

УДК 621.01

**А. Н. Михайлов**, д-р техн. наук, проф., **С. Б. Котляров**, **В. Б. Котляров**,  
**Б. С. Котляров**

(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР, Россия),

Тел: +7 (988) 554-00-21; +7 (985) 021-79-06, +7 (964) 704-53-62;

E-mail: [tm@fimm.donntu.org](mailto:tm@fimm.donntu.org); [boris.kotlyarov@mail.ru](mailto:boris.kotlyarov@mail.ru); [velidarkotlarov@mail.ru](mailto:velidarkotlarov@mail.ru)

## БЕЗСТРУЖЕЧНАЯ ДОВОДКА ОТВЕРСТИЙ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ ПРИ ПОВЫШЕНИИ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ

*В настоящей работе изложены результаты исследований и практического применения способа обработки отверстий под подшипники с применением метода раскатки шариками на финишной операции. Предложен порядок предварительного расчета величины шероховатости в зависимости от диаметра шариков, количества шариков в оправке раскаточной головки, величины осевой подачи и числа оборотов при раскатке отверстий различного диаметра. Приведена эмпирическая формула, определяющая влияние различных факторов процесса на достигаемую степень чистоты и шероховатости поверхности.*

**Ключевые слова:** раскатка, раскаточная головка, шероховатость поверхности, шаг следов раскатки, величина подачи, инструменты, формализация записи.

**A. N. Mikhailov, S. B. Kotlyarov, V. B. Kotlyarov, B. S. Kotlyarov**

### BRUSHLESS FINISHING OF HIGH-PRECISION HOLES WITH IMPROVED SURFACE FINISH

*This paper presents the results of research and practical application of the method for processing holes for bearings using the ball rolling method. A procedure for preliminary calculation of the roughness value depending on the diameter of the balls, the number of balls in the mandrel of the rolling head, the value of the axial feed and the number of revolutions when rolling holes of various diameters is proposed. An empirical formula is given, determining the influence of various process factors on the achieved degree of cleanliness and surface roughness.*

**Keywords:** rolling, rolling head, surface roughness, step of rolling traces, feed rate, tools, recording formalization.

#### 1. Введение

Комплексное технологическое обеспечение при изготовлении изделий и деталей машиностроительного назначения предполагает использование различных способов и видов технологического воздействия для формирования геометрии с указанной степенью точности и формирования требуемого качества поверхностей. Важным этапом обработки является доведение качественных характеристик детали до требований, предъявляемых конструкторскими документами.

В настоящее время в производстве применяется много различных финишных операций для достижения окончательных размеров детали и свойств поверхностного слоя [1, 2]. В настоящей работе рассмотрим вариант получения окончательного размера внутренней поверхности и качества поверхности уха под установку наружного кольца подшипника для карданного вала тепловозов серии ТГМ. Рассматриваемая деталь не подвергается термообработке, а окончательный размер отверстия под втулку достигается предварительным и окончательным растачиванием на расточном станке 2620.

В процессе обработки допускается некоторый процент отклонений показателей, как по размеру, так и по качеству поверхности отверстия [3].

Автором предпринята попытка повысить качество получаемых деталей за счет применения комплексной обработки путем включения на финишной операции доводки размеров отверстия методом пластической деформации поверхностного слоя.

С этой целью проведены аналитические исследования и проведен ряд расчетов по теоретическому обеспечению требуемого размера с достижением удовлетворительных результатов по обеспечению чистоты поверхности с шероховатостью не более Ra 1,6.

## 2. Цель и задачи

Цель настоящей работы состоит в разработке порядка предварительного расчета элементов технологического обеспечения при разработке комплексной технологии обработки деталей машиностроительного назначения, в том числе кардных валов трансмиссий тепловозов. В частности, рассматривается вопрос финишной обработки двух отверстий  $\varnothing 105H7^{(+0,035)}$  мм под подшипники фланца 325.10.101 карданного вала при обеспечении показателей чистоты поверхности с шероховатостью не более Ra 1,6 мкм.

Для этого необходимо решить ряд частных задач:

1. Выполнить анализ технологического воздействия инструмента в виде шариков инструментальной головки на обрабатываемую поверхность детали в плане обеспечения размерной точности и повышения класса чистоты поверхности;

2. Установить формальную связь между параметрами инструмента и параметрами обрабатываемой поверхности, определяющие влияние на качество и точность обработки;

3. Разработать конструкцию раскатной головки;

4. Изготовить экспериментальную раскатную головку с шариками диаметром 20 мм в количестве 7 шт. с целью практической проверки результатов аналитических исследований и выводов относительно формирования конечных размеров с заданной точностью и достижения требуемого уровня шероховатости поверхности.

## 3. Основное содержание

Определение параметров процесса финишной обработки с одной установкой поверхности 2-х соосных отверстий  $\varnothing 105H7^{(+0,035)}$  мм фланца в общем случае обуславливаются некоторой совокупностью факторов [4]. Некоторые показатели зависят от конструктивного решения раскатной головки, эскиз одного примера которой приведен на рис. 1, от количества применяемых шариков в головке, от величины оставляемого припуска под раскатку, от диаметра обрабатываемого отверстия и т. д.

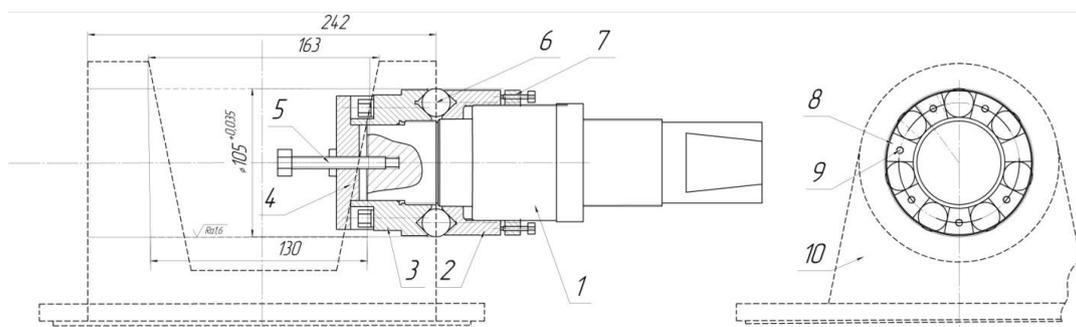


Рисунок 1. Эскиз головки раскатной на  $\varnothing 105H7^{(+0,035)}$  мм

На рис. 1 основные детали головки обозначены позициями, где 1 – оправка головки; 2 – гайка-конус ограничительная; 3 – гайка-конус опорная; 4 – крышка упорная с регулирующим винтом; 5, 6 – шарик, выглаживающий; 7 – гайка, регулирующая; 8 – упор шарика, сепарирующий; 9 – винта упора, сепарирующего; 10 – деталь обрабатываемая.

Процесс раскатки отверстия поясняется схемой раскатки на рис. 2. В нашем случае применена головка с 7 раскаточными шариками. Общая схема расчета припуска определяется следующим порядком действий:

- устанавливается число оборотов раскаточной головки – шпинделя станка;
- рассчитывается частный шаг гребенки – винтовых следов от шариков;
- вычисляется высота гребешков – вершин винтовых следов относительно номинальной поверхности отверстия;
- вычисляется минимальная и максимальная возможная высота гребешков относительно номинальной поверхности отверстия с учетом упругой деформации;
- определяется величина слоя смятия металла при раскатке;
- устанавливается величина припуска под раскатку с учетом поля допуска на размер;
- проверяется порядок расчета и фактически полученные величины.

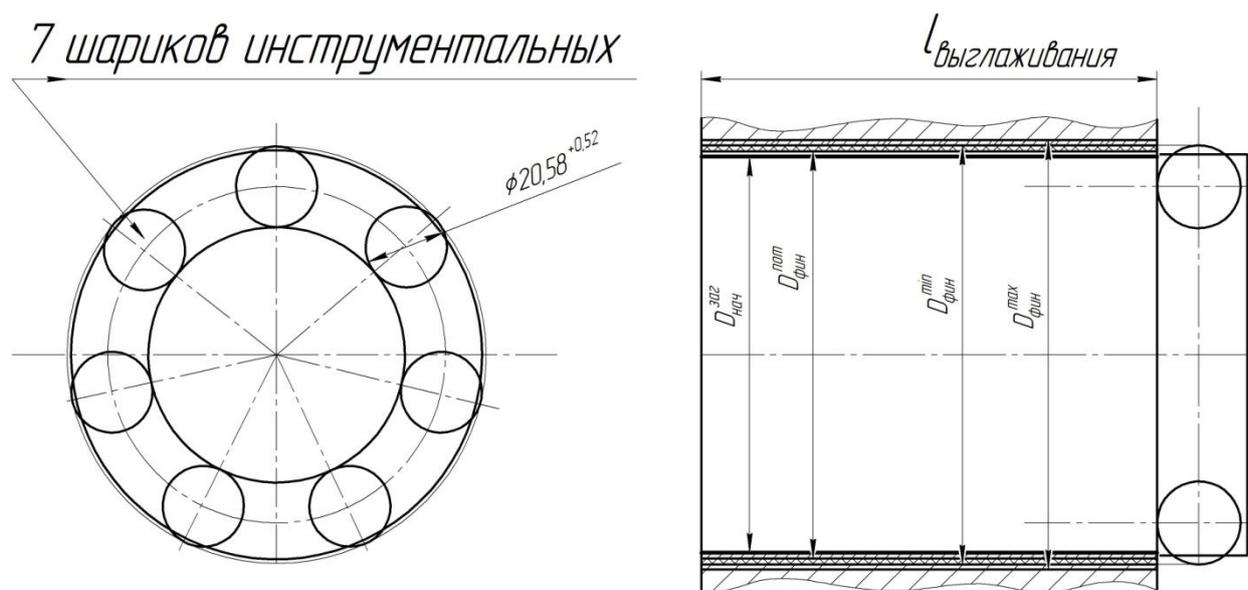


Рисунок 2. Схема раскатки отверстия  $\varnothing 105H7^{(+0,035)}$  мм

На рис. 3 приведена схема распределения и смятия металла при раскатке, где указаны профили инструментальных шариков, следы гребешков винтовой линии, схема последовательного уменьшения высоты гребней при последовательном прохождении шариков при заданной осевой подаче станка.

На рис. 3 указаны формально все преобразуемые размеры отверстия при обработке поверхности отверстия деформационным способом. Размер  $t_{oc}$  указывает на шаг перемещения одного шарика при заданной осевой подаче при раскатке отверстия. Величина  $1/nt_{oc}$  указывает на шаг винтового гребня при применении  $n$  шариков в головке раскатной при той же осевой подаче шпинделя. Увеличение числа шариков в

составе головки позволяет применять большее значение осевой подачи, что позволяет увеличивать производительность осуществления процесса раскатки.

Схема, иллюстрирующая порядок расчета величины выступов и гребней на обработанной поверхности детали, определяющих класс чистоты поверхности, приведена на рис. 4. На рис. 4 схематично указана шероховатость предварительной расточки отверстия до раскатки, а также шероховатость и высоту неровностей поверхности после выполнения раскатки.

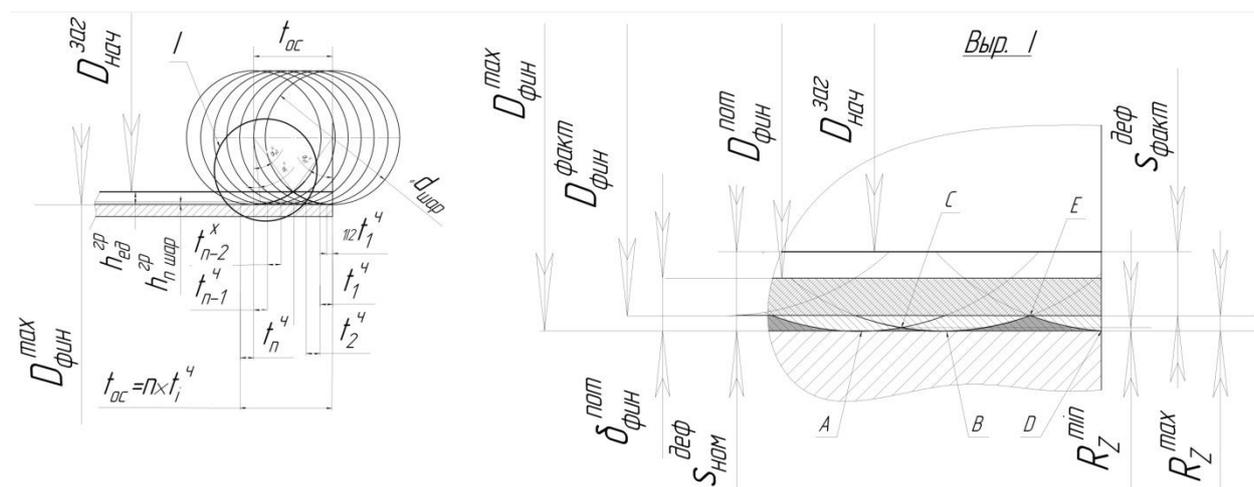


Рисунок 3. Схема расчета припуска под раскатку

Основной эффект снижения шероховатости достигается за счет смятия вершин выступов после предварительной обработки и заполнения металлом свободных зон в металле с большим значением вершин неровностей [4, 5].

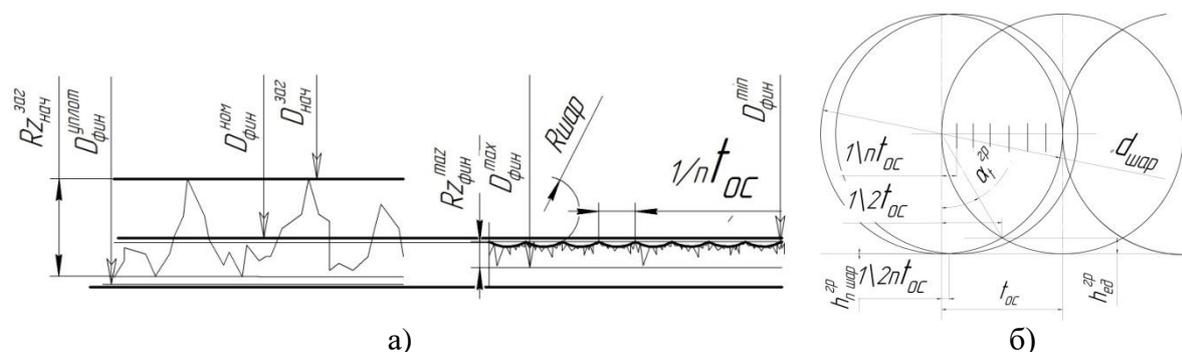


Рисунок 4. Схема для расчета величины шероховатости:

- а) иллюстрация смятия неровностей шероховатости при раскатке; б) иллюстрация зависимости высоты гребня от размера шара и количества шариков в головке.

Из положений геометрии высота  $h_{ед}^{сп}$  гребня винтового при перемещении одного инструмента-шара с шагом  $t_{ос}$  определяется выражением вида:

$$h_{ед}^{сп} = R - \sqrt{R^2 - (0,5R)^2} = R(1 - \sqrt{1 - 0,5^2}). \quad (1)$$

Для схемы с применением количества  $n$  шариков в головке выражение (1) можно преобразовать и записать в общем виде как:

$$h_i^n = R \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}} \right) \quad , \quad (2)$$

где  $R$  – радиус шарика в головке раскатной;

$h_i^n$  – высота гребня винтовой линии гребня при количестве  $n$  шариков;

$t_n^y$  – осевой шаг винтовой линии гребня  $t_n^y = \frac{R}{n}$  при количестве  $n$  шариков в

головке.

Величиной упругих деформаций при раскатке можно пренебречь в силу очень малых значений возможного восстановления геометрии за счет упругости стали.

Из выражения (2) можно сделать вывод о возможности регулирования высоты неровностей поверхностей обрабатываемых отверстий, которыми определяется шероховатость при раскатке, за счет изменения числа одновременно воздействующих на поверхность шариков. Другим положительным эффектом является возможность регулирования структуры поверхностного слоя за счет раскатки прямым и обратным ходом с возможностью одинаковой или изменяемой величины осевой подачи. При этом поверхность приобретает ячеистую структуру, что позволяет предварительно определять условия смазки сопрягаемых поверхностей за счет удержания смазочных материалов с различными свойствами в ячейках с определяемыми заранее размерами.

Пример развертки структурированной ячеистой поверхности отверстия после раскатки приведен на рис. 5. Частота расположения ячеек поверхности, определяемая диагоналями ромба, зависит от числа шариков в раскаточной головке, а также от величины осевой подачи головки на оборот заготовки.

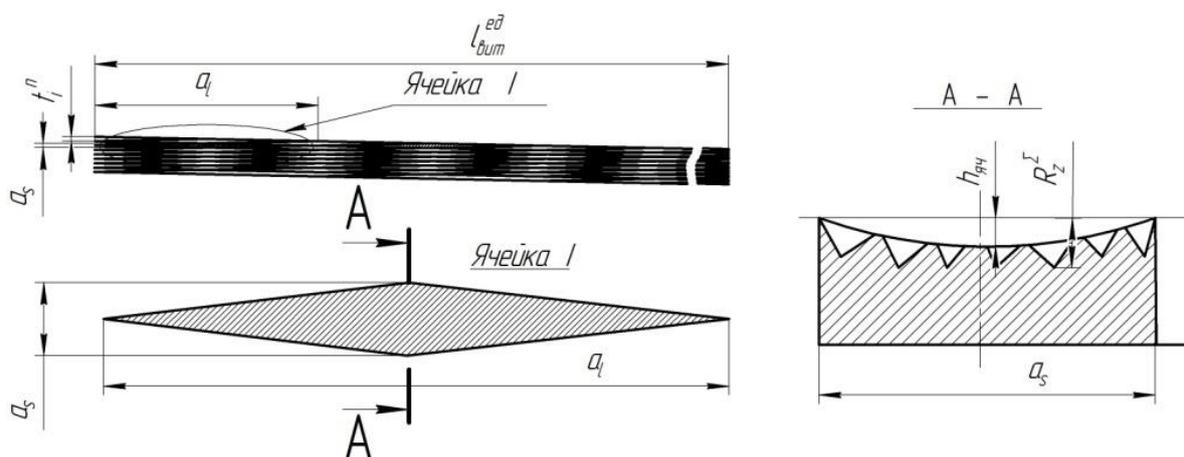


Рисунок 5. Эскиз примера формирования новых поверхностных свойств, в т. ч. ячеистой структуры внутренней поверхности отверстия фланца после раскатки шариковой головкой с множеством шариков

Размер ячеек определяется размерами диагоналей ромба. При этом большая диагональ  $a_l$  определяется из выражения  $a_l = \frac{\pi D_{дет}}{n}$ , где обозначение  $D_{дет}$  указывает на диаметр детали, подверженный раскатке, а малая диагональ  $a_s$  определяется из выражения  $a_s = \frac{t_{ос}}{n}$ , где  $t_{ос}$  – осевая подача шпинделя при раскатке. Знаменатель  $n$  в обоих выражениях указывает на количество шариков в раскатной головке.

Можно указать еще один важный аспект при раскатке отверстия, который оказывает влияние на эксплуатационные свойства материала. Это создание эффекта наклепа, или - нагартовки поверхностного слоя, который приобретает при деформационном воздействии шариков головки на обрабатываемую поверхность. Очевидно, что на параметры наклепа поверхностного слоя влияет некоторое множество факторов, в число которых можно включить первоначальную структуру материала, температурное сопровождение процесса раскатки, величину припуска и др.

Динамика процесса создания наклепа заслуживает отдельного рассмотрения в плане силового взаимодействия шариков с поверхностью детали, поскольку применение шариков различных диаметров и осуществление процесса с разными возможными величинами осевой подачи при оставлении под раскатку припуска различного размера и различной первичной шероховатости могут существенно менять конечный результат. Так же отдельного рассмотрения требует и вопрос формирования необходимых параметров ячеистой структуры поверхности в плане повышения смазочной способности в сборе механизмов, учитывающий выбор типа смазки, материала основных сопрягаемых деталей, а также условий эксплуатации.

#### 4. Заключение

Выполненные в работе исследования процесса раскатки сдвоенных отверстий для фланца карданного вала тепловозов серии ТГМ с окончательным размером  $\varnothing 105H7^{(+0,035)}$  мм и шероховатостью внутренней поверхности Ra 1,6 мкм позволили достичь положительных результатов в отношении поставленной цели и решении ряда частных задач.

Получено решение следующих задач:

1. Выполнен анализ технологического воздействия инструментальной раскатной головки, инструментальная часть которой выполнена с включением в состав 7 шариков  $\varnothing 20$  мм, на обрабатываемую поверхность детали. При этом исследованию подвержен частный вопрос обеспечения размерной точности отверстия  $\varnothing 105^{(+0,035)}$  мм с допуском по классу H7 и шероховатостью поверхности Ra 1,6 мкм;

2. Установлена формальная связь между параметрами инструмента, выраженная в зависимости степени геометрической точности обрабатываемого размера и параметров шероховатости обрабатываемой поверхности от определяющих параметров головки раскаточной, включая диаметр и количество шариков в головке;

3. Разработана конструкция экспериментальной раскатной головки для раскатки сдвоенного отверстия  $\varnothing 105^{(+0,035)}$  на горизонтально-расточном станке мод. 2620;

4. Изготовлена экспериментальная раскатная головка с применением шариков диаметром 20мм в количестве 7 шт. с целью практической проверки результатов аналитических исследований и выводов относительно формирования конечных размеров с заданной точностью и достижения требуемого уровня шероховатости поверхности.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
2. Смелянский, В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
3. Антонюк, В. Е. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач. Учебное пособие. / В. Е. Антонюк, М. М. Канне, В. Е. Старжинский и др. – Мн.: УП «Технопринт». 2003. – 766 с.
4. Бабичев, А. М. Справочник инженера-технолога в машиностроении//Справочник, Машиностроение, Изд. 2006. -544с.
5. Суслов, А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.

Поступила в редколлегию 09.02.2024 г.