

УДК 621.9.044

**А. М. Лахин**, канд. техн. наук, **А. Л. Ищенко**, канд. техн. наук,**А. В. Лыков**, студент

Донецкий Национальный технический университет, г. Донецк, ДНР

Тел./факс: +38(062)3010805; E-mail: lelax@mail.ru

## ОСОБЕННОСТИ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПЕРЕД НАНЕСЕНИЕМ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

*Работа посвящена решению вопроса рационализации процесса абразивной отделочной обработки зубьев с целью достижения шероховатости поверхности, требуемой для достаточной прочности адгезионной связи при последующем нанесении покрытия. В результате разработано универсальное устройство на программируемом микроконтроллере, позволяющее автоматизировать процесс полирования зубьев/*

**Ключевые слова:** полирование, припуск, технология, покрытие

**A. M. Lakhin, A. L. Ishchenko, A. V. Lykov**

### FEATURES OF GEAR WHEELS FINISHING BEFORE APPLICATION OF VACUUM ION-PLASMA COATINGS

*The work is devoted to the problem solution of rationalization the gear abrasive finishing process in order to achieve the surface roughness required for sufficient strength of adhesive bond during the subsequent coating application. As a result, a universal programmable microcontroller device has been developed, which makes it possible to automate the process of gear polishing.*

**Keyword:** polishing, allowance, technology, coatings

#### 1. Введение

В настоящее время, ввиду широкого применения зубчатых передач, а также постоянно повышающихся требований к механизмам с зубчатыми колесами, требуется поиск новых, конкурентоспособных путей повышения качества зубчатых колес, увеличения их долговечности, повышение нагрузочной способности, увеличение КПД зубчатых передач и т. п. При достижении достаточной точности параметров зубьев, достигаемых лезвийной механической обработкой, возникает необходимость повышения физико-механических свойств рабочих поверхностей зубьев, которые из-за высокой дороговизны прочных и износостойких конструкционных материалов, достигаются альтернативными методами. Среди наиболее известных методов поверхностного или местного упрочнения, можно выделить: поверхностную закалку, методы ППД поверхностей зубьев, методы химико-термической обработки основанную на диффузионном насыщении поверхностных слоев зубьев и пр. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, имея общий недостаток – высокую стоимость упрочнения зубьев а также необходимость в последующей механической обработке для достижения требуемых параметров точности и качества поверхностного слоя, которая нарушается после упрочняющей обработки.

В последнее время большую популярность получили методы нанесения сверхпрочных и износостойких покрытий, которые наносятся в виде тонких пленок (до 12 мкм) на рабочие поверхности изделий [1]. Эти покрытия наносятся различными способами, среди которых наиболее распространены методы CVD и PVD, соответственно химического и физического осаждения. При этом больший интерес представляют методы PVD, поскольку при обеспечении высоких физико-механических свойств покры-

тия, требуют меньших капиталозатрат на совершение процесса, и не требуют высокотемпературного нагрева, который чаще всего не превышает  $450^{\circ}\text{C}$ . Такие температуры не приводят к термическим превращениям в структуре металла, кроме того, имея малую толщину покрытия (8-12 мкм), практически не оказывают влияние на точность параметров зубьев. Наибольшее распространение данные методы получили для изделий испытывающих повышенный механический износ и работающих при высоких температурах, в частности для контактных площадок металлорежущего инструмента [1]. Применение данных покрытий для зубчатых колес не получило широкого распространения ввиду того что к поверхностям перед нанесением подобных покрытий предъявляются повышенные требования к шероховатости поверхности, которая для надежной прочности адгезионной связи покрытия с подложкой не должна превышать Ra 0,08-0,1 мкм. Данный параметр шероховатости, при исходной шероховатости Ra 2,5-1,6 мкм полученной чистовым зубофрезерованием или шевингованием, может быть достигнут 4-х кратным полированием – грубым, предварительным, окончательным полированием и глянцеваанием. Зубчатый венец, как известно, представляет собой сложный периодический профиль, а его обработка требует высоких затрат труда и выполняется как правило на сложном, малопроизводительном и дорогостоящем оборудовании.

Таким образом, целью настоящей работы является повышение эффективности полирования зубьев с целью подготовки поверхностей к нанесению покрытия. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: определить схему полирования зубьев, количество этапов полирования и режимы полирования, обеспечивающие требуемое качество поверхностей под нанесение покрытий; разработать конструкцию универсального устройства для высокопроизводительного полирования зубьев.

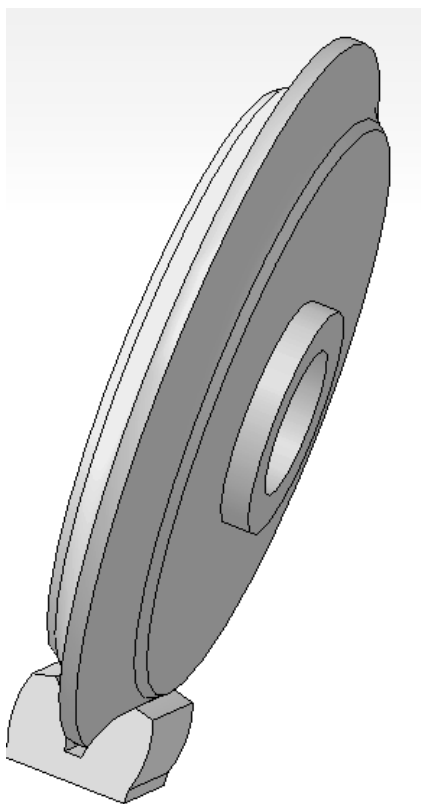


Рисунок 1. Процесс полирования зубьев методом копирования

## 2. Основное содержание и результаты работы.

Как известно процесс полирования не ставит задачу повышения размерной точности, а направлен главным образом на достижения требуемого параметра шероховатости поверхности [2]. Обработка методом обкатки малопродуктивна, и требует многократного движения деления, что в данном случае не обосновано. Более производительным является полирование методом копирования, особенно с учетом того что инструментом для полирования является круг на эластичной основе чаще всего выполненный на полимерной, вулканической, тканевой, бумажной или войлочной основе. Данный материал очень легко поддается правке, и может выполняться по форме впадины зуба, обеспечивая при этом плотное прилегание к двум взаимно расположенным боковым поверхностям зубьев (рис.1).

Основными движениями при полировании данным методом является вращение круга  $v_{кр}$ , возвратно-поступательное движение поли-

ровальной бабки  $v_{в-п}$ , а также поворотное движение деления для обработки следующей впадины зубчатого колеса [7]. При этом круг изначально устанавливается на заданную глубину обработки, с требуемым давлением инструмента на обрабатываемую поверхность.

Припуск на каждую операцию полирования может быть определен по следующей формуле [6]:

$$2Z_{b\min} = 2 \left[ (R_{za} + T_{\alpha}) + \sqrt{\rho_a^2 + \varepsilon_b^2} \right],$$

где  $R_{za}$  – высота неровностей на предшествующей операции обработки, мкм;

$T_{\alpha}$  – высота дефектного слоя,

$\rho_a$  – пространственные отклонения обрабатываемой поверхности относительно базовой, мкм;

$\varepsilon_b$  – погрешность установки на выполняемой операции, мкм.

Как правило общий припуск на полирование не превышает 0,12 мкм [5], и должен быть учтен при назначении норм бокового зазора зубчатой передачи. Количество двойных ходов полировального круга по обрабатываемой впадине зависит от вида полирования и величины давления круга на заготовку, и, как правило, увеличивается при чистовых операциях. Так, на этапе грубого полирования, при давлении круга 0,15-0,2 МПа, количество двойных ходов 7-10. На заключительном этапе - глянцеваии, при давлении круга 0,005-0,02 МПа количество ходов 25-30. Таким образом, процесс полирования впадин зубьев представляет собой совокупность многократно повторяющихся периодических действий, которые могут быть автоматизированы. Для автоматической работы станка по полированию зубьев требуется автоматизировать следующие действия: смену направления движения возвратно-поступательно движущейся полировальной бабки в конце каждого хода, поворот зубчатого колеса после обработки каждой впадины, и автоматическую остановку обработки после обработки всех впадин и завершения этапа полирования. При этом смена полировального круга для последующих этапов полирования осуществляется вручную, а изменение скорости вращения круга и давления прижатия круга на обрабатываемую впадину задается набором запрограммированных параметров, задаваемых при включении следующего цикла обработки.

С развитием электронной и микропроцессорной техники, появляются полупроводниковые устройства – программируемые контролеры, позволяющие воспроизводить заранее введенные управляющие программы с ПК, и передавать сигналы в виде частотных импульсов на различные электромеханические устройства (шаговые двигатели, сервоприводы, электромагниты, двигатели постоянного тока и пр.). При этом данные устройства позволяют отсчитывать количество циклов повторения определенных действий (двойных ходов шлифовальной бабки), после чего подавать сигнал на совершение следующего действия (поворота зубчатого колеса на следующую впадину). С помощью незначительного модифицирования и дублирования управляющей программы имеется возможность управлять режимами обработки (скоростью круга, скоростью возвратно-поступательного движения, давления круга на заготовку и т.п.). После окончания цикла (обработки всех зубьев), осуществляется остановка исполнительного устройства в исходном положении.

Исходя из данных возможностей, было спроектировано устройство, представленное на рис.2, в котором автоматизирован цикл каждого этапа полирования (грубого,

предварительного, окончательного, глянцевого), принцип работы которого изложен ниже.

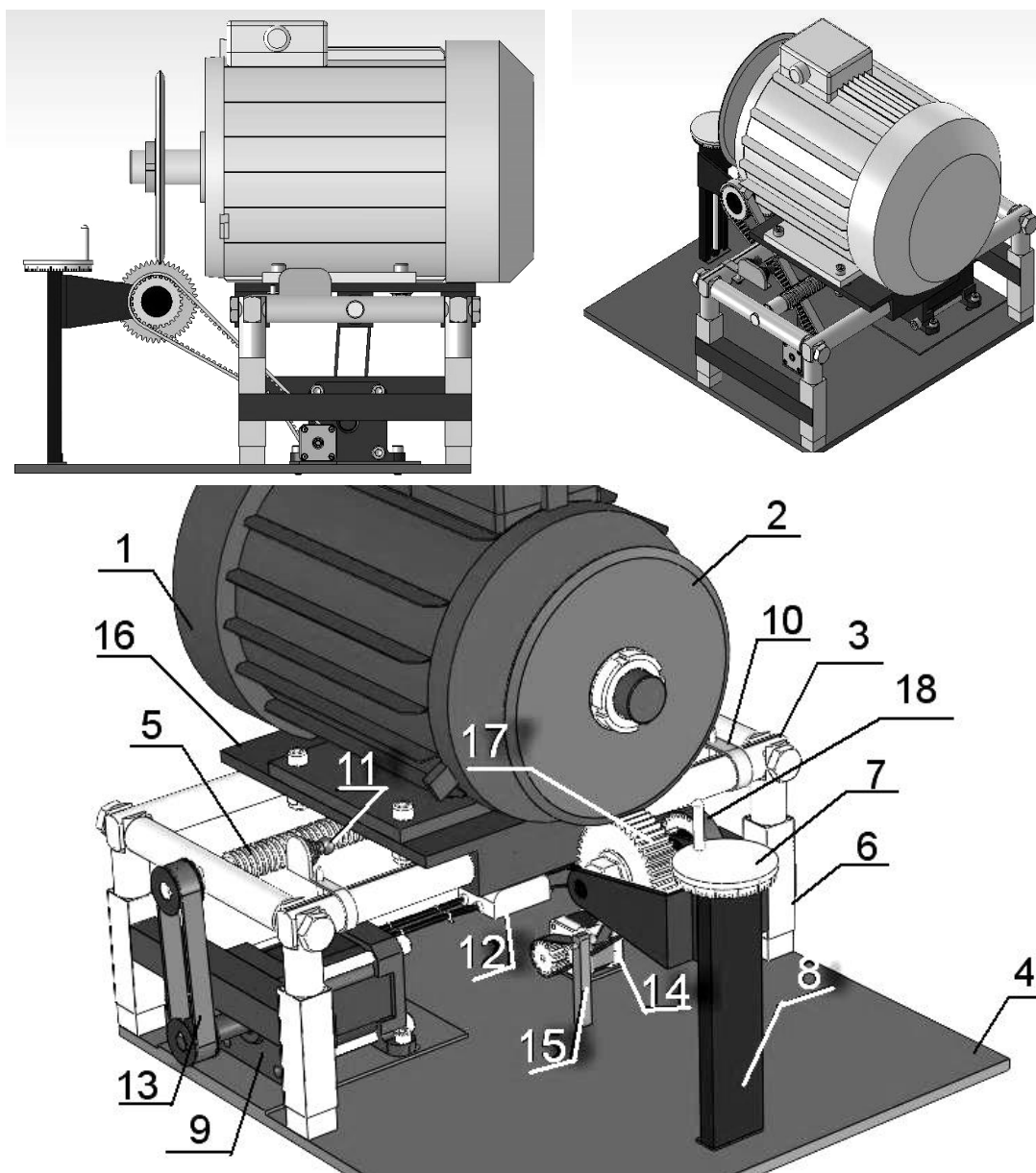


Рисунок 2. Общий вид установки для полирования зубьев

На данном рисунке условно показаны следующие элементы: 1 – двигатель привода главного движения, 2 – полировальный круг, 3 – направляющие, 4 – плита-основание, 5 – ходовой винт привода возвратно-поступательного движения, 6 – каркас, 7 – маховик вертикального суппорта, 8 – направляющая вертикального суппорта, 9 – двигатель привода ходового винта, 10 – регулируемый упор, 11 – контактный датчик, 12 – блок управления, 13 – зубчатый ремень привода ходового винта, 14 – шаговый двигатель для поворота заготовки, 15 – натяжной ролик, 16 – суппорт, 17 – заготовка, 18 – зубчатый ремень

Обработка осуществляется быстросменным полировальным кругом 2 на войлочной основе, пропитанным пастой требуемой для данного этапа обработки зернистости абразива. Вращение круга осуществляется от асинхронного двигателя 1. Двигатель 1 закреплен на суппорте 16, образуя полировальную бабку. Перемещение суппорта полировальной бабки происходит по двум направляющим 3, посредством линейных подшипников. Ходовой винт 5, осуществляющий реверсивное вращательное движение, входит в зацепление с гайкой, жестко связанной с суппортом. При этом вращательное движение винта преобразуется в возвратно-поступательное движение суппорта полировальной бабки. Вращение ходового винта 5 передается от ременной передачи 13 и двигателя 9.

Команду на пуск, остановку, смену направления вращения двигателя 9, поворот на требуемый угол вала шагового двигателя 14, выдают контактные импульсные датчики 11, установленные в конечных положениях движения полировальной бабки, и установленные на регулируемых упорах 10. Количество двойных ходов полировальной бабки, требуемых для обработки одной впадины зуба, а также величина угла поворота шагового двигателя, обеспечивающего поворот колеса на один зуб, задается с помощью блока управления 12, основанного на программируемом микроконтроллере. Сигнал о смене направления вращения двигателя ходового винта поступают от блока управления 12 на двигатель 9, а после совершения требуемого количества двойных ходов полировальной бабки на шаговый двигатель 14 поступает импульс, величина которого определяет угол поворота вала шагового двигателя. Преобразование этого угла передаточным числом зубчато-ременной передачи 18 обеспечит требуемый угол поворота зубчатого колеса для обработки следующей впадины. Натяжным роликом 15 осуществляется натяжение зубчатого ремня 18, что позволяет, за счет варьирования расстояния между осями заготовки и шагового двигателя, устанавливать зубчатые колеса различных габаритов без смены зубчатого ремня. Заготовка 17, закрепленная на оправке жестко связанной с ведомым роликом привода шагового двигателя, устанавливается на вертикальном суппорте 8, который перемещается по направляющей с помощью передачи винт-гайка. На маховике винта 7 имеется лимб, с помощью которого производится точная регулировка положения заготовки 17 относительно войлочного круга 2 и задается требуемое усилие прижатия круга к обрабатываемой поверхности. При этом должно обеспечиваться плотное прилегание рабочей части войлочного круга к боковым поверхностям зубьев образующих впадину. Все выше перечисленные механизмы смонтированы на плите-основании 4.

Дальнейшая модернизация данного устройства предполагает применение устройства для изменения величины давления между заготовкой и кругом, для плавного и постепенного изменения величины давления при варьировании режимов обработки.

Применение данного устройства также можно широко применять для высотно-сглаживающего полирования после нанесения покрытий с целью достижения заданной шероховатости и очистки поверхности от частиц покрытия с низкой адгезионной связью с подложкой. Также, применяя специальные лепестковые круги с твердым абразивом данным устройством можно выполнять работы по удалению изношенного покрытия в ремонтных целях.

Технологические возможности данного устройства могут быть расширены за счет его использования для обработки других изделий типа тела вращения со сложным периодическим профилем, в частности шлицевых валов, дисковых фрез, прямозубых разверток и пр.

#### 4. Выводы.

В целом в данной работе была обоснована необходимость полирования рабочих поверхностей зубьев, как необходимый этап подготовки поверхностей перед нанесением покрытий с целью достижения низкого параметра шероховатости. Для повышения эффективности полирования зубчатых колес была предложена конструкция устройства, основанного на управлении от микроконтроллера по заранее введенной программе. Данное устройство позволяет значительно повысить производительность и качество полирования зубьев, сравнительно легко выполнить переналадку на обработку колес других типоразмеров, высвободить производственных рабочих и дает возможность варьирования режимами обработки в достаточно широких пределах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев, С. Н. Технологические методы повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента / С. Н. Григорьев, В. П. Табаков, М. А. Волосова. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 268 с.
2. Лахин, А. М. Особенности нанесения функционально-ориентированных покрытий на рабочие поверхности зубчатых колес / А. М. Лахин // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: – Донецк: ДонНТУ, 2017. – Вып. 2 (57). – С.17-23.
3. Михайлов, А. Н. Синтез технологического обеспечения производства зубчатых колес на базе функционально-ориентированного похода / А. Н. Михайлов, А. М. Лахин, В. А. Соосар // Известия Тульского Государственного университета. Технические науки. – Тула: Изд.-во ТулГТУ, 2013. – №8. – С. 28-36.
4. Отделочно-абразивные методы обработки : справочное пособие / Л. М. Кожуро [и др.] ; [Л. М. Кожуро, А. А. Панов, Э. Б. Пономарева, П. С. Чистосердов] ; под общ. ред. П. С. Чистосердова. – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – 287с.
5. Космачев, И. Г. Отделочные операции в машиностроении / В. Н. Дугин, Б. А. Немцев – Л.: Лениздат, 1985. – 248 с.
6. Справочник технолога – машиностроителя / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова – 5 изд., исправл. – М.: Машиностроение. 2003. – Т1. – 912 с.
7. Масловский, В. В. Полирование металлов и сплавов ./ В. В. Масловский, П. Д. Дудко – М.: Высшая школа, 1974. — 255 с.

Поступила в редколлегию 05.05.2018 г.