


УДК 621.941

Особенности проектирования технологического процесса попутного тангенциального точения

В.М. Скиба

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Design Features of Technological Process of Tangential Turning

V.M. SkibaBMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1 e-mail: skiba1939@mail.ru

i Рассмотрено применение метода попутного тангенциального точения (ПТТ), позволяющего повысить эффективность обработки резанием. При создании технологического процесса и инструмента для ПТТ использованы такие достоинства этого метода, как простота кинематической схемы, высокая жесткость и виброустойчивость несущей системы, дифференциация съема припуска, минимальные силы резания в конце цикла формообразования, высокая концентрация обработки, что позволяет изготавливать детали сложной конфигурации при одновременной черновой и чистовой обработке. В методике проектирования технологической системы учитывается взаимосвязь параметров станка, инструмента и режимов резания. Показаны особенности конструкции инструмента для обработки крупногабаритной детали, обеспечивающие сокращение времени обработки при высоком качестве обработанной поверхности.

Ключевые слова: проектирование, технологический процесс, тангенциальное точение, производительность обработки, инструментальная оснастка.

i Intensive cutting methods, enhanced tool design, and progressive technological processes based on multi-blade and multi-tool techniques such as tangential turning are used to improve the performance of machine tools through reducing the effective and auxiliary cutting time. The use of climb tangential turning makes it possible to increase cutting efficiency in several ways. When designing the technological process and tooling for the climb tangential cutting, the following advantages of the method are used: kinematic scheme simplicity, high rigidity and vibration resistance, differentiation of stock removal, minimal cutting force at the end of the cutting cycle, and high concentration of machining. These advantages allow manufacturing complex shape parts with simultaneous roughing and finishing. The correlation between the parameters of the machine tool, tooling and cutting modes is taken into account when designing a technological system using this method. The article highlights special features pertaining to tool design for machining large-size parts that guarantee shorter turning time while maintaining high quality of the machined surface.

Keywords: designing, technological process, tangential turning, turning efficiency, tooling.

Одним из главных направлений поиска новых решений в технологии машиностроения является совершенствование металлорежущих станков. Разрабатываемый технологический процесс должен быть прогрессивным и обеспечивать повышение производительности труда и качества изделий, сокращение трудовых и материальных затрат на его реализацию, соответствовать требованиям безопасности [1]. Прогрессивность технологического процесса обеспечивается предварительным проведением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, изучением опыта применения новых средств технологического оснащения.

Для повышения производительности обработки часто увеличивают объемы срезания припуска в единицу времени, например, на основе интенсификации режимов резания [2]. Увеличение скорости резания ограничивается физико-механическими свойствами инструментального материала, в то время как увеличение площади сечения срезаемого слоя допускается в более широких пределах [3]. Известен общий подход к выбору режущего инструмента и параметров режима резания для различных материалов с учетом стружкообразования, скорости резания, стойкости инструмента и его геометрии [1, 2]. Параметры технологического процесса выбирают с учетом свойств обрабатываемого и инструментального материалов, стойкости и прочности инструмента, геометрии режущего элемента, тепловыделения, стружкообразования, качества обработки, переменности припуска, возможностей станка [3].

Для повышения эффективности механической обработки весьма перспективным может считаться предложенный в МГТУ им. Н.Э. Баумана метод попутного тангенциального точения (ПТТ), на базе которого созданы оригинальные станки [4]. При их разработке проводились глубокие теоретические и экспериментальные исследования процесса резания и испытания вариантов конструкций и режимов обработки.

При ПТТ направление подачи инструмента совпадает в зоне резания с направлением вектора линейной скорости резания. Станки для ПТТ позволяют реализовать такие достоинства метода, как благоприятное сочетание изменения углов резания и толщины среза, простота кинематической схемы, высокая жесткость и виброустойчивость несущей системы, дифференциация припуска, концентрация обработки, и изготовлять детали сложной конфигурации. В процессе ПТТ переменность толщины и ширины срезаемого слоя, а также кинематических

углов резания приводит к непрерывному изменению величины и направления силы резания на одном режущем лезвии и, соответственно, к изменению составляющих силы резания и соотношения между ними. Режущее лезвие освобождается от нагрузки постепенно. В конце процесса резания формируется окончательный размер — диаметр обработанной поверхности, это происходит при минимальных нагрузках, следовательно, повышаются точность размера и стабильность точности в партии деталей. При рабочем ходе каждая режущая кромка взаимодействует с заготовкой только один раз. Важнейшим условием применения ПТТ является установление функциональной связи между параметрами режимов резания, конструкцией инструмента и станка.

Целью настоящей работы было определение и обоснование важнейших параметров технологического процесса ПТТ.

Специфическими особенностями ПТТ являются последовательность и содержание процедур проектирования элементов технологической системы, учитывающих влияние зависимости кинематики резания от параметров режимов обработки, конструкции станка и инструмента. Наиболее существенной особенностью является разделение припуска заготовки между резаками для реализации принципа многолезвийности при одновременной интенсификации обработки. Этапы разработки психологического процесса ПТТ включают установление и учет важнейших закономерностей, предварительное назначение параметров резания на основании опыта проектирования, экспериментальную проверку отдельных перспективных технических решений. При этом разделение припуска заготовки на участки и назначение последовательности их обработки — исходные моменты для конструирования и изготовления инструментальной оснастки.

При проектировании психологического процесса ПТТ необходимо учитывать основные ограничения по важнейшим параметрам технологической системы [3]: для скорости резания ограничениями являются стойкость инструмента, параметры привода главного движения; для максимальной толщины срезаемого слоя — прочность режущего лезвия; для скорости подачи — предельные значения толщины среза, кинематическая погрешность и параметры привода подачи; для ширины срезаемого слоя — динамическая неустойчивость станка, аperiodическая неустойчивость резания, параметры резцов; для площади срезаемого слоя — сила

резания и эффективная мощность резания; для максимального радиального размера припуска — максимальная трансформация углов резания, параметры резцов; для максимальной трансформации углов резания — минимальные значения переднего угла и угла заострения режущего лезвия; для силы резания — предельные нагрузки в приводах главного движения и подачи; для расстояния между режущими элементами — конструктивные параметры элементов их крепления и др.

При ПТТ обработка заготовки выполняется за один ход комплекта инструмента, который перемещается прямолинейно по касательной к заготовке (рис. 1). Для этого на станке располагается несущая конструкция с направляющими, по которым перемещается суппорт с многолезвийным инструментом. В конструкции привода суппорта следует предусмотреть беззазорность, поскольку длительная работоспособность резцов обеспечивается при совпадении вектора линейной скорости резания V и направления подачи S .

Целесообразно придерживаться такой последовательности обработки, которая обеспечивает комплектование резцовых блоков из одинаковых резцов. На общие размеры резцовых блоков влияют число резцов в них и расстояние между ними, которое зависит от поперечного сечения резцедержавок и размеров элементов для их крепления. На габариты резцедержавок в первую очередь влияют типораз-

мер выбранной твердосплавной пластинки и способ ее закрепления. Толщину пластинки выбирают с учетом прочности твердого сплава по максимальному сечению срезаемого слоя, т. е. в зависимости от режимов резания, которые, в свою очередь, зависят от схемы срезания припуска [5, 6].

Существуют и другие противоречивые взаимосвязи. Например, большой радиальный припуск на один торцевой резец позволяет уменьшить число требуемых режущих элементов, но при этом увеличивается путь резания при обработке одной заготовки. Это уменьшает число заготовок, которые можно обработать резцом за период стойкости, и требует более частой его смены. И наоборот, уменьшение припуска позволяет увеличить число готовых деталей, изготовленных за период стойкости резца, но увеличивает длину резцовых блоков и время рабочего хода. Более выгодный вариант можно выбрать, если использовать критерий оптимальности, в качестве которого на промежуточном этапе принимают время обработки.

Методика проектирования технологического процесса ПТТ применена при обработке сложного профиля крупногабаритного шкива из серого чугуна (рис. 2).

Общий припуск заготовки разделен на участки, которые подвергаются обработке определенными резцами согласно принятой последовательности. Номера участков на схеме соответствуют последовательности работы рез-

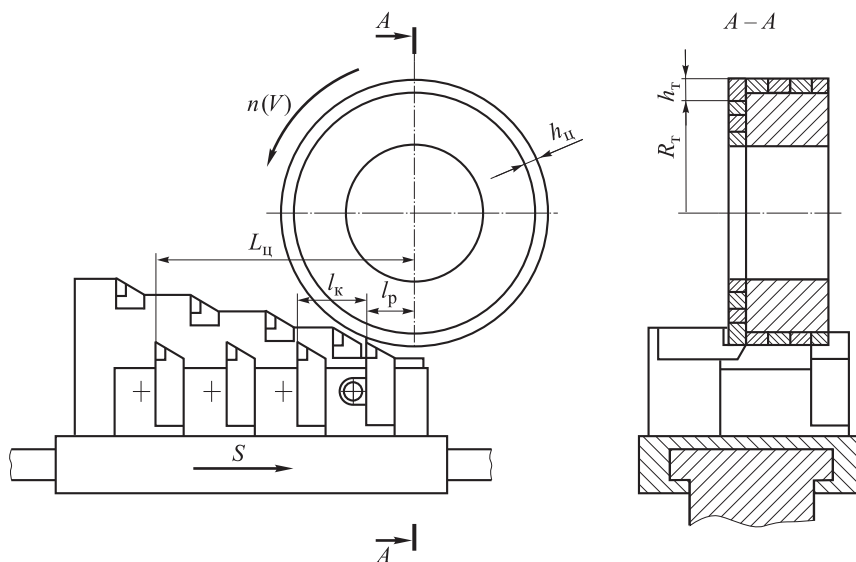


Рис. 1. Схема ПТТ наружной цилиндрической и торцевой поверхности с прямолинейной подачей инструмента:

n — частота вращения заготовки; $h_{ц}$ — радиальный параметр припуска; $L_{ц}$ — рабочий ход резцового блока для обработки цилиндрической поверхности; l_k — конструктивный шаг резца; l_p — рабочий ход резца; h_r — припуск по торцу; R_r — радиус, на котором находится припуск по торцу

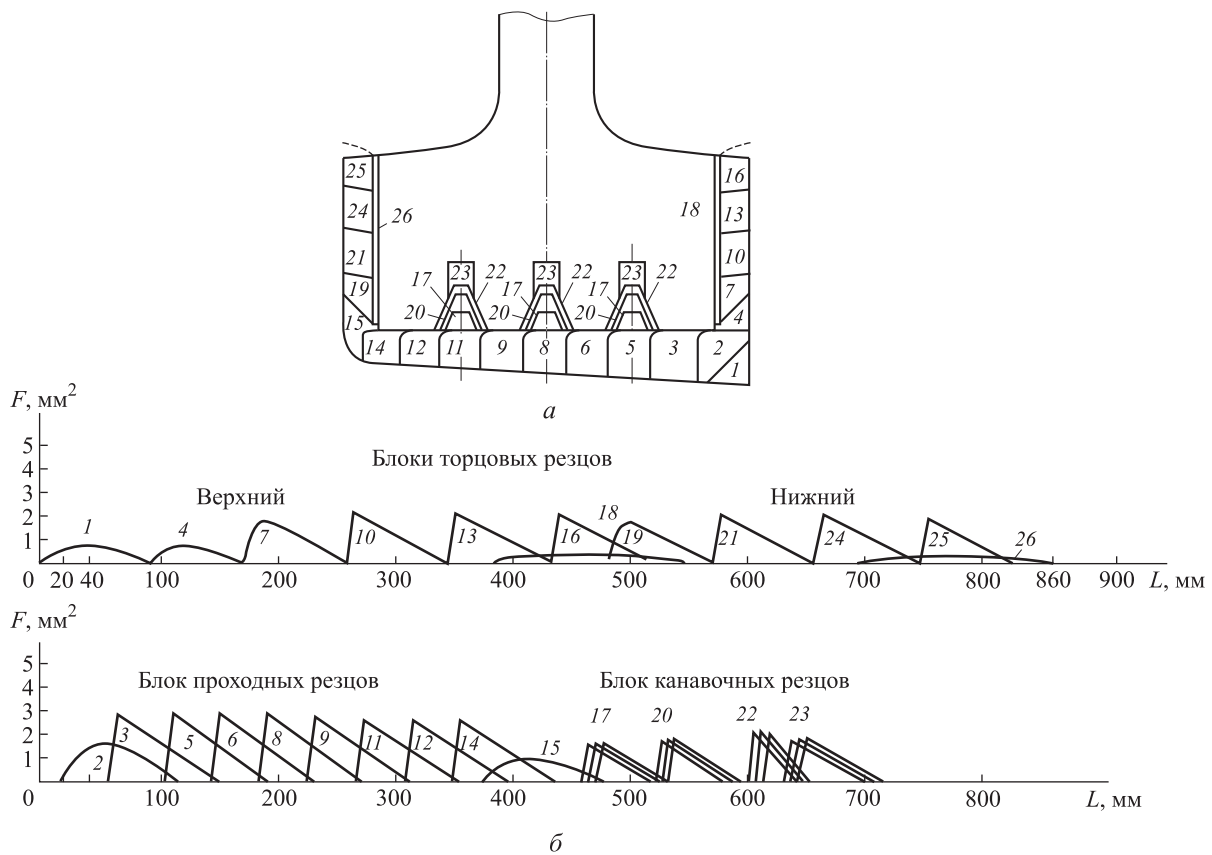


Рис. 2. Экспериментальный вариант схемы среза припуска (1–26 — участки припуска) обода шкива (а) и циклограммы работы резцов (б) (F — площадь сечения среза)

цов на циклограмме. Элементарные поверхности детали обрабатываются отдельными резцовыми блоками. Для чистовых резцов оставляют небольшой припуск, чем обеспечивается большая их стойкость.

По схеме среза припуска определяют параметры участков для расчета изменения углов резания, толщины и ширины срезаемого слоя, пути резания и составляют циклограмму работы резцов. На циклограмме для каждого резца в соответствии с его порядковым номером указывают начало и окончание процесса резания при рабочем ходе инструмента и площадь F сечения среза или силовую нагрузку. Это позволяет предварительно определить общую силовую нагрузку, интенсивность съема материала припуска и объем стружки, снимаемой в каждый момент времени.

При составлении схемы среза припуска учитывают допустимые значения изменения углов резания и максимальной толщины среза. При этом оптимальный выбор очередности работы резцов и резцовых блоков позволяет достичь максимальной загрузки станка. Для повышения производительности обработки вы-

годно выбирать шаг резцов как можно меньше и совмещать их работу в пределах одного или нескольких блоков. При этом необходимо учитывать ограничения по мощности привода станка, объему удаляемой стружки и возможные направления ее отвода. Рабочий ход одного резца l_p и рабочий ход резцового блока L для прямолинейной подачи определяют по формулам

$$l_p = \sqrt{h(2R+h)}; \quad L = l_k(n-1) + l_p.$$

Здесь h, R — радиальные параметры припуска; l_k — конструктивный шаг резцов; n — число резцов в резцовом блоке.

В рассматриваемом случае (см. рис. 2) допустимая нагрузка на станок не должна превышать суммарную площадь сечения среза $7,5 \dots 8 \text{ мм}^2$. Для соблюдения этого условия, как видно из циклограмм, совмещена работа многих резцов, что позволило обеспечить общую длину инструмента $700 \dots 800 \text{ мм}$. Для уменьшения мгновенной суммарной площади сечения среза в циклограмме предусмотрено рассредоточение пиков площади среза между отдельными блоками, что определяет взаимное расположение резцов в резцовых блоках и блоков на суппорте.

При проектировании инструмента для ПТТ нужно учитывать различные системы координат: кинематическую — при рассмотрении процесса резания, когда происходит контакт резца с заготовкой; инструментальную — для одиночных резцов; статическую — при установке резцов в резцовые блоки и последних на суппорте.

Для получения предварительных данных о режимах резания, характере стружкообразования, стойкости инструмента и силах резания необходимо проведение экспериментальных исследований по определенным методикам. Минимальное расстояние между соседними резцами определяют, учитывая условие надежного удаления стружки из зоны резания. При обработке чугуна образуется элементная стружка, которая хорошо отводится из зоны резания при шаге резцов не менее 40 мм. На удаление стружки существенно влияют направление геометрической оси шпинделя и расположение заготовки на станке.

В теории резания металлов важной задачей считается определение наиболее выгодных режимов обработки [5, 7]. Характерные для ПТТ короткие проходы и переменность площади сечения срезаемого слоя существенно увеличивают

долю переходных процессов в длительности цикла и снижают среднюю температуру резания. Это влияет на интенсивность изнашивания инструментов и, следовательно, на оптимальное значение скорости резания. Аналогичные положения были подтверждены экспериментально при определении оптимальных режимов для конкретных условий обработки [8].

Стойкостные испытания проводили для широкого диапазона скоростей резания V при максимальной толщине среза $a_{\max} = 0,2 \dots 1,0$ мм и ширине срезаемого слоя $b = 4 \dots 20$ мм для резцов, оснащенных пластинками из твердого сплава ВК8. Установлено, что режущие кромки резцов при ПТТ за период стойкости, принятый в базовом технологическом процессе, имели незначительный износ.

В конструкции инструментальной оснастки применяли одинаковые элементы резцовых блоков, что способствовало выполнению различных вариантов обработки. Инструментальная оснастка состояла из четырех блоков, которые были размещены на поступательно перемещающемся суппорте (рис. 3). Использовали пять типов мерных резцов: для обработки фасок, цилиндров, торцов, канавок прямо-

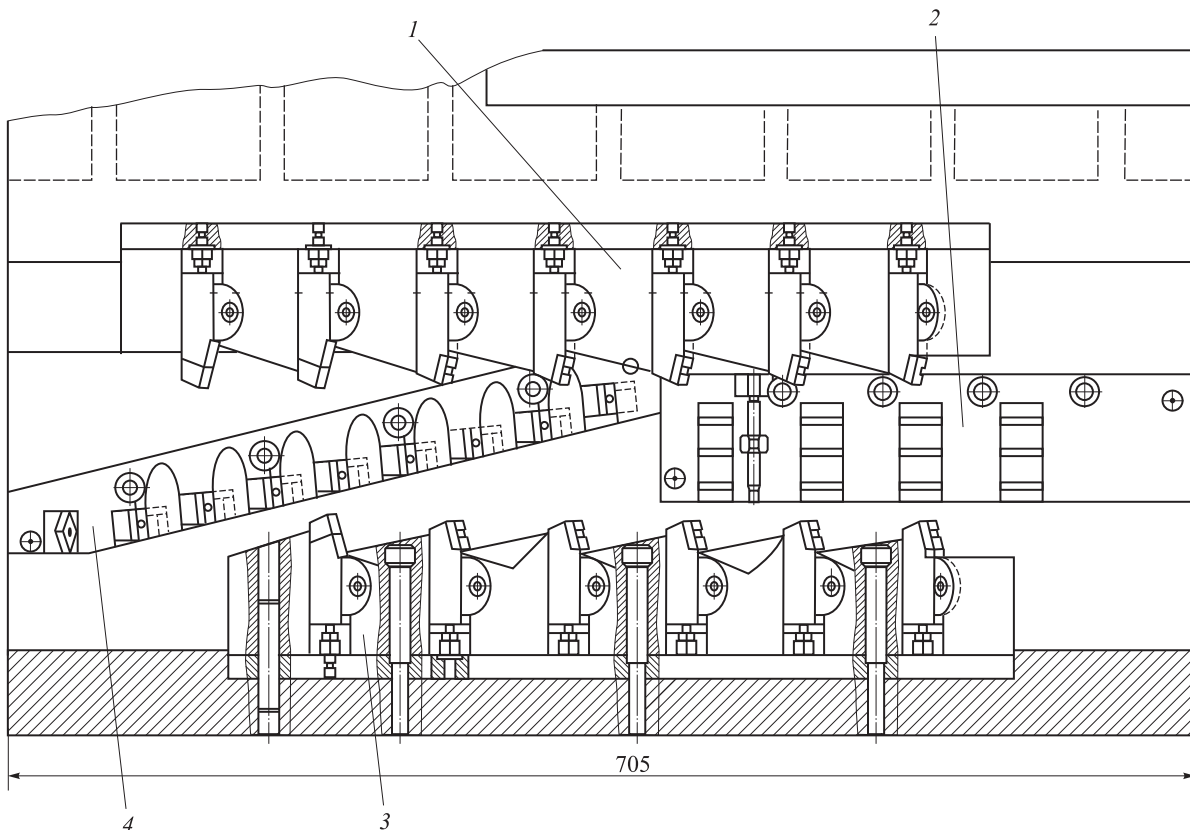


Рис. 3. Вариант конструкции инструмента для обработки обода шкива методом ПТТ:
1 — верхний блок торцовых резцов; 2 — блок канавочных резцов; 3 — нижний блок торцовых резцов;
4 — блок проходных резцов

угольного и трапецеидального сечения. Для фасок, цилиндров и торцов применяли сборные резцы с неперетачиваемыми твердосплавными пластинками. Канавочные резцы выполнены напайными.

Необходимая геометрия режущих кромок получена заточкой напайных резцов, наклоном сменных пластинок на резцедержателях и поворотом последних в резцедержателях. Реализация выбранной схемы срезания припуска обеспечивается благодаря расположению резцов в корпусах блоков, регулировке упоров, при этом не требуется дополнительной подналадки при смене резцов. Резцы в блоках крепятся клиньями с помощью дифференциальных винтов. Конструкция крепления выбрана по результатам экспериментальных проверок, надежна и обеспечивает быструю замену резцов.

Вследствие насыщенности рабочей зоны близко расположенными режущими элементами требуются меры по отводу большого объема стружки. Это особенно важно при работе черновых резцов, когда снимается основной припуск и необходимо обеспечить надежность инструмента, безопасность персонала и сохранность оборудования. На форму стружки при ПТТ влияет множество факторов. При разработке конструкции инструмента изучают взаимное расположение режущих элементов в рабочей зоне станка, особенности стружкообразования на каждом резце и оценивают возможность удаления стружки при работе всего инструмента. При проектировании технологического процесса ПТТ необходимо принятие оптимального решения на основе совместного рассмотрения работоспособности инструмента и его производительности. Для этого уже на этапе разработки схемы срезания припуска расчетом определяют близкие пути резания резцов. Это может обеспечить примерно равную стойкость режущих лезвий и возможность одновременной смены всего комплекта инструмента один–два раза в смену.

Разделение сложного припуска на небольшие участки по схеме его срезания позволяет получить короткую упорядоченную стружку, которая легко удаляется. Для охлаждения инструмента, смазки мест контакта режущих элементов с заготовкой и стружкой и удаления стружки применяют СОЖ. При этом с учетом конструктивных особенностей станка в инструменте предусматривают соответствующее оформление поверхностей резцовых блоков, соприкасающихся с потоками стружки в рабочей зоне.

Современная сменная пластина представляет собой сложное сочетание углов, плоскостей и

радиусов для оптимального стружкообразования в процессе резания. Современные режущие пластины определенной геометрии предназначена для конкретной рабочей области, определяемой подачей и глубиной резания [3, 7]. Система крепления пластины, являющаяся частью резцедержавки, должна обеспечивать стабильное положение режущей кромки в процессе обработки, беспрепятственный сход стружки, простоту и удобство использования и иметь продолжительный срок службы. Систему крепления пластины выбирают одновременно с выбором державки.

Продолжительность процедур проектирования сокращают, применяя компьютерные технологии [6], например геометрическое и математическое моделирование, анализ моделей процесса или его составляющих, а также выполняя параметрическую оптимизацию схемы срезания припуска, расчеты геометрических параметров резцов и др.

Результаты проектирования проверяют, проводя комплексные испытания всего инструментального комплекта на станке и анализируя закономерности изнашивания режущих кромок и изменения точности обработанных деталей. Это позволяет выбрать лучшее сочетание параметров и элементов технологической системы, а также обеспечить надежное стружкоудаление.

При внедрении новой технологии в цеховых условиях обработку осуществляли с использованием твердого сплава вольфрамкобальтовой группы при скорости резания $V = 90 \dots 115$ м/мин, подаче $S = 1,4 \dots 2$ мм/об, максимальной толщине среза $a_{\max} = 0,2 \dots 0,9$ мм. Наибольшая сила резания равнялась 9 200 Н. Обработанные поверхности детали соответствовали техническим требованиям: биение по цилиндру составило 0,04 мм, по торцу — 0,07 мм, разность глубин профиля канавок не более 0,03 мм, шероховатость $Rz = 2,5$ мкм.

Выводы

1. По обычной технологии заготовка обрабатывается за несколько проходов отдельными резцами, а по новой технологии — за один проход многолезвийного инструмента при сокращении основного времени обработки в 2 и более раз.

2. Обработка сложных поверхностей крупногабаритных деталей методом ПТТ позволяет повысить производительность оборудования при высоких показателях качества, увеличить мощность резания и облегчить условия труда, что соответствует требованиям решения проблем, связанных с модернизацией металлообработки [9].

Литература

- [1] Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Суслов А.Г., ред. *Справочник технолога-машиностроителя*. В 2 т. Т. 1. Москва, Машиностроение, 2001. 912 с.
- [2] Андреев В.Н., Боровский Г.В., Боровский В.Г., Григорьев С.Н. *Инструмент для высокопроизводительного и экологически чистого резания*. Москва, Машиностроение, 2010. 480 с.
- [3] Виноградов Д.В. *Высокопроизводительная обработка металлов резанием*. Москва, Полиграфия, 2003. 301 с.
- [4] Чернянский П.М., ред. *Проектирование автоматизированных станков и комплексов*. В 2 т. Т. 1. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 332 с.
- [5] Григорьев С.Н. *Методы повышения стойкости режущего инструмента*. Москва, Машиностроение, 2009. 368 с.
- [6] Быков В.В., Быков В.П. *Исследовательское проектирование в машиностроении*. Москва, Машиностроение, 2011. 256 с.
- [7] Грубый С.В. *Методы оптимизации режимных параметров лезвийной обработки*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 91 с.
- [8] Агапов С.И., Липатов А.А. Влияние длины прохода на износ инструмента и оптимальную скорость резания при точении аустенитной коррозионно-стойкой стали. *Технология машиностроения*, 2003, № 2, с. 8–9.
- [9] Сибикин М.Ю., Непомилуев В.В., Семенов А.Н., Тимофеев М.В. *Современное металлообрабатывающее оборудование*. Москва, Машиностроение, 2013. 308 с.

References

- [1] *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelia* [Directory technologist-machinist]. Ed. Dal'skii A.M., Kosilova A.G., Meshcheriakov R.K., Suslov A.G. In 2 vol., vol. 1. Moscow, Mashinostroenie publ., 2001. 912 p.
- [2] Andreev V.N., Borovskii G.V., Borovskii V.G., Grigor'ev S.N. *Instrument dlia vysokoproduktivnogo i ekologicheski chistogo rezaniia* [Tool for high and cleaner cutting]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2010. 480 p.
- [3] Vinogradov D.V. *Vysokoproduktivnaia obrabotka metallov rezaniem* [High metal cutting]. Moscow, Poligrafia publ., 2003. 301 p.
- [4] *Proektirovanie avtomatizirovannykh stankov i kompleksov* [Design of automated machines and systems]. In 2 vol. Vol. 1. Ed. Chernianskii P.M. Moscow, Bauman Press, 2014. 332 p.
- [5] Grigor'ev S.N. *Metody povysheniia stoikosti rezhushchego instrumenta* [Methods for increasing the resistance of the cutting tool]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2009. 368 p.
- [6] Bykov V.V., Bykov V.P. *Issledovatel'skoe prektirovanie v mashinostroenii* [Research design in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2011. 256 p.
- [7] Grubiy S.V. *Metody optimizatsii rezhimnykh parametrov lezviinoy obrabotki* [Methods of optimization of operating parameters of the processing blade]. Moscow, Bauman Press, 2008. 91 p.
- [8] Agapov S.I., Lipatov A.A. Vliianie dliny prokhoda na iznos instrumenta i optimal'nuiu skorost' rezaniia pri tochenii austenitnoi korrozionno-stoikoii stali [Effect of the length of the passage of tool wear and optimum cutting speed for turning austenitic corrosion-resistant steel]. *Tekhnologiya mashinostroeniia* [Engineering Technology]. 2003, no. 2, pp. 8–9.
- [9] Sibikin M.Iu., Nepomiluev V.V., Semenov A.N., Timofeev M.V. *Sovremennoe metallobratyvaiushchee oborudovanie* [The modern metal-working equipment]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2013. 308 p.

Статья поступила в редакцию 25.05.2015

Информация об авторе

СКИБА Виктор Мартынович (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: skiba1939@mail.ru).

Information about the author

SKIBA Viktor Martynovich (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Metal Cutting Machine Tools. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: skiba1939@mail.ru).