

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 621.9.048

Оценка качества микрогеометрии наплавленных поверхностей при вибрационном точении

Е.А. Кудинов, А.А. Владимиров

Старооскольский технологический институт имени А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСИС», г. Старый Оскол, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрен процесс механической обработки наплавленных поверхностей методом вибрационного точения с вынужденными тангенциальными колебаниями маятникового типа и определено их влияние на процесс обработки. Проанализированы микропрофили обработанных поверхностей и установлены оптимальные диапазоны параметров обработки поверхностей, восстановленных методом электродуговой наплавки.

Ключевые слова: амплитудно-частотные параметры, эксплуатационные характеристики, профиль микронеровностей, шероховатость поверхности, опорный коэффициент поверхности, площадь контакта, период приработки

Для цитирования. Кудинов Е.А., Владимиров А.А. Оценка качества микрогеометрии наплавленных поверхностей при вибрационном точении. *Молодой исследователь Дона*. 2024;9(3):23–27.

Assessment of the Quality of Microgeometry of Deposited Surfaces during Vibration Turning

Egor A. Kudinov, Aleksandr A. Vladimirov

Ugarov Sary Oskol Technological Institute (branch) of the National University of Science and Technology "MISIS", Sary Oskol, Russian Federation

Abstract

The process of mechanical processing of deposited surfaces using the method of vibration turning with forced tangential oscillations of the pendulum type is examined. Their impact on the processing process is assessed. Microprofiles of the treated surfaces are analyzed, and optimal ranges of parameters for the treatment of surfaces restored using the electric arc surfacing method are determined.

Key words: amplitude-frequency parameters, operational characteristics, microroughness profile, surface roughness, surface reference coefficient, contact area, running-in period

For citation. Kudinov EA, Vladimirov AA. Assessment of the Quality of Microgeometry of Deposited Surfaces during Vibration Turning. *Young Researcher of Don*. 2024;9(3):23–27.

Введение. В современной промышленности восстановление деталей, узлов и механизмов оборудования занимает значительную долю в общем количестве ремонтных технологических процессов, поскольку оно снижает стоимость эксплуатации дорогостоящих изделий и механизмов. Восстановленные рабочие поверхности деталей близки к новым по эксплуатационным характеристикам, а в некоторых случаях и при определенных условиях эксплуатации превосходят их.

Одним из перспективных методов восстановления рабочих поверхностей деталей машин и механизмов является электродуговая наплавка покрытий из порошковой проволоки. Этот метод восстановления заключается в наплавлении на геометрию изношенной детали проволоки с требуемым химическим составом при определенных условиях. Таким образом осуществляется восстановление исходных размеров рабочих поверхностей деталей механизмов для последующей механической обработки и отправки заказчику. Различные химические составы в виде спеченных под высоким давлением порошков выбираются в зависимости от требуемых условий работы детали.

После проведения операции наплавки покрытия необходимо осуществить механическую обработку поверхности для получения требуемой геометрии изделия, которая затруднена из-за высоких физико-механических характеристик наплаваемого материала порошковой проволоки, такие поверхности деталей имеют повышенные твердость и вязкость, они трудно обрабатываются.

Предлагаемым способом решения этой проблемы является применение современных методов механической обработки металлов, в частности метода вибрационного точения. Рациональный выбор режимов вибрационного точения позволяет повысить производительность процесса, обрабатываемость материала, улучшить качество получаемой поверхности и снизить износ режущего инструмента. В связи с этим целью данного исследования является определение оптимальных диапазонов амплитуд и частот процесса вибрационного точения.

Основная часть. В качестве объекта исследования выступает процесс механической обработки наплавленных поверхностей с наложением вынужденных низкочастотных колебаний маятникового типа к вершине пластины режущего инструмента. Материалы для проведения экспериментов — образцы из стали 20X13 с наплавленными покрытиями из порошковой проволокой марки ASM 4603-SA (III) со средней измеренной твердостью по HRC 51-54. Наплаваемый слой имеет следующий химический состав (таблица 1).

Таблица 1

Химический состав наносимого легирующего покрытия

Название химического элемента	Cr (хром)	W (вольфрам)	Mn (марганец)	Mo (молибден)	V (ванадий)	Fe (железо)
Процентное содержание элемента, %	6,5	2,6	2,0	1,5	1,1	84,0

Оставшуюся долю элементов составляют углерод, никель, кремний и примеси серы и фосфора до 0,5 %, проникающие в состав нижних слоев покрытия в процессе диффузии во время наплавления состава на поверхность заготовки.

При вибрационном точении к поперечному и продольному движениям подачи добавляются также вынужденные маятниковые тангенциальные колебания вершины инструмента относительно нуля системы координат станка. На рис. 1 приведена схема колебаний режущего инструмента во время обработки. Вершина режущего инструмента проходит три положения: нулевое (P_0), верхнее, или рабочее (P_{+1}), и нижнее, или обратное (P_{-1}). Обработка вершины инструмента начинается в нулевом положении, после чего поднимается до верхнего положения и начинает опускаться в нижнее положение, пересекая нулевую точку, затем цикл колебания возобновляется, таким образом режущий инструмент добавляет дополнительные вибрационные перемещения к основным движениям при механической обработке [1].

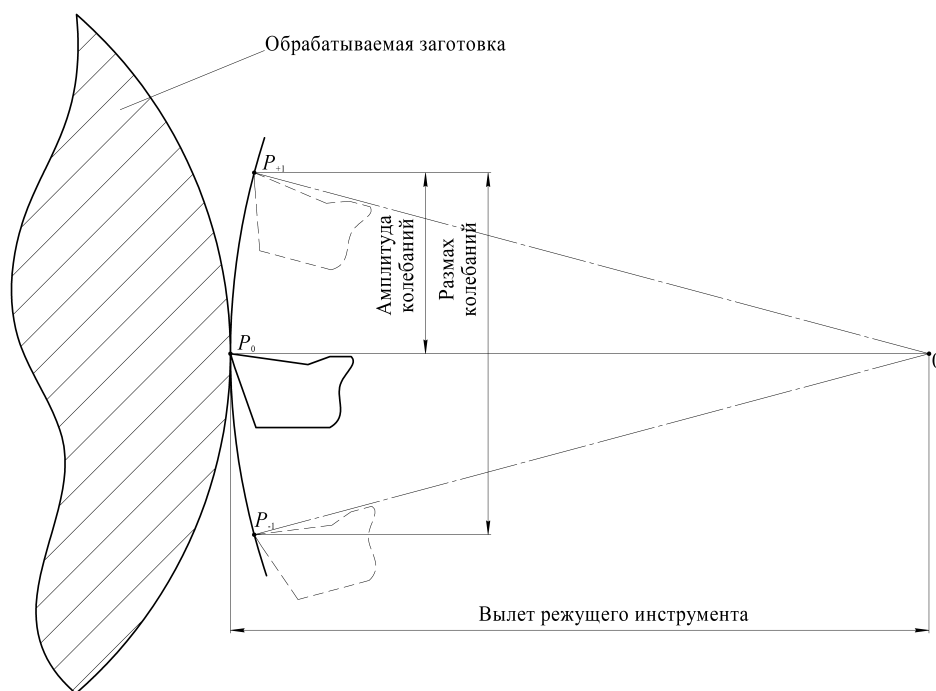


Рис. 1. Геометрия движения режущего инструмента при формировании профиля микронеровностей обрабатываемой поверхности

При обработке образцов с наплавленными наружными поверхностями при помощи вибрационного точения были выбраны следующие режимы обработки: скорость резания $V = 61$ м/мин, продольная подача инструмента $S = 0,024\text{--}0,2$ мм/об, глубина формирования микронеровностей $t = 0,5$ мм, амплитуда колебаний $A = 50\text{--}150$ мкм, частота колебаний $f = 24\text{--}72$ Гц [2]. Из диапазона этих значений были сформированы 27 различных режимов, на которых осуществлялась обработка наплавленных образцов, после чего полученные поверхности анализировались по двум критериям, измеренным на профилометре TR200: средняя шероховатость и опорный коэффициент поверхности [3].

После сравнения и анализа поверхностей был определен диапазон параметров с постоянной подачей инструмента, равной $0,057$ мм/об, который обеспечивал минимальную шероховатость поверхности в данной серии экспериментов. В этот диапазон включены девять режимов обработки с изменяющимися значениями амплитуды и частоты колебаний. Дальнейший анализ осуществлялся для выбора амплитудно-частотных параметров вибрационного точения. Для комплексного сравнения и анализа амплитудно-частотных параметров был применен пакет прикладных программ MATLAB, в котором были построены трехмерные графики поверхностей. Осями координат являлись диапазоны амплитуд и частот колебаний, значения исследуемых параметров средней шероховатости и опорного коэффициента поверхности.

На рис. 2 приведен график трехмерной поверхности, на котором координатами являются показатели средней шероховатости поверхности после обработки, частота вращения заготовки, подача инструмента, глубина резания.

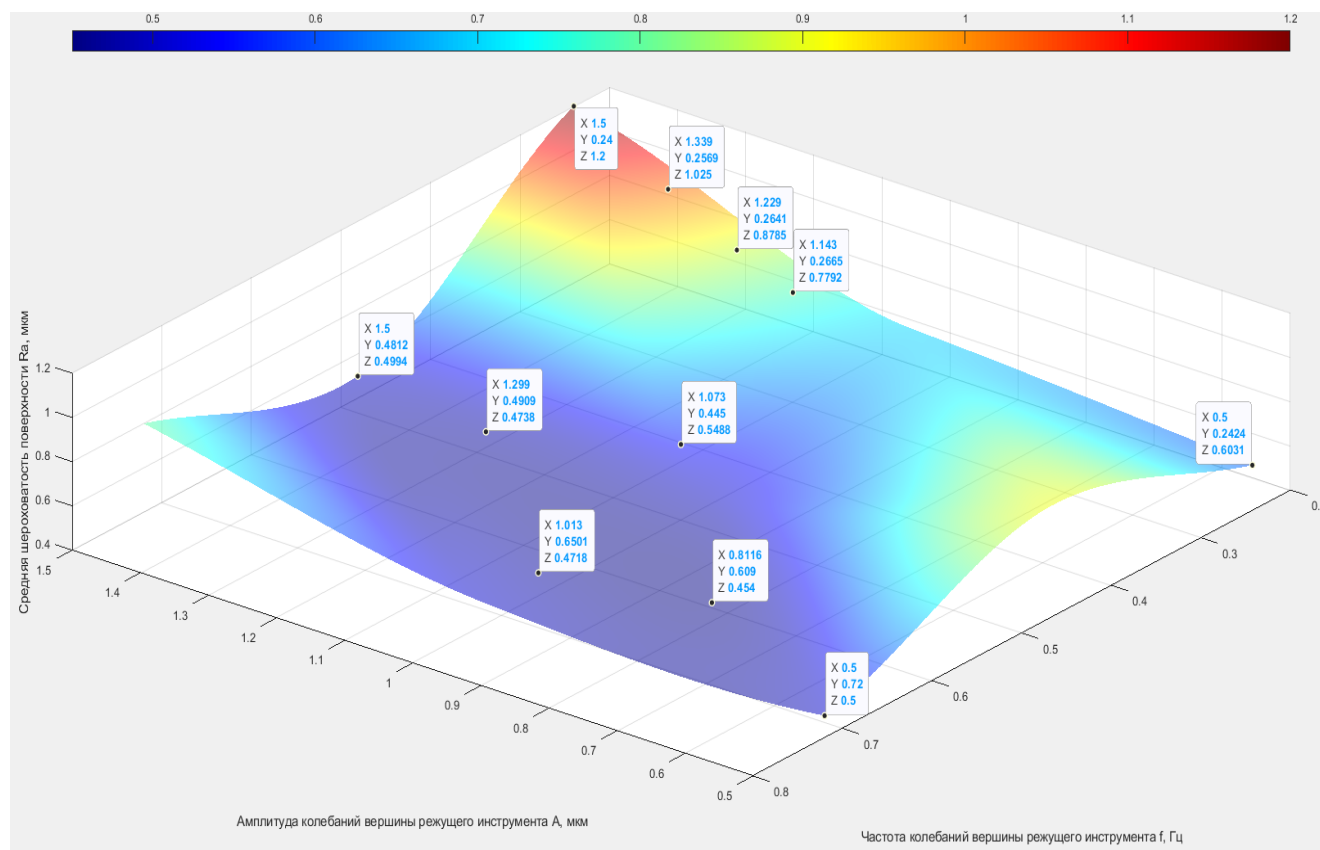


Рис. 2. Шероховатость поверхности образца, обработанного при подаче инструмента $S = 0,057$ мм/об

Значения таких параметров, как амплитуда и частота колебаний, изменялись от минимальных значений к максимальным для получения большего диапазона выходных данных для анализа.

На графике поверхности можно увидеть, что минимальная величина шероховатости измеряемой поверхности находится в области с амплитудой колебаний $0,81\text{--}1,5$ мкм и частотой колебаний $44\text{--}65$ Гц. При обработке с этими амплитудно-частотными параметрами средняя шероховатость поверхности находится в диапазоне $0,45\text{--}0,55$ мкм, такая величина шероховатости является соответствующей для тонкого точения.

На рис. 3 представлен график поверхности опорного коэффициента измеренной поверхности после обработки. Этот коэффициент выражает соотношение площади сечения материала профиля и площади сечения пустот профиля. Чем этот коэффициент меньше, тем ближе к максимальной точке шероховатости поверхности располагается большая часть микропрофиля поверхности и тем раньше начинается основной период эксплуатации изделия после приработки контактной поверхности [4].

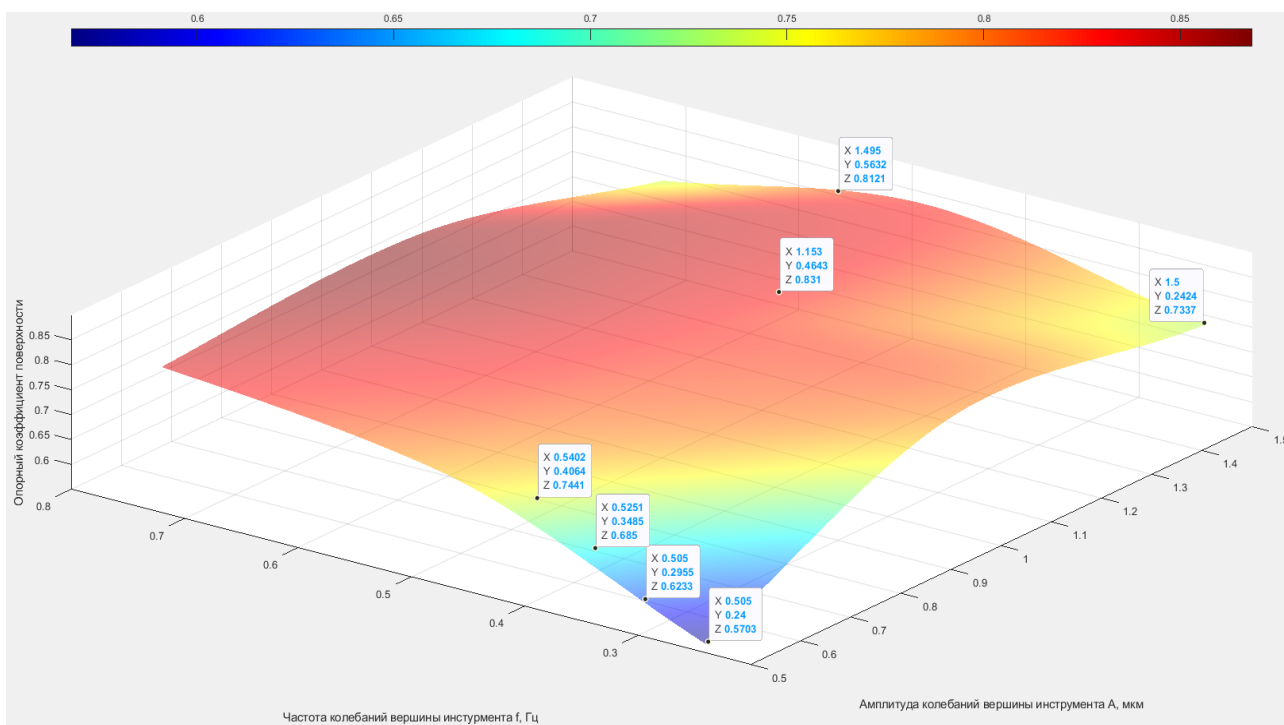


Рис. 3. Опорный коэффициент поверхности после обработки с подачей инструмента $S = 0,057$ мм/об

Таким образом, если опорный коэффициент стремится к нулю, то поверхность имеет максимально горизонтальную линию профильной кривой и постоянное значение параметра шероховатости [4]. Стоит отметить, что минимальные значения опорный коэффициент принимает при обработке поверхности с амплитудой и частотой колебаний 0,5 мкм и 24 Гц соответственно. При увеличении одного из этих параметров опорный коэффициент начинает уменьшаться, что приводит к отсутствию горизонтальности микропрофиля измеряемой поверхности и наличию большого числа случайных вершин шероховатости.

На рис. 4 представлен график опорного коэффициента поверхности, полученный при измерении микропрофиля с помощью профилометра, демонстрирующий стандартный вид этого эксплуатационного параметра поверхности.

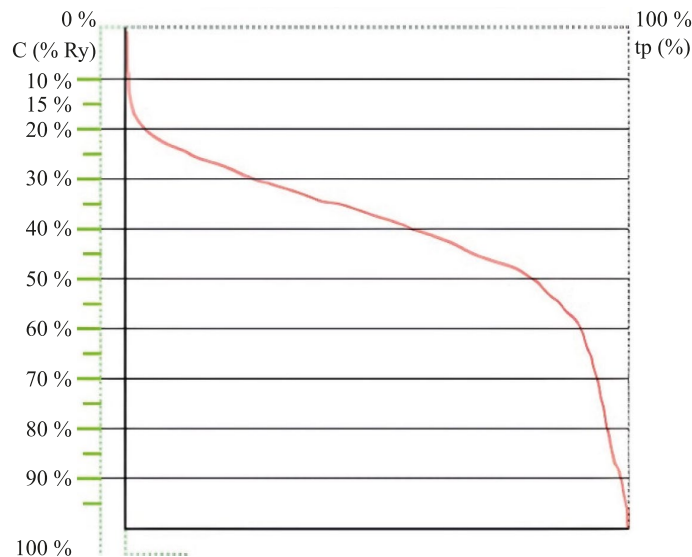


Рис. 4. График опорного коэффициента поверхности

Этот график наглядно показывает линию соотношения вершин и высот поверхности. Начиная с 50–60 % линия профиля поверхности занимает практически полную ее длину, измеряемую с помощью профилометра. Площадь под этой линией графика является тем слоем материала, который после окончания приработки поверхности детали будет эксплуатироваться во время основного периода ее работы до начала критического износа поверхности и уменьшения номинального размера детали.

Если соотнести графики поверхностей средней шероховатости и опорного коэффициента, то можно заметить, что при минимальных значениях шероховатости поверхности опорный коэффициент имеет значения свыше 80 %, это значит, что эксплуатация поверхности начнется с этого значения и для работы до начала уменьшения геометрических размеров придется всего 20 % поверхности, что меньше максимально возможной величины этого коэффициента, полученной при обработке с другими амплитудно-частотными параметрами резания.

Поэтому рациональным будет выбор режимов обработки, которые позволят обеспечить максимальное значение опорного коэффициента поверхности: амплитуда $A = 0,5$ мкм, частота $f = 24$ Гц. При таких условиях обработки опорный коэффициент будет составлять максимально возможное значение для постоянной подачи инструмента, а средняя шероховатость поверхности снизится на 0,2 мкм.

Заключение. В ходе исследования влияния амплитудно-частотных параметров на качество обрабатываемой поверхности были определены оптимальные диапазоны значений, при использовании которых возможно получить максимальное качество поверхности и меньшее число случайных вершин микропрофиля.

Таковыми режимами обработки являются частота вращения станка $n = 300$ об/мин, продольная подача инструмента $S = 0,057$ мм/об, глубина формирования микрогеометрии $t = 0,5$ мм, амплитуда колебаний инструмента $A = 50–60$ мкм, частота колебаний инструмента $f = 24–30$ Гц.

При этих параметрах обработки эксплуатационные характеристики поверхности принимают следующие значения: средняя шероховатость поверхности $Ra = 0,6–0,64$ мкм, опорный коэффициент поверхности $K_{оп} = 57–63$ %.

Поверхность с такими параметрами будет требовать меньше времени на приработку поверхности, что увеличит период основного времени работы изделия, а опорный коэффициент обеспечит большую площадь контакта поверхности с ответной деталью при трении.

Список литературы

1. Сергиев А.П., Швачкин Е.Г. Исследование оптимального соотношения параметров колебаний при вибрационном резании. *Вестник машиностроения*. 2004;5:49–53.
2. Владимиров А.А., Сергиев А.П. Влияние амплитуды колебаний на составляющие функции комплексного вибрационного воздействия низкочастотных колебаний. *Известия ВолгГТУ*. 2018;7(217):13–16.
3. Кудинов Е.А., Владимиров А.А., Макаров А.В., Шаповалов А.И. К вопросу о моделировании опережающей трещины при виброточении. *Транспортное машиностроение*. 2022;3(3):4–15.
4. Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Гаврилюк В.С. Триботехника: учебное пособие. 2-е изд., стер. Москва: КНОРУС; 2013. 38–46 с.

Об авторах:

Кудинов Егор Алексеевич, студент кафедры технологии и оборудования в металлургии и машиностроении имени В.Б. Крахта Старооскольского технологического института имени А.А. Угарова НИТУ «МИСИС» (309516, РФ, г. Старый Оскол, микрорайон Макаренко, 42), ekudinov81@gmail.com

Владимиров Александр Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта Старооскольского технологического института имени А.А. Угарова НИТУ «МИСИС» (309516, РФ, г. Старый Оскол, микрорайон Макаренко, 42), vladimirov.al.an@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Egor A. Kudinov, Student of the Department of Technology and Equipment in Metallurgy and Mechanical Engineering named after. V.B. Krakht, Ugarov Stary Oskol Technological Institute (branch) of the National University of Science and Technology “MISIS” (42, Makarenko Microdistrict, Stary Oskol, 309516, RF), ekudinov81@gmail.com

Aleksandr A. Vladimirov, Cand. Sci (Eng.), Associate Professor of the Department of Technology and Equipment in Metallurgy and Mechanical Engineering named after. V.B. Krakht, Ugarov Stary Oskol Technological Institute (branch) of the National University of Science and Technology “MISIS” (42, Makarenko Microdistrict, Stary Oskol, 309516, RF), vladimirov.al.an@yandex.ru

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.