

## Качество обработки поверхности и эффективность резания в кунжутном масле во время механической обработки: регрессионный анализ

© 2024

*Шайлеш Рао А.*, кандидат наук, профессор, кафедра машиностроения*Политехнический институт Нитте Минакии, Бангалор (Индия)*

E-mail: shailesh.rao@nmit.ac.in

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6190-9857>

Поступила в редакцию 31.08.2023

Принята к публикации 19.02.2024

**Аннотация:** В исследовании оценивается возможность использования кунжутного масла в качестве экологически чистой смазочно-охлаждающей жидкости при токарной обработке. Проведены эксперименты для определения влияния радиуса закругления вершины и переднего угла инструмента на износ инструмента, формирование поверхности и силу резания. Кроме того, были исследованы различные смазочные материалы, такие как смазочно-охлаждающие жидкости на нефтяной основе и биомасла, с целью определения их потенциала для минимизации трения, выделения тепла и износа инструмента во время обработки. Установлено, что по сравнению с сухим резанием и обычными смазками на нефтяной основе кунжутное масло обеспечивает более гладкую поверхность и снижает силу резания. Взаимосвязь между параметрами резания и качеством обработки поверхности анализировалась с использованием статистического моделирования. Для количественной оценки корреляций и значимости предиктора использовались коэффициент детерминации ( $R$ -квадрат) и  $p$ -значения. Результаты подчеркивают эффективность использования кунжутного масла в качестве смазочно-охлаждающей жидкости и важность оптимизации параметров процесса для повышения эффективности обработки.

**Ключевые слова:** эффективность резания в кунжутном масле; механическая обработка в кунжутном масле; смазывающе-охлаждающая жидкость; надежная обработка; качество обработки поверхности; износ инструмента; передний угол; радиус закругления вершины.

**Для цитирования:** Шайлеш Рао А. Качество обработки поверхности и эффективность резания в кунжутном масле во время механической обработки: регрессионный анализ // *Frontier Materials & Technologies*. 2024. № 2. С. 101–111. DOI: 10.18323/2782-4039-2024-2-68-9.

### ВВЕДЕНИЕ

Выбор смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) имеет решающее значение при механической обработке, поскольку напрямую влияет на качество поверхности и эффективность резания. СОЖ создает защитный барьер между режущим инструментом и заготовкой, уменьшая износ инструмента и трение. Использование биомасел в процессе механической обработки в недавних исследованиях продемонстрировало увеличение эффективности резания и улучшение качества поверхности за счет изменения контактного взаимодействия инструмента с заготовкой.

В традиционных режимах обработки динамическое взаимодействие между режущим инструментом и заготовкой играет ключевую роль в достижении желаемой шероховатости и формы поверхности. Контакт, определяемый режущим движением, приводит к удалению металлов с поверхности, приданию заготовке заданной инструментом формы и побуждает к исследованию механизмов резания [1]. Процессы резания имеют широкий спектр технических характеристик, включая качество поверхности, точность, износ инструмента, образование стружки, образование заусенцев, выбор материала и др. [2]. Совокупность этих параметров обуславливает проведение исследований, направленных на получение полного представления о производственной механической обработке. Основной сложностью здесь является энергоэффективность производства. Неподходящие параметры процесса могут привести к увеличению энергопотребле-

ния и себестоимости продукции [3]. Таким образом, тщательный выбор оптимальных параметров процесса обработки становится необходимым.

В области совершенствования процесса обработки поводом для беспокойства является изменение геометрии кромки, вершины резца и износ передней и задней поверхностей. Определение параметров обработки заготовки имеет решающее значение для получения поверхности с заданными желаемыми характеристиками. Стандартные параметры токарной обработки, если они подобраны недостаточно тщательно, могут привести к получению неоптимальной поверхности и ускорить износ инструмента. Чтобы решить эту проблему, исследовались вибрация и нестабильность токарных инструментов [4]. Последствиями вибрации инструмента являются неудовлетворительная шероховатость поверхности, шум и притупление кромок, что подчеркивает сложное взаимодействие элементов в достижении желаемой точности обработки.

Авторы [5] исследовали износ и долговечность инструмента при точении алюминиевых сплавов. Исследование включало последовательные изменения переднего угла и других важных параметров процесса, чтобы определить их влияние на долговечность инструмента. Положительный передний угол увеличил срок службы инструмента в процессе обработки. Выявление соответствующей конфигурации инструмента улучшает условия токарной обработки, а улучшение обрабатываемости достигается за счет точной регулировки вершины

токарного резца по высоте, а также ее угла и отклонения [6]. Радиус закругления вершины является критическим параметром, который следует учитывать при оценке процессов токарной обработки, поскольку он оказывает существенное влияние на результаты механической обработки. Существуют подробные исследования, посвященные тепловыделению, влиянию переднего угла на формирование поверхности и стойкости инструмента при обработке твердых материалов [7]. Сила резания определяется с помощью динамометра токарного станка для различных отрицательных и положительных передних углов. Примечательно, что положительные передние углы помогли уменьшить силу резания [8].

Изменение параметров процесса обработки, таких как скорость резания и скорость подачи, приводит к затуплению профиля инструмента и радиуса закругления вершины, что ускоряет износ и деградацию инструмента, особенно при большей глубине резания [9; 10]. Неправильный подбор параметров имеет серьезные последствия, включая износ инструмента, повышение температуры и ухудшение качества поверхности. Передний угол является важным аспектом, определяющим производительность инструмента, и при его максимальном увеличении срок службы инструмента увеличивается. Однако это приводит к издержкам в виде износа и вибрации инструмента, что подчеркивает важность тонкого баланса при выборе параметров [11–13]. Взаимодействие между радиусом вершины и передним углом инструмента оказывает существенное влияние на профиль инструмента, а следовательно, на шероховатость обрабатываемой поверхности. Показано, что поддержание заданного диапазона радиуса вершины, например 0,4–0,5 мм, улучшает качество поверхности, особенно при резании высокопрочной нержавеющей стали AISI 1040 [14]. Более глубокие канавки, а также наличие закругления на вершине инструмента способствуют образованию лунок и фасок износа. Неправильные настройки процесса токарной обработки могут привести к образованию прерывистой стружки [15; 16]. Альтернативный метод обработки с использованием постоянного магнитного поля показал себя многообещающим в плане улучшения токарной обрабатываемости, характеристик поверхности и срока службы инструмента [10]. Эти передовые методы подчеркивают сложную связь между параметрами обработки и их существенным влиянием на производительность инструмента и свойства поверхности при металлообработке.

Площадь контакта стружки с инструментом определяется передним углом режущего инструмента. Подобрать передний угол сложно, так как любое отклонение от оптимального значения влияет на профиль инструмента и обрабатываемую поверхность. Увеличение переднего угла приводит к увеличению трения между стружкой и инструментом. Сила резания и площадь контакта уменьшаются за счет переднего угла. Существует множество исследований, посвященных влиянию различных параметров на передний угол и процессы обработки. Понять это влияние затруднительно. Проведено исследование того, как передний угол влияет на параметры обработки пластичных и хрупких материалов. Было проведено комплексное исследование для определения параметров обработки [14]. Передний угол и скорость подачи могут способствовать снижению силы резания при обработке стальных сплавов. Суще-

ствует углубленное исследование связи между вибрацией и передним углом. Амплитуда вибрации уменьшалась по мере увеличения переднего угла [17]. В другом исследовании изучалось влияние изменения переднего угла на стойкость инструмента. За счет уменьшения переднего угла вершина была затуплена. Установлено, что передний угол  $20^\circ$  дает наилучшие результаты с точки зрения срока стойкости инструмента и качества получаемой поверхности [18].

СОЖ играют важнейшую роль в уменьшении тепла, выделяемого на границе контакта стружки и инструмента в процессе резания. Эти жидкости выполняют двойную функцию: охлаждения и смазки при резании, что способствует увеличению стойкости инструмента. СОЖ, проходящие через поверхность контакта стружки и инструмента, способствуют снижению температуры резания [19]. Текущие исследования сосредоточены на альтернативных технологиях охлаждения и смазки, таких как биомасла, криогеника и охлажденный воздух, для решения экологических проблем и оптимизации процессов фрезерования [20; 21].

Поиск экологически чистых методов обработки в текущий момент в основном сосредоточен на использовании биомасел. Исследователи изучают возможность замены смазочных материалов на нефтяной основе известными безопасными биомаслами. Проводятся исследования целесообразности использования во время токарных операций растительных масел, таких как пальмовое масло и масло ши. Обнаружено улучшение качества поверхности и увеличение стойкости инструмента в процессе обработки [22]. Сравнительное исследование пальмового масла и масла ши продемонстрировало значительное повышение предельной толщины снимаемой стружки и стойкости инструмента, а также обнаружило дополнительное преимущество в виде уменьшения неприятных запахов, характерных для традиционных смазок на нефтяной основе [23]. Аналогичным образом использование во время механической обработки масла из семян ятрофы привело к снижению температуры поверхности и улучшению ее качества, что демонстрирует потенциал биомасел в улучшении обработанных поверхностей [24]. Примечательно, что по сравнению со смазочно-охлаждающими растворами на минеральной основе кокосовое масло обеспечило лучшее качество поверхности и меньшее изнашивание инструмента [25].

Как отмечают исследователи [26; 27], сравнительное изучение различных биомасел способствовало пониманию их индивидуальных свойств и характеристик. Используя статистические методы, такие как Anova, исследователи меняют параметры процесса в экспериментальных проектах, чтобы повысить эффективность использования биомасел в механической обработке [28; 29].

Исследование и прогнозирование эффективности использования различных биомасел в качестве СОЖ в операциях механической обработки можно выполнить путем внедрения передовых подходов к анализу данных [30]. Можно создать комплексную прогностическую модель для систематической оценки возможности применения и эффективности различных биомасел. Была разработана модель, которая включает сложные факторы, такие как классификация биомасел, параметры обработки (например, скорость резания, скорость подачи), свойства материала и конкретные целевые результаты

обработки [31]. Модель прогнозирования использует передовые статистические подходы и алгоритмы машинного обучения для выявления сложных закономерностей и связей в имеющихся данных. Это позволяет оценить влияние использования конкретных биомасел в качестве СОЖ [32]. Модель расширяет возможности прогнозирования для измерения критически важных показателей производительности, таких как качество обработки поверхности, скорость износа инструмента и образование стружки, для каждого вида биомасла и параметров обработки [33]. Использование прогнозного моделирования при изучении биомасел в качестве СОЖ дает исследователям глубокое понимание преимуществ и недостатков некоторых биомасел [34]. Этот аналитический метод способствует принятию обоснованных решений, оптимизации операций обработки и смягчению воздействия на окружающую среду, поощряя использование безопасных и экологически чистых СОЖ.

Согласно доступной литературе, тщательная оценка пригодности и эффективности различных биомасел в качестве СОЖ в процессах механической обработки включает в себя экспериментальные исследования, а также использование методологий прогнозного моделирования. Необходимо тщательно изучить влияние биомасел на такие важные показатели, как качество поверхности, износ инструмента, образование стружки и воздействие на окружающую среду. Согласно литературе, биомасла демонстрируют потенциал в качестве практичной и экологически безопасной замены смазочным материалам на нефтяной основе. Однако для более глубокого изучения их эксплуатационных характеристик необходимы дополнительные экспериментальные исследования в сочетании с передовыми методами прогнозного моделирования.

Необходимо проведение расширенных испытаний и создание точных прогностических моделей, способных всесторонне оценить эффективность использования биомасел в качестве смазочно-охлаждающих жидкостей. В перспективе это не только сведет к минимуму зависимость от смазочных материалов на нефтяной основе, но также поможет расширить знания о биомаслах и их использовании в производственном секторе.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящее исследование выявило, что кунжутное масло, съедобное растительное масло из зерен кунжута, является эффективной заменой минеральных масел в процессе механической обработки. В таблице 1 сравниваются характеристики кунжутного масла и масла на нефтяной основе. В исследовании использовался токарный станок средней мощности BALAJI Model 215 Super Series. Заготовки из малоуглеродистой стали AISI 1014 диаметром 20 мм и длиной 100 мм надежно удерживались в трехкулачковом патроне и вращались со скоростью 328 и 750 об/мин. Для обоих экспериментов скорость подачи поддерживалась на уровне 0,23 мм/об. Для обработки производитель INDIAN TOOL изготовил инструмент из высокопрочной стали с 10 % содержанием кобальта, квадратным сечением 12,7 мм и длиной 50 мм.

Экспериментальные работы проводились при различных передних углах инструмента (5, 8 и 11°) и радиусах вершины инструмента (1, 1,5 и 2 мм). Кунжутное масло подавалось с постоянной скоростью 50 мл/мин, тогда как масло на нефтяной основе (SAE 20W-40) подавалось со скоростью 72 мл/мин. Эксперименты проводились тремя различными способами: без СОЖ (сухой ход), с СОЖ на нефтяной основе (SAE 20W-40) и с кунжутным маслом в качестве СОЖ. Шероховатость поверхности ( $Ra$ ) заготовок определялась с помощью портативного прибора для измерения шероховатости поверхности MITUTOYO SJ-210. Эта экспериментальная установка позволила оценить эффективность использования кунжутного масла в качестве СОЖ, сравнив его воздействие на шероховатость поверхности с воздействием работы на сухую и со стандартными СОЖ на нефтяной основе. Сила резания измерялась с помощью динамометра токарного инструмента. Режущий инструмент вставлялся в динамометр и закреплялся на поперечном суппорте. Перед запуском токарного станка скорость и подача были установлены на ноль, подача к инструменту применялась автоматически. Измерения шероховатости поверхности проводились с помощью прибора Talysurf (MITUTOYO) при различных условиях резания.

Таблица 1. Характеристики смазочно-охлаждающей жидкости на нефтяной основе и кунжутного масла

Table 1. Characteristics of petroleum based oil and gingelly oil

Характеристики	СОЖ на нефтяной основе (SAE 20W-40)	Кунжутное масло
Температура вспышки	210 °C	255 °C
Температура воспламенения	215 °C	280 °C
Плотность при 50 °C	774 кг/м <sup>3</sup>	780 кг/м <sup>3</sup>
Кинематическая вязкость при 50 °C	$2,39 \times 10^{-5}$ м <sup>2</sup> /с	$3,72 \times 10^{-5}$ м <sup>2</sup> /с
Динамическая вязкость при 50 °C	$1,86 \times 10^{-3}$ Н·с/м <sup>2</sup>	$2,67 \times 10^{-3}$ Н·с/м <sup>2</sup>
Цвет	Красный	Ярко-желтый

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рис. 1 демонстрирует заметные изменения шероховатости поверхности в зависимости от размера заготовки и типа используемых операций резания, особенно при использовании переднего угла  $5^\circ$  и радиусе закругления вершины 1 мм. Использование метода сухого резания привело к более низкому показателю шероховатости поверхности по сравнению с резанием с использованием СОЖ независимо от того, были они получены из нефти или кунжутного масла. Несмотря на это, значения шероховатости поверхности увеличивались с увеличением диаметра образца. Степень остроты режущей кромки инструмента не оказала влияния на качество обработки поверхности. Хотя некоторые образцы показали превосходное качество поверхности, другие обнаружили гораздо более высокий уровень шероховатости. Можно сделать вывод, что качество поверхности в этих условиях опреде-

ляется большим количеством параметров, нежели одна заостренность режущей кромки инструмента.

На рис. 2 показаны результаты эксперимента по влиянию более высокой скорости резания (750 об/мин) на шероховатость поверхности заготовок различного диаметра. При увеличении скорости резания до 750 об/мин при переднем угле  $5^\circ$  наблюдалось значительное увеличение шероховатости поверхности с 5,4 до 8,7 мкм. Увеличенный передний угол и радиус закругления вершины 2 мм привели к получению более гладкой поверхности и снижению силы резания. Примечательно, что при меньших радиусах закругления вершины наблюдается недостаточное сцепление инструмента с заготовкой, что приводит к разбросу значений силы резания для сухого хода и с применением СОЖ на нефтяной основе. Благодаря содержанию триглицеридов кунжутное масло продемонстрировало превосходные смазочно-охлаждающие свойства, создав

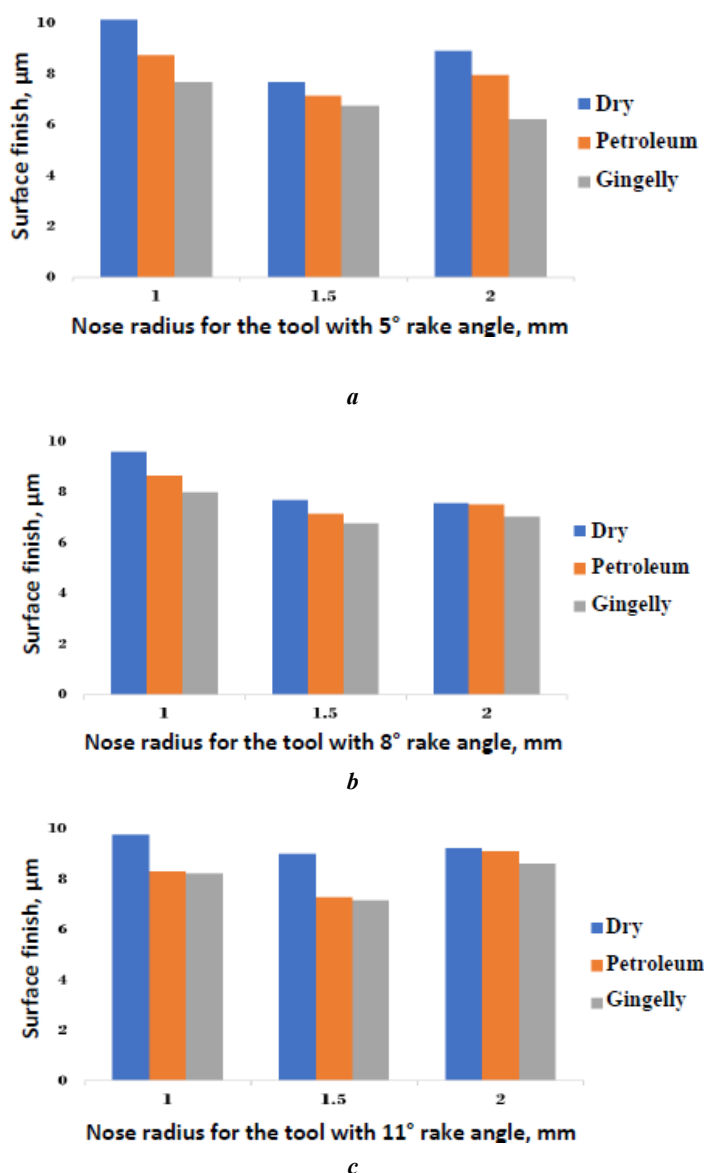
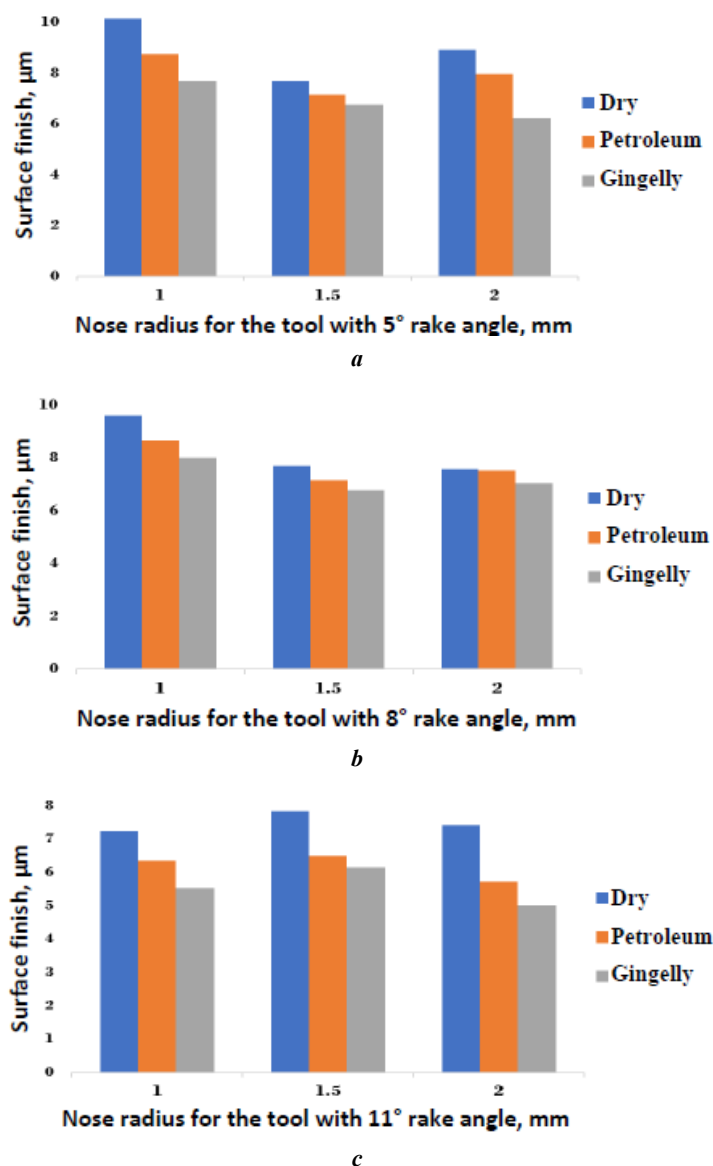


Рис. 1. Влияние на качество поверхности радиуса закругления вершины при передних углах инструмента  $5^\circ$  (a),  $8^\circ$  (b),  $11^\circ$  (c) и скорости резания 328 об/мин  
 Fig. 1. Effect of the surface finish over nose radius for the varying rake angles  $5^\circ$  (a),  $8^\circ$  (b),  $11^\circ$  (c), and cutting speed 328 rpm



**Рис. 2.** Влияние на качество поверхности радиуса закругления вершины при передних углах инструмента 5° (a), 8° (b), 11° (c) и скорости резания 720 об/мин  
**Fig. 2.** Effect of the surface finish over nose radius for the varying rake angles 5° (a), 8° (b), 11° (c), and cutting speed 720 rpm

прочную смазочную пленку, которая снизила трение и износ инструмента во время обработки и способствовала формированию наиболее гладкой поверхности обрабатываемых деталей.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

#### Взаимосвязь качества обработки поверхности и различных условий смазки

Дальнейшие исследования показали, что увеличение радиуса закругления вершины режущего инструмента способствовало увеличению сцепления между инструментом и заготовкой, что привело к более стабильным показателям качества поверхности. Наиболее гладкая поверхность (с шероховатостью от 4,9 до 6 мкм) была достигнута при радиусе закругления вершины инструмента 1,5 мм, когда в качестве СОЖ использовалось

кунжутное масло. Кроме того, использование большего радиуса закругления вершины инструмента (2 мм) привело к уменьшению на 20 % шероховатости поверхности, что демонстрирует положительное влияние увеличенного радиуса закругления вершины на качество поверхности. При переходе на передний угол 8° ограниченный диапазон изменения силы резания привел к значительной разнице в качестве обработки поверхности между сухой резкой и с использованием СОЖ на нефтяной основе. Это связано с вероятными ошибками в обработке во время токарных операций. Однако, когда в качестве СОЖ использовалось кунжутное масло, контакт между режущим инструментом и заготовкой значительно улучшался, и формировалась более гладкая поверхность. Примечательно, что увеличение радиуса закругления вершины инструмента еще больше улучшило шероховатость поверхности за счет увеличения площади обработки и времени контакта между инструментом и заготовкой.

Кроме того, увеличение переднего угла снизило образование заусенцев на границе контакта «инструмент – заготовка», позволяя инструменту с большей легкостью скользить сквозь материал. Однако динамические силы должны быть сбалансированы, поскольку слишком большие передние углы не могут гарантировать более плавную работу. Оптимальный передний угол 8°, по видимому, обеспечивает оптимальную динамическую балансировку сил, уменьшая тангенциальную силу и одновременно увеличивая осевую силу на границе с режущей кромкой инструмента. В ходе этой процедуры наблюдалось небольшое увеличение шероховатости поверхности.

В качестве СОЖ кунжутное масло продемонстрировало превосходные смазочные и охлаждающие свойства по сравнению с криогенными жидкостями, что позволило улучшить скольжение инструмента по заготовке и тем самым улучшить обрабатываемость. Использование более высоких скоростей резки (750 об/мин) и кунжутного масла помогло получить обработанную поверхность превосходного качества по сравнению

с более низкими скоростями резания. Сочетание более высокой скорости резания (750 об/мин), переднего угла 8° и радиуса закругления вершины 2 мм с кунжутным маслом в качестве СОЖ привело к значительному улучшению производительности обработки. По сравнению с другими параметрами процесса эти улучшения включали снижение силы резания (на 5–25 %) и повышение чистоты поверхности (на 2–15 %).

#### Статистическая модель

Целью статистической модели, предложенной в этом исследовании, является изучение влияния технологических факторов на качество продукции в процессе механической обработки. Полученные данные о силе резания и шероховатости сведены в таблицу Excel. Корреляционный и регрессионный анализ проводился с помощью программного обеспечения R. В таблице 2 представлены данные для образца диаметром 20 мм, в том числе радиус закругления вершины, передний угол, сила резания и качество обработки поверхности.

**Таблица 2.** Значения силы резания и шероховатости поверхности при разных параметрах процесса обработки  
**Table 2.** Cutting force and surface roughness values for the different process parameters

Передний угол	Радиус закругления вершины	Сила резания (Н)			Скорость резания (об/мин)	Шероховатость поверхности (µm)		
		сухая обработка	СОЖ на нефтяной основе	кунжутное масло		сухая обработка	СОЖ на нефтяной основе	кунжутное масло
5	1	459	451	448	328	9,350	7,388	7,455
5	1,5	466	441	438	328	9,350	7,388	7,455
5	2	452	444	319	328	8,948	7,021	5,331
8	1	444	432	420	328	6,967	6,521	5,335
8	1,5	458	451	450	328	7,161	6,661	6,117
8	2	430	437	318	328	5,636	7,963	6,548
11	1	466	458	447	328	9,788	8,327	8,221
11	1,5	473	469	446	328	9,017	7,287	7,171
11	2	441	438	318	328	9,248	9,132	8,626
5	1	470	462	444	750	10,152	8,758	7,682
5	1,5	477	461	448	750	7,682	7,152	6,758
5	2	382	343	327	750	8,920	7,980	6,230
8	1	469	450	444	750	9,596	8,651	7,989
8	1,5	476	460	454	750	7,682	7,152	6,758
8	2	360	323	310	750	7,560	7,510	7,030
11	1	472	461	457	750	7,249	6,351	5,532
11	1,5	483	462	434	750	7,847	6,490	6,143
11	2	356	317	311	750	7,420	5,730	5,020

Экспериментальное исследование показало статистически значимую обратную связь между качеством обработки поверхности и различными условиями смазки, особенно в отношении радиуса вершины и переднего угла. Коэффициенты корреляции переднего угла находились в диапазоне от  $-0,2$  до  $-0,4$ , а коэффициенты корреляции радиуса закругления вершины – от  $-0,3$  до  $-0,6$ . Обнаруженные отрицательные зависимости позволяют предположить, что увеличение переднего угла и радиуса закругления вершины повышает качество обработки поверхности.

Регрессионная модель была создана для лучшего понимания взаимосвязи между различными параметрами и качеством обработки поверхности. В исследовании основное внимание уделялось взаимодействию нескольких независимых переменных, таких как скорость резания, сила резания, передний угол и радиус закругления вершины, а также зависимой переменной – качеству обработки поверхности. Однако построенная модель множественной регрессии оказалась неэффективной, о чем свидетельствуют значения  $R$ -квадрата в диапазоне от  $-0,1$  до  $-0,3$ . Чем больше независимых параметров процесса добавлялось в модель, тем сильнее снижалась ее общая стабильность и точность. С другой стороны, исследование влияния переднего угла и силы резания при сохранении постоянной скорости резания оказалось перспективным путем улучшения модели. Скорее всего, это связано с возросшей сложностью и взаимозависимостью, вызванной введением нескольких переменных.

Кроме того, было обнаружено, что  $p$ -значения, полученные на основе модели множественной регрессии, превышают уровень значимости, равный  $0,05$ . Это показывает, что полезность предикторов для уточнения изменчивости шероховатости поверхности не достигла статистической значимости, возможно, из-за сложных взаимодействий между переменными, которые не были полностью учтены моделью.

Целью исследования являлось понимание сложной взаимосвязи между качеством обработки поверхности и критическими факторами резания в процессе механической обработки. Для устранения недостатков традиционных методологий использовались методы регрессии. С помощью традиционных подходов трудно точно определить сложные нелинейные взаимосвязи и взаимодействия между важными факторами, такими как скорость резания, сила резания, передний угол и радиус закругления вершины. Чтобы исправить этот недостаток, были внедрены разделенные стратегии, эффективные при обработке сложных взаимодействий и оценке совокупного влияния отдельных факторов на ровность поверхности. Чтобы охватить более широкий диапазон условий резания, были проведены испытания с несколькими диаметрами (8, 12 и 15 мм). Затем экспериментальные данные были систематизированы и проанализированы при различных параметрах радиуса закругления вершины и переднего угла.

Успешно исследовано влияние силы резания, диаметра и переднего угла на качество поверхности при сохранении постоянного радиуса закругления вершины. Результаты этого анализа оценивались с использованием статистических показателей, в частности значений  $R$ -квадрата и  $p$ -значений, которые показывают степень корреляции и важность предикторов. Значения  $R$ -квадрата и  $p$ -значения для различных передних углов и радиусов закругления вершины показаны в таблицах 3 и 4.

Выявлено, что передний угол  $8^\circ$  и радиус закругления вершины 2 мм приводят к более высокому качеству обработки поверхности. Среди всех исследованных вариантов именно эта комбинация параметров резания дала наилучшие результаты. Понятно, что вибрация во время резания, климатические условия, параметры станка и другие неизвестные переменные влияют на изменение силы резания и качество обработки поверхности. Несмотря на влияние этих и других элементов, установлено, что передний угол, радиус вершины, скорость

**Таблица 3.**  $R$ -квадрат и  $p$ -значения при разных значениях радиуса закругления вершины  
**Table 3.**  $R$ -square and  $p$ -values for different values of nose radius

Радиус закругления вершины	$R$ -квадрат	$p$ -значение	Смазочный материал
1	0,014	0,36	Сухая обработка
1	0,01	0,03	СОЖ на нефтяной основе
1	0,3	0,015	Кунжутное масло
1,5	0,1579	0,09447	Сухая обработка
1,5	0,3	0,1243	СОЖ на нефтяной основе
1,5	0,5	0,0005	Кунжутное масло
2	0,3	0,04	Сухая обработка
2	0,5	0,003	СОЖ на нефтяной основе
2	0,66	0,019	Кунжутное масло

Таблица 4. R-квадрат и p-значения для разных значений переднего угла инструмента  
 Table 4. R-square and p-values for different values of rake angle

Передний угол	R-квадрат	p-значение	Смазочный материал
5	0,17	0,05	Сухая обработка
5	0,3046	0,008478	СОЖ на нефтяной основе
5	0,3351	0,005295	Кунжутное масло
8	0,3394	0,002	Сухая обработка
8	0,3409	0,009779	СОЖ на нефтяной основе
8	0,5878	0,0004	Кунжутное масло
11	0,32	0,04	Сухая обработка
11	-0,115	0,08926	СОЖ на нефтяной основе
11	0,44	0,008	Кунжутное масло

резания и диаметр играют важную роль в обработке поверхности и силе резания. Эти критические параметры резания оказывают большое влияние на конечную шероховатость поверхности и гарантируют адекватный уровень силы резания в процессе обработки.

Статистические показатели, такие как R-квадрат и p-значения, используются для количественной оценки связей и оценки релевантности выявленных предикторов. Значение R-квадрата количественно определяет величину отклонения зависимой переменной (чистоты поверхности), объясняемую через независимые переменные (передний угол, радиус закругления вершины, скорость резания и диаметр). С другой стороны, p-значение раскрывает статистическую значимость действия предикторов. Наибольшие значения этих показателей оказались связаны с передним углом 8° и радиусом закругления вершины 2 мм. Подразумевается, что эта комбинация переднего угла и радиуса закругления вершины оказывает максимально благоприятное влияние на качество обработки поверхности. Согласно полученным данным, работа в этих оптимизированных условиях привела к значительному улучшению качества обработки поверхности по сравнению с другими экспериментальными параметрами. Напротив, низкие значения R-квадрата и p-значения были получены при других условиях работы. Это означает, что в этих условиях процесс обработки проходил неудовлетворительно, что приводило к ухудшению качества обработки поверхности и, возможно, к увеличению давления резания. Проведенная экспериментальная работа продемонстрировала важность оптимизации переднего угла и радиуса закругления вершины для создания поверхности превосходного качества и регулирования сил резания на протяжении всего процесса обработки.

## ВЫВОДЫ

В исследовании изучалось использование кунжутного масла в качестве смазочно-охлаждающей жидкости при механической обработке, а также его влияние на

качество обработки поверхности и силу резания. Кунжутное масло превзошло смазочные материалы на нефтяной основе, обеспечив наилучшую смазку и охлаждение образцов. Кунжутное масло во всех случаях обеспечивало более гладкую поверхность при меньшей силе резания, чем сухая резка и смазка на нефтяной основе.

Статистический анализ показал, что оптимизация параметров процесса, особенно переднего угла и радиуса закругления вершины, улучшает качество обработки поверхности. Качество обработки поверхности и сила резания показали наилучший результат при сочетании переднего угла инструмента 8° и радиуса закругления вершины 2 мм. Эти условия резания превзошли другие экспериментальные варианты, продемонстрировав важность выбора и контроля параметров резания в операциях обработки.

Прогнозное моделирование помогает рассмотреть биомасла в качестве СОЖ. Прогнозные модели позволяют оценить влияние биомасла на качество обработки поверхности, скорость износа инструмента, образование стружки и другие показатели производительности, используя уже имеющиеся данные и результаты экспериментов. Данный метод оптимизирует процесс обработки, помогает в принятии решений и способствует использованию экологически чистых СОЖ.

Кунжутное и другие биомасла представляются конкурентоспособными и экологически безопасными заменителями смазочных материалов на нефтяной основе. Однако необходимы дополнительные исследования, чтобы понять сложную связь между параметрами резания, обработкой поверхности и силами резания. Прогнозное моделирование может помочь промышленности внедрить природосберегающие методы, выявляя эффективность биомасел при определенных параметрах обработки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Beyer F., Willner K. Surface Deformation due to Shear and Ploughing in a Halfspace // PAMM.



2014. Vol. 14. № 1. P. 239–240. DOI: [10.1002/pamm.201410107](https://doi.org/10.1002/pamm.201410107).
2. Hatna A., Grieve B. Cartesian machining versus parametric machining: A comparative study // *International Journal of Production Research*. 2000. Vol. 38. № 13. P. 3043–3065. DOI: [10.1080/00207540050117431](https://doi.org/10.1080/00207540050117431).
  3. Oda Y., Kawamura Y., Fujishima M. Energy Consumption Reduction by Machining Process Improvement // *Procedia CIRP*. 2012. Vol. 4. P. 120–124. DOI: [10.1016/j.procir.2012.10.022](https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.10.022).
  4. Balevicius G., Ostasevicius V., Jurenas V., Baskutiene J., Zakrasas R. Investigation of vibration assisted drilling prospects for improving machining characteristics of hard to machine materials at high and low frequency ranges // *Mechanics*. 2016. Vol. 22. № 2. P. 125–131. DOI: [10.5755/j01.mech.22.2.14431](https://doi.org/10.5755/j01.mech.22.2.14431).
  5. Nagasaka K., Hashimoto F. The establishment of a tool life equation considering the amount of tool wear // *Wear*. 1982. Vol. 81. № 1. P. 21–31. DOI: [10.1016/0043-1648\(82\)90301-5](https://doi.org/10.1016/0043-1648(82)90301-5).
  6. Guney M., Seker U. Investigation of the Effect of Cutting Tool Rake Angle on Feed Force // *Journal of Polytchnic*. 2005. Vol. 8. № 4. P. 323–328. DOI: [10.2339/y2005.v8.n4.p323-328](https://doi.org/10.2339/y2005.v8.n4.p323-328).
  7. Naves V.T.G., Da Silva M.B., Da Silva F.J. Evaluation of the effect of application of cutting fluid at high pressure on tool wear during turning operation of AISI 316 austenitic stainless steel // *Wear*. 2013. Vol. 302. № 1-2. P. 1201–1208. DOI: [10.1016/j.wear.2013.03.016](https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.03.016).
  8. Neşeli S., Yıldız S., Türkeş E. Optimization of tool geometry parameters for turning operations based on the response surface methodology // *Measurement*. 2011. Vol. 44. № 3. P. 580–587. DOI: [10.1016/j.measurement.2010.11.018](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2010.11.018).
  9. Sewaillem M.R., Mobarak I.M. The practical estimation of tool wear in turning // *Wear*. 1981. Vol. 67. № 3. P. 261–269. DOI: [10.1016/0043-1648\(81\)90041-7](https://doi.org/10.1016/0043-1648(81)90041-7).
  10. Patwari A.U., Mahmood M.N., Arif M.D. Improvement of Machinability of Mild Steel during Turning Operation by Magnetic Cutting // *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2012. Vol. 2. № 3. P. 207–210. DOI: [10.18517/ijaseit.2.3.187](https://doi.org/10.18517/ijaseit.2.3.187).
  11. Ghani A.K., Choudhury I.A., Husni. Study of tool life, surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool // *Journal of Materials Processing Technology*. 2002. Vol. 127. № 1. P. 17–22. DOI: [10.1016/s0924-0136\(02\)00092-4](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(02)00092-4).
  12. Dahlman P., Gunnberg F., Jacobson M. The influence of rake angle, cutting feed and cutting depth on residual stresses in hard turning // *Journal of Materials Processing Technology*. 2004. Vol. 147. № 2. P. 181–184. DOI: [10.1016/j.matprotec.2003.12.014](https://doi.org/10.1016/j.matprotec.2003.12.014).
  13. Verma A., Sharma S. Analysis of Cutting Forces for Different Work Materials and Tool Material: Effect of Rake Angle in Turning Process // *International Journal of Scientific Research*. 2014. Vol. 3. № 7. P. 172–173. DOI: [10.15373/22778179/july2014/54](https://doi.org/10.15373/22778179/july2014/54).
  14. Radhika A., Shailesh Rao A., Yogesha K.B. Evaluating machining performance of AISI 1014 steel using gingelly oil as cutting fluid // *Australian Journal of Mechanical Engineering*. 2019. Vol. 19. № 4. P. 445–456. DOI: [10.1080/14484846.2019.1636517](https://doi.org/10.1080/14484846.2019.1636517).
  15. Dodla S. Experimental Investigations of Tool Wear in Vibration-Assisted Turning of Inconel 718 // *Archives of Metallurgy and Materials*. 2022. Vol. 67. № 3. P. 949–953. DOI: [10.24425/amm.2022.139687](https://doi.org/10.24425/amm.2022.139687).
  16. Shailesh Rao A. Effect of nose radius on the chip morphology, cutting force and tool wear during dry turning of Inconel 718 // *Tribology - Materials, Surfaces & Interfaces*. 2023. Vol. 17. № 1. P. 62–71. DOI: [10.1080/17515831.2022.2160161](https://doi.org/10.1080/17515831.2022.2160161).
  17. Yan Pei, Rong Yiming, Wang Gang. The effect of cutting fluids applied in metal cutting process // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 2015. Vol. 230. № 1. P. 19–37. DOI: [10.1177/0954405415590993](https://doi.org/10.1177/0954405415590993).
  18. Haygreen L.H. Selection of cutting fluids // *Tribology International*. 1977. Vol. 10. № 1. P. 13–16. DOI: [10.1016/0301-679x\(77\)90146-3](https://doi.org/10.1016/0301-679x(77)90146-3).
  19. Bartarya G., Choudhury S.K. Effect of Cutting Parameters on Cutting Force and Surface Roughness During Finish Hard Turning AISI52100 Grade Steel // *Procedia CIRP*. 2012. Vol. 1. P. 651–656. DOI: [10.1016/j.procir.2012.05.016](https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.05.016).
  20. Shashidhara Y.M., Jayaram S.R. Vegetable oils as a potential cutting fluid - An evolution // *Tribology International*. 2010. Vol. 43. № 5-6. P. 1073–1081. DOI: [10.1016/j.triboint.2009.12.065](https://doi.org/10.1016/j.triboint.2009.12.065).
  21. Rapeti P., Pasam V.K., Rao Gurrām K.M., Revuru R.S. Performance evaluation of vegetable oil based nano cutting fluids in machining using grey relational analysis – A step towards sustainable manufacturing // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 172. P. 2862–2875. DOI: [10.1016/j.jclepro.2017.11.127](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.127).
  22. Kumar B.S., Padmanabhan G., Krishna P.V. Experimental Investigations of Vegetable Oil Based Cutting Fluids with Extreme Pressure Additive in Machining of AISI 1040 Steel // *Manufacturing Science and Technology*. 2015. Vol. 3. № 1. P. 1–9. DOI: [10.13189/mst.2015.030101](https://doi.org/10.13189/mst.2015.030101).
  23. Ozelik B., Kuram E., Huseyin Cetin M., Demirbas E. Experimental investigations of vegetable based cutting fluids with extreme pressure during turning of AISI 304L // *Tribology International*. 2011. Vol. 44. № 12. P. 1864–1871. DOI: [10.1016/j.triboint.2011.07.012](https://doi.org/10.1016/j.triboint.2011.07.012).
  24. Cetin M.H., Ozelik B., Kuram E., Demirbas E. Evaluation of vegetable based cutting fluids with extreme pressure and cutting parameters in turning of AISI 304L by Taguchi method // *Journal of Cleaner Production*. 2011. Vol. 19. № 17-18. P. 2049–2056. DOI: [10.1016/j.jclepro.2011.07.013](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.013).
  25. Gunjal S.U., Patil N.G. Experimental Investigations into Turning of Hardened AISI 4340 Steel using Vegetable based Cutting Fluids under Minimum Quantity Lubrication // *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 20. P. 18–23. DOI: [10.1016/j.promfg.2018.02.003](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.003).
  26. Katna R., Suhaib M., Agrawal N. Nonedible vegetable oil-based cutting fluids for machining processes – a review // *Materials and Manufacturing Processes*. 2019. Vol. 35. № 1. P. 1–32. DOI: [10.1080/10426914.2019.1697446](https://doi.org/10.1080/10426914.2019.1697446).
  27. Sredanovic B., Cica D. Comparative Study of ANN and ANFIS Prediction Models For Turning Process in Different Cooling and Lubricating Conditions // *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*. 2015. Vol. 8. № 2. P. 586–591. DOI: [10.4271/2015-01-9082](https://doi.org/10.4271/2015-01-9082).

28. Cica D., Sredanovic B., Tesic S., Kramar D. Predictive modeling of turning operations under different cooling/lubricating conditions for sustainable manufacturing with machine learning techniques // *Applied Computing and Informatics*. 2024. Vol. 20. № 1/2. P. 162–180. DOI: [10.1016/j.aci.2020.02.001](https://doi.org/10.1016/j.aci.2020.02.001).
29. Shailesh R.A. Regression Analysis of Cutting Forces in Machining - Impact of Cutting Conditions and Fluids // *Comadem Journal*. 2024. Vol. 27. № 1. P. 31–39.
30. Nagaraj A., Uysal A., Gururaja S., Jawahir I.S. Analysis of surface integrity in drilling carbon fiber reinforced polymer composite material under various cooling/lubricating conditions // *Journal of Manufacturing Processes*. 2022. Vol. 82. P. 124–137. DOI: [10.1016/j.jmapro.2022.07.065](https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.07.065).
31. Arapoglu R.A., Sofuoglu M.A., Orak S. An ANN-Based Method to Predict Surface Roughness in Turning Operations // *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2017. Vol. 42. P. 1929–1940. DOI: [10.1007/s13369-016-2385-y](https://doi.org/10.1007/s13369-016-2385-y).
32. Veeranaath V., Nandana Mohanty M., Kumar A., Kumar P. ANN modeling of the significance of constraints in turning superalloys using coated PCBN tools // *Materials Today: Proceedings*. 2022. Vol. 65-1. P. 20–28. DOI: [10.1016/j.matpr.2022.03.559](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.559).
33. Agari S.R. Wear and surface characteristics on tool performance with CVD coating of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiCN inserts during machining of Inconel 718 alloys // *Archive of Mechanical Engineering*. 2022. Vol. 69. № 1. P. 59–75.
34. Prasad K., Chakraborty S. A decision-making model for non-traditional machining processes selection // *Decision Science Letters*. 2014. Vol. 3. P. 467–478. DOI: [10.5267/j.dsl.2014.7.002](https://doi.org/10.5267/j.dsl.2014.7.002).
1. Beyer F., Willner K. Surface Deformation due to Shear and Ploughing in a Halfspace. *PAMM*, 2014, vol. 14, no. 1, pp. 239–240. DOI: [10.1002/pamm.201410107](https://doi.org/10.1002/pamm.201410107).
2. Hatna A., Grieve B. Cartesian machining versus parametric machining: A comparative study. *International Journal of Production Research*, 2000, vol. 38, no. 13, pp. 3043–3065. DOI: [10.1080/00207540050117431](https://doi.org/10.1080/00207540050117431).
3. Oda Y., Kawamura Y., Fujishima M. Energy Consumption Reduction by Machining Process Improvement. *Procedia CIRP*, 2012, vol. 4, pp. 120–124. DOI: [10.1016/j.procir.2012.10.022](https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.10.022).
4. Balevicius G., Ostasevicius V., Jurenas V., Baskutiene J., Zakrasas R. Investigation of vibration assisted drilling prospects for improving machining characteristics of hard to machine materials at high and low frequency ranges. *Mechanics*, 2016, vol. 22, no. 2, pp. 125–131. DOI: [10.5755/j01.mech.22.2.14431](https://doi.org/10.5755/j01.mech.22.2.14431).
5. Nagasaka K., Hashimoto F. The establishment of a tool life equation considering the amount of tool wear. *Wear*, 1982, vol. 81, no. 1, pp. 21–31. DOI: [10.1016/0043-1648\(82\)90301-5](https://doi.org/10.1016/0043-1648(82)90301-5).
6. Guney M., Seker U. Investigation of the Effect of Cutting Tool Rake Angle on Feed Force. *Journal of Polytchnic*, 2005, vol. 8, no. 4, pp. 323–328. DOI: [10.2339/y2005.v8.n4.p323-328](https://doi.org/10.2339/y2005.v8.n4.p323-328).
7. Naves V.T.G., Da Silva M.B., Da Silva F.J. Evaluation of the effect of application of cutting fluid at high pressure on tool wear during turning operation of AISI 316 austenitic stainless steel. *Wear*, 2013, vol. 302, no. 1-2, pp. 1201–1208. DOI: [10.1016/j.wear.2013.03.016](https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.03.016).
8. Neşeli S., Yaldız S., Türkeş E. Optimization of tool geometry parameters for turning operations based on the response surface methodology. *Measurement*, 2011, vol. 44, no. 3, pp. 580–587. DOI: [10.1016/j.measurement.2010.11.018](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2010.11.018).
9. Sewailem M.R., Mobarak I.M. The practical estimation of tool wear in turning. *Wear*, 1981, vol. 67, no. 3, pp. 261–269. DOI: [10.1016/0043-1648\(81\)90041-7](https://doi.org/10.1016/0043-1648(81)90041-7).
10. Patwari A.U., Mahmood M.N., Arif M.D. Improvement of Machinability of Mild Steel during Turning Operation by Magnetic Cutting. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 2012, vol. 2, no. 3, pp. 207–210. DOI: [10.18517/ijaseit.2.3.187](https://doi.org/10.18517/ijaseit.2.3.187).
11. Ghani A.K., Choudhury I.A., Husni. Study of tool life, surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, vol. 127, no. 1, pp. 17–22. DOI: [10.1016/s0924-0136\(02\)00092-4](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(02)00092-4).
12. Dahlman P., Gunnberg F., Jacobson M. The influence of rake angle, cutting feed and cutting depth on residual stresses in hard turning. *Journal of Materials Processing Technology*, 2004, vol. 147, no. 2, pp. 181–184. DOI: [10.1016/j.matprotec.2003.12.014](https://doi.org/10.1016/j.matprotec.2003.12.014).
13. Verma A., Sharma S. Analysis of Cutting Forces for Different Work Materials and Tool Material: Effect of Rake Angle in Turning Process. *International Journal of Scientific Research*, 2014, vol. 3, no. 7, pp. 172–173. DOI: [10.15373/22778179/july2014/54](https://doi.org/10.15373/22778179/july2014/54).
14. Radhika A., Shailesh Rao A., Yogesha K.B. Evaluating machining performance of AISI 1014 steel using gingelly oil as cutting fluid. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 445–456. DOI: [10.1080/14484846.2019.1636517](https://doi.org/10.1080/14484846.2019.1636517).
15. Dodla S. Experimental Investigations of Tool Wear in Vibration-Assisted Turning of Inconel 718. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2022, vol. 67, no. 3, pp. 949–953. DOI: [10.24425/amm.2022.139687](https://doi.org/10.24425/amm.2022.139687).
16. Shailesh Rao A. Effect of nose radius on the chip morphology, cutting force and tool wear during dry turning of Inconel 718. *Tribology - Materials, Surfaces & Interfaces*, 2023, vol. 17, no. 1, pp. 62–71. DOI: [10.1080/17515831.2022.2160161](https://doi.org/10.1080/17515831.2022.2160161).
17. Yan Pei, Rong Yiming, Wang Gang. The effect of cutting fluids applied in metal cutting process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 2015, vol. 230, no. 1, pp. 19–37. DOI: [10.1177/0954405415590993](https://doi.org/10.1177/0954405415590993).
18. Haygreen L.H. Selection of cutting fluids. *Tribology International*, 1977, vol. 10, no. 1, pp. 13–16. DOI: [10.1016/0301-679x\(77\)90146-3](https://doi.org/10.1016/0301-679x(77)90146-3).
19. Bartarya G., Choudhury S.K. Effect of Cutting Parameters on Cutting Force and Surface Roughness During Finish Hard Turning AISI52100 Grade Steel. *Procedia CIRP*, 2012, vol. 1, pp. 651–656. DOI: [10.1016/j.procir.2012.05.016](https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.05.016).
20. Shashidhara Y.M., Jayaram S.R. Vegetable oils as a potential cutting fluid - An evolution. *Tribology International*, 2010, vol. 43, no. 5-6, pp. 1073–1081. DOI: [10.1016/j.triboint.2009.12.065](https://doi.org/10.1016/j.triboint.2009.12.065).

21. Rapeti P., Pasam V.K., Rao Gurrām K.M., Revuru R.S. Performance evaluation of vegetable oil based nano cutting fluids in machining using grey relational analysis – A step towards sustainable manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 172, pp. 2862–2875. DOI: [10.1016/j.jclepro.2017.11.127](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.127).
22. Kumar B.S., Padmanabhan G., Krishna P.V. Experimental Investigations of Vegetable Oil Based Cutting Fluids with Extreme Pressure Additive in Machining of AISI 1040 Steel. *Manufacturing Science and Technology*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 1–9. DOI: [10.13189/mst.2015.030101](https://doi.org/10.13189/mst.2015.030101).
23. Ozcelik B., Kuram E., Huseyin Cetin M., Demirbas E. Experimental investigations of vegetable based cutting fluids with extreme pressure during turning of AISI 304L. *Tribology International*, 2011, vol. 44, no. 12, pp. 1864–1871. DOI: [10.1016/j.triboint.2011.07.012](https://doi.org/10.1016/j.triboint.2011.07.012).
24. Cetin M.H., Ozcelik B., Kuram E., Demirbas E. Evaluation of vegetable based cutting fluids with extreme pressure and cutting parameters in turning of AISI 304L by Taguchi method. *Journal of Cleaner Production*, 2011, vol. 19, no. 17–18, pp. 2049–2056. DOI: [10.1016/j.jclepro.2011.07.013](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.013).
25. Gunjal S.U., Patil N.G. Experimental Investigations into Turning of Hardened AISI 4340 Steel using Vegetable based Cutting Fluids under Minimum Quantity Lubrication. *Procedia Manufacturing*, 2018, vol. 20, pp. 18–23. DOI: [10.1016/j.promfg.2018.02.003](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.003).
26. Katna R., Suhaib M., Agrawal N. Nonedible vegetable oil-based cutting fluids for machining processes – a review. *Materials and Manufacturing Processes*, 2019, vol. 35, no. 1, pp. 1–32. DOI: [10.1080/10426914.2019.1697446](https://doi.org/10.1080/10426914.2019.1697446).
27. Sredanovic B., Cica D. Comparative Study of ANN and ANFIS Prediction Models For Turning Process in Different Cooling and Lubricating Conditions. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 2015, vol. 8, no. 2, pp. 586–591. DOI: [10.4271/2015-01-9082](https://doi.org/10.4271/2015-01-9082).
28. Cica D., Sredanovic B., Tesic S., Kramar D. Predictive modeling of turning operations under different cooling/lubricating conditions for sustainable manufacturing with machine learning techniques. *Applied Computing and Informatics*, 2024, vol. 20, no. 1/2, pp. 162–180. DOI: [10.1016/j.aci.2020.02.001](https://doi.org/10.1016/j.aci.2020.02.001).
29. Shailesh R.A. Regression Analysis of Cutting Forces in Machining - Impact of Cutting Conditions and Fluids. *Comadem Journal*, 2024, vol. 27, no. 1, pp. 31–39.
30. Nagaraj A., Uysal A., Gururaja S., Jawahir I.S. Analysis of surface integrity in drilling carbon fiber reinforced polymer composite material under various cooling/lubricating conditions. *Journal of Manufacturing Processes*, 2022, vol. 82, pp. 124–137. DOI: [10.1016/j.jmapro.2022.07.065](https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.07.065).
31. Arapoglu R.A., Sofuoglu M.A., Orak S. An ANN-Based Method to Predict Surface Roughness in Turning Operations. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2017, vol. 42, pp. 1929–1940. DOI: [10.1007/s13369-016-2385-y](https://doi.org/10.1007/s13369-016-2385-y).
32. Veeranaath V., Nandana Mohanty M., Kumar A., Kumar P. ANN modeling of the significance of constraints in turning superalloys using coated PCBN tools. *Materials Today: Proceedings*, 2022, vol. 65-1, pp. 20–28. DOI: [10.1016/j.matpr.2022.03.559](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.559).
33. Agari S.R. Wear and surface characteristics on tool performance with CVD coating of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiCN inserts during machining of Inconel 718 alloys. *Archive of Mechanical Engineering*, 2022, vol. 69, no. 1, pp. 59–75.
34. Prasad K., Chakraborty S. A decision-making model for non-traditional machining processes selection. *Decision Science Letters*, 2014, vol. 3, pp. 467–478. DOI: [10.5267/j.dsl.2014.7.002](https://doi.org/10.5267/j.dsl.2014.7.002).

## Surface finish and cutting efficiency in gingelly oil during machining: regression analysis

© 2024

**Shailesh Rao A.**, PhD, Professor, Department of Mechanical Engineering  
NITTE Meenkshi Institute of Technology, Bangalore (India)

E-mail: [shailesh.rao@nmit.ac.in](mailto:shailesh.rao@nmit.ac.in)ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6190-9857>

Received 31.08.2023

Accepted 19.02.2024

**Abstract:** This study evaluates the use of gingelly oil as an eco-friendly cutting fluid for the turning operation. Experiments were conducted to determine the effect of nose radius, and rake angle on tool wear, surface formation, and cutting force. In addition, different lubrication techniques, such as cutting fluids and bio-oils, were investigated to determine their potential for minimising friction, heat generation, and tool wear during machining. In comparison to dry cutting, and conventional petroleum-based lubricants, the results demonstrate that gingelly oil consistently produces smoother surface finishes, and reduces cutting forces. The relationships between cutting parameters, and surface finish were analysed using statistical modelling, with *R*-square and *p*-values used to quantify correlations and predictor significance. The findings highlight the viability of gingelly oil as a cutting fluid and the significance of optimising process parameters for increased machining efficiency.

**Keywords:** cutting efficiency in gingelly; mechanical processing in gingelly oil; cutting fluid; sustainable machining; surface finish; tool wear; rake angle; nose radius.

**For citation:** Shailesh Rao A. Surface finish and cutting efficiency in gingelly oil during machining: regression analysis. *Frontier Materials & Technologies*, 2024, no. 2, pp. 101–111. DOI: [10.18323/2782-4039-2024-2-68-9](https://doi.org/10.18323/2782-4039-2024-2-68-9).