

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Калининградский государственный технический университет»

Кафедра автоматизированного машиностроения

Работа защищена

Доцент, к.т.н.

Практическая работа №2

По дисциплине «Технология машиностроения»

Анализ технологичности конструкции зубчатого колеса

ПР.52.15.03.01.407.02

Работу выполнил

Студент гр.

ФИО

Калининград

2020

Содержание

1 Цель и задачи работы	3
2 Анализ технологичности конструкции зубчатого колеса.....	3
2.1 На этапе проектирования.....	4
2.2 На этапе обработки резанием.....	5
2.3 На этапе термообработки и нанесения защитного покрытия.....	6
Выводы.....	8
Список используемых источников.....	9

					ПР 52.15.03.01.407.02					
Изм	Лист	№ докум	Подпис	Дата	Анализ технологичности		Лит	Лист	Листов	
Разраб									2	9
Провер										
Н. Контр.										
Утверд					КГТУ					

1 Цель и задачи работы

Цель: приобретение навыков проведения анализа технологичности конструкции заданной детали машины.

Задачи:

1. По чертежу заданной детали оценить качественные и количественные показатели технологичности конструкции детали на всех стадиях ее создания и изготовления: на этапе проектирования детали, на этапе обработки резанием заготовки, на этапе термообработки детали и на этапе нанесения защитного покрытия.
2. На этапе проектирования детали определить количественные показатели технологичности: коэффициент точности обработки детали, среднюю шероховатость поверхностей детали и коэффициент унификации элементов конструкции детали.
3. На этапе обработки резанием определить коэффициент обрабатываемости материала детали инструментами из твердого сплава и быстрорежущей стали, а также описать качественные показатели технологичности.
4. На этапах термообработки и нанесения покрытия описать качественные показатели технологичности.

2 Анализ технологичности конструкции зубчатого колеса

Анализ технологичности конструкции зубчатого колеса проводится с целью выявления возможности его изготовления наиболее экономичными и производительными технологическими методами за счет изменения его конструкции, правильного назначения технических требований и норм точности, но при обязательном условии обеспечения его служебного назначения и сохраняя его качества.

Зубчатое колесо признается технологичным, если оно имеет:

- центральное отверстие простой формы;
- простую конфигурацию наружного контура (наиболее технологичными являются зубчатые колеса простой формы без выступающих ступиц);
- ступицы с одной стороны, что позволяет обрабатывать на зубофрезерных станках по две детали;
- симметрично расположенную перемычку (диск) между венцом и ступицей, что уменьшает коробление детали при термообработке;
- возможность штамповки фигурной перемычки (диска) между венцом и ступицей, достаточное расстояние между венцами для обработки на зубофрезерных станках (для двухвенцовых зубчатых колес).

От качества выполнения зубчатого колеса во многом зависят эксплуатационные характеристики узла, такие как надежность, долговечность, а также вибрационные и шумовые характеристики. Зубчатые колеса работают при высоких окружных скоростях и контактных напряжениях. Это приводит к увеличению динамических нагрузок.

Основными причинами выхода из строя зубчатых колес являются высокие контактные напряжения в зоне зубчатого зацепления, смятие торцов зубьев перемещающимися шестернями, снижение усталостной прочности. Поэтому зубчатый венец колеса подвергают химико-термической обработке.

Анализ технологичности конструкции детали проводится на всех стадиях ее создания и изготовления.

					КП 52.15.03.01.62.410 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	докум.№	Подпись	Дата		

2.1 На этапе проектирования

Деталь зубчатое колесо Н-40 ИНА 125.02.112 изготовлено из конструкционной углеродистой стали 45. Сталь марки 45 имеет высокую стойкость, прочность и относительно дешевы. Ее применяют при изготовлении деталей механизмов, используемых при повышенных нагрузках и требующих сопротивления ударам, трению. Механические свойства этой стали позволяют ей выдерживать значительные перепады температур и другие неблагоприятные климатические воздействия. Эта сталь способна выдержать температурные испытания от 200 до 600 градусов по Цельсию.

Технологические свойства материала стали 45:

- температураковки, °C: начала 1250, конца 700. Сечения до 400 мм охлаждаются на воздухе;
- прочность снижается при нагревании до 2000 °C;
- сталь является трудносвариваемой и характеризуется низкой флокеночувствительностью.
- не склонна к отпускной хрупкости;
- трудно свариваемая, способы сварки: РДС и КТС. Необходим подогрев и последующая термообработка;
- обрабатываемость резанием - в горячекатаном состоянии при HB 170-179 и $\sigma_B = 640$ МПа $K_{V\text{ тв.спл}} = 1$, $K_{V\text{ б.ст}} = 1$.

Сталь марки 45 — среднеуглеродистая, идеально подходит для изготовления зубчатых колес, от которых требуется высокая прочность и высокая поверхностная твердость, а также они подвергаются истиранию в процессе работы. Данный материал удовлетворяет все эти критерии.

Деталь зубчатое колесо является жесткой деталью, т.к. отношение длины к наибольшему диаметру $d/l=189/52=3,63$ - не превышает 5.

К зубчатому колесу предъявляются высокие требования по точности и качеству обработанной поверхности. При обработке зубчатого венца требуется обеспечить шероховатость поверхности эвольвенты не ниже 1,6 мкм по критерию Ra. Точность обработки внутренней цилиндрической поверхности (посадочного отверстия) ступицы должна соответствовать 7-му качеству и шероховатости Ra 1,6 мкм, а располагаемый в отверстии шпоночный паз должен быть выполнен по 9-му качеству и его шероховатость не должна превышать Ra 3,2 мкм. В конструкции детали предъявляются требования к радиальному и торцевому биению. Отклонения на размеры у которых не указаны допуски, попадают под критерий “Предельные отклонения линейных размеров с неуказанными допусками” и определяются согласно ГОСТ 30893.1-2002 [1].

На этапе проектирования детали определяются количественные показатели технологичности: коэффициент точности обработки детали, средняя шероховатость поверхностей детали и коэффициент унификации элементов конструкции детали. Количественная оценка технологичности выполняется согласно ГОСТ 14.201-83 [2]:

- Коэффициент точности обработки зубчатого колеса:

Средний квалитет точности детали T_{cp} высчитывается по следующей формуле:

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (1)$$

где: T_i - номер квалитета точности i -ой поверхности зубчатого колеса; n_i -количество размеров деталей, обрабатываемых по T_i -ому квалитету.

Составим таблицу точности поверхностей зубчатого колеса (см. табл. 1).

					ПР 52.15.03.01.407.02	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 1 - Точность поверхностей зубчатого колеса

Квалитет	14	12	11	9	7
Количество поверхностей	8	2	1	2	1

Тогда средний квалитет точности будет равен:

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{7 \cdot 1 + 9 \cdot 2 + 11 \cdot 1 + 12 \cdot 2 + 14 \cdot 8}{1 + 2 + 1 + 2 + 8} = 12,286.$$

Следовательно, коэффициент точности обработки равняется:

$$K_{тч} = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{12,286} = 0,919.$$

- Средняя шероховатость поверхностей:

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ra_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (2)$$

где Ra_i - значение шероховатости i -ой поверхности; n_i - количество поверхностей, имеющих шероховатость.

Составим исходную таблицу 2 количества поверхностей зубчатого колеса и их шероховатости по критерию Ra .

Таблица 2 - Шероховатость поверхностей зубчатого колеса

Шероховатость Ra , мкм	1,6	2,5	3,2	6,3
Количество поверхностей	122+1	1	61+4+61	16

Тогда средняя шероховатость поверхностей равняется:

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ra_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{1,6 \cdot 123 + 2,5 \cdot 1 + 3,2 \cdot 126 + 6,3 \cdot 16}{123 + 1 + 126 + 16} = 2,644 \text{ мкм.}$$

- Коэффициенту унификации конструктивных элементов зубчатого колеса:

$$K_y = \frac{N_y}{N}, \quad (3)$$

где: N_y – число унификационных конструктивных элементов детали; N – число конструктивных элементов детали.

К унифицированным конструктивным элементам детали относятся: шпоночный паз (2 шт.), зубья колеса (61 шт.), фаски (5 шт.). К неунифицированным, то есть к остальным конструкционным элементам колеса относятся: отверстие (1 шт.), выточки (2 шт.), радиусы скругления – галтель (4 шт.).

Таким образом коэффициент унификации равен:

					ПР 52.15.03.01.407.02	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$K_y = \frac{N_y}{N} = \frac{2 + 61 + 5}{2 + 61 + 5 + 1 + 2 + 4} = 0,91.$$

2.2 На этапе обработки резанием

Достоинства конструкции зубчатого колеса:

- Данная конструкция детали является жесткой и виброустойчивой при обработке;
- Имеется четкое разграничение обрабатываемых поверхностей;
- Все плоскости обрабатываются на проход;
- Большинство поверхностей обрабатываются с одной стороны;
- Деталь является телом вращения и не имеет труднодоступных мест и поверхностей для обработки;
- Перепады диаметров в большинстве поверхностей малы, что позволяет получить заготовку близкую к форме готовой детали;
- Симметрична относительно оси;
- Деталь позволяет вести обработку нескольких поверхностей за один установ (на многорезцовых станках и станках с ЧПУ);
- Конструкция детали обеспечивает свободный подвод и отвод инструмента и СОЖ в зону резания и из нее, и отвод стружки;
- Деталь имеет надежные установочные базы, т.е. соблюдается принцип постоянства, единства и последовательности баз;
- Конструкция детали достаточно жесткая;
- Допуски на размеры точных поверхностей не усложняют технологию производства;
- Все отверстия перпендикулярны к плоскости общего торца;
- В детали отсутствуют длинные отверстия.

Конфигурация и материал зубчатого колеса позволяют применять прогрессивные виды заготовок:

- Штамповку на кривошипно-горячештамповочном прессе (КГШП);
- Поковку на горизонтально-ковочной машине (ГКМ).

Вышеуказанные методы позволяют получать заготовки близкие по размерам и форме к обработанной детали, что позволяет снизить металлоемкость, а также уменьшить припуски.

Конфигурация зубчатого колеса является достаточно технологичной для обработки резанием, в том числе и на токарных станках. Поверхности являются легкодоступными для инструмента. Жесткость детали обеспечивает высокую точность обработки.

К поверхностям детали предъявляются достаточно жесткие требования по точности и взаимному расположению. Это достигается финишными операциями, такими, как полирование, а также шлифование и зубошлифование.

У зубчатого колеса присутствует почти максимально возможная унификация форм поверхностей, в связи с чем, есть возможность применения стандартизированной и технологической оснастки.

2.3 На этапе термообработки и нанесения защитного покрытия

Деталь зубчатое колесо Н40-ИНА 125.02.112 изготовлено из конструкционной стали 45 и проходит термическую обработку, что имеет значение в отношении короблений, возможных при нагревании и охлаждении детали. Сталь 45 относится к конструкционным углеродистым качественным сталям. Это сплав, в котором содержится

					ПР 52.15.03.01.407.02	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

примерно 0,45% углерода (C), в то время как доля остальных примесей крайне незначительна. Основной долей в составе стали 45 является железо (Fe) – до 97%. Точный химический состав согласно ГОСТ представлен в таблице 3.

Таблица 1 – Химический состав стали 45, % (ГОСТ 1050-88 [3])

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	As
Не более								
0,42-0,50	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08

У зубчатых колес поверхность в процессе эксплуатации подвергается истиранию и в то же время на них воздействуют динамические (ударные) нагрузки. Для успешной работы в таких условиях поверхность зубчатых колес (зубчатый венец) должна иметь высокую твёрдость, а сердцевина быть вязкой. Такое сочетание свойств достигается правильным выбором марки стали и последующим упрочнением её поверхностных слоёв.

Среднеуглеродистые конструкционные стали, такие как сталь 45 - применяют для изготовления деталей машин, к которым предъявляются высокие требования по пределу текучести, пределу выносливости и ударной вязкости. Такой комплекс механических свойств достигается в результате улучшения, т.е. закалки с высоким отпуском. Поэтому среднеуглеродистые стали называют также улучшаемыми. Структура стали после улучшения – сорбит отпуска. Закалка с высоким отпуском создаёт наилучшее соотношение прочности и вязкости стали, уменьшает чувствительность к концентраторам напряжений, увеличивает работу развития трещины и снижает температуру верхнего и нижнего порогов хладноломкости.

Сталь 45 подходит по этим требованиям в качестве материала для дальнейшей термообработки, в качестве термической обработки применяется улучшение. При данном виде термообработки закалка будет происходить с температурой нагрева 850 °С. Для стали 45 при такой закалке рекомендуется применять отпуск с температурой нагрева 600 °С, что является высоким отпуском (400-600 °С). При этом твердость поверхности составит более 290 HB, что в переводе составит 30 HRC и не противоречит указанной на чертеже твердости 30...34 HRC. Следовательно выбранный материал в закаленном состоянии обеспечит необходимые механические свойства рабочих поверхностей (зубчатого венца) зубчатого колеса.

У зубчатого колеса отсутствуют острые кромки, углы и перепады благодаря радиусам скругления – галтелям. Следовательно, отсутствуют при термообработке зоны с возникающим концентрационными нагрузками, которые приводили бы к деформации формы зубчатого колеса.

В этом смысле перемычка, связывающая тело зубчатого венца и ступицу, расположена неудачно, так как при термической обработке возникнут односторонние искажения. Зубчатый венец уменьшится в размерах и вызовет сжатие ступицы с левого торца. Таким образом, отверстие приобретет коническую форму, что скажется на характере искажения зубчатого венца. Поэтому перемычку между венцом и ступицей следует в осевом сечении расположить наклонно. Такое конструктивное изменение приведет к меньшим искажениям при термической обработке.

Как было указано раньше, что структура стали 45 после улучшения – сорбит отпуска, наличие которого уменьшает деформацию при последующей закалке на мартенсит вследствие меньшей разницы в объемах между мартенситом и сорбитом, чем между мартенситом и перлитом. Кроме того, структура сорбита обеспечивает малую шероховатость поверхности после термообработки, что соответствует условиям (шероховатости) указанным на чертеже.

Таким образом, материал зубчатого колеса и его термообработка выбрана правильно.

Предусмотренная конструктором химическое оксидирование поверхности электрохимическим методом необходимо для защиты детали от коррозии и работы ее в агрессивной среде, чтобы обеспечить более точную и продолжительную работу детали. Под оксидированием стали понимается процедура создания на ее поверхностях оксидной пленки. Данная операция проводится для образования защитных покрытий, а также специальных диэлектрических слоев на стальных изделиях.

Процедура именно электрохимического оксидирования позволяет предохранить сталь от коррозионных явлений и считается более эффективной. Следовательно, защитное покрытие выбрано верно, исходя из служебных назначений зубчатого колеса, условий его эксплуатации и при этом не вступает в химические реакции с его материалом и никак не влияет на его структуру. Рациональная Форма детали также обеспечивает сплошность нанесения покрытия. После нанесения покрытия шероховатость поверхности удовлетворяет заданным нормам, также высокая чистота поверхности после нанесения покрытия может быть достигнута полированием. Шероховатость поверхности до нанесения покрытия также удовлетворяет заданным критериям по ГОСТ 9.301-78 [4].

Выводы

Исходя из вышеуказанного, можно сделать вывод, что по совокупности факторов, влияющих на процесс обработки заготовки, методов получения заготовки, а также режимов обработки – деталь зубчатое колесо является достаточно технологичной.

На чертеже указаны все размеры с необходимыми отклонениями, требуемая шероховатость обрабатываемых поверхностей, допускаемые отклонения от правильных геометрических форм, а так же радиальное и торцевое биение.

Геометрические формы колеса являются унифицированными. Подход к обрабатываемым поверхностям режущего инструмента обеспечен. Отсутствуют внутренние глухие отверстия. Обеспечены все необходимые фаски и плавные сопряжения поверхностей.

Чертеж содержит все необходимые сведения о материале детали, термической обработке, применяемых защитных покрытиях, массе детали и др.

Чертеж выполнен в соответствии с нормами и правилами ЕСКД [5].

					ПР 52.15.03.01.407.02	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Список используемых источников

1 ГОСТ 30893.1-2002. Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками. – М., 2004 – 9 с.

2 ГОСТ 14.201-83. Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования. – М., 1984 - 8 с.

3 ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия – М., 2015 – 85 с.

4 ГОСТ 9.301-78. ЕСКД. Покрытия металлические и неметаллические. Общие требования. – М., 2004. – 15 с.

5 ГОСТ 2.109-73. ЕСКД. Основные требования к чертежам – М., 1974 – 28 с.

					ПР 52.15.03.01.407.02	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		