

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЧИСТОВЫХ ОПЕРАЦИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ СЛОЖНОИМПРЕГНИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА

Е.А. Шевелева, С.Л. Леонов, Е.Ю. Татаркин

Развитие производства автомобилей с дизельными двигателями характеризуется переходом на новые международные стандарты качества (ISO 9000, «Евро 4»). Этот процесс закономерен, так как постоянно возрастают требования к надежности деталей топливоподающих систем.

На топливную аппаратуру приходится до 70% всех отказов дизелей [1]. Одной из причин этих неисправностей является отказы в работе форсунки – главного элемента питания двигателя. Она несет на себе основную эксплуатационную нагрузку: подача строго определенного количества топлива в заданный момент и с заданным давлением. Поэтому к точности ее изготовления предъявляются высокие требования. Они, в свою очередь, определяют надежность и эффективность работы всего двигателя.

Анализ ремонтного фонда, проведенный в ГОСНИТИ [2], показывает, что большинство отказов форсунок происходит по причине выхода из строя распылителя. Он работает в весьма тяжелых условиях: большие ударные нагрузки, интенсивный износ, высокие температуры. При этом наиболее ответственной поверхностью является отверстие корпуса распылителя, диаметр которого составляет $4,5^{+0,015}$ (для двигателя ЯМЗ-7511.10) с достаточно высокими требованиями к шероховатости поверхности ($Ra=0,125$). Для обеспечения заданных требований используется внутреннее шлифование.

Себестоимость операции внутреннего шлифования складывается из четырех составляющих, три из которых – это затраты, связанные с износом абразивного инструмента (АИ) и его правкой [3]. По данным Л.Н. Филимонова [4] затраты на правку АИ могут составлять до 70% от себестоимости всей операции в зависимости от вида обработки и обрабатываемого материала. При этом износ АИ влияет не только на себестоимость операции, но и на геометрическую точность обработанного отверстия, качество поверхностного слоя и величину радиального съема металла.

Износ инструмента, в свою очередь, связан с глубиной и силой резания. Известно, что снижение силы резания и износа шлифовальной головки можно достичь ее импрегнированием [5]. При столь малом диаметре шлифования нами предлагается комбинированное импрегнирование материалами, с одной стороны повышающими прочность удержания зерен, а с другой – обладающими смазывающим свойством для снижения силы резания. Среди пропитывающих веществ, влияющих на повышение прочности удержания зерна в инструменте, наиболее ярко проявляет себя бакелит [6]. По данным Г.Б. Лурье и С.Г. Энтелеса [7, 8], хорошим смазывающим действием обладает парафин. Данные импрегнаторы могут позволить, с одной стороны, увеличить стойкость АИ, а с другой – уменьшить силу резания и упругие отжатия в технологической системе.

Актуальной проблемой изготовления прецизионных деталей является не только получение заданной точности размера, но и обеспечение стабильности этой точности, а также отклонений формы и шероховатости обработанной поверхности. Существует значительное количество рекомендаций по совершенствованию процесса внутреннего шлифования, в том числе и по импрегнированию инструмента [9]. Однако эти рекомендации носят частный характер и мало применимы при шлифовании прецизионных деталей, в том числе и для обеспечения стабильности выполнения операций. Наиболее мощным средством для решения этих задач является математическое моделирование.

Исходя из вышесказанного, необходимо:

1. Разработать математическую модель формирования поверхности при внутреннем шлифовании с продольной подачей, учитывающую влияние импрегнаторов.

2. Провести анализ износа АИ, применяемого при внутреннем шлифовании и установить закономерности протекания данного явления.

3. Спроектировать и изготовить сложно-импрегнированный АИ, используя комбинированное импрегнирование.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2007

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЧИСТОВЫХ ОПЕРАЦИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ СЛОЖНОИМПРЕГНИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА

4. Провести экспериментальные исследования работоспособности данного инструмента и проверить адекватность математической модели для конкретных производственных условий.

Анализ существующих динамических моделей внутреннего шлифования с продольной подачей показал, что на процесс формирования поверхности влияет большое количество факторов, основными из которых являются упругие отжатия в технологической системе и износ абразивного инструмента. Именно неравномерность износа приводит к появлению отклонений формы, а по данным В.Н. Михелькевича он может составлять до 5-10% диаметра круга за один цикл обработки детали.

В соответствии с уравнением баланса перемещений в технологической системе (рис. 1) имеем:

$$t_{\phi} = t - \Delta y - \Delta R_{\Sigma} - \Delta r_{\Sigma}, \quad (1)$$

где t_{ϕ} - фактическая глубина резания за один проход инструмента; Δr_{Σ} - накопленный

съем металла за один проход; ΔR_{Σ} - суммарный износ круга за один проход; Δy , ΔR , Δr зависят от t_{ϕ} и будут изменяться с каждым оборотом детали.

Введя коэффициенты K_1 (коэффициент съема металла), K_2 (коэффициент износа круга), K_3 (коэффициент упругих отжатий), можно проследить каким образом наличие импрегнатора влияет на изменение параметров точности и качество обработанной поверхности.

Выделим на абразивном инструменте и детали сечения, соответствующие каждому обороту детали. В результате, за один проход накопленный съем металла Δr_{Σ} и суммарный износ круга ΔR_{Σ} рассчитываются по формулам:

$$\Delta r_{\Sigma} = K_1 \sum_{i=1}^{N_{об}} t_{\phi_i}, \quad (2)$$

$$\Delta R_{\Sigma} = K_2 \sum_{i=1}^{N_{об}} t_{\phi_i}. \quad (3)$$

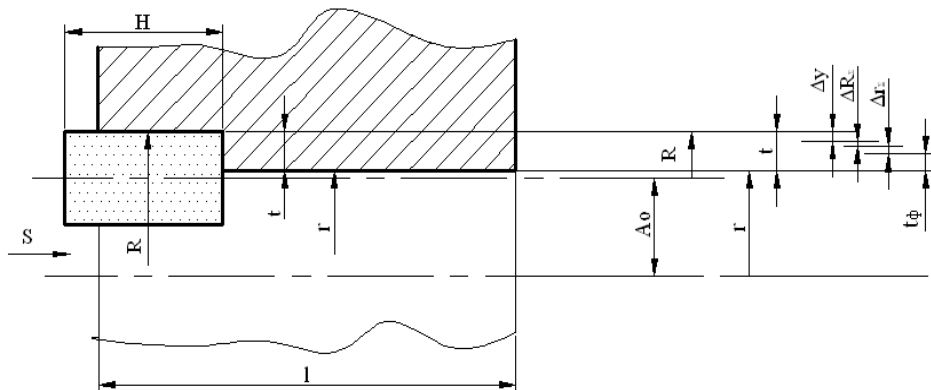


Рис.1. Схема и размерный анализ процесса внутреннего шлифования с продольной подачей: S – продольная подача (мм/оборот детали); r – радиус обрабатываемого отверстия (мм); l – длина обрабатываемого отверстия (мм); H – ширина круга (мм); R – радиус круга (мм); t – номинальная глубина резания (подача на ход, мм); A_0 – межцентровое расстояние (мм); Δy – упругие отжатия (мм); ΔR_{Σ} – суммарный износ круга за один проход (мм); Δr_{Σ} – накопленный съем металла (мм); t_{ϕ} – фактическая глубина резания (мм)

Упругие отжатия Δy на каждом обороте детали рассчитываются по формуле:

$$\Delta y = K_3 \cdot S \sum_{i=1}^n t_{\phi_i}, \quad (4)$$

где n – количество сечений круга, контактирующих с деталью; S – продольная подача (мм/об).

Полученная в результате объединения уравнений (1), (2), (3), (4) система (5) позволяет рассчитать фактическую глубину резания t_{ϕ} на каждом проходе инструмента. Влияние импрегнатора на процесс внутрен-

него шлифования с продольной подачей учитывается коэффициентами K_1 , K_2 и K_3 .

$$\left. \begin{aligned} t_{\phi} &= t - \Delta y - \Delta R_{\Sigma} - \Delta r_{\Sigma}; \\ \Delta R_{\Sigma} &= K_2 \sum_{i=1}^{N_{об}} t_{\phi_i}; \\ \Delta r_{\Sigma} &= K_1 \sum_{i=1}^{N_{об}} t_{\phi_i}; \\ \Delta y &= K_3 \cdot S \sum_{i=1}^n t_{\phi_i}; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Одним из основных параметров качества обработанной поверхности является Rz , которая рассчитывается по формуле:

$$Rz_i = \begin{cases} Rz_{i-1} - \Delta r_i, & Rz_{i-1} > t_{\phi i} \\ t_{\phi i} - \Delta r_i, & Rz_{i-1} \leq t_{\phi i} \end{cases}$$

Расчет составляющих уравнения баланса перемещений целесообразно проводить для трех этапов внутреннего шлифования: этап врезания, резание всем АИ и этап выхода АИ. При этом на каждом обороте детали рассчитываются упругие отжата Δu , радиальный съём металла Δr , износ круга ΔR , фактическая глубина резания t_{ϕ} , и шероховатость поверхности Rz . Процесс расчетов был автоматизирован с использованием табличного процессора Excel с помощью макросов, написанных на языке VBA. Разработанная программа для ЭВМ позволяет также получать графики изменения ΔR , Δr , R_{\max} и производить расчеты для нескольких проходов АИ.

Причины износа абразивного инструмента можно классифицировать по различным признакам. Классификация неравномерного износа позволяет оценить наиболее слабое место при эксплуатации инструмента и принять меры либо к устранению причины износа, либо к снижению темпов износа.

Характер и величина износа режущей поверхности АИ зависят, прежде всего, от характера распределения нормальных и тангенциальных сил, определяемых условиями контакта с обрабатываемой деталью [3]. Очевидно, что на этапе врезания интенсивность съема металла постепенно нарастает за счет создания натяга в технологической системе, в результате чего образуются «завалы» на поверхности АИ. Износ и отклонение реальной геометрии инструмента от предполагаемого влечет за собой снижение геометрической точности, увеличения шероховатости обработанной поверхности. Большая величина отклонения от первоначального профиля инструмента является причиной возникновения вибраций АИ. Это происходит до набора необходимого натяга и нормальной составляющей силы резания P_y . В дальнейшем процесс стабилизируется и протекает с постоянной интенсивностью съема металла, что характеризует этап резания всем кругом. Чтобы найти этому реальному подтверждение были проведены исследования на шлифовальных цилиндрических головках (ГЦ), служащих для обработки внутренней поверхности корпуса распылителя по окончании периода их эксплуатации. Замеры

нескольких шлифовальных головок, произведенные в произвольных сечениях, позволили определить количество и месторасположение сечений, в которых необходимо было произвести измерения (рис.2).

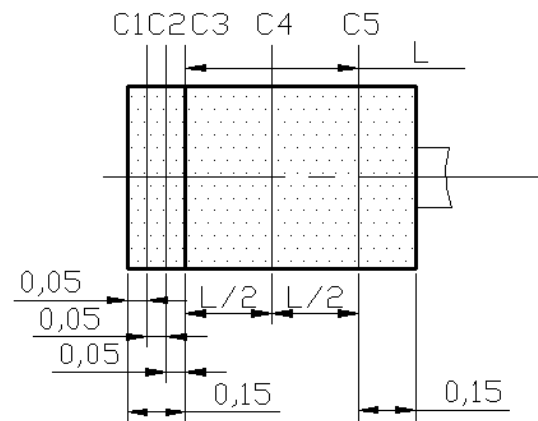


Рис.2. Сечения шлифовальных головок, подлежащие замерам

Измерения диаметра АИ проводились на специальной установке в определенных сечениях. При этом после первого замера, ГЦ поворачивали на 90° . В каждом сечении замер проводился дважды.

В результате было установлено, что:

1. Самой уязвимой частью шлифовальной головки является участок А (рис.3), на котором образуются «завалы» (конусообразность). Отклонения от цилиндричности составляет $\Delta_{ц\text{ ср}} \approx 0,232$ мм.

2. На остальной части инструмента (участок Б) отклонения от профиля продольного сечения чередуются в процентном соотношении ($\Delta_{\text{боч}}=25\%$, $\Delta_{\text{сед}}=35\%$, $\Delta_{\text{кон}}=40\%$) и наблюдается небольшое отклонение от цилиндричности $\Delta_{ц\text{ ср}} \approx 0,017$ мм.

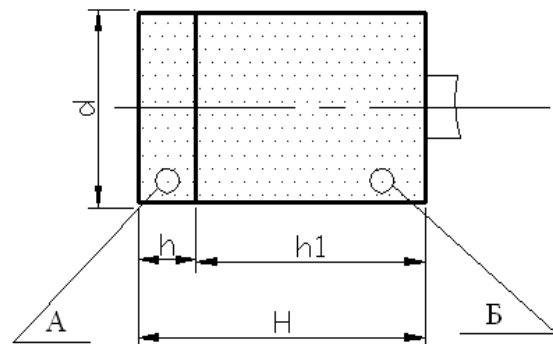


Рис.3. Шлифовальная цилиндрическая головка

Данные исследования подтверждает математическая модель и график износа АИ (рис.4), построенный на основании расчетов.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЧИСТОВЫХ ОПЕРАЦИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ СЛОЖНОИМПРЕГНИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА

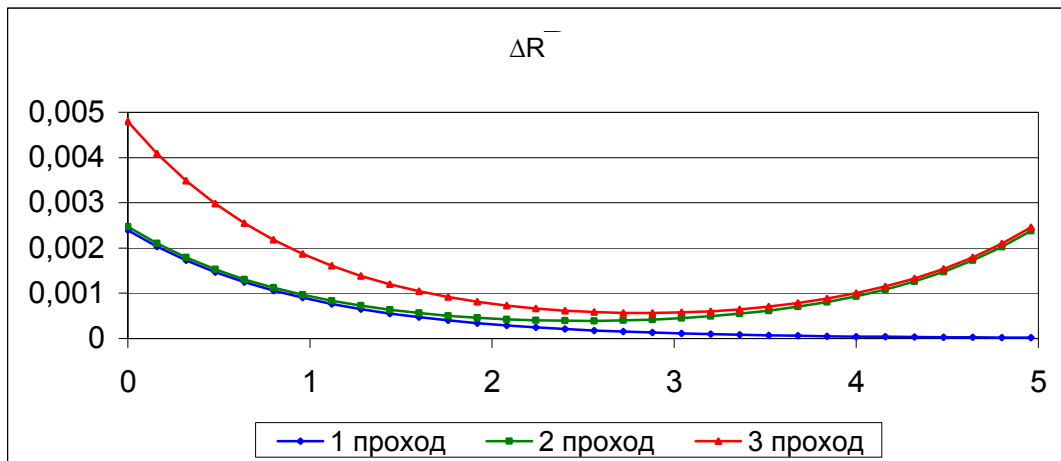


Рис.4. Результаты анализа, проведенного на базе разработанной программы для ЭВМ и полученной математической модели

Следовательно, можно сделать вывод, что необходимы мероприятия, направленные на увеличение стойкости абразивного инструмента. При этом на участке А (высота h) (рис.3) требуется повышенная твердость инструмента для обеспечения стабильного получения параметров шероховатости детали. Однако повышение твердости влияет на физико-механические свойства обработанной поверхности - просматривается взаимосвязь между изменением исходной твердости инструмента и появлением прижогов. Следовательно, на участке Б (высота h1) (рис.3) достаточно обеспечить смазывающий эффект, чтобы избежать появления прижогов.

Был предложен комбинированно-импрегнированный инструмент для шлифования (Патент № 50904) [10], структура и состав абразивной части которого показан на рис. 5.

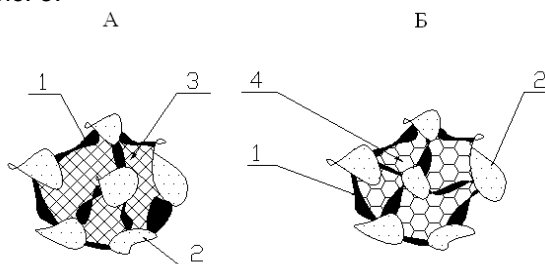


Рис.5. Структура и состав абразивной части инструмента: 1-связка АИ; 2 – абразивное зерно; 3 –поры, заполненные бакелитом; 4 – поры, заполненные парафином

Анализ технологий импрегнирования позволил определить способы импрегнирования и поставить задачи экспериментальных исследований:

1. Изучить влияние способов импрегнирования на степень насыщения пор АИ парафином и бакелитом.

2. Проверить рабочую гипотезу о невытеснении одного импрегнатора другим.

В результате проведенных экспериментальных исследований и подтвержденной гипотезы были предложены варианты применения технологий импрегнирования по степени насыщения пор и разработана технология комбинированного импрегнирования, на основе которой был реализован метод получения сложноимпрегнированного АИ (рис.6).

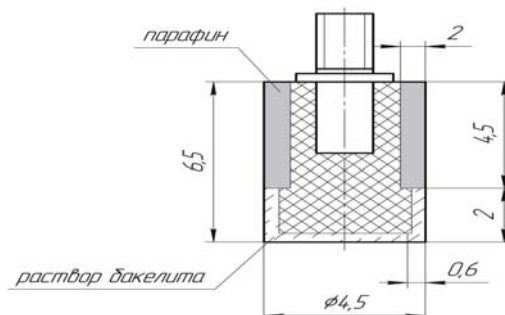


Рис.6. Структура сложноимпрегнированного АИ

Технология комбинированного импрегнирования включает в себя 4 этапа. На подготовительном этапе идет сбор информации о номинальных размерах АИ, проводится контрольное взвешивание образцов, подлежащих пропитке, подготавливаются импрегнирующие составы. Следующий этап бакелитирования реализуется капиллярным методом на предварительно прогретом АИ (35-37°C) с постоянным контролем массы инструмента. Пропитка парафином осуществля-

ется в разряженной среде ($0,4 \text{ кгс/см}^2$) в течение 10 минут с последующим контрольным взвешиванием и замером номинальных параметров. На заключительном этапе ведется обработка полученных данных и делается вывод о результатах проведения эксперимента.

Круги, поставляемые с заводов - изготовителей, зачастую имеют неоднородную структуру, что напрямую влияет на качество поверхности и точностные параметры обрабатываемой детали. Предложенная технология позволяет выравнивать характеристики АИ, тем самым обеспечивается стабильность получаемых параметров.

Экспериментальные исследования работоспособности данного АИ показали, что за счет применения сложноимпрегнированного инструмента по сравнению с традиционным АИ, уменьшается шероховатость поверхности и отклонения от цилиндричности (некруглость). Шероховатость после обработ-

ки традиционным АИ составляет $R_{\text{acp}}=0,248$, сложноимпрегнированным - $R_{\text{acp}}=0,1405$. Некруглость \varnothing (мм) отверстия при обработке традиционным инструментом равна $0,525$ мм, а сложноимпрегнированным – $0,506$ мм.

Динамика процесса внутреннего шлифования и изменение качества обработанной поверхности подробно проанализировано с помощью разработанной программы для ЭВМ на основе математической модели. Математическое моделирование дает возможность проследить как формируются параметры обрабатываемой поверхности в течении всего цикла шлифования и делать выводы о стабильности данного процесса. В результате полученных расчетов построены графики изменения шероховатости поверхности после нескольких проходов (рис.7), (рис.8), которые показывают, что применение импрегнированного АИ позволяет повысить качество поверхности.

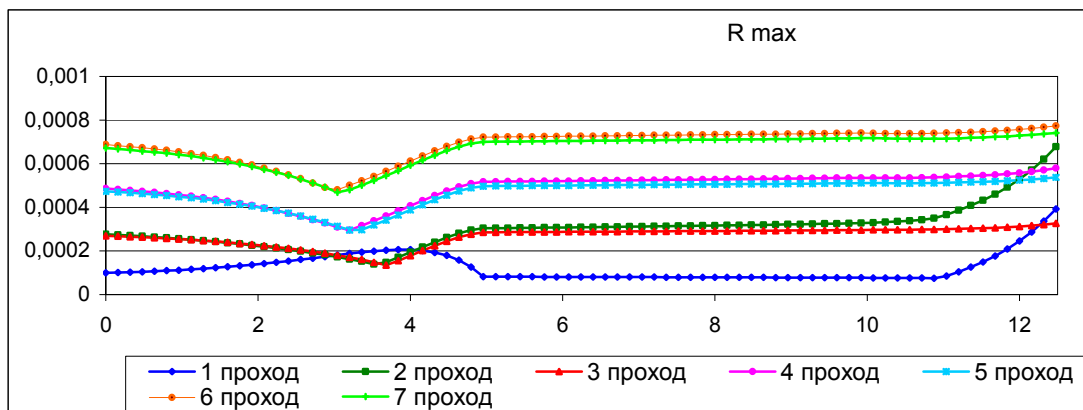


Рис.7. Шероховатость поверхности после обработки импрегнированным АИ

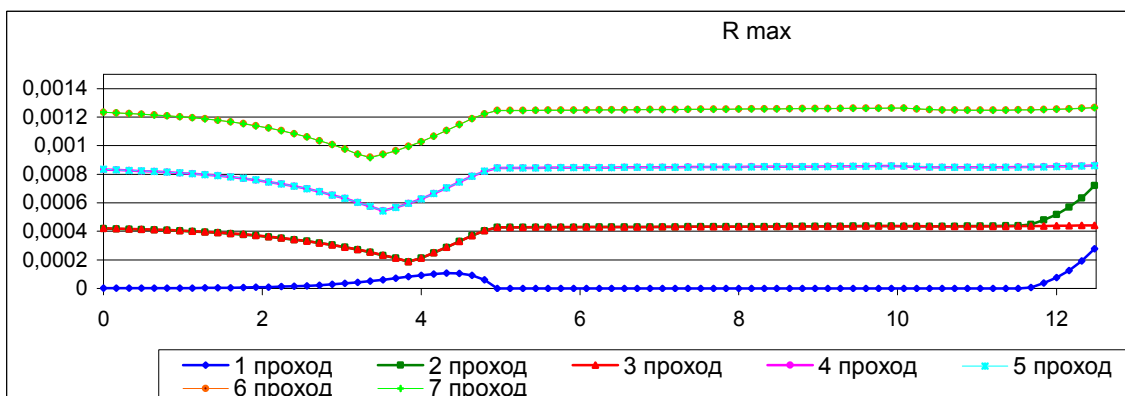


Рис.8. Шероховатость поверхности после обработки традиционным АИ

В результате анализа полученных данных имеем: после обработки импрегниро-

ванным инструментом $Rz_{\text{cp}} = 0,00067$, а шероховатость после обработки традиционным

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЧИСТОВЫХ ОПЕРАЦИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ СЛОЖНОИМПРЕГНИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА

АИ составляла $Rz_{cp} = 0,00119$. Перевод R_a в Rz осуществлен согласно ГОСТ 2789-73.

Для условий, в которых проводились исследования работоспособности импрегнированного АИ, методом наименьших квадратов определены коэффициенты, учитывающие влияние импрегнирования на процесс внутреннего шлифования с продольной подачей: $K_1=0,1537$; $K_2=0,00045$; $K_3=0,025$.

Следовательно, в результате применения сложноимпрегнированного АИ появляется возможность:

- Повысить качество поверхности обрабатываемых деталей (уменьшить R_a), сохранив производительность и период стойкости АИ. Например, при шлифовании с цилиндрическими головками (Германия) с характеристиками 11А 220 N 1 V 716 и подачей $S_{np}=0,16$ мм/об шероховатость поверхности уменьшается с $R_a=0,248$ до $R_a=0,1405$.

- Увеличить период стойкости АИ за счет:

- сокращения числа правок АИ при незначительном увеличении припуска, снимаемого при правке;

- уменьшения величины компенсации снимаемого слоя при неизменном цикле шлифования;

- уменьшения числа двойных ходов АИ для получения заданного размера поверхности детали.

Например:

- Правка ГЦ 11А 220 N 1 V 716 при шлифовании внутреннего отверстия корпуса распылителя производилась 2 раза, после черного и чистового проходов. Сократив число правок до одной (после черного прохода) с изменением величины компенсации с 10 мкм до 15 мкм, ухудшения шероховатости, отклонений от цилиндричности обработанной поверхности не наблюдалось.

- В другом случае, оставив неизменным цикл шлифования, появляется возможность уменьшить величину компенсации с 10 мкм до 6 мкм, сохраняя при этом заданную шероховатость. В первом случае $R_a=0,248$, соответственно после изменения величины компенсации $R_a=0,276$ мкм.

- Повышение производительности на операциях внутреннего шлифования при обработке отверстия корпуса распылителя можно достичь за счет сокращения числа двойных ходов АИ для снятия припуска величиной 0,11 мм с 52 до 46.

В зависимости от условий производства можно выбирать наиболее целесообразный из перечисленных путей повышения произ-

водительности и качества обработки шлифованием.

ВЫВОДЫ

1. Обзор научно-технической информации показал, что необходимы мероприятия, направленные на повышение стойкости АИ при обработке прецизионных деталей топливной аппаратуры для стабильного получения заданной точности, отклонений формы и параметров шероховатости. Износ АИ влияет не только на качество обработанной поверхности и геометрическую форму, а также определяет себестоимость операции.

2. Разработанная математическая модель образования поверхности при внутреннем шлифовании позволяет учитывать влияние импрегнаторов на качество обработанной поверхности, а также дает возможность рассчитывать износ АИ, радиальный съем металла и упругие отжатия в технологической системе. В комплексе появляется возможность проследить динамику процесса шлифования последовательно в течение всего цикла (от оборота к обороту и от прохода к проходу).

3. Анализ износа АИ показал, что на этапе врезания возникает натяг в технологической системе, что влечет за собой повышенные нагрузки на переднюю часть инструмента. В результате чего на рабочей поверхности АИ появляются «завалы». Следовательно, необходимо увеличить прочность удержания зерна в связке на данном участке, а на оставшейся части АИ достаточно обеспечить смазывающий эффект.

4. Спроектирован и предложен комбинированно-импрегнированный инструмент для шлифования (Патент № 50904), который позволяет с одной стороны, увеличить твердость АИ, с другой – уменьшить силы в зоне обработки. Разработан метод реализации комбинированного импрегнирования. Созданный алгоритм получения сложноимпрегнированного АИ применим для пропитки инструмента различной формы и с различными характеристиками абразивной части.

5. Проведенные экспериментальные исследования показали, что применение сложноимпрегнированного АИ дает возможность улучшить качество обработанной поверхности, повысить период стойкости инструмента, снизить себестоимость изготовления изделия. Экспериментальные данные подтверждаются математической моделью, которая позволяет обеспечивать стабильность получения заданных параметров качества при внутреннем шлифовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Габитов И.И., Неговора А.В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей. - Уфа: Изд-во БГАУ, 2004. – 216 с.
2. Неговора А.В. Технологические приемы обеспечения эксплуатационной надежности топливopодающих систем автотракторных дизелей. - С.-Петербург: Изд-во С-ПБГАУ, 2003.–212 с.
3. Мишнаевский Л.Л. Износ шлифовальных кругов. - Киев: Наук. думка, 1982. – 192 с.
4. Филимонов Л.Н. Стойкость шлифовальных кругов. - Л.: Машиностроение, 1973. – 136 с.
5. Островский В.И. Улучшение свойств шлифовальных кругов путем пропитки. Экономичность и точность абразивно-алмазной обработки. – М.: Общество «Знание», 1971. – 56 с.
6. Прогрессивные методы шлифования пропитанным абразивным инструментом: Технологические инструкции / Под ред. В.И. Муцяно и др. – М.: НИИмаш, 1978 – 25с.
7. Лурье Г.Б. Шлифование металлов. - М.: Машиностроение, 1969. – 172 с.
8. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинераи и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 496 с.
9. Худобин Л.В., Бердичевский Е.Г. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке. – М.: Машиностроение, 1977. – 189 с.
10. Патент № 50904 Россия, В24D 3/00. Инструмент для шлифования/ Татаркин Е.Ю, Шевелева Е.А. АлтГТУ. - / Заявл. 02.08.2005; Оpubл. 27.01.2006. Бюл.№ 3.
11. Михелькевич В.Н. Автоматическое управление шлифованием. – М.: Машиностроение, 1975. – 304 с.