

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»
(наименование кафедры)

15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных
производств

(код и наименование направления подготовки)

Технология автоматизированного машиностроения

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: «Анализ закономерности шероховатости при обработке блока цилиндров
хонинговальными головками»

Студент	<u>В.В. Драгунцов</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Научный руководитель	<u>Н.М. Бобровский</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Консультанты	<u>В.Г. Виткалов</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., доцент Н.М. Бобровский _____ (личная подпись)
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)
« _____ » _____ 20 _____ Г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент Н.Ю. Логинов _____ (личная подпись)
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)
« _____ » _____ 20 _____ Г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Исследование кинематических процесса хонингования внутренних цилиндрических поверхностей	6
1.1. Основа метода хонингования и отрасли его применения	6
1.2. Воздействие технологических показателей на качественные параметры при обработке алмазными брусками	9
1.3. Исследование базового метода обработки классическим хонингованием	15
2. Траектория растрового движения в производственной линии его анализ и параметры	18
2.1. Обработка цилиндрических поверхностей растровым методом	18
2.2. Время появления траектории с растровой кинематикой величина кадра	21
2.3. Растровое движение исследование траектории кинематики	26
3. Кинематические схемы оборудования, способы проведения исследований и разновидности абразивных брусков	29
3.1. Оборудование для проведения опытов «Nagel»	29
3.2. Хон головки и разнообразие хонинговальных брусков	36
4. Растровый способ хонингования опыт и исследования	42
4.1. Сравнительный анализ методов хонингования рабочего движения	42
4.2. Факторы, влияющие на исследования технологических процессов на базовом процессе обработки блока цилиндров	45
4.3. Формирование шероховатости в процессе хонингования исследование технологических процессов	51
5. Исследование в области качества обработанных поверхностей с помощью растрового движения	65
5.1. Обработка стенок цилиндров исследование влияния параметров станка на погрешность геометрической формы	65

5.2. Исследования в технологии процесса хонингования цилиндрических поверхностей для повышения точности обработки	71
5.3. Микронеровности и методы влияния на ее параметры	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	79
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	81
ПРИЛОЖЕНИЕ	85

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире, где главную роль играет время, необходимо создавать надежные и эффективные машины и механизмы, которые будут работать на высоких скоростях и знакопеременных нагрузках, изготовление оптимальных параметров качества и точности деталей и агрегатов. Таким образом возрастает потребность в доводочных операциях оканчивающих производство деталей.

Эксплуатационные характеристики компонентов станков контактирующие с деталью параметры: герметичность, усталость деталей, жесткость конструкции и т.д., больше зависят от свойств микронеровностей детали, отклонения геометрической формы, микропленка поверхности материала. Такие свойства достигаются на последних операциях. Что бы произвести оптимальную шероховатость с необходимыми техническими требованиями, стоит одна из главных технических задач, с помощью которой можно будет увеличить работоспособность и эксплуатационные свойства оборудования.

Передовым решением в доводочных операциях является операция хонингования, которая решает большой спектр проблем как при шлифовании, так и при суперфинишировании. Доводочные и хонинговальные операции широко вошли в процессы машиностроительных производств, помощь теоретическую и практическую оказывали ученые Е.Н. Маслова, Б.Г. Левина, М.С. Наермана, З.И. Кременя, Г.И. Панина, П.Н. Орлова, М.М. Хрущева, Ю.Н. Фрагина, П.И. Ящерицина, Ю.Б. Серебряника, И.Х. Чеповецкого, Р.Г. Кудоярова и многих других.

При обработки металлов используется огромный набор комплексов, инструментов которые в свою очередь делятся на лезвийные и абразивные. Лезвийный инструмент изготавливают из быстрорежущих сталей и твердых сплавов порошковой металлургии. Абразивный инструмент изготавливают из основы связки и самого состава частиц, который состоит из (синтетического алмаза либо кубического нитрида бора) так называемого КБН. На хонинговальных операциях бруски имеют большое пятно контакта с поверхностью обрабатываемой детали. Следовательно, силы и скорости обработки не высокие, то не возникает

температурных напряжений, они незначительны ими можно пренебречь. Таким образом не возникают остаточные напряжения, они минимальны. В итоге получаем отличного качества обработанную поверхность. Эволюция хонингования дискретно произошла с разработкой новых материалов для использования в хонинговальном процессе особенно в абразивной сфере материалов созданных на основе синтетики и нитрида бора. Отличные показатели данного материала при обработки поверхностей дало им дорогу в широко шагать в процессах хонингования. Сравнительный анализ показал, что такой абразивный инструмент значительно превосходит по всем параметрам таким как прочность, твердость, позволило решить массу технологических проблем, связанных с процессом хонингования. Цель работы - повышение качества обработки детали на линии «Nage1» блок цилиндров для ДВС 1,8 л. в технологическом процессе на обработку блока цилиндров заложены технические требования на соблюдение качества продукции данное требование жестко регламентирует параметры качества поверхности стенок цилиндров в особенности шероховатости и доведение кривой Аббота до оптимальных значений.

1. Исследование кинематического процесса хонингования внутренних цилиндрических поверхностей

1.1. Основа метода хонингования и отрасли его применения

Хонингование — процесс обработки в основном цилиндрических поверхностей, отделочная операция выведения геометрической формы путем удаления оставшихся припусков с предыдущей операции, с помощью операции хонингования можно добиться шероховатость поверхности $R_a = 0,63; 0,04$ и отклонением от цилиндричности и погрешности геометрической формы в пределах 5 мкм. На хонинговальной операции осуществляется кинематика с заданной траекторией данное движение включает в себя возвратно-поступательное движение, вращение вокруг оси, в радиальном направлении движение для создания давления на обрабатываемы стенки цилиндров. Процесс хонингования обычно сопровождается обильным поливом смазочно-охлаждающей жидкости в зону контактирования инструмента с поверхностью заготовки. С помощью смазочно-охлаждающей жидкости удаляются микрочастицы материала, уменьшается трение инструмента о поверхность что приводит к снижению температур в зоне резания и снижение износа инструмента.

Процесс хонингования за частую является последней технологической операцией. Хонингование как средство для достижения необходимого микрорельефа и точности цилиндров.

По сути своей процесс хонингования схож с процессом суперфиниширование.

Процесс хонингования и суперфиниширования все-таки имеют несколько отличий друг от друга, в пятне контакта поверхностей брусков с деталью. Суперфиниширование имеет демпфирующие элементы, которые позволяют сохранять погрешности поверхности при обработке. Хонингование применяют кинематику замыкания контакта позволяя исправлять погрешности поверхности геометрической формы.

Можно выделить несколько видов, описывающих знаков технологические процессы абразивной снятия материала брусками, относятся:

- 1) Контакт инструмента с поверхностью заготовки крупная;
- 2) Во время обработке на пятне контакта большая часть зерен находится во взаимодействии с поверхностью;
- 3) Движение абразивных зерен имеет сложную траекторию и сравнительно низкую скорость;
- 4) Небольшая температура на поверхности контакта с заготовкой, благодаря этому отсутствуют пережоги и остаточные напряжения.

Качественными параметрами обработки хонингованием являются точность геометрической формы и шероховатостью поверхности, износостойкость брусков.

Данные параметры имеют прямую зависимость от совмещения разных технологических характеристик, таким образом их можно разделить на несколько групп.

1. Параметры, обуславливающие технологические режимы процесса. Такие как:

- физико-механические свойства обрабатываемого материала,
- свойство брусков и их количество,
- габариты и конфигурации,
- схема наладки хонингования,
- характеристика работы,
- свойство смазочно-охлаждающей жидкости.

2. Характеристики, описывающие кинематику резания вид траектории рабочего движения, уровни и закономерности модификации скоростей и ускорений возвратно-поступательных движений инструмента и детали, характеризующие плотность и угол сетки траектории.

3. Параметры, обуславливающие движущиеся характеристики процесса (динамические параметры).

Закономерность изменения давления сопрягаемого поверхности цилиндра и инструмента, описывающие зависимости силы процесса резания главная зависимость в процессе хонингования является радиальная подача хонинговальной головки и совместного воздействия кинематики технологических параметров.

Алмазные бруски имеют следующие сведения, характеризующие их сведения о материале связки, зерне, концентрации абразива в связке, зернистости и габариты самого инструмента [1, 83, 105]. Инструмент подбирается на основе свойств обрабатываемой заготовки, от величины и шероховатости [76, 94, 109]. При подборе правильных брусков можно получить стабильные показатели по шероховатости и геометрической точности.

На выходные параметры влияют такие процессы как кинематика и динамика хонингования.

Имеется большой накопленный с годами опыт и много проведено исследований в сфере абразивного и алмазного хонингования в разных отраслях машиностроения.

В настоящее время, изучен достаточно большой массив данных о процессе хонинговании поставлены эксперименты над закономерностью процессов обработки хоним, также проводились различные опыты на взаимодействие зависящих друг от друга факторов, такие как кинематика станка и плотность сетки, микрорельеф обработанной поверхности качество изготавливаемой продукции [16, 25, 27, 32, 57, 89, 113 и др.]. В результате получены инструкции по наладке хонинговальной операции, комплекту характеристик брусков и параметров для точных обстоятельств изготовления детали [1,9, 10, 37, 76, 104, 105 и др.].

С появлением новых материалов в абразивной обработке и хонинговании множество различных новых слоев рабочих, разработаны новые процессы хонингования [22, 87, 94, 95, 103, 109], значительно увеличивши области его использования. С помощью синтетического алмаза (КНБ – кубического нитрида бора) возможно стало обрабатывать металлокерамику, легкие сплавы, чугуны, бронза, сырые стали и закаленные и др. [109]. Все еще остаются вопросы

открытыми по стабильности процесса, по точности и геометрической формы, шероховатости поверхности, производительности и экономической эффективности.

1.2. Воздействие технологических показателей на качественные параметры при обработке алмазными брусками.

Образование геометрических форм при хонинговании образуется при помощи микрорезания материала сразу наибольшим количеством абразивных зерен.

Деформация металлической структуры при микрорезании или при нанесении рисок на стенки поверхности состоит из сложных механико-кинематических движений, химических и физических показателей, которые появляются в зависимости от процесса в большей или меньшей степени. В основе физико-механических процессов хонингования явление абразивного износа твердых тел: изготавливаемых деталей и абразивного инструмента при их безусловном движении. В процессе хонингования в силу наибольшей твердости используемых абразивных брусков, в разы больше твердости обрабатываемого материала, превалирует механическая деструкция металлической поверхности в процессе микрорезания абразивными зернами [12, 98].

При обработке хон головками происходит износ микрослоя обрабатываемой детали от воздействия абразивных частиц на них данную область процесса хонингования исследовал И. В. Крагельским [29] в результате действия частиц абразива исполняла обдирание материала, что вело к пластическому и упругому деформированию металла.

По данным М. М. Хрущева и М. А. Бабичева [106], процессы, заложенные в абразивную обработку, сутью данного процесса является устранение от крошенного или удаленного металла с поверхности обрабатываемой детали и вывод данной частицы из области резания с помощью обильным пролитием СОЖ.

Итоги опытов различных материалов на стойкость к износам при различных методах абразивного износа, в абразивной массе, через абразивный слой и при трении об абразивные зерна представили, что, несмотря на непреодолимые различия режимов взаимодействия абразивных зерен с поверхностью материала, имеет много общего с изнашиванием материалов [101, 107]. Но по мнению В. Н. Кашеева [26, 20], присутствуют общие черты процессов абразивного разрушения твердых тел с разным состоянием абразивных частиц, из физических представлений о разрушении твердых тел, свободное зерно не будет действовать также на материал, как и жестко закрепленное. Степень удержания абразивных зерен воздействует на их способность производить непосредственную деструкцию материала, откладываясь в принципе обильного расходования [12, 13, 20, 106]. На основе данных полученных путем экспериментов Н. И. Богомоллова напряженность деструкции металла q от обычного давления P_y хонингования выводится формулой: $q = C^{m_0} P_y^a$ (1.1) где показатель степени $m_0 = 0,7 - 1$ и показывает способ фиксации абразива. В результате данных ученые пришли к выводам Н. Н. Хрущева и Н. А. Бабичева во время обработки металла и созданного трения на поверхности

$m_0 = 1$, а ввремя, когда абразив отрывается, и обработка происходит не закрепленными частицами абразива то степень примет значение $m_0 = 0,7 - 0,8$.

При хонинговании происходят различные деформации и деструкции обрабатываемого материала: упругое деформирование материала; пластическое деформирование материала; микрорезание. Способность того или иного вида деформирования обрабатываемого материала устанавливается отношением k / s [29, 44], где k – погружение на глубину абразивного зерна в металл; s — радиус вершины зерна. При этом, если $k / s < 0,02$, то происходит упругое отеснение при $0,02 < k/s < 0,5$ - пластическое деформирование материала, а при $k/s > 0,5$ - микрорезание.

Описанные выше процессы деформирования различаются друг от друга по числу воздействий, ведущих к разрушению материала. В зоне упругого контакта

число воздействий составляет $10 - 10^4$, при пластическом деформировании $10 - 10^4$, микрорезание происходит при единичном воздействии. Таким образом можно сделать вывод что определяющим производителем хонингования является микрорезание.

В процессе хонингования в итоге интенсивного пластического отеснения и малого выделения теплоты, слой на поверхности металла воздействует не большой наклеп и сопровождается остаточным напряжением сжатия [29, 46]. Внедрение напряженного слоя изменяется в зависимости от режимов обработки от 5 до 15 мкм, при этом наивысшим напряжением отмечены в тонком слое глубиной 1 – 1,5 мкм.

Деструкция материала при хонинговании проявляется физическими и химическими явлениями, включающимися в появлении оксидных пленок и адсорбционных слоев, воздействующих удалению металла перемещающимися абразивными частицами. Введение в состав охлаждающей жидкости ПАВ добавок увеличивает воздействие поглощающего пластифицирование поверхностного слоя материала вследствие эффекта Ребиндера [18, 86]. Таким образом уменьшается прочность металла, становится легче его пластическое деформирование и увеличивается качество произведенной поверхности.

В данной работе описаны результаты замеров механической, физической, химической работы в зависимости от срезаемой толщины и абразивной скорости обработки. Показывается тотальное направление на увеличения энергозатрат уменьшая толщину среза с увеличением скорости микрорезания. Механическая работа увеличивается в несколько раз, когда толщина обработки от 0,001 до 0,1 мм.

Что бы объяснить физические явления абразивной деструкции твердых материалов есть различные методы. Первый связан с отстранением от действительного процесса с помощью моделирования механики соприкосновения с поверхностью твердого тела с абразивными частицами. Второй метод моделирование механизма воздействия закрепленных или свободных зерен со слоем поверхности изготавливаемой детали.

Было проведено большое количество экспериментов микрорезания одним зерном [10, 44, 90, 97], помогающие раскрыть больше закономерностей процесса царапания. Рассматривая состояние в зоне пятна одного зерна с твердым материалом и указанием напряжений, сил, ведущих к деструкции обрабатываемого материала при разных режимах обработки. Большое количество исследований действия царапания металлов одним зерном открыли пути для более глубокого изучения сути физического процесса. Данный подход позволил выявить количественные усилия резания, воздействия, расходуемые на пластическое деформирование материала и потери на трения, а также тип и содержание износа абразива в зависимости от физических и механических параметров резания металла, формы и виды абразивных единичных частиц, скорости и различных факторов.

Однако, выявленные закономерности абразивной деструкции материала, полагающиеся на механическом видении взаимного действия одного зерна с целой поверхностью материала, не предоставляет всестороннего видения напряженного состояния в пятне контакта, ведущий материала к разрушению в границах неоднократного воздействия абразивных частиц на действительные процессы абразивной обработки. Кроме этого, при взаимном действии одиночного зерна с обрабатываемым материалом, маркеры процесса деструкции изучаются в зависимости от механико-физическим свойств только двух взаимно действующих твердых материалов. Во время хонингования на станке есть потребность одновременно изучать взаимодействие и параметры деструкции трех твердых тел: материала связки, абразива и материала детали.

Также вызывает огромный интерес труды ученых М.С. Наермана, С. А. Попова, И. Х. Чеповецкого и др. [56, 82, 108], изучающие теоретические и экспериментальные исследования движения пятна соприкосновения взаимодействия алмазно-абразивного инструмента с поверхностью материала на принципе теории упруго-пластического контактного воздействия абразивных поверхностей.

В пятне контакта абразива и алмазного бруска возникают одновременно происходит несколько действий: трение абразива о металл, без заметных следов на поверхности деформации; пластическое разведение металла без деструкции его; резание и отведение, микростружки сопровождающееся пластическим деформированием металла. Приоритетность процессов будет зависеть от поверхности режущего рельефа, свойств механической обработки металла и режимы пятна контакта воздействия инструмента на обрабатываемую поверхность.

Между алмазным бруском и поверхностью в пятне контакта обусловлено геометрией, зависят от ландшафта режущего бруска и начальной микронеровности обрабатываемой поверхности. В ряду стоят стандартные параметры микронеровности R_a и R - не маловажным считается параметры кривых опорных брусков и поверхности детали, и скругления микрорельефа и углы наклона профиля [56, 108]. В итоге изучения микрорельефа обрабатываемой поверхности брусков алмазных выявили, что рассредоточение алмазных частиц по высоте регулируется законом нормального распределения. Частицы алмазного зерна выступает над уровнем связки примерно 10% от диаметра зерен при зернистости 50/40 и 3-6% при зернистости 200/160-400/315. По данным М. С. Наермана и С. А. Попова [56] пластическое деформирование изготавливают приблизительно около 10% зерен, размещенных на рабочей поверхности брусков, таким образом количество абразивных частиц, производящих работу срезание стружки с поверхности материала, составляет 2 – 6% от всего количества зерен на рабочей поверхности алмазного бруска.

В данной диссертации [109] изучен оригинальный метод обследования пятна контакта абразивного бруска с обрабатываемой поверхностью с использованием бесцветных полимерных пленок толщина которых составляет около 25 мкм.

Данный метод помогает выявить реальное пятно контакта бруска с поверхностью, площадь упругого и пластического пятна соприкосновения алмазных частиц, площадь пятна фактической связки с поверхностью, количество работающих частиц, упругопластические, и упругие рабочих алмазных частиц и

разные параметры. Выявлено, что в движении после остановленного процесса нагружения увеличивается близость поверхностей детали с инструментом. При этом улучшается качества пятна контакта и зоны контакта связки.

В диссертации описаны итоги экспериментальных исследований характеристики соприкосновения поверхности детали с абразивным инструментом, типов деструкции алмазных частиц и их износ, еще тепловые явления при хонинговании в отношении от параметров алмазных брусков, параметров, физических механических свойств обрабатываемого металла и др.

Разложив итоги исследований выявлено, что при высоком давлении относительно увеличивается реальная площадь пятна алмазного бруска с поверхностью материала для всех зернистостей. Выявлено что при обработке стальных поверхностей действительная площадь соприкосновения растет меньше, чем при хонинговании чугуна.

Выявлены закономерности распределения пятен соприкосновения связей и алмазов. Обработывая чугунные поверхности брусками АС6 80/63-М1 площадь пятна абразивных частиц больше в несколько раз площадь пятна связки, а при хонинговании стальных поверхностей увеличивается площадь пятна связки. Анализ алмазных частиц на поверхности брусков, число упруго воздействующие выступающих (не режущих) и упругопластических, воздействующих (режущих) алмазных частиц указывает, что их зависимости от марки хонинговальных брусков, обрабатываемого металла и параметров обработки и другие параметры.

Наиболее интересны для изучения являются режущие частицы. С повышением прочности алмазов и зернистости увеличивается относительное количество рабочих зерен в движении. Так при резании чугуна брусками АСС 250/200-М2- 01-100%, число режущих зерен составляет 6,3-8,1%, при резании стали 2,0-3,0%, а для алмазов АС4 соответственно 3,4-4,8%; 0,7-0,8% от всего количества частиц на поверхности бруска.

Рассчитанные размеры соотносятся с результатами, описанными в работе [56]. Обработка хонингованием подвергается тепловым явлениям. Главным производителем тепла является внешнее трение и пластическая деформация.

Всеобщее тепловыделение и уравновешенная температура при обработке находятся в зависимости, от параметров инструмента и материала; режима и метода изготовления [37,109]. Выявлено, что при работе брусками из натуральных, искусственных алмазов и кубического нитрида бора в 1,5-2 раза общее выделение тепла меньше, чем при работе абразивными брусками. Таким образом алмазное хонингование сопровождается установившейся температурой около 40-50° С, при абразивном 95-100° С.

При работе абразивные и алмазные частицы бруска взаимодействуют в зависимости от параметров режимов резания по природе типам износа - адгезионно-усталостному, абразивному, диффузионному, механическому и др.[39]. При не большой скорости резания, таких как хонингование, абразивный износ сводится к нулю [26].

Главными типами выработки при хонинговании обуславливаются механическая деструкция абразивных частиц и разрушение связки [110]. Обработывая вязкие материалы (такие как сталь), тем временем проистекают действия диффузионного и адгезионного износа абразивных зерен в режимах плотного пятна соприкосновения и трения.

При помощи экспериментов были выявлено загрязнение алмазного инструмента воздействует не в итоге адгезионного закрепления связки с взаимодействующим материалом, а в результате наростов на алмазные частицы и механическое введение стружки в связку [97,110].

В брусках из кубического нитрида бора не выявлено нароста из-за их химического сходства с железом, у инструмента, изготовленного из кубонита и эльбора доля наростообразования мала, можно сделать вывод о их пригодности при изготовлении стальных поверхностей.

1.3. Исследование базового метода обработки классическим хонингованием

Обработка отверстия, с помощью доводки и хонингования при съеме стружки металла действием нескольких факторов таких как кинематика динамика технологичность и других факторов. Выявив отношение снимаемого материала с разными факторами, появляется возможность предугадать и распоряжаться настройками обработки цилиндров.

На сегодняшний день в обработке хонинговальными алмазными брусками таких деталей используются на операциях предварительных [77]. Все-таки и у этого инструмента есть свои недостатки округляют кромки и время работы не большое. Еще один кинематический способ удаления заусенцев [68], при движении хонинговальных частиц по не прямолинейной траектории по длине кромки перекрещивания. Такую модель процесса можно достичь растровым методом хонингования.

В теории и на практике образование геометрических форм точных отверстий с помощью хонингования и доводочных операций описан огромное количество материала [2, 3, 17, 21, 34, 104, 111]. Чтобы исправить эллипсность необходимо использовать четное число в хон головке брусков.

Так же нужно учитывать длину обрабатываемого отверстия. Для обеспечения равномерного износа и срезания стружки по длине, если использовать слишком короткие бруски, то это приведет к волнистости поверхности. Данный метод кинематики ведет к неравному движению и долгого контактирования точек со стенками обрабатываемой цилиндрической поверхности за один цикл поступательного перемещения [3, 21, 55, 75, 111]. Не равномерное контактирование находится в зависимости от многих кинематических и траектории параметры и геометрические формы: перебег инструмента, габаритный размер обрабатываемого отверстия либо цилиндра и режимов осевого вращения.

В некоторых трудах [9, 33, 37, 103] описано увеличение эффективности доработка изначальной погрешности геометрии поверхности с помощью алмазного хонингования. Это связано с тем, что любое несоответствие вызывает быстроту снятия слоя металла, для устранения погрешности. При первом проходе

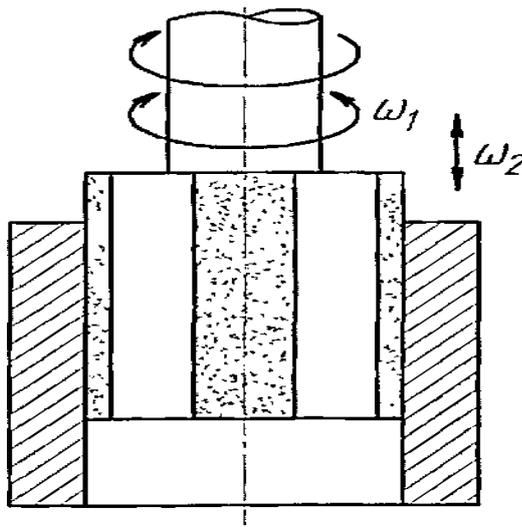
поверхности воздействуют друг на друга по локальным пятнам соприкосновения, на них образуется давление выше, чем номинальное. Чтобы доработать локальные несоответствия вдоль детали должно быть оптимальное соотношение длины хода инструмента его осцилляцию и задержку в нужных параметрах скоростях и давления [33, 49, 56, 69, 71, 81]. Для того чтобы повысить производительность начальной погрешности форм рационально будет увеличить жесткость инструмента и механизма разжима, а также учитывать силы резания и крутящего момента [2, 3, 3, 45, 70, 96].

За последнее время изучено теоретически и практически с целью увеличения точности и качества изготовления поверхностей управляемым хонинговальным процессом. В работах [17, 33, 34, 35, 69, 72] описывается, чтобы уменьшить начальные погрешности формы в процессе хонингования образуются новые погрешности, точность обработанных поверхностей. Появление погрешности формы являются причины неточности оборудования и его настройки, износ брусков по длине, не правильно подобранная кинематика. Для того чтобы достичь высоких результатов при алмазном хонинговании можно воспользоваться автоматическим управлением параметра, и настройка фактических требований обработки, при этом нужно обеспечить точность формы алмазных брусков. В работах [33, 34] рассказано, что распределив равномерно бруски по поверхности можно обеспечить шероховатость по всей длине и диаметру поверхности, улучшая долговечность брусков на 50% и точность. Рассеивание царапин зависит от режимов кинематической схемы хонингования, числа и габаритов брусков и геометрии обрабатываемой детали. Увеличение точности обработки с помощью хонинговальных процессов используются станки с ЧПУ [67] и управляющие программы, адаптированные под согласованное настраивание режимов кинематики и давление на поверхности обрабатываемой детали при хонинговании. Данный метод обеспечивает постоянство геометрической формы цилиндров в границах 0,004-0,005 мм, но все же для финишной обработки прецизионных отверстий недостаточно.

2. Траектория растрового движения в производственной линии его анализ и параметры

2.1. Обработка цилиндрических поверхностей растровым методом

Обработка цилиндров с использованием различных методов и способов хонингования осуществляется при помощи линий, расположенных в пределах «следа и следа» - «касание и касание», или в зависимости от точности нескольких относительных движений и нагрузок [33,102]. Формируя поверхности первого порядка, способом растровой кинематической абразивной доводкой хватает одного общего движения для образования форм, но для обработки цилиндрической поверхности второго порядка требуется две динамики для образования форм. Во-первых, это обуславливается тем, что образование плоскостей поверхность является производящей линией



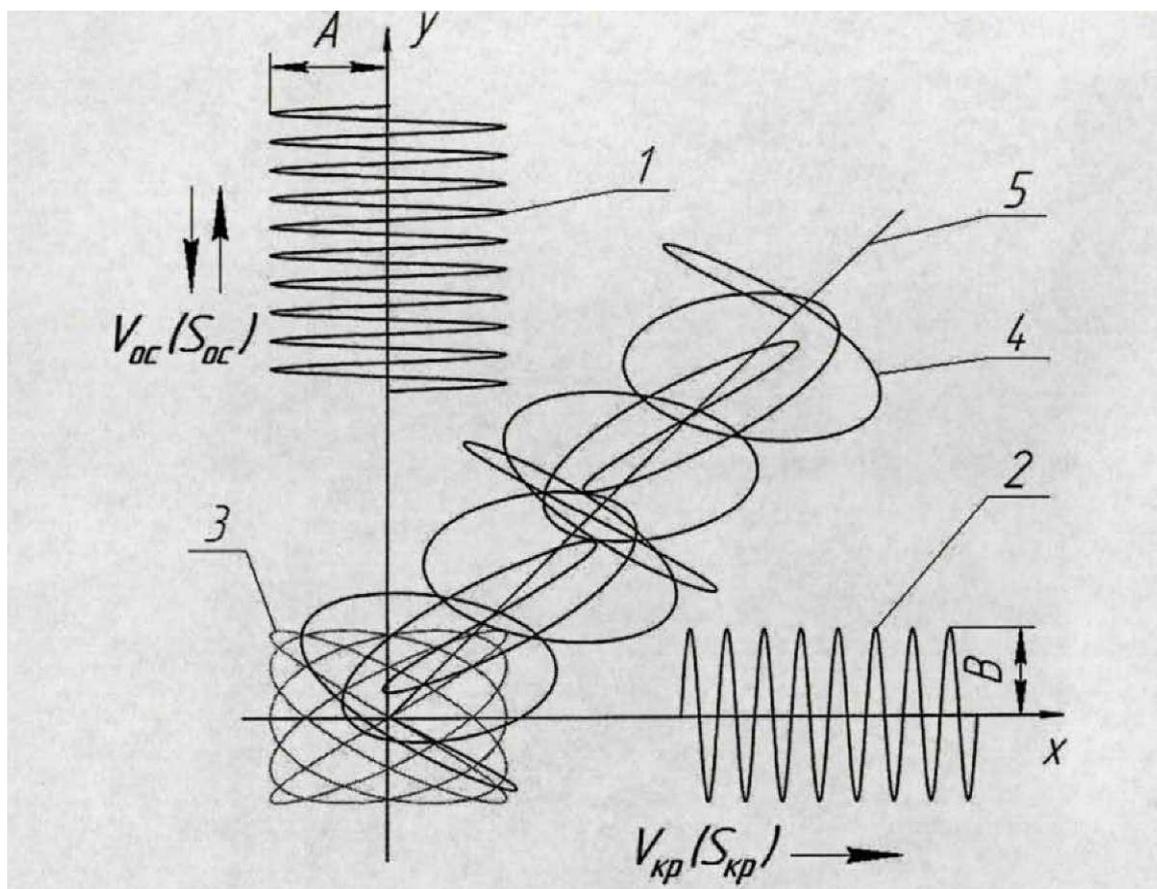
расположенные в одной плоскости, а при производстве цилиндров производящая линия одна-прямая, а вторая расположена в перпендикулярных плоскостях окружности.

1. ω_1 – окружное вращение инструмента 2. ω_2 – продольное перемещение инструмента

Рисунок 2.1 – Кинематика элементарной динамики при хонинговании с растровым движением

Во-вторых, отличительные признаки доводки поверхностей, когда деталь в разы меньше инструмента, процесс хонингования подразумевает обратное, когда обрабатываемая поверхность больше, чем инструмент.

Таким образом, чтобы растровый метод обработки поверхностей цилиндров хонингованием, нужна другая идея настройки кинематики оборудования. На рис. 2.1. описана кинематика элементарной динамики при хонинговании с растровым движением. На следующем рисунке указана, траектория растрового движения хонингования, показанная на графике, на рис. 2.2. при растровом хонинговании.



1. амплитуда A в осевом перемещении 2. амплитуда B в круговом перемещении
 3. траектория перемещения точки в традиционном хонинговании 4. Траектория перемещения точки в растровом хонинговании 5. Продольная ось цилиндра.

Рисунок 2.2 – Последовательность образования траектории режущего зерна

Основные различия растрового и классического хонингования заключается в том, что приоритетные движения (движение резания) является итогом соединения двух синусоидальных колебаний отличными друг от друга частотами ω_0 , ω_2 и амплитудами A и B , в перпендикулярных направлениях – осевых и круговых. Чтобы равномерно распределилась сетка (растр) по всей длине детали добавляется осциллированное V_{oc} и круговое $V_{кр}$ представляют собой осевую (S_{oc}) и круговую ($S_{кр}$) подачи. В итоге растровой обработки траектория главного перемещения головки создается несколько кинематики растрового движения. Данная кривая называется «растровой циклоидой».

Точка, движущаяся по поверхности цилиндра с определенной траекторией представляет из себя довольно сложную кривую, которая имеет двойное

искривление, которая выводится из параметрической функции, вычисленные координаты: x, y, z точки в любой момент времени t :

$$x=f_1(t); y=f_2(t); z=f_3(t) \quad (2.1.)$$

По правилам исследования сложных кривых более требуется разложить по поверхности на двоичную плоскость в направлении оси ординат Y по длине детали, то ось абсцисс X по длине окружности. Эта система описывает траекторию передвижения точки в плоской координате и рассчитывается уравнением X, Y точек на кривой от функции времени t :

$$\begin{aligned} X &= A - sm(\omega_1 t + V_{vpt}) \\ Y &= B - sm(\omega_2 t + cpo) + V_{oc} \cdot t \end{aligned} \quad (2.2.)$$

где A, B – таким образом осевые и круговые амплитуды; ω_1, ω_2 — соответственно осевые и круговые частоты колебаний; cpo - начальный сдвиг фаз.

Данное уравнение (2.1.) включает в себя циклические фрагменты уравнения с периодами

$$T_x = 2sm1V_{vpt}, \quad T_2 = 2ms1\omega_2, \quad (2.3.)$$

которые описывают растровую траекторию без дополнительных перемещений V_{oc} и $V_{кр}$, с помощью сетки 3 (см. рис. 2.1.) разложенной на прямоугольнике $X=2A, Y=2B$, линейные слагаемые, которые без амплитудных перемещений относятся к точке по V прямой $Y=2X$, состоит из линии 5 представляющей собой развернутую плоскость.

Растровое хонингование и его главное движение является сложным, состоит из нескольких простых движений таким образом его параметры зависят от параметров всех простых движений, в его составе. Выявлено, путь сложного режущего движения зависит от параметров всех простых движений между собой. Оставшиеся параметры непростого движения зависят от абсолютных чисел соответствующих значений каждого простого движения [102]. Изучение и исследования хонинговальной операции вывел показатели осевой (Soc) и круговой (Skp) подач данные параметры имеют влияние на окончательную обработку на геометрическую точность и кинематические свойства движения. Сохранив

принципы термины и способы растрового движения В. П. Некрасовым [59, 61, 63] при исследовании растровых траекторий (фигур Лиссажу) что касается обработки плоских деталей, были исследования в данной части и выведены закономерности растрового движения.

2.2. Время появления траектории с растровой кинематикой величина кадра.

В исследовании растровых траекторий для удобства запишем в уравнении (3.1.) через фрагмент $p = Vp(t)$, выраженный фазовым углом сложных колебаний в любой момент времени, тогда функция будет иметь вид:

$$\begin{aligned} X &= A \cdot \sin m\varphi + V_1 \cdot \varphi \\ Y &= B \cdot \sin(n\varphi + \varphi_0) \pm V_2 \cdot \varphi \end{aligned}$$

где; $V_2 = V_{oc} \sim \cos 1$ (2.4.)

Между периодами перпендикулярных колебаний доказано, что имеется соотношение

$$[T_2 / T] = m/n. \quad (2.5.)$$

где m, n — числа простые взаимно целые, то за время

$$T = m \cdot T_2 = n \cdot T_1 \quad (2.6.)$$

целое число периодов повторится как T_x так и T_2 [32]. Данная формула означает что фигура итоговой кривой будет совпадать с периодом T в сторону прямой линии, T условно будет лежать на оси. Если не возможно измерить период колебаний, то такого результата T нельзя указать. В таком уравнении движение точки к периодическим функциям [41]. Это свойственно наиболее для действительных путей.

Учитывая, что любая реальная система не устанавливается, а замеряются с лимитированной точностью. Таким образом существует неизвестность экспериментальная, которая в течении времени меняется [14]. Фигуры Лиссажу, которые заложены в принципе изучаемых траекторий, незначительные изменения в изначальных примерах (сдвиг фаз φ_0 , отношение частот колебаний, а также отношение скоростей линейных и периодических слагаемых) приводят к большим

переменам фигуры траектории. Изучение растровых траекторий будем опираться на математический аппарат, т.е. подменяя реальную систему на математическую модель, так как для него установлены с абсолютной точностью.

Периодичность результирующей кривой — растровой циклоиды выявить их можно только параметрами периодических складываемых чисел, т.е. синусоидальных колебаний и независимы от линейных чисел. Таким образом периодичность циклоиды совпадают с кривыми Лиссажу, исследованными В. П. Некрасовым [62]. Чтобы нагляднее можно было обрисовать растровую траекторию предложено было использовать понятия кадра и растра. Растр – прохождение точки траектории за время:

$$T = m[T_1] = nT_2 \quad (2.7.)$$

Величина сдвига фаз периода растра T стремится к значениям $2 - \pi n$. Рассогласование частот выразим через:

$$A_0 = (\omega_x - \omega_2) \quad (2.8.)$$

где A_0 – рассогласование частоты, ω_x – перемещение вдоль оси X , ω_2 – осевые и круговые частоты колебания.

получим выражение для угловой частоты смены растров:

$$2 - \pi n - A_0 T m - n \quad (2.9)$$

Растровые закономерности изучение их дает пояснение в природе появления сменяющихся кадров, которые при вращении за один цикл работы описывает фигуру кривой. Таким образом растр вернее его часть, представляет собой аргумент разности синусоидальных колебаний:

$$m - (p - n) - (p - a)_1 - 1 - a_2 - 1 = 2\omega \quad (2.10.)$$

называется кадром. Во время сдвига фаз кадр достигает величины. Таким образом кадр состоит из части растра с положительным периодом: $T_k = \frac{2\omega}{m-n}$, изучаемых траекторий [65]. Частота смены кадров в области равна разности исходных частот $a_k = a_1 - \omega_2$.

Отношение рабочих частот в интервале $L > 2 < 0,5$ плотность кадров устанавливается из начальных частот наименьшая: $a_k = \omega_2$ [55], частота смены кадров при таком соотношении устанавливается периодичностью низкочастотного

составляющей, а высокочастотная вызывает лишь фон. Данная траектория (рис. 2.3.) показывает траекторию, разнонаправленную виброхонингования с осцилляцией [16, 88]. В особом случае, при котором $m-n=1$, здесь растр совпадает с кадром. Процесс образования данного кадра растровой циклоиды представлена на рис. 2.4.

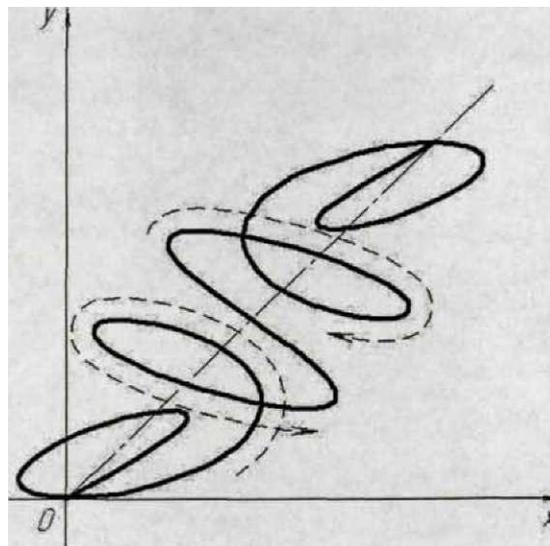
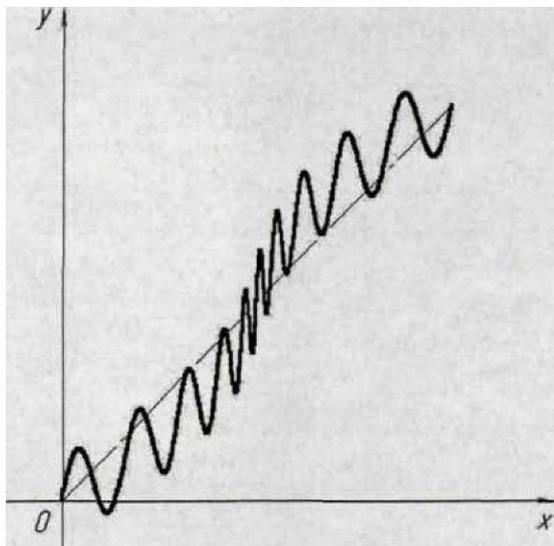


Рисунок 2.3 - Траектория движения точки при $y > q_2/x > q < 0,5$ Рисунок 2.4 - Траектория движения точки при $y > q_2 / x y, = 4/5$

Как видно из рисунка, за время образования одного кадра растровой циклоиды точки 2 раза меняет направление движения вокруг оси. Такое явление наблюдается отношение частот к углу касательной, 2 раза меняет знаки на противоположные за период кадра. Итоги таких опытов описаны в таблице ниже. Периодичность перемены вращения движения точки равны перемене кадров. Данная траектория разрешает массу проблем при использовании режущего инструмента и равному износу.

Таблица 2.1. Значения производной угла касательной за период кадра.

Время с	0	T/10	T/5	3T/10	2T/5	T/2	3T/5	7T/10	4T/5	9T/10	T	
у	5	0	2337	982	975	2818	0	-2818	-975	-982	-2337	0

В хонингованном процессе представляет любопытство траектория, начальной частоты практически не отличимые друг от друга. Представим

соотношение частот запишем в формулу: $a > 2n_1 n + 1$
(2.11.)

при любом наборе периодичности может быть выведен любой случай $m-n=1$.
Использование данного способа помогает в исследовании процесса хонингования
главного движения за кадр.

Различия траекторий произведённых этой кинематикой (поз. 3, рис. 2.2),
«растровая циклоида» кадра величина зависит функционально от движений и
размер переменной. Растровая траектория образуется наклоном винтовой и
углом. (рис. 2.5.), $a = AB_2 V V_{rh}$
(2.12.)

Изучение величины кадра зависит от простых движений в системе
координат Ю, Y_j ось X_j равна витковой линии. В новых осях уравнения (2.1.)
примут вид:

$$X = \frac{A - V_{kp}}{V_B} - \sin^2 r + \frac{V}{H} - \sin^2 i + < p_o + V_H; A - V y, = \frac{H}{B} \sin ul_3 + < p_o . (2.13.)$$

V_B – скорость движения частиц по витой траектории. Уравнение (2.3.) показывает
функция Y_1 называется периодической с тактом $T=2\omega$. Данная запись означает, что
время T это движение частиц относительно винта.

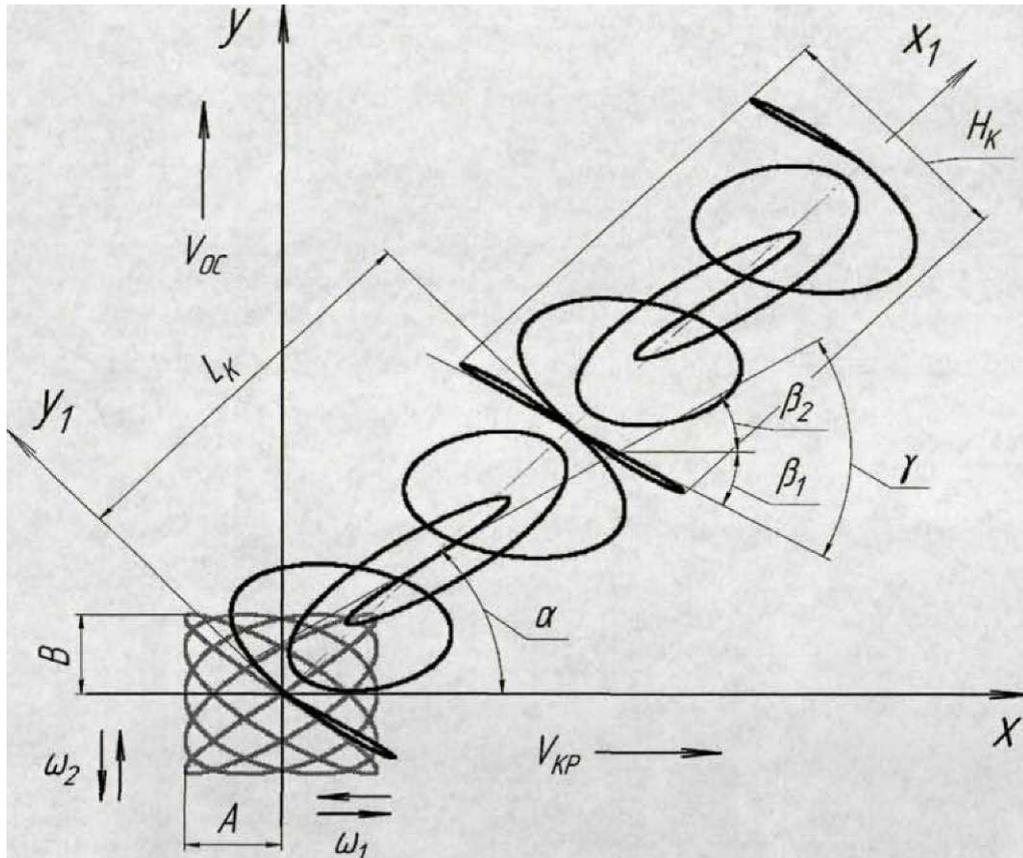


Рисунок 2.5 – Параметры растровой траектории

Выведем величину «растровой циклоиды» за время кадра T_k в сторону осей X_1, Y_2 ($p_0 = 0$). Величину L_k рассчитаем подставив для эксперимента соотношения величины кадра от размеров простых перемещений в другую систему координат JO, Y_1 в которой ось X_1 равна витой линии. Тогда формула (2.2) будет выглядеть так:

$$X, Y = \frac{A - V_k}{B} = \sin^r + \frac{V}{H} - \sin^t + V_H; BVA - VY = \sin u j_3 + < p_0 \sin^t \quad (2.14.)$$

Уравнение (2.3.) показывает функция Y_1 называется периодической с тактом $T=2\omega$. Время T описывает витую линию повторений. Возьмем величину «растровой циклоиды» за время кадра T_k по координатам X_1, Y_1 при ($p_0 = 0$) Размер выведем из L_k .

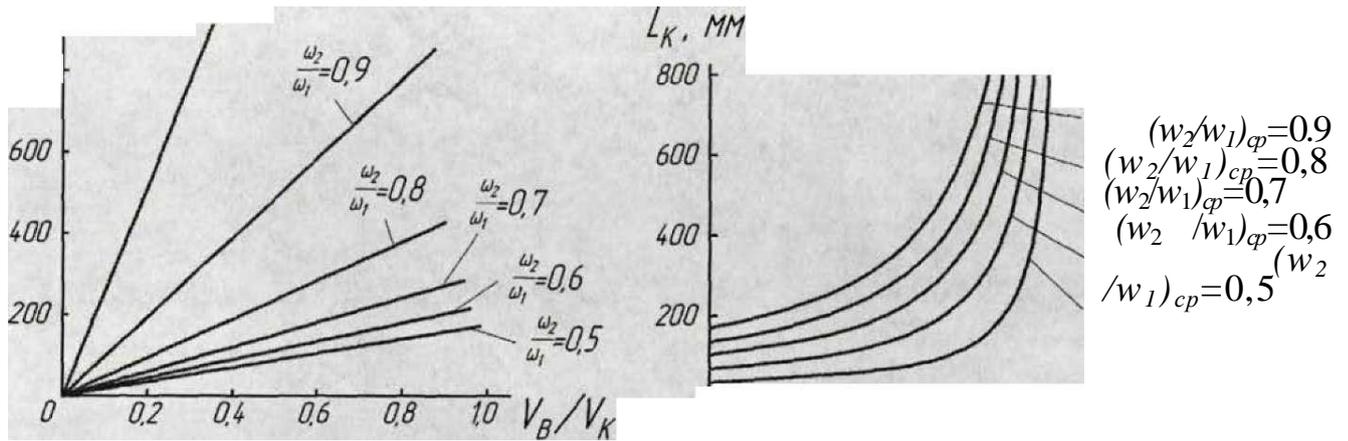


Рисунок 2.6 - Размер кадра в направлении винтовой линии.

2.3. Растровое движение исследование траектории кинематики.

Рассчитывая кинематику растрового хонингования, требуются информация о режимах резания, скорости подачи, колебательных движениях, изменения величин ускорения и скорости.

Для того чтобы определить мгновенную скорость в любом отрезке времени возьмем первую производную от времени уравнений (2.1) точки при $P_0=0$:

$$V_x = X' = A \cdot \cos \omega_1 t + V_{oc} \quad V_y = Y' = B - c \omega_2 - \cos c \omega_2 t + V_{oc}$$

Максимальную скорость обозначим как геометрическую сумму её проекций:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{(A \cdot \sin \omega_1 t + V_{oc})^2 + (B - c \omega_2 - \cos c \omega_2 t + V_{oc})^2}. \quad (2.15.)$$

Скорость будет полной при значении $\cos \omega_1 t = 1$ и $\cos c \omega_2 t = 1$:

$$V = \sqrt{(A + V_{oc})^2 + (B - c \omega_2 + V_{oc})^2}.$$

(2.16.)

На рис. 2.7. описано отношение скорости к периоду кадра. Максимальной скорости в начале середине и конце кадра достигается.

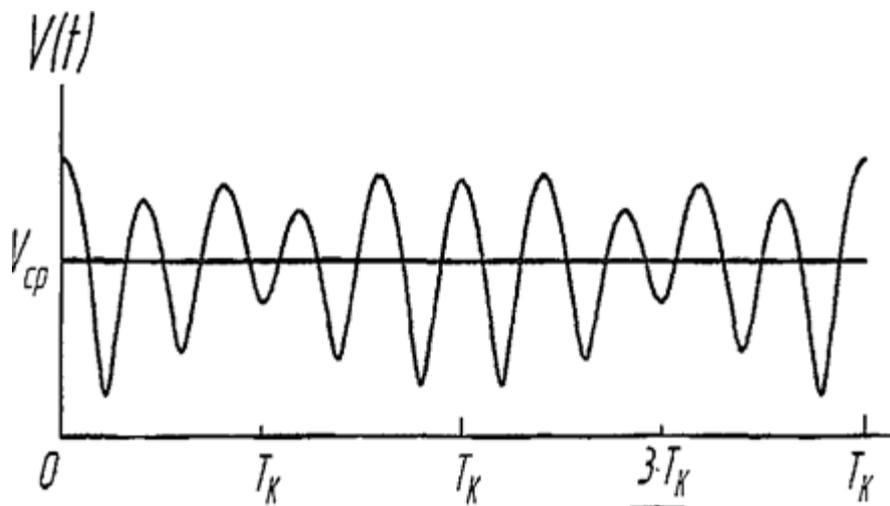


Рисунок 2.7 - Изменение мгновенной скорости за период кадра

$$K_p = M^{67A} \wedge Y + (0,67Ba_2)^2 + 0,67(V_o^2_c + V^2_p) \wedge c/. \quad (2.17.)$$

График изменения средней скорости V_{cp} в зависимости от отношения частот колебательных движений при различных отношениях скоростей показана на рис. 2.8.

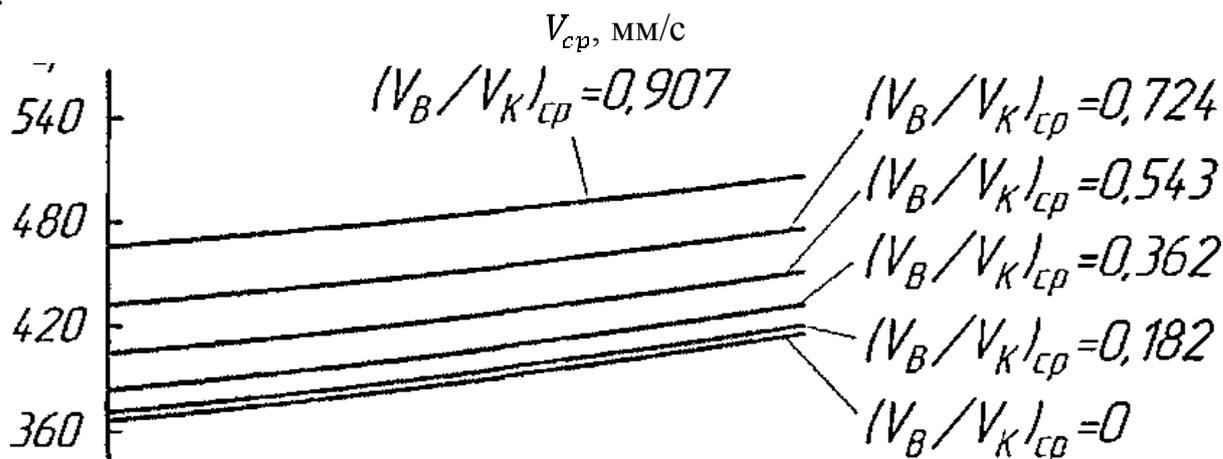


Рисунок 2.8 - Зависимости средней скорости от частоты колебаний. (0,5;0,6;0,7;0,8;0,9;1,0 мм/с)

Изучив неточности аппроксимирующих выражений, погрешность не выше 3%.

Траектории, описывающие способ обработки по кинематики, выводятся из соотношения скоростей. Области перехода одной траектории в другую для отношения частот колебаний на (рис. 2.9.). Оценивая отношения $V \ YK_{cp}$ что бы перейти от растровой кинематики к виброхонингованию было отстранение реверсивной кинематики частиц за время кадра (см. рис. 2.4.). Обработка вибрационным хонингованием состоит из двух вариантов [88]: первый вариант

называется однонаправленный такой вариант у которого скорость постоянная и направление вращения направлено в одну сторону, второй вариант называется разнонаправленными при таком варианте скорости не постоянны и направление вращения за один цикл изменяется не однократно. В данной ситуации область смещения от разнонаправленной к однонаправленной выводится по формуле:

$$V Y_{ch}=1,6. \quad (2.18.)$$

Большинство доводочных операций и виброхонингованию [73, 74, 75, 80] указано, это воздействует на производство съема металла и качество обрабатываемых деталей, ускоряется процесс обработки.

Проекция ускорения $W(t)$ и T_k являются вторыми производными по времени от параметрических уравнений движения (2.1.). Через них можно выразить полное ускорение. Полное ускорение можно определить также как векторную сумму касательного.

$W_n = T_p (p$ — радиус кривизны траектории). Изменение по величине мгновенного полного ускорения за период кадра представлено на рис. 2.10.

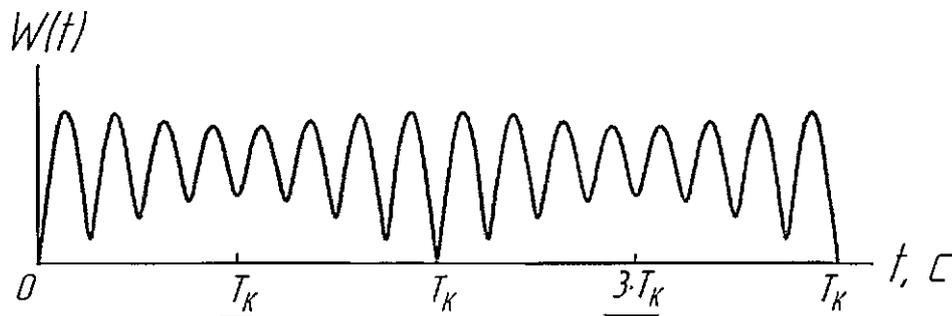


Рисунок 2.10 - Изменения мгновенного полного ускорения за период кадра.

3. Кинематические схемы оборудования, способы проведения исследования и разновидности абразивных брусков

3.1. Оборудование для проведения опытов «МФК 500».

Комплекс для проведения измерений формы для ОТК и лабораторий. Прибор предназначен для контроля блоков цилиндров, головок блока цилиндров, коробок передач, компонентов гидравлических систем, распределительных и коленчатых валов. Оптимизированная конструкция обеспечивает высокую точность измерений во всей измерительной области системы. Большой диапазон хода и измерений обеспечивает легкую и безопасную смену деталей.

Прибор контроля формы имеет гранитное основание, которое не подвержено деформациям и исключает влияние вибраций. Высокопрецизионная горизонтальная поверхность формирует базовую плоскость для измерений. Стол для установки измеряемых деталей обеспечивает монтаж и заданное перемещение деталей на гранитной поверхности с помощью аэростатических подшипников.

Особенности данного комплекса является:

1. Универсальная установка измерений формы с большой зоной измерений для тяжелых деталей.
2. Система «МФК 500» имеет 3 измерительных оси и 4 калибровочных оси для измерения формы компонентов.
3. Легкость использования и быстрая установка с помощью поворотного щупа и автоматического позиционирования деталей.
4. Небольшой объем требуемого технического обслуживания и возможность управлять длительно действующими нагрузками благодаря аэростатическому подвесу.
5. Следящие системы с защитой от столкновений для широкой гаммы измерительных задач.
6. Большая монтажная зона для установки, как отдельных деталей больших размеров, так и площадок, фиксирующих несколько деталей.

7. Блок измерения круглости с автоматической регулировкой по диаметру детали, даже если положение не отцентрировано.
8. Измерение прямолинейности по 3 направлениям вдоль основных осей координат.
9. Оценка параметров деталей в соответствии с ISO 1101.
10. Контроль в машинной системе координат или система координат, связанной с деталью, в соответствии с производственными требованиями.
11. Всестороннее оценивание параметров формы и положения, диаметров и данных позиционирования.
12. Широкая гамма принадлежностей и щупов обеспечивает оптимальное решение всех измерительных задач.
13. Простое расширение возможностей с обеспечением дополнительных степеней свободы в процессе выполнения программы измерений.

Это означает, что измерительные задачи выемкой сложности, например, V-образного блока цилиндров, могут быть выполнены в автоматически, без вмешательства оператора.

В блок измерения круглости входит в дополнение к измерительному шпинделю (оси С), блок измерения круглости имеет ось автоматической регулировки щупа по диаметру детали (ось R). При выполнении измерения круглости ось R направляет щуп в соответствии с формой детали даже при отклонениях от центрального расположения, помимо перемещения самого щупа.

Блок измерения прямолинейности по вертикали оси (Z) обеспечивает заданное перемещение блока измерений круглости на гранитной поверхности. В системе «МФК 500» оси X и Y стола с электроприводом центрирования и наклона являются осями позиционирования.

Калибровочные оси (А и В) интегрированы в стол для установки измеряемых деталей и могут автоматически центрировать детали в пределах измерительного пространства.

Измерительные возможности. Функции автоматической калибровки, встроенные в цикл измерений, обеспечивают непрерывный режим работы. Параллельные процессы регистрации и обработки измеряемых значений сокращают время измерения. Область применения установок измерения формы расширяется за счет обширной гаммы принадлежностей.



Рисунок 3.1 – Аппарат для проверки погрешностей и отклонений геометрических форм

 MarWin 5.50-21		2019- цил-ось			11/09/2017 5 12:49:38 Блок цилиндров		
Деталь: БЛОК ЦИЛИНДРОВ		Номер чертежа:		Цикл обработки:		Подпись:	
				Блок цилиндров		MFK500	
Итого:							
Имя компонента	Тип	Ном. размер [м]	UT [мм]	LT [мм]	Действ. размер	Откл. [мм]	Отклонение
Cyl1 -8mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0185	0,0185	
Cyl1 -32mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0234	0,0234	
Cyl1 -56mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0231	0,0231	
Cyl1 -79mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0220	0,0220	
Cyl1 -105mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0211	0,0211	
Cyl2 -8mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0194	0,0194	
Cyl2 -32mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0247	0,0247	
Cyl2 -56mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0259	0,0259	
Cyl2 -79mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0251	0,0251	
Cyl2 -105mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0224	0,0224	
Cyl3 -8mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0223	0,0223	
Cyl3 -32mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0265	0,0265	
Cyl3 -56mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0273	0,0273	
Cyl3 -79mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0268	0,0268	
Cyl3 -105mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0257	0,0257	
Cyl4 -8mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0224	0,0224	
Cyl4 -32mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0267	0,0267	
Cyl4 -56mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0267	0,0267	
Cyl4 -79mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0257	0,0257	
Cyl4 -105mm D	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0254	0,0254	
Cyl1 -8mm 0180°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0181	0,0181	
Cyl1 -8mm 90270°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0183	0,0183	
Cyl1 -32mm 0180°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0252	0,0252	
Cyl1 -32mm 90270°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0194	0,0194	
Cyl1 -56mm 0180°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0257	0,0257	
Cyl1 -56mm 90270°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0187	0,0187	
Cyl1 -79mm 0180°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0235	0,0235	
Cyl1 -79mm 90270°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0181	0,0181	
Cyl1 -105mm 0180°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0187	0,0187	
Cyl1 -105mm 90270°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0204	0,0204	
Cyl2 -8mm 0180°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0197	0,0197	
Cyl2 -8mm 90270°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0172	0,0172	
Cyl2 -32mm 0180°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0304	0,0304	0,0004
Cyl2 -32mm 90270°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0177	0,0177	
Cyl2 -56mm 0180°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0349	0,0349	0,0049
Cyl2 -56mm 90270°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0162	0,0162	
Cyl2 -79mm 0180°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0342	0,0342	0,0042
Cyl2 -79mm 90270°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0154	0,0154	
Cyl2 -105mm 0180°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0268	0,0268	
Cyl2 -105mm 90270°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0174	0,0174	
Cyl3 -8mm 0180°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0224	0,0224	
Cyl3 -8mm 90270°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0207	0,0207	
Cyl3 -32mm 0180°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0321	0,0321	0,0021
Cyl3 -32mm 90270°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0194	0,0194	
Cyl3 -56mm 0180°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0361	0,0361	0,0061
Cyl3 -56mm 90270°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0174	0,0174	
Cyl3 -79mm 0180°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0349	0,0349	0,0049
Cyl3 -79mm 90270°	∅	82,0000	0,0300	0,0000	82,0173	0,0173	

Рисунок 3.5 – Итоговый отчет по всему блоку цилиндров

3.2. Методология проведение замеров шероховатости поверхностей

Прибор для измерения параметров шероховатости, волнистости и профиля поверхности HOMMEL-WERKE TURBO WAVE V7.20.

Назначение средства измерений для измерения параметров шероховатости, волнистости и профиля поверхности различных деталей, а также определения в измеренных профилях геометрических параметров: радиусов дуг, координат точек, расстояний, углов и топографии поверхности. Прибор может применяться для измерений деталей сложной формы в различных областях машиностроения, электротехнике, в производстве пластмассовых изделий и т. д.

Описание средств измерений прибор HOMMEL-WERKE TURBO WAVE V7.20. Действие прибора основано на принципе ощупывания неровностей исследуемой поверхности алмазной иглой измерительного преобразователя и преобразования возникающих при этом механических колебаний щупа в изменения напряжения, пропорциональные этим колебаниям, которые усиливаются и преобразуются электронным блоком.

Результаты измерения выводятся на монитор компьютера и в дальнейшем могут быть использованы для дальнейших расчетов.

Прибор состоит из следующих элементов: измерительного преобразователя, состоящего из индуктивного датчика и блока подачи, блока усиления сигналов, микропроцессорного устройства, блока выдачи информации, принтера и блока питания. Для расширения области использования прибора снабжается различными типами датчиков. Они различаются радиусом закругления щупа, материалом изготовления, размером корпуса, положением и формой опоры.

Благодаря модульной конструкции прибора, при помощи сетевой карты HOMMEL-WERKE CAN-BUS к нему могут быть подключены различные компоненты системы. Для работы в режиме измерения шероховатости и профиля поверхности используется устройство подачи Waveline 120 или Waveline 200. Встроенная в устройство высокоточная базовая плоскость позволяет использовать безопорный датчик. Для вертикального перемещения при измерении используется

колонна, обеспечивающая возможность ручного или моторизованного поворота в вертикальной плоскости закрепленного на ней привода на $\pm 45^\circ$, кроме этого, $\pm 5^\circ$ настраивается микрометрическим винтом устройства точной подачи. Для работы в режиме измерения микротопографии поверхности предназначено устройство Y-Positioner, представляющее из себя моторизованный измерительный столик с точным перемещением по оси Y в горизонтальной плоскости.



Рисунок 3.6 – Аппарат для контроля качества микрорельефа поверхности

HOMMELWERKE TURBO WAVE V7.20 Measuring conditions Probe type: TKU300 Measuring range: 80 μm Linear traverse unit: waveline 60 Traverse length (Lt) : 15.00 mm Speed (Vt): 0.50 mm/s Filter : ISO 11562(M1) Lc (Cut Off) : 2.500 mm Lc / Ls: 300					№Дет: Operator: № служ.: 2019- кр.Аббота 11.09.17 09:43																																				
Цилиндр 1																																									
1-75 <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Act</th> <th>LT</th> <th>UT</th> <th><></th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ra</td> <td>0.59 μ</td> <td>0.20</td> <td>0.80</td> <td>0.00</td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> </tr> <tr> <td>Rpk</td> <td><u>0.51 μ</u></td> <td>0.00</td> <td>0.40</td> <td>0.11</td> <td style="background-color: #FF0000;"></td> <td style="background-color: #FF0000;"></td> </tr> <tr> <td>Rk</td> <td>0.95 μ</td> <td>0.20</td> <td>1.30</td> <td>0.00</td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> </tr> <tr> <td>Rvk</td> <td>2.12 μ</td> <td>0.80</td> <td>2.40</td> <td>0.00</td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> </tr> </tbody> </table>						Act	LT	UT	<>			Ra	0.59 μ	0.20	0.80	0.00			Rpk	<u>0.51 μ</u>	0.00	0.40	0.11			Rk	0.95 μ	0.20	1.30	0.00			Rvk	2.12 μ	0.80	2.40	0.00			1-75 Material ratio Profile RK 	
	Act	LT	UT	<>																																					
Ra	0.59 μ	0.20	0.80	0.00																																					
Rpk	<u>0.51 μ</u>	0.00	0.40	0.11																																					
Rk	0.95 μ	0.20	1.30	0.00																																					
Rvk	2.12 μ	0.80	2.40	0.00																																					
<p>10.0</p> <p style="text-align: center;">1-75 Rk- Profile Filter ISO 13565(M2) Lc = 2.500 mm</p> <p>0.0</p> <p>[μm]</p> <p>-10.0</p> <p style="text-align: center;">probe TKU300 Lt = 15.00 mm Vt = 0.50 mm/s</p> <p style="text-align: right;">14.66</p>																																									
1-45 <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Act</th> <th>LT</th> <th>UT</th> <th><></th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ra</td> <td>0.65 μ</td> <td>0.20</td> <td>0.80</td> <td>0.00</td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> </tr> <tr> <td>Rpk</td> <td>0.37 μ</td> <td>0.00</td> <td>0.40</td> <td>0.00</td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> </tr> <tr> <td>Rk</td> <td>0.92 μ</td> <td>0.20</td> <td>1.30</td> <td>0.00</td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> </tr> <tr> <td>Rvk</td> <td><u>2.52 μ</u></td> <td>0.80</td> <td>2.40</td> <td>0.12</td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> </tr> </tbody> </table>						Act	LT	UT	<>			Ra	0.65 μ	0.20	0.80	0.00			Rpk	0.37 μ	0.00	0.40	0.00			Rk	0.92 μ	0.20	1.30	0.00			Rvk	<u>2.52 μ</u>	0.80	2.40	0.12			1-45 Material ratio Profile RK 	
	Act	LT	UT	<>																																					
Ra	0.65 μ	0.20	0.80	0.00																																					
Rpk	0.37 μ	0.00	0.40	0.00																																					
Rk	0.92 μ	0.20	1.30	0.00																																					
Rvk	<u>2.52 μ</u>	0.80	2.40	0.12																																					
<p>10.0</p> <p style="text-align: center;">1-45 Rk- Profile Filter ISO 13565(M2) Lc = 2.500 mm</p> <p>0.0</p> <p>[μm]</p> <p>-10.0</p> <p style="text-align: center;">probe TKU300 Lt = 15.00 mm Vt = 0.50 mm/s</p> <p style="text-align: right;">14.66</p>																																									

Рисунок 3.7 – Отчет по первому цилиндру шероховатости поверхности

Цилиндр 2

<p>2-75</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 15%;">Act</th> <th style="width: 15%;">LT</th> <th style="width: 15%;">UT</th> <th style="width: 15%;"><></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ra</td> <td>0.64 μ</td> <td>0.20</td> <td>0.80</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Rpk</td> <td>0.35 μ</td> <td>0.00</td> <td>0.40</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Rk</td> <td>0.90 μ</td> <td>0.20</td> <td>1.30</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Rvk</td> <td><u>2.49 μ</u></td> <td>0.80</td> <td>2.40</td> <td>0.09</td> </tr> </tbody> </table>		Act	LT	UT	<>	Ra	0.64 μ	0.20	0.80	0.00	Rpk	0.35 μ	0.00	0.40	0.00	Rk	0.90 μ	0.20	1.30	0.00	Rvk	<u>2.49 μ</u>	0.80	2.40	0.09	<p style="text-align: right;">2-75 Material ratio Profile RK</p> <p style="text-align: right;">14.66</p>
	Act	LT	UT	<>																						
Ra	0.64 μ	0.20	0.80	0.00																						
Rpk	0.35 μ	0.00	0.40	0.00																						
Rk	0.90 μ	0.20	1.30	0.00																						
Rvk	<u>2.49 μ</u>	0.80	2.40	0.09																						
<p>2-75 Rk- Profile Filter ISO 13565(M2) Lc = 2.500 mm</p>																										
<p>probe TKU300 Lt = 15.00 mm Vt = 0.50 mm/s</p>																										
<p>2-45</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 15%;">Act</th> <th style="width: 15%;">LT</th> <th style="width: 15%;">UT</th> <th style="width: 15%;"><></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ra</td> <td>0.65 μ</td> <td>0.20</td> <td>0.80</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Rpk</td> <td>0.31 μ</td> <td>0.00</td> <td>0.40</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Rk</td> <td>0.90 μ</td> <td>0.20</td> <td>1.30</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Rvk</td> <td>2.39 μ</td> <td>0.80</td> <td>2.40</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>		Act	LT	UT	<>	Ra	0.65 μ	0.20	0.80	0.00	Rpk	0.31 μ	0.00	0.40	0.00	Rk	0.90 μ	0.20	1.30	0.00	Rvk	2.39 μ	0.80	2.40	0.00	<p style="text-align: right;">2-45 Material ratio Profile RK</p> <p style="text-align: right;">14.66</p>
	Act	LT	UT	<>																						
Ra	0.65 μ	0.20	0.80	0.00																						
Rpk	0.31 μ	0.00	0.40	0.00																						
Rk	0.90 μ	0.20	1.30	0.00																						
Rvk	2.39 μ	0.80	2.40	0.00																						
<p>2-45 Rk- Profile Filter ISO 13565(M2) Lc = 2.500 mm</p>																										
<p>probe TKU300 Lt = 15.00 mm Vt = 0.50 mm/s</p>																										
<p>2-20</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 15%;">Act</th> <th style="width: 15%;">LT</th> <th style="width: 15%;">UT</th> <th style="width: 15%;"><></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ra</td> <td>0.44 μ</td> <td>0.20</td> <td>0.80</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Rpk</td> <td>0.34 μ</td> <td>0.00</td> <td>0.40</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Rk</td> <td>0.95 μ</td> <td>0.20</td> <td>1.30</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Rvk</td> <td>1.83 μ</td> <td>0.80</td> <td>2.40</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>		Act	LT	UT	<>	Ra	0.44 μ	0.20	0.80	0.00	Rpk	0.34 μ	0.00	0.40	0.00	Rk	0.95 μ	0.20	1.30	0.00	Rvk	1.83 μ	0.80	2.40	0.00	<p style="text-align: right;">2-20 Material ratio Profile RK</p> <p style="text-align: right;">14.66</p>
	Act	LT	UT	<>																						
Ra	0.44 μ	0.20	0.80	0.00																						
Rpk	0.34 μ	0.00	0.40	0.00																						
Rk	0.95 μ	0.20	1.30	0.00																						
Rvk	1.83 μ	0.80	2.40	0.00																						
<p>2-20 Rk- Profile Filter ISO 13565(M2) Lc = 2.500 mm</p>																										
<p>probe TKU300 Lt = 15.00 mm Vt = 0.50 mm/s</p>																										

Рисунок 3.8 - Отчет по второму цилиндру шероховатости поверхности

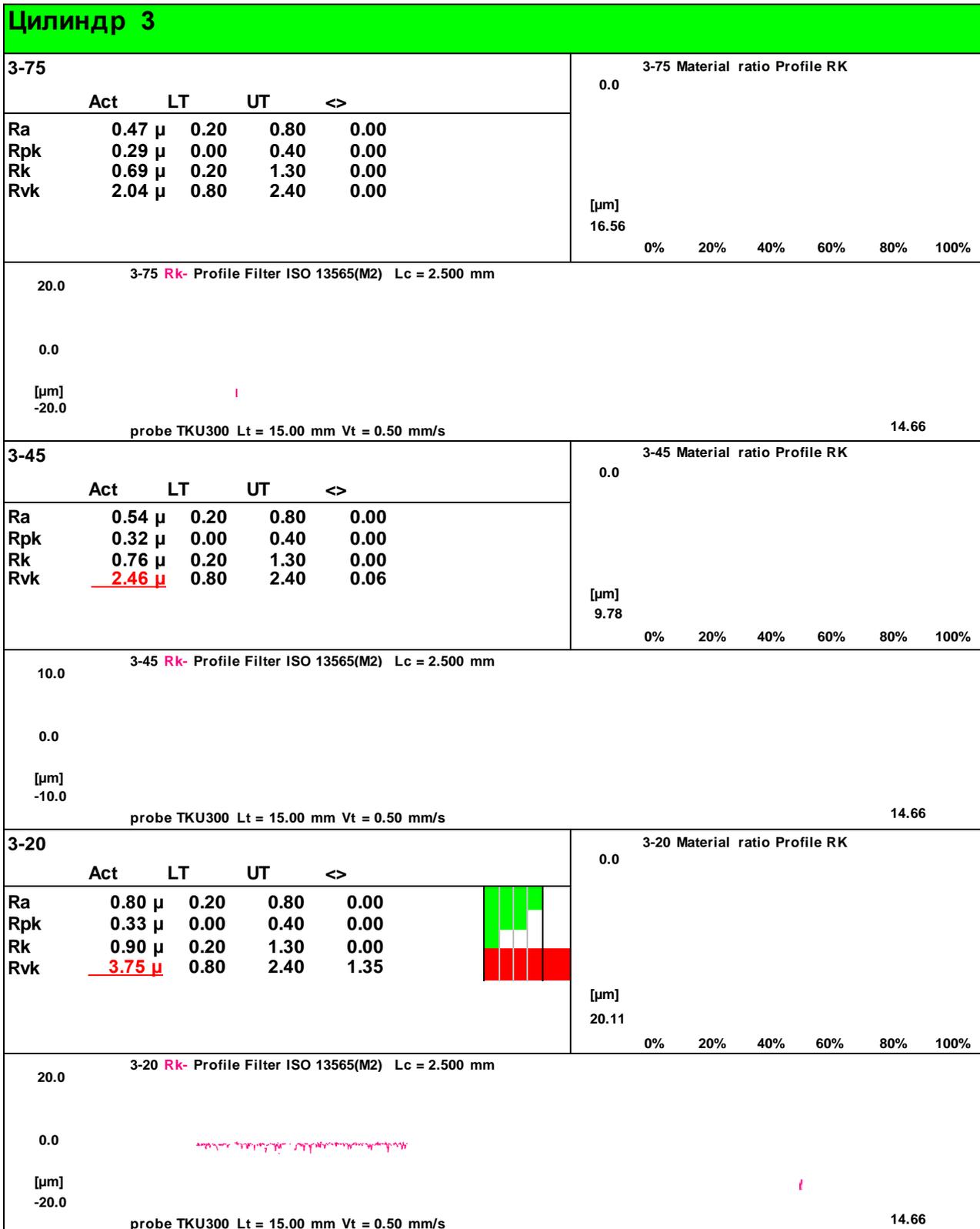


Рисунок 3.9 – отчет по третьему цилиндру шероховатости поверхности

Цилиндр 4

4-75					4-75 Material ratio Profile RK				
	Act	LT	UT	<>	0.0				
Ra	0.50 μ	0.20	0.80	0.00					
Rpk	0.34 μ	0.00	0.40	0.00					
Rk	0.69 μ	0.20	1.30	0.00					
Rvk	2.25 μ	0.80	2.40	0.00					
4-75 Rk- Profile Filter ISO 13565(M2) Lc = 2.500 mm					14.66				
10.0					0.0				
[μm]					-10.0				
probe TKU300 Lt = 15.00 mm Vt = 0.50 mm/s					14.66				
4-45					4-45 Material ratio Profile RK				
	Act	LT	UT	<>	0.0				
Ra	0.48 μ	0.20	0.80	0.00					
Rpk	0.35 μ	0.00	0.40	0.00					
Rk	0.69 μ	0.20	1.30	0.00					
Rvk	2.41 μ	0.80	2.40	0.01					
4-45 Rk- Profile Filter ISO 13565(M2) Lc = 2.500 mm					14.66				
10.0					0.0				
[μm]					-10.0				
probe TKU300 Lt = 15.00 mm Vt = 0.50 mm/s					14.66				
4-20					4-20 Material ratio Profile RK				
	Act	LT	UT	<>	0.0				
Ra	0.73 μ	0.20	0.80	0.00					
Rpk	0.35 μ	0.00	0.40	0.00					
Rk	1.00 μ	0.20	1.30	0.00					
Rvk	3.40 μ	0.80	2.40	1.00					
4-20 Rk- Profile Filter ISO 13565(M2) Lc = 2.500 mm					14.66				
20.0					0.0				
[μm]					-20.0				
probe TKU300 Lt = 15.00 mm Vt = 0.50 mm/s					14.66				

Рисунок 3.10 – отчет по четвертому цилиндру шероховатости поверхности

4. Растровый способ хонингования опыт и исследования

4.1. Сравнительный анализ методов хонингования рабочее движение.

Произведены опытные исследования, с целью понимания управления траектории рабочего движения хонинговальной головки на принципах показателей процессов. Сравнивая между собой двух разных кинематики с традиционной и растровой. Что бы условия постановления опытов были равными применялось оборудование и инструмент с равными параметрами обработки таблица 4.1.

Таблица 4.1. Параметры наладки оборудования

Режим обработки	Растровое хонингование	Традиционное хонингование
$T_{\text{хон}}$, мин.	2	2
$V_{\text{рез}}$ м/мин.	28,4	28,5
2α , град.	55°	56°
P, Мпа	0,1 - 1	
Оборудование	«Nagel»	
СОЖ	70% керосина, 30% масло «Индустриальное»	

Подбор параметров наладки станка обоснован возможностями кинематики опытного оборудования «Nagel». Сравнительные исследования проводились одним комплектом брусков АС6 80/63-М5-07-100% и стали 95Х18 (HRC 54... 58), диаметром 18 мм, длиной 60 мм, брусками КР 80/63-М5-07-100%. Значение исходной шероховатости поддерживалось постоянной. Результаты экспериментов представлены в таблице 4.2. и на рис. 4.1. и 4.2.

При исследовании были выявлены преимущества растрового хонингования по отношению к традиционному; при меньшей шероховатости поверхности, обработанной, время обработки методом растрового хонингования в 1,5-2 раза выше, чем при традиционном способе обработки. В зоне работы инструмента при одинаковом давлении расход инструмента Аас/АЛ1ет износ брусков остался такой же как и при традиционном хонинговании.

Таблица 4.2. Результаты сравнительных исследований процесса хонингования

Метод хонингования	Показатели	P, МПа								
		од	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	0,95
Растровое хонингование	<2(мкм/мин)	12	20	25,5	34	44	50	78		83,5
	A_{ac} (мкм)	0,6	1,4	1,91	3	3,91	зд	10		15,5
	$L_{ac}/A_{мет}$	0,016	0,023	0,025	0,028	0,026	0,024	0,055	0,07	0,09
	L_a , мкм	0,40		0,37		0,40		0,64		0,64
Традиционное хонингование	<2(мкм/мин)			13		23,5	34		63	
	A_{ac} (мкм)			1		2,0	2		3,6	
	$A_{ac}/A_{мет}$			0,022		0,028	0,020		0,035	
	L_a , мкм			0,53		0,54	0,52		0,76	

Выявлено, что весь диапазон исследуемых давлений делится на 3 области. В первой области давление не превышает 0,2 МПа введение алмазных частиц в поверхность обрабатываемой детали, данное давление не хватает для того чтобы сделать обработку резанием. Формообразование происходит с помощью многократных пластических деформаций. Во 2 области среднее давление (от 0,2 до 0,9 МПа). Данного давления хватает для того чтобы производить микрорезание так как давление, оказываемое на частицы и связку не достаточно для полного съема металла. Это место называется главным движением. В третьей области, идет отделение абразивных частиц от брусков и происходит сильный износ инструмента. Такой процесс ведет к резкому повышению микронеровности и времени обработки. Данный регион для работы алмазным инструментом крайне нежелателен.

В трех областях, описанных выше 1) традиционное хонингование, 2) растровое хонингование, 3) вибрационное хонингование, из всех предпочтительнее

растровый метод так как он начинает работать на меньших давлениях с помощью разнонаправленной траектории движения хон головки, предотвращает «засаливание» инструмента и увеличивает интенсивность самозатачивания. Использование растровой кинематики отсутствует такое явление как загрязнение брусков даже мелкозернистым инструментом.

Процесс хонингования производился одним набором брусков КМ 80/63-М5-2-100%. Анализ результатов опытов описаны в таблице 4.3. и на рис. 4.3.

Показатели процесса	Методы хонингования		
	Традиционный	С осевой осцилляцией	растровый
<2, мкм/мин	20	31	33
La , мкм	0,301	0,320	0,206

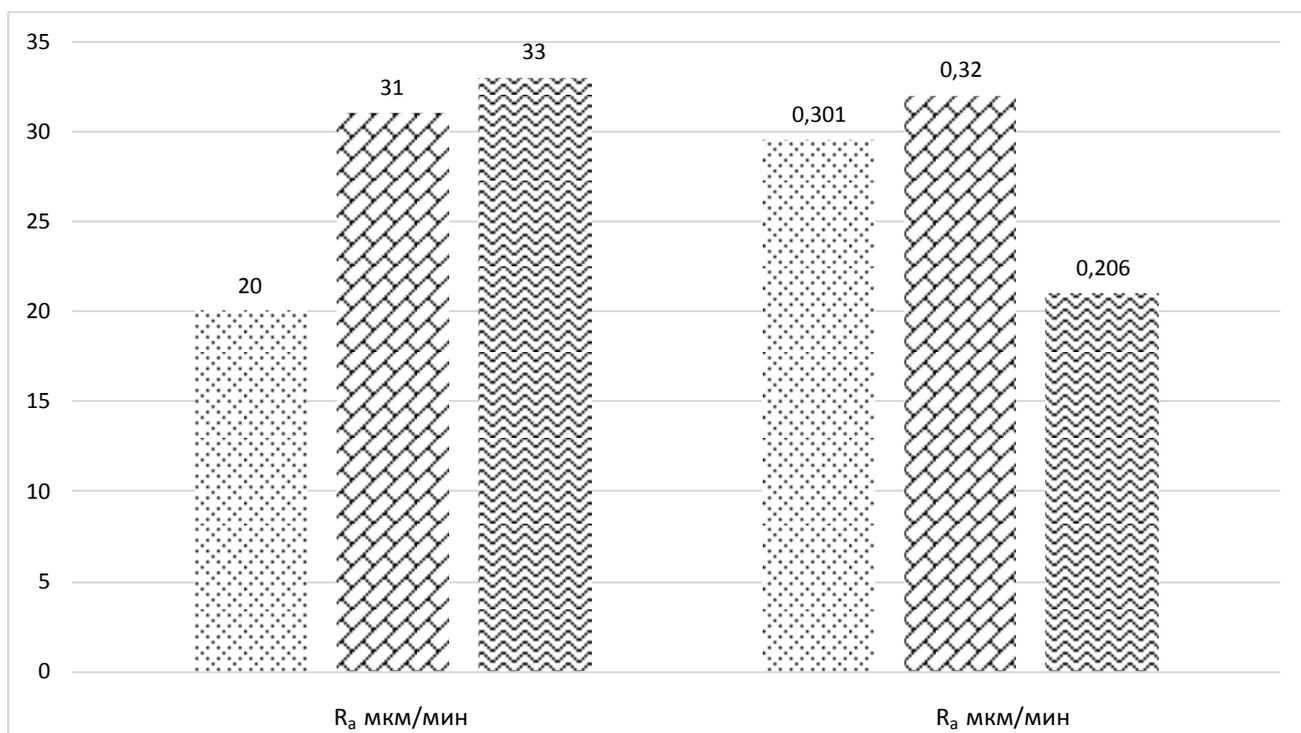


Таблица 4.3. Сравнительные показатели зависимости от хонингования

1. Традиционное хонингование – 20,
2. Хонингование с осевой осцилляцией – 31, 3. Растровое хонингование – 33.

Рисунок 4.3 - Результаты сравнительных экспериментов

Для сравнения двух способов обработки брались такие параметры как производительность резания, так и качество шероховатости обработанной поверхности. В экспериментах менялся только вариант траектории главного движения резания брусков, другие параметры не менялись. Числа, указанные на (рис 4.3) подтверждают эффективность растрового способа хонингования: по производительности хонингованию с осевой осцилляцией, так же наиболее эффективен по шероховатости обработанной поверхности.

4.2. Факторы, влияющие на исследования технологических процессов на базовом процессе обработки блока цилиндров.

Опыты ставились на деталях массового производства типа «блока цилиндров» из чугуна Gh 190B. Размеры обрабатываемого отверстия: диаметр отверстия — 82 мм, длина отверстия — 129 мм, твердость — HRC > 57. На финишной обработке, погрешности геометрической формы не более 0,01 мм, шероховатость Ra 0,2...0,8 мкм. Выбирая параметры алмазных брусков, на этом этапе исследований испробованы большой ассортимент алмазных брусков.

Показатели процесса основными приняты: производительность и средний расход СТМ, микронеровность детали. Использовался материал чугун Gh 190B с твердостью HRC>57 для постановки эксперимента над инструментом из (синтетического и кубанических нитрида бора (рис. 4.4. и табл. 4.4. 4.5.)). Данные параметры обрабатываемого металла ведет к очень быстрому износу режущих частиц приблизительно за 1-5 мин., в дальнейшем происходит растворение и смешивание срезаемых частиц с алмазами абразива. Итоги смешивания запечатлены на фотографиях режущих частиц рис.4.5. выполненных с помощью электронного микроскопа. Таким образом процесс резание переходит очень резко в процесс выглаживания, срезая материал только в границах начальной

шероховатости. Материал Gh 190B; HRc >57; T_{хон}= 0,5 мин; P=0.8 МПа; V_{рез}=21

Номер цикла хонингования	КР 80/63-М5-22—100%		АС20 80/63-М5-22-100%	
	$A_{мен1}$ МКМ	$D_{«ел»}/T_{хон}$ МКМ/МИН	$A_{мет}$ МКМ	$4_{мет}/T_{хон}$ МКМ/МИН
1	18	36	7	14
2	17	34	4	8
3	18	36	4	8
4	16,5	33	3,5	7
5	16,5	33	4	8
6	15,5	31	3,5	7
7	17,5	35	2,5	5
8	17	34	3	6
9	16	32	2,5	5

м/мин.

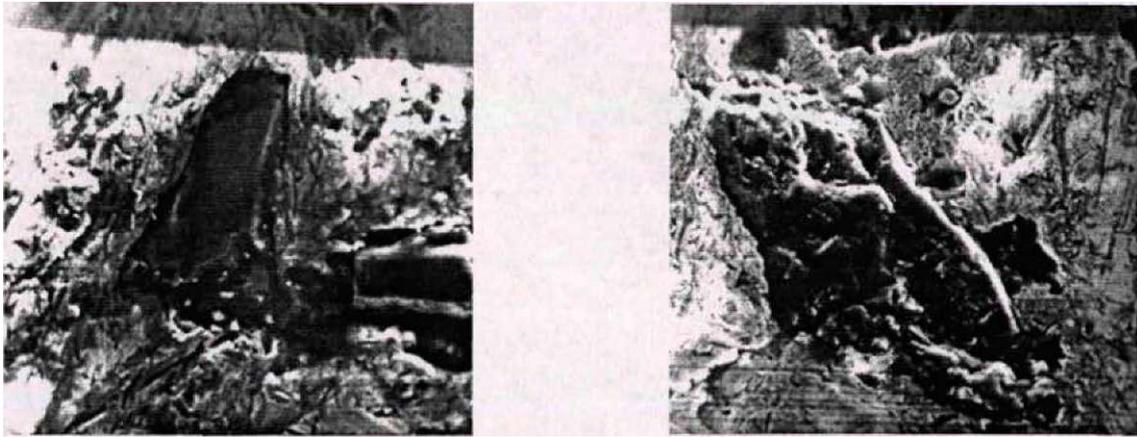
Таблица 4.4. Сравнительные эксперименты по хонингованию чугуна.

10	17	34	2,5	5
----	----	----	-----	---

Характеристика брусков	Дает МКМ	Q_{cm} /см ч	Астм, МКМ	К, мг/г	Ra, МКМ
КР 80/63-М5-22- 100%	17	0,408	2	0,8	0,301
АС20 80/63-М5-22 100%	3,7	0,0981	0,9	2,28	0,23
КМ 60/40-МД-50%	15	0,38	2,3	2,6	0,187
АСН 60/40-МД-50%	3,5	0,097	4	14,2	0,22

Таблица 4.5. Параметры инструмента для хонингования

Исходя из выше перечисленного для хонингования чугуна Gh 190В инструмент из синтетических алмазов изъяли далее эксперимент велся на одном виде брусков из КНБ, чтобы снять подозрения и несоответствия. Данный вид инструмента отличается своей термостойкостью и нейтрален к воздействию с металлами.



а) АС20 125/100-М5-22-100%, $T_{\text{хон}}=5\text{м.}$ б) КР125/100-М5-22-100%. $T_{\text{Хо,}}=60\text{ м.}$

Рисунок 4.5 - Характер износа режущих зерен. (Увеличение 2500)

Поставленные эксперименты поясняют и описывают возможности данного инструмента: -высокая производительность, -большой период замены инструмента, -термостойкость, -качественную шероховатость и т. д. В брусках КМ 60/40 - МД — 50% относительно большой износ поясняется тем что если сравнивать со связкой М5-22, то данная связка наиболее мягче. Из выше перечисленного можно сделать вывод о том, что исходная шероховатость более выше на основе связки МД указаны в таблице 4.6. ($T_{\text{хон}}=0,5\text{мин}$; $P=0,8\text{ МПа}$; $V_{\text{ре}}=21\text{ м/мин}$)

Характеристика брусков	<i>Дмет</i>	$Q\text{ см}^3/\text{см}^2\text{ч}$	$\wedge\text{стм}$	<i>Кыт/т</i>	<i>Ya</i> мкм
КМ 40/28-М5-22-50%	14	0,35	2,2	1,0	0,135
КМ 60/40-МД-50%	15	0,38	4,3	2,6	0,187
КМ 60/40-М5-22-100%	15	0,38	2,2	1,0	0,180
КР 80/63-М5-22-100%	17	0,40	2	0,8	0,301
КР 125/100-М5-22100%	20	0,46	1,8	0,75	0,59

Т
абл
ица
4.6.
Ис
сле
дов

ание зернистости брусков

На отделочные операции хонингования блоков цилиндров из чугуна Gh 190B, было предложено использовать бруски в диапазоне каучукодержащих связок P11 — P18T. Начальная шероховатость в каждом исследовании держалась

Характеристика брусков	Ra_{cp} , мкм	Ra мкм	$Racp$, ИСХОД.
---------------------------	--------------------	-------------	--------------------

постоянной $Ra = 0,19 - 0,21$ мкм. Время хонингования 60 сек. Результаты представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7. Зависимости шероховатости брусков на микрорельеф

АСМ 40/28-Р18Т-50%	0,116	0,013	0,190- 0,210
АСМ 40/28-Р11Т-50%	0,105	0,014	
АСМ 40/28-Р14/Р9- 50%	0,115	0,014	
АСМ 40/28-Р11/Р9- 50%	0,119	0,013	

Итоги исследуемых опытов свидетельствует о том, что проведенные эксперименты доказывают, что связки на этой основе имеют одинаковую скорость обработки и качество микрорельефа, однородность сетки. Начальная микронеровность детали $Ra = 0,190 — 0,210$ мкм, бруски зернистостью АСМ 40/28 не достигается необходимой шероховатости ($\sigma = 0,08 - 0,04$ мкм). Были проведены исследования для оптимального подбора инструмента. Выводы описаны в таблице 4.8. В эксперименте использовался инструмент на связке Р11Т.

Таблица 4.8. Воздействие подбора инструмента по зернистости на микрорельеф детали

Параметры алмазного инструмента	Ra_{cp} , мкм	RL_{λ} мкм	R_{exp} , исход.
АСМ 40/28-Р11Т-50%	0,0310	0,0072	0,12-0,15
АС4 50/40-Р11Т-50%	0,0311	0,0040	
АС4 80/63-Р11Т-50%	0,0516	0,0029	

Эксперименты подвели к выводу инструмент с зернистостью 40/28 наиболее качественно обрабатывает начальную микронеровность, но образование формы нивелируется и ведет к снижению. Данное явление объясняется тем что

инструмента не качественно снимает изначальный припуск на обработку на данной операции что приводит к погрешности данной геометрической формы. В итоге был подобран оптимальный абразивные инструмент АС4 50/40-Р11Т-50%. Такой инструмент срезал изначальные припуски без отклонения геометрической формы и выводил однородную сетку. Многое зависит от параметров настройки и режимов обработки станка.

Таблица 4.9. Подбор оптимального абразива

На опыте увидели, что при увеличении скорости процесса резания линейно увеличивается износ инструмента в 3 раза. Вывод что относительный износ СТМ при возрастании скорости ведет к уменьшению. Поверхность не зависит от скорости обработки. В растровом методе обработки с помощью такого инструмента можно устанавливать максимальную скорость резания материала. Давление в данном виде обработки оказывает огромное воздействие на обрабатываемые детали. Итоги поставленных экспериментов занесены в таблице 4.10. и на рис.4.6. Контактное давление оказывает воздействие на результаты обработки (Бруски КР 80/63-М5-22-100%; Тхон=0,5 мин; Vрез= 27 м/мин)

$V_{рез}$ м/мин	$A_{мет}$ мкм	$O_{см^3/см^2}$	$A_{СТМ}$ мкм	K мг/г	Ra сред, мкм
14	20,4	0,238	1,5	0,60	0,46
21	31,4	0,368	1,5	0,42	0,40
27	42,0	0,495	1,7	0,38	0,42

Таблица 4.10. Результаты исследований растрового метода

Р, МПа	$a_{мет}$ МКМ	3 2 см / см ч	астм МКМ	К мг/г	R_a сред, МКМ
0.4	10	0,28	1,5	0,95	0,27
0.8	17	0,408	2	0,80	0,301
1	20	0,46	2,3	0,78	0,320
1.2	29,8	0,68	4	1,2	0,493

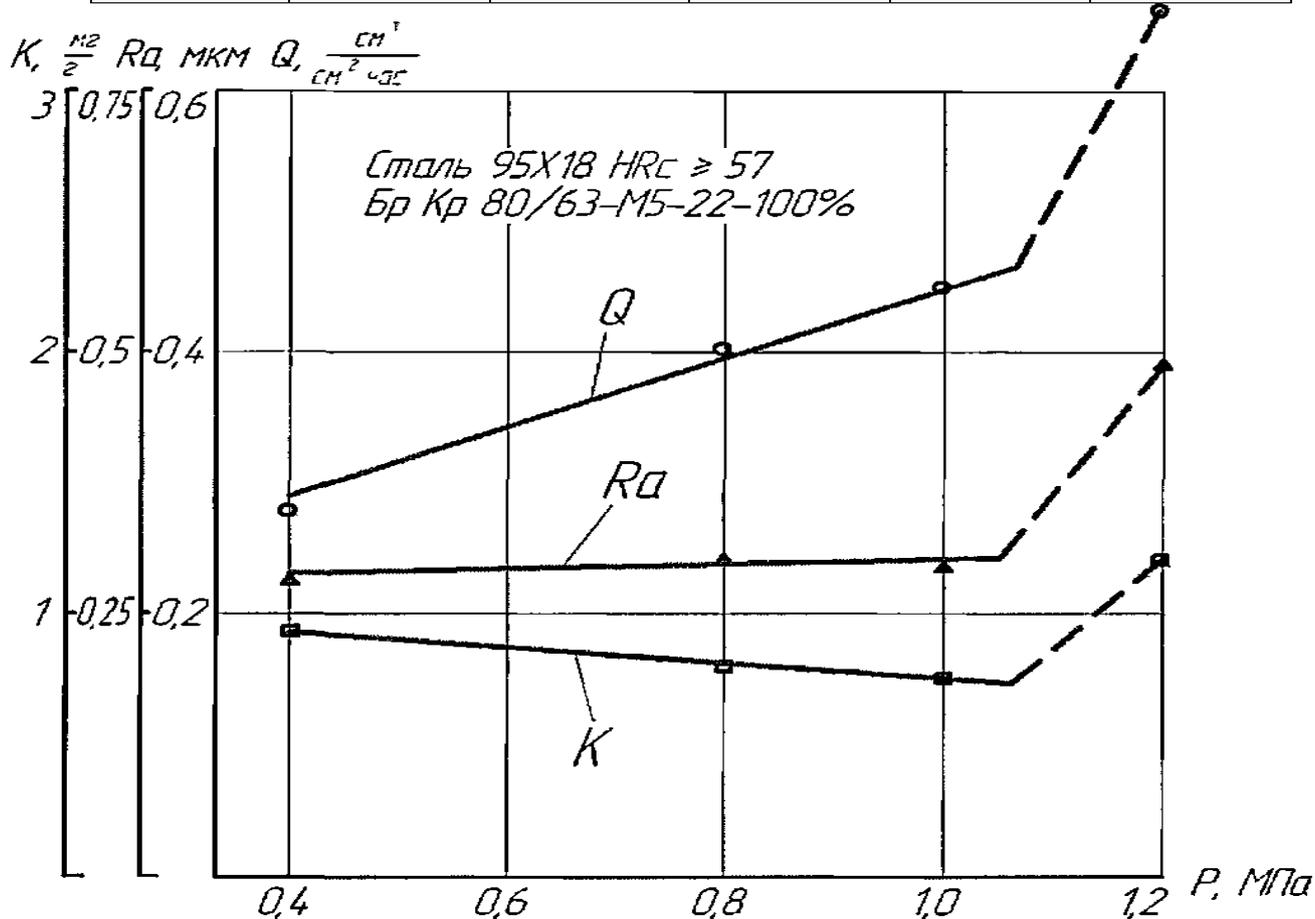


Рисунок 4.6 - Воздействие радиального давления на показатели производительности

Изображенное на рис. 4.6. зависимость контактного давления от производительности (зависимость, приближенная к линейной).

Данное явление поясняется тем что режущие частицы внедряются глубоко. Данное расположение обработки материала помогает сохранить инструмент от быстрого износа.

Данное явление остается актуальным до тех пор, пока давление равно 1 Мпа, при увеличении давление расход инструмента тоже растет также тянет за собой и микронеровность.

4.3. Формирование шероховатости в процессе хонингования исследование технологических процессов.

В процессе обработки фиксированными частицами абразива если его сравнивать с доводочным процессом не зафиксированными частицами абразива и достичь цели технических требований по отсутствию микрозаусенцев в перекрестии радиальных и центральных борозд. Прежде чем провести опыт управления технологическим процессом в традиционном хонинговании на возникновение микрозаусенцев. Поставлены задачи для проведения изысканий приемов и условий процесса хонингованием, которые минимизировали возникновение микрозаусенцев. В исследовании был задействован инструмент с восьмью брусками хонинговальные головки диаметром 80, два бруска неподвижны, следующие подвижны в радиальном направлении, и так далее чередуется по всему диаметру. Необходимое давление на деталь обеспечивается за счет способности разжиматься подвижным брускам. Длина – 150 мм, ширина – 10 мм размеры абразивного инструмента (бруска). Бруски, изготовленные из проката рабочий слой которых состоит на основе металлосиликате М5-22, в их состав

входит кубический нитрид бора или синтетические алмазы. Для исследования были подобраны бруски с разными основами связок:

КМ 20/14-М5-22-50%; КМ 40/28-М5-22-50%; АСМ 60/40-М5-22-100%

КМ 60/40-М5-22-100%; КР 80/63-М5-22-100%; АС15 80/63-М5-22-100%.

Традиционное и растровое хонингование осуществлялось при $V_{рез}=21$ м/мин, $P=0,8$ МПа.

Таблица 4.11. Воздействие размера среза металла на высоту микрозаусенца

Метод хонингования и характеристика брусков	МКМ	h, мкм в отв.	
		диаметр 3 мм	диаметр 5 мм
Традиционное КР80/63-М5-22-100%	22	11	10
	40	16,5	17,5
	62	23	24
Традиционное АС1580/63М5-22-100%	22	11	15
	40	20,5	30
	59	32,5	35
Растровое КР80/63-М5-22-100%	30	5	6
	46	4,5	6
	64	5	5

Из таблицы 4.11. ясно, что по мере увеличения диаметрального среза металла размер микрозаусенцев растет. Однако, при обработки брусками из КНБ, размер микрозаусенцев в 1,3... 1,6 раза меньше, чем при хонинговании брусками из синтетических алмазов. Это явление объясняется тем что инструмент из КНБ при обработки закаленных материалов отличаются на много большей режущей силой чем инструмент из синтетических алмазов. Во время растрового хонингования размер микрозаусенца практически не зависит от среза материала. С помощью сложной траектории хода режущих частиц постоянно меняется направление хода.

Было исследовано структура микрозаусенца с помощью микроскопа. Выявлено, что у многих микрозаусенцев имеют форму скрученного шарика, который происходит при загибании-завертывании микрозаусенца в поперечном направлении относительно кромки радиального отверстия. Данная структура микрозаусенца обусловлена для процесса хонингования как брусками из КНБ, так и брусками из синтетических алмазов.

Данное явление объясняется тем, что инструмент из КНБ, владея значительным режущим свойствам, меньше отклонение от геометрических форм при хонинговальной обработки. В итоге микрозаусенцы имеют слабее «корень».

В процессе наращивания высоты микрозаусенцев прочность их сначала возрастает, а потом не много снижается. Такое явление связано с увеличением высоты микрозаусенца совершается перемена сторон величин между высотой и длиной. Нарастивая соотношение, увеличивается и радиус прилагаемого усилия на инструмент и оснастку таким образом это приводит к меньшему сопротивлению на обрабатываемой поверхности что способствует уменьшению сил резания. Такое явление можно наблюдать как при обработки брусками из алмаза синтетического, так и после обработки кубическим нитридом бора.

В таблице 4.12. указаны методы и инструмент с помощью которого велся сравнительный анализ производительности и эффективности методов обработки с помощью традиционного хонингования с брусками из синтетического алмаза, так же проводилось испытания с традиционной траекторией и брусками из кубического нитрида бора (КБН). Растровый метод обработки опыт ставился с брусками из кубического нитрида бора. Из данных приведенных в таблице 4.12. видно, что обработка разными брусками, но одним и тем же методом разница между обработок практически не заметна. Растровый метод значительно отличается от традиционного.

Таблица 4.12. Влияние вида абразива и метода хонингования на размеры и прочность микрозаусенцев

Метод хонингования и характеристика брусков	Отверстие й 3 мм		Отверстие с 15 мм	
	/Г,мкм		к, мкм	ЯН
Традиционное КР80/63-М5-22-100%	11	2,15	10	1,76
	16,5	3,92	17,5	3,33
	23	5,88	24	3,82
Традиционное АС 1580/63-М5-22-100%	11	6,66	15	0,23
	20,5	7,90	30	9,40

	32,5	10,2	35	9,11
Растровое	5	0,44	6	0,64
КР80/63-М5-22- 100%	5,5	0,48	5	0,60

Отличия заключаются в том, что микрозаусенцы которые обрабатывались синтетическими алмазами в процессе чего появлялись микрозаусенцы были намного прочнее и требовалось меньше энергии на срезание.

Воздействие инструмента, то есть зернистости его на шероховатость и высоту микрозаусенцев опыт ставился на закаленной стали и инструментом из КНБ. Опыт проводился с разными брусками по типу зернистости, связки из синтетического алмаза и др. Все опыты проводились в равных условиях по таким показателям как материалы, настрой и наладка станков, подобран был одинаковый инструмент это требовалось для более объективного и независимого эксперимента над процессом хонингования.

В таблице 4.13. приведены результаты использования инструмента с разной зернистостью, что приводило на разных инструментах к увеличению микрозаусенцев. Такое явление объясняется тем что инструмент с большой микронеровностью частицы, которые расположены выше среднего уровня проникают в материал глубже что приводит к интенсивной производительности резания и съему больших частиц металла.

Таблица 4.13. Воздействие зернистости инструмента на величину шероховатости и микрозаусенцев.

Характеристика брусков	Δ_{MET} МКМ	h, МКМ	R_a , МКМ
КМ 20/14-М5-22—50%	31	4,0	0,086
КМ 40/28-М5-22-50%	43	7,5	0,15
КМ 60/40-М5-22—100%	45	10,0	0,26
КР 80/63-М5-22-100%	40	17,0	0,41
АСМ 60/40-М5-22—100%	39	12,0	0,15
АС 15 80/63-М5-22-100%	40	25,0	0,48

Аналогично обрабатывая инструментом из синтетического алмаза ситуация подобная. Стоит отметить, что КНБ и алмаз синтетический равной микронеровности срезает части металла больших размеров. При увеличении зернистости инструмента растет и шероховатость поверхности детали.

Таблица 4.14. Воздействие давления инструмента на производительность

Обрабатываемый материал	P, МПа	$L_{\text{мет}}$, МКМ	к, МКМ	R_a , МКМ
12ХНЗА	0,3	51	14,8	0,179
	0,6	48	13,5	0,220
	1	56	14,0	0,242
95Х18	0,3	51	14,9	0,233
	0,6	51	14,2	0,260

	1	50	13,5	0,302
--	---	----	------	-------

Таблица 4. 15. Влияние величины давления на высоту h , мкм микрозаусенец.

Характеристика брусков и метод хонингования	h , мкм при давлении P , МПа			
	0,2	0,6	0,8	1
Традиционное КР 80/63-М5-22—100%	7,5	11	14,5	16,5
Растровое КР 80/63-М5-22—100%	2,5	3,9	4,4	4,8

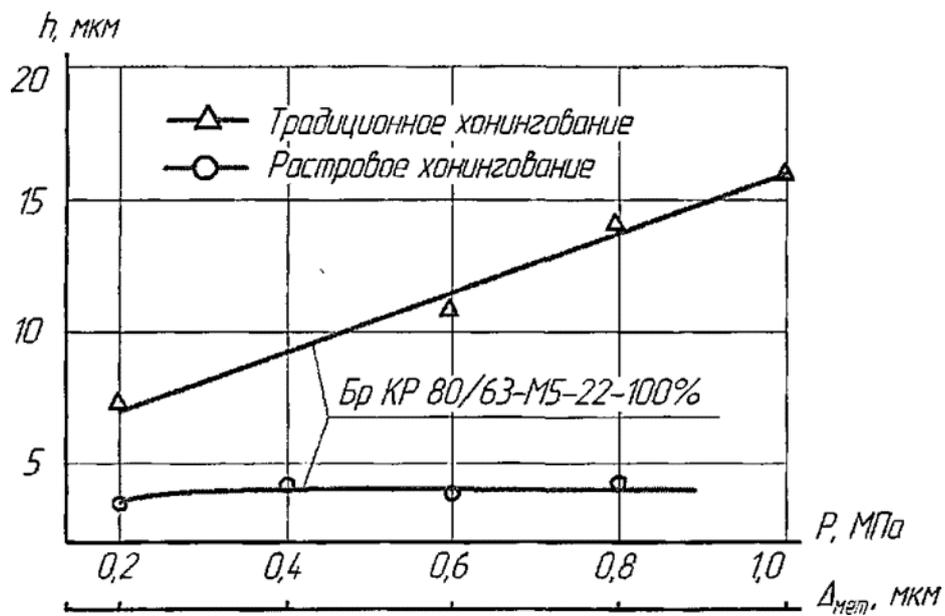


Рисунок 4.7 - Влияние давления брусков, а высоту микрозаусенцев

При постоянном направлении движении инструмента переворот детали направление движения инструмента относительно кромок радиального реза меняется на антагонистичное. Край радиального отверстия, до разворота детали была попутной и имела увеличенный микрозаусенец после разворота.

Режимы обработки. Если учесть, что длина обрабатываемой стороны соотносится с длиной инструмента, растровое хонингование производилось без осевой подачи ($V_{ос} = 0$). Кинематика главного движения брусков указана на рис. 4.14. Проводились опыты размерного и чистового хонингования велись при таких параметрах наладки: $V_{рез} \sim 22$ м/мин, давление брусков для размерного хонингования $P=0,6-1$ МПа, для чистового (отделочного) хонингования $P=0,6-0,8$ МПа.

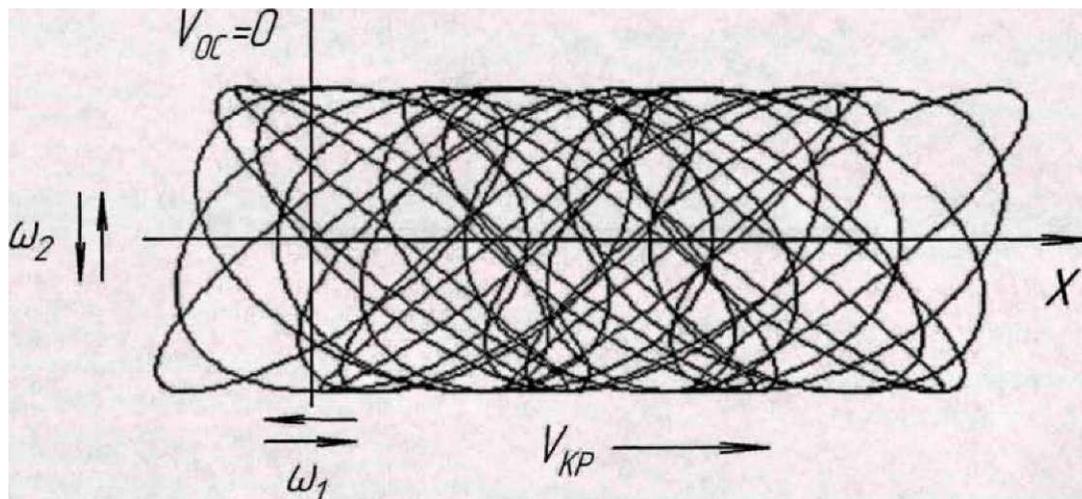


Рисунок 4.8 - Растровая траектория рабочего движения при хонинговании контрольных колец

Итоги проведенных опытов расценивались по таким показателям процесса: производительность процесса, микрорельеф поверхности и погрешности геометрической формы изготавливаемого отверстия (итоги опытов погрешности геометрической формы описаны в пятой главе). В итоге равных начальных размеров отверстий в кольцах, обработка хонингованием устанавливалась по упрощенному способу: диаметральный срез $A_{мст}$ мкм в единицу времени, Q мкм/мин. Для этого устанавливалось стабильное время обработки и рассчитывался диаметральный срез как разность средних диаметров до и после хонингования. Замеры диаметра проводились по двум трем сечениям длины отверстия индикаторным нутромером с ценой деления 1 мкм. Про анализировав измерения,

предварительное шлифование отверстия в кольцах погрешность геометрической формы доходит 30 мкм и более, микрорельеф поверхности в данной области Ra 0,6 – 1,2 мкм. По техническим требованиям нужно обеспечить погрешности геометрической формы не более 2 мкм, а микрорельеф окончательной обработкой поверхности 0,025 мкм. Данное увеличение качественных параметров возможно только при двух или трехкратной обработки. Для этого велось размерное хонингование, при котором производился требуемый срез металла и исправление начального отклонения геометрической формы отделочное хонингование, при котором достигалась необходимая шероховатость поверхности. Хонингование производилось по схеме — жесткая головка - «плавающая» деталь.

В начальных этапах опытных работ испытана большая номенклатура инструмента для размерного хонингования. Опыты ставились на кольцах диаметром отверстий 35 мм. Мерой оценивания были производительность среза металла и микрорельеф обработанной поверхности. Результаты экспериментов представлены в таблице 4.16. и 4.17.

Таблица 4.16. Влияние зернистости брусков на производительность съема и шероховатость поверхности (P=0,8 МПа, Vрез=22 м/мин)

Характеристика Брусков	Производительность съема θ, cp , мкм/мин	Шероховатость Ya_{cp} , мкм
АС6 63/50 - М2-01 - 100%	36	0,32
КМ 60/40 - М2-01 - 100%	40	0,15
КМ 40/28 - М5-22 - 50%	44	0,12

Экспериментально установлено, что с помощью КНБ можно поднять производительность даже при условии низкой зернистости инструмента нежели абразив состоящий из синтетического алмаза.

Таблица 4.17. Воздействие типов зерен на обработку

Характеристика бруска	Производительность О мкм/мин Циклы хонингования							
	1	2	3	4	5	6	7	8
АС6 63/50 -М2-01 - 100%	88	61	32	47	25	12	12	11
КМ 60/40 -М2-01 - 100%	58	36	51	44	37	40	22	35
КМ 40/28 - М5-22 - 50%	55	45	45	37	52	31	40	46

Пояснение данного явления тем, что в итоге химической активности частиц алмаза с железом (контактируемые части «алмаз – сталь») не режущих частичках из синтетического алмаза мгновенно происходит площадка износа. Так же становится меньше величина внедрения частиц в обрабатываемый металл и происходит поэтапное снижение срезания микрорельеф произведенной поверхности изменяется в отношении с шероховатостью брусков.

Закономерность воздействия скорости резания на обработку среза металла и микрорельефа поверхности подобна итогам полученным при обработки хонингованием стали. Лимитированным параметром в этом случае является допустимое увеличение отклонение формы произведенного отверстия из-за инерции.

Для того что бы достичь необходимого качества получаемой микронеровности поверхности ($R_a=0,025$ мкм) после размерного хонингования брусками КМ 40/28-М5-22-50% производилось отделочное (чистовое) хонингование инструментом на основе каучукосодержащих связках. Испытанные бруски разной шероховатости с разной жесткостью связки. Все исследования велись при одинаковых режимах, что и размерное хонингование помимо давления инструмента. Давление выставлялось в лимитах 0,6 - 0,8 МПа.

Итоги исследования чистового хонингования колец с диаметром колец 35 и 18 мм приведены в таблице 4.18. и на рисунках 4.15. - 4.18. Во время хонингования упругими брусками срез металла не увеличивается от начальной шероховатости, таким образом геометрическая форма и величина обрабатываемых отверстий в действительности не меняется. Тем не менее рост времени хонингования больше 60 сек. и давление инструмента больше 1 Мпа показываются не значительные скругления на кромках отверстий.

Таблица 4.18. Влияние характеристики брусков на величину шероховатости ($T_{\text{хон}} = 30$ сек.; $P=0,8$ МПа, $V_{\text{рез}}=22$ м/мин)

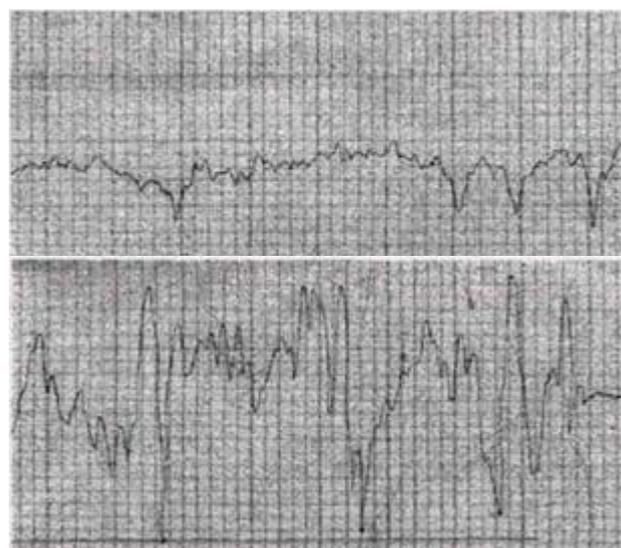
Характеристика брусков	Шероховатость Ra_{cp} , мкм.
АСМ 40/28 - Р9/Р4 - 25%	0,040

АСМ 28/20-Р1 1 -50%	0,027
АМС 20/14 -Р9- 25%	0,022

Наглядно видно при хонинговании брусками АСМ 40/28- Р9/Р4-25%, которые при наибольшей зернистости имеют наименьшую жёсткость связки за счёт составляющей Р4. Данный инструмент за 30 сек. обработки не снижает исходную микронеровность после размерного хонингования до необходимой микронеровности ($R_a 0,0025$).

Размер микронеровности после отделочного (чистового) хонингования зависит от начальной микронеровности, произведенной после размерного хонингования. Итоги сравнительных опытов, произведенных в равных условиях, описаны на профилограммах (рис. 4.15-4.18.).

Необходимую по техническим требованиям микронеровность обеспечивает инструмент зернистостью 20/14 на связке Р9. Связка Р11 по жёсткости не сильно различается в сторону наращивания от связки Р9. Поэтому брусками на связке Р11 или Р11Т, которая более износостойкая, но с зернистостью 20/14, сложно за меньшее время ($T_{хон}=20$ сек) устойчиво обеспечивать требуемую микронеровность. Общая динамика снижения шероховатости поверхности, начиная от исходной после шлифования, показана на рис.4.18.



$$R_{aCP} = 0.12 \text{ мкм}$$

Размерное хонингование КМ

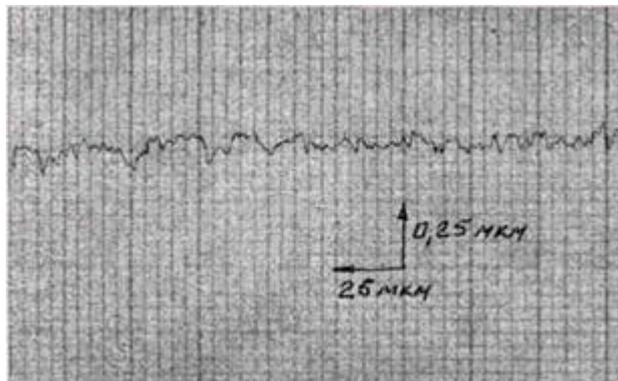
40/28-М5-22-50%

$$R_{aCP} = 0.037 \text{ мкм}$$

Чистовое хонингование АСМ

40/28-Р9/Р4-25% $T_{\text{хон}} = 30$ сек

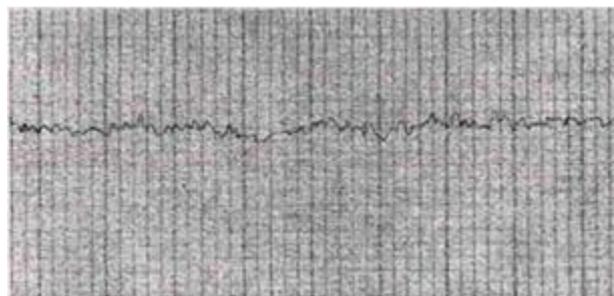
Рисунок 4.16 - Размерное и чистовое хонингование экспериментальные



$R_{aCP} = 0.33$ мкм Чистовое

Хонингование АСМ 28/20-Р11-50%

$K_{aCP} = 0.022$ мкм



Чистовое хонингование АСМ 20/14-
25% $T_{\text{хон}} = 30$ сек

Р9-

Рисунок 4.17 - Размерное и чистовое хонингование экспериментальные

5. Исследование в области качества обработанных поверхностей с помощью растрового движения

5.1. Обработка стенок цилиндров исследование влияния параметров станка на погрешность геометрической формы

Данная глава рассматривает проблемы, связанные с формообразованием цилиндров при растровом хонинговании. Понятие формообразования образования макро и микрорельефа обработанной поверхности. При хонинговании происходит съем металла с поверхности при воздействии технологических, кинематических и других факторов с помощью которых происходит формообразование цилиндров. Изучив взаимосвязь величины стружки обрабатываемого цилиндра в каждой точке с разными признаками, можно предсказать и управлять обработкой цилиндров с помощью воздействия на главные параметры [3,21,56,111].

«Главными параметрами управляющие точностью геометрической формы отверстий при обработки алмазными брусками являются: относительное кинематическое движение инструмента, технологическая жесткость системы, наладка, изначальная погрешность формы инструмента». Главной сутью кинематики траектории инструмента по отношению к обрабатываемой поверхности при движении растрового хонингования является следующим. Каждая частичка алмазного абразивного бруска производят сложные колебательные траектории резания, а также круговые ($F_{кр}$) и возвратно-поступательные кинематику ($F_{ос}$) относительно поверхности цилиндров с малыми скоростями (подача $S_{кр}$ и $S_{ос}$). Соприкасаемые частицы перемещаются по контурным траекториям, скорости их равны, но время контактирования за один ход

поступательный по длине цилиндра не равномерный и зависит от движения и масштабных-геометрических параметров. Масштабно-геометрические параметры – это соотношение длины отверстия (L_{OTB}) и брусков ($L_{бр}$), величины хода ($1X$) и перебега ($1П$) брусков.

В работах Б. Н. Кириллина и П. И. Ящерицына [111] указаны схемы-графики, в которых время контакта инструмента с поверхностью цилиндров при траектории вдоль оси. Проанализированы 2 способа обработки: сумма длины цилиндра и инструмента больше или равна длине хода. Считая, что срез материала в единицу времени при равных других параметрах прямо пропорционален контактированию инструмента по времени и цилиндра во всех поперечных сечениях, то размерность среза по длине цилиндра, а следовательно и точность геометрической формы в продольном сечении зависимы в принципе от параметра возвратно-поступательного движения (осевого перемещения). Разобраны два варианта обработки: сумма длины цилиндра и инструмента больше или равной, длине хода меньше указанной суммы.

В первом варианте (рис.5.1.) каждое поперечное сечение цилиндров касается с инструментом (брусками) равное время, $t=L_{бр} / V_{oc}$ при условии константы скорости V_{oc} .

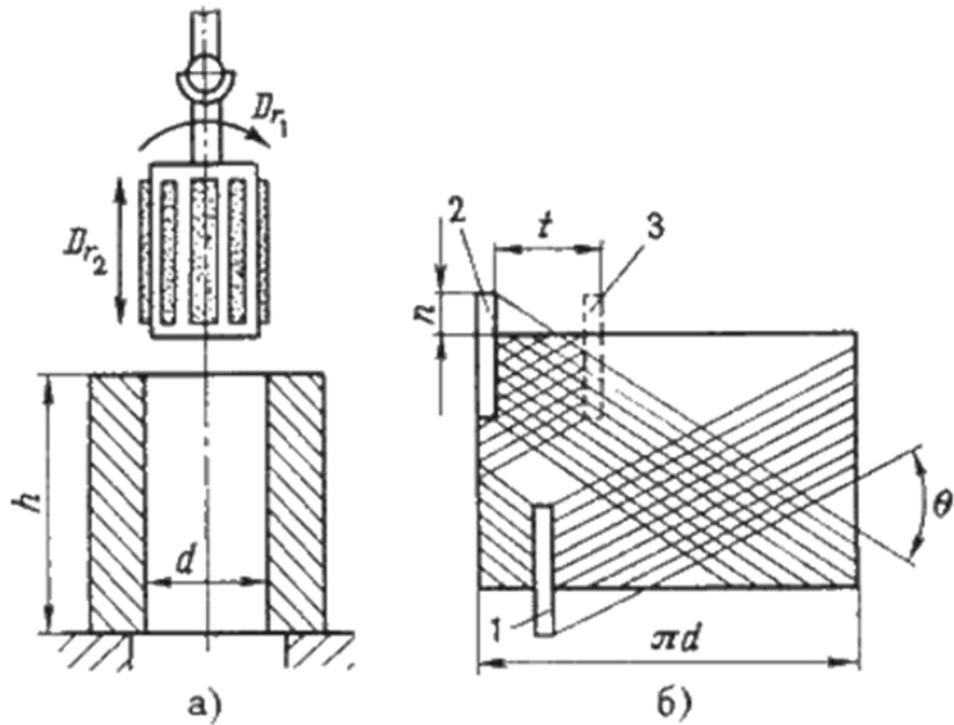
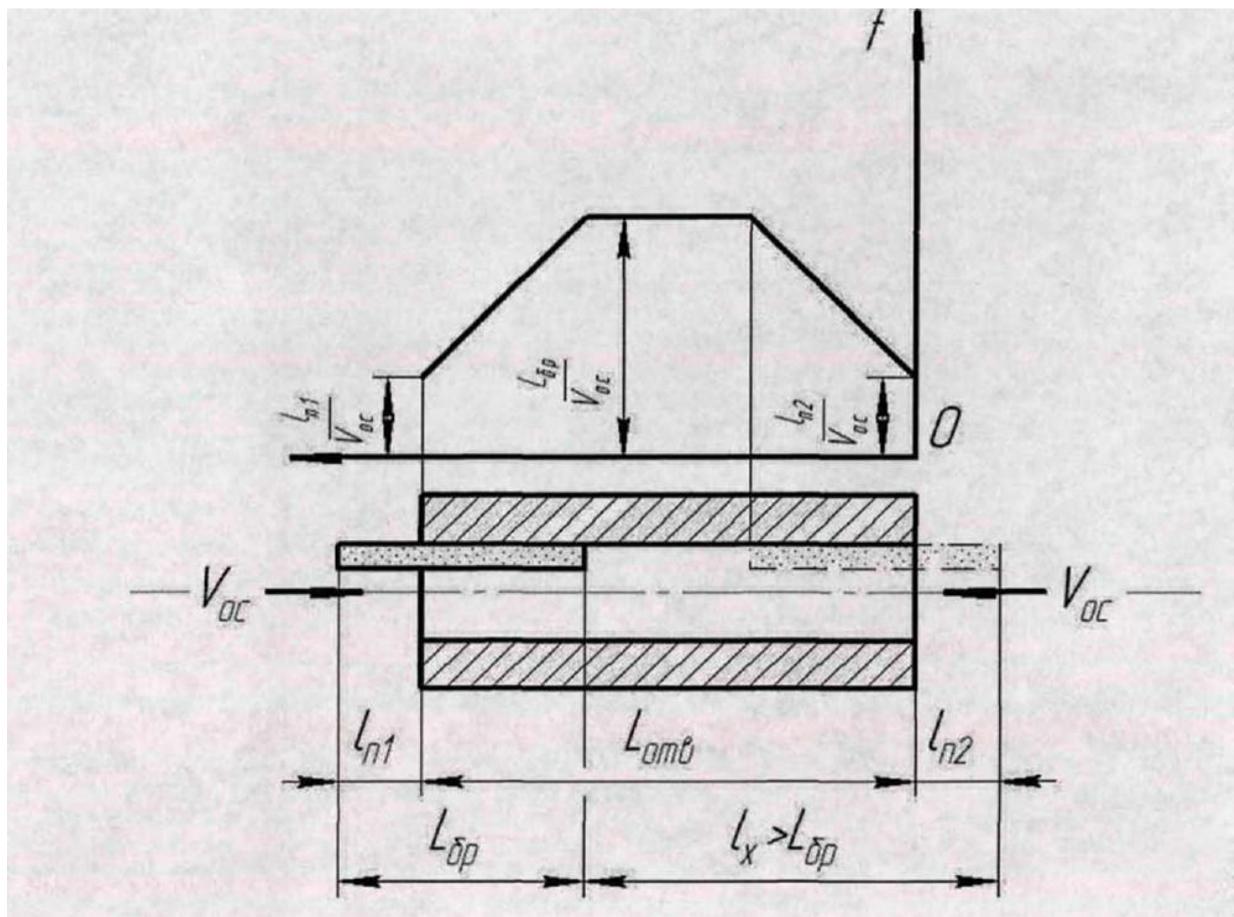


Рисунок 5.1 - Схема абразивной обработки при полном выходе инструмента из отверстия

Данный способ контактирования практически не применяется при хонинговании отверстий. Обработка брусками способом хонингования обеспечивая непрерывный контакт ход хон головки в осевом направлении



фиксирован, то есть траектория обработки производится не всем выходом алмазных брусков из цилиндров. Величина перебега ($L_{бр}$)

Рисунок 5.2 – Схема контактирования брусков при неполном выходе из отверстия.

Задержка времени расчет (73) при хонинговании растровым методом используется способ измерения контакта притира с поверхностью для изготовления прецизионных поверхностей, предложенная Кириллиным Б. Н. и Ящерициным П. И [111]. Исследованы два вида режимов обработки с частичным выводом брусков и цилиндров при установившейся скорости возвратно-поступательного движения ($V_{ос}$) по величине: а) $l_x > L_{бр}$; б) $l_x < L_{бр}$. Замечено, что при работе со связанным абразивом, то есть брусками, размер срезаемого материала по длине образующей практически не отличается от теоретической, то есть ассиметричной времени прикосновения инструмента с поверхностью в соответствии с графиком рис. 5.2.

Рассмотрим случай когда $V > L_{бр}$ (рис. 5.2.) при условии $l_{ш} = l_t$ и скорости осевой подачи ($V_{ос}$) постоянной по величине. Данный график продолжительности контакта бруска с поверхностью показывает собой ломаную линию (а б с d) и выражается размером переменной по длине оси цилиндра. Самая долгая длительность (t_1) контактирования отмечается в средней части цилиндра и равна $t_1 = L_{бр} / V_{ос}$. Протяженность времени контактирования (t_2) в начале и конце цилиндра выражается в величине перебега инструмента и равно $t_2 = l_n / V_{ос}$.

Хонингуя с перебегом инструмента, площадь контактирования инструмента меняется на краях цилиндра. Уменьшая площадь контактирования и стабильно наращивать усилие разжима давление растет, что увеличивает эффективность резания металла на кромках цилиндра. Перемена давления вдоль обрабатываемого цилиндра считается средним коэффициентом $K_{пб}$, который ассиметричен величине перебега инструмента [33]. Сумма разности времени работы инструмента

в средней части и кромках цилиндра с учетом коэффициента $K_{пб}$ позволяет нам учитывать его как расчетное время задержки (13) возвратно-поступательного перемещения $V_{ос}$ (осевой подачи) в точках реверсирования. $T_3 K_{,о} V_{ос} ' K_{пб}$.

Следующий случай, при $1X < L_{бр}$ используется в производстве где необходимо обработать «глухие» отверстия или с небольшим перебегом инструментов. В данном случае большее время контакта выводится из выражения: $X/ V_{ос}$, а время задержки подачи в осевом направлении считается для всех точек реверсирования $1X \sim 1П$ из выражения: $t_3 = V * k$ у ОС пб.

Теоретические зависимости были проверены с помощью экспериментальной установки «Растр-Ц20» при обработки деталей из чугуна Gh 190B и 12ХНЗА. Изготовление цилиндров осуществлялось жестким закреплением детали к станку и плавающей хонинговальной головкой с 8 алмазными брусками. Длина брусков 150 мм со следующей характеристикой: КМ 40/28-М5-22-50%, $1X = 38$ мм, $1П = 10$ мм.

Проводя опыт режим главного движения, то есть возвратно-поступательные частотные колебания, остались прежними: $K_y = 133$ сек⁻¹, $A = 3.14$ лш, $a > 2 = 114$ сек⁻¹ $V = 2.6$ мм. Образование геометрической формы выполнялось путем регулирования осевых ($S_{ос}$) и круговых ($S_{кр}$) подач.

На рис. 5.3. изображены итоги опытных исследований, результат был удовлетворяющий требованиям сходимости с теоретическими показателями. Операция хонингования с возвратным осевой подачи, с временной задержкой не более 0,2 с., была изготовлена «бочкообразная» геометрическая форма цилиндра с отклонением 4-5 мкм (рис.5.3.а). Увеличивая время остановки до 2,5-3 с., ведет к корсетности (рис.5.3.б) с отклонением от формы на 4-5 мкм. Требования равного времени прикосновения вдоль обрабатываемой поверхности вычисленное время отстоя состояло 1,14 с., При заложенном в опыте времени на задержку 1,2 с., постоянно производилась геометрическая форма цилиндра с отклонением не более 1,5 мкм (рис. 5.3. в).

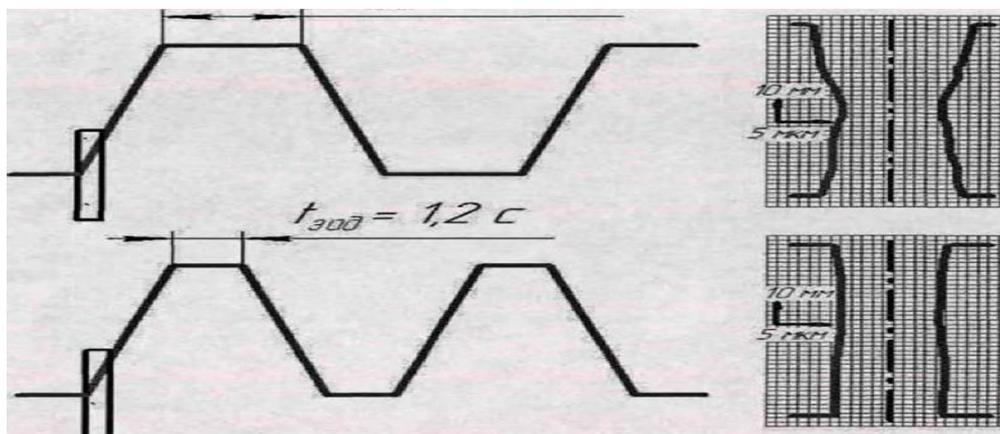


Рисунок 5.3 - Влияние времени задержки осевой подачи на отклонение профиля продольного сечения отверстия.



Рисунок 5.4 - Влияние круговой подачи на отклонение от круглости отверстия.

Увеличивая круговую подачу до 45 об/мин ($K_{лр}=23,6$ мм/сек) погрешность цилиндрической поверхности осциллирует. Можно сделать вывод что с помощью растрового хонингования регулируя режимы обработки цилиндра возвратно-поступательных движений (круговой и осевой подачи) наилучший способ управлять изготовлением требуемых параметров по точности обработки цилиндрических отверстий. По мимо этого, на точность хонингования растровым

методом хорошо влияет трудный характер траектории инструмента. Следовательно, неоднократно пересекающиеся траектории без смены направления наиболее эффективно используется режущая способность брусков и обеспечивается стабильный, равномерный износ и стойкость инструмента.

5.2. Исследования в технологии процесса хонингования цилиндрических поверхностей для повышения точности обработки.

Этот этап исследовательских работ проводился с огромным комплексом для выявления воздействия главных технологических настроек хонингования на параметры точности геометрической формы цилиндров. Изучено воздействие соотношение длины брусков к длине цилиндров, а также изготовление цилиндров с двух сторон по способу взаимной оправки.

и величину осевого хода ($1X$) и размер перебега инструмента. Настройка режимов обработки сильно ограничена при хонинговании прецизионных отверстий сравнимых с длиной инструмента.

Таблица 5.1. Соотношение длины брусков к длине отверстия

$D_{\text{отв}}$	$T_{\text{хон}} \text{ мин}$	$A_{\text{мет}} \text{ МКМ}$	$L_{\text{изм}} \text{ МКМ}$ (исход)	$D_{\text{изм}} \text{ МКМ}$ (получ)
0,5	1,5	60	4,5	2,5

0,83	0,5	20	4	0,8
------	-----	----	---	-----

Представлена схема на рис. 5.7. контактирования инструмента при хонинговании высокоточных отверстий в контрольных кольцах.

При единичном производстве хонингования коротких отверстий размер и диапазон настройки осевого хода (l_x) весьма граничны возможными значениями перебега инструмента ($l_{п}$). В действительности размер перебега инструмента подбирают равной $1/3$ длины бруска ($l_{бр}$). Назначая большой размер перебега инструмента ведет к «развалу» отверстия у кромок.

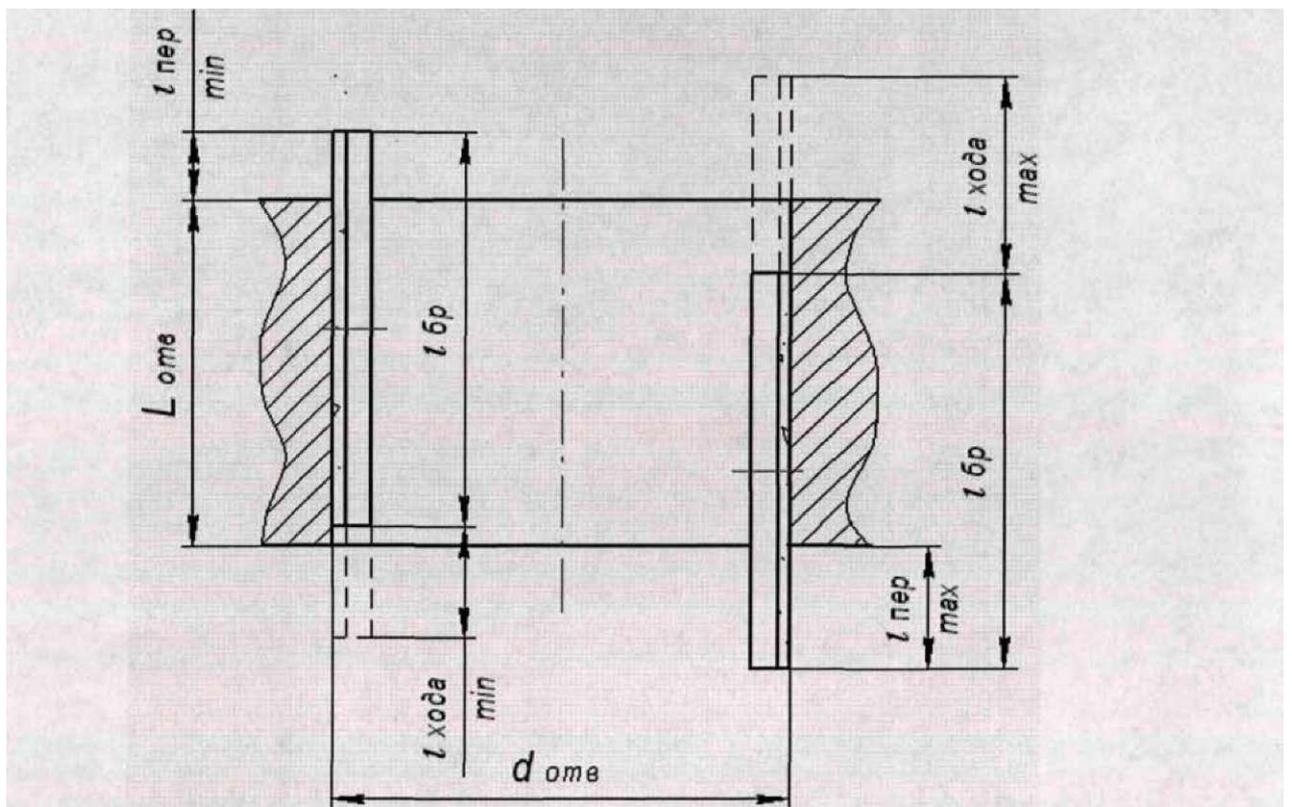


Рисунок 5.7 - Схема наладки при хонинговании контрольного кольца рабочего движения представлена в главе 4, рис. 4.14.

Малый размер осевого передвижения ведет к локальному контакту поверхности инструментов с обрабатываемой стороной, инструмент контактирует лишь с верхней стороной отверстия, а низ с нижней частью цилиндров. В итоге производится неравномерный срез и выработка инструмента, и большому повторению исходному отклонению геометрической формы.

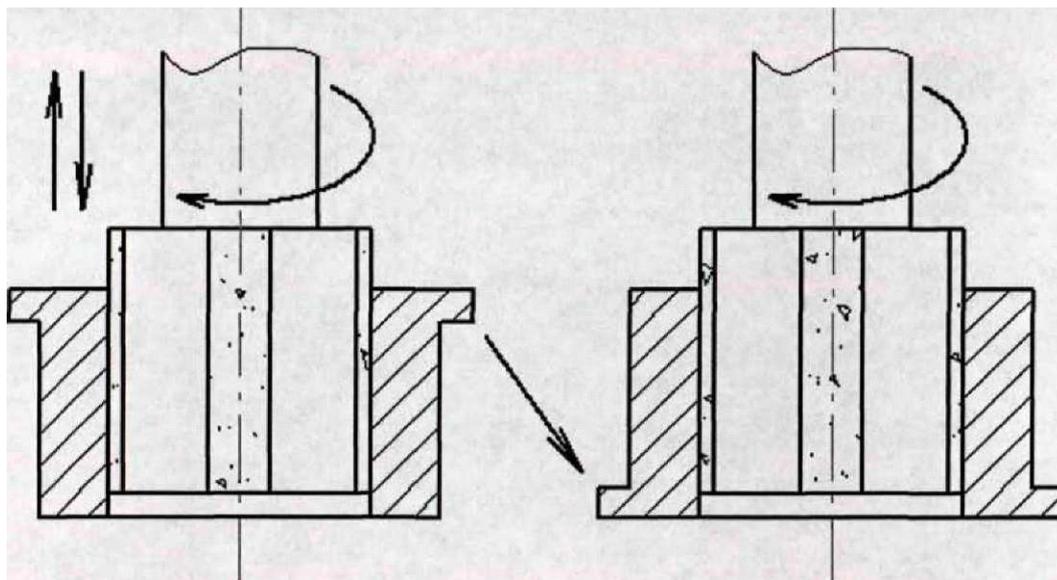


Рисунок 5.8 - Схема хонингования по методу взаимной правки

Периоды хонингования ($T_{хон}$) также их делят на два вида подпериода ($T_{хон} = T_1 + T_2 + \dots + T_n$), во всех них обрабатывается с различных сторон. Данный метод приводит к равномерному контакту рабочей поверхности инструмента по всему участку детали. С помощью данного эффекта взаимной правки невелирует исправление начальной погрешности отверстия и вместе с этим повышает точность геометрической формы рабочей части брусков, что ведет к снижению требований к точности изготовления инструмента.

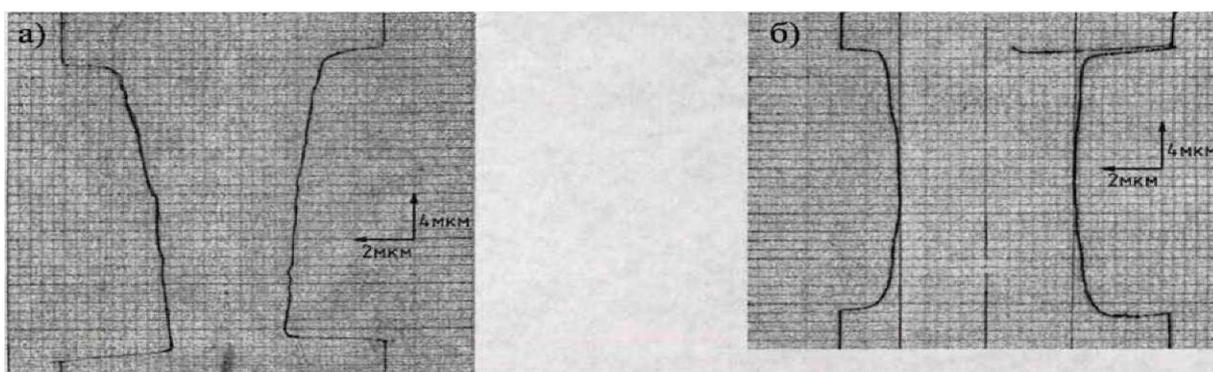
Помимо этого при двухстороннем хонинговании практически абсолютно убирается погрешность наладки, разный перебег инструмента влияет на точность

формы. Данный способ значительно эффективен во время обработки когда длина отверстия равна длине брусков.

Этот способ проверен на отверстиях $D=18$ мм. Изготавливали одновременно два кольца с жесткой установкой хон головки. Во время хонингования большого количества необходимо использовать инструмент с шарнирным креплением. Недостатки увеличенный припуск вследствие начальной погрешности геометрической формы детали.

Во время обработки отверстия с одной стороны совершается неполное копирование отклонение формы хонголки. Итоги представлены на рис. 5.9.а, 5.10.а. Погрешность геометрической формы (конусообразность) обработанного отверстия составляет 1,5 – 1,8 мкм.

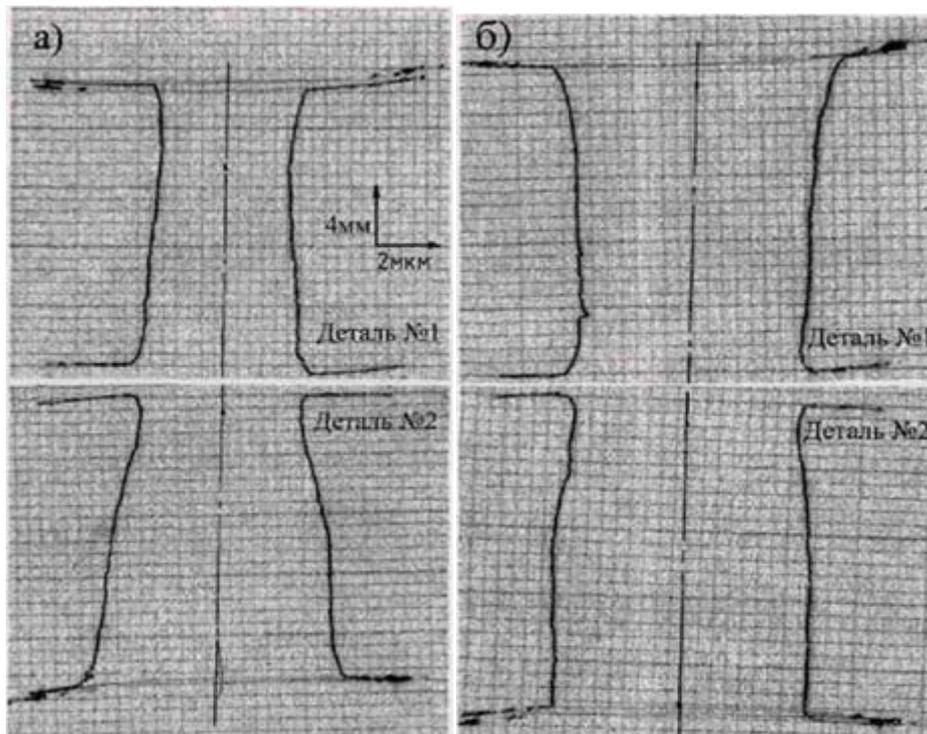
При обработки способом взаимной правки за время первого подпериода (T_2) срезается главный припуск. После разворота детали, то есть во втором подпериоде время на обработку (T_2) указывается в соотношении от отклонения $L_{пр}$ форма детали после первого подпериода и скорость среза металла мкм/мин. В первом периоде T_2 время можно вывести из выражения $T_2 = 2A_{пр}/v$ (мин).



а) Хонингование без переворота $A^{\wedge}=1,5$ мкм б) Хонингование со взаимной правкой $A_{л}^{\wedge}0,8$ мкм

Рисунок 5.9 - Результаты эксперимента. Бруски КМ40/28-М5-22-50%[^]«Ринстр — 15 мкм, Р= 1 Мпа

В каждом эксперименте профилограммы и круглограммы регистрировали после обработки жестко закрепленными брусками и после финишной обработки эластичным инструментом.



а) хонингование «пакетом» б) Хонингование со взаимной

$L_p \geq 1,8 \text{ мкм}$ правкой «пакетом» $L_p = 0,8 \text{ мкм}$

Рисунок 5.10 - Результаты эксперимента. Бруски КМ40/28-М5-22-50% $1X=22 \text{ мм}$,
 $P=1 \text{ Мпа}$

Хотелось бы подметить что каждый опыт велся при хонинговании по способу взаимной правки.

Данное разнообразие начальных погрешностей геометрической формы отверстий, как по размеру, так и по разновидности наводит нас на вывод о выгодном замещении операции предаврительного шлифования наиболее эффективной обработкой предварительного хонингования. При этом предварительное хонингование может производиться на подобном оборудовании с такими же настройками лишь только заменив хонинговальную головку и бруски.

5.3. Микронеровности и методы влияния на ее параметры

Во время обработки хонингованием происходит срезание начальной шероховатости и производство новой, присущей для данных режимов обработки. В процессе растровой обработки общие законы воздействия технологических параметров на величину микрорельефа обработанной поверхности похожим итогом традиционной обработки. Основным параметром определяющим величину микрорельефа оказывается зернистость инструмента. Микрорельеф цилиндра увеличивается соразмерно росту размера частиц абразива. Скорость обработки и давление инструмента (при перемене в границах рабочего диапазона) видимого влияния на величину микрорельефа хонингованной поверхности не воздействуют.

На формообразование шероховатости изготавливаемой поверхности при хонинговании с растровой кинемтикой рабочего движения воздествует на плотность и угол сетки владеюущии обильным диапазоном настроек (глава 2, раздел 2.4.). В указанных диапазонах – от 30° до 60° угол сетки не воздествует важного действия на величину микрорельефа различием микрорельефа в продольном и поперечном направлении примечательно при связи амплитуды колебаний меньше 0,25. Соотношение амплитуд колебаний В/А около единице, структура изготавливаемой поверхности устанавливается изотропной. Углы сетки приближающиеся к нулю, микрорельеф увеличивается, а производительность среза

значительно снижается. При соотношении $Uв/ Uкр < 0,6$ угол сетки находится параметрами колебательных движений.

В таблице 5.2., 5.3. и на рис.5.11. указаны итоги опытов воздействия плотности (q) сетки путь на режимы микрорельефа обрабатываемой детали для двух зернистостей брусков КР 80/63 и КМ 40/28. Деталь из материала чугун G 190В, $HRс > 57$.

Таблица 5.2. Изменения величины R_a и crR_a , от плотности сетки

Бруски КР 80/63-М5-22-100%						
$q, мм^{-1}$	0,06	0,1	0,3	0,7	1	3
$R_a, мкм$	0,24	0,22	0,20	0,171	0,16	0,15
$crR_a, мкм$	0,0245	0,0225	0,018	0,016	0,015	0,0135

Таблица 5.3. Изменения величины R_a и crR_a , от плотности сетки менение

Бруски КМ 40/28-М5-22-50%						
$q, мм^{-1}$	0,06	0,1	0,3	0,7	1	3
$R_a, мкм$	0,15	0,146	0,130	0,124	0,110	0,105

crR_a , МКМ	0,009	0,007	0,0065	0,006	0,005	0,005
---------------	-------	-------	--------	-------	-------	-------

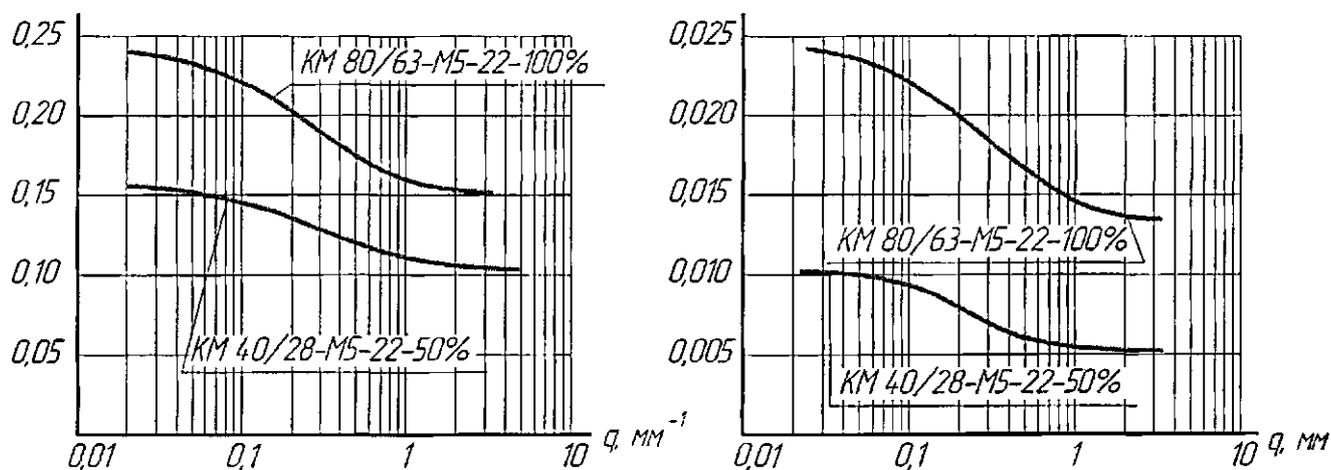


Рисунок 5.11 - Влияние плотности сетки на параметры шероховатости при растровом хонинговании

Выведенные итоги указывают, что плотность сетки пути воздействует на величину микрорельефа по параметру R_a

Из всего выше перечисленного можно сделать вывод, что основным достоинством растрового метода хонингования оказывается возможность технологического снабжения необходимым размером шероховатости изготавливаемой поверхности путем воздействия параметрами и настройками траекториями – углом и плотностью сетки, также вырабатывать цилиндрические поверхности с минимальными погрешностями геометрической формы при значительно интенсивной производительности процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выводы из проделанной работы в поставленных опытах и исследованиях растровая кинематика в процессе обработки блока цилиндров, проанализировав весь объем работы можно подчеркнуть достоинства и недостатки данного вида обработки в рамках окончательной обработки.

1. Растровый метод при обработке блока цилиндров проанализирован в математической модели движение алмазных зерен, такая траектория возможна при определенной скорости движения инструмента $\frac{v_B}{v_k} < 0.6$. Характеристики станка, габаритные размеры детали все эти условия влияют на подбор колебательных частот и амплитудных значений.

2. В окончательной обработки с помощью растровой кинематики есть существенные достоинства такое как возможность воздействия на обрабатываемую поверхность наладка плотности сетки и микрорельефа цилиндров.

3. Хонинговка растровым методом позволяет достичь высокой точности с помощью настройки кинематических траекторий и движений подач таким образом чтобы не изменять параметры главного движения резания. Погрешности геометрической формы нивелируются с помощью скоростей подач при иррациональных соотношениях $\frac{v_{кр}}{v_{ос}} > 1$ лимитирует данную возможность только гибкость и наладка оснащения оборудования. Для достижения технических требований геометрической формы в продольном разрезе настраивается перебег

инструмента, налаживается размер хода инструмента при относительном времени задержки инструмента при возвратно-поступательном движении. Задержка рассчитывается из условий длины обрабатываемой поверхности и от соотношения перебега инструмента.

4. Из поставленных опытов видна производственная рациональность использования данной технологией окончательной обработки на линии «Nagel», при этом способе обработки достигается правка брусков и точность, микрорельеф обрабатываемой поверхности. Что приводит к улучшению резания самого инструмента его стойкости и экономическому эффекту.

5. Опыты ставились на одном виде материала это чугун марки G 190B, чугуный блок цилиндров отлиты на металлургическом производстве автоваза. Однако, исследования показали универсальность данного метода хонингования обработку данным способом можно проводить и на высокоуглеродистых, хромистых и закаленных сталях. Так же был проведен сравнительный анализ инструмент из синтетического алмаза и (КНБ-кубического нитрида бора), исследования в результате показали превосходство КНБ над инструментом из синтетического алмаза.

6. При обработки блока цилиндров существует переходная операция перед тем как начать финишную обработку, блок проходит предварительное хонингования со снятием припусков на данной операции резоннее использовать инструмент с зернистостью 50/40, на металлосиликатной связке из кубического нитрида бора с концентрацией зерна 100% (100x10x4x2 M2-01 100%). Для финишной обработки или так называемой (чистовой) подбирается инструмент исходя из параметров обрабатываемого материала, для такого вида обработки резонно использовать инструмент из каучуковой связки P11, P11T, с концентрацией 50% и зернистостью 40/28 либо 28/20.

7. В ходе эксперимента было выявлено явление при котором срезаемая часть материала создает заусенец, который в дальнейшем снимается за счет осцилляции движущегося инструмента по растровой траектории. Давление на обрабатываемую поверхность и размеры микрозаусенцев не оказывает влияние и не более 3-5 мкм, такая величина легко убирается инструментом на основе каусуковой связки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абразивная и алмазная обработка металлов. Справочник. Под ред. А.Н.Резникова. М., «Машиностроение», 1977. -391 с.

2. Акмаев О.К. Устранение изогнутости оси отверстия при прецизионном хонинговании. //СТИН. 2007. №11. с. 21 - 25.

3. Аксельруд И.Д. К вопросу механизации процесса доводки глухих прецизионных отверстий. Труды ЦНИГА, 1974, вып. 63. с. 58 — 64

4. А.с. № 563275. БИ., №24. М., 1977. Хонинговальный станок /Зотов С.С., Никитин Н.Е., Власенко А.В.

5. А.с. № 288587. БИ, №36. М., 1970. Привод шпинделя хонинговального станка./ Ризванов Ф.Ф.

6. А.с. № 378313. Б.И. №19. М., 1973. Устройство для сообщения колебательного движения хонинговальной головке. / Воробьев И.К., Давыдов П.А., Сандалов А.В.

7. А.с. № 483233. БИ, № 33. М.. 1975. Адаптивный привод хонинговального станка. /Муратов Р.А., Некрасов В.П.

8. А.с. № 1509235. БИ, № 35. М., 1989. Хонинговально-доводочный станок. /Муратов Р.А.
9. Бабаев С.Г., Мамедханов Н.К., Гасанов Р.Ф. Алмазное хонингование глубоких и точных отверстий. М.: Машиностроение, 1978.—103 с.
10. Бабичев А.П. Хонингование. М.: Машиностроение, 1965.- 97 с.
11. Биберман ЛМ. Растры в электрооптических устройствах. М. Энергия. 1969.
12. Богомолов Н.И. Сущность процесса абразивной доводки. - В кн.: Передовая технология и автоматизация управления процессами обработки деталей машин. Л.: Машиностроение, 1970.
13. Богомолов Н.И. Некоторые закономерности процесса шлифования металлов. — В сб.: Синтетические алмазы в промышленности. Киев, : «Науко-ва думка», 1974.
14. Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация. М.: Мир, 1966.-271 с.
15. Вopilкин Е. А. Расчет и конструирование механизмов приборов и систем. М., «Высшая школа», 1980.—463 с.
16. Вопросы расчета и конструирования оснастки, обеспечивающей повышение точности при хонинговании. - Труды УАИ, вып. 44, Уфа, 1973.
17. Воронов С. А. Разработка математических моделей и методов анализа динамики процессов абразивной обработки отверстий. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва, 2008. - 33 с.

18. Горюнов Ю.В., Перцев Н.В., Сумм Б.Д. Эффект Ребиндера. М.: Наука, 1966.
19. Добровольский В.В. Теория механизмов для образования плоских кривых. М.; 1953. 20. Доводка прецизионных деталей машин. Под ред. Г.М. Иполитова. М.: Машиностроение, 1978.—256 с.
21. Дяченко А. Н., Аксельруд И.Д., Мельник В.П. К вопросу создания математической модели процесса доводки отверстий свободным абразивом. - Труды ЦНИГА, вып. 76, 1980. с. 15-22.
22. Ермаков Ю.М. Перспективы эффективного применения абразивной обработки. Обзор. М.: НИИмаш, 1982.
23. Затуловский Д.М, Ходырев В.И. Процесс вибрационного хонингования в зоне звуковых частот. //Станки и инструмент, №6, 1968. с. 19-21.
24. Зиновьев А.Л., Филиппов Л.И. Введение в теорию сигналов и цепей. М.: Высшая школа, 1968.—280 с
25. Исаков А, Э, Хонингование с дозированной подачей и оборудование для его реализации. //Хонингование цилиндрических и фасонных поверхностей. Пермь, 1988. С.64-67
26. Кащеев В.Н. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов. М.: Машиностроение, 1978.
27. Коновалов И.Т. Влияние вынужденных колебаний брусков на процесс хонингования. //Станки и инструмент №12, 1965. с.8-9.

28. Кравченко Б.А., Нерубай М.С., Старков Ю.В. Алмазное хонингование с применением ультразвуковых колебаний. //Алмазы №8, 1983.
29. Крагельский И.В., Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968.—480 с.
30. Кремень З.И. Прогрессивная технология хонингования и суперфиниширования. М.: Машиностроение, 1978.—52 с.
31. Chandra, P. and Shukla, P.R., ‘Manufacturing Excellence and Global
32. Competitiveness: Challenges and Opportunities for Indian Industries’, Economic and Political Weekly, 26 Feb. 1994, pp. M2-M11.
33. Montgomery, J.C. and Levine, L.O., The Transition to Agile Manufacturing, ASQC Quality Press, Wisconsin, 1996.
34. Ohno, Taiichi, Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production, Productivity Press, Madras, 1992.
35. Prabhala, S., ‘Manufacturing Excellence’, South Asian Journal of Management, January-March 1994, pp. 44-54
36. Porter, M.E., The Competitive Advantage of Nations, free Press, new York, 1990.
37. Sahay K B, World-Class Manufacturing – A Strategic Perspective, Macmillan India Ltd, 2008.
38. The Global Competitiveness Report, 2011–2012
39. www.siliconforest.com

40. www3.weforum.org/docs/WEF_GCR_Report_2011-12.pdf