

3. HanqingChe, McGill, Phuong Vo, Stephen Yue. Investigation of Cold Spray on Polymers by Single Particle Impact Experiments // International conference proceedings ITSC – 2018, May 7-10, Orlando, Florida, p. 129–134.

4. Разработанное в США защитное покрытие EMI / RFI – равномерное экранирование // Электронный ресурс <http://www.flamesprayusa.com/thermal-spray-coatingelectronics.php> 02.02.2022.

5. Белоцерковский М.А. Развитие технологий активированного газопламенного напыления и электродуговой металлизации / В сб. Порошковая металлургия в Беларуси: вызовы времени : сб. научн. статей / ГНПО НАН Беларуси; редкол.: А.Ф. Ибющенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2017. С. 400–413.

6. Белоцерковский М.А. Анализ теплонагруженности полимерной подложки при напылении металлических покрытий / М.А. Белоцерковский, А.В. Федаравичус // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия: материалы докл. 5 Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 18-19 сент. 2002 г. – Минск, 2002. С. 194–195.

7. Белоцерковский М.А. Нанесение полимерных композиционных покрытий и керамических покрытий на полимеры с использованием газопламенного напыления / М.А. Белоцерковский, А.В. Федаравичус // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века: сб. науч. тр.: в 2 т. – Донецк, 1999. Т. 2. С. 77–79.

8. Белоцерковский М.А. Технологии формирования слоистых покрытий из разнородных материалов / М.А. Белоцерковский // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. № 3. С. 49–53.

### **Применение лазерного излучения в изготовлении зубчатых колес**

Студенты гр. 10603120 Кулинич И.В., Шетик Е.А.,

Научный руководитель – доцент Швец И.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Технология обработки зубчатых колёс занимает особое место в машиностроении, ведь одними из наиболее важных элементов механизмов являются зубчатые передачи. Вопрос об усовершенствовании качества зубчатых передач, исследование новых технологических возможностей для их изготовления остается, и долго еще будет оставаться, в центре внимания

многих ученых и инженеров передовых промышленно развитых стран. Зубчатые колеса традиционно изготавливают следующими способами:

1) Методом копирования (рис. 1а), который заключается в прорезании впадин между зубьями модульными фрезами. После прорезания каждой впадины заготовку необходимо поворачивать на шаг зацепления.

2) Методом обкатки (рис. 1б), основанном на воспроизведении зацепления зубчатой пары червячной фрезой или реечными долбьяками.

3) Методом накатывания зубьев колес (рис. 1в). Венце стальной заготовки нагревают токами высокой частоты до  $1200^{\circ}\text{C}$ , а затем обкатывают между колесами-накатниками. При этом на венце выдавливаются зубья.

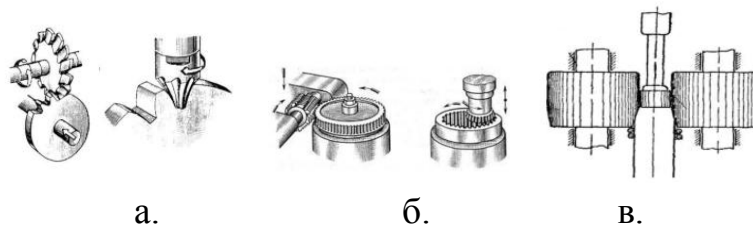


Рисунок 1. Методы нарезания зубьев: а – копирования, б – обкатки, в – накатывания

Так как традиционные технологии изготовления зубчатых колес из-за многоэтапного зубоформообразования не обеспечивают высокую эффективность производства, то в данной статье будет рассмотрена одна из перспективных технологий в изготовлении цилиндрических колёс – лазерное излучение.

С помощью лазерной резки из листовой стали получают цилиндрические прямозубые колёса из-за простоты их геометрических параметров. Основные показатели лазерного зубоформирования - это конусность кромки от 0 до 2 градусов, минимальный диаметр 0,3-0,4 мм и максимальная толщина материала резки до 40 мм.

Область применения лазерной резки металла обширна: от простого раскроя листового металлопроката до получения сложных кузовных деталей автомобилей. Поэтому наличие оборудования, осуществляющего лазерную резку, на малых производствах и в ремонтных мастерских весьма оправдано.

Рассмотрим более подробно резку металла с помощью лазерного излучения. Она происходит в два этапа:

- плавление поверхности металла лазерным лучом с высокой концентрацией энергии;
- выдувание газовой струей.

В качестве газовой среды используется кислород или азот. В процессе резки металла также происходит упрочнение поверхности детали за счет локального нагрева под воздействием лазера. Направление движения лазерного луча совпадает с заданной компьютером формой детали.

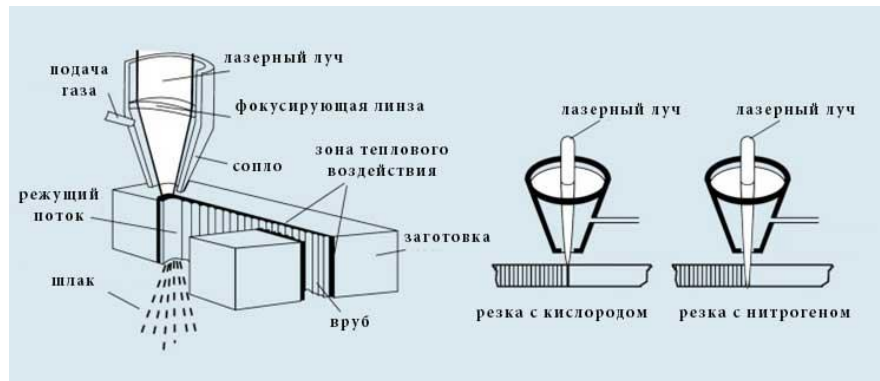


Рисунок 2. Лазерная резка

Сравнивая метод изготовления зубчатых колес лазером с нарезанием (копированием, обкаткой) и накатыванием.

Учитывая преимущества и недостатки лазерного зубоформообразования, сформулированы рекомендации по применению зубчатых колес, изготовленных данным способом.

1. В связи с ухудшающимся качеством обработанной поверхности, при увеличении толщины обрабатываемого материала, необходимо вводить ограничения ширины зубчатого венца по рекомендациям производителя лазерного оборудования.

2. При необходимости изготовления зубчатых колес, с шириной венца, превышающей максимальную толщину обрабатываемого металла, на конкретном лазерном оборудовании, рекомендуется изготавливать сборные зубчатые колеса, состоящие из пакета зубчатых дисков,.

3. Учитывая, что способ является универсальным, то его рекомендуется применять для изготовления элементов различных видов передач зацеплением с параллельными осями.



Рисунок 3. Лазерное зубоформообразование

Преимущество метода лазерной резки над механическими методами:

- во время нарезки профиля зуба происходит локальный нагрев, который приводит к упрочнению рабочей поверхности зуба;
- возможность за один проход лазерного луча вырезать шестерни из листовой стали с любым профилем зуба в любом количестве с оптимальным раскроем;
- минимальная деформация металла по причине отсутствия механического воздействия;
- высокая скорость и точность резки с возможностью проведения работ на малой площади;
- возможность работы с различными металлами;
- экономическая выгода – создание большого количества элементов за короткое время по низкой себестоимости, в том числе благодаря устранению промежуточных процессов в виде высечки, рубки и фрезеровки;
- экономия материала.

Основными недостатками такого метода обработки являются:

- высокая стоимость оборудования;
- ухудшение качества обрабатываемой поверхности зубчатого колеса при увеличении ширины венца.

Лазерная резка стали и цветных металлов пользуется большим рыночным спросом. Способность быстро выдавать чистовые детали нестандартной формы привлекает в профильные предприятия заказчиков

малых партий разнообразных изделий. Лазерные технологии активно используются в декоративном творчестве при изготовлении дизайнерских украшений и оригинальных сувениров. Решение о применении лазерной обработки должно приниматься с учетом расчета окупаемости оборудования и величины эксплуатационных расходов. В настоящее время такие установки могут себе позволить, в основном, крупные предприятия с большим производственным циклом. С развитием технологии будут снижаться стоимость станков и количество потребляемой энергии, поэтому в будущем лазерные аппараты вытеснят своих конкурентов из сферы резки любых материалов.

#### Литература

1. Шастин В.И., Ермаков М.А., Ермакова К.В. Применение технологии лазерного модифицирования для ремонта тяговой зубчатой передачи колесно-моторного блока локомотива. Международный научный журнал «Молодой ученый» №20 (154), 2017. – с.95-97.
2. Райник М.В. Особенности метода лазерного зубоформообразования. Юго-Западный государственный университет, г. Курск.
3. Эл. ресурс <https://wikimetall.ru/metalloobrabotka/lazer-naya-rezka-metalla.html>

УДК 621.833.6

#### **Особенности прочностного расчета трехзвенных планетарных механизмов с двухвенцовыми сателлитами**

Студент гр. 10604220 Хамицкая В.И.,

Научный руководитель – доцент Протасеня О.Н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Значение сил в зацеплении и вращающих моментов на основных звеньях дифференциального и планетарного механизмов являются основными исходными параметрами для расчета зубьев колес, подшипниковых узлов, элементов управления (тормозных и блокировочных муфт) и других деталей.

Пренебрегая потерями на трение, при установившемся режиме движения, **энергетическое состояние дифференциального механизма**