

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-9-81-88

Косогова Ю.П.

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал НИЯУ МИФИ

E-mail: ypkosogova@mephi.ru

ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ РЕЗАНИЯ И МАТЕРИАЛА ПОКРЫТИЯ ФРЕЗЫ НА ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ВНУТРИКОРПУСНОГО УСТРОЙСТВА ВВЭР

Аннотация. Значительная часть деталей внутрикорпусных устройств реакторов типа ВВЭР изготавливаются из аустенитных нержавеющей сталей, обладающих плохой обрабатываемостью резанием, что увеличивает не только трудоемкость изготовления и расход дорогостоящего металлорежущего инструмента, но в отдельных случаях требует последующей доработки деталей. Повышение температуры обрабатываемого материала в зоне резания повышает его обрабатываемость, а одновременное снижение температуры режущего инструмента снижает его износ, повышает качество обработанной поверхности, снижает количество и величину дефектов (заусенцев) на обработанных поверхностях, зачищаемых в ручную, что снижает вероятность попадания их на сборку. Предложено повысить обрабатываемость деталей внутрикорпусного устройства ВВЭР и качество его изготовления посредством новой траектории перемещения детали при резании, при которой реализуется попутное фрезерование, изменяется условие вхождения фрезы в металл, что сопровождается снижением количества тепла, поглощаемого фрезой, и способствует уменьшению износа инструмента и снижает количество и размеры заусенцев.

Предварительные результаты показывают, что обеспечено снижение расхода металлорежущего инструмента, увеличение производительности труда и качества изготовления деталей, поступающих на сборку внутрикорпусных устройств реактора, а значит и повышение эксплуатационной надежности и безопасности ядерной энергетической установки.

Ключевые слова: обработка резанием, износ инструмента, нержавеющей аустенитные стали, фреза, дефекты поверхности (заусенцы).

Введение. Обеспечение высокого качества производства изделий атомного машиностроения повышает безопасность ядерных энергетических установок. Значительная часть деталей внутрикорпусных устройств реакторов типа ВВЭР изготавливаются из аустенитных нержавеющей сталей, обладающих плохой обрабатываемостью резанием, что увеличивает не только трудоемкость изготовления и расход дорогостоящего металлорежущего инструмента, но в отдельных случаях требует ручной доработки деталей до заданного качества, повышая в этом случае влияние «человеческого фактора» на работоспособность и безопасность реактора.

В различных условиях резания изнашивание инструмента может быть вызвано различными причинами и иметь различные механизмы. В зоне контакта режущего инструмента с аустенитным сплавом происходят процессы, включающие пластические деформации инструментального материала при высокой температуре, абразивное истирание, адгезионное изнашивание, диффузионное растворение, образование усталостных трещин и окисление поверхности инструментального материала. Пластические деформации инструментального материала при высоких температурах приводят к изменению

формы режущего лезвия и в конечном счёте могут отразиться на работоспособности инструмента. Большие пластические деформации приводят к потере формоустойчивости режущего лезвия [1, 2]. Причины пластических деформаций режущего инструмента связаны со значительным упрочнением обрабатываемого материала в результате влияния скорости деформации и разупрочнением инструментального материала в окрестности режущей кромки [1-3]. Абразивный износ является причиной непродолжительного срока службы инструментов из быстрорежущих и инструментальных сталей. Установлено, что чем большую упругую деформацию может выдержать поверхность, тем она лучше сопротивляется абразивному износу. Экспериментально доказано, что сопротивление абразивному износу некоторых металлов пропорционально их модулю упругости [2-5]. При фрезеровании используют высокие скорости резания, в результате из-за трения поверхности заготовки и инструмента нагреваются и могут наблюдаться структурные изменения. Известно, что коэффициент трения между чистыми поверхностями металлов очень велик и может достигать 50, это связано со способностью к прочной адгезии, что обеспечивает

соединение типа сварки плавлением [4-6]. Прочность таких адгезионных слоев зависит от природы контактирующих металлов. Контакт свежих поверхностей приводит к прочной трибоадгезии. Образование фазы сплава при трибомеханической обработке обнаружено в системе цинк-медь. При высоких контактных давлениях и высоких температурах между поверхностями возникают участки схватывания как результат межмолекулярного взаимодействия. При относительном перемещении поверхностей эти мостики разрушаются с вырыванием частиц в том числе с поверхности инструмента. Чтобы эффективно подавить сваривание трущихся поверхностей, на них следует образовать адгезионные пленки, с этой целью применяют смазочно-охлаждающие среды, уменьшающие силы сцепления. Длительность эксплуатации режущего инструмента можно увеличить, подбирая состав активной смазочной среды [6-8]. Диффузия компонентов обрабатываемого материала приводит к изменению физических свойств поверхностного слоя инструмента. Например, диффузия углерода вызывает размягчение и последующую пластическую деформацию инструментального материала [9-11]. Эта деформация может увеличить силы резания или разрушить инструмент. Механизм окислительного изнашивания твердосплавного инструмента включает образование и истирание

окисных пленок, накопление окислов в порах поверхностного слоя и его разрушение. Однако, существует мнение, что поверхности, о которые трётся режущий инструмент, являются свежесформованными, и для возникновения на них окисных или других каких-либо пленок недостаточно времени [12, 13].

Материалы и методы. В качестве объекта исследований выбрана наиболее проблемная деталь внутрикорпусного устройства реактора ВВЭР, изготовленная из аустенитной нержавеющей стали 08X18H10T - труба упорных стаканов, которые служат в качестве направляющих и опорных частей тепловыделяющих сборок (ТВС). Труба диаметром 194 мм, длиной 480 мм и толщиной стенок 12 мм, изготовленная из аустенитной нержавеющей стали 08X18H10T, перфорирована в виде узких пазов (ширина паза 3 мм, длина - 30 мм), что способствует задержанию из потока теплоносителя твердых частиц и защите твэлов от механических повреждений. В каждой из этих труб необходимо прорезать 390 пазов шириной 3 мм (рис.1), общее количество таких пазов в комплекте труб для одного реактора составляет 63000, все из них должны быть изготовлены в соответствии и высокими требованиями к качеству поверхностного слоя.

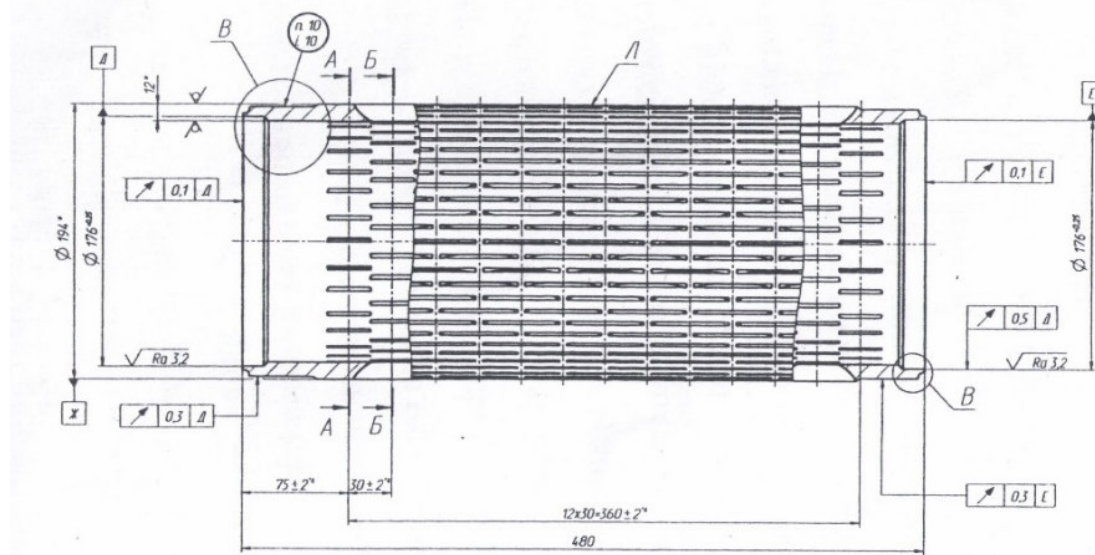


Рис. 1. Чертеж детали

Обработка проводится на вертикально-фрезерном станке 6Р13, где обрабатываются 390 пазов дисковой фрезой шириной 3,2 мм. Марка применяемого материала инструмента Р6М5. Стоит отметить некоторые трудности, возникающие на этапе фрезерования пазов:

- быстрый износ инструмента;
- образование после обработки больших заусенцев;

– малая скорость резания и, как следствие, низкая производительность.

В результате вязкости и способности к значительному наклепу нержавеющей стали при фрезеровании каждого из 63000 пазов образуются большие заусенцы (дефекты), которые приходится зачищать, в том числе и вручную. После обработки резанием каждый такой дефект (заусенец) необходимо удалить вручную. Учитывая

большое количество пазов, возникает вероятность пропуска дефекта на детали, допущенной на сборку ВКУ реактора, что снижает уровень безопасности его эксплуатации. Таким образом снижение размера и количества заусенцев при обработке резанием снижает вероятность наличия дефекта на деталях ВКУ и тем самым повышает уровень безопасности эксплуатации реактора.

Одной из основных причин возникновения заусенцев является износ (притупление) фрезы при резании [13]. Поэтому снижение износа фрез позволит не только снизить расход дорогостоящего инструмента, увеличить скорость резания (повысить производительность обработки), но и улучшить качество изготавливаемых деталей и их эксплуатационную надежность. Износ фрез снижается при снижении температуры их нагрева в процессе резания и применения более износостойкого инструментального материала. Снижение температуры нагрева инструмента можно обеспечить за счет уменьшения количества тепла, поступающего в инструмент и за счет увеличения количества тепла, уводимого от инструмента. Этого можно добиться изменением схемы резания. Известно, что лучшими инструментальными материалами из твердых сплавов по характеристикам теплопроводности, теплоустойчивости и циклической термоустойчивости яв-

ляются ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15, а из быстрорежущих инструментальных материалов, лучшим выбором будут Р6М5, Р9К5, Р9К10, Р6М5К5.

Основная часть. Контактирование инструмента со стружкой и обрабатываемой заготовкой происходит в условиях очень высоких давлений и температур. Условия работы инструмента ещё больше усложняются в связи с наличием высоких градиентов давления и температуры в зоне резания. Режущие инструменты выходят из строя как в результате истирания по передней и задней поверхностям, так и в результате выкрашивания режущей кромки [14, 15]. Известно, что стали при резании упрочняются примерно вдвое. При высокоскоростном резании следует ожидать ещё большего упрочнения обрабатываемого материала. Кроме того, при обработке нержавеющей стали образуется сливная стружка, которую трудно удалять из зоны резания.

Указанные проблемы объясняются достаточной вязкостью нержавеющей аустенитных сталей, которые являются пластичными. Образующаяся при резании таких сталей стружка завивается длинной спиралью, образуется сливная стружка. Аустенитные сплавы характеризуются низким пределом текучести при том же временном сопротивлении, что и углеродистые конструкционные стали, т. е. они весьма пластичны (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение механических свойств нержавеющей и углеродистой сталей [4]

Материал	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
Нержавеющая сталь 08X18H10T	615	300	52,8	71,3
Сталь 45	600	255	15	40

В результате низкой теплопроводности аустенитных сталей, выделяющееся при резании тепло плохо отводится из зоны резания стружкой и деталью и, в основном, концентрируется в инструменте, повышая его температуру. Известно, что теплопроводность стали 08X18H10T равна 0,0027 Вт/м·°С, в то время как теплопроводность стали 45 равна 0,0040 Вт/м·°С. Весьма слабое разупрочнение нержавеющей сталей происходит только в тонких контактных слоях стружки. В результате разница между твердостью инструментального и обрабатываемого материала с увеличением скорости и температуры резания уменьшается и может исчезнуть совершенно. Это создаёт условия для периодического среза деформированных слоёв инструментального материала и резкого увеличения интенсивности изнашивания инструмента [10–13].

При фрезеровании износ режущего инструмента происходит интенсивнее, чем при точении, из-за неблагоприятных условий работы инструмента, многократно врезающегося в обрабатываемую заготовку, что вызывает ударные нагрузки, а также резкие перепады температур на рабочих поверхностях инструмента (тепловой удар). Помимо этого, боковые поверхности инструмента находятся в постоянном контакте с заготовкой, что приводит к повышению температуры в зоне резания [16]. Такие условия приводят к нагреву инструмента, а вследствие разности коэффициентов линейного расширения стали 08X18H10T и материала инструмента Р6М5, увеличивается контактная площадь соприкосновения поверхностей, что ведет к быстрому истиранию боковых поверхностей.

Выявлено, что начальный размер ширины инструмента уменьшается с 3,0-3,2 мм до 2,8 мм и ниже. В ходе обработки также уменьшается высота зуба, которую корректируют правкой инструмента, в следствии этого диаметр фрезы уменьшается с 63,0 мм до 58,0 мм. На рисунках 2, 3 представлены фотографии изношенных инструментов, наглядно показывающих в каких местах происходит износ.

Метод прорезания пазов, применяемый на предприятии Филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск состоит в следующем: заготовку устанавливают в трехкулачковый самоцентрирующийся патрон на стол станка, перпендикулярно оси шпинделя станка. Затем прижимают жестким центром с противоположного торца с использованием фланца. Далее фрезеруют 390 пазов дисковой фрезой диаметром 63 мм с поворотом заготовки в делительном приспособлении и перемещением стола станка.



Рис. 2. Износ фрезы общий вид



Рис. 3. Износ режущего зуба фрезы

Обработка резанием нержавеющей стали 08X18H10T ведется со следующими параметрами резания: $t = 12$ мм, $b = 3$ мм, $S = 0,12$ мм/мин, $V_c = 12$ м/мин, стойкость инструмента при этом около 45 минут. Приблизительное количество обработанных пазов между переточками составляет 20 штук, а количество переточек не превышает четырех, таким образом на изготовление одной детали расходуется около 50 фрез. Одна фреза между переточками обеспечивает фрезерование 15-20 пазов. На изготовление одной трубы с учетом переточек расходуется 5-6 фрез, а на комплект труб для одного реактора 800-900 фрез.

В действующем технологическом процессе применяется прямолинейное вертикальное перемещение детали, обеспечивающее встречное фрезерование. Формирование стружки при существующей схеме резания осуществляется от минимальных толщин до максимальных, что вызывает самоупрочнение материала, увеличение температуры в зоне резания. В этом случае наблюдается значительный наклеп и быстрый износ режущей кромки фрезы, что приводит к образованию больших заусенцев и перерасходу фрез. На практике такие выступы зачищают вручную

шлифовальными машинами. Сначала зачищаются большие заусенцы, далее зачищают каждый паз по отдельности в соответствии с предъявляемыми требованиями. Использование такого метода обработки поверхности после механического обработки существенно увеличивает трудоемкость процесса. Кроме этого, поверхность заготовки может иметь механические повреждения, в результате вдавливания абразивных зерен в поверхность заготовки. На рисунках 4, 5 видны дефекты (заусенцы), которые появляются в процессе фрезерования каждого из 63000 пазов.

Было предложено изменить траекторию движения рабочего инструмента, перейти от встречного фрезерования на попутное. Предложенное попутное фрезерование изменяет условия вхождения фрезы в металл, снижает упрочнение поверхностного слоя обрабатываемого металла, за счет чего снижается количество тепла, поступающего в инструмент, что снижает его износ, уменьшаются количество и размеры заусенцев. Для повышения эффективности технологического процесса предложена конструкция более износостойкой прорезной фрезы толщиной 3 мм с твердосплавными сменными пластинами.



Рис. 4. Дефекты в виде заусенцев внутри детали



Рис. 5. Выступы в виде заусенцев снаружи детали

Карбонитрид титана обеспечивает высокую твердость. Для TiCN характерен очень низкий коэффициент трения, за счёт чего снижается налипание нержавеющей стали на инструмент. Нитрид титана выступает в качестве механического, термического и химического барьера между режущей кромкой и обрабатываемой деталью. Алюминий-титан нитрид (AlTiN) - покрытие с уникальной нанокомпозитной структурой, которая существенно увеличивает твёрдость, термостойкость (до 900°C) и сопротивление ударным нагрузкам, повышая виброустойчивость. Если два первых покрытия рекомендованы для резцов, то третье покрытие будет предпочтительно для фрез [16]. Из серийно выпускаемых промышленностью сменных пластин рекомендовано износостойкое покрытие TiN (3 мкм) + TiC (3 мкм) + AlTiN (3 мкм).

В технологическом процессе подрезку торцов, точение и растачивание выполняют на токарно-винторезном станке модели 16K20, используя приспособление - трёхлачковый самоцентрирующий патрон, люнет неподвижный роликовый ЛН16K20-270Р. Пазы обрабатывают на вертикальном фрезерном центре модели MILLSTAR LV1400, применяя патрон DIN2080 50 EM25X80, приводной хвостовик SW 25-32-1.

Выводы. Износ режущего инструмента зависит от многих факторов, включающих режимы резания материал режущей части инструмента, природу обрабатываемого материала, свойства смазочно-охлаждающей жидкости. Условия формоустойчивости необходимо учитывать в качестве одного из ограничений при расчёте допускаемой скорости резания. Рассмотрены проблемы при обработке детали, изготовленной из аусте-

нитной нержавеющей стали 08X18H10T. Разработана новая технология механической обработки трубы упорных стаканов, которые служат в качестве направляющих и опорных частей тепловыделяющих сборок (ТВС), позволяющая оптимизировать теплофизический процесс в зоне резания. Предложенная схема резания позволяет устранить значительную часть негативных факторов существующего процесса резания и значительно снизить количество дефектов (прежде всего в виде заусенцев). На основании анализа существующих износостойких покрытий предложено применять титано-карбон-алюминиевое покрытие режущей части фрезы, так как оно в наибольшей степени обеспечивает решение поставленных задач.

В результате проведенной модернизации существующей технологии отмечено снижение износа инструмента, повышение за счет этого скорости резания, производительности обработки, качества изготовления изделия и сокращение расхода фрез. Все это вместе с новым методом охлаждения инструмента позволит увеличить производительность технологического процесса в 1,5 раза и снизить себестоимость обработки 2 раза (в том числе за счет снижения расхода инструмента).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мокрицкий Б.Я. Инструментальные материалы для токарной обработки специализированных нержавеющей сталей // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2021. № 2(731). С. 3–8.
2. Болдырев И. С. Расчет жесткости и прочности технологической оснастки и режущего инструмента. Челябинск: Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 2022. 50 с.
3. Анцев А.В. Учет влияния износа режущего инструмента на разрушение режущей кромки в обобщенной модели отказов режущего инструмента // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 6. С. 273–279.
4. Патерюхин И. С. Выбор материала и конструкции твердосплавного режущего инструмента для чистовой обработки без вибраций // Научному прогрессу – творчество молодых. 2019. № 2. С. 56–57.
5. Мигранов А.М. Исследование теплофизики резания металлов режущим инструментом с покрытием // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2021. № 5. С. 208–212.
6. Egorov S.A. Influence of steam delivery of the working fluid on tool wear // Russian Engineering Research. 2018. Vol. 38, No. 4. Pp. 285–287.
7. Postnov V.V. Influence of machine-tool dynamics on the tool wear // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35, No. 12. Pp. 936–940.
8. Trung P.H. Analyzing the mechanisms of cutting tool wear during the machining of corrosion-resistant steels // Materials Science Forum. 2019. Vol. 973. Pp. 120–124.
9. Юдин А.Г. Общие способы обработки поверхностей режущими инструментами // Вестник машиностроения. 2022. № 1. С. 78–82. DOI: 10.36652/0042-4633-2022-1-78-82
10. Мигранов М.Ш. Повышение износостойкости режущего инструмента // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2020. № 4(8). С. 5–12. DOI: 10.46573/2658-5030-2020-4-5-12
11. Jain V., Patel S., Patel P., Patel K., Shah D. Study of molybdenum trioxide thin film deposited using dip coating method // Materials today: Proceedings. 2019 recent trends in environment and sustainable development. RTESD. 2019. Pp. 1700–1703. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.09.209
12. Hongjun Zh. Wear Mechanism of Cemented Carbide Tool and Modeling Tool Wear in Machining Inconel 718 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 780, No. 5. Pp. 052024. DOI: 10.1088/1757-899x/780/5/052024
13. Реченко Д.С., Каменов Р.У., Балова Д.Г. Влияние остроты режущего инструмента на обработку стали 07X16H4Б // Омский научный вестник. 2019. № 6(168). С. 10–14.
14. Рыжкин А.А. Синергетика изнашивания инструментальных материалов при лезвийной обработке: монография. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2019. 289 с.
15. Мышкин Н.К. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. Москва: Физматлит, 2007. 368 с.
16. Григорьев С.Н., Волосова М.А., Исаев Е.В. Исследования современных износостойких покрытий на режущем инструменте для фрезерования // Упрочняющие технологии и покрытия. 2022. Т. 18, № 10(214). С. 465–469.

Информация об авторах

Косогова Юлия Павловна, кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения и прикладной механики. E-mail: urkosogova@merphi.ru. Волгодонский инженерно-технический институт – филиал НИЯУ МИФИ. Россия, 347360 г. Волгодонск, ул. Ленина, д. 73/94.

Поступила 28.02.2025 г.

© Косогова Ю.П., 2025

Kosogova Yu.P.

Volgodonsk Engineering and Technical Institute - branch of National Research Nuclear University MEPhI

E-mail: ypkosogova@mephi.ru

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MECHANICAL PROCESSING OF PARTS OF WWER INTERCELL

Abstract. A significant part of the internal parts of WWER reactors are made of austenitic stainless steels, which have poor cutting machinability, which not only increases the labor intensity of manufacturing and the consumption of expensive metal-cutting tools, but in some cases requires subsequent modification of the parts. Increasing the temperature of the processed material in the cutting zone increases its machinability, and a simultaneous decrease in the temperature of the cutting tool reduces its wear, improves the quality of the machined surface, reduces the number and size of defects (burrs) on the machined surfaces, which are cleaned manually, which reduces the likelihood of them getting into the assembly. It is proposed to increase the machinability of parts of the VVER internal device and the quality of its manufacture by regulating thermophysical processes in the cutting zone.

A new milling scheme has been developed that reduces the amount of heat absorbed by the cutter; a new method of cooling a cutter and a device for its implementation, which significantly reduces the temperature of the tool without cooling the material of the part in the cutting zone.

Preliminary results show that there has been a reduction in the consumption of metal-cutting tools, an increase in labor productivity and the quality of manufacturing of parts supplied for the assembly of reactor internals, and therefore an increase in the operational reliability and safety of the nuclear power plant.

Keywords: cutting processing, tool wear, stainless austenitic steels, milling cutter, surface defects (burrs).

REFERENCES

1. Mokritsky B.Ya. Tool materials for turning specialized stainless steels. [Instrumental'nye materialy dlya tokarnoj obrabotki specializirovannyh nerzhavayushchih stalej]. News of higher educational institutions. Mechanical engineering. 2021. No. 2(731). Pp. 3–8. (rus)
2. Boldyrev I.S. Calculation of rigidity and strength of technological equipment and cutting tools. [Raschet zhestkosti i prochnosti tekhnologicheskoy osnastki i rezhushchego instrumenta]. Chelyabinsk: South Ural State University (National Research University). 2022. 50 p. (rus)
3. Antsev A.V. Taking into account the influence of cutting tool wear on the destruction of the cutting edge in a generalized model of cutting tool failures. [Uchet vliyaniya iznosa rezhushchego instrumenta na razrushenie rezhushchej kromki v obobshchennoj modeli otkazov rezhushchego instrumenta]. News of Tula State University. Technical Sciences. 2019. No. 6. Pp. 273–279. (rus)
4. Pateryukhin I.S. Selection of material and design of carbide cutting tools for finishing machining without vibrations. [Vybor materiala i konstrukcii tverdospлавного rezhushchego instrumenta dlya chistovoj obrabotki bez vibracij]. Scientific progress - creativity of the young. 2019. No. 2. Pp. 56–57. (rus)
5. Migranov A.M. Study of the thermophysics of cutting metals with coated cutting tools. [Issledovanie teplofiziki rezaniya metallov rezhushchim instrumentom s pokrytiem]. Assembly in mechanical engineering, instrument making. 2021. No. 5. Pp. 208–212. (rus)
6. Egorov S.A. Influence of steam delivery of the working fluid on tool wear. Russian Engineering Research. 2018. Vol. 38, No. 4. Pp. 285–287.
7. Postnov V.V. Influence of machine-tool dynamics on the tool wear. Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35, No. 12. Pp. 936–940.
8. Trung P.H. Analyzing the mechanisms of cutting tool wear during the machining of corrosion-resistant steels. Materials Science Forum. 2019. Vol. 973. Pp. 120–124.
9. Yudin A.G. General methods of processing surfaces with cutting tools. [Obshchie sposoby obrabotki poverhnostej rezhushchimi instrumentami]. Bulletin of mechanical engineering. 2022. No. 1. Pp. 78–82. DOI: 10.36652/0042-4633-2022-1-78-82 (rus)
10. Migranov M.Sh. Increasing the wear resistance of cutting tools. [Povyshenie iznosostojkosti rezhushchego instrumenta]. Bulletin of the Tver State Technical University. Series: Technical Sciences. 2020. No. 4(8). Pp. 5–12. DOI: 10.46573/2658-5030-2020-4-5-12 (rus)
11. Jain V., Patel S., Patel P., Patel K., Shah D. Study of molybdenum trioxide thin film deposited using dip coating method. Materials today: Proceedings. 2019 recent trends in environment and sustainable development. RTESD. 2019. Pp. 1700–1703. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.09.209
12. Hongjun Zh. Wear Mechanism of Cemented Carbide Tool and Modeling Tool Wear in Machining

Inconel 718. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 780, No. 5. Pp. 052024. DOI: 10.1088/1757-899x/780/5/052024

13. Rechenko D.S., Kamenov R.U., Balova D.G. The influence of the sharpness of the cutting tool on the processing of steel 07X16H4B. [Vliyanie ostroty rezhushchego instrumenta na obrabotku stali 07H16N4B]. Omsk Scientific Bulletin. 2019. No. 6(168). Pp. 1–14. (rus)

14. Ryzhkin A.A. Synergetics of wear of tool materials during blade processing: a monograph. [Sinergetika iznashivaniya instrumental'nykh materialov pri lezviynoj obrabotke: monografiya]. Rostov-

on-Don: Don State Technical University. 2019. 289 p. (rus)

15. Myshkin N.K. Friction, lubrication, wear. Physical foundations and technical applications of tribology. [Trenie, smazka, iznos. Fizicheskie osnovy i tekhnicheskie prilozheniya tribologii]. Moscow: Fizmatlit. 2007. 368 p. (rus)

16. Grigoriev S.N., Volosova M.A., Isaev E.V. Research of modern wear-resistant coatings on cutting tools for milling. [Issledovaniya sovremennykh iznosoustojchivyykh pokrytij na rezhushchem instrumente dlya frezerovaniya]. Hardening technologies and coatings. 2022. Vol. 18, No. 10(214). Pp. 465–469. (rus)

Information about the authors

Kosogova, Yulia P. PhD. Assistant professor. E-mail: ypkosogova@mephi.ru. Volgodonsk Engineering Technical Institute, the Branch of the National Research Nuclear University “MEPhI”, Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360.

Received 28.02.2025

Для цитирования:

Косогова Ю.П. Влияние схемы резания и материала покрытия фрезы на повышение производительности технологического процесса механической обработки деталей внутрикорпусного устройства ВВЭР // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 9. С. 81–88. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-9-81-88

For citation:

Kosogova Yu.P. Improvement of the technological process of mechanical processing of parts of wwer inter-cell. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 9. Pp. 81–88. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-9-81-88