

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 621.921

Анализ возможных механизмов управления надежностью виброабразивной обработки

А.А. Прокопец, К.А. Захарьянц, С.М. Хидешели

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

Рассматриваются пути обеспечения показателей надежности изделий, зафиксированных в конструкторской документации. Подчеркивается важность технологических факторов для достижения этой надежности. Выделяется необходимость деления данной задачи на две подзадачи: обеспечение необходимого уровня надежности технологической операции и поддержание этого уровня в процессе ее реализации (стабильности) на всех этапах. Обсуждается роль первоначальной наладки и последующей подналадки технологической системы в поддержании стабильности технологической операции. Также демонстрируется решение задачи обеспечения надежности технологической операции на примере виброабразивной обработки.

Ключевые слова: надежность, стабильность, вибрационная обработка, наладка, подналадка, технологическая операция

Для цитирования. Прокопец А.А., Захарьянц К.А., Хидешели С.М. Анализ возможных механизмов управления надежностью виброабразивной обработки. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(4):49–53.

Analysis of the Possible Methods of Managing Reliability of Vibroabrasive Machining

Anatoly A. Prokopets, Kristina A. Zakharyants, Stanislav M. Khidesheli

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation Annotation.

Abstract

The article investigates the ways of ensuring the product reliability parameters recorded in the design documentation. The importance of technological factors for achieving the above reliability is emphasised. The need to divide this task into two subtasks is highlighted: ensuring the required level of technological operation reliability and maintaining this level (stability) at all stages of operation. The role of the initial setup and subsequent fine-tuning of the technological system in maintaining stability of the technological operation is discussed. Moreover, the solution to the problem of ensuring the reliability of the technological operation is demonstrated on the example of vibroabrasive machining.

Keywords: reliability, stability, vibration machining, set-up, fine-tuning, technological operation

For Citation. Prokopets AA, Zakharyants KA, Khidesheli SM. Analysis of the Possible Methods of Managing Reliability of Vibroabrasive Machining. *Young Researcher of Don*. 2025;10(4):49–53.

Введение. Надежность любого изделия [1] напрямую зависит от надежности технологического процесса его изготовления. Отсюда вытекает актуальность прогнозирования надежности этих процессов. Однако разработка универсальной методики для такого прогнозирования в настоящее время представляет собой значительную сложность, так как при проведении этих исследований необходимо учитывать множество аспектов и ограничений, а также зачастую требуется обширный объем экспериментальных или теоретико-экспериментальных исследований.

Надежность изделия закладывается на этапе конструкторской подготовки производства (КПП), когда определяются условия эксплуатации, виды и схемы нагружения изделия, просчитываются прочностные характеристики, выбирается материал деталей и другие важные параметры. В результате к технологу поступает конструкторская документация, представляющая собой комплексную размерно-информационную модель изделия. На этапе технологической подготовки производства (ТПП) проектируются технологические процессы и соответствующие операции, связанные с изготовлением деталей, их контролем и непосредственно самим процессом изготовления, а также проектируется необходимое технологическое оснащение и иные элементы.

Описание проблемы. Вопросы обеспечения надежности на этапе КПП проработаны достаточно хорошо и обеспечены методическими указаниями, а также системой ГОСТов [2]. В ТПП эти вопросы исследованы значительно менее глубоко, хотя разработан ряд теоретико-экспериментальных методик, позволяющих рассчитывать технологические параметры, которые обеспечивают заданные эксплуатационные свойства деталей и узлов. КПП является важнейшим этапом, способствующим обеспечению качества изделия: в процессе его изготовления необходимо соблюдать не только заданный уровень (номинал) качества, но и устойчивость этого качества при реализации технологического процесса.

Таким образом, при обеспечении надежности технологического процесса (или технологической операции) изготовления изделия решение задачи делится на две части. В первой выявляются условия, позволяющие обеспечить заданный уровень качества при его изготовлении (номинальное значение). Во второй части необходимо гарантировать стабильность этого качества во времени (поле рассеяния показателя качества) при реализации технологической операции, чтобы значения показателей качества находились в пределах установленных допусков. Наиболее сложной и информационно насыщенной является именно вторая часть работы.

Основная часть. На надежность технологической операции оказывает влияние множество факторов, включая:

- требуемый уровень качества изготавливаемого изделия (допуски на соответствующие показатели качества);
- конструктивные особенности деталей и их материал;
- цель обработки (формообразующая, отделочная, упрочняющая и так далее);
- вид обработки (черновая, чистовая, тонкая и др.);
- место операции в технологическом процессе;
- физико-механические процессы, протекающие в процессе обработки (резание, пластическая деформация и т. д.);
- стойкость инструмента [3];
- степень механизации и автоматизации технологической операции;
- степень исследованности процесса обработки и другие параметры.

Рассмотрим возможность управления надежностью технологической операции на примере виброабразивной обработки (ВиАО) [4, 5]. Это отделочная обработка, основанная на применении низкочастотных вибраций, которая используется в производстве деталей машиностроения, авиастроения, приборостроения и других областях. На рис. 1 представлена установка для вибрационной абразивной обработки деталей — вибрационная горизонтальная установка, содержащая четыре камеры объемом по 10 л каждая (УВГ 4×10).

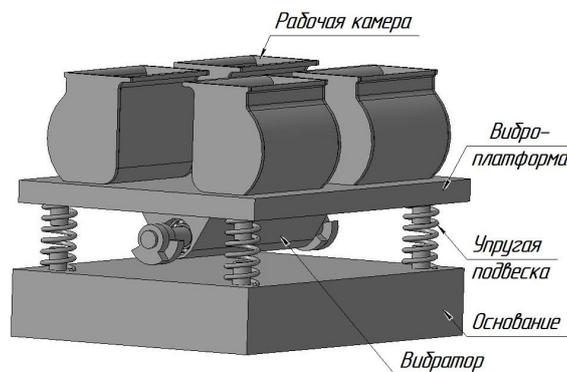


Рис. 1. Станок для ВиАО (система промывки и двигатель условно не показаны)

ВиАО (вибрационная абразивная обработка) обладает широкими технологическими возможностями, позволяя обрабатывать детали из различных материалов, сложной конфигурации и различных размеров, а также обеспечивая высокое качество поверхности [4–6] и множество других преимуществ. Она реализует различные схемы обработки, однако устройство для ВиАО всегда включает контейнер(ы), заполняемый рабочей средой, вибратор и упругие элементы (рис. 1). В рабочие камеры загружается абразивная рабочая среда и обрабатываемые детали внавал (масса загрузки). Под воздействием направленных вибраций масса загрузки перемещается по определенной траектории, обеспечивая скольжение частиц рабочей среды по поверхности обрабатываемых деталей с врезанием на небольшую глубину и съёмом микростружки с поверхности.

Технологическая операция, как правило, включает в себя несколько этапов, включая первоначальную наладку и периодические подналадки технологической системы. Первоначальная наладка технологической системы ВиАО включает установку рабочих камер (при использовании однокамерных станков этот этап может отсутствовать), загрузку в рабочую камеру среды необходимых характеристик (инструмента), заливку технологической жидкости в систему промывки и настройку технологической системы, устанавливающую режимы обработки (амплитуды A (мм) и частоты ν (Гц) колебаний рабочей камеры), скорости промывки (л/час), а при автоматизированной обработке – время обработки (мин) и другие параметры. Реализация всех этих этапов определяет заданный уровень качества детали. На рис. 2 показан результат анализа структуры технологической системы ВиАО.



Рис. 2. Структура технологической системы вибрационной абразивной обработки

Для поддержания уровня надежности технологической системы в процессе её работы, то есть стабильности результата обработки, можно применять различные способы. Например, наиболее часто используемый приём — это периодическое выполнение подналадки технологической системы для восстановления параметров первоначальной наладки. Частота (периодичность) подналадок зависит от стабильности наиболее изменяющихся параметров технологической операции. При хорошей стабильности технологической операции подналадка может не потребоваться.

На рис. 3 представлена зависимость, подтверждающая однозначную связь изменения установившейся шероховатости при обработке образцов из сплава Д16 от объёма рабочей среды, обусловленного её износом. Обработка проводилась на установке УВГ4×10 (рис. 1).

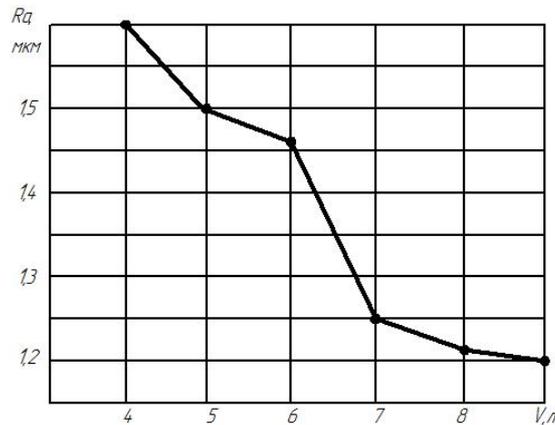


Рис. 3. Графическая зависимость, показывающая изменение установившейся шероховатости поверхности призматического образца из сплава Д16Т от изменяющегося в связи с износом объёма загрузки рабочей камеры при виброобработке

Особенностью ВиАО является возможность обработки мелких деталей партиями. Партия может содержать как одинаковые, так и разные детали при соблюдении определенных ограничений, таких как соразмерность, близость физико-механических свойств материала, общее назначение обработки и некоторые другие.

Подналадка технологической системы ВиАО может включать восстановление режущей способности рабочей среды благодаря восстановлению объёма загрузки или изменению режима обработки, например, изменению амплитуды колебаний рабочей камеры или скорости промывки массы загрузки; также возможна полная замена рабочей среды. Такая подналадка обеспечит стабильность значений заданных показателей качества и позволяет оптимизировать время обработки. Рассмотрим условия ВиАО, при которых тот или иной путь считается приоритетным.

Восстановление объёма загрузки рабочей камеры осуществляется досыпанием рабочей среды до заданного технологией объёма. Этот вариант становится приоритетным, если скорость износа рабочей среды велика и предельное значение износа достигается за время, значительно меньшее, чем время технологической операции. Восстановление объёма загрузки рабочей среды может происходить без остановки выполнения технологической операции.

Изменение режима обработки становится целесообразным при соизмеримой или малой длительности технологической операции и скорости износа рабочей среды. В этом случае незначительное увеличение амплитуды колебаний рабочей камеры (при возможности её плавного изменения) позволит стабилизировать режущую способность рабочей среды. При наличии автоматизации процесса обработки возможно плавное изменение амплитуды колебаний рабочей камеры согласно закону, который коррелирует с законом изменения режущей способности рабочей среды со временем.

Полная замена рабочей среды — наименее приоритетный вариант, так как требует полной остановки технологической операции, выгрузки рабочей среды и обрабатываемых деталей (при многодетальной обработке внавал), их сортировки и последующей загрузки в рабочую камеру. Данный метод применяется при высокой скорости износа среды или исчерпании ресурса частичной замены среды и является наиболее трудоемким.

Изменение скорости промывки массы загрузки напрямую влияет на режущую способность рабочей среды, которая, в свою очередь, зависит от мгновенной концентрации технологической жидкости в массе загрузки и её смазывающей способности, поскольку рабочая среда проявляет свойства вязкой псевдожидкости. В целом скорость циркуляции массы загрузки в рабочей камере зависит от значительного количества факторов, включая: форму и размеры частиц рабочей среды, зернистость, объём загрузки, режим обработки, размеры и массу обрабатываемых деталей (заготовок), химический состав технологической жидкости и скорость промывки.

Таким образом, изменяя любой из параметров этих элементов, можно управлять режущей способностью рабочей среды. Кроме того, для управления надежностью технологической операции ВиАО существуют другие подходы. Например, можно проводить контроль и изменение поля рассеяния параметров качества заготовок на входе в технологическую систему или применять адаптивное управление технологическим процессом.

Изменение влияния разброса параметров качества заготовок возможно, например, через сортировку на группы и внесение соответствующих изменений в режим обработки (время обработки, амплитуда колебаний рабочей камеры и другие). Для ВиАО такими параметрами могут служить исходная шероховатость деталей, размеры удаляемых заусенцев, радиус скругления кромок и другие. Можно комбинировать цели обработки, например, возможно задание задачи по удалению заусенцев с последующим скруглением кромок. В этом случае выделяется элемент, который оказывает наибольшее влияние на надежность обработки.

В некоторых случаях увеличение надежности отдельных элементов технологической операции, особенно с учетом строгих требований к показателям качества, не приводит к желаемому результату. В таких ситуациях единственным путём обеспечения стабильности процесса обработки становится адаптивное управление. Для использования системы адаптивного управления с обратной связью необходимо определить параметр, по результатам контроля которого можно адекватно управлять стабильностью процесса. В качестве такого параметра контроля можно предложить использовать величину давления режущего элемента на поверхность датчика или скорость циркуляции массы загрузки, либо уменьшение размера частицы рабочей среды. Управлять процессом можно любым из ранее рассмотренных методов. Изменение величины амплитуды колебаний рабочей камеры представляет собой один из наиболее удобных и экономически целесообразных путей.

Заключение. Таким образом, анализ структуры ВиАО и факторов, влияющих на надежность процесса, показывает, что существует несколько путей обеспечения этой надежности. Однако выбор конкретного пути требует тщательного анализа входных и ограничивающих факторов, обоснования этого выбора и, зачастую, экспериментального подтверждения оптимальности.

Список литературы

1. ГОСТ 27.002-89. *Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения.* URL: <http://expromtrans.ru/assets/images/uploads/gost-27-002-89.pdf> (дата обращения: 01.03.2025).
2. ГОСТ 27.503-81. Методы оценки показателей надежности. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/59263/?ysclid=mcxa0pdaib309282359> (дата обращения: 01.03.2025).
3. Прокопец А.А. Анализ механизмов износа рабочей среды при виброабразивной обработке. *Вестник Донского государственного технического университета.* 2010;10(1(44)):64–69.
4. Бабичев А.П., Бабичев И.А. *Основы вибрационной технологии.* Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ; 2008. 694 с.
5. Бабичев А.П., Мотренко П.Д., Гиллеспи Л.К. и др. *Применение вибрационных технологий на операциях отделочно-зачистной обработки деталей.* Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ; 2010. 289 с.
6. Тамаркин М.А. *Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами.* Дис. док. тех. наук. Ростов-на-Дону; 1995. 32 с.

Об авторах:

Анатолий Александрович Прокопец, ведущий инженер кафедры технологии машиностроения Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), i@aa-pro.ru

Кристина Александровна Захарьянц, магистрант кафедры технологии машиностроения Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), trygix@yandex.ru

Станислав Мерабович Хидешели, бакалавр кафедры технологии машиностроения Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), frodosambek@gmail.com

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Anatoly A. Prokopets, Lead Engineer of the Mechanical Engineering Technology Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), i@aa-pro.ru

Kristina A. Zakharyants, Master's Degree Student of the Mechanical Engineering Technology Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), trygix@yandex.ru.

Stanislav M. Khidesheli, Bachelor's Degree Student of the Mechanical Engineering Technology Department, Don State Technical University (344003, RF, Rostov-on-Don, sq. Gagarin,1), frodosambek@gmail.com

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.