

УДК 621.9

DOI: 10.34759/vst-2019-4-209-215

### ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ИЗНОСА ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК

Савельева Л.В.<sup>\*</sup>, Вендин И.О.<sup>\*\*</sup>

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., 5, Москва, 105005, Россия*

*\* e-mail: lsavelieva2007@gmail.com*

*\*\* e-mail: mr.grant025@mail.ru*

Статья поступила в редакцию: 12.10.2019

---

Проанализированы экспериментальные данные влияния различной скорости резания на интенсивность износа инструмента. Получена зависимость величины износа от величины нароста, от толщины срезаемого слоя и подачи. Проанализированы экспериментальные данные влияния глубины резания и температуры инструмента на интенсивность износа инструмента. Приведены рекомендации по выбору оптимальных режимов резания, при которых обеспечивается максимальный срок службы инструмента.

*Ключевые слова:* заготовка, механическая обработка, передняя поверхность, скорость резания, глубина резания, подача, скорость резания, температура.

---

#### Введение

Материалы, используемые в авиационной промышленности, характеризуются высокой прочностью, жёсткостью и малой массой. Работа с пластичными материалами отличается особенностями при взаимодействии стружки и режущего инструмента. Температуры в зоне резания, толщина срезаемого слоя, скорости резания влияют на физические и химические процессы в зоне контакта. Для авиационных материалов размерная стойкость инструмента, уменьшение его износа и сохранение покрытия на режущих пластинах важно с точки зрения увеличенного наростообразования

из-за пластичности материала заготовки. По сравнению с чугунами, бронзами интенсивность образования нароста и износа режущей кромки отличается в разы.

#### Явление износа инструмента по передней поверхности

При обработке заготовок изделий авиационной промышленности методами резания возникают проблемы, связанные с износом инструмента. Особенности такого износа должны учитываться при обработке пластичных материалов, таких как алюминиевые, магниевые и титановые сплавы, ис-

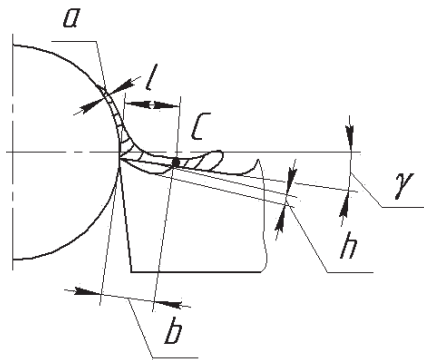


Рис. 1. Износ резца по передней поверхности:  $a$  — толщина срезаемого слоя;  $l$  — расстояние, на котором устанавливается наибольшее давление стружки и наибольшая температура;  $C$  — центр давления стружки;  $\gamma$  — передний угол;  $b$  — ширина лунки;  $h$  — глубина лунки

пользуемых в авиационной промышленности как основные материалы конструкции узлов деталей.

При этом наибольшее давление стружки и температура устанавливаются на некотором расстоянии  $l$  от режущей кромки (рис. 1), которое увеличивается с увеличением толщины  $a$  срезаемого слоя, скорости резания  $V$  и с уменьшением переднего угла  $\gamma$ .

В точке  $C$ , называемой центром давления стружки, начинается износ передней поверхности. Через некоторое время образуется небольшое углубление — лунка. Степень износа передней поверхности характеризуется глубиной  $h$  и шириной  $b$  лунки. По мере износа лунка увеличивается по глубине и ширине, и ее край приближается к режущей кромке. При этом увеличение ширины лунки в сторону режущей кромки происходит значительно медленнее, чем в противоположную сторону. После того как край лунки достигает режущей кромки, инструмент очень быстро тупится.

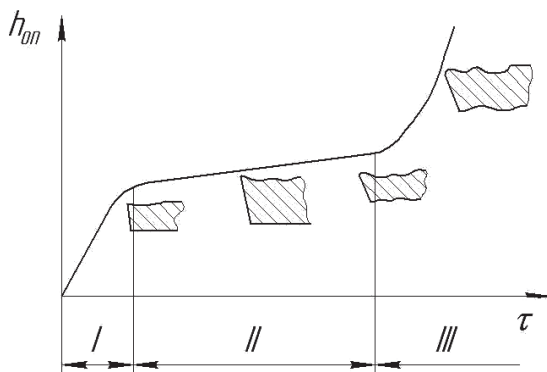


Рис. 2. Зависимость износа резца от продолжительности его работы:  $h_{оп}$  — износ резца;  $\tau$  — время работы инструмента; I — период начального износа; II — период нормального износа; III — период усиленного износа

Если измерять глубину лунки через равные промежутки времени и полученные результаты нанести на график, то получим кривую, характеризующую износ передней поверхности (рис. 2).

Вначале износ происходит быстро, и кривая на графике поднимается круто. Это так называемый период I начального износа. Затем наступает период II нормального износа, обычно он занимает 90—95% всего времени работы инструмента от заточки до заточки. После этого наступает очень кратковременный период усиленного износа III. Здесь за небольшой отрезок времени износ резко увеличивается.

### Влияние скорости резания на износ инструмента

При измерении износа инструмента при различных скоростях резания выявлено, что чем выше скорость резания, тем выше будет лежать кривая износа и тем круче будет ее подъем, что свидетельствует о более быстром износе инструмента (рис. 3).

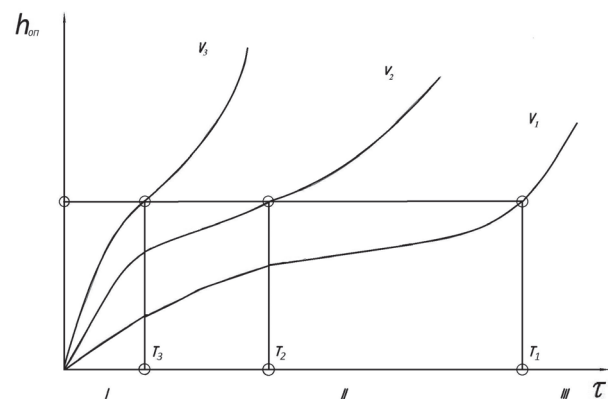


Рис. 3. Влияние скорости резания на интенсивность износа инструмента:  $V_1, V_2, V_3$  — скорости резания:  $V_1 < V_2 < V_3$ ;  $T_1, T_2, T_3$  — время окончания периода II нормального износа;  $h_{оп}$  — износ инструмента;  $\tau$  — время работы инструмента

### Влияние толщины срезаемого слоя и подачи на интенсивность износа инструмента

При обработке поверхностей образуется нарост. Когда толщина срезаемого слоя велика, то и нарост, соответственно, имеет большую высоту, а его вершина далеко выдается за режущую кромку, устраняя контакт задней поверхности с поверхностью резания и тем самым предохраняя эту поверхность от износа. Поэтому при таких условиях будет изнашиваться только передняя поверхность.

С уменьшением толщины срезаемого слоя высота нароста становится меньше, и, как показывает опыт, при глубине срезаемого слоя  $a < 0,5$  мм нарост уже не может надежно защищать заднюю поверхность

от износа. В результате происходит износ по задней и передней поверхностям одновременно.

При очень малой толщине среза ( $a < 0,1$  мм) нарост имеет очень незначительную высоту, а давление стружки концентрируется на поверхности закругления режущей кромки. Вследствие этого происходит износ только по одной задней поверхности.

Учитывая формулу, связь подачи и толщины среза  $a = S \sin \varphi$ , можно сделать вывод, что с увеличением подачи увеличивается толщина среза, а значит, и износ по передней поверхности.

**Влияние глубины резания на интенсивность износа инструмента**

По данным эксперимента [2] построены графики зависимости  $h_{оп}$  от  $t$ . Детали из нержавеющей стали 12Х18Н9Т одного и того же размера обрабатывались на одном и том же станке резцами из твердого сплава ВК6 с изменением подач и глубинами резания (рис. 4).

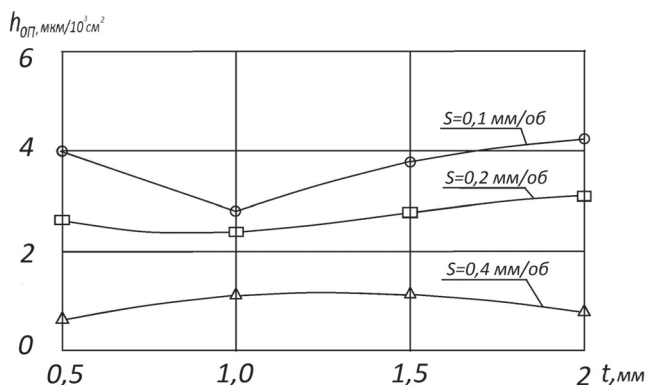


Рис. 4. Влияние глубины резания на интенсивность износа инструмента:  $S$  – подача;  $h_{оп}$  – износ инструмента;  $t$  – глубина резания

Из анализа полученного графика следует, что минимальный износ инструмента при различных подачах происходит при глубине резания  $t = 1$  мм при данных условиях работы. То есть имеется определенная глубина резания, при которой износ минимальный. Увеличение или уменьшение глубины резания приводит к увеличению износа.

**Зависимость износа инструмента от различных факторов резания**

При испытании резцов из твердого сплава [3] получены зависимости износа от изменения режимов резания (скорости резания, подачи, глубины резания). Результаты экспериментов представлены на рис. 5–7.

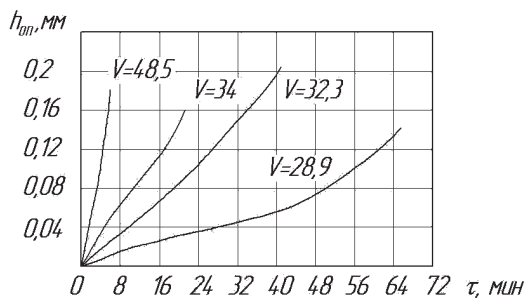


Рис. 5. Зависимость износа от скорости резания:  $h_{оп}$  – износ инструмента;  $\tau$  – время работы инструмента;  $V$  – скорость резания

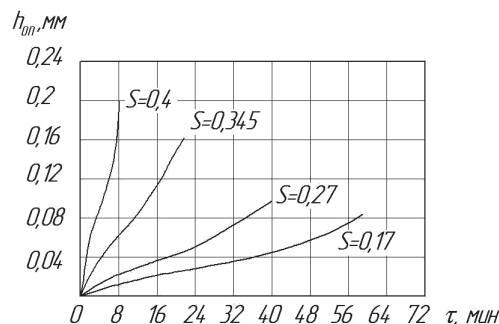


Рис. 6. Зависимость износа от подачи:  $h_{оп}$  – износ инструмента;  $\tau$  – время работы инструмента;  $S$  – подача

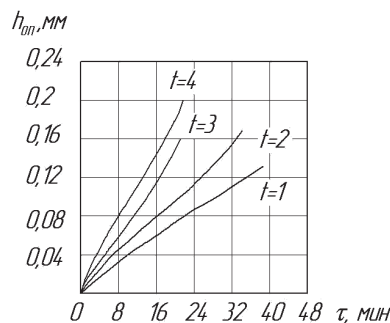


Рис. 7. Зависимость износа от глубины резания:  $h_{оп}$  – износ инструмента;  $\tau$  – время работы инструмента;  $t$  – глубина резания

На основе математической обработки опытного материала была выведена следующая зависимость износа (глубина лунки) от различных факторов резания:

$$h = C_e \tau^{0,6} V^{5,5} S^{3,1} t^{1,1},$$

- где  $h$  – глубина лунки, мм;
- $C_e$  – коэффициент;
- $\tau$  – время работы инструмента, мин;
- $V$  – скорость резания, м/мин;
- $S$  – подача на один оборот, мм/об;
- $t$  – глубина резания, мм.

Проведенные исследования показывают, что наибольший износ наблюдается при увеличении скорости резания.

### Влияние температуры инструмента на интенсивность износа инструмента

Скорость резания дает более резкое повышение температуры, чем увеличение толщины или ширины среза, следовательно, рост скорости сопровождается более сильным ускорением износа инструмента.

Проведен эксперимент. Детали из стали 10X20Н10МЗД3С5ТЛ одного и того же размера обрабатывались на одном и том же станке резцами из твердого сплава ВК4 с различной глубиной резания при различных температурах резания при подаче  $S = 0,11$  мм/об. Результаты эксперимента представлены на рис. 8.

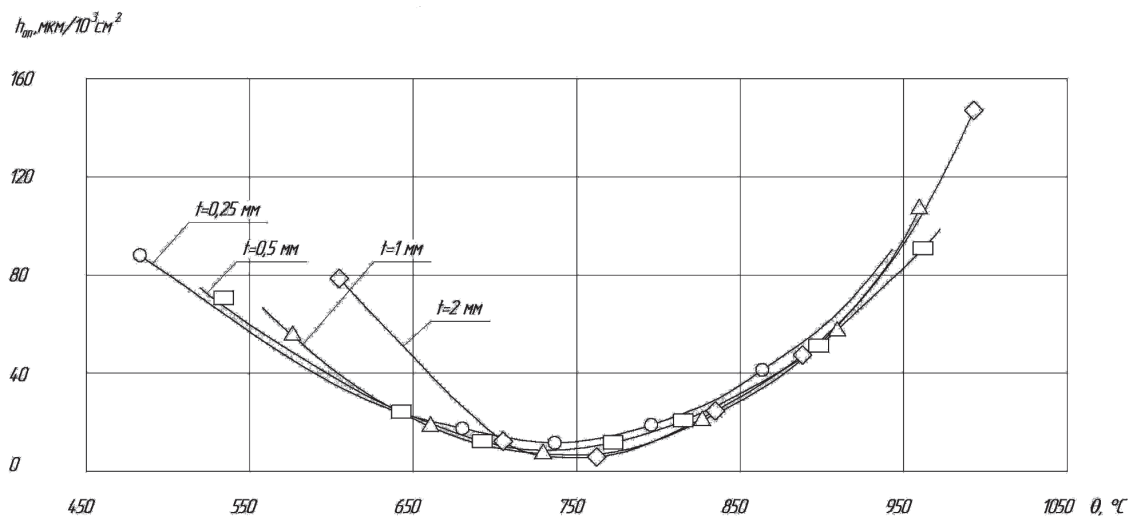


Рис. 8. Влияние температуры резания при точении с различной глубиной резания:  $t$  – глубина резания;  $h_{оп}$  – износ инструмента;  $\theta$  – температура резания

Стали и сплавы, обладая различными прочностными и пластическими свойствами, по-разному упрочняются при обработке на металлорежущих станках. Более пластичные и упрочняемые при деформации материалы, как правило, при обработке резанием имеют и больший наклеп (наклеп – повышение прочностных свойств и твердости металла при его пластическом деформировании). В случае рассматриваемого эксперимента при температурах 700–750°C и выше одновременно с упрочнением при деформации в поверхностном слое протекает и процесс разупрочнения (снятия наклепа), поэтому на рис. 5 мы видим, как поверхностный износ сначала уменьшается (происходит наклеп), затем увеличивается (начиная с температуры 750°C).

Анализируя полученный график, можно сделать вывод, что минимальный износ инструмента при различных подачах происходит при температуре  $\theta = 750$ °C мм при данных условиях работы. То

есть имеется определенная оптимальная температура резания, при которой износ минимальный. Увеличение или уменьшение температуры резания приводит к увеличению износа.

Для уменьшения вредного влияния высокой температуры на работу инструмента применяют смазывающе-охлаждающие жидкости.

### Выводы

Для пластичных металлов, используемых в авиационной промышленности, таких как алюминиевые сплавы, обработка резанием связана с износом передней поверхности инструмента.

Сформулированы следующие рекомендации и зависимости для обеспечения максимального сро-

ка службы инструмента: обрабатываемые нагрузки в течение определенного промежутка времени должны быть ниже, чем стойкость инструмента; при подборе режимов обработки необходимо учитывать зависимость всех параметров (глубина резания, подача и скорость), а также то, что стойкость инструмента зависит от скорости резания нелинейно (рис. 9).

Как показывают исследования, переломные точки в кривой износа обусловлены характером и степенью преобладающего износа, а также ха-

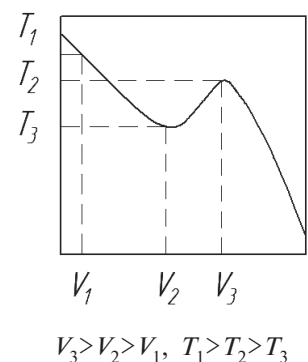


Рис. 9. Зависимость стойкости инструмента от скорости резания:  $T$  – стойкость инструмента;  $V$  – скорость резания

$$V_3 > V_2 > V_1, T_1 > T_2 > T_3$$

рактическими обрабатываемого материала. Сила резания не равнозначна механической нагрузке на инструмент. При расчете взаимного влияния параметров обработки необходимо принимать во внимание следующее:

— увеличение глубины резания удваивает силы резания, а также удваивает длину режущей кромки в разрезе. Это приводит к тому, что нагрузка остается неизменной на единицу длины режущей кромки;

— с ростом скорости подачи увеличивается сила резания, но не в линейной степени. Поскольку большая подача увеличивает толщину стружки, при неизменной длине режущей кромки нагрузки на нее сильно возрастают;

— с увеличением скорости резания сила резания в целом остается прежней, а потребляемая мощность возрастает;

— силы резания повышаются на более низких скоростях и снижаются на более высоких. Необходимо внимательно следить за наростом, который может указывать на неприемлемую скорость резания;

— слишком высокая скорость резки может снизить надежность процесса за счет формирования неконтролируемой стружки, экстремального износа инструмента и вибрации, которые могут повредить инструмент;

— с увеличением скорости резания скорость изменения износостойких характеристик инструмента сначала уменьшается, затем увеличивается и вновь снижается. Такая нелинейная связь объясняется изменением интенсивности налипания частиц трущихся поверхностей — адгезионного износа, а затем переходом адгезионного износа в диффузионный;

— более высокие подача и глубина резания в сочетании с низкими или средними скоростями резания предлагают наилучший потенциал для обеспечения безопасной и надежной обработки. Более высокие скорости резания, если глубина резания и подача достаточно низкие, чтобы ограничить силы резания, могут обеспечить наиболее высокую производительность.

Невозможно избежать износа инструмента полностью. Однако путем подбора оптимальных параметров обработки можно добиться максимальной продолжительности его работы и предсказуемости и как следствие экономической эффективности в целом.

Результаты исследования влияния режимов резания на износ инструмента сведены в таблицу.

#### Влияние режимов резания на износ инструмента

Параметр	Износ инструмента
Увеличение скорости резания $V$	Наибольшая интенсивность износа инструмента
Увеличение подачи $S$	Средняя интенсивность износа инструмента
Увеличение глубины резания $t$	Наименьшая интенсивность износа инструмента
Температура резания $\theta$	Для каждого материала имеется определенная температура резания, при которой износ инструмента минимален

#### Библиографический список

1. Родионов Е.М. Конспект лекций по курсу «Технологические основы конструирования деталей, обрабатываемых резанием». — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 28 с.
2. Ерохин В.В. Качество цилиндрических поверхностей при обработке в поводковых центрах // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2018. №1. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-09-13
3. Даниелян А.М. Теплота и износ инструментов в процессе резания металлов. — М.: Машгиз, 1954. — 276 с.
4. Албагачиева А.Ю., Преображенская Е.В., Краско А.С., Страпцова Е.С. Определение температурных изменений в зоне резания при высокоскоростном фрезеровании жаропрочных сплавов // Вестник машиностроения. 2018. № 9. С. 82-85.
5. Бубнов М.А., Тищенко Л.А., Ковалев А.А. Исследование процессов гидроабразивной резки и изнашивания режущего инструмента с помощью продуктов ANSYS // САПР и графика. 2014. № 6(212). С. 44-45. URL: <https://sapr.ru/article/24528>
6. Яковлева А.П. Исследование свойств поверхностного слоя стальных деталей, упрочненных электрохимической обработкой // Авиационная промышленность. 2012. № 2. С. 8.
7. Агамиров Л.В., Агамиров В.Л., Вестяк В.А. Алгоритм оценки параметров функции распределения предела выносливости при усталостных испытаниях // Вестник Московского авиационного института. 2013. Т. 20. № 5. С. 105-110.
8. Жук А.З., Илюхин А.С., Огорокова Н.С., Севрук С.Д., Фармаковская А.А. Исследование влияния технологии изготовления анодов воздушно-алюминиевых химических источников тока из сплава алюминий-индий на их энергетические и коррозионные характеристики // Вестник Московского авиационного института. 2013. Т. 20. № 2. С. 198-208.

9. Солошенко В.Н., Попов Ю.И. Концептуальное проектирование конструкции кессона крыла из композиционных материалов среднемагистрального самолета // Вестник Московского авиационного института. 2013. Т. 20. № 1. С. 16–30.
10. Климов В.Г., Никитин В.И., Никитин К.В., Жаткин С.С., Когтева А.В. Применение износостойких естественных композитов в технологии ремонта и модифицирования лопаток ротора газотурбинных двигателей // Вестник Московского авиационного института. 2019. Т. 26. № 1. С. 251–266.
11. Ковалев А.А., Коновалов Д.П. Моделирование тепловых деформаций заготовки, возникающих в процессе сверления в ней отверстий // Вестник Московского авиационного института. 2019. Т. 26. № 1. С. 201–211.
12. Ковалев А.А., Зинова В.В. Контроль состояния заготовки-инструмента в процессе резания с применением фильтра Калмана // Вестник Московского авиационного института. 2019. Т. 26. № 2. С. 193–204.
13. Бологов Д.В., Прокопенко А.В., Сутормин А.Ю., Фетисов Г.П. Финишное плазменное упрочнение инструмента, штампов и пресс-форм // Вестник Московского авиационного института. 2015. Т. 22. № 2. С. 115–120.
14. Игнацкая И.В. Граф взаимодействий как инструмент сопровождения программных систем // Вестник Московского авиационного института. 2011. Т. 18. № 1. С. 175–178.
15. Рогов В.А., Фомин Е.В., Фомин А.В. Исследование влияния режимов резания на стойкость режущего инструмента // Технология машиностроения. 2010. № 5. С. 15–17.
16. Морозов Н.А. Режимы резания и геометрия инструмента (конструкционные стали). — М.: ЦНИИТ-МАШ, 1954. Научно-техническая информация №108.
17. Воронцов А.Л. Разработка современной теории механической обработки металлов. Ч. 3. Определение кинематического и деформированного состояний обрабатываемой заготовки, нароста на резце и глубины упроченного слоя металла изделия // Производство проката. 2008. № 3. С. 1–10.
18. Попов А.Ю. Влияние режимов резания и геометрии режущего инструмента на шероховатость поверхности при токарной обработке. — М.: МИИТ, 2007. — 43 с.
19. Албагачиев А.Ю., Краско А.С., Страмцова Е.С. Оптимизация режимов резания при высокоскоростном точении жаропрочного сплава ХН77ТЮ // Вестник машиностроения. 2018. № 7. С. 75–78.
20. Тищенко Л.А., Ковалев А.А., Шашурин В.Д., Галиновский А.Л., Никитин А.О. Исследование износа соплового насадка и его влияния на производительность гидроабразивной резки // Технология металлов. 2018. № 1. С. 27–34.

## CUTTING CONDITIONS EFFECT ON TOOL FRONT SURFACE WEAR RATE WHILE WORKPIECES MACHINING

Savel'eva L.V.\* , Vendin I.O.\*\*

*Bauman Moscow State Technical University,  
BMSTU, 5, 2-nd Baumanskaya, Moscow, 105005, Russia*

\* e-mail: lsavelieva2007@gmail.com

\*\* e-mail: mr.grant025@mail.ru

### Abstract

The article tackles the issue of determining the degree of various cutting modes effect (cutting speed, cutting thickness, cutting width, feed, cutting depth, temperature, front angle, vibration) on the front surface wear of the cutting tool.

The authors describe the nature of cutting modes effect on the front surface wear of the tool, and suggest recommendations on optimal cutting modes, which ensure maximum life span of the tool.

The article consists of three main sections: introduction, the bulk section, conclusions.

The introduction considers causes of the tool wear. As a rule, cutting tools wear occurs under the impact of molecular adhesion forces of the treated metal

surface with the cutting tool, or under abrasive action of solid particles existed in the structure of the machined material.

The main section regards the tool wear process over the front surface. It analyzes an experimental dependence of the cutting speed impact on the tool wear intensity. As the result of the analysis conclusion was made that the wear increased with the cutting speed increase. According to professor A.M. Danielyan's studies, with the cutting speed, feed and cutting depth 20% increase the cutter surface wears out correspondingly 3.5, 1.7 and 1.05 times faster. This research data demonstrates that the largest effect may be achieved not by the cutting speed increase, but by

the cut width and thickness increase. The effect of the cut thickness and feed on the wear intensity of the cutting tool is analyzed. With large cut thickness (more than 0.5 mm), a misgrowth of significant height is formed, eliminating the contact of the rear surface with the cutting surface. Only the front surface of the tool thereby wears out. With the cut thickness reduction, the wear occurs on both back and front surfaces simultaneously. At very small cut thickness (less than 0.1 mm), the misgrowth is of rather insignificant height, and the wear occurs only on the back surface. With feed increase, the cut thickness increases either, and, thus, the wear on the front surface increases. The experimental dependence of the cut depth impact on the tool wear intensity is analyzed. As the result, the optimal cutting depth is determined, at which the front surface wear is minimal. The experimental dependence of the tool temperature influence on the tool wear intensity is analyzed. The optimal tool temperature, at which the wear of the front surface is minimal, is determined. The effect of the tool front angle and vibrations on tool wear is analyzed.

Recommendations on selection of optimal cutting modes, ensuring maximum tool life are presented in conclusions

**Keywords:** workpiece, machining, front surface, cutting speed, cutting depth, feed, cutting speed, temperature.

## References

1. Rodionov E.M. *Konspekt lektsii po kursu "Tekhnologicheskie osnovy konstruirovaniya detalei, obrabatyvaemykh rezaniem"* (Lecture notes on "Technological basics of designing parts processed by cutting" course), Moscow, Bauman MGTU, 2010, 28 p.
2. Erokhin V.V. Quality of cylindrical surfaces at processing in driver machine-tool adaptations. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, no. 1. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-09-13
3. Danielyan A.M. *Teplota i iznos instrumentov v protsesse rezaniya metallov* (Heat and wear of tools while metals cutting process), Moscow, Mashgiz, 1954, 276 p.
4. Albagachieva A.Yu., Preobrazhenskaya E.V., Krasko A.S., Stramtsova E.S. *Vestnik mashinostroeniya*, 2018, no. 9, pp. 82-85.
5. Bubnov M.A., Tishchenko L.A., Kovalev A.A. *SAPR i grafika*, 2014, no. 6(212), pp. 44-45. URL: <https://sapr.ru/article/24528>
6. Yakovleva A.P. *Aviatsionnaya promyshlennost'*, 2012, no. 2, p. 8.
7. Agamirov L.V., Agamirov V.L., Vestyak V.A. Development of an algorithm for estimation of the parameters of the distribution function of the limit of endurance at fatigue tests. *Aerospace MAI Journal*, 2013, vol. 20, no. 5, pp. 105-110.
8. Zhuk A.Z., Ilyukhin A.S., Okorokova N.S., Sevruk S.D., Farmakovskaya A.A. The research of the influence of the anode production technology for air-aluminium chemical current sources made of aluminium-indium alloys on their power and corrosive characteristics. *Aerospace MAI Journal*, 2013, vol. 20, no. 2, pp. 198-208.
9. Soloshenko V.N., Popov Yu.I. Conceptual design of composite wing box structures for a medium-range passenger airplane. *Aerospace MAI Journal*, 2013, vol. 20, no. 1, pp. 16-30.
10. Klimov V.G., Nikitin V.I., Nikitin K.V., Zhatkin S.S., Kogteva A.V. Wear-resistant composites application in repair and modification technology of the GTD rotor blades. *Aerospace MAI Journal*, 2019, vol. 26, no. 1, pp. 251-266.
11. Kovalev A.A., Konovalov D.P. Workpiece thermal deformations simulaiton occurring while holes drilling process. *Aerospace MAI Journal*, 2019, vol. 26, no. 1, pp. 201-211.
12. Kovalev A.A., Zinova V.V. A tool-blank state monitoring while cutting process using Kalman filter. *Aerospace MAI Journal*, 2019, vol. 26, no. 2, pp. 193-204.
13. Bologov D.V., Prokopenko A.V., Sutormin A.Yu., Fetisov G.P. Finishing plasma strengthening of tools, dies and molds. *Aerospace MAI Journal*, 2015, vol. 22, no. 2, pp. 115-120.
14. Ignatskaya I.V. Interaction Graph Software Modeling and Support Conception. *Aerospace MAI Journal*, 2011, vol. 18, no. 1, pp. 175-178.
15. Rogov V.A., Fomin E.V., Fomin A.V. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2010, no. 5, pp. 15-17.
16. Morozov N.A. *Rezhimy rezaniya i geometriya instrumenta /konstruktsionnye stali/* (Cutting conditions and tool geometry /structural steels/), Moscow, TsNIITMASH, 1954.
17. Vorontsov A.L. *Proizvodstvo prokata*, 2008, no. 3, pp. 1-10.
18. Popov A.Yu. *Vliyanie rezhimov rezaniya i geometrii rezhushchego instrumenta na sherokhovatost' poverkhnosti pri tokarnoi obrabotke* (Cutting conditions and cutting tool geometry effect on surface roughness while lathe machining), Moscow, MIIT, 2007, 43 p.
19. Albagachiev A.Yu., Krasko A.S., Stramtsova E.S. *Vestnik mashinostroeniya*, 2018, no. 7, pp. 75-78.
20. Tishchenko L.A., Kovalev A.A., Shashurin V.D., Galinovskii A.L., Nikitin A.O. *Tekhnologiya metallov*, 2018, no. 1, pp. 27-34.