УДК 621.9.04

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-1-248-19-23

А. А. Кожевникова, А. А. Шведуненко

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА С ВНУТРЕННИМ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: sanya9105@list.ru

В работе рассмотрены альтернативные методы изготовления зубчатых колес на примере изготовления зубчатого колеса планетарного редуктора. Проанализированы современные прогрессивные способы изготовления зубчатых колес, такие как лазерная и электроэрозионная обработка, на основе анализа выделены преимущества данных методов по сравнению со стандартными методами изготовления. Описаны преимущества технологического процесса изготовления зубчатого колеса альтернативными методами.

Ключевые слова: прогрессивные технологии, лазерная резка, электроэрозионная обработка, внутреннее зацепление.

А. А. Kozhevnikova, A. A. Shvedunenko

ALTERNATIVE METHODS FOR MANUFACTURING A GEAR WHEEL OF A PLANETARY REDUCTOR WITH INTERNAL GEARING

Volgograd State Technical University

The paper considers alternative methods of manufacturing gears using the example of manufacturing a gear of a planetary reductor. Modern progressive methods for the manufacture of gears, such as laser and electrical discharge machining, are analyzed, on the basis of the analysis, the advantages of these methods are highlighted in comparison with standard manufacturing methods. The advantages of the technological process of manufacturing a gear wheel by alternative methods are described.

Keywords: progressive technologies, laser cutting, EDM, internal gearing.

В современном производстве широко распространены способы изготовления зубчатых колес стандартными видами механической обработки, такими как нарезание профиля зубьев пальцевыми и дисковыми модульными фрезами, осуществляемое по методу копирования, нарезание червячными модульными фрезами, осуществляемое по методу обкатки, нарезание цилиндрических зубчатых колес зубодолблением, осуществляемое по методу обкатки.

В результате того, что при изготовлении зубчатых колес данными методами, точность

получаемых деталей не очень высока (рис. 1) производят следующие способы окончательной обработки зубьев: процесс шевингования, заключающийся в введении обрабатываемого колеса в зацепление при скрещивающихся осях со специальным инструментом – шевером; процесс хонингования, при котором зубчатое колесо вращается в плотном зацеплении с абразивным зубчатым хонем, выполненным в виде косозубого колеса; процесс шлифования, осуществляемый профильным шлифовальным кругом [1].

Рис. 1. Зависимость точности и шероховатости профиля зубчатого колеса от метода изготовления. Стандартные методы изготовления

Лазерная резка по сравнению со стандартными способами изготовления отличается тем, что отсутствует механическое воздействие на заготовку, а также возникают минимальные деформации после полного остывания обработанной детали. Благодаря этому лазерную обработку можно производить с высокой степенью точности. Нарезание профиля зубьев (рис. 4) производится за счет согласования координатных перемещений лазерного луча

Рис. 4. Траектория движения лазерного луча при нарезании зубчатого венца

в осях X и Y по траектории 1, при этом происходит поверхностная закалка.

Изучая данные, полученные от производственной компании «МЕТАЛЛФОРМ» можно сказать, что при увеличении ширины обрабатываемого материала (табл. 1) ухудшается качество обрабатываемой поверхности, но увеличивается толщина поверхностной закалики [3].

Таблица 1

Параметры лазерной резки углеродистой стали

Толщина материала, мм	Ra, мкм	Rz, мкм	Глубина зоны термического влияния, мм
До 3	2,5	10	0,25
4	5	20	0,35
5			
6	10	40	0,35
8	20	80	0,75
10	40	160	0,85
12			

В табл. 2 представлены основные технологические операции при изготовлении зубчатого венца: в левой половине – типовой технологический маршрут, а в правой – предлагаемый, составленный на основе проведенного анализа и экспериментов [4].

Таблица 2

Основные технологические операции при изготовлении зубчатого венца

Типовой технологический маршрут		Предлагаемый технологический маршрут	
Зубчатые колеса из улучшенной стали (без закалки)	Зубчатые колеса из цементируемой или закаливаемой стали	Ширина зубчатых колес до 3 мм	Ширина зубчатых колес выше 3 мм
Черновая обработка заготовки	Черновая обработка заготовки	Термическая обработка	Термическая обработка
Термическая обработка (улучшение)	Чистовая обработка заготовки	Лазерная резка зубчатого колеса	Лазерная резка зубчатого колеса
Чистовая обработка заготовки	Обработка зубьев	–	Чистовая обработка зубьев
Обработка зубьев	Термическая обработка (закалка)	–	–
Чистовая обработка зубьев	Отделка посадочных поверхностей колеса (баз)	–	–
–	Чистовая обработка зубьев	–	–

При лазерном нарезании зубчатого колеса значительно сокращается число операций. Ко-

личество операций, их трудоемкость и энергоёмкость, стоимость оборудования и инструмен-

та влияют на себестоимость обработки. При нарезании лазерным лучом не происходит механического контакта заготовки и инструмента, в связи с этим не происходит износа инструмента.

Далее рассмотрим электроэрозионную обработку зубчатых колес. Электроэрозионная обработка является прогрессивным методом изготовления деталей. Она применяется для изготовления деталей из труднообрабатываемых материалов, которые в некоторых случаях невозможно обработать механически. Производительность электроэрозионной обработки не зависит от твердости материала. При электроэрозионной обработке отсутствуют деформации, так как отсутствует силовое воздействие на деталь [5].

Существуют различные способы изготовления зубчатых колес электроэрозионным вырезанием. Колеса внутреннего зацепления могут обрабатываться последовательно впадина за впадиной или по несколько впадин с периодическим поворотом на требуемый угол. При этом траектория движения проволоки относительно заготовки программируется либо на профиль одной впадины, либо на профиль

сектора из впадин нескольких зубьев [6].

Важными особенностями электроэрозионной обработки зубчатых колес являются:

- возможность упрочнения поверхности зуба колеса без применения дополнительной термической обработки;
- отсутствие дефектного слоя на поверхности зуба колеса после окончательной электроэрозионной обработки (в поверхностном слое возможны несущественные включения материала электрода);
- существенное сокращение времени на переналадку технологического оборудования при изменении параметров обрабатываемого зубчатого колеса и типа изготавливаемых деталей.

Проволочная электроэрозионная обработка за один проход обеспечивает шероховатость $Ra\ 0,32\ldots0,63$. Чистовые проходы могут обеспечить $Ra\ 0,04$ и менее. Один небольшой эрозионный станок заменяет зубообрабатывающий и зубошлифовальный станки [7].

В заключении после анализа различных методов изготовления зубчатых колес была составлена зависимость (рис. 5), на основе которой можно оценить точность размеров и шероховатость поверхности полученной детали.

Рис. 5. Зависимость точности и шероховатости поверхности профиля зубчатого колеса от метода изготовления. Альтернативные методы изготовления

По результатам проведенного анализа можно сказать, что альтернативные методы изготовления зубчатых колес позволяют: автоматизировать процесс производства зубчатых колес, что в свою очередь минимизирует участие рабочего персонала и повышает качество изготавливаемых деталей; сократить количество операций технологического процесса, что уменьшает затраченное время на обработку деталей; выполнять обработку деталей без специального инструмента, что способствует отсутствию износа инструмента; обрабатывать детали без ме-

ханического воздействия, что приводит к отсутствию микронапряжений и деформаций в обрабатываемой детали; обрабатывать труднообрабатываемые материалы, и материалы подвергнутые термообработке; упрочнить поверхность зуба колеса без применения дополнительной термической обработки. Но в свою очередь недостатком данных методов является высокая стоимость оборудования. Альтернативные методы изготовления колес являются перспективным направлением в сфере импортозамещения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обработка зубчатых колес: учебн. пособие / В. Ф. Пегашкин ; М-во образования и науки РФ: ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2016. – 132 с.

2. Шведуненко, А. А. Проработка компоновки и анализ работоспособности ходовой части специального транспортного средства // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета : тез. докл. / редкол. : С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.] ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – С. 130–131.

3. Металлформ: сайт. – URL: http://www.metalform.ru/services/glass/carbon_steel (дата обращения: 27.10.2020).

4. Учаев, П. Н. К вопросу изготовления цилиндрических зубчатых колес лазером / П. Н. Учаев, М. В. Райник //

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2013. – № 1. – С. 66–70.

5. Линовский, А. В. Исследование способа изготовления зубчатых колес с применением электроэрозионной обработки / А. В. Линовский // European scientific conference: сборник статей победителей IV Международной научно-практической конф. – Изд-во: «Наука и Просвещение». – Пенза, 2017. – С. 74–76.

6. Кравченко, Д. В. Экономическая эффективность процесса электроэрозионного вырезания венцов цилиндрических зубчатых колес / Д. В. Кравченко // Вестник УлГТУ. – 2000. – № 4. – С. 88–9.

7. Коротких, М. Т. Структура поверхности зубчатых колес при обработке электроэрозионным вырезанием : матер. науч. конф. с междунар. участием / М. Т. Коротких, К. А. Полубок ; Институт металлургии, машиностроения и транспорта. Ч. 2. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – С. 186–189.