

О Т З Ы В

официального оппонента

доктора технических наук, профессора Ямникова Александра Сергеевича
о диссертации Попова Максима Алексеевича «Технологическое обеспечение качества
поверхности прецизионных изделий из хладостойких сталей на основе магнитно-
абразивной обработки режущего инструмента», представленную на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности
2.5.6 – Технология машиностроения.

1. Актуальность темы диссертации

Развитие горнодобывающей промышленности требует от техники, работающей в условиях климатического холода, высокого уровня надежности и долговечности узлов и отдельных деталей оборудования. Среди способов повышения эксплуатационных свойств деталей горнодобывающего оборудования можно выделить использование современных материалов и совершенствование технологии их механической обработки.

Для горнодобывающей техники северного исполнения широкое применение нашли хладостойкие стали, обеспечивающие температурный запас вязкости и препятствующие хладноломкому разрушению изделий. Среди изделий, где применяются хладостойкие стали, можно выделить силовые гидроцилиндры, которые в результате низкотемпературного воздействия окружающей среды теряют производительность по сравнению с летним периодом использования, уменьшается их наработка на отказ и сокращается срок службы по сравнению с нормативами. Основным элементом силового гидроцилиндра служит шток, который в большинстве случаев и является причиной преждевременного выхода из строя оборудования.

Типовой технологический процесс изготовления штока гидроцилиндра предполагает его финишную обработку на круглошлифовальной операции. Негативные последствия данной операции выражаются в шаржировании поверхности абразивными зёрнами, изменении микроструктуры поверхностного слоя под действием высоких температур и в возникновении концентраторов напряжения, что приводит к истиранию поверхности, разрушению уплотнительной системы, и как следствие, к снижению надежности и износостойкости изделия.

В связи с этим актуальной задачей служит разработка нового технологического процесса обработки изделий из хладостойкой стали без использования операции шлифования, обеспечивающего получение требуемого качества изделия на предшествующей операции чистового точения, что становится возможным, благодаря предварительной подготовке режущего инструмента, включающей в себя формирование правильной микрогеометрии и снижение шероховатости его рабочих поверхностей.

Одним из перспективных способов, обеспечивающий требуемую подготовку инструмента для последующего его использования при обработке прецизионных поверхностей изделий из хладостойкой стали является магнитно-абразивная обработка, которая

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-187 от 04.09.23
АУ УС

характеризуется низкой температурой обработки, и позволяет без микроструктурных изменений и дефектов, подготовить режущий инструмент с низкой шероховатостью передней и задней поверхностей и сформировать оптимальный радиус скругления режущей кромки.

В связи с вышеуказанным, использование метода магнитно-абразивной обработки режущего инструмента позволит использовать его при чистовом точении изделия в качестве альтернативы шлифованию и обеспечить высокое качество поверхности изделия, что благоприятным образом сказывается на эксплуатационных свойствах изделия и увеличении его ресурса при работе в условиях климатического холода.

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна диссертационной работы Попова М.А. сформулирована в следующих пунктах:

– разработаны регрессионные математические зависимости и выявлены закономерности влияния технологических факторов (магнитная индукция, время обработки, частота вращения и величина продольной подачи) магнитно-абразивной обработки на шероховатость поверхности, радиус скругления и удельный съём материала с единицы площади при обработке керамического режущего инструмента;

– установлены зависимости влияния шероховатости поверхности и радиуса скругления режущей кромки инструмента на основе режущей керамики, подготовленного способом магнитно-абразивной обработки с различными значениями технологических факторов, на качество и шероховатость прецизионных поверхностей изделий из хладостойких сталей.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Диссертационная работа Попова М.А. содержит значительное количество теоретических и экспериментальных исследований, проработанные источники литературы соответствуют тематике исследования. Экспериментальные исследования проводились согласно известным методикам планирования эксперимента, все выводы построены на корректной интерпретации и анализе полученных результатов. Результаты измерений показателей параметров шероховатости поверхности, количества снимаемого материала и радиуса скругления режущей кромки проводились при помощи сертифицированного оборудования по стандартным методам измерений. Все вышеперечисленное свидетельствует о достоверности полученных результатов и выдвинутых рекомендаций.

Исследования направлены на разработку метода технологического обеспечения повышения качества прецизионных поверхностей изделий из хладостойких сталей за счет использования инструмента на основе режущей керамики с измененной геометрией режущей кромки и уменьшенной шероховатостью передней и задней поверхностей, предварительно достигнутой способом магнитно-абразивной обработки, включающим в себя схему обработки, сочетание рабочих движений, диапазоны значений варьируемых параметров технологических факторов, марку и количество ферроабразивного порошка, состав смазочно-охлаждающей

жидкости. Предварительная подготовка режущего инструмента производится на разработанном устройстве, базирующемся на фрезерном станке с ЧПУ.

4. Научные результаты, их ценность

Научные результаты, полученные в диссертационном исследовании, сформулированы автором в трех положениях, выносимых на защиту:

1. Разработанный и реализованный на практике способ магнитно-абразивной обработки кромок и рабочих поверхностей керамических режущих пластин марки ВОК-60, включающий в себя: схему обработки, сочетание рабочих движений, диапазон технологических параметров, технологический ферроабразивный инструмент и позволяющий увеличить износостойкость и ресурс керамического режущего инструмента, а также снизить время его приработки за счет нивелирования дефектного слоя и следов предыдущей обработки, уменьшить шероховатость режущих поверхностей до $R_a = 0,1$ мкм и сформировать радиус скругления режущей кромки ρ в диапазоне от 20 до 40 мкм;

2. Разработанные регрессионные математические зависимости, учитывающие комбинированное влияние совокупности технологических параметров магнитно-абразивной обработки, позволяют адекватно оценить эффективность варьируемых параметров системы и получить прогнозируемые значения шероховатости поверхности, удельного съема материала с единицы площади, радиуса скругления режущей кромки, подготовив инструмент к последующему использованию в операциях чистового точения;

3. Разработанный и реализованный на практике способ технологической обработки изделия с использованием инструмента, предварительно подготовленного методом магнитно-абразивной обработки, позволяет сократить количество проводимых операций, уменьшить период приработки инструмента, увеличить износостойкость инструмента в 2,7 раза, а также повысить устойчивость динамической системы обработки за счет уменьшения автоколебательного процесса и обеспечить качество обработки хладостойких сталей с достижением значения шероховатости $R_a = 0,8$ мкм.

Доказательство первого защищаемого положения основывается на экспериментальных исследованиях магнитно-абразивной обработки керамических режущих пластин марки ВОК-60 с сочетанием вращательного, возвратно-поступательного и осциллирующего движения, диапазона технологических варьируемых параметров: частота вращения вспомогательного приспособления с закрепленной керамической пластиной в диапазоне значений $n_{в.мао} = 100 \div 600$ мин⁻¹; возвратно-поступательное движение вдоль полюсных наконечников в диапазоне значений $S_{п.мао} = 25 \div 225$ мм/мин; время обработки в пределах $t_{мао} = 4 \div 12$ мин; величина магнитной индукции в диапазоне $B = 0,35 \div 0,95$ Тл. В качестве ферроабразивного инструмента применялся магнитно-абразивный порошок марки «АЛВОПОЛ» (фракция $\Delta = 180 \dots 250$ мкм) с использованием масляных водорастворимых смазочно-охлаждающих жидкостей на эмульсионной основе. Образцы после обработки подвергались измерениям веса на измерительных весах ВЛТЭ 310, шероховатости передней и задней поверхности керамических

режущих пластин измерялись профилометром марки Mitutoyo Surfes SJ-210, измерения радиуса скругления режущей кромки проводились на профилометре-профилографе Hommel Tester T8000, а также производился оптический контроль поверхности инструмента с использованием микроскопа MarVision MM 320. Измерения показали, что контролируемые значения при выбранном диапазоне значений технологических факторов принимают значения: удельный съем материала с единицы площади $q = 0,0258-0,0745 \text{ г/см}^2$, показатель шероховатости $R_a = 0,1 \div 0,25$ мкм, радиус скругления режущей кромки $\rho = 5 \div 40$ мкм. Результаты оптического контроля показали бездефектность обработки поверхности керамических режущих пластин марки ВОК-60.

Доказательство второго защищаемого положения заключается в построении регрессионных зависимостей на основании анализа и обработки полученных результатов экспериментальных исследований, проводимых в соответствии с матрицей центрального композиционного рототабельного плана. Полученные зависимости позволяют установить значения контролируемых параметров в зависимости от значения электромагнитной индукции, времени обработки, частоты вращения и величины продольной подачи вдоль полюсных наконечников. Оценка адекватности зависимостей проводилась по критерию Фишера, которая показала, что построенные зависимости являются адекватными.

Доказательством третьего защищаемого положения являются результаты экспериментальных исследований по обработке хладостойкой стали 40X2H2MA предварительно подготовленными керамическими пластинами марки ВОК-60 методом магнитно-абразивной обработки. Экспериментальные исследования показали, что использование предварительно подготовленных керамических пластин способно снизить шероховатость изделий из хладостойкой стали в 2,3 раза с достижением значения $R_a = 0,8$ мкм и заменить финишную операцию шлифования чистовым точением. При этом износостойкость керамических пластин возрастает в 2,7 раза, уменьшается период приработки инструмента и увеличивается граница области устойчивости при обработке хладостойкой стали 40X2H2MA. Оценка качества обработанного материала проводилась с использованием профилометра марки Mitutoyo Surfes SJ-210 и микроскопа MarVision MM 320.

Все защищаемые положения, сформулированные в диссертационной работе, соответствуют названию диссертации и целям исследования, являются обоснованными и опираются на результаты выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований в соответствии с фундаментальными законами. В диссертации рассмотрено достаточное количество научно-технической литературы по теме исследования, ссылки на все источники приведены в тексте.

Основные положения работы были доложены на международных конференциях и симпозиумах. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 10 печатных работах, в том числе в 3 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на

соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

К основным результатам выполненных научно-прикладных исследований, характеризующихся теоретической и практической значимостью, можно отнести:

1. Получены регрессионные математические зависимости, учитывающие величину магнитной индукции, время обработки, частоту вращения и величину продольной подачи в процессе магнитно-абразивной обработки инструмента на основе режущей керамики марки ВОК-60, позволяющие оценить степень влияния технологических факторов обработки на шероховатость поверхности, радиус скругления режущей кромки и удельный съём материала с единицы площади;
2. Разработан способ крепления сменных многогранных пластин при их магнитно-абразивной обработке (Патент на изобретение №212068), включающий в себя схему закрепления пластин, элементы крепления пластин различных форм и типоразмеров, позволяющий произвести равномерную бездефектную обработку;
3. Определены оптимальные режимные параметры магнитно-абразивной обработки кромок режущего инструмента марки ВОК-60, позволяющие удалить существующий оксидный и дефектный слой, обеспечить шероховатость поверхности $R_a = 0,1$ мкм и сформировать радиус скругления режущей кромки ρ в диапазоне от 20 до 40 мкм;
4. Установлено, что применение метода магнитно-абразивной обработки в качестве предварительной операции подготовки инструмента на основе режущей керамики марки ВОК-60 позволяет увеличить период стойкости инструмента в 2,7 раза при обработке хладостойких сталей по сравнению с использованием инструмента базовой конфигурации;
5. Установлено, что применение предварительно подготовленного инструмента на основе режущей керамики методом магнитно-абразивной обработки позволяет заменить процесс шлифования финишным процессом обработки хладостойких сталей точением и достичь шероховатости обрабатываемой поверхности $R_a = 0,8$ мкм;
6. Результаты диссертационной работы прошли апробацию на промышленных предприятиях АО ВО «Электроаппарат» и АО «Завод «Энергия», а также отдельные научные положения приняты к внедрению в учебный процесс подготовки бакалавров по направлению 15.03.01 – Машиностроение, программа подготовки «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» Санкт-Петербургского горного университета.

6. Замечания и вопросы по работе

1. В названии работы упоминаются изделия из хладостойких сталей, к которым по ГОСТ 21357-87. «Отливки из хладостойкой и износостойкой стали» относят стали марок 08Г2ДНФЛ, 12ХГФЛ, 14Х2ГМРЛ, 20ГЛ, 20ФТЛ, 20ХГСФЛ, 25Х2НМЛ, 27ХН2МФЛ, 27ХГСНМДТЛ, 30ГЛ, 30ХГ2СТЛ, 30ХЛ, 35ХМФЛ, 35ХМЛ, 110Г13Л, 110Г13ХБРЛ; а по

«ГОСТ 19281-89. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия» – те же стали, но без индекса «Л» в обозначении. Конструкционной легированной стали 40Х2Н2МА среди них нет. Следовало бы обосновать включение этой стали в разряд хладостойких.

2. В главе 1 разделе 1.5 написано, что для дальнейших экспериментальных исследований применяются керамические режущие пластины марки ВОК-60, но отсутствует достаточное обоснование по выбору данного инструмента при чистовом точении хладостойких сталей.

3. В главе 2 разделе 2.3.2 диссертационной работы утверждается, что для достижения наименьшего значения показателя шероховатости большую роль имеет форма абразивных частиц, участвующих в процессе микрорезания при магнитно-абразивной обработке. В дальнейшем при описании экспериментальных исследований не указывается форма частиц, в связи с чем, возникает вопрос: какая форма абразивных частиц применялась, и проводились ли исследования, связанные с формой частиц?

4. При разработке экспериментальных исследований магнитно-абразивной обработки керамических режущих пластин не рассматривался вопрос стойкости абразивных частиц, и не была указана периодичность замены магнитно-абразивный порошка в рабочем пространстве.

5. При обработке керамических режущих пластин марки ВОК-60 измерения шероховатости проводились по передней и задней поверхностям инструмента. В дальнейшем шероховатость поверхности R_a сводится к одному общему значению, в связи с чем, не до конца понятно: имеются ли различия в шероховатости передней и задней поверхностей обработанных керамических пластин, а если да, то почему рассматривается только один из них?

6. Автор, ссылаясь на источники, указывает, что минимальное значение толщины среза, которое позволяет реализовать процесс резания в выгодных условиях при обеспечении достаточной жесткости технологической системы находится в пределах $a = (0,2 \div 0,4)\rho$. При этом он рекомендует значения $\rho = 20 \div 40$ мкм при глубине резания 0,05 мм или 50 мкм. В этом случае кроме срезания припуска будет иметь место процесс поверхностно-пластического деформирования с натягом $6 \div 12$ мкм, что и обеспечивает уменьшение шероховатости.

7. Однако процесс поверхностно-пластического деформирования с натягом $6 \div 12$ мкм создает некие остаточные напряжения в материале детали, о которых в работе не показано.

8. Процесс круглого шлифования включает после достижения заданного размера еще и выхаживающие ходы, при которых срезается бочкообразность, получившаяся под действием радиальной составляющей силы резания. В предложенном процессе таких ходов не предусмотрено. Автор не показывает значение погрешности формы штока в продольном направлении.

9. По ГОСТ самый большой радиус вершины у квадратных пластин из ВОК 60 составляет 1,6 мм. Тогда согласно схеме, показанной на рис. 14, б получаем $R_a = \frac{s^2}{8Ru} = \frac{0,1^2}{8 \times 1,6} = \frac{0,01}{12,8} = 0,00078 \text{ мм} = 0,78 \text{ мкм}$, что больше допустимого. Из работы неясно, как автор обошел это положение.

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования и важности основных полученных результатов.

7. Заключение по диссертации

По содержанию, новизне, практической и теоретической значимости и целостности полученных результатов диссертация Попова М.А. является законченной научно-квалификационной работой, посвященной актуальной задаче обеспечения технологического качества прецизионных изделий из хладостойких сталей.

Диссертация «Технологическое обеспечение качества поверхности прецизионных изделий из хладостойких сталей на основе магнитно-абразивной обработки режущего инструмента», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – Технология машиностроения, полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор **Попов Максим Алексеевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – Технология машиностроения.

Заслуженный деятель науки и техники РФ, профессор кафедры технологии машиностроения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет»

Доктор технических наук, профессор

Ямников Александр Сергеевич

Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет»

Почтовый адрес: 300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92

Официальный сайт в сети Интернет: <https://tsu.tula.ru>

эл. почта: info@tsu.tula.ru телефон: +7 (4872) 44-44

