

Выбор параметров технологических операций механической обработки на основе учета коэффициента вариации стойкости инструмента

06, июнь 2014

DOI: 10.7463/0614.0714287

Сгибнев А. В., Круглов П. В.

УДК 67.02, 67.05, 672.7

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

cm12@sm.bmstu.ru

kruglov@sm.bmstu.ru

Введение

Одним из показателей эффективности механической обработки является ее надежность. Рассеивание выходных параметров технологического процесса, которое оценивается коэффициентом вариации (Var), оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства изготавливаемых деталей, на их показатели надежности. В связи с этим сам технологический процесс должен быть надежным. Особую важность эта проблема приобретает в тех отраслях машиностроения, где непрерывный процесс совершенствования машин идет благодаря применению конструкционных материалов с особыми физико-механическими свойствами, имеющих низкую обрабатываемость традиционными методами механической обработки [1-4]. Обработка деталей из таких материалов как высокопрочные, жаропрочные, коррозионностойкие стали, вольфрам, молибден, титан и сплавы на их основе, сопровождается повышенным износом инструмента и рассеиванием его периода стойкости ($VarT$). От этих характеристик зависит точность обработки детали, качество поверхности, производительность и экономичность обработки, вероятность появления брака.

В связи с тем, что на надежность операции механической обработки влияет не только качество инструмента, но и всей технологической системы, в ряде работ исследуются надежность технологических систем [5-7]. Вместе с тем, надежность технологических операций механической обработки труднообрабатываемых материалов в этих работах не рассматривается.

Большое число работ посвящено анализу оценки стойкости инструмента по результатам изменения, улучшения одного из технологических факторов, влияющих на стой-

кость инструмента. В частности, оценки периода стойкости приводятся для новых инструментальных материалов или при улучшении их характеристик [8,9]. Однако результатов оценки рассеивания стойкости в зависимости от разных технологических режимов, и, особенно, для труднообрабатываемых материалов не приводится.

Для механической обработки труднообрабатываемых материалов в работе [10] приведены режимы механической обработки при нормативной стойкости. Вместе с тем, при выборе инструмента для обработки труднообрабатываемых материалов недостаточно сведений, характеризующих надежность технологической операции механической обработки, поскольку отсутствуют статистические характеристики при определении стойкости партии инструмента и нет оценок рассеивания стойкости инструмента.

В указанных выше работах не определяются показатели рассеивания периода стойкости инструмента, что не позволяет в условиях серийного и массового производства обеспечивать заданную надежность технологического процесса при обработке труднообрабатываемых материалов.

1. Цель работы.

Целью данной работы является анализ показателей надежности технологической системы при механической обработке труднообрабатываемых материалов.

Научная новизна данной работы заключается в получении количественных характеристик рассеивания периода стойкости инструмента при механической обработке некоторых труднообрабатываемых материалов.

Для достижения указанной цели была разработана стохастическая модель системы формообразования резанием, выявлены ключевые факторы, влияющие на надежность технологической операции механической обработки и проведены экспериментальные исследования влияния этих факторов на рассеивание периода стойкости инструмента применительно к некоторым труднообрабатываемым материалам.

2. Теоретическая часть.

Для определения основных факторов, влияющих на надежность технологических систем, кратко рассмотрим стохастическую модель системы формообразования резанием (рис.1) [11,12]. На стадии функционирования протекают процессы, характеризующиеся изменением внутренних связей в детали, инструменте и технологической среде F_v , возникают непосредственные F_n и опосредованные F_{op} связи, которые формируют общую связь функционирования F_u . В процессе функционирования входные параметры $(X_i)_{t=0}$ преобразуются в текущие параметры $(X_i)_t$ и затем, в выходные параметры $(X_i)_{t=T}$ технологической системы. На стадии функционирования под действием технологических факторов начальные параметры преобразуются и, поскольку и сами входные параметры и процессы имеют случайную составляющую, возможно появление отказов, как внезапных, так и постепенных, что в свою очередь приведет к функциональному или параметриче-

скому отказу. Надежность при этом будет описываться закономерностью $P(t)=Fu[(Xi)t=0, (Xi)t, Fв, Fн, Fоп, t]$.

В данной статье описываются результаты исследований, в которых анализируются влияние различных входных параметров технологической системы (обрабатываемый материал, инструментальный материал, технологическая среда), параметров функционирования (режимы обработки) на надежность технологической системы и, в частности, на рассеивание стойкости инструмента. В качестве критерия стойкости инструмента использовался износ по задней поверхности инструмента.

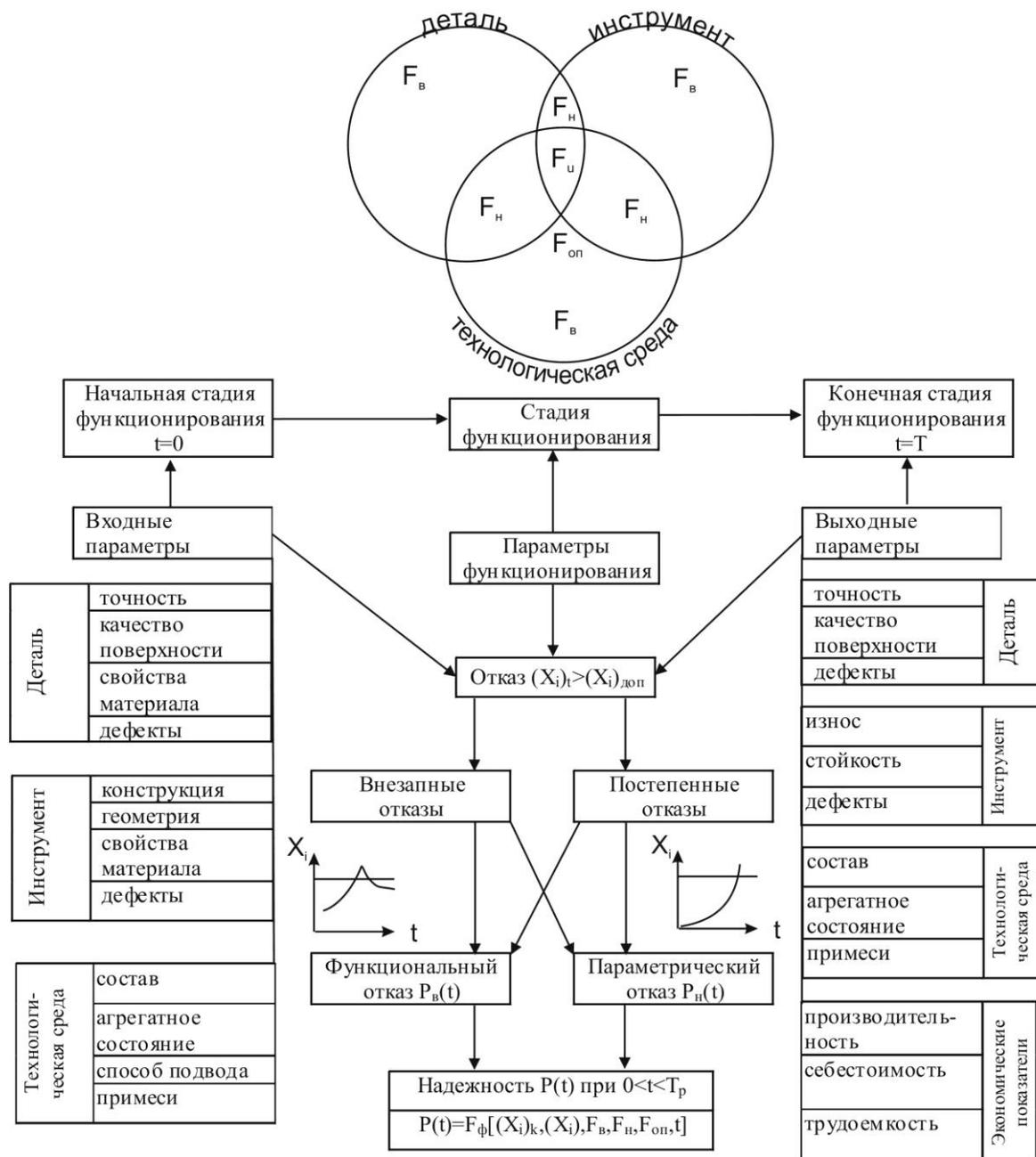


Рисунок 1. Стохастическая модель системы формообразования резанием

В соответствии с реализацией возможных связей данной подсистемы выделим в качестве объектов исследования следующие методы управления технологическими операциями: за счет выбора марки инструментального материала, технологической среды и режимов резания.

3. Экспериментальные исследования.

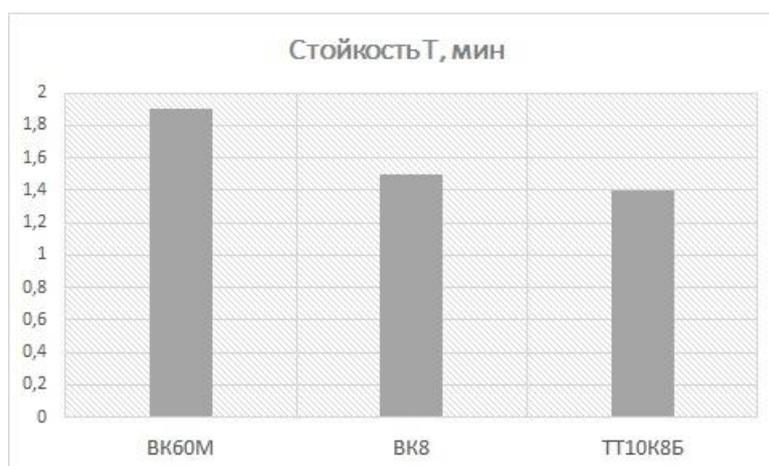
3.1. Влияние марки обрабатываемого материала.

Исследования проводились при наружном точении двух марок обрабатываемого материала: вольфрама ВГФ (рис.2) и жаропрочной стали Х25Н16Г7АР (рис.3). Точение осуществлялось проходными резцами, оснащенными твердосплавными пластинами ВК8. Геометрия инструмента была предварительно оптимизирована соответственно для каждого из обрабатываемых материалов. Обработка проводилась без применения искусственных технологических сред (в воздухе). Как следует из результатов эксперимента, на всех рассмотренных скоростях резания обработка вольфрама ВГФ характеризуется меньшим значением вариации (рис.2б, $VarT=0,09$), чем при обработке сложнолегированной стали Х25Н16Г7АР (рис.3б, $VarT=0,14$). Таким образом, стабильность механических свойств, что характерно для обрабатываемого материала ВГФ, является одним из условий стабильности выходных параметров обработки.

3.2. Влияние марки инструментального материала.

Результаты экспериментов по исследованию влияния данного фактора на выходные показатели токарной обработки показали, что за счет варьирования маркой инструментального материала можно значительно повысить эффективность технологической операции. Так, при точении вольфрама ВГФ переход с инструмента, оснащенного твердым сплавом ТТ10К8Б на твердый сплав ВК60М позволил при прочих равных условиях повысить стойкость инструмента в 1,4 раза (рис.2) и уменьшить коэффициент вариации.

Применение особомелкозернистого твердого сплава марки ВК60М стабилизирует процесс, что может быть объяснено тем, что данная структура материала имеет повышенную прочность на изгиб. Адгезионное схватывание, характерное для всех видов обработки вольфрамовых сплавов, вызывает повышение знакопеременной нагрузки на инструмент [13], а использование сплава ВК60М не только снижает общее количество адгезионных схватываний, но и повышает сопротивление материала усталостному разрушению.



а)



б)

Рис. 2. Влияние марки материала инструмента на показатели надежности при продольном точении сплава ВГФ: а) период стойкости T , мин; б) коэффициент вариации $varT$

Этим, в большей степени, и объясняется требование использовать при обработке вольфрамовых сплавов мелкозернистые инструментальные материалы. Влияние марки инструмента на коэффициент вариации не так очевидно. Если для быстрорежущего инструмента выбор рациональной марки приводит к снижению $VarT$, то для твердосплавного инструмента в некоторых случаях повышение периода стойкости может происходить при одновременном увеличении вариации $VarT$. В качестве такого примера можно привести наружное точение стали X25H16Г7AP, где переход с резцов, оснащенных твердым сплавом T15K6 на твердый сплав BK8 приводит к увеличению средней стойкости в 1,4 раза (рис. 3а) при одновременном увеличении $VarT$ с 0,12 до 0,14 (рис.3б). По всей видимости такой характер изменения связан с большой нестабильностью механических свойств партии твердосплавных пластин BK8 по сравнению с T15K6. Для проверки данного положения была отобрана партия резцов с уменьшенным разбросом механических свойств в количестве 110 шт. Результаты экспериментов по точению стали X18H10 данными инструментами показали, что при сохранении средней стойкости инструмента обработка инст-

рументами отобранной партии характеризуется уменьшением коэффициента вариации выходного параметра – стойкости.



а)



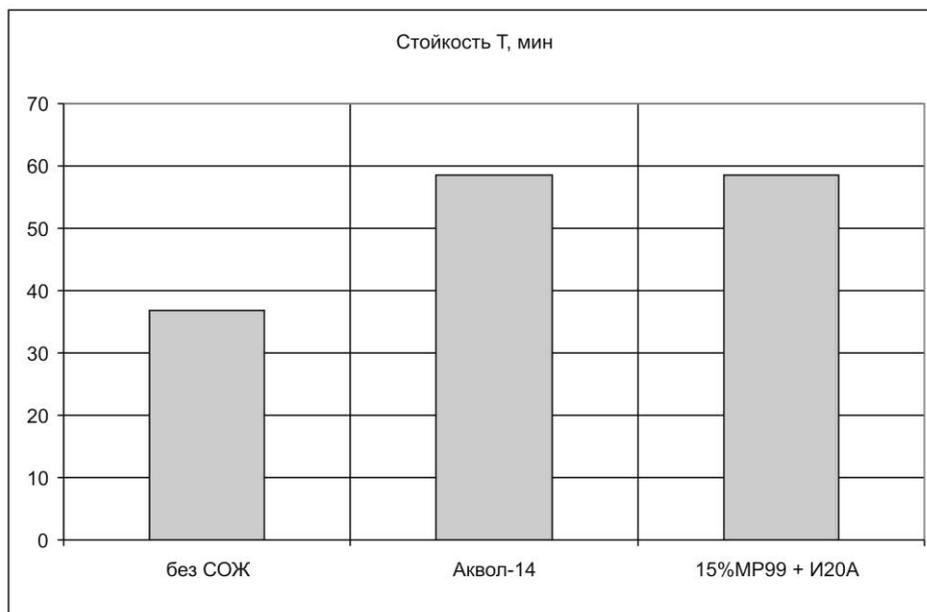
б)

Рис. 3. Влияние марки материала инструмента на показатели надежности при продольном наружном точении стали X25H16Г7AP: а) период стойкости T , мин; б) коэффициент вариации $varT$

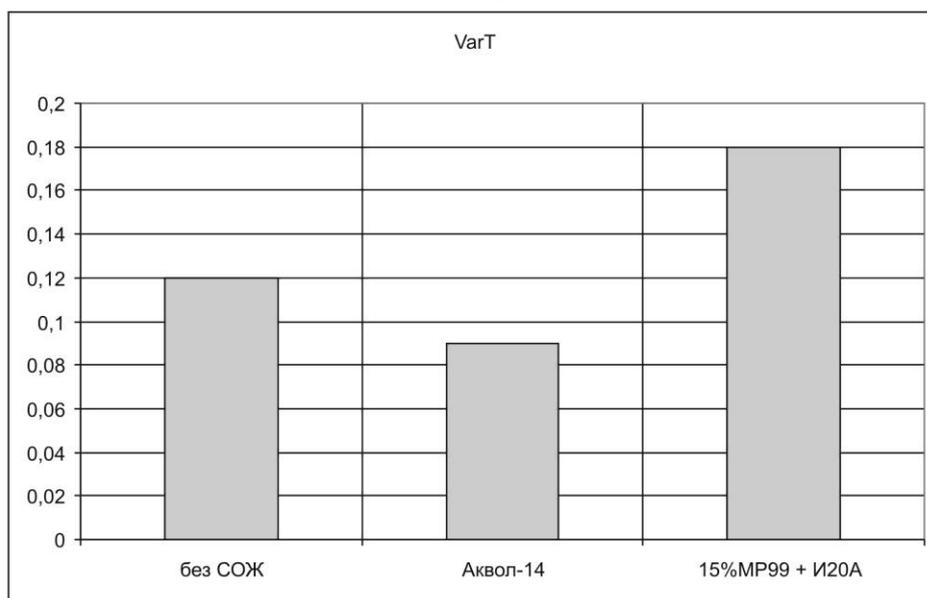
3.3. Влияние технологических сред

Как следует из анализа результатов проведенных экспериментов, использование газовых технологических сред (воздуха под давлением, азота, кислорода) приводит к однозначному результату – повышению стойкости. Применение рациональной газовой технологической среды приводит не только к повышению эффективности токарной обработки, но и к снижению коэффициента вариации по стойкости T , причем данная закономерность сохранялась во всем диапазоне режимов резания. Применение в качестве технологической среды сжатого воздуха способствует при точении стали X25H16Г7AP повышению времени наработки на отказ инструмента, причем максимальный эффект достигается при подводе технологической среды с минимальными газодинамическими потерями. В этом случае стойкость инструмента в 1,4 раза выше, чем при расположении соплового насадка на более близком расстоянии от режущей кромки, что подтверждается результатами физических экспериментов [11].

Влияние жидких технологических сред при механической обработке металлов не всегда однозначно. Так, например, при фрезеровании стали 45 быстрорежущими фрезами Р6М5 (рис. 4) применение в качестве технологической среды эмульсии Аквол-14 повышало стойкость инструмента с $T=36,8$ мин до $T=58,5$ мин и снижало $VarT$ с 0,12 до 0,09. В то же время, применение в этих же целях в качестве технологической среды композиции масел 15%MP99 + И20А приводило не только к повышению стойкости до $T=58,5$ мин, но и к повышению коэффициента вариации с $VarT=0,12$ до $VarT=0,18$.



а)



б)

Рис.4. Влияние технологических сред на стойкость инструмента T (а) и коэффициент вариации стойкости VarT (б) при фрезеровании стали 45

По всей видимости данные неоднозначных действий технологических сред на коэффициент вариации связаны с условием подвода среды к контактным площадкам инструмента. Действительно, проникающая способность технологической среды 15%МР99 + И20А гораздо ниже, чем у водной эмульсии Аквол-14. Поскольку данная особенность была замечена при обработке традиционного материала (сталь 45), при обработке труднообрабатываемых материалов возможно получение похожих результатов, но для подтверждения этого предположения применительно к труднообрабатываемым материалам необходимы более широкие исследования влияния жидких технологических сред на стойкость и параметры рассеивания стойкости инструмента.

3.4. Влияние режимов резания

В качестве переменного параметра была выбрана скорость резания. Как следует из результатов эксперимента, какая-либо общая закономерность изменения коэффициента вариации $VarT$ от скорости резания не выявлена. В некоторых случаях, как, например, при наружном точении вольфрама ВГФ, увеличение скорости резания с 10 до 60 м/мин приводит к уменьшению вариации. В других случаях, например, для стали X25H16Г7АР, с ростом скорости резания происходит и увеличение $VarT$.

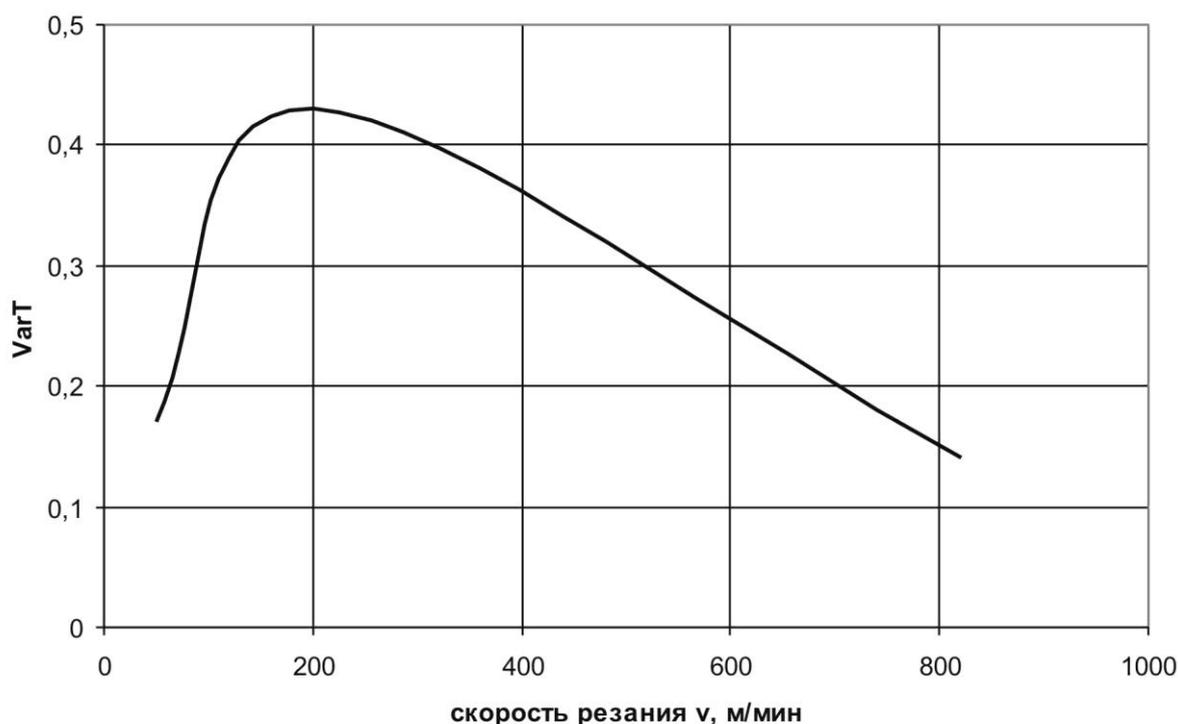


Рис. 5. Зависимость вариации $VarT$ от скорости резания при обработке сплава ИМР-2

Следует выделить результаты обработки деформируемых сплавов ИМР-2 (рис.5), где с ростом скорости резания от 50 до 200 м/мин происходит сначала резкое повышение $VarT$ от 0,17 до 0,43, а затем снижение при скорости, равной 820 м/мин до $VarT=0,14$.

Этот эффект может объясняться уносом образующегося нароста на передней поверхности резца при высоких скоростях.

На основании приведенных выше данных можно предположить, что природа коэффициента вариации по всей видимости двойственна. С одной стороны, разброс выходных параметров обработки связан с нестабильностью характеристик элементов определяющей подсистемы, а именно инструмента, технологической среды, а также режимов обработки. Другая причина более глубокая и по всей видимости более значимая. Это – стабильность протекания физико-химических процессов. В качестве доминирующего очевидно можно выделить адгезионные процессы в зоне резания. Именно с этими процессами связано и импульсное разрушение адгезионной связи, что может приводить к колебаниям технологической подсистемы и, следовательно, к колебаниям ее выходных параметров [13].

В дополнительных экспериментах замечено совпадение между изменением коэффициента вариации $VarT$ и импульсной составляющей трения, полученного на модельной установке машины-трения, что косвенно свидетельствует в пользу проявления именно адгезионных связей в качестве основного фактора, влияющего на стабильность процесса механической обработки.

Заключение

1. Проведенный анализ результатов механической обработки деталей из труднообрабатываемых материалов показал, что на период стойкости инструмента T и его коэффициент вариации $varT$ наибольшее влияние оказывают материал инструмента и технологическая среда.

2. Материалы сложной структуры показывают более высокую нестабильность периода стойкости $varT$ даже при высокой средней стойкости T .

3. Повышение скорости резания приводит к снижению коэффициента вариации стойкости $varT$ после определенного значения, что вызвано образованием нароста.

Полученные результаты показывают, что при выборе марки инструмента, технологической среды и других параметров технологической системы при механической обработке труднообрабатываемых материалов следует учитывать не только стойкость инструмента T (среднее значение), но и рассеивание стойкости $varT$. Дальнейшие исследования в данной области особенно актуальны для серийного производства.

Список литературы

1. Янюшкин А.С., Якимов С.А., Лосев Е.Д., Петров Н.П. Подготовка режущего инструмента для гибких автоматизированных производств // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 2. С. 78-81.
2. Ярьсько С.И. Анализ стойкости и изнашивания твердосплавного инструмента после лазерной термообработки // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. Т. 3, № 1. С. 27-37.

3. Арзумян А.М. Комплексное исследование хрупкой прочности резцов и фрез из синтетора при обработке цветных металлов и сплавов // Известия вузов. Машиностроение. 2011. № 11. С. 61-67.
4. Кугультинов С.Д., Ковальчук А.К., Портнов И.И. Обработка резанием металлов, применяемых в ракетостроении. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 192 с.
5. Додонов В.В. Использование элементов теории массового обслуживания для анализа производительности и надежности автоматизированных станочных систем // Известия вузов. Машиностроение. 2011. № 12. С. 70-76.
6. Утенков В.М. Прогнозирование потери точности металлорежущих станков // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 5. DOI: [10.7463/0513.0574593](https://doi.org/10.7463/0513.0574593)
7. Утенков В. М. Математическое моделирование процесса изнашивания направляющих скольжения металлорежущих станков // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 4. DOI: [10.7463/0413.0574580](https://doi.org/10.7463/0413.0574580)
8. Потапенко А.О., Виноградов Д.В. Исследование режущих свойств инструментов из переработанного твердого сплава // Известия вузов. Машиностроение. 2013. № 1. С. 61-67.
9. Грубый С. В., Лапшин В. В. Исследование режущих свойств резцов из нитрида бора // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 6. DOI: [10.7463/0612.0423622](https://doi.org/10.7463/0612.0423622)
10. Гуревич Я.Л., Горохов М.В., Захаров В.И. и др. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: справочник / под ред. Я.Л. Гуревича. М.: Машиностроение, 1986. 240 с.
11. Сгибнев А.В., Шашурин В.Д. Надежность технологических систем. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 68 с.
12. Сгибнев А.В. К оценке надежности операции механической обработки // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 1994. № 2. С. 28-32.
13. Шустер Л.Ш. Адгезионное взаимодействие режущего инструмента с обрабатываемым материалом. М.: Машиностроение, 1988. 96 с.

Parameterization of mechanical process operations taking into consideration a coefficient of variation and tool life

06, June 2014

DOI: 10.7463/0614.0714287

A.S. Sgibnev, P.V. Kruglov

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

cm12@sm.bmstu.ru

kruglov@sm.bmstu.ru

This article describes the results of studies on methods for improving the reliability of mechanical process operations of hard-to-machine materials. In serial production hard-to-machine materials processing should be characterized by high reliability, in particular, low dispersion tool life.

The aim is to analyze the reliability of a part of the technological system, i.e. the tool for mechanical processing of hard-to-machine materials.

The paper analyzes the effect of various input parameters of the technological system (processed material, tool material, technological environment), operating parameters (processing modes) on the reliability of the technological system. A feature of this work is to obtain quantitative characteristics of reliability for processing just the hard-to-machine materials. It is an important problem-solving because of the high cost of both the materials and the tool.

For various tool, processed materials, and process operation conditions the experiments have been conducted, and, when machining, the tool life has been recorded, thus allowing to obtain the coefficient of variation for high production run of tool. Comparison of coefficients of variation resulted in offering the tool material, process environment, and operation conditions to improve the reliability of the technological system for the specific brands of corrosion resistant steels and alloys and tungsten.

It is shown that the tool material and technological environment have the biggest influence on the tool life period T and its coefficient of variation $\text{var}T$. It is noted that materials with a complicated composition have the higher life volatility as compared with the resistance simple alloys. It is shown that an increasing cutting speed is reduced after a certain value of the coefficient of variation due to entrainment outgrowth formed on the cutting edge of the tool.

The results obtained allow machining production engineers at the enterprises of serial manufacturing to reduce the tool wear and increase the reliability of the mechanical process operations of hard-to-machine materials.

Publications with keywords: [tool life](#), [process reliability](#), [machining difficult materials](#)
Publications with words: [tool life](#), [process reliability](#), [machining difficult materials](#)

References

1. Yanyushkin A.S., Yakimov S.A., Losev E.D., Petrov N.P. Research of a surface of a tungsten firm alloy polished with the combined method. *Sistemy. Metody. Tekhnologii = Systems. Methods. Technologies*, 2009, no. 2, pp. 78-81. (in Russian).
2. Yares'ko S.I. Wear and wear resistance analysis of hard alloy tools after laser treatment. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of RAS], 2001, vol. 3, no. 1, pp. 27-37. (in Russian).
3. Arzumanyan A.M. Complex investigation of brittle strength of cutting tools from synthecor when machining nonferrous metals and alloys. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2011, no. 11, pp. 61-67. (in Russian).
4. Kugul'tinov S.D., Koval'chuk A.K., Portnov I.I. *Obrabotka rezaniem metallov, primenyaemykh v raketostroenii* [Cutting metals used in rocket production]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2008. 192 p. (in Russian).
5. Dodonov V.V. Application of the queueing theory elements to analyze productivity and reliability of automated machine tool systems. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2011, no. 12, pp. 70-76. (in Russian).
6. Utenkov V.M. Prediction of loss of accuracy in machine tools. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2013, no. 5. DOI: [10.7463/0513.0574593](https://doi.org/10.7463/0513.0574593) (in Russian).
7. Utenkov V. M. Mathematical modeling of machine tools' guideway wear. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 4. DOI: [10.7463/0413.0574580](https://doi.org/10.7463/0413.0574580) (in Russian).
8. Potapenko A.O., Vinogradov D.V. Investigation of the cutting characteristics of tools made of recycled hard alloy. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2013, no. 1, pp. 61-67. (in Russian).

9. Grubiy S.V., Lapshin V.V. Research of cutting properties of boron nitride cutters. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2012, no. 6. DOI: [10.7463/0612.0423622](https://doi.org/10.7463/0612.0423622) (in Russian).
10. Gurevich Ya.L., Gorokhov M.V., Zakharov V.I., et al. *Rezhimy rezaniya trudnoobrabatyvaemykh materialov: spravochnik* [Cutting modes of difficult to machine materials: handbook]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986. 240 p. (in Russian).
11. Sgibnev A.V., Shashurin V.D. *Nadezhnost' tekhnologicheskikh system* [Reliability of technological systems]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2002. 68 p. (in Russian).
12. Sgibnev A.V. Reliability assessment of machining operation. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie = Herald of the Bauman MSTU. Ser. Mechanical Engineering*, 1994, no. 2, pp. 28-32. (in Russian).
13. Shuster L.Sh. *Adgezionnoe vzaimodeistvie rezhushchego instrumenta s obrabatyvaemym materialom* [Adhesive interaction of the cutting tool with the material being treated]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 96 p. (in Russian).