

УДК 621.762

doi: 10.18698/0536-1044-2023-8-78-86

Выбор материала и геометрических параметров расточного резца для обработки покрытий на основе никеля

Р.Дж. Баширов, Ф.Г. Амиров

Азербайджанский технический университет

Selecting material and geometrical parameters for a boring cutter used in machining the nickel-based coatings

R.J. Bashirov, F.G. Amirov

Azerbaijan Technical University

Разработка технологии механической обработки восстанавливаемых в ремонтном производстве деталей, включающая в себя выбор способа и режимов их обработки, режущего инструмента и др., является сложной задачей, решение которой определяет качество восстанавливаемых изделий. Качество механической обработки во многом зависит от обрабатываемости металла, под которой понимают способность материала подвергаться резанию. Рассмотрены особенности механической обработки втулок после восстановления изношенной внутренней поверхности, состоящей из черного, чистового и тонкого растачивания, а также операции хонингования. При механической обработке восстанавливаемых втулок наибольшую трудность представляют операции черного и чистового растачивания, так как после индукционного напекания с последующим раскатыванием твердость получаемых слоев находится в пределах HRC 48...55, что усложняет работу резцов при растачивании втулок. Для наплавки на детали, работающие в условиях изнашивания (коррозионного, эрозионного и термического), применяют порошок ПГ-СР2, имеющий систему легирования Ni-Cr-B-Si. Значительную волнистость и шероховатость поверхности, возникающую в результате наплавки, устраняют накатыванием. Одним из важных вопросов при обработке покрытий, нанесенных центробежным индукционным напеканием с последующим раскатыванием, является выбор материала и геометрических параметров режущего инструмента для черного и чистового растачивания. При правильном выборе материала и геометрических параметров расточного резца можно значительно уменьшить износ режущего инструмента, что позволит увеличить его стойкость и производительность обработки, а следовательно, снизить себестоимость изготовления детали. Исследовано влияние технологических параметров на износ и геометрических параметров на стойкость режущего инструмента с целью оптимизации условий растачивания восстановленных цилиндров судовых двигателей.

Ключевые слова: механическая обработка, центробежное индукционное напекание, материал режущего инструмента, радиальный износ резца, геометрические параметры резца, путь резания

Design and development of a technology for machining the parts to be restored in the repair industry includes selection of their machining method and modes, cutting tools, etc., and is a complex task, which solution determines the restored product quality. Machining quality

largely depends on the metal machinability, which is understood as the material ability to be cut. The paper considers features of a bush machining after restoration of the worn inner surface, this operation consists of black, clean and fine boring, as well as of honing. Operations of black and clean boring are the most difficult in machining the restored bushes. This happens because hardness of the resulting layers is in the range of HRC 48...55 after induction sintering with subsequent rolling, which complicates the cutters operation in bush boring. The PG-SR2 powder having the Ni-Cr-B-Si alloying system is used in the built-up welding of parts working under wear, corrosion, erosion and elevated temperature conditions. Rolling is eliminating significant waviness and surface roughness resulting from sintering. One of the important issues in machining the coatings applied by centrifugal induction sintering is selection of the cutting tool material for black and clean boring.

Keywords: machining, centrifugal induction sintering, cutting tool material, cutter radial wear, cutter geometrical parameters, cutting path

Механическая обработка является завершающей операцией по нанесению покрытий на изделие. Проблема механической обработки связана с особенностями микроструктуры, появлением возможных дефектов, сложным химическим составом и характерной высокой твердостью.

Наличие большого количества легирующих добавок и мелкодисперсных упрочняющих фаз вызывает упругие деформации и заметное упрочнение покрытий при резании. Это ускоряет износ режущего инструмента (РИ), механические свойства которого соизмеримы с таковыми для покрытий [1–3]. Низкая теплопроводность металла покрытий также осложняет процесс резания.

В связи с этим обработку ведут на режимах, параметры которых значительно ниже общепринятых, т. е. с заниженной производительностью даже по сравнению с легированными сталями аналогичной твердости. При этом используют точение, шлифование, фрезерование, сверление и др. Важно, чтобы изделие с покрытием при обработке не подвергалось значительным деформациям и нагрузкам, вызывающим растягивающие напряжения [4, 5].

Адекватное использование РИ, правильный выбор его материала, геометрические параметры и режимы резания относятся к самым важным факторам, влияющим на непрерывность и экономичность обработки металла [6].

В работе [7] отмечено, что износ по задней поверхности РИ увеличивается с повышением скорости резания. В статье [8] показано, что более продолжительный срок службы РИ достигается при низких скорости резания и подаче, а износ по задней поверхности, вероятно, обусловлен как абразивным изнашиванием, так и адгезионным.

Также обнаружено [9], что уменьшение подачи ниже минимальной толщины стружки приводит к ухудшению чистоты поверхности, а увеличение радиуса при вершине — к росту износа по задней поверхности РИ и сил резания.

Кроме того, исследовано влияние скорости резания и подачи на износ РИ, шероховатость поверхности и силы резания, чтобы оптимизировать условия обработки при твердом точении [10].

По производительности приоритет следует отдать обработке твердосплавными резцами. Однако так можно обрабатывать лишь покрытия твердостью не более 40 HRC_э, получаемые из самофлюсующихся порошковых сплавов ПГ-10Н-04, ПГ-СР2. Покрытия более высокой твердости подвергают шлифованию.

Очень плохо поддаются обработке сплавы, содержащие карбиды, например ПС12НВК, поэтому покрытия из таких материалов желательно использовать как необрабатываемые. Даже шлифованием в этом случае с трудом удастся снять припуски, что лишний раз указывает на то, что напекание необходимо проводить с высокой точностью, чтобы свести обработку к минимуму [11, 12].

Порошок ПГ-СР2, имеющий систему легирования Ni-Cr-B-Si, применяют для наплавки на детали, работающие в условиях изнашивания (коррозионного, эрозионного и термического). Значительную волнистость и шероховатость поверхности, которые возникают вследствие наплавки, устраняют накатыванием.

Управление формированием геометрических параметров поверхностного слоя втулок цилиндров в процессе центробежного индукционного напекания основано на решении задач, отвечающих целому комплексу технологических требований. Существующие технологические схемы

восстановления втулок цилиндров дизельных двигателей центробежным индукционным напеканием не обеспечивают получения необходимых геометрических параметров напеченного поверхностного слоя.

При этом из-за значительного разброса геометрических параметров поверхности восстановленного слоя возникает задача дополнительной разработки технологических схем и устройств для более точного формирования этих параметров и повышения эксплуатационных показателей внутренней поверхности втулок цилиндров после ремонта [13].

Цель работы — выбор материала и геометрических параметров РИ для черного и чистового растачивания втулок с покрытием, нанесенным центробежным индукционным напеканием с последующим раскатыванием.

Методика исследования. В качестве метода формирования геометрических параметров и повышения качества восстановленных поверхностей втулок цилиндров использован метод пластической деформации.

Этот метод позволяет управлять получением геометрических параметров и качества поверхности втулок, восстановленных напеканием металлических порошков. Причем в зависимости от физико-механических параметров напеканных порошковых материалов пластическая деформация приведет к повышению их твердости, а следовательно, и износостойкости восстановленной поверхности.

Раскатывание поверхности втулки обеспечивает деформационное упрочнение поверхностного слоя деталей, позволяя формировать поверхности пониженной шероховатости, что важно для дальнейшей механической обработки [13, 14].

Выбор геометрических параметров режущей части резцов основан на информации о материале РИ и обрабатываемой заготовки, способе обработки и условиях ее проведения.

Механическая обработка напеченных с последующим раскатыванием внутренних поверхностей состоит из черного, чистового и тонкого растачивания, а также операции хонингования. Тонкое растачивание выполняют, если втулки после чистового растачивания не проходят шлифовальную операцию. В большинстве случаев после чистового растачивания проводят окончательную операцию хонингования [15–18].

Несмотря на то, что температура плавления никеля (1452 °С) ниже таковой для железа (1535 °С), никель и его сплавы обычно более трудно механически обработать, чем чугун и сталь. Никель является очень пластичным материалом с гранцентрированной кубической структурой, и в отличие от железа в его матрице не происходит превращений вплоть до температуры плавления. Технически чистый никель имеет плохую обрабатываемость почти по всем критериям.

Стойкость РИ в среднем меньше, и максимально допускаемая скорость съема металла низкая. Инструменты выходят из строя вследствие быстрого изнашивания задней поверхности и деформации режущей кромки при сравнительно низкой скорости резания [15, 18, 19].

При механической обработке наибольшую трудность представляет операция черного и чистового растачивания, так как после индукционного напекания с последующим раскатыванием твердость полученных слоев находится в пределах HRC 48...55, что усложняет работу резцов при растачивании втулок.

Одним из важных вопросов при обработке покрытий, нанесенных центробежным индукционным напеканием, является выбор материала РИ для черного и чистового растачивания [15, 20–22].

Для его решения в экспериментальном исследовании использовали токарные сборные расточные резцы (далее резцы). Втулки обрабатывали на горизонтально-расточном станке 2А636Ф2. Черновое растачивание проводили резцами из материалов КНТ16, Т5К10, ТТ7К12, Т15К6, ВК6, ВК3-М, ВК3 и гексанита-Р, а чистовое растачивание — из КНТ-16, Т5К10, ТТ7К12, Т15К6, ВК6, ВК8, ВК6-ОМ, ВК3-М, эльбора-Р и гексанита-Р.

Материал режущей части резцов выбирали исходя из длины пути обработки до затупления его задней поверхности на величину $h_z = 0,8$ мм при черновом растачивании и до радиального износа резца $h_r = 0,10$ мм при чистовом растачивании.

Анализ полученных графиков износа резцов (рис. 1 и 2) показывает, что гексанит-Р оказался наиболее износостойким инструментальным материалом. Причем при увеличении скорости резания и уменьшении подачи характер износа резцов из гексанита-Р при чистовой обработке несколько отличается от такового при черновой обработке.

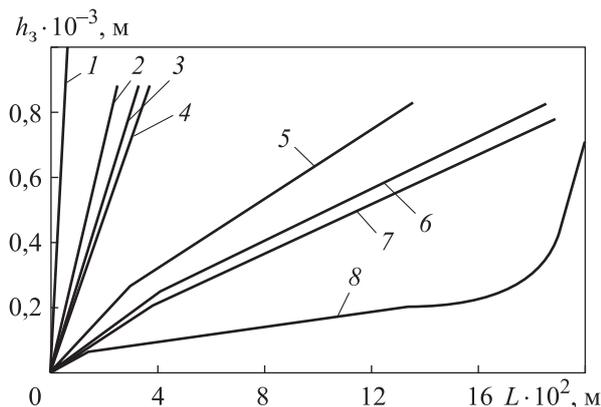


Рис. 1. Зависимости износа по задней поверхности h_3 резцов из различных материалов от пути резания L при черновом растачивании втулок с покрытием из порошка ПГ-СР2 со скоростью резания $v = 35$ м/мин и подачей $S = 0,2$ мм/об на глубину резания $t = 0,5$ мм:
1 — КНТ-16; 2 — Т5К10; 3 — ТТ7К12; 4 — Т15К6;
5 — ВК6; 6 — ВК3-М; 7 — ВК3; 8 — гексанит-Р

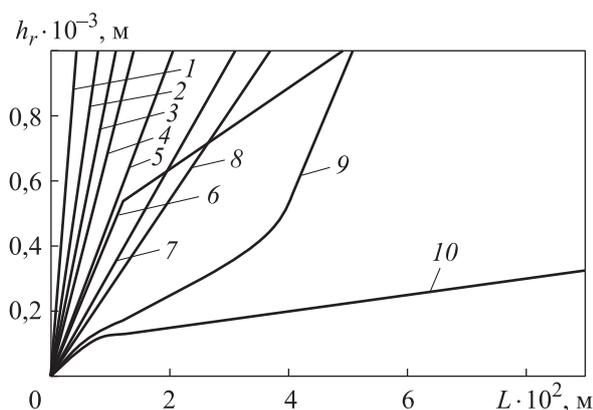


Рис. 2. Зависимости радиального износа h_r резцов из различных материалов от пути резания L при чистовом растачивании втулок с покрытием из порошка ПГ-СР2 со скоростью резания $v = 70$ м/мин и подачей $S = 0,1$ мм/об на глубину резания $t = 0,25$ мм:
1 — КНТ-16; 2 — Т5К10; 3 — ТТ7К12; 4 — Т15К6;
5 — ВК8; 6 — ВК6; 7 — ВК6-ОМ; 8 — ВК3-М;
9 — эльбор-Р; 10 — гексанит-Р

В начале резания происходит скругление вершины резца, затем — постепенное скругление режущих кромок. После износа резца по задней поверхности $h_3 = 0,05 \dots 0,10$ мм на главной режущей кромке, в зоне ее контакта с покрытием, на расстоянии от резца, примерно равном подаче, наблюдаются сколы гексанита [15, 23, 24].

Дальнейший износ резца при чистовом растачивании происходит по задней поверхности аналогично таковому при черновой обработке, но с меньшей интенсивностью.

При чистовом растачивании с малой скоростью резания изнашивание происходит по задней поверхности резца из-за выкрашивания частиц гексанита по границам сростков кристаллитов. Это выкрашивание вызвано механическим воздействием на вершину резца пор трещин. Увеличение скорости резания приводит к размягчению обрабатываемого материала из-за роста температуры резания. Высокая контактная температура на передней поверхности резца вызывает фазовое превращение твердого нитрида бора в мягкий графитоподобный, который мгновенно уносится сходящей стружкой [25, 26].

Статистическая обработка полученных результатов заключалась в установлении необходимого количества опытов по доверительной вероятности, оценке точности измерений и существенности различия сравниваемых величин. При исследовании износа резцов полученные данные сравнивали по средним значениям, вычисленным как средняя арифметическая величина [27–29].

При исследовании влияния геометрических параметров резца на период его стойкости использовали метод планирования полного факторного эксперимента [27].

Результаты и их обсуждение. Износ по задней поверхности резца из гексанита-Р в основном зависит от скорости резания и подачи. При скорости резания $v = 75 \dots 250$ м/мин на главной задней поверхности образуется равномерная площадка износа. С повышением скорости резания интенсивность износа возрастает, характер износа сопровождается выкрашиванием частиц кристаллитов.

Увеличение глубины резания до 0,5 мм приводит к стабилизации изнашивания, а в дальнейшем — к образованию сколов на задних поверхностях. Возрастание подачи вызывает скапывание кристаллитов на вспомогательной задней поверхности резца.

Износ по задней поверхности резца h_3 измеряли с помощью специальной портативной оптической линзы (группы из двух линз) с 10-кратным увеличением. Результаты проверяли с помощью инструментального микроскопа.

Наличие твердых частиц приводит к образованию плоскостей на боковых поверхностях РИ. Инструментальный материал удаляется механическим воздействием (вспыхиванием, зади-

ранием, микрорезанием или нарезанием канавок) с твердыми частицами.

Другими возможными источниками твердых частиц являются фрагменты твердых инструментальных материалов (удаленные в результате истирания с поверхности РИ), высоконапряженные и упрочненные фрагменты нестабильного нароста или абразивная стружка, образующаяся при механической обработке материала заготовки.

Морфологические особенности, связанные с этим механизмом изнашивания, заключаются в образовании мелких и однородных канавок на боковой поверхности РИ.

Адгезионный механизм изнашивания также вступает в действие в тех случаях, когда износ задней поверхности РИ является значительным вследствие разрушения налипшего рабочего материала на боковой поверхности/кромке РИ. В результате разрушения фрагменты инструментального материала могут быть вынесены на изнаночную сторону стружки или на поверхность нового обрабатываемого материала. Тяжелое применение (например, слишком большая глубина или подача

резания) может привести к поломке режущей кромки.

Наиболее интенсивное скалывание происходит при подаче $S = 0,20$ мм/об. Так как гексанит-Р является хрупким материалом, при черновом растачивании с большими подачей и глубиной резания его применять нельзя. Как видно, из рис. 1 и 2, следующими после гексанита-Р по износостойкости оказались твердые сплавы ВК6М, ВК6, ВК3-М и ВК3, поэтому дальнейшие исследования по обработке покрытий проводили с резцами группы ВК.

Исследования по выбору геометрических параметров (рис. 3) выполняли при растачивании покрытия ПГ-СР2 инструментом из твердого сплава ВК6 со скоростью резания $v = 35$ м/мин и подачей $S = 0,2$ мм/об на глубину резания $t = 0,5$ мм. При растачивании внутренних поверхностей режущая часть резца контактировала с вогнутой поверхностью детали, что увеличивало зону контакта обрабатываемого материала с задней поверхностью РИ.

Исходя из диаметра растачиваемых втулок, главный α и вспомогательный α_1 задние углы приняты постоянными и равными 13° .

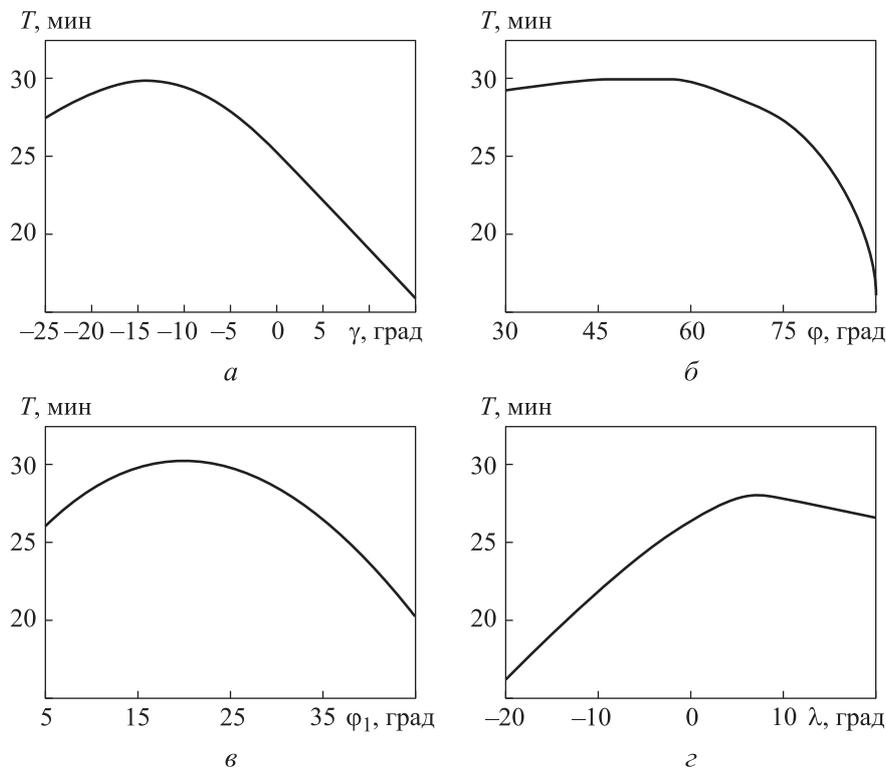


Рис. 3. Зависимости стойкости T резца из твердого сплава ВК6 от геометрических параметров его режущей части при растачивании втулок с покрытием из порошка ПГ-СР2 со скоростью резания $v = 35$ м/мин и подачей $S = 0,2$ мм/об на глубину резания $t = 0,5$ мм:

a — переднего угла γ ; $б$ — главного угла в плане ϕ ; $в$ — вспомогательного угла в плане ϕ_1 ; $з$ — угла наклона главной режущей кромки λ .

Значение переднего угла зависит от механических свойств обрабатываемого материала и условий его обработки. Увеличение переднего угла приводит к уменьшению деформации срезаемого слоя и, следовательно, к снижению сил и температуры резания, интенсивности износа РИ. При этом угол заострения становится меньше, что сопровождается ростом тепловой напряженности и снижением прочности лезвия резца.

Поэтому для каждого обрабатываемого материала есть свое оптимальное значение переднего угла, при котором стойкость резца, а следовательно (при одинаковой стойкости), и скорость резания будут наибольшими. При назначении переднего угла необходимо учитывать свойства инструментального материала.

Исследования по выбору переднего угла показали, что при его положительном значении износ резца растет, а чрезмерное увеличение отрицательного значения переднего угла приводит к более тяжелым условиям работы РИ. Поэтому при растачивании втулок цилиндров передний угол $\gamma = -8...-15^\circ$ (рис. 3, а).

Главный угол в плане φ выбирали для резцов, имеющих следующие геометрические параметры: передний угол $\gamma = -10^\circ$; главный задний угол $\alpha = 13^\circ$; вспомогательный задний угол $\alpha_1 = 13^\circ$; вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 25^\circ$;

угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 0^\circ$; радиус при вершине резца $r = 0,5$ мм.

Анализ результатов экспериментов показал, что при растачивании покрытий ПГ-СР2 главный угол в плане должен находиться в пределах $\varphi = 50...60^\circ$ (рис. 3, б), что обеспечивает наибольшую стойкость резца.

Выводы

Проведены экспериментальные и теоретические исследования по выбору материала и геометрических параметров резца для растачивания внутренней поверхности втулок цилиндров, восстановленных центробежным индукционным напеканием с последующим раскатыванием. Анализ результатов исследований позволил установить следующее:

- черновое растачивание втулок с покрытием из порошка ПГ-СР2 следует выполнять резцами из твердых сплавов ВК6 и ВК3 с рациональными геометрическими параметрами режущей кромки: $\gamma = -8...-10^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 10...13^\circ$, $\lambda = 0...1^\circ$, $\varphi = 40...50^\circ$ и $\varphi_1 = 15...20^\circ$;

- чистовое растачивание втулок с покрытием из порошка ПГ-СР2 необходимо проводить резцами из гексанида-Р с геометрическими параметрами режущей кромки $\gamma = -5...-10^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$, $\lambda = 0...5^\circ$, $\varphi = 25...30^\circ$, $\varphi_1 = 10...15^\circ$.

Литература

- [1] Подураев В.Н. *Резание труднообрабатываемых материалов*. Москва, Высшая школа, 1974. 587 с.
- [2] Подураев В.Н., Соколов Н.М. Плазменно-фрезерная обработка крупных сварных узлов из высокопрочных сталей. *Станки и инструмент*, 1989, № 7, с. 23–28.
- [3] Маслов А.Р., Схиртладзе А.Г. *Обработка труднообрабатываемых материалов резанием*. Москва, Инновационное машиностроение, 2018. 208 с.
- [4] Резников А.Н., Черторицкий Ю.Н., Мурын И.А. Определение режима плазменно-механической обработки. *Станки и инструмент*, 1990, № 1, с. 30–31.
- [5] Михалькова С.А. Плазменно-механическая обработка деталей металлургического оборудования. *Вестник машиностроения*, 1989, № 5, с. 53–56.
- [6] Youn J.W., Yang M.Y. A study on the relationships between static/dynamic cutting force components and tool wear. *J. Manuf. Sci. Eng.*, 2001, vol. 123, no. 2, pp. 196–205, doi: <https://doi.org/10.1115/1.1362321>
- [7] Kumar A.S., Durai A.R., Sornakumar T. Wear behaviour of alumina based ceramic cutting tools on machining steels. *Tribol. Int.*, 2006, vol. 39, no. 3, pp. 191–197, doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2005.01.021>
- [8] Noordin M.Y., Venkatesh V.C., Sharif S. Dry turning of tempered martensitic stainless tool steel using coated cermet and coated carbide tools. *J. Mater. Process. Technol.*, 2007, vol. 185, no. 1–3, pp. 83–90, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.137>
- [9] Kishawy H.A., Elbestawy M.A. Effects of process parameters on material side flow during hard turning. *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 1999, vol. 39, no. 7, pp. 1017–1030, doi: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(98\)00084-4](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(98)00084-4)

- [10] More A.S., Jiang W., Brown W.D. et al. Tool wear and machining performance of cBN-TiN coated carbide inserts and PCBN compact inserts in turning AISI 4340 hardened steel. *J. Mater. Process. Technol.*, 2006, vol. 180, no. 1–3, pp. 253–262, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.06.013>
- [11] Баширов Р.Дж., Амиров Ф.Г. Методика определения теплового состояния втулки цилиндра при центробежном индукционном напекании. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2022, № 8, с. 33–41, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2022-8-33-41>
- [12] Гоюшов Р.Г., Баширов Р.Дж., Аббасов В.А. Технологические особенности механической обработки восстановленных деталей плунжерных пар. *Известия КГТУ им. И. Раззакова*, 2022, № 2, с. 109–119.
- [13] Баширов Р.Д. Определение допустимой силовой нагрузки в стенке втулки цилиндра при обкатывании. *Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов*. Донецк, ДГТУ, 2002, вып. 20, с. 32–37.
- [14] Аббасов В.А., Баширов Р.Д. *Устройства для ультразвукового резания и растачивания металлов*. Патент № I 2003.0014, Азербайджанская Республика, 2003.
- [15] Аббасов В.А., Баширов Р.Дж. Особенности применения ультразвука при плазменно-механической обработки деталей из труднообрабатываемых материалов. *Обработка металлов. Технология, оборудование, инструменты*, 2022, т. 24, № 3, с. 53–65, doi: <https://doi.org/10.17212/1994-6309-2022-24.3-53-65>
- [16] Баширов Р.Д., Аббасов В.А. Выбор параметров пьезоэлементов и расчетов токарного резца-концентратора для ультразвукового точения. *Механика — машиностроение*, 2001, № 1, с. 42–45.
- [17] Баширов Р.Д., Аббасов В.А. Устройства для ультразвукового точения и резки металлов. *48-я учеб.-метод. науч.-тех. конф. профессорско-преподавательского состава и аспирантов АзГУ*. Ч. 2. Баку, 2001, с. 79–81.
- [18] Тарасов С.С., Коряжкин А.А. Повышение эффективности токарной обработки деталей ГТД из жаропрочных никелевых сплавов керамическим инструментом. *Справочник. Инженерный журнал*, 2012, № 11, с. 14–19.
- [19] Leppert T. Surface layer properties of AISI 316L steel when turning under dry and with minimum quantity lubrication conditions. *Proc. Inst. Mech. Eng. B J. Eng. Manuf.*, 2012, vol. 226, no. 4, pp. 617–631, doi: <https://doi.org/10.1177/0954405411429894>
- [20] Волков Д.И., Проскуряков С.Л., Тарасов С.С. Применение высокоскоростной токарной обработки для изготовления деталей из жаропрочных никелевых сплавов керамическим инструментом. *Вестник РГАТУ им. П.А. Соловьева*, 2012, № 2, с. 134–137.
- [21] Волков Д.И., Тарасов С.С. Расчетное определение параметров сечения среза при высокоскоростной токарной обработке криволинейных поверхностей деталей ГТД из жаропрочных никелевых сплавов. *Вестник РГАТУ им. П.А. Соловьева*, 2013, № 1, с. 61–68.
- [22] Bushlya V., Zhou J., Ståhl J.E. Effect of cutting conditions on machinability of superalloy Inconel 718 during high speed turning with coated and uncoated PCBN tools. *Procedia CIRP*, 2012, vol. 3, pp. 370–375, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.064>
- [23] Attia H., Tavakoli S., Vargas R. et al. Laser-assisted high-speed finish turning of superalloy Inconel 718 under dry conditions. *Procedia CIRP*, 2010, vol. 59, no. 1, pp. 83–88, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.093>
- [24] Prihandana G.S., Mahardika M., Hamdi M. et al. Effect of low-frequency vibration on workpiece in EDM processes. *J. Mech. Sci. Technol.*, 2011, vol. 25, no. 5, pp. 1231–1234, doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-011-0307-1>
- [25] Kötter D. *Herstellung von Schneidkantenverrundungen und deren Einfluss auf das Einsatzverhalten von Zerspanwerkzeugen*. Vulkan, 2006. 107 p.
- [26] Astakhov V.P., Davim P.J. Tools (geometry and material) and tool wear. In: *Machining*. Springer, 2008, pp. 29–57, doi: https://doi.org/10.1007/978-1-84800-213-5_2
- [27] Кацев П.Г. *Статистические методы исследования режущего инструмента*. Москва, Машиностроение, 1974. 239 с.
- [28] Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. Москва, Легкая индустрия, 1974. 262 с.
- [29] Адлер Ю.П., Марков Е.В., Грановский Ю.В. *Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий*. Москва, Наука, 1976. 280 с.

References

- [1] Poduraev V.N. *Rezanie trudnoobrabatyvaemykh materialov* [Cutting hard-to-cut materials]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1974. 587 p. (In Russ.).
- [2] Poduraev V.N., Sokolov N.M. Plasma milling treatment of large welded joints from high-strength steels. *Stanki i instrument*, 1989, no. 7, pp. 23–28. (In Russ.).
- [3] Maslov A.R., Skhirtladze A.G. *Obrabotka trudnoobrabatyvaemykh materialov rezaniem* [Machining of hard-to-machine materials by cutting]. Moscow, Innovatsionnoe mashinostroenie Publ., 2018. 208 p. (In Russ.).
- [4] Reznikov A.N., Chertorizhskiy Yu.N., Murin I.A. Determination of the plasma-mechanical treatment regime. *Stanki i instrument*, 1990, no. 1, pp. 30–31. (In Russ.).
- [5] Mikhalkova S.A. Plasma-mechanical treatment of metallurgical equipment parts. *Vestnik mashinostroeniya*, 1989, no. 5, pp. 53–56. (In Russ.).
- [6] Youn J.W., Yang M.Y. A study on the relationships between static/dynamic cutting force components and tool wear. *J. Manuf. Sci. Eng.*, 2001, vol. 123, no. 2, pp. 196–205, doi: <https://doi.org/10.1115/1.1362321>
- [7] Kumar A.S., Durai A.R., Sornakumar T. Wear behaviour of alumina based ceramic cutting tools on machining steels. *Tribol. Int.*, 2006, vol. 39, no. 3, pp. 191–197, doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2005.01.021>
- [8] Noordin M.Y., Venkatesh V.C., Sharif S. Dry turning of tempered martensitic stainless tool steel using coated cermet and coated carbide tools. *J. Mater. Process. Technol.*, 2007, vol. 185, no. 1–3, pp. 83–90, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.137>
- [9] Kishawy H.A., Elbestawy M.A. Effects of process parameters on material side flow during hard turning. *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 1999, vol. 39, no. 7, pp. 1017–1030, doi: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(98\)00084-4](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(98)00084-4)
- [10] More A.S., Jiang W., Brown W.D. et al. Tool wear and machining performance of cBN-TiN coated carbide inserts and PCBN compact inserts in turning AISI 4340 hardened steel. *J. Mater. Process. Technol.*, 2006, vol. 180, no. 1–3, pp. 253–262, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.06.013>
- [11] Bashirov R.J., Amirov F.G. Method for determining the thermal state of the cylinder sleeve during centrifugal induction sintering. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [BMSTU Journal of Mechanical Engineering], 2022, no. 8, pp. 33–41, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2022-8-33-41> (in Russ.).
- [12] Goyushov R.G., Bashirov R.J., Abbasov V.A. Technological features of mechanical processing of restored parts of plunger pairs. *Izvestiya KGTU im. I. Razzakova*, 2022, no. 2, c. 109–119. (In Russ.).
- [13] Bashirov R.D. Opredelenie dopustimoy silovoy nagruzki v stenke vtulki tsilindra pri obkatyvani [Determination of permissible force load in the cylinder sleeve wall during running-in]. *Progressivnye tekhnologii i sistemy mashinostroeniya*. Vyp. 20 [Progressive technologies and systems of mechanical engineering. Iss. 20]. Donetsk, DGTU Publ., 2002, pp. 32–37. (In Russ.).
- [14] Abbasov V.A., Bashirov R.D. Devices for ultrasonic cutting and boring of metals. Patent Republic of Azerbaijan. no. I 2003.0014, 2003.
- [15] Abbasov V.A., Bashirov R.J. Features of ultrasound application in plasma-mechanical processing of parts made of hard-to-process materials. *Obrabotka metallov. Tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty* [Metal Working and Material Science], 2022, vol. 24, no. 3, pp. 53–65, doi: <https://doi.org/10.17212/1994-6309-2022-24.3-53-65> (in Russ.).
- [16] Bashirov R.J., Abbasov V.A. Selection of piezoelement parameters and calculations of a turning pick-concentrator for ultrasonic turning. *Mekhanika — mashinostroenie*, 2001, no. 1, pp. 42–45. (In Russ.).
- [17] Bashirov R.J., Abbasov V.A. [Devices for ultrasonic turning and cutting of metals]. *48-ya ucheb.-metod. nauch.-tekh. konf. professorsko-prepodavatelskogo sostava i aspirantov AzTU*. Ch. 2 [48th Educational-Methodical Sci.-Tech. Conf. of AzTU Teachers, Professors and Postgraduates. P. 2]. Baku, 2001, pp. 79–81. (In Russ.).
- [18] Tarasov S.S., Koryazhkin A.A. Improving the efficiency of turning of the gte heat-resistant nickel alloys, ceramic tool. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal* [Handbook. An Engineering Journal], 2012, no. 11, pp. 14–19. (In Russ.).

- [19] Leppert T. Surface layer properties of AISI 316L steel when turning under dry and with minimum quantity lubrication conditions. *Proc. Inst. Mech. Eng. B J. Eng. Manuf.*, 2012, vol. 226, no. 4, pp. 617–631, doi: <https://doi.org/10.1177/0954405411429894>
- [20] Volkov D.I., Proskuryakov S.L., Tarasov S.S. Application of high-speed turning to produce heat-resistant Ni-alloy parts. *Vestnik RGATU im. P.A. Solovyeva* [Vestnik of P.A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University], 2012, no. 2, pp. 134–137. (In Russ.).
- [21] Volkov D.I., Tarasov S.S. Estimated calculation of cut section parameters at high-speed turning processing of curvilinear surfaces of GTE details made of heat resisting nickel alloys. *Vestnik RGATU im. P.A. Solovyeva* [Vestnik of P.A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University], 2013, no. 1, pp. 61–68. (In Russ.).
- [22] Bushlya V., Zhou J., Ståhl J.E. Effect of cutting conditions on machinability of superalloy Inconel 718 during high speed turning with coated and uncoated PCBN tools. *Procedia CIRP*, 2012, vol. 3, pp. 370–375, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.064>
- [23] Attia H., Tavakoli S., Vargas R. et al. Laser-assisted high-speed finish turning of superalloy Inconel 718 under dry conditions. *Procedia CIRP*, 2010, vol. 59, no. 1, pp. 83–88, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.093>
- [24] Prihandana G.S., Mahardika M., Hamdi M. et al. Effect of low-frequency vibration on workpiece in EDM processes. *J. Mech. Sci. Technol.*, 2011, vol. 25, no. 5, pp. 1231–1234, doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-011-0307-1>
- [25] Kötter D. *Herstellung von Schneidkantenverrundungen und deren Einfluss auf das Einsatzverhalten von Zerspanwerkzeugen*. Vulkan, 2006. 107 p.
- [26] Astakhov V.P., Davim P.J. Tools (geometry and material) and tool wear. In: *Machining*. Springer, 2008, pp. 29–57, doi: https://doi.org/10.1007/978-1-84800-213-5_2
- [27] Katsev P.G. *Statisticheskie metody issledovaniya rezhushchego instrumenta* [Statistical methods of cutting tool research]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1974. 239 p. (In Russ.).
- [28] Tikhomirov V.B. *Planirovanie i analiz eksperimenta* [Planning and analysis of experiment]. Moscow, Legkaya industriya Publ., 1974. 262 p. (In Russ.).
- [29] Adler Yu.P., Markov E.V., Granovskiy Yu.V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy* [Experiment planning in search of optimum conditions]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 280 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 26.01.2023

Информация об авторах

БАШИРОВ Расим Джавад оглы — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Специальные материалы и средства». Азербайджанский технический университет (Az-1073, Баку, Азербайджанская Республика, пр. Гусейн Джавида, д. 25, e-mail: rasim_agma@aztu.edu.az).

АМИРОВ Фариз Гачай оглы — доктор технических наук, профессор кафедры «Специальные технологии и оборудование». Азербайджанский технический университет (Az-1073, Баку, Азербайджанская Республика, пр. Гусейн Джавида, д. 25, e-mail: fariz.67@mail.ru).

Information about the authors

BASHIROV Rasim Javad — Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of the Department of Special Materials and Tools. Azerbaijan Technical University (Az-1073, Baku, Azerbaijan Republic, Huseyn Javid Ave. Bldg. 25, e-mail: rasim_agma@aztu.edu.az).

AMIROV Fariz Gachay — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Special Technologies and Equipment. Azerbaijan Technical University (Az-1073, Baku, Azerbaijan Republic, Huseyn Javid Ave. Bldg. 25, e-mail: fariz.67@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Баширов Р.Дж., Амиров Ф.Г. Выбор материала и геометрических параметров расточного резца для обработки покрытий на основе никеля. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2023, № 8, с. 78–86, doi: [10.18698/0536-1044-2023-8-78-86](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-8-78-86)

Please cite this article in English as:

Bashirov R.J., Amirov F.G. Selecting material and geometrical parameters for a boring cutter used in machining the nickel-based coatings. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2023, no. 8, pp. 78–86, doi: [10.18698/0536-1044-2023-8-78-86](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-8-78-86)