На правах рукописи

Рубахин Алексей Игоревич

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РОЛИКОВ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК ПОСРЕДСТВОМ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ И КОМБИНИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ БАЗОВЫХ ОТВЕРСТИЙ РОЛИКОВ

Специальность: 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки
05.02.08 – Технология машиностроения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2012

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Древаль Алексей Евгеньевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Якухин Виктор Григорьевич

кандидат технических наук, доцент
Есов Валерий Балахметович

НТБ МГТУ им. Н. Э. Баумана
1988032
Рубахин А. И. Повышение рабо

Ведущее предприятие: ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»

Защита состоится «21» марта 2012 г. в 14.30 ч.
на заседании диссертационного совета Д 212.141.06 при Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ваш отзыв на автореферат в 1-м экземпляре, заверенный печатью, просим направить по указанному адресу на имя секретаря диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета им Н. Э. Баумана.

Телефон: (499) 267-09-63

Автореферат разослан « 16 » февраля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., доцент В. П. Михайлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) оснащены большим количеством водоохлаждаемых роликов с глубокими базовыми отверстиями. Ролики МНЛЗ изготавливаются из стали 40Х1МФА, представляют собой тело вращения со следующими габаритными размерами: наружный диаметр от Ø 250 мм до Ø 400 мм, длина вдоль оси от 350 мм до 800 мм, диаметр базового отверстия от Ø 101 мм до Ø 143 мм. Ролики МНЛЗ являются унифицированными изделиями крупносерийного производства, подлежат трехкратному ремонту и имеют несколько межремонтных циклов работы.

Отказы роликов МНЛЗ приводят к нарушению непрерывности рабочего цикла, возникновению неустранимого брака, к усложнению процесса ремонта роликов и повышению трудозатрат на настройку машин непрерывного литья заготовок. Простои машин непрерывного литья заготовок, обусловленные отказами роликов МНЛЗ, приводят к крупным экономическим потерям.

Наблюдения за работоспособностью роликов МНЛЗ показывают, что при их эксплуатации в условиях высоких силовых, тепловых нагрузок и резкого охлаждения в сопряжении базовое отверстие ролика МНЛЗ – водоохлаждаемый вал возникают дефекты в виде коррозии, микротрещин, продольных рисок, задиров и др. Накопление дефектов приводит к потере посадки, возникновению подвижности ролика МНЛЗ и увеличению зазора между внутренним диаметром ролика и наружным диаметром водоохлаждаемого вала. Это приводит к возникновению погрешности формы и неравномерному изнашиванию наружной поверхности ролика МНЛЗ. В результате возникает отказ ролика МНЛЗ и одновременно ухудшается его ремонтопригодность.

Изготовление базовых отверстий роликов МНЛЗ осуществляется на оборудовании различного типа, по нескольким технологическим схемам, с использованием разнотипной технологической оснастки и является наиболее сложной и трудоемкой частью общего технологического процесса изготовления роликов. Показатели точности и качества базовых отверстий формируются на чистовых операциях, где используются развертывание, чистовое растачивание, шлифование, хонингование, методы поверхностного пластического деформирования (ППД) – выглаживание и раскатка. Однако четко сложившейся технологической системы получения стабильной точности и качества базовых отверстий роликов МНЛЗ не имеется.

Таким образом, с учетом крупносерийного производства роликов МНЛЗ, существенного влияния их качества на производительность машин непрерывного литья заготовок, повышение работоспособности роликов МНЛЗ посредством разработки инструментальной оснастки и технологии чистовой обработки их базовых отверстий является актуальной задачей.

Цель и задачи работы: Целью работы является повышение эксплуатационных характеристик и увеличение межремонтных периодов роликов машин непрерывного литья заготовок посредством исследования и

разработки технологии чистовой режуще-деформирующей обработки базовых глубоких отверстий роликов комбинированным инструментом.

Для достижения этой цели в работе поставлены следующие задачи:

1. Выполнить комплексный анализ известных способов и схем обработки глубоких отверстий, используемых как базовые поверхности. Установить взаимосвязь способа обработки с эксплуатационными свойствами роликов МНЛЗ.

2. Выявить основные причины возникновения погрешностей размеров и форм базовых отверстий роликов МНЛЗ. Обосновать рациональные схемы базирования заготовок роликов МНЛЗ.

3. Обосновать и подтвердить экспериментально целесообразность совмещения технологических операций чистового растачивания и раскатывания базовых отверстий роликов МНЛЗ.

4. Обосновать структурную схему комбинированного инструмента. Выявить основные конструктивные элементы и параметры комбинированного инструмента. Разработать методику проектирования.

5. Оценить и исследовать контактное взаимодействие деформирующих элементов с обрабатываемой поверхностью. Выявить формы, размеры и количество деформирующих элементов.

6. Изготовить конструкцию промышленного образца комбинированного инструмента для обработки базовых отверстий роликов МНЛЗ. Провести производственные испытания комбинированного инструмента, установить рациональные условия и режимы его эксплуатации.

7. Разработать конструкторско-технологическую документацию на комбинированный инструмент.

8. Экономически обосновать и внедрить в рамках предприятия новый технологический процесс изготовления базовых отверстий роликов МНЛЗ, основанный на базе разработанного комбинированного инструмента.

Методы исследований. Выполнение диссертационной работы базируется на расчетно-теоретических и экспериментальных методах исследования. Использованы основные положения технологии машиностроения, теории резания металлов, сопротивления материалов, деталей машин, взаимозаменяемости и методов технических измерений. Использованы методы многофакторного планирования экспериментов. Анализ результатов экспериментальных исследований выполнен с использованием методов математической статистики. Обработка результатов многофакторного планирования, аппроксимация экспериментальных данных выполнена при помощи средств вычислительной техники ПЭВМ, с использованием программных средств Microsoft Office. Для анализа напряженного состояния и упругого взаимодействия деформирующих элементов раскатной части комбинированного инструмента с заготовкой ролика МНЛЗ выполнено компьютерное моделирование в программной среде ABAQUS. Экспериментальные исследования параметров точности и показателей качества – шероховатости и микротвердости обработанных отверстий роликов МНЛЗ

проводились в лабораторных и цеховых условиях ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат». Для выполнения данных исследований использованы контрольно-измерительные приборы и устройства: нутромер модели ИЧ 10 – 2М, координатно-измерительная машина KIM ROMER SIGMA, профилометр-профилограф типа AI, твердомер «ТЭМП-4». Измерительные средства прошли нормативно-технологическую аттестацию на соответствие установленным нормам точности.

Научная новизна:

1. Статистическим анализом установлено, что на черновых переходах способ базирования заготовок роликов МНЛЗ при обработке базовых отверстий в трехкулачковом патроне и люнете или узких призмах не оказывает влияния на точность отверстий. Статистически значимое влияние схемы базирования на точность обработки отверстий роликов проявляется на чистовых переходах. Рассеивание размера диаметра отверстия при базировании в узких призмах уменьшается до двух раз, снижаются погрешности формы отверстий.

2. Показано, что совмещение установочной базы расточной и раскатной частей, реализованное в конструкции комбинированного инструмента, обеспечивает при чистовой обработке отверстий роликов МНЛЗ уменьшение отклонений от круглости до 50%, изменение шероховатости от Ra 2,5 мкм до Ra 0,4...0,8 мкм в сравнении с раздельной обработкой – чистовое растачивание с последующим раскатыванием.

3. Моделированием в программной среде ABAQUS напряженного состояния в зоне раскатки установлено преимущество использования в качестве деформирующего элемента конических роликов с цилиндрической площадкой в сравнении с цилиндрическими, коническими роликами и шариками. Конический ролик с цилиндрической площадкой обеспечивает наибольшие значения давления в зоне контакта с заготовкой при низких значениях напряжений в зоне контакта с опорным конусом и благоприятную форму контакта, что снижает риск заедания и интенсивного изнашивания деформирующего ролика.

4. Установлены закономерности формирования абсолютной конусности базовых отверстий роликов МНЛЗ на предварительных технологических переходах в зависимости от параметров режимов резания. Полученные зависимости позволяют установить режимы резания, при которых погрешности обработки отверстия минимальны. Это определяет величину припуска под чистовую обработку комбинированным инструментом.

5. Установлены модели взаимосвязи выходных параметров точности, шероховатости и глубины упрочненного слоя от подачи, скорости обработки и величины натяга раскатной части для управления процессами чистовой обработки отверстий роликов МНЛЗ комбинированным инструментом.

Практическая значимость работы:

1. Разработана новая конструкция комбинированного инструмента для чистовой обработки базовых отверстий роликов МНЛЗ, обеспечивающего стабильное улучшение показателей точности базовых отверстий в продольном и поперечном сечениях, уменьшение шероховатости до Ra 0,4...0,8 мкм и

повышение твердости обрабатываемой поверхности на 7...10%. Оригинальность конструкции подтверждена патентом № 2405667 от 10.12.2010г.

2. Разработаны и внедрены методические рекомендации по проектированию комбинированного инструмента для обработки базовых отверстий роликов МНЛЗ нормализованного ряда в диапазоне диаметров от Ø101Н7 до Ø143Н7 и длин от 600 мм до 800 мм.

3. Разработаны математические зависимости средних значений шероховатости Ra, отклонения от профиля отверстий в продольном ε и поперечном Δ сечениях, глубины упрочненного слоя δ от основных параметров обработки. Эти зависимости легли в основу рекомендаций по назначению режимов обработки комбинированным инструментом в производственных условиях.

4. Внедрение разработанной конструкции комбинированного инструмента для чистовой обработки базовых отверстий роликов МНЛЗ диаметром Ø 141Н7 обеспечило увеличение наработки роликов МНЛЗ до первой замены с 1300000 тн. до 1500000 тн., что при плановом трехкратном восстановлении работоспособности привело к увеличению их ресурса на 15,38%.

Реализация результатов работы. Результаты работы представлены в виде разработанной конструкторской документации и технологических рекомендаций по использованию комбинированного инструмента для обработки базовых глубоких отверстий роликов МНЛЗ в производственных условиях. Проведена апробация работоспособности комбинированного инструмента в производственных условиях Основного ремонтно-механического цеха Ремонтного производства ОАО «НЛМК». Получен акт о проведении опытно-промышленных испытаний и акт внедрения комбинированного инструмента для обработки отверстий. Применение разработанного инструмента показало, что на металлорежущем оборудовании расточной группы обеспечивается заданная точность размеров и пространственных отклонений глубоких отверстий роликов МНЛЗ, при этом достигается шероховатость обработанной поверхности Ra 0,4...0,8 мкм и твёрдость упрочнённого поверхностного слоя HRC 36 – 38 ед.

Получен патент на изобретение «Комбинированный инструмент для обработки отверстий», регистрационный номер № 2405667 от 10.12.2010г.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на научном семинаре кафедры «Инструментальная техника и технология» МГТУ им. Н. Э. Баумана в 2008 – 2011 годах, а также на конференциях ЛГТУ и ОАО «НЛМК» 2007 – 2011 г. Работа удостоена диплома «Инженер года ОАО «НЛМК» в 2009 г.

Публикации: По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, 1 патент.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 88 наименований и приложений. Работа содержит 216 страниц, в том числе 159 основного текста, 72 рисунка, 30 таблиц, а так же приложений на 56 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследовательской работы по повышению работоспособности роликов МНЛЗ посредством разработки инструментальной оснастки и технологии чистовой обработки базовых отверстий с учетом существенного влияния их качества на эксплуатационные свойства, срок службы и надежность роликовых секций в процессе работы.

Формулируется цель диссертационной работы.

В первой главе представлены результаты научно-технического обзора, анализа научных работ и патентного поиска по исследованию известных способов и схем обработки глубоких отверстий, используемых как базовые поверхности, диаметрами более 100 мм и длинной до 800 мм. Выявлены основные особенности обработки глубоких отверстий методами сверления, растачивания, ППД и с применением комбинированных инструментов. Выполнен анализ конструкций разнотипных инструментов, который позволяет установить взаимосвязь между способами изготовления базовых отверстий и эксплуатационными показателями роликов МНЛЗ и предварительно предложить наиболее рациональные варианты их изготовления. Определено, что технологические показатели и их стабильность при обработке методами ППД в большой степени зависят от технологических показателей предыдущего перехода. Наилучшие показатели при обработке ППД достигаются после чистовой обработки резанием, обеспечивающей равномерность припуска вдоль оси, не превышающую в поперечном сечении – овальность от 0,01...0,08 мм, в продольном сечении – конусность от 0,05 до 0,7 мм на длине до 1000 мм, шероховатость Ra не более 3,2 мкм. Анализ основных способов получения глубоких отверстий с улучшенными параметрами шероховатости и точности позволил обосновать перспективность совмещения двух видов обработки: резание и ППД, т.е. необходимость применения комбинированных инструментов. Однако выявлено, что отсутствуют рекомендации по их расчету и проектированию.

Во второй главе представлены методика и средства проведения экспериментальных исследований точности обработки при двух схемах базирования роликов МНЛЗ. Исследования проводились на глубоко-сверлильном станке модели РТ293164 с установкой роликов в трехкулачковом патроне и люнете с использованием расточной головки с инструментальным блоком, и на горизонтально-расточном станке модели ЛР543ПМФ4 с установкой в узких призмах с использованием расточной головки с микробором. В исследованиях использованы две партии заготовок роликов МНЛЗ объемом n = 10 шт. из стали 40Х1МФА. Экспериментальные исследования влияния величины натяга раскатной части инструмента на показатели качества обработки выполнены на специальных заготовках роликов МНЛЗ с отверстиями, прошедшими предварительную черновую обработку. Использованы методы контроля размеров и показатели качества обработанных поверхностей, основанные на применении универсальных средств измерения.

Для измерения диаметральных размеров отверстия использовались: нутромер модели ИЧ 10 – 2М, класс точности 1 (ГОСТ 10285-84), координатно-измерительная машина KIM ROMER SIGMA (ГОСТ 24642-81), профилометр-профилограф типа AI (ГОСТ 19299 -73, ГОСТ 19300-73) модели 252. Микротвердость измерялась с использованием портативного твердомера «ТЭМП-4», по Виккерсу (ГОСТ 2999-75). Компьютерное моделирование упругого взаимодействия деформирующих элементов различных видов раскатной части с заготовкой выполнено в программной среде ABAQUS.

В работе исследовались зависимости шероховатости обработанной поверхности Ra, отклонения профиля продольного сечения отверстия ε, глубины упрочненного слоя δ, отклонений профиля поперечного сечения Δ от технологических факторов, в качестве которых выбраны параметры режимов резания: подача S, мм/об; скорость обработки V, м/мин и др. Использованы методы многофакторного планирования, обработка результатов экспериментальных исследований и аппроксимация полученных данных выполнены с использованием программных средств Microsoft Office.

В третьей главе изложены результаты сравнительных экспериментальных исследований погрешности форм базовых отверстий роликов МНЛЗ, обрабатываемых по двум основным технологическим схемам. Первая схема: базирование заготовки по наружной предварительно обработанной поверхности в трехкулачковом патроне и люнете на глубоко-сверлильном станке модели РТ293164. Обработка ведется со встречным вращением инструмента и заготовки. Вторая схема: базирование и закрепление заготовки по наружной предварительно обработанной поверхности в узких призмах на горизонтально-расточном станке модели ЛР543ПМФ4. Обработка ведется с вращением инструмента.

Экспериментально установлена зависимость абсолютной конусности $E_{кон}$ от параметров режимов резания при схеме базирования с установкой заготовок роликов МНЛЗ в трехкулачковом патроне и люнете (1).

$$E_{кон} = 0{,}2187 \cdot V^{0{,}3309} \cdot S^{-0{,}1211} \cdot t^{2{,}4393}. \qquad (1)$$

Полученная зависимость (1) позволяет обосновать поле допустимых режимов резания, в пределах которого конусность не превышает величины максимального значения допуска $E_{кон}$ = 0,035 мм. Выполненный сравнительный анализ влияния схем базирования на точность размеров отверстий показал, что расхождения средних значений диаметров и их средних квадратических отклонений на черновых и получистовых операциях несущественны (рис.1 а, б).

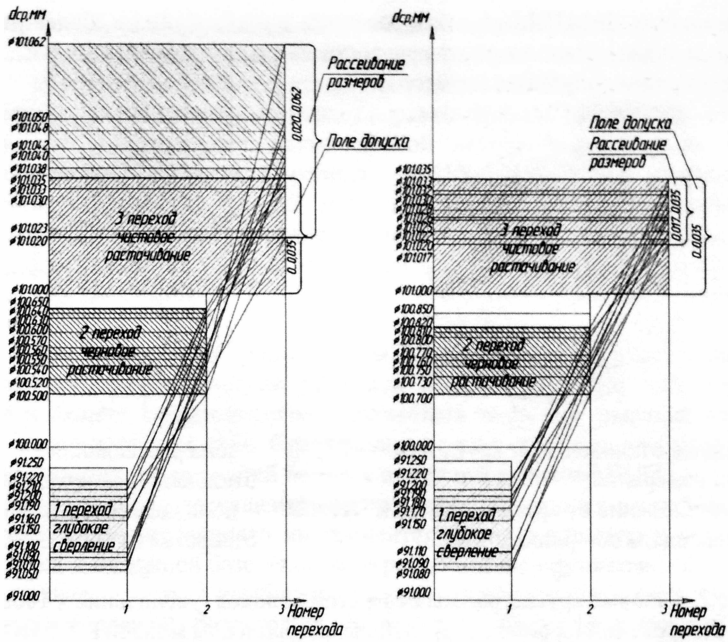
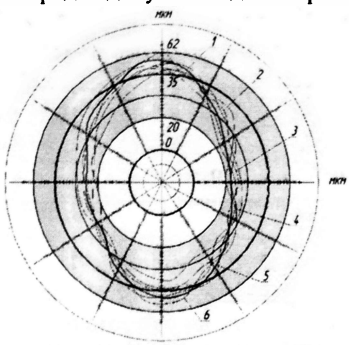


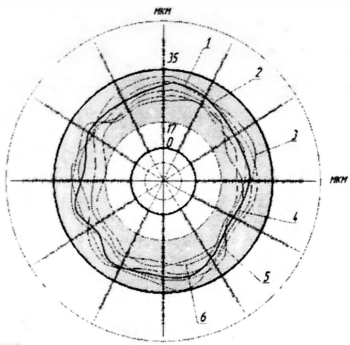
Рис.1. Зависимость отклонения от круглости отверстий роликов МНЛЗ при базировании на станках: а) глубоко-сверлильном модели РТ293164 в трехкулачковом патроне и люнете; б) горизонтально-расточном модели ЛР543ПМФ4 в узких призмах

Статистически значимое влияние схемы базирования на точность обработки отверстий проявляется на чистовых переходах, так, рассеивание размера диаметра при базировании в узких призмах уменьшается до двух раз в сравнении с базированием в трехкулачковом патроне и люнете, что дает лучшее качество несущих поверхностей базовых отверстий роликов МНЛЗ. Это является обоснованием предпочтительного использования базирования заготовок роликов МНЛЗ в узких призмах.

Проведен сравнительный анализ значений отклонений от круглости базовых отверстий роликов МНЛЗ при различных методах базирования, которые представлены в виде круглограмм на рис.2 а, б. Выявлено, что качество поверхностей отверстий роликов, обработанных на глубоко-сверлильном станке модели РТ293164 с базированием в трехкулачковом патроне и люнете, неустойчиво, что выражается в максимальном рассеивании значений отклонений от круглости в продольном и поперечном сечениях в пределе 20…60 мкм. В основном в спектре отклонений формы преобладающее значение имеет гармоническая составляющая второго порядка, т.е. овальность. Качество поверхностей отверстий роликов, обработанных на горизонтально-расточном

станке модели ЛР543ПМФ4 с базированием в узких призмах, более устойчиво, так как значения отклонений от круглости находятся в диапазоне 17...35 мкм и входят в предел допуска на диаметр.





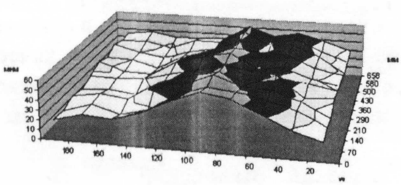
1 – среднее отклонение от круглости из пяти измерений;
2...6 – отклонение от круглости в пяти сечениях вдоль оси ролика МНЛЗ.

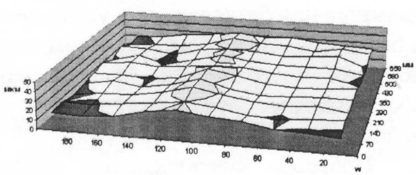
– зона рассеивания отклонений от круглости;
– поле допуска на диаметр отверстия от 0 до 35 мкм.

а) б)

Рис.2. Типовые круглограммы отверстий роликов (увеличение х 1000) при базировании на станках: а) глубоко-сверлильном модели РТ293164 в трехкулачковом патроне и люнете; б) горизонтально-расточном модели ЛР543ПМФ4 в узких призмах

На рис.3 а, б представлены модели разверток отклонений форм поверхностей глубоких базовых отверстий роликов МНЛЗ. Оценка микрорельефа произведена по относительной площади выступов микронеровностей через каждые 5 мкм, что отражено в виде цветовой гаммы.





а) б)

Рис.3. Модели разверток отклонений от формы поверхности базовых отверстий роликов МНЛЗ: а) с базированием в трехкулачковом патроне и люнете на глубоко-сверлильном модели РТ293164; б) с базированием в узких призмах на горизонтально-расточном станке модели ЛР543ПМФ4

Анализ моделей разверток отверстий показал, что при базировании в трехкулачковом патроне и люнете возникает неравномерность припуска до 42 мкм на сторону, что отрицательно влияет на точность обрабатываемого отверстия, при этом обеспечивается параметр шероховатости, соответствующий

значению Ra 0,8 мкм. При такой схеме обработки цвета, находящиеся на одном уровне, нарастают медленнее, что свидетельствует о худших показателях несущей поверхности базового отверстия ролика МНЛЗ. Соответственно при базировании в узких призмах возникает неравномерность припуска до 18 мкм на сторону, что удовлетворяет установленной величине допуска на диаметр обрабатываемого отверстия ролика МНЛЗ, параметр шероховатости соответствует значению Ra 2,5 мкм. При такой схеме обработки цвета, находящиеся на одинаковом уровне, нарастают быстрее, что свидетельствует о лучших показателях несущей поверхности базового отверстия ролика МНЛЗ. Стабилизируется величина припуска и устанавливается его минимальное значение 0,02 мм.

В связи с большим рассеиванием размеров на чистовых операциях, выполняемых при базировании заготовок роликов МНЛЗ в трехкулачковом патроне и люнете, предпочтительно совместить чистовые операции резания и ППД с использованием схем базирования в узких призмах, что дает лучшее качество несущих поверхностей базовых отверстий роликов МНЛЗ.

Четвертая глава посвящена методике проектирования и расчету основных параметров комбинированного инструмента. Принято решение о совмещении двух операций на единой базе: чистового растачивания и раскатывания.

Расточная часть комбинированного инструмента при чистовом растачивании должна подготовить поверхность базового отверстия ролика МНЛЗ для обработки раскатной частью. В связи с этим расточная часть должна обеспечивать: 1) уменьшение конусности; 2) уменьшение овальности, что даст более равномерное распределение припуска под раскатку; 3) шероховатость в пределах Ra 1,6...2,5 мкм. Раскатная часть должна обеспечивать основные выходные параметры обрабатываемого отверстия ролика МНЛЗ: 1) точность отверстия в пределах допуска на диаметр до 0,035 мм; 2) шероховатость поверхности в пределе Ra 0,4...0,8 мкм; 3) повышение твердости поверхности на 7-10%.

В связи с необходимостью создания единой базы для двух частей, расточной и раскатной, разработана цилиндрическая базовая оправка, которая обеспечивает их взаимное базирование с одинаковой точностью. Посадочные поверхности тщательно отшлифованы в центрах с достижением параметра шероховатости Ra 0,8 мкм и выполнены по 8 квалитету точности. Радиальное биение посадочных шеек и торцовых поверхностей не более 0,02 мм.

В основу расточной части взяты материалы анализа существующих конструкций расточных головок с последующей модернизацией ее конструктивных элементов. Принято решение взять конструкцию расточной части, которая представляет собой сборочную единицу, состоящую из корпуса в виде цилиндрической заготовки, изготовленной из термообработанной до твердости HRC 28...32 стали 40ХН по ГОСТ 4543-80. Корпус имеет базовый торец, отверстие для посадки с натягом на оправку раскатной части и гнездо для размещения микробора унифицированной конструкции в соответствии с ГОСТ 25827. Микробор оснащается резцовой вставкой, которая обеспечивает: 1)

точность обработки базового отверстия ролика МНЛЗ в пределах поля допуска от 0 до 0,035 мм; 2) шероховатость в пределах Ra 1,6...2,5 мкм; 3) размерную стойкость в пределе двух-трех циклов обработки до первой переточки. В соответствии с указанными требованиями подобран материал режущей части, имеющий высокую размерную стойкость – ВОК200 (ГОСТ 25003-81).

Выполнены экспериментальные исследования по определению оптимальных геометрических параметров режущей части. Установлено, что требуемые значения шероховатости и стойкости достигаются при $\varphi = 45^0$, $\varphi_1 = 25^0$, $\alpha = 6^0 \pm 30'$, $\gamma = 5^0 \pm 30'$. В связи с малыми размерами базового отверстия расточной головки передача крутящего момента осуществляется при помощи торцевых шпонок. Для надежного центрирования по вновь образованной поверхности расточная часть оснащена направляющими опорами, которые амортизируют микроколебания шпинделя при большом его вылете. Установлен вид и расположение направляющих опор. Допустимое радиальное биение наружного диаметра корпуса расточной части относительно базовой поверхности не более 0,01 мм.

В основу конструкции раскатной части комбинированного инструмента взяты существующие аналоги раскатных головок, которые позволили установить основные габаритные размеры и количество деформирующих элементов. Одновременно, с учетом причин отказов, возникающих при эксплуатации существующих раскатных головок выполнена их модернизация. Ввиду того, что раскатная часть должна обеспечивать требуемые значения шероховатости обрабатываемой поверхности и повышение твердости, необходимо подобрать вид деформирующих элементов, которые являются формообразующими.

Для обоснования правильности выбора вида деформирующего элемента в работе исследованы контактные взаимодействия с обрабатываемой поверхностью четырех различных типов деформирующих элементов: шарик, цилиндрический ролик, конический ролик, конический ролик с цилиндрической площадкой. Произведён сравнительный конечно-элементный анализ посредством моделирования напряженных состояний во всей модели и на поверхности ролика МНЛЗ в программной среде ABAQUS. По результатам моделирования были построены графики зависимостей эквивалентных напряжений во всей модели и распределения контактных давлений на поверхности ролика МНЛЗ от натяга. (рис.4)

Данные, полученные в результате моделирования на основании системы экспертных оценок, позволили обосновать эффективность использования в качестве деформирующего элемента конический ролик с цилиндрической площадкой. Эти деформирующие элементы обеспечивают максимальные значения давления в зоне контакта с обрабатываемой заготовкой при низких значениях напряжений в зоне контакта с опорным конусом. Последнее снижает риск быстрого изнашивания деформирующих элементов и увеличивает ресурс работы комбинированного инструмента.

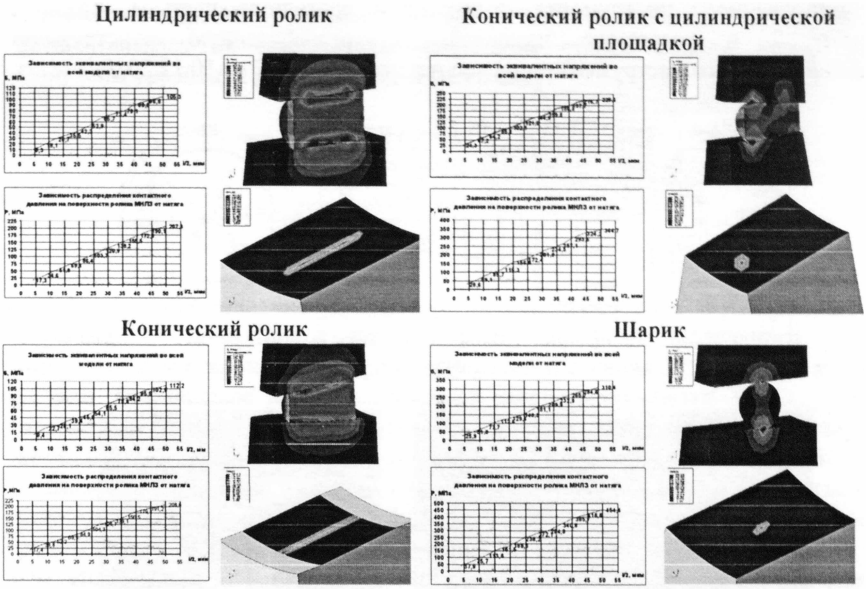


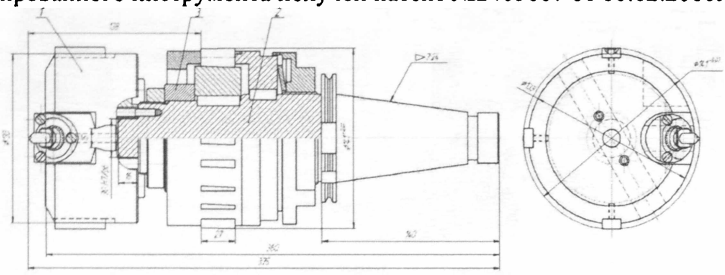
Рис.4. Зависимости эквивалентных напряжений во всей модели и распределения контактных давлений на поверхности ролика МНЛЗ от натяга

Для предотвращения выхода из строя раскатной части комбинированного инструмента в конструкции предусмотрены и рассчитаны предохранительные элементы в виде тарельчатой пружины и срезающейся шпонки. Разработана методика подбора тарельчатой пружины. Жесткость пружины выбирается исходя из следующих положений: 1) тарельчатая пружина должна обеспечивать нажимное усилие на деформирующие ролики, при которых в зоне раскатки возникают давления, обеспечивающие пластическое деформирование поверхности заготовки при достижении требуемых значений шероховатости, точности и повышения твердости; 2) пружина должна иметь остаточный запас на упругое деформирование в момент заклинивания деформирующих роликов, что обеспечивает осевое перемещение инструмента до полной остановки основного технологического оборудования, тем самым предохраняя от разрушения раскатную часть.

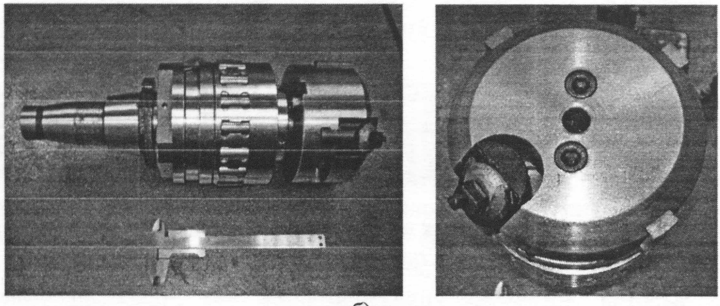
В конструкции раскатной части предусмотрена срезающаяся шпонка, которая обеспечивает сохранность и целостность рабочих элементов при увеличении момента сверх допустимых пределов.

На основании разработанных методических подходов подобраны и рассчитаны основные конструктивные параметры расточной и раскатной частей комбинированного инструмента. В результате спроектирован и изготовлен инструмент, совмещающий два вида обработки: резание и поверхностно-пластическое деформирование. На рис.5 представлен общий вид

комбинированного инструмента, содержащий расточную часть 1, базовую оправку 2 и раскатную часть 3. На разработанную конструкцию комбинированного инструмента получен патент №2405667 от 10.12.2010г.



а)



б)

Рис.5. Комбинированный инструмента: а) сборочный чертеж ; б) общий вид

В пятой главе для оценки работоспособности и разработки режимов рациональной эксплуатации комбинированного инструмента выполнены специальные исследования влияния параметров режима обработки базовых отверстий роликов МНЛЗ на основные выходные технологические показатели: шероховатость обработанной поверхности Ra, отклонения профиля продольного сечения отверстия ε, глубину упрочненного слоя δ, отклонения профиля поперечного сечения Δ. Установлены зависимости вышеуказанных технологических показателей от параметров режима обработки комбинированным инструментом, в качестве которых выбраны натяг на ролики i мм; подача S мм/об и скорость обработки V м/мин. Исследование влияния параметров режима обработки проводилось при следующих значениях: режущая часть настраивалась на глубину резания в диапазоне t = 0,22...0,24 мм, что гарантированно превышало максимальную величину конусности от предшествующего перехода – предварительного растачивания; натяг на деформирующие ролики изменялся в диапазоне i = 0,3…0,8 мм, подача комбинированного инструмента изменялась в диапазоне S = 0,05…0,15 мм/об, скорость обработки изменялась в диапазоне V = 50…90 м/мин. Обработка

базовых отверстий роликов МНЛЗ комбинированным инструментом осуществлялась на горизонтально-расточном станке модели ЛР543ПМФ4. Получены уравнения регрессии степенного вида:

$$\delta = 0{,}0209 \cdot i^{0{,}2325} \cdot S^{-0{,}2202} \cdot V^{0{,}1919}, мм \quad (2)$$

$$\varepsilon = 0{,}0406 \cdot i^{-0{,}3293} \cdot S^{0{,}3115} \cdot V^{-0{,}2509}, мкм \quad (3)$$

$$Ra = 0{,}4634 \cdot i^{-0{,}4250} \cdot S^{0{,}4169} \cdot V^{-0{,}3604}, мм \quad (4)$$

$$\Delta = 0{,}5261 \cdot i^{-0{,}3864} \cdot S^{0{,}3695} \cdot V^{-0{,}3921}, мм \quad (5)$$

Наибольшее влияние на глубину упрочненного слоя δ, шероховатость обработанной поверхности Ra, отклонение профиля продольного сечения отверстия ε и отклонение профиля поперечного сечения Δ оказывает натяг на ролики. Наименьшее влияние оказывает скорость обработки V. Полученные математические модели финишной обработки глубоких отверстий комбинированным инструментом на станке модели ЛР543ПМФ4 дают возможность расчетным путем назначить режимы обработки, позволяющие устойчиво обеспечивать допуск формы и значения шерохо-ватости отверстий роликов МНЛЗ.

Исследовано изменение микротвердости поверхностного слоя, полученного в результате обработки. Сравнение расчетных значений глубины упрочненного слоя δ по зависимости (5) с экспериментальными данными при значениях S = 0,1 мм/об, V = 90 м/мин, i = 0,5 мм показало совпадение в пределах 10%, что подтверждает возможность использования зависимости (5) в инженерных расчетах.

Выполнен анализ распределения отклонений профиля поперечного сечения Δ вдоль оси обработанного отверстия ролика МНЛЗ комбинированным инструментом на станке модели ЛР543ПМФ4. По результатам проведенных исследований построены круглограмма (рис.6) и развертка (рис.7) отклонений от формы поверхности поперечных сечений глубокого базового отверстия ролика МНЛЗ по пяти измерениям вдоль оси с шагом 130 мм.

Рис.6. Круглограмма отверстия обработанного на станке мод. ЛР543ПМФ4 комбинированным инструментом (масштаб 1:1000)

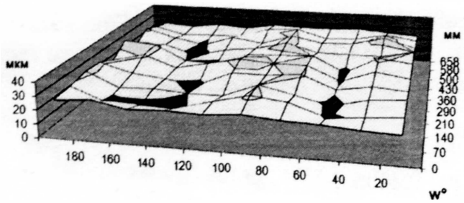


Рис.7. Развертка отклонений от формы поверхности глубокого отверстия, обработанного на станке мод. ЛР543ПМФ4 комбинированным инструментом

Анализ круглограмм и разверток отклонений от формы поверхностей глубоких отверстий роликов МНЛЗ (рис.2, 3 а, б и рис.6, 7) показывает, что при работе комбинированным инструментом значительно повышается точность обработки глубоких отверстий в пределах допуска на диаметр до 0,02мм и класс шероховатости до 0,4...0,8 мкм. Отсутствуют резко выделяющиеся отклонения в поперечных сечениях и находятся в диапазоне 9...20 мкм, что входит в предел допуска на размер отверстия.

В результате проделанной работы определена связь между конструктивно-технологическими параметрами, процессами в зоне контакта и показателями качества при обработке комбинированным инструментом. По результатам проведенных исследований и промышленных испытаний обеспечивается заданная точность размеров и пространственных отклонений глубоких отверстий роликов МНЛЗ: шероховатость изменилась с Ra 2,5 мкм до Ra 0,4...0,8 мкм и повысилась твердость поверхностного слоя с HRC 27 – 28 ед. до HRC 36 – 38 ед. Производственные испытания роликов МНЛЗ, изготовленных по новой технологии разработанным комбинированным инструментом, показали существенное увеличение их наработки на 15,38%, что подтверждается прилагаемым актом проведения испытаний.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Выявлены основные технологические показатели и проведен сравнительный анализ различных способов и схем обработки глубоких базовых отверстий роликов МНЛЗ диаметрами от Ø 101Н7 до Ø 143Н7 и длиной от 600 мм до 800 мм. Выполненный анализ позволил установить взаимосвязь между способами изготовления базовых отверстий и эксплуатационными показателями роликов МНЛЗ и разработать рациональные варианты их изготовления.

2. Исследования точности базовых отверстий роликов МНЛЗ показали, что на черновых переходах базирование заготовок в трехкулачковом патроне, люнете или узких призмах не оказывает существенного влияния на точность обработки базовых отверстий роликов МНЛЗ. Статистически значимое влияние схемы базирования на точность обработки отверстий проявляется на чистовых переходах. Рассеивание размера диаметра отверстия при базировании в узких призмах уменьшается до двух раз, погрешность формы в продольном сечении

снижается до 40%, в поперечном сечении до 25% в сравнении с базированием в трехкулачковом патроне и люнете.

3. Совмещение в одном технологическом переходе чистового растачивания и пластической поверхностной деформации базового отверстия ролика МНЛЗ, предусмотренное конструкцией комбинированного инструмента, позволяет уменьшить погрешности предыдущих технологических переходов и обеспечивает формирование равномерного припуска под раскатывание, что приводит к уменьшению отклонений от круглости до 50%, изменению шероховатости от Ra = 2,5 мкм до Ra = 0,4...0,8 мкм, повышению микротвердости до HRC 36 – 38 ед.

4. Разработанная конструкция комбинированного инструмента включает расточную и раскатную части, которые установлены на единой базовой поверхности. Отличительными особенностями инструмента являются: 1) использование упругого нажимного элемента в виде тарельчатой пружины, обеспечивающей плавность работы раскатной части и предохранение от разрушения инструмента при внезапных пиковых нагрузках; 2) использование предохранительного устройства в виде шпонки, обеспечивающей сохранность и целостность рабочих элементов раскатной части при увеличении момента сверх допустимых пределов.

5. Выполнено компьютерное моделирование в программной среде ABAQUS напряженного состояния в зоне раскатки при использовании различных деформирующих элементов: шарик, цилиндрический ролик, конический ролик, конический ролик с цилиндрической площадкой. Установлено преимущество применения конических роликов с цилиндрической площадкой, т. к. они обеспечивают максимальные значения давления в зоне контакта с обрабатываемой заготовкой при низких значениях напряжений в зоне контакта с опорным конусом, что снижает риск заедания и быстрого изнашивания деформирующих элементов и увеличивает ресурс работы комбинированного инструмента.

6. Разработана методика проектирования комбинированного инструмента, которая позволяет реализовать режуще-деформирующий способ воздействия на поверхность базового отверстия. Определены основные конструктивные элементы частей комбинированного инструмента. Обоснован выбор режущих и деформирующих элементов, обеспечивающих заданные характеристики точности и качества обработки поверхностей базовых отверстий роликов МНЛЗ. Конструкция комбинированного инструмента защищена патентом №2405667 от 10.12.2010г.

7. Разработаны модели влияния основных параметров режима обработки на шероховатость Ra, погрешности формы базового отверстия в продольном ε и поперечных сечениях Δ. Установлено, что шероховатость обработанной поверхности Ra, погрешности профиля базовых отверстий в продольном ε и поперечном сечениях Δ уменьшаются с увеличением натяга i, а с увеличением подачи S и скорости V обработки увеличиваются. Глубина упрочненного слоя δ возрастает с увеличением натяга i и уменьшается с увеличением подачи S и

скорости *V* обработки. Полученные зависимости используются для расчета режимов обработки комбинированным инструментом.

8. Внедрение разработанной конструкции комбинированного инструмента для чистовой обработки базовых отверстий роликов МНЛЗ диаметром Ø 141Н7 обеспечило увеличение наработки роликов МНЛЗ до первой замены с 1300000 тн. до 1500000 тн., что при плановом трехкратном восстановлении работоспособности привело к увеличению их наработки на 15,38%.

9. Выполнены производственные испытания роликов МНЛЗ в количестве 168 шт., обработанных комбинированным инструментом, на машине непрерывного литья заготовок в Конвертерном цехе №1 ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат». По результатам внедрения получен годовой экономический эффект, который составил 3447350 руб. 04 коп.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

1. Рубахин А.И., Козлов А.М. Эффективность метода глубокого сверления // Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. Липецк, 2004. С.121-122.

2. Рубахин И.В., Рубахин А.И. Математическая модель процесса растачивания отверстия в роликах криволинейных УНРС на станке 16М30Ф3 // Прогрессивные технологии и оборудование в машиностроении и металлургии: Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Липецкого государственного технического университета. Липецк, 2006. Часть 1. С.172-173.

3. Рубахин А. И. Влияние режимов резания на формирование профиля отверстия роликов МНЛЗ // Сталь. 2008. №10. С.98-99.

4. Рубахин А. И. Обеспечение точности поверхностей отверстий роликов МНЛЗ // Вестник машиностроения. 2009. №8. С. 94.

5. Рубахин А. И. Расчет напряженных состояний в контактной зоне раскатной головки комбинированного инструмента и обрабатываемого ролика МНЛЗ // Вестник машиностроения. 2009. №12. С. 75-76.

6. Рубахин А. И. Комбинированный инструмент для обработки глубоких отверстий в роликах МНЛЗ // Вестник машиностроения. 2010. №7. С. 93-94.

7. Рубахин А. И. Исследование параметров шероховатости и точности при обработке комбинированным инструментом отверстий роликов МНЛЗ // Вестник машиностроения. 2010. №8. С. 98-99.

8. Рубахин А. И. Совершенствование обработки глубоких отверстий роликов МНЛЗ комбинированным инструментом // Вестник машиностроения 2011. №8. С. 93-94.