

УДК 621.91.01

# Установление критерия предварительной приработки инструмента при фрезеровании нержавеющей стали\*

Э.Р. Ваниев, Э.Ш. Джемилев, И.Э. Теминдаров, В.В. Скакун

ГБОУ ВО Республики Крым «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»

## Establishment of the preliminary tool running-in criterion at the stainless steel milling

E.R. Vaniev, E.Sh. Dzhemilov, I.E. Temindarov, V.V. Skakun

Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov

Приведены результаты исследования по определению критерия предварительной приработки инструмента, обеспечивающей в автоматизированном производстве управление образованием вторичных упрочненных структур на контактных поверхностях в процессе резания с применением различных смазочно-охлаждающих технологических средств для достижения максимальной степени упрочнения. В результате исследований установлена корреляция между изменением прирабочной кривой износа и силой резания. Выявлено, что завершение образования упрочненных вторичных структур на контактных поверхностях фрезы сопровождается снижением составляющих силы резания и изменением наклона кривой износа. Показано, что механизм образования упрочненных слоев на поверхностях фрезы в среде касторового масла отличается от таковых в других смазочно-охлаждающих технологических средствах.

**EDN:** LLAEKE, <https://elibrary/llaeke>

**Ключевые слова:** критерий приработки, вторичные упрочненные структуры, смазочно-охлаждающие технологические средства, прирабочный износ, составляющая сила резания

The paper presents results of establishing the preliminary tool running-in criterion for each of the studied medium. Such running-in ensures control in automated production over formation of the secondary hardened structures on the contact surfaces during cutting with various lubricating and cooling technological substances to achieve the maximum hardening degree. The research results in establishing correlation between alteration in the running-in wear curve and the cutting force. The paper demonstrates that completion of the hardened secondary structures formation on the tool contact surfaces is accompanied by a decrease in the cutting force components and alteration in the wear curve slope. It shows that the mechanism of the hardened layers formation on tool surfaces in the castor oil medium differs from the other considered lubricating and cooling technological substances.

**EDN:** LLAEKE, <https://elibrary/llaeke>

**Keywords:** running-in criterion, secondary hardened structures, lubricating and cooling technological substances, running-in wear, cutting force component

\* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 24-12-20013).

Интенсификация процесса резания — одна из важнейших проблем машиностроения, решение которой связано с повышением работоспособности режущего инструмента, в частности его стойкости.

При резании труднообрабатываемых материалов, к которым относятся стали аустенитного класса, острота проблемы интенсификации процесса усиливается. Применение смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) относится к эффективным и наиболее доступным способам повышения работоспособности инструмента [1–5].

Исследованиями школы профессора Ф.Я. Якубова установлено, что использование СОТС в условиях непрерывного резания значительно усиливает эффект упрочнения контактных с обрабатываемым материалом поверхностей быстрорежущего инструмента [6–15].

Особое значение такой способ повышения интенсивности процесса резания приобретает в автоматизированном производстве, когда упрочнение инструмента резанием при приработке на менее жестких режимах по сравнению с нормативными представляет собой одно целое.

Вместе с тем для совмещения процесса упрочняющей приработки и дальнейшей эксплуатации инструмента необходимо знать критерии завершения упрочнения контактных слоев на его поверхностях, чтобы обеспечить его дальнейшую работу.

Вопросы интенсификации процесса резания с использованием СОТС посвящены работы многих исследователей [16–23].

Из теории резания [1–5] известно, что сначала при любом виде обработки (точении, сверлении, фрезеровании и др.) наблюдается интенсивный износ инструмента до определенного значения фаски износа по задней поверхности (далее фаска износа), после чего кривая износа меняет наклон.

Значение фаски износа, при котором изменяется наклон кривой износа, принимают за критерий приработки. Обычно в качестве этого критерия выступает фаска износа  $h_{з.пр} = 0,1$  мм, и приработка в этом случае осуществляется в режиме эксплуатации инструмента.

Цель работы — определение критерия приработки инструмента, обеспечивающей в автоматизированном производстве управление образованием вторичных упрочненных структур на контактных поверхностях в процессе реза-

ния с использованием различных СОТС для получения максимальной степени упрочнения.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- анализ состояния проблемы исследования приработочного износа при фрезеровании сталей аустенитного класса с применением различных СОТС;
- разработка методики экспериментальных исследований по определению критерия предварительной приработки;
- выдача рекомендаций по выбору режимов предварительной приработки инструмента для установления критерия приработки и по эффективному использованию различных СОТС, обеспечивающих повышение работоспособности быстрорежущего инструмента при фрезеровании сталей аустенитного класса.

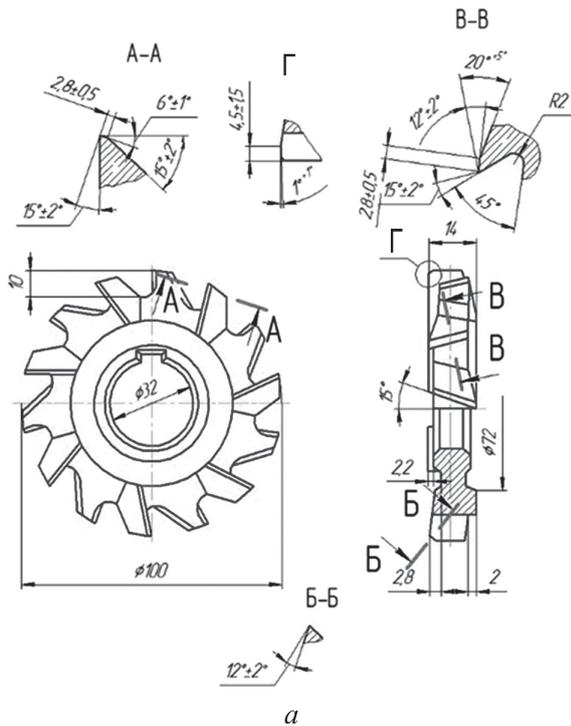
**Актуальность работы.** Данных о приработочном износе в среде различных СОТС недостаточно. Согласно исследованиям [6–9, 11, 13, 15], применение СОТС ведет к уменьшению площади контакта, а следовательно, к повышению уровня контактных давлений, что может в зависимости от используемой среды сопровождаться изменением значения приработочного износа.

В связи с этим при совмещении упрочняющей приработки и эксплуатационных режимов работы инструмента в условиях автоматизированного производства возникает задача определения значения приработочного износа  $h_{з.пр}$ , обеспечивающего упрочнение контактных слоев инструмента в среде различных СОТС.

**Изложение основного материала.** Критерий приработки определяли на основании экспериментальных испытаний для каждой из технологических сред.

Инструмент считали приработанным, когда кривая  $h_{з.пр} = f(L)$  изменяла наклон, где  $L$  — длина его пути. В процессе приработки наряду с изменением наклона этой кривой измеряли составляющие силы резания — горизонтальную  $P_h$ , вертикальную  $P_v$  и радиальную  $P_r$ .

В эксперименте использовали цельную дисковую трехстороннюю фрезу диаметром 100 мм с четырнадцатью разнонаправленными зубьями по ГОСТ 28527–90 из быстрорежущей стали Р6М5 одной партии (семь фрез). Обработку проводили двумя зубьями — первым и восьмым. Остальные зубья предварительно занижа-



б

Рис. 1. Конструктивная схема (а) и внешний вид (б) цельной дисковой трехсторонней фрезы

ли до диаметра 95 мм, чтоб более интенсивно нагрузить режущую кромку фрезы. Конструктивная схема (а) и внешний вид (б) фрезы приведены на рис. 1, а и б.

Согласно ГОСТ 5632–72, на заготовке из стали 12Х18Н10Т выполняли по семь уступов длиной 200 мм каждый, что соответствовало числу проходов (рис. 2). При выборе материала учитывали его востребованность в промышленности, особенность конструкционных свойств и сложность механической обработки. Сталь

12Х18Н10Т получила распространение в корпусах и других деталях, работающих под давлением при температуре  $-196...+600$  °С, а при наличии агрессивных сред до температуры  $+350$  °С.

В конце каждого прохода измеряли значения фаски износа и составляющие силы резания. На столе станка устанавливали микроскоп МБС-1 с ценой деления 0,007 мм (рис. 3), фотографировали переднюю поверхность зуба фрезы и измеряли фаску износа.

В среде каждой из СОТС проводили по четыре эксперимента с различными режимами упрочняющей приработки. По результатам экспериментов построили графики изменений горизонтальной составляющей силы резания  $P_h$  и фаски износа  $h_{з.пр}$  в процессе приработки в зависимости от пройденного пути инструмента после приработки.

Зависимости горизонтальной составляющей силы резания  $P_h$  и фаски износа  $h_{з.пр}$  от длины пути резания  $L$  при различных режимах упрочняющей приработки фрезы (скорости  $v_{пр}$ , глубине  $t$  резания и подаче на зуб  $S_z$ ) без СОТС

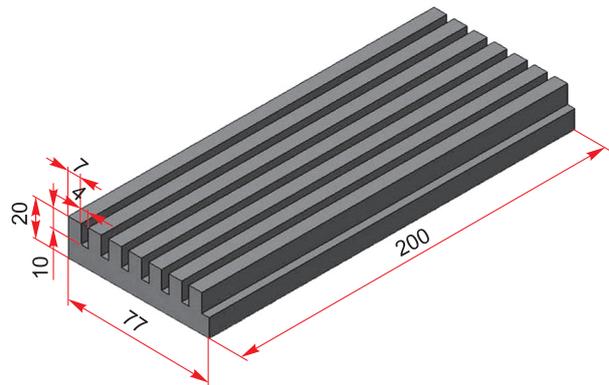


Рис. 2. Внешний вид заготовки из стали 12Х18Н10Т



Рис. 3. Фрагмент измерения фаски износа с помощью микроскопа МБС-1

(всухую) и в средах И-20А, МР-99, рапсового и касторового масел приведены на рис. 4–8.

Анализ изменения наклона фаски износа приработываемой фрезы после каждого прохода (измерения) и соответствующих значений составляющих сил резания показал, что они коррелируются между собой.

Установлено, что во всех случаях, кроме приработки зубьев фрез в среде касторового масла, увеличение фаски износа приработываемой фрезы происходит постепенно и сопровождается ростом горизонтальной составля-

ющей силы резания  $P_h$  до определенного значения, а затем ее снижением, которое показывает завершение образования вторичных упрочненных структур контактных слоев инструмента.

Такое изменение горизонтальной составляющей силы резания  $P_h$  можно объяснить тем, что одновременно происходит упрочнение контактных слоев фрезы и срезаемого слоя пластического материала, каковым является сталь 12Х18Н10Т. Поэтому при резании пластичного материала сначала наблюдается его пластиче-

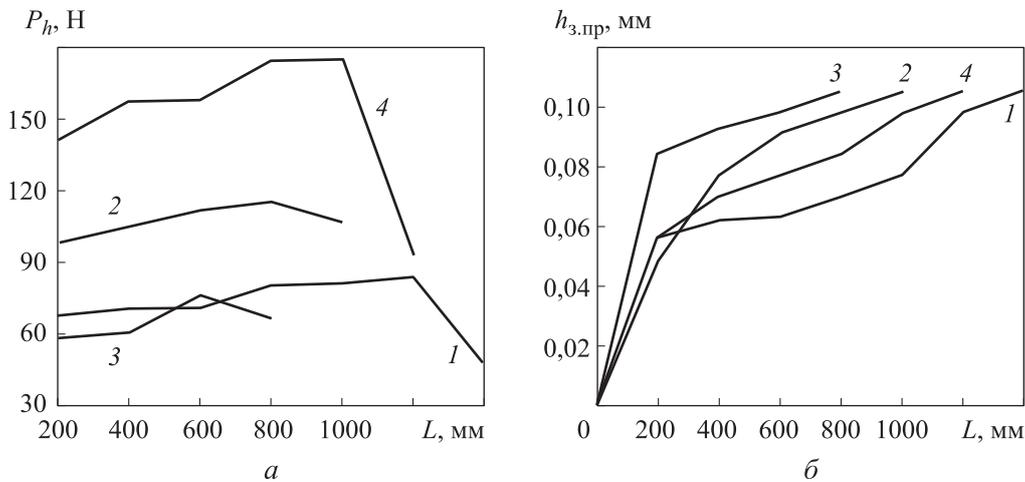


Рис. 4. Зависимости горизонтальной составляющей силы резания  $P_h$  (а) и фаски износа  $h_{3,пр}$  (б) от длины пути резания  $L$  при различных режимах упрочняющей приработки фрезы всухую:

- 1 —  $v_{пр} = 19,45$  м/мин,  $S_z = 0,15$  мм/зуб,  $t = 1,6$  мм;
- 2 —  $v_{пр} = 27,90$  м/мин,  $S_z = 0,30$  мм/зуб,  $t = 0,8$  мм;
- 3 —  $v_{пр} = 27,90$  м/мин,  $S_z = 0,30$  мм/зуб,  $t = 0,4$  мм;
- 4 —  $v_{пр} = 15,50$  м/мин,  $S_z = 0,10$  мм/зуб,  $t = 0,8$  мм

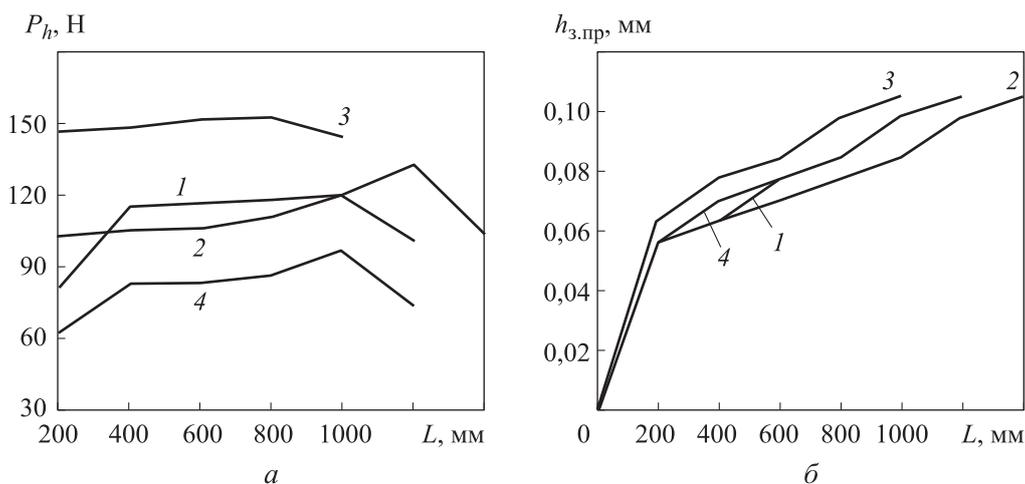


Рис. 5. Зависимости горизонтальной составляющей силы резания  $P_h$  (а) и фаски износа  $h_{3,пр}$  (б) от длины пути резания  $L$  при различных режимах упрочняющей приработки фрезы в среде И-20А:

- 1 —  $v_{пр} = 12,20$  м/мин,  $S_z = 0,30$  мм/зуб,  $t = 0,4$  мм;
- 2 —  $v_{пр} = 27,53$  м/мин,  $S_z = 0,30$  мм/зуб,  $t = 0,8$  мм;
- 3 —  $v_{пр} = 19,25$  м/мин,  $S_z = 0,10$  мм/зуб,  $t = 1,6$  мм;
- 4 —  $v_{пр} = 24,45$  м/мин,  $S_z = 0,30$  мм/зуб,  $t = 0,4$  мм

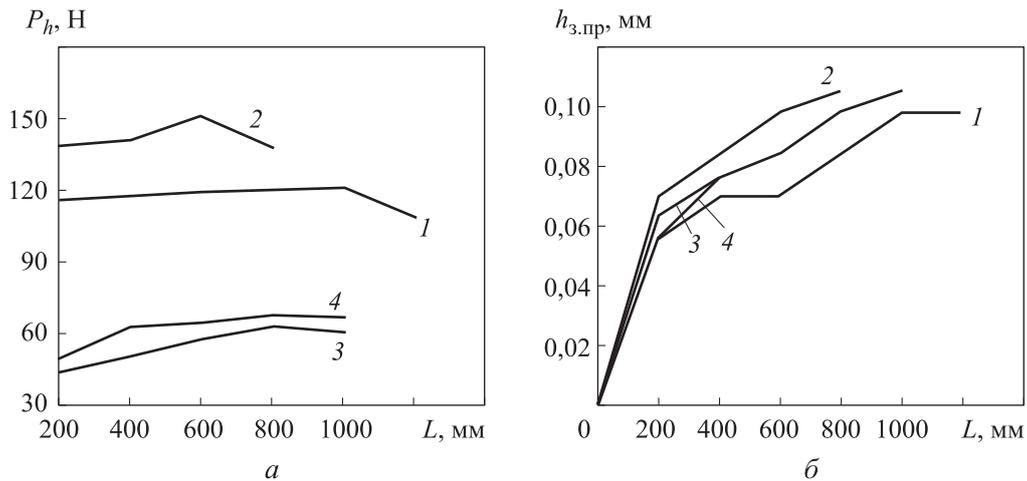


Рис. 6. Зависимости горизонтальной составляющей силы резания  $P_h$  (а) и фаски износа  $h_{3,пр}$  (б) от длины пути резания  $L$  при различных режимах упрочняющей приработки фрезы в среде МР-99:

- 1 —  $v_{пр} = 27,70$  м/мин,  $S_z = 0,20$  мм/зуб,  $t = 2,0$  мм;
- 2 —  $v_{пр} = 19,29$  м/мин,  $S_z = 0,30$  мм/зуб,  $t = 0,8$  мм;
- 3 —  $v_{пр} = 15,30$  м/мин,  $S_z = 0,10$  мм/зуб,  $t = 0,4$  мм;
- 4 —  $v_{пр} = 24,60$  м/мин,  $S_z = 0,25$  мм/зуб,  $t = 0,4$  мм

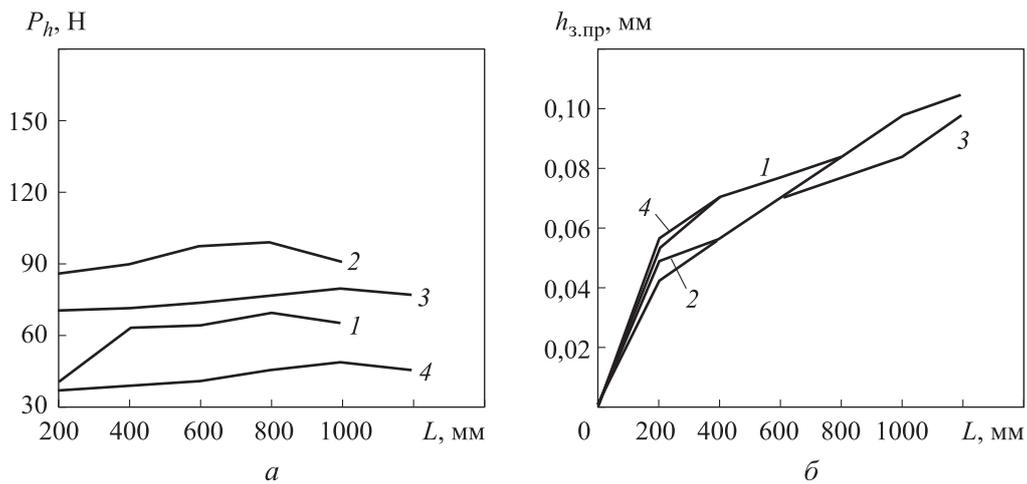


Рис. 7. Зависимости горизонтальной составляющей силы резания  $P_h$  (а) и фаски износа  $h_{3,пр}$  (б) от длины пути резания  $L$  при различных режимах упрочняющей приработки фрезы в среде рапсового масла:

- 1 —  $v_{пр} = 15,33$  м/мин,  $S_z = 0,30$  мм/зуб,  $t = 0,4$  мм;
- 2 —  $v_{пр} = 15,50$  м/мин,  $S_z = 0,10$  мм/зуб,  $t = 0,8$  мм;
- 3 —  $v_{пр} = 24,45$  м/мин,  $S_z = 0,15$  мм/зуб,  $t = 1,2$  мм;
- 4 —  $v_{пр} = 12,27$  м/мин,  $S_z = 0,20$  мм/зуб,  $t = 0,4$  мм

ское разрушение с постепенным упрочнением. При достижении определенного значения упрочнения срезаемый слой становится хрупким, происходит хрупкое разрушение, и сила резания снижается.

В этом случае за критерий приработки следует принимать значение фаски износа, после которого наблюдается снижение горизонтальной составляющей силы резания  $P_h$ .

Анализ количества измерений фаски износа и горизонтальной составляющей силы резания

во время приработки показывает, что время приработки зависит от режимов резания.

Установлено также, что в среде касторового масла приработка инструмента осуществляется быстрее, чем в других СОТС (рис. 8).

В среде касторового масла наблюдается периодическое уменьшение и увеличение горизонтальной составляющей силы резания, в то время как в остальных СОТС после падения  $P_h$  постоянно возрастает. Такая особенность упрочняющей приработки в среде касторового

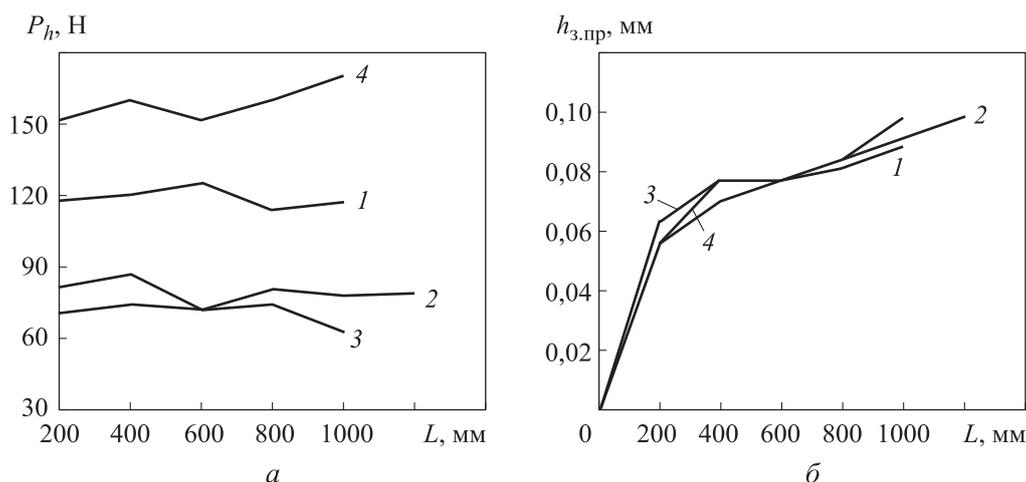


Рис. 8. Зависимости горизонтальной составляющей силы резания  $P_h$  (а) и фаски износа  $h_{3,пр}$  (б) от длины пути резания  $L$  при различных режимах упрочняющей приработки фрезы в среде касторового масла:

- 1 —  $v_{пр} = 24,75$  м/мин,  $S_z = 0,30$  мм/зуб,  $t = 1,2$  мм;  
 2 —  $v_{пр} = 19,35$  м/мин,  $S_z = 0,15$  мм/зуб,  $t = 0,8$  мм;  
 3 —  $v_{пр} = 15,47$  м/мин,  $S_z = 0,10$  мм/зуб,  $t = 0,8$  мм;  
 4 —  $v_{пр} = 24,65$  м/мин,  $S_z = 0,25$  мм/зуб,  $t = 1,6$  мм

масла позволяет утверждать, что механизм образования вторичных упрочненных структур отличается от такового в среде других СОТС. Причем первое наибольшее значение горизонтальной составляющей силы резания при последующем снижении соответствует изменению наклона кривой износа.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что изменение кривой износа не зависит от режимов приработки и определяется только технологической средой, где происходит процесс приработки.

В то же время для каждой из исследованных СОТС сила резания зависит от режимов приработки, которые определяют степень упрочнения контактных слоев.

Определив рекомендуемые режимы приработки, обеспечивающие необходимую стойкость фрезы по снижению составляющей силы резания, можно управлять процессом упрочняющей приработки, что приобретает особое значение в условиях автоматизированного производства, в частности, на станках с ЧПУ.

Таким образом, фреза считалась приработанной (в режимах  $v_{пр} = 15,50$  м/мин,  $S_z = 0,10$  мм/зуб,  $t = 0,8$  мм) при обработке всухую, в среде МР-99, И-20А ( $h_{3,пр} = 0,098...0,100$  мм) и рапсового масла ( $h_{3,пр} = 0,084$  мм). Фаска износа в среде касторового масла принята равной

$0,070...0,077$  мм, что соответствует первой ступени изменения наклона кривой.

## Выводы

1. В результате исследований обнаружена корреляция между изменением приработочной кривой износа и силой резания.

2. Впервые экспериментально выявлено, что при фрезеровании аустенитной стали 12Х18Н10Т степень упрочнения контактных поверхностей инструмента, определяемая критерием приработки (фаской износа), сопровождается уменьшением составляющих силы резания при приработке и зависит от режимов приработки в среде СОТС определенного вида.

3. Установлены критерии предварительной приработки для каждой из исследованных СОТС.

4. Показано, что механизм образования упрочненных слоев на поверхностях фрезы в среде касторового масла отличается от такового в других рассмотренных СОТС.

5. Дальнейшие исследования будут направлены на моделирование шероховатости поверхности при фрезеровании нержавеющей сталей с применением различных СОТС.

## Литература

- [1] Подураев В.Н. *Резание труднообрабатываемых материалов*. Москва, Высшая школа, 1974. 590 с.
- [2] Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. *Резание материалов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 447 с.
- [3] Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. *Теория резания*. Минск, Новое знание, 2006. 512 с.
- [4] Бобров В.Ф. *Основы теории резания металлов*. Москва, Машиностроение, 1975. 344 с.
- [5] Вульф А.М. *Резание металлов*. Ленинград, Машиностроение, 1973. 496 с.
- [6] Якубов Ф.Я., Ким В.А. *Структурно-энергетические аспекты упрочнения и повышения стойкости режущего инструмента*. Симферополь, Крымучпедгиз, 2005. 300 с.
- [7] Якубов Ч.Ф. *Повышение износостойкости быстрорежущих инструментов путем направленной трансформации их исходных свойств*. Дисс. ... канд. тех. наук. Запорожье, ЗМИ, 2004. 146 с.
- [8] Якубов Ч.Ф. *Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием*. Симферополь, СГТ, 2008. 156 с.
- [9] Ваниев Э.Р. *Упрочняющее действие СОТС при фрезеровании сталей аустенитного класса*. Дисс. ... канд. тех. наук. Тернополь, ТНТУ, 2014. 169 с.
- [10] Алиев А.И. *Повышение работоспособности сложнопрофильного режущего инструмента за счет применения технологических сред растительного происхождения*. Дисс. ... канд. тех. наук. Симферополь, КИПУ, 2011. 145 с.
- [11] Якубов Ф.Я., Якубов Ч.Ф., Скакун В.В. Экспериментальная оценка эффективности смазывающих технологических сред в периоде приработки металлорежущего инструмента. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2016, № 8–1, с. 246–253.
- [12] Аметов И.Э., Алиев А.И., Джемалидинов Р.М. Эволюция применения растительных масел в качестве смазочно-охлаждающих технологических средств при обработке металлов резанием. *Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета*, 2022, № 4, с. 220–225, doi: <https://doi.org/10.34771/UZCEPU.2022.78.4.044>
- [13] Каримов Ш.А., Ким В.А. Роль температурно-скоростного фактора в процессе приработки режущего инструмента. В: *Теплофизика технологических процессов*. Ташкент, ТашПИ, 1984, с. 74–75.
- [14] Ваниев Э.Р., Скакун В.В., Джемилев Э.Ш. и др. Повышение эффективности концевое фрезерования нержавеющей сталей применением модифицированной смазочно-охлаждающей технологической среды. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 7, с. 10–18, doi: <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-7-10-18>
- [15] Ваниев Э.Р., Скакун В.В., Джемалидинов Р.М. Повышение стойкости лезвийных инструментов с износостойким покрытием путем направленного действия СОТС в начальный период обработки. *Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета*, 2019, № 1, с. 245–251.
- [16] Энтеллис С.Г., Берлинер Э.М., ред. *Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием*. Москва, Машиностроение, 1995. 496 с.
- [17] Худобин Л.В., ред. *Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием*. Москва, Машиностроение, 2006. 543 с.
- [18] Клушин М.И., ред. *Технологические свойства новых СОЖ для обработки металлов резанием*. Москва, Машиностроение, 1979. 192 с.
- [19] Виноградов Д.В. *Основные виды смазочно-охлаждающих технологических средств, применяемых при резании металлов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 96 с.
- [20] Цыпкин Е.Н. *Повышение работоспособности инструмента из быстрорежущей стали в условиях прерывистого резания путем комбинированной активации СОТС*. Дисс. ... канд. тех. наук. Иваново, ИвГУ, 2004. 138 с.
- [21] Дмитриева Т.В., Сироватка Л.А., Бортницкий В.И. Композиции на основе рапсового масла и функциональных добавок. *Трение и износ*, 2001, т. 22, № 6, с. 693–698.
- [22] Худобин Л.В., Бердичевский Е.Г. *Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке*. Москва, Машиностроение, 1977. 189 с.

- [23] Виноградов Д.В. *Применение смазочно-охлаждающих технологических средств при резании металлов*. Ч. 1. *Функциональные действия*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 90 с.

## References

- [1] Poduraev V.N. *Rezanie trudnoobrabatyvaemykh materialov* [Cutting of hard-to-machine materials]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1974. 590 p. (In Russ.).
- [2] Vasin S.A., Vereshchaka A.S., Kushner B.C. *Rezanie materialov* [Cutting of materials]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2001. 447 p. (In Russ.).
- [3] Yashcheritsyn P.I., Feldshteyn E.E., Kornievich M.A. *Teoriya rezaniya* [Theory of cutting]. Minsk, Novoe znanie Publ., 2006. 512 p. (In Russ.).
- [4] Bobrov V.F. *Osnovy teorii rezaniya metallov* [Fundamentals of metal cutting theory]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975. 344 p. (In Russ.).
- [5] Vulf A.M. *Rezanie metallov* [Cutting of metals]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1973. 496 p. (In Russ.).
- [6] Yakubov F.Ya., Kim V.A. *Strukturno-energeticheskie aspekty uprochneniya i povysheniya stoykosti rezhushchego instrumenta* [Structural and energetic aspects of hardening and increasing the durability of cutting tools]. Simferopol, Krymuchpedgiz Publ., 2005. 300 p. (In Russ.).
- [7] Yakubov Ch.F. *Povyshenie iznosostoykosti bystrorezhushchikh instrumentov putem napravlennoy transformatsii ikh iskhodnykh svoystv*. Diss. kand. tekhn. nauk [Increase of wear resistance of high-speed cutting tools by directed transformation of their initial properties. Kand. tech. sci. diss.]. Zaporozhye, ZMI Publ., 2004. 146 p. (In Russ.).
- [8] Yakubov Ch.F. *Uprochnyayushchee deystvie SOTS pri obrabotke metallov rezaniem* [Strengthening action of SOTS at metal cutting treatment]. Simferopol, SGT Publ., 2008. 156 p. (In Russ.).
- [9] Vaniev E.R. *Uprochnyayushchee deystvie SOTS pri frezerovanii staley austenitnogo klassa*. Diss. kand. tekhn. nauk [Strengthening action of SOTS at milling of steels of austenitic class. Kand. tech. sci. diss.]. Ternopol, TNTU Publ., 2014. 169 p. (In Russ.).
- [10] Aliev A.I. *Povyshenie rabotosposobnosti slozhnoprofilnogo rezhushchego instrumenta za schet primeneniya tekhnologicheskikh sred rastitelnogo proiskhozhdeniya*. Diss. kand. tekhn. nauk [Increase of serviceability of complex-profile cutting tools through the use of technological media of vegetable origin. Kand. tech. sci. diss.]. Simferopol, KIPU Publ., 2011. 145 p. (In Russ.).
- [11] Yakubov F.Ya., Yakubov Ch.F., Skakun V.V. Experimental evaluation of lubricating fluids during the running of cutting tools. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of the Tula State University. Technical Sciences], 2016, no. 8–1, pp. 246–253. (In Russ.).
- [12] Ametov I.E., Aliev A.I., Dzhemalyadinov R.M. Evolution of the use of vegetable oils as lubricating and cooling technological means when processing cutting metals. *Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta* [Scientific Notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University], 2022, no. 4, pp. 220–225, doi: <https://doi.org/10.34771/UZCEPU.2022.78.4.044> (in Russ.).
- [13] Karimov Sh.A., Kim V.A. *Rol temperaturno-skorostnogo faktora v protsesse prirabotki rezhushchego instrumenta* [Role of temperature-velocity factor in the process of cutting tools running-in]. V: *Teplofizika tekhnologicheskikh protsessov* [In: Thermophysics of technological processes]. Tashkent, TashPI Publ., 1984, pp. 74–75. (In Russ.).
- [14] Vaniev E.R., Skakun V.V., Dzhemilov E.Sh. et al. Increasing the efficiency of milling stainless steels by using lubricating-cooling technological medium. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [BMSTU Journal of Mechanical Engineering], 2021, no. 7, pp. 10–18, doi: <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-7-10-18> (in Russ.).
- [15] Vaniev E.R., Skakun V.V., Dzhemalyadinov R.M. Improving the durability of blade tools with wear resistant coating through directed actions of sots in the initial treatment period. *Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta* [Scientific Notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University], 2019, no. 1, pp. 245–251. (In Russ.).

- [16] Entelis S.G., Berliner E.M., eds. *Smazochno-okhlazhdayushchie tekhnologicheskie sredstva dlya obrabotki metallov rezaniem* [Lubricating and cooling technological means for metal cutting machining]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1995. 496 p. (In Russ.).
- [17] Khudobin L.V., ed. *Smazochno-okhlazhdayushchie tekhnologicheskie sredstva i ikh primeneniye pri obrabotke rezaniem* [Lubricating and cooling technological means and their application at machining by cutting]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2006. 543 p. (In Russ.).
- [18] Klushin M.I., ed. *Tekhnologicheskie svoystva novykh SOZh dlya obrabotki metallov rezaniem* [Technological properties of new coolants for metal cutting processing.]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979. 192 p. (In Russ.).
- [19] Vinogradov D.V. *Osnovnye vidy smazochno-okhlazhdayushchikh tekhnologicheskikh sredstv, primenyaemykh pri rezanii metallov* [Basic types of lubricating and cooling technological means used in metal cutting]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2018. 96 p. (In Russ.).
- [20] Tsyppkin E.N. *Povysheniye rabotosposobnosti instrumenta iz bystrorezhushchey stali v usloviyakh preryvistogo rezaniya putem kombinirovannoy aktivatsii SOTS*. Diss. kand. tekhn. nauk [Increase of serviceability of the tool from high-speed steel in conditions of intermittent cutting by combined activation of SOTS. Kand. tech. sci. diss.]. Ivanovo, IvGU Publ., 2004. 138 p. (In Russ.).
- [21] Dmitrieva T.V., Sirovatka L.A., Bortnitskiy V.I. Compositions based on rapeseed oil and functional additives. *Trenie i iznos*, 2001, vol. 22, no. 6, pp. 693–698. (In Russ.).
- [22] Khudobin L.V., Berdichevskiy E.G. *Tekhnika primeneniya smazochno-okhlazhdayushchikh sredstv v metalloobrabotke* [Techniques for the use of coolants and lubricants in metalworking]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977. 189 p. (In Russ.).
- [23] Vinogradov D.V. *Primeneniye smazochno-okhlazhdayushchikh tekhnologicheskikh sredstv pri rezanii metallov*. Ch. 1. *Funktsionalnye deystviya* [Application of lubricating and cooling technological means in metal cutting. P. 1. Functional actions]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2013. 90 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 01.02.2024

## Информация об авторах

**ВАНИЕВ Эльдар Рустемович** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». ГБОУ ВО Республики Крым «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова» (295015, Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, пер. Учебный, д. 8, e-mail: eldar\_v@rambler.ru).

**ДЖЕМИЛОВ Эшреб Шефикович** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». ГБОУ ВО Республики Крым «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова» (295015, Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, пер. Учебный, д. 8, e-mail: eshreb@mail.ru).

**ТЕМИНДАРОВ Ильяс Эльвирович** — преподаватель кафедры «Технология машиностроения». ГБОУ ВО Республики Крым «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова» (295015, Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, пер. Учебный, д. 8, e-mail: temindarov23@gmail.com).

## Information about the authors

**VANIEV Eldar Rustemovich** — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology. State Budget Education Institution of Higher Education of the Republic of Crimea Crimean Engineering and Pedagogical University the name of Fevzi Yakubov (295015, Simferopol, Crimea, Russian Federation, Uchebnyy Pereulok, Bldg. 8, e-mail: eldar\_v@rambler.ru).

**DZHEMILOV Eshreb Shefikovich** — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology. State Budget Education Institution of Higher Education of the Republic of Crimea Crimean Engineering and Pedagogical University the name of Fevzi Yakubov (295015, Simferopol, Crimea, Russian Federation, Uchebnyy Pereulok, Bldg. 8, e-mail: eshreb@mail.ru).

**TEMINDAROV Ilyas Elvirovich** — Lecturer, Department of Mechanical Engineering Technology. State Budget Education Institution of Higher Education of the Republic of Crimea Crimean Engineering and Pedagogical University the name of Fevzi Yakubov (295015, Simferopol, Crimea, Russian Federation, Uchebnyy Pereulok, Bldg. 8, e-mail: temindarov23@gmail.com).

**СКАКУН Владимир Владимирович** — преподаватель кафедры «Технология машиностроения». ГБОУ ВО Республики Крым «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова» (295015, Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация, пер. Учебный, д. 8, e-mail: vladimir.skakun.92@list.ru).

**SKAKUN Vladimir Vladimirovich** — Lecturer, Department of Mechanical Engineering Technology. State Budget Education Institution of Higher Education of the Republic of Crimea Crimean Engineering and Pedagogical University the name of Fevzi Yakubov (295015, Simferopol, Crimea, Russian Federation, Uchebnyy Pereulok, Bldg. 8, e-mail: vladimir.skakun.92@list.ru).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Ваниев Э.Р., Джемилев Э.Ш., Теминдаров И.Э., Скакун В.В. Установление критерия предварительной приработки инструмента при фрезеровании нержавеющей стали. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 11, с. 35–44.

**Please cite this article in English as:**

Vaniev E.R., Dzhemilov E.Sh., Temindarov I.E., Skakun V.V. Establishment of the preliminary tool running-in criterion at the stainless steel milling. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2024, no. 11, pp. 35–44.



**Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
предлагает читателям учебное пособие**

**«Конструирование узлов и деталей машин»**

**Авторы: П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов**

Изложены основные принципы конструирования узлов и деталей машин, расчеты, позволяющие определить необходимые размеры узлов и деталей машин общемашиностроительного применения. Рекомендации по конструированию и монтажу сопровождаются анализом условий работы деталей в машинах. Рассмотрены современные лазерные приборы, разработанные фирмой SKF (Швеция), для точного измерения расцентровок валов соединяемых узлов в машинах и для выверки положения шкивов клиноременных передач. Описаны конструкция и методика подбора универсальной подводимой опоры, допускающей погрешности взаимного положения корпусов вдоль оси, нормальной к поверхности контакта и углового взаимного смещения соединяемых поверхностей. Приведены методические указания к выполнению чертежей типовых деталей машин и сборочных единиц, правила оформления учебной конструкторской документации. Представлены анализ результатов расчета передач на ЭВМ и рекомендации по выбору оптимального варианта для конструктивной проработки; учтены некоторые изменения в методиках расчетов передач, подшипников качения, конструирования корпусных деталей и др.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по машиностроительным направлениям подготовки специалистов, а также преподавателей и работников конструкторских бюро предприятий.

**По вопросам приобретения обращайтесь:**

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; <https://press.bmstu.ru>