и восстанавливаются при переточках [3; 4]. Поскольку сверло в течение жизненного цикла затачивается многократно, качество заточки является важным фактором стабильности процесса: от него зависят осевая сила, крутящий момент, точность и шероховатость отверстия, характер стружкообразования и износ инструмента.

Заточка спиральных сверл выполняется абразивным инструментом по коническим, винтовым, плоскостным и более сложным поверхностям с использованием специализированных приспособлений и станков, в том числе с числовым программным управлением [2; 5]. Наряду с обеспечением заданных углов и формы перемычки, при заточке формируются параметры поверхностного слоя, связанные с температурным и силовым воздействием, включая прижоги, микротрещины, остаточные напряжения, заусенцы, микровыкрашивания кромки и отклонения радиуса округления [6; 7]. Управление данными параметрами имеет важное значение для повышения стойкости сверла, особенно при обработке труднообрабатываемых материалов и использовании инструмента из твёрдого сплава и быстрорежущей стали с покрытием.

В абразивной обработке накоплен значительный опыт управления тепловой и силовой напряжённостью процесса [8–10]. Одним из перспективных направлений является наложение ультразвуковых колебаний на инструмент или заготовку. Физические основы и технологические возможности ультразвука подробно описаны в отечественных и зарубежных работах [11–15], а исследования по вибрационно-ассистированной обработке показывают возможности снижения сил резания, улучшения качества поверхности и изменения условий стружкообразования [16; 17]. Применение ультразвука на этапе заточки спиральных сверл представляет собой перспективное направление для дальнейшего системного развития исследований.

Цель исследования — на основе анализа российских и зарубежных публикаций систематизировать существующие подходы к заточке спиральных сверл, оценить ожидаемое влияние ультразвукового воздействия на качество режущей кромки и определить направления дальнейших исследований, направленных на повышение работоспособности осевого инструмента.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- классифицировать способы заточки спиральных сверл и сопоставить их по технологическим возможностям и особенностям применения;
- определить параметры качества режущей кромки, формирующиеся при заточке, и их связь с работоспособностью инструмента;
- проанализировать результаты применения ультразвуковых колебаний в шлифовании, лезвийной обработке и сверлении;
- обосновать ожидаемые эффекты ультразвуковой заточки и сформулировать программу дальнейших исследований.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ

В исследовании рассмотрены публикации по трём тематическим направлениям: геометрия и заточка спиральных сверл; абразивная обработка и формирование поверхностного слоя при шлифовании; ультразвуковое и вибрационное резание, включая сверление и шлифование. Использовались монографии, справочная и учебная литература, а также статьи в рецензируемых журналах, индексируемых в российских и международных библиографических базах данных.

Поиск литературы проводился по ключевым словам на русском и английском языках: «заточка сверл», «спиральное сверло», «ультразвуковое шлифование», «вибрационное резание», *twist drill grinding*, *ultrasonic-assisted grinding*, *ultrasonic-assisted drilling*. Источники отбирались по критериям соответствия теме исследования, наличия описанной методики и воспроизводимости выводов.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для сопоставления подходов применялись методы сравнительного анализа и качественного синтеза. Способы заточки сравнивались по возможности формирования заданной геометрии, повторяемости результата, тепловой и силовой напряжённости процесса и качеству режущей кромки.

Эффекты ультразвукового воздействия анализировались по их влиянию на силы, температуру, состояние рабочей поверхности шлифовального круга и качество обработанной поверхности. Перенос выводов на процесс заточки сверл выполнялся по аналогии с учётом области применимости результатов. В работе использовались только данные, подтверждённые первоисточниками. При систематизации материалов и научно-стилистической обработке текста средства искусственного интеллекта использовались в объёме до 10 %.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнение существующих подходов к заточке спиральных сверл

Классические схемы заточки различаются формой образуемой задней поверхности и кинематикой формообразования. Коническая заточка является одной из наиболее распространённых благодаря относительной простоте наладки, при этом качество результата во многом определяется точностью установки сверла и соблюдением технологических параметров. Винтовая заточка обеспечивает более плавное изменение заднего угла вдоль режущей кромки и высокую повторяемость, при этом предполагает применение специализированного оборудования [2; 5]. Плоскостная заточка отличается простотой формообразования и применяется для решения определённого круга технологических задач. Современные многокоординатные станки с ЧПУ позволяют программно задавать геометрию, подточку перемычки и ленточки, обеспечивая высокую повторяемость формы [1; 4].

Результаты сопоставления представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Сопоставление подходов к заточке спиральных сверл

Способ заточки	Технологические возможности	Основные ограничения
Заточка по конической поверхности	Простота кинематики, широкое распространение на универсальных станках, образование задней поверхности с переменным задним углом [2; 5]	Результат во многом определяется точностью настройки и опытом оператора; геометрия перемычки требует дополнительного контроля
Заточка по винтовой поверхности	Плавное изменение заднего угла вдоль кромки, более высокая стабильность геометрии [2; 5]	Требует специализированного оборудования и точной наладки; необходим контроль состояния шлифовального круга
Плоскостная (одно- и двухплоскостная) заточка	Простая форма задней поверхности, возможность формирования специальных подточек [2; 4]	Наиболее эффективна при точной ориентации сверла и заданных условиях формирования заднего угла
Заточка на станках с ЧПУ (многокоординатная)	Программно задаваемая геометрия, высокая повторяемость, контроль подточек и перемычки [1; 4]	Требует соответствующего технического оснащения и оптимального выбора режимов обработки

Заточка с ультразвуковым воздействием (перспективное направление)	Ожидаемое снижение сил и температуры шлифования, меньшая степень засаливания круга [18; 21]	Представляет перспективное направление для дальнейшего расширения экспериментальной базы и согласования колебательной системы с кинематикой станка

Источник: составлено автором на основе [1; 2; 4; 5].

Анализ показывает, что развитие заточного оборудования преимущественно направлено на повышение точности формирования геометрии инструмента. Наряду с этим важное значение имеют параметры физического состояния режущей кромки — её микрорельеф, радиус округления и остаточные напряжения в тонком поверхностном слое, поскольку они оказывают существенное влияние на начальный износ и устойчивость инструмента [7; 9]. Таким образом, при одинаковой геометрии качество режущей кромки может различаться в зависимости от режимов и условий шлифования.

Параметры качества заточки и их влияние на работоспособность сверла

В теории шлифования показано, что формирование поверхностного слоя определяется совместным действием тепловых и силовых факторов в зоне контакта круга с обрабатываемым материалом [6; 8]. При заточке сверл из быстрорежущих сталей важное значение имеет управление температурой для сохранения требуемых свойств поверхностного слоя, а при обработке твёрдосплавного инструмента — обеспечение рационального теплового режима и структурной стабильности материала. Исследования моделирования шлифования подтверждают, что температура и силы определяются как режимами обработки, так и состоянием рабочей поверхности круга, включая степень его засаливания и состояние абразивных зёрен [9; 10].

Для сверла особое значение имеют три группы параметров. Первая — состояние режущей кромки, включая микрорельеф, заусенцы и микровыкрашивания, влияющие на характер начального износа и формирование стружки. Вторая — геометрические параметры перемычки, определяющие осевую силу и устойчивость врезания. Третья — структурное и напряжённое состояние приповерхностного слоя, влияющее на долговечность и устойчивость инструмента при эксплуатации [7]. В зоне режущей кромки с малым радиусом округления особенно важно обеспечить рациональное сочетание тепловых и силовых воздействий для стабильного формирования требуемых свойств.

Для обеспечения высокого качества заточки применяются подбор характеристик шлифовального круга, оптимизация глубины шлифования, рациональная подача СОЖ и многопроходные схемы обработки [8; 9]. Дальнейшее развитие этих подходов связано с использованием дополнительных методов управления процессом, одним из перспективных направлений которых является ультразвуковая активация.

Результаты применения ультразвукового воздействия в смежных процессах

Ультразвуковыми принято считать колебания с частотой порядка десятков килогерц при амплитудах от единиц до десятков микрометров; такие колебания создаются магнитострикционными или пьезоэлектрическими преобразователями с волноводными системами [11; 12]. Идея вибрационного резания, включая низкочастотное, развита в работах отечественных и зарубежных авторов [13–15]. Основные эффекты связаны с периодическим размыканием контакта инструмента с обрабатываемым материалом, изменением кинематики резания и условий трения.

Систематический обзор вибрационно-ассистированной обработки показал, что наложение колебаний позволяет снижать силы резания, улучшать качество поверхности и повышать стойкость инструмента при правильном согласовании частоты и амплитуды с режимами [16]. При ультразвуковом точении авиационных материалов экспериментально зафиксировано снижение сил резания по сравнению с обычным точением [17]. Для шлифования опубликованы данные о том, что ультразвуковые колебания при сухом шлифовании мягкой стали уменьшают силы и шероховатость обработанной поверхности и способствуют снижению засаливания круга [18]. В работе по ультразвуковому сверлению титанового сплава Ti6Al4V отмечены изменения осевой силы и условий стружкообразования [19]. При обработке хрупких материалов ультразвук способствует смещению перехода от хрупкого разрушения к пластическому съёму и улучшению состояния обработанной поверхности [20], а анализ согласования колебательной системы при ультразвуковом шлифовании подчёркивает определяющую роль настройки частоты и амплитуды для достижения требуемого эффекта [21].

Следует отметить, что рассмотренные исследования посвящены преимущественно ультразвуковому лезвийному резанию, сверлению, а также ультразвуковому шлифованию плоских, цилиндрических и хрупких деталей. Применение ультразвука непосредственно при заточке спиральных сверл представляет перспективное направление для дальнейшего расширения экспериментальной базы и систематизации накопленных результатов.

Ожидаемое влияние ультразвука на качество режущей кромки

На основе анализа смежных процессов можно сформулировать ряд ожидаемых эффектов ультразвуковой заточки спиральных сверл, которые носят характер рабочих гипотез и подлежат экспериментальной проверке.

Первый эффект — снижение сил шлифования. Периодическое размыкание контакта зёрен с материалом сокращает время непрерывного воздействия и уменьшает усреднённую нормальную силу [11; 18]. Для заточки это означает снижение упругого отжима тонкой режущей части сверла и, как следствие, более стабильное воспроизведение заданной геометрии кромки и перемычки.

Второй эффект — снижение тепловой напряжённости. Прерывистый характер контакта улучшает доступ смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания и способствует отводу теплоты [22; 23], что создаёт более благоприятные условия для сохранения требуемого состояния поверхностного слоя. Для быстрорежущих сталей это особенно важно с точки зрения сохранения стабильной твёрдости вблизи тонкой режущей кромки.

Третий эффект — улучшение состояния рабочей поверхности круга. Колебания способствуют очистке пор от продуктов обработки и снижению степени засаливания, что поддерживает режущую способность зёрен и стабильность съёма материала [18]. Для заточки это означает повышение устойчивости результата в течение межправочного периода.

Четвёртый эффект — изменение механизма микросъёма материала кромки. При обработке твёрдых сплавов и других хрупких материалов ультразвуковое воздействие способно смещать механизм съёма в сторону более пластичного, способствуя сохранению целостности режущей кромки [20]. Это особенно актуально для монолитных твёрдосплавных сверл малого диаметра.

Эффективность ультразвуковой заточки во многом определяется рациональным выбором амплитуды и частоты колебаний, а также согласованием колебательной системы с массой и жёсткостью узла закрепления сверла или шлифовального круга [21]. Оптимальная настройка данных параметров позволяет обеспечить устойчивую работу системы и требуемое качество задней поверхности. Поэтому определение рациональных режимов ультразвуковой заточки целесообразно проводить на основе специализированных экспериментальных исследований.

Направления будущих исследований

С учётом результатов проведённого анализа целесообразно сформулировать программу дальнейших исследований по следующим направлениям.

Выбор схемы возбуждения колебаний. Возможны три основные схемы: колебания шлифовального круга, как правило осевые или изгибные, колебания сверла через приспособление и комбинированные схемы. Каждая из них имеет свои технологические особенности: возбуждение круга удобно согласуется с волноводной системой и требует соответствующей адаптации шпиндельного узла; возбуждение сверла позволяет локализовать воздействие и предполагает точное согласование системы закрепления с жёсткостью инструмента.

Определение рабочих диапазонов. Необходимо экспериментально установить влияние частоты, амплитуды, направления колебаний, скорости круга, подачи и глубины шлифования на силы, температуру и состояние режущей кромки. Теоретическую основу для настройки колебательной системы дают работы по физике ультразвука и согласованию систем при ультразвуковом шлифовании [12; 21].

Выбор показателей качества. В качестве основных откликов целесообразно использовать радиус округления кромки, параметры микрорельефа, шероховатость задней и передней поверхностей, микротвёрдость и остаточные напряжения в приповерхностном слое, а также показатели термического и механического состояния кромки [7; 9]. Эти параметры необходимо сопоставлять с эксплуатационными характеристиками: износом по задней поверхности, осевой силой и крутящим моментом при сверлении, стойкостью, точностью и шероховатостью отверстия [1; 3].

Планирование сравнительных испытаний. Для объективной оценки эффекта целесообразно проводить парные эксперименты: заточку одинаковых сверл на одном оборудовании с ультразвуковым воздействием и без него при идентичных кругах, режимах и условиях охлаждения. Рекомендуется использовать сверла из быстрорежущей стали и твёрдого сплава различных диаметров для оценки масштабного фактора. Испытания на стойкость целесообразно проводить на материалах разных групп обрабатываемости, включая титановые и жаропрочные сплавы, где качество режущей кромки имеет особенно важное значение [1; 19].

Моделирование. Целесообразно разработать связанные тепловые и контактные модели заточки с учётом прерывистого контакта зёрен и перераспределения теплоты, опираясь на подходы, представленные в исследованиях по моделированию шлифования и теплофизике резания [10; 22; 23]. Это позволит рационализировать объём натурных экспериментов и определить рекомендуемые области устойчивой работы системы.

Технико-экономический анализ. Необходимо оценить затраты на оснащение заточных станков ультразвуковыми модулями, влияние на состояние и правку круга, производительность заточки и экономический эффект от повышения стойкости сверл. Комплексная технико-экономическая оценка позволит определить наиболее перспективные условия практического применения технологии, в том числе на инструментальных участках авиационного и энергетического машиностроения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Проведённый анализ показывает, что современные способы заточки спиральных сверл обеспечивают необходимую геометрию режущей части и создают основу для дальнейшего совершенствования физического состояния режущей кромки. Особое значение при этом имеют параметры термического и механического состояния поверхности, микрорельеф кромки и стабильность радиуса её округления, которые непосредственно влияют на стойкость осевого инструмента.

Результаты исследований ультразвукового шлифования, точения и сверления свидетельствуют о возможности снижения сил и температуры обработки, уменьшения засаливания круга и повышения качества поверхности. По аналогии можно ожидать, что ультразвуковое воздействие при заточке будет способствовать улучшению состояния режущей кромки и повышению стабильности её геометрии. Данное направление представляет значительный интерес для дальнейшего экспериментального развития и расширения научной базы.

Практическая значимость выполненной работы состоит в систематизации подходов к заточке, формулировке рабочих гипотез и определении программы исследований, включающей выбор схем возбуждения колебаний, диапазонов параметров, показателей качества и методики сравнительных испытаний.

Предлагается:

- провести экспериментальные исследования ультразвуковой заточки сверл из быстрорежущей стали и твёрдого сплава;
- определить рациональные диапазоны частоты, амплитуды и направления ультразвуковых колебаний;
- разработать тепловые и контактные модели процесса ультразвуковой заточки;
- создать и апробировать специализированные колебательные системы для заточных станков;
- оценить влияние ультразвуковой заточки на стойкость инструмента, качество режущей кромки и технико-экономические показатели процесса.

Список использованной литературы

1. Astakhov V.P. *Drills: Science and Technology of Advanced Operations*. — Boca Raton: CRC Press, 2014. — 888 p. — ISBN: 978-1-4665-8435-8. URL: https://books.google.com/books?id=bGfOBQAAQBAJ
2. Родин П.Р. *Металлорежущие инструменты*. — Киев: Вища школа, 1986. — 455 с.
3. Грановский Г.И., Грановский В.Г. *Резание металлов*. — М.: Высшая школа, 1985. — 304 с.
4. Astakhov V.P. *Geometry of Single-Point Turning Tools and Drills: Fundamentals and Practical Applications*. — London: Springer, 2010. — 565 p. — DOI: 10.1007/978-1-84996-053-3. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-84996-053-3
5. Лашнев С.И., Юликов М.И. *Расчёт и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ*. — М.: Машиностроение, 1975. — 392 с.
6. Маслов Е.Н. *Теория шлифования материалов*. — М.: Машиностроение, 1974. — 319 с.
7. Сулима А.М., Шулов В.А., Ягодкин Ю.Д. *Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин*. — М.: Машиностроение, 1988. — 240 с.
8. Marinescu I.D., Hitchiner M., Uhlmann E., Rowe W.B., Inasaki I. *Handbook of Machining with Grinding Wheels*. — Boca Raton: CRC Press, 2007. — 600 p. — DOI: 10.1201/9781420017649. URL: https://doi.org/10.1201/9781420017649
9. Rowe W.B. *Principles of Modern Grinding Technology*. — 2nd ed. — Oxford: William Andrew, Elsevier, 2014. — 459 p. — DOI: 10.1016/C2013-0-06952-6. URL: https://doi.org/10.1016/C2013-0-06952-6
10. Brinksmeier E., Aurich J.C., Govekar E. et al. Advances in Modeling and Simulation of Grinding Processes // *CIRP Annals — Manufacturing Technology*. — 2006. — Vol. 55, No. 2. — P. 667–696. — DOI: 10.1016/j.cirp.2006.10.003. URL: https://doi.org/10.1016/j.cirp.2006.10.003
11. Марков А.И. *Ультразвуковая обработка материалов*. — М.: Машиностроение, 1980. — 237 с.
12. Агранат Б.А., Дубровин М.Н., Хавский Н.Н., Эскин Г.И. *Основы физики и техники ультразвука*. — М.: Высшая школа, 1987. — 352 с.
13. Подураев В.Н. *Обработка резанием с вибрациями*. — М.: Машиностроение, 1970. — 350 с.

14. Кумабэ Д. *Вибрационное резание* / пер. с яп. — М.: Машиностроение, 1985. — 424 с.
15. *Основы вибрационной технологии* / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко, И.А. Бабичев и др. — 2-е изд. — Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. — 694 с.
16. Brehl D.E., Dow T.A. Review of vibration-assisted machining // *Precision Engineering*. — 2008. — Vol. 32, No. 3. — P. 153–172. — DOI: 10.1016/j.precisioneng.2007.08.003.
URL: https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2007.08.003
17. Babitsky V.I., Kalashnikov A.N., Meadows A., Wijesundara A.A.H.P. Ultrasonically assisted turning of aviation materials // *Journal of Materials Processing Technology*. — 2003. — Vol. 132, No. 1–3. — P. 157–167. — DOI: 10.1016/S0924-0136(02)00844-0.
URL: https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00844-0
18. Tawakoli T., Azarhoushang B. Influence of ultrasonic vibrations on dry grinding of soft steel // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. — 2008. — Vol. 48, No. 14. — P. 1585–1591. — DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2008.05.010.
URL: https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2008.05.010
19. Pujana J., Rivero A., Celaya A., López de Lacalle L.N. Analysis of ultrasonic-assisted drilling of Ti6Al4V // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. — 2009. — Vol. 49, No. 6. — P. 500–508. — DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2008.12.014.
URL: https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2008.12.014
20. Zhou M., Wang X.J., Ngoi B.K.A., Gan J.G.K. Brittle–ductile transition in the diamond cutting of glasses with the aid of ultrasonic vibration // *Journal of Materials Processing Technology*. — 2002. — Vol. 121, No. 2–3. — P. 243–251. — DOI: 10.1016/S0924-0136(01)01262-6.
URL: https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)01262-6
21. Wang Y., Lin B., Wang S., Cao X. Study on the system matching of ultrasonic vibration assisted grinding for hard and brittle materials processing // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. — 2014. — Vol. 77. — P. 66–73. — DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2013.11.003.
URL: https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2013.11.003
22. Резников А.Н. *Теплофизика резания*. — М.: Машиностроение, 1969. — 288 с.
23. Trent E.M., Wright P.K. *Metal Cutting*. — 4th ed. — Boston: Butterworth-Heinemann, 2000. — 446 p. — DOI: 10.1016/B978-0-7506-7069-2.X5000-1.
URL: https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7069-2.X5000-1

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Ingliz tili muharriri: Feruz Hakimov

Musahhih: Zokir Alibekov

Sahifalovchi va dizayner: Abdurahmon Qurbonov

2026. № 11

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma'sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelamasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

"Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali 26.06.2023-yildan
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi
Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan
№S–5669245 reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan.
Litsenziya raqami: №095310.

**Manzilimiz: Toshkent shahri Yunusobod
tumani 15-mavze 19-uy**


+998 93 718 40 07

https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal

t.me/yait_2100