Оригинальное исследование

УДК 621.793
DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_02_229 EDN: WXEKSD

Применение текстурирования поверхности для повышения ресурсных характеристик инструмента

Н.А. Астафьева, А.Е. Балановский

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Каждая операция механической обработки металлов сталкивается с трудностями, связанными с локализацией тепла в зоне резания и приводящими к различным проблемам, таким как износ инструмента, увеличение шероховатости поверхности и др. На сегодняшний день актуально искать экологически значимые и экономически выгодные решения, применяя технологии, позволяющие сократить или исключить использование смазочно-охлаждающих материалов. Текстурирование поверхности оказалось одним из многообещающих методов, позволяющих улучшить трибологические свойства рабочей поверхности инструментов. Микротекстуры могут иметь различные геометрические параметры и форму и, как правило, создаются либо на боковой поверхности, либо на передней поверхности режущего инструмента. Качество текстуры во многом зависит от используемых производственных процессов. Основными механизмами улучшения трибологических свойств являются улавливание стружки, сокращение длины контакта и улучшение смазывающей способности, что в конечном итоге помогает снизить силу резания, уменьшить износ инструмента и шероховатость поверхности обрабатываемого материала. Известно, что при сверлении режущее действие происходит внутри отверстия, минимизация эффекта трения на контактных границах инструмента и заготовки всегда является сложной задачей, поскольку доступность смазочно-охлаждающих жидкостей в зоне обработки затруднена восходящим движением стружки, скользящей по поверхности канавки. Эту проблему можно решить путем функционализации поверхностей сверлильного инструмента с помощью микротекстур.

Цель работы. В настоящей работе для снижения трения скольжения используется сверлильный инструмент с микротекстурами на стороне канавки и кромки, полученными с применением лазерной обработки.

Методы. Оценка влияния геометрических параметров (радиус, глубина, расположение) микротекстур на износ при трении скольжения проводилась на основе лабораторных и натурных испытаний.

Выводы. Было обнаружено, что текстурированный инструмент более эффективен, чем нетекстурированный. Установлено, что основными механизмами, отвечающими за улучшение эксплуатационных характеристик сверлильных инструментов с микротекстурированными рабочими поверхностями, являются сокращение длины контакта, захват продуктов износа и образование эффекта микрослоя смазки в режиме резания. Результаты исследования будут полезны для дальнейшего развития данной темы.

Ключевые слова: инструмент; лазерная обработка; микротекстуры; поверхность; трение скольжения.

Как цитировать
Астафьева Н.А., Балановский А.Е. Применение текстурирования поверхности для повышения ресурсных характеристик инструмента // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2025. Т. 4, № 2. С. 229–236. DOI: 10.52899/24141437_2025_02_229 EDN: WXEKSD

Рукопись получена: 10.04.2025 **Рукопись одобрена:** 21.04.2025 **Опубликована online:** 26.06.2025

ЭКО • ВЕКТОР

Статья доступна по лицензии CC BY 4.0 International
© Авторы, 2025

Original study article
DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_02_229 EDN: WXEKSD

Tool Life Improvement by Surface Texturing

Natalia A. Astafeva, Andrey E. Balanovsky

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Every metal machining operation has difficulties associated with heat localized in the cutting area, leading to various problems such as tool wear, increased roughness, etc. Today, it is important to look for environmentally friendly and cost-effective solutions by technologies that reduce or eliminate the use of cooling lubricants. Surface texturing has proven to be a promising method for improving the tribological properties of the tool face. Microtextures can have various geometry and shape and are usually created either on the approach surface or the face of the cutting tool. Texture quality largely depends on the processes. The basic methods for improving tribological properties are chip capturing, contact length reduction, and improved lubricity, which ultimately helps to reduce cutting force, tool wear, and roughness of the workpiece. It is known that, in drilling, the cutting action occurs inside the hole, and it is always difficult to minimize the effect of friction at the interface of the tool and the workpiece as cutting fluids can hardly enter the processing area due to the upward movement of the chips sliding along the groove surface. This problem can be solved by functionalizing the drilling tool surface using microtextures.
AIM: In this paper, a drilling tool with microtextures on the groove and edge created by laser machining is used to reduce sliding friction.
METHODS: We assessed the influence of geometry (radius, height, and location) of microtextures on wear during sliding friction by laboratory and field tests.
CONCLUSIONS: The textured tool was found to be more effective than the non-textured one. The study showed that the main methods allowing to improve the performance of drilling tools with microtextured surfaces are the contact length reduction, the wear debris capturing, and lubrication micro-layering in the cutting mode. The study will be useful for further development of this subject.

Keywords: tool; laser machining; microtextures; surface; sliding friction.

To cite this article
Astafeva NA, Balanovsky AE. Tool Life Improvement by Surface Texturing. *Transactions of the Saint Petersburg State Marine Technical University.* 2025;4(2):229–236. DOI: 10.52899/24141437_2025_02_229 EDN: WXEKSD

Submitted: 10.04.2025 **Accepted:** 21.04.2025 **Published online:** 26.06.2025

ECO • VECTOR
The article can be used under the CC BY 4.0 license
© Authors, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Текстурирование поверхностей режущего инструмента становится одним из перспективных решений для улучшения трибологических характеристик в процессе обработки [1–5]. Инструменты с модифицированной поверхностью получают широкое распространение в обрабатывающей промышленности благодаря улучшенным режущим характеристикам с точки зрения увеличения срока службы инструмента, трибологических характеристик, снижения силы резания, улучшения целостности поверхности и т. д. [3–8]. Понимание обрабатываемости материала в процессе имеет решающее значение для оценки мощности резания и выходных переменных, а также корреляции с износом инструмента. Оценка обрабатываемости учитывает различные выходные переменные, такие как длина контакта стружки инструмента, целостность поверхности (например, шероховатость, микротвердость, остаточное напряжение), сила резания, температура, морфология стружки и срок службы инструмента.

Высокоскоростная обработка или сверхвысокоскоростная обработка привлекает внимание многих исследователей из-за преимуществ, таких как высокая производительность, малая сила резания, высокое качество обработки и низкая удельная мощность резания [1, 2]. Высокая скорость резания неизбежно приводит к высокой температуре резания и высокому давлению / высокому трению в зоне контакта инструмента со стружкой, что приводит к быстрому износу инструмента в процессе резания. Чтобы преодолеть недостатки и продлить срок службы инструмента при высокоскоростной обработке, используется смазка для снижения температуры резания и уменьшения трения между режущим инструментом и материалом заготовки [2, 3].

Исследования, проведенные в работах [2–12], показали, что проникновение смазки в зону резания происходит в основном за счет капиллярного действия через микроскопические проходы, существующие на границе инструмент – стружка [5–8]. Однако эти микроскопические проходы нестабильны и исчезают за очень короткое время, которого недостаточно для проникновения смазки в зону резания. Следовательно, смазочно-охлаждающей жидкости трудно проникнуть в зону резания и образовать эффективную смазочную пленку в процессе высокоскоростной резки [6, 7]. Охлаждающий и смазочный эффект смазки при этом значительно снижается. Для решения этой проблемы в последние годы на переднюю/боковую поверхность режущего инструмента наносят микротекстуру, чтобы облегчить проникновение смазочно-охлаждающих жидкостей и улучшить условия трения на границе между инструментом и стружкой [2–11].

Работы [2–5] показывают, что, с одной стороны, микротекстуры могут улучшить способность смазочно-охлаждающих жидкостей проникать в зону резания, а с другой — микротекстуры могут действовать как резервуары для смазки, так что смазка может подаваться непосредственно в зону резания и образовывать стабильный граничный слой смазки [2, 3].

В работе [12] описаны опыты по применению пяти типов микротекстур на боковой поверхности инструмента и результаты, доказывающие, что микротекстуры могут улучшить эффективность охлаждения в условиях струйной поддержки охлаждающей жидкости высокого давления. В указанном исследовании была построена функция микротекстур для увеличения турбулентной кинетической энергии и охлаждения текстурированной поверхности инструмента.

В работах [2, 3, 13] продемонстрировали, что улучшение смазки текстурированного режущего инструмента будет способствовать эффекту, когда микроскопические текстуры будут действовать как резервуар смазки, — который достигается за счет капиллярного действия.

В работе [14] применена бионическая текстура на боковой поверхности режущего инструмента и выявлено, что топография поверхности режущего инструмента влияет на качество смазки и, следовательно, на температуру резания.

Однако при наличии большого количества выполненных исследований [2–14] все еще существуют ограничения при проектировании микротекстур с надлежащими параметрами. Количество микрорельефов в рисунке текстуры и их расположение определяют тип рисунка: линейный, случайный или гибридный. Линейный рисунок текстуры характеризуется расположением микрорельефа в линейном направлении, а гибридный рисунок представляет собой комбинацию двух или более текстур, которые могут располагаться линейно или беспорядочно. Большинство исследователей сосредоточились либо на механизмах проникновения смазки в зону резания и образования смазочной пленки, либо на экспериментах по точению с использованием микротекстурированного режущего инструмента для проверки влияния микротекстур на снижение адгезии, снижение сил резания и температуры резания и продление срока службы инструмента. Редко сообщается об оптимизации параметров микротекстур, особенно об оптимизации микротекстур на основе проникающей способности смазки.

Модификация/функционализация поверхностей инструментов может быть достигнута с помощью микроиндентирования, абразивоструйной обработки, лазерной обработки, микрообработки, электроэрозионной и других методов обработки [2, 3, 15–17], которые включают добавление или удаление материала с подложки инструмента. Покрытие поверхностей инструментов является обычной практикой, применяемой в отраслях по производству режущих инструментов последних лет, и, как сообщается [3–5], является одним из наиболее успешных методов улучшения характеристик инструментов.

Анализ имеющейся литературы с использованием каталога Scopus показал, что в период 2009–2023 годов в 5841 статье большая часть исследований проведена в области материаловедения, инженерии. Среди них

DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_02_229

было найдено 266 исследований с ключевыми словами «текстурирование поверхности» и «текстурированные инструменты» в области инженерии и материаловедения; 72 % исследований среди вышеуказанных статей основаны на токарной обработке, 17 % — на фрезерной обработке и 11 % — на операциях сверления. Исследователи создали различные узоры текстуры на передней поверхности инструмента, такие как рифленая, ямочная, эллиптическая, ромбовидная, зигзагообразная, кластерная, шевронная текстура [2–12] и т. д. Более того, синергетический эффект покрытия на текстурированном инструменте и, с другой стороны, создание текстуры на ранее покрытой поверхности инструмента исследуются для изучения производительности обработки [2]. Основные характеристики, такие как тип и ориентация узора текстуры, включая его оптимизацию, всё еще недостаточно изучены, и чаще всего выбирается бионическая текстура, из наблюдений в природе, с определенными геометрическими характеристиками [14]. Такие узоры текстуры поверхности могут быть созданы с помощью доступных методов микрообработки [15–17].

В этом исследовании процесс проникновения смазки в сформированные лазерной обработкой микротекстуры на поверхности режущего инструмента анализируется с помощью натурных и лабораторных испытаний. Лазерное текстурирование — это бесконтактный термический нетрадиционный процесс обработки, используемый для вырезания полостей любого размера и формы на поверхности заготовки. На основе анализа результатов исследования предложена оптимизация масштаба микротекстур.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальная методология, использованная в настоящей работе, состоит из двух частей: испытания на трение скольжения и эксперимента по сверлению. Испытание на трение скольжения было проведено в качестве предварительного эксперимента для обоснования явления снижения трения при использовании микротекстурированных поверхностей в сухих условиях. Для этого на образцах с помощью лазерной обработки были созданы два типа рисунков в виде микроямок и микроканавок (рис. 1). Испытание на трение было проведено в сухих условиях образцов с необработанной поверхностью и со всеми видами обработанных поверхностей с целью понимания влияния микротекстур на управление трением на контактных границах.

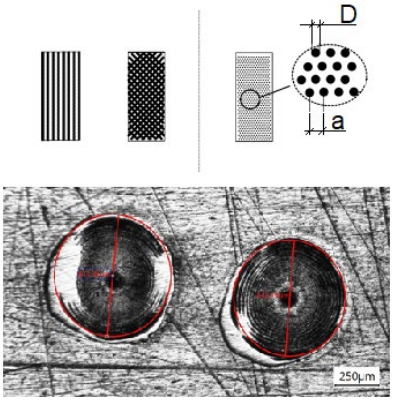


Рис. 1. Примеры микротекстур и их геометрических характеристик: *D* — диаметр микроямки; *a* — расстояние между микроямками.
Fig. 1. Examples of microtextures and their geometry: *D*, micropit diameter; *a*, distance between micropits.

Текстурирование стальных поверхностей выполнялось на лазерном комплексе HTS Portal 300S. Тип лазера — импульсно-периодический АИГ, Nd3+, λ = 1,064 мкм. Основные параметры: максимальная энергия импульса излучения 100 Дж; максимальная импульсная мощность излучения 12 кВт; частота повторения импульсов излучения 0,5...200 Гц; средняя мощность излучения (макс.) 300 Вт; диаметр сфокусированного луча 0,2...2,0 мм; длительность импульса 0,2–20 мс. Лазер использовался для создания каналов и микроямок глубиной 10–60 мкм на поверхностях полированных образцов. Ширина каналов и расстояние между ними были установлены 100 мкм. Были образованы каналы с параллельной, перпендикулярной, а также пересекающейся ориентацией.

Для получения микроямок с определенными свойствами несколько лазерных импульсов подавали на поверхность (импульсный режим). Параметры лазерной обработки: напряжение 300–400 В; длительность 0,75 мс; частота 1–4 Гц. Диаметр микроямок был установлен в диапазоне 90–400 мкм и зависел от параметров обработки. Расстояние между ними варьировалось для получения различных долей структурированной площади поверхности. Для создания микротекстур в виде круглых углублений на канавке и ленточке сверла была опробована технология лазерной микрообработки с различной плотностью заполнения: 10, 20, 30 и 40 %.

Образцы шлифовались до плоскостности, полировались алмазной суспензией до размера частиц 1 мкм и распиливались до требуемого размера. После полировки качество поверхности образцов характеризовалось с помощью профилометрии щупом с радиусом кончика щупа 5 мкм. Среднее арифметическое значение шероховатости поверхности составляло Ra = 0,02 мкм для полированных стальных поверхностей. Эти пластины использовались в качестве контрольных образцов для трибологических испытаний. Образцы, обработанные таким образом, также служили исходным материалом для лазерного текстурирования. Геометрические характеристики микроямок и микробороздок, полученных на образцах для испытаний, определяли с применением 3D-оптического профилометра Bruker Contour GT-K1. На образцах были получены микротекстуры в виде микроямок (средний диаметр 90 мкм, глубина 60 мкм и шаг 135 мкм) и бороздок (средняя ширина 50 мкм, глубина 40 мкм и шаг 135 мкм). Трибологические испытания проводились с использованием трибометра «цилиндр на пластине» в сухом состоянии при нормальной нагрузке 10 Н с диском, вращающимся со скоростью

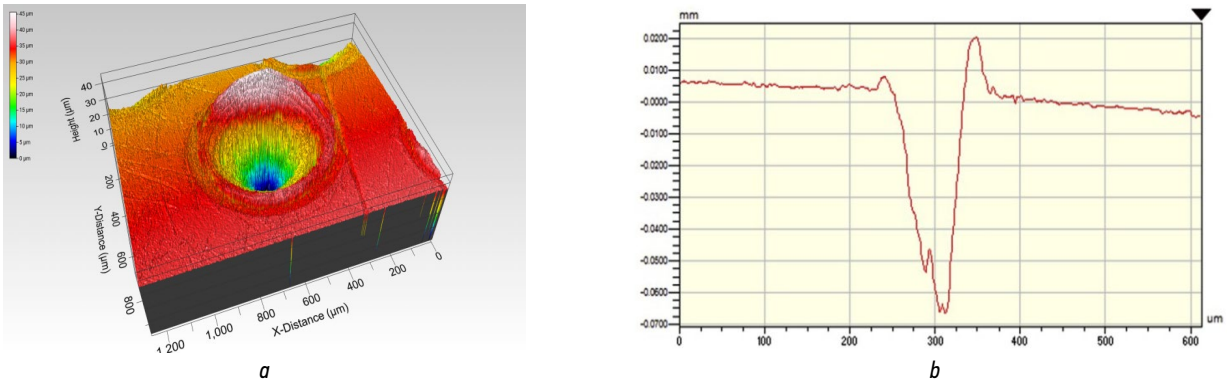
2387 об/мин (1 м/с) в течение времени скольжения 120 с. Для микрорифленых поверхностей выравнивание штифта производилось перпендикулярно направлению рифления. Эксперименты по сверлению проводились на вертикальном обрабатывающем центре путем сверления отверстия глубиной 10 мм в стали 09Г2С и сплаве ВТ-6 с использованием инструментов с текстурированной и не текстурированной рабочей поверхностью в сухих условиях и с применением СОЖ. Использовались обычные спиральные сверла диаметром 8 мм из высоколегированной стали, углом наклона винтовой линии 30° и углом при вершине 118°. Толщина листа 10 мм. Была проведена серия испытаний по сверлению, в ходе которых три сверла каждого типа использовались для сверления набора отверстий с постоянной подачей 24,9 мм в минуту и постоянной скоростью 245 оборотов в минуту. Эти параметры были выбраны для обеспечения скорости сцепления рабочего материала с базовыми сверлами, чтобы можно было легко идентифицировать воздействия, вызванные текстурированием. Сначала сверла были погружены в смазку на 15 с, после чего было просверлено отверстие в пластине толщиной 10 мм. Визуальные проверки проводились каждые 10–15 отверстий. Отверстия сверлились каждым сверлом до тех пор, пока не наступал отказ. Было выполнено трехкратно пять последовательных отверстий с использованием каждого типа инструмента. При сверлении смазочно-охлаждающие жидкости подавались в зону обработки с расходом 200 мл/ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований установлено, что, регулируя параметры лазерной обработки, такие как частота повторения импульсов, средняя мощность импульса, длительность импульса, возможно получать различные геометрические характеристики текстурированной поверхности и менять плотность заполнения площади. На рис. 2 представлены результаты определения геометрических параметров микротекстуры поверхности. В данной работе следует отметить, что глубина микрорельефа характеризовалась расстоянием от самой глубокой нижней поверхности до исходной поверхности образца.

Трибологические испытания выявили значительное снижение коэффициента трения для микротекстурированных поверхностей по сравнению с нетекстурированными образцами для испытаний. На начальном этапе наблюдался быстрый рост коэффициента трения для всех испытуемых образцов, который постепенно становился стабильным после 10 с скольжения. Этот стабильный период учитывался при оценке для всех испытуемых образцов. Сдавливающее действие захваченных частиц износа на поверхности скольжения образует пятна сильной деформации, что отражается в профиле коэффициента трения, вызывая незначительные колебания для всех испытуемых образцов. В условиях сухого скольжения средний коэффициент трения 0,49 был зарегистрирован в случае гладкой поверхности (без каких-либо микротекстур), тогда как для текстурированной поверхности с микроямочками снизился до 0,42.

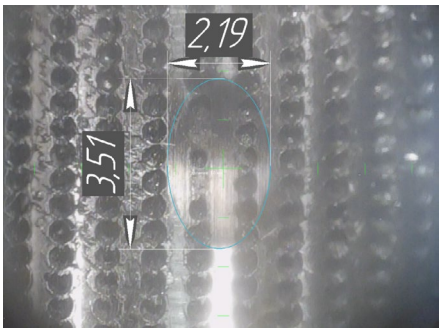
Лучший результат был зарегистрирован в случае рифленых поверхностей — со средним значением 0,41. Более высокий коэффициент трения для нетекстурированных поверхностей обусловлен доминированием контакта неровностей на микроскопическом уровне, на который влияют превосходные взаимодействия материалов. В то время как в случае текстурированных поверхностей уменьшение площади контакта способствовало лучшему скольжению с уменьшенным эффектом трения. Результаты испытаний образцов с ямочками — размером 80 мкм — представлены на рис. 3. Для случаев, когда плотность ямочек составляла 15 и 25 %, были успешно реализованы сниженные коэффициенты трения во всем диапазоне тестируемых скоростей скольжения. В частности, в случае плотности ямок 15 %, очевидное снижение трения было достигнуто также в очень низком диапазоне скоростей скольжения, около 0,01 м/с, что может способствовать предотвращению аномального повышения температуры в начале испытаний (на стадии приработки). Напротив, в случае плотности ямок 40 % коэффициенты трения были немного выше, чем для образца без текстуры.



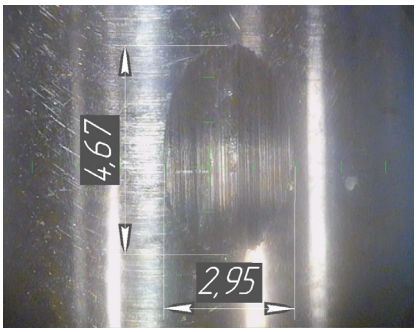
a *b*

Рис. 2. Геометрические параметры микротекстуры поверхности: *a* — 3D-профиль текстуры на поверхности; *b* — параметры глубины микротекстуры.
Fig. 2. Geometry of surface microtexture: *a*, 3D surface texture profile; *b*, microtexture height.

DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_02_229



a



b

Рис. 3. Пятно контакта: *a* — текстурированная поверхность контакта; *b* — не текстурированная поверхность.
Fig. 3. Contact patch: *a*, textured interface; *b*, non-textured surface.

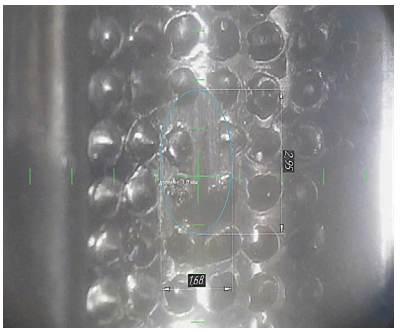


Рис. 4. Пятно контакта для текстуры — микроямочки 120 мкм.
Fig. 4. Texture contact patch (120 μm micro-pits).

Предполагается, что это связано с тем, что по мере увеличения площади поверхности, занимаемой ямками, и увеличением их плотности фактическая поверхность контакта уменьшается, что приводит к увеличению фактического контактного давления на поверхности скольжения, что оказывает отрицательное влияние на фрикционные свойства. Для образцов с ямочками размером 120 мкм пятно контакта 1,68 на 2,95 мм (рис. 4).

При таких текстурах снижение коэффициента трения по сравнению с поверхностью без ямочек составило примерно 20 %. Кроме того, небольшое снижение трения было достигнуто и в случае плотности ямочек 30 %, несмотря на описанный выше отрицательный эффект. Считается, что полезный эффект микроямочек становится больше с увеличением размера ямочки. Таким образом, было подтверждено (рис. 5), что текстурирование поверхности имеет большой потенциал для снижения трения в условиях граничной смазки, если микроямки распределены в соответствующем шаблоне.

Карты топографии поверхности участков после испытаний, выполненные при нагрузке 2,94 Н, показывают, что текстурированная поверхность в стадии установившегося износа с минимальными показателями шероховатости (рис. 6, *a*, *c*), а нетекстурированная поверхность на стадии приработки и имеет высокую шероховатость (рис. 6, *b*, *d*).

Микротекстурирование сверла также выполнялось методом лазерной обработки, при которой на ленточке спирального сверла были созданы микротекстуры в виде круглых углублений (рис. 7). Плотность текстурированной поверхности составляла 10 и 20 %. После лазерной обработки инструменты были отшлифованы и очищены ультразвуком перед использованием их для экспериментов по сверлению.

Поверхностные осмотры сверла проводились каждые 10–15 отверстий в течение всего испытания. На рис. 7 показан пример полученных изображений во время испытания сверла без текстуры после сверления 0, 20 и 30 отверстий. Небольшое количество стружки присутствует после сверления 20 отверстий. После отказа при 30 отверстиях видно значительное количество стружки, что указывает на то, что механизмом отказа было нарастание титана на краях сверла. Изображения, полученные при отказе после 68 отверстий для 10 % текстурированных и 20 % текстурированных сверл. Во всех случаях текстурированные сверла показали значительно меньшее нарастание титана, чем базовые сверла. Гораздо больше нарастания видны при отказе, что снова подтверждает механизм отказа в виде налипания стружки. Эти изображения показывают, что нарастание титана на краях сверла было доминирующим видом отказа сверл. Резкое увеличение пиковой температуры и крутящего момента во время сверления приводило к отказу инструмента при испытаниях. Большая площадь адгезии заготовки к сверлу напрямую связана с отказом инструмента.

Сверление считается самым сложным процессом обработки, который обычно выполняется на последних этапах изготовления механических компонентов. Для сверлильных инструментов скорость резания и передний угол изменяются вдоль режущей кромки от центра сверла. Скорость резания почти равна нулю на режущей кромке и максимальна в крайней точке режущей кромки (периферийная скорость резания). На режущей кромке материал испытывает большее пахотное действие под большим отрицательным передним углом, создавая большее трение. Контроль сил

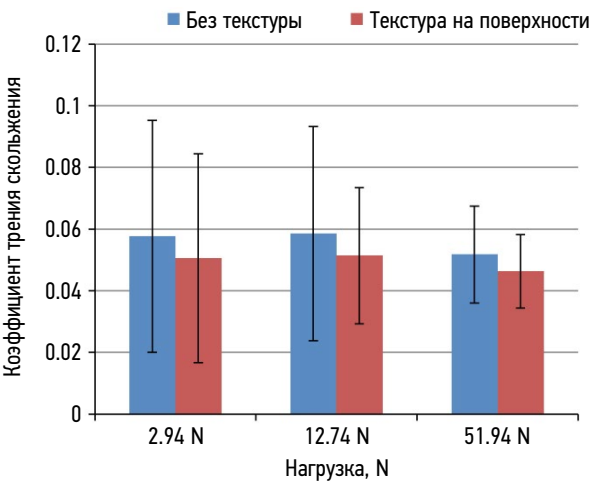


Рис. 5. Средние коэффициенты трения для текстурированных и гладких поверхностей.
Fig. 5. Average coefficients of friction for textured and smooth surfaces.

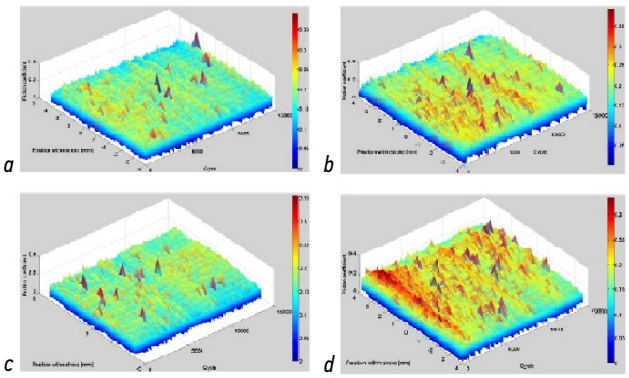


Рис. 6. Карты топографии поверхности при нагрузке 2,94 Н: *a*, *c* — текстурированная поверхность, испытание 1, 2; *b*, *d* — нетекстурированная поверхность, испытание 1, 2.
Fig. 6. Surface topography maps for a load of 2.94 N: *a*, *c*, textured surface, test 1, 2; *b*, *d*, non-textured surface, test 1, 2.

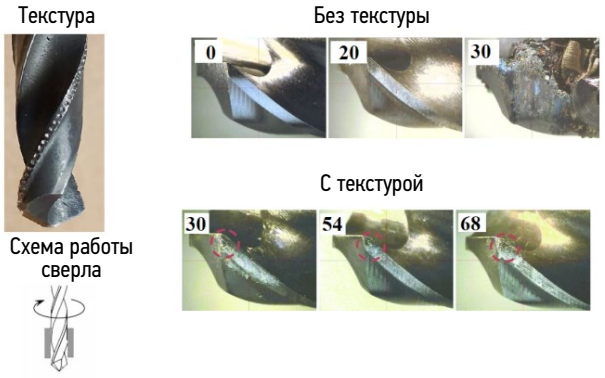


Рис. 7. Результаты испытаний при натурном эксперименте.
Fig. 7. Natural experiment tests.

резания во время сверления очень затруднен, поскольку удаление материала происходит внутри отверстия. Обычно для достижения более высокой производительности сверление должно выполняться при более высоких условиях подачи и скорости, что увеличит скорость удаления материала. Сверление титановых сплавов при более высоких условиях резания всегда является сложной задачей для всех производственных отраслей из-за более высоких сил резания (оси и крутящего момента), которые будут вызывать вибрации на оси шпинделя, влияя на срок службы сверлильного инструмента и качество обработанной поверхности. Уменьшение трения скольжения, возникающего на стороне канавки (между инструментом и стружкой) и на стороне кромки (между инструментом и стенкой отверстия), позволяет эффективно контролировать чистую осевую нагрузку и крутящий момент при сверлении титанового сплава. На стороне канавки трение возникает из-за скользящего контакта стружки вдоль винтовой канавки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе продемонстрировано, что создание на поверхности микромасштабной текстуры является одним из методов снижения трения между двумя контактирующими телами. Средний коэффициент трения значительно отличался для текстурированных и гладких образцов. Трибоскопические карты коэффициента трения показали тенденцию к более низкому трению для текстурированных поверхностей, что свидетельствует об улучшенной смазке.

Установлено, что сверла без текстуры вышли из строя при 20–30 отверстиях в зависимости от условий испытаний. Сверла с 10 % текстурированной кромкой показали лучшие результаты: первое сверло вышло из строя при 45 отверстиях, а оставшиеся два сверла — при 70 и 78 отверстиях. Сверла с 20 % текстурированной кромкой вышли из строя при обработке 72, 30 и 71 отверстий.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Н.А. Астафьева — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; создание изображений, А.Е. Балановский — редактирование текста рукописи, экспертная оценка, утверждение финальной версии. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.
Источники финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.
Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

ADDITIONAL INFO

Author contributions: N.A. Astafieva: investigation, writing—original draft, visualization; A.E. Balanovskiy: writing—review & editing. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.
Funding sources: The study was not supported by any external sources.
Disclosure of interests: The authors have no explicit or potential conflicts of interests associated with the publication of this article.
Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pimenov D.Y. et al. Resource saving by optimization and machining environments for sustainable manufacturing: A review and future prospects // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022. Vol. 166. P. 112660. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112660 EDN: HSRNGI
2. Zhang K. et al. Effect of microscale texture on cutting performance of WC/Co-based TiAlN coated tools under different lubrication conditions // Applied Surface Science. 2015. Vol. 326. P. 107–118.
3. Machado A.R. et al. State of the art of tool texturing in machining // Journal of Materials Processing Technology. 2021. Vol. 293. P. 117096. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2021.117096 EDN: VOPMMO
4. Ranjan P., Hiremath S.S. Role of textured tool in improving machining performance: A review // Journal of Manufacturing Processes. 2019. Vol. 43. P. 47–73. DOI: 10.1016/j.jmapro.2019.04.011 EDN: YXQDAM
5. Machado A.R. et al. State of the art of tool texturing in machining // Journal of Materials Processing Technology. 2021. Vol. 293. P. 117096. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2021.117096 EDN: VOPMMO
6. Wu Z. et al. Tribological characteristics and advanced processing methods of textured surfaces: a review // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021. Vol. 114. P. 1241–1277. DOI: 10.1007/s00170-021-06954-2 EDN: QJDPUY

7. Sugihara T., Kobayashi R., Enomoto T. Direct observations of tribological behavior in cutting with textured cutting tools // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2021. Vol. 168. P. 103726. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2021.103726 EDN: NBIMSX
8. Özel T. et al. Structured and textured cutting tool surfaces for machining applications // CIRP Annals. 2021. Vol. 70. №. 2. P. 495–518. DOI: 10.1016/j.cirp.2021.05.006 EDN: TPKJCL
9. Sugihara T., Enomoto T. Performance of cutting tools with dimple textured surfaces: a comparative study of different texture patterns // Precision Engineering. 2017. Vol. 49. P. 52–60.
10. Волосова М.А. О выборе оптимального метода модификации поверхности режущего инструмента исходя из его служебного назначения // Упрочняющие технологии и покрытия. 2012. № 12. С. 12–16. EDN: PUUJFP
11. Верещака А.С., Верещака А.А. Функциональные покрытия для режущего инструмента / А.С. Верещака // Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. № 26. С. 28–37. EDN: MQPADD
12. Fang Z., Obikawa T. Cooling performance of micro-texture at the tool flank face under high pressure jet coolant assistance // Precision Engineering. 2017. Vol. 49. P. 41–51.
13. Durairaj S. et al. An experimental study into the effect of micro-textures on the performance of cutting tool // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018. Vol. 98. P. 1011–1030. DOI: 10.1007/s00170-018-2309-y EDN: YIBMYX
14. Fatima A., Mativenga P.T. On the comparative cutting performance of nature-inspired structured cutting tool in dry cutting of AISI/SAE 4140 // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 2017. Vol. 231, № 11. P. 1941–1948.
15. Григорьянц А.Г., Щиганов И.Н., Мисюров А.И. Технические процессы лазерной обработки. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 664 с.
16. Бровер Г.И., Щербакова Е.Е. Влияние текстурных эффектов на работоспособность лазернооблученного инструмента. Безопасность техногенных и природных систем. 2023. Т. 7. № 2. С. 102–112. DOI: 10.23947/2541-9129-2023-7-2-102-112 EDN: DQRENQ
17. Кремлева Л.В., Малыгин В.И., Снегирева К.К. Режимы лазерного упрочнения дереворежущего инструмента из легированных сталей // Изв. высш. учебных заведений. Лесн. журн. 2016. № 5. С. 157–166. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.157 EDN: WNDDRV

REFERENCES

1. Pimenov DY, et al. Resource saving by optimization and machining environments for sustainable manufacturing: A review and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022;166;112660. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112660 EDN: HSRNGI
2. Zhang K, et al. Effect of microscale texture on cutting performance of WC/Co-based TiAlN coated tools under different lubrication conditions. *Applied Surface Science*. 2015;326:107–118.
3. Machado AR, et al. State of the art of tool texturing in machining. *Journal of Materials Processing Technology*. 2021;293:117096. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2021.117096 EDN: VOPMMO
4. Ranjan P, Hiremath SS. Role of textured tool in improving machining performance: A review. *Journal of Manufacturing Processes*. 2019;43:47–73. DOI: 10.1016/j.jmapro.2019.04.011 EDN: YXQDAM
5. Machado AR, et al. State of the art of tool texturing in machining. *Journal of Materials Processing Technology*. 2021;293:117096. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2021.117096 EDN: VOPMMO
6. Wu Z, et al. Tribological characteristics and advanced processing methods of textured surfaces: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021;114:1241–1277. DOI: 10.1007/s00170-021-06954-2 EDN: QJDPUY
7. Sugihara T, Kobayashi R, Enomoto T. Direct observations of tribological behavior in cutting with textured cutting tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2021;168:103726. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2021.103726 EDN: NBIMSX
8. Özel T, et al. Structured and textured cutting tool surfaces for machining applications. *CIRP Annals*. 2021;70(2):495–518. DOI: 10.1016/j.cirp.2021.05.006 EDN: TPKJCL
9. Sugihara T, Enomoto T. Performance of cutting tools with dimple textured surfaces: a comparative study of different texture patterns. *Precision Engineering*. 2017;49:52–60.
10. Volosova MA. On choosing the optimal method for modifying the surface of a cutting tool based on its service purpose. *Hardening technologies and coatings*. 2012;12:12–16. (In Russ.) EDN: PUUJFP
11. Vereshchaka AS, Vereshchaka AA. Functional coatings for cutting tools. *Hardening technologies and coatings*. 2010;26:28–37. (In Russ.) EDN: MQPADD
12. Fang Z, Obikawa T. Cooling performance of micro-texture at the tool flank face under high pressure jet coolant assistance. *Precision Engineering*. 2017;49:41–51.
13. Durairaj S, et al. An experimental study into the effect of micro-textures on the performance of cutting tool. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018;98:1011–1030. DOI: 10.1007/s00170-018-2309-y EDN: YIBMYX
14. Fatima A, Mativenga PT. On the comparative cutting performance of nature-inspired structured cutting tool in dry cutting of AISI/SAE 4140. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 2017;231(11):1941–1948.
15. Grigoryants AG, Shchiganov IN, Misyurov AI. *Technical processes of laser processing*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University; 2006. (In Russ.)
16. Brover GI, Shcherbakova EE. The effect of texture effects on the operability of a laser-irradiated instrument. *Safety of man-made and natural systems*. 2023;7(2):102–112. (In Russ.) DOI: 10.23947/2541-9129-2023-7-2-102-112 EDN: DQRENQ
17. Kremleva LV, Malygin VI, Snegireva KK. Modes of laser hardening of wood-cutting tools from alloyed steels. *Izv. vyssh. uchebnykh zavedeniy. Lesn. zhurn*. 2016;5:157–166. (In Russ.) DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.157 EDN: WNDDRV

ОБ АВТОРАХ

***Наталья Анатольевна Астафьева,** канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения, сварочных и аддитивных технологий, Иркутский национальный исследовательский технический университет; ORCID: 0000-0003-4957-9597; eLibrary SPIN: 9410-4167; e-mail: anstella@mail.ru

Андрей Евгеньевич Балановский, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой материаловедения, сварочных и аддитивных технологий, Иркутский национальный исследовательский технический университет; eLibrary SPIN: 7744-7353; e-mail: fuco.64@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Natalia A. Astafeva,** Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Materials Science, Welding and Additive Technologies, Irkutsk National Research Technical University; ORCID: 0000-0003-4957-9597; eLibrary SPIN: 9410-4167; e-mail: anstella@mail.ru

Andrey E. Balanovsky, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Materials Science, Welding and Additive Technologies, Irkutsk National Research Technical University; eLibrary SPIN: 7744-7353; e-mail: fuco.64@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author