

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Н.А. Погорелов, В.В. Ахлюстина

В статье рассмотрены вопросы получения параметров зубчатых колес в соответствии со степенями и нормами точности при использовании различных методов обработки.

Ключевые слова: точность, зубчатое колесо, методы обработки.

В современных машинах широко применяют зубчатые передачи (цилиндрические, конические, червячные, смешанные). Различают силовые зубчатые передачи, предназначенные для передачи крутящего момента с изменением частоты вращения валов, и кинематические передачи.

Стандарт устанавливает 12 степеней точности цилиндрических зубчатых колес (в порядке убывания точности): 1,2,3,4,5,6,7, 8,9,10, 11, 12. Для 1, 2-й степеней допуски стандартом не предусматриваются. Для каждой степени точности предусматривают следующие нормы: – кинематической точности колеса, определяющие полную погрешность угла поворота зубчатых колес за один оборот; – плавности работы колес, определяющие составляющую полной погрешности угла поворота зубчатого колеса, многократно повторяющейся за оборот колеса; – контакта зубьев, определяющие отклонение относительных размеров пятна контакта сопряженных зубьев в передаче. Независимо от степени точности колес установлены нормы бокового зазора (виды сопряжений зубчатых колес). Существуют шесть видов сопряжений зубчатых колес в передаче, которые в порядке убывания гарантированного бокового зазора обозначаются буквами А, В, С, D, Е, Н, и восемь видов допуска (T_{jn}) на боковой зазор: x, y, z, a, b, c, d, h [3, 4].

При изготовлении высокоточных колес (6,5 и выше степеней точности) механическая обработка должна чередоваться с операциями термической обработки для снятия внутренних напряжений, а количество отделочных операций технологических баз и зубчатого венца значительно возрастает.

Для рассматриваемого зубчатого колеса (рис. 1):

- посадочное отверстие диаметром 60 мм выполняется по 7-му качеству;
- точность формы не задается;
- точность взаимного расположения ограничена величиной допуска торцового биения плоских поверхностей относительно оси отверстия не 0,016 мм, а также величиной допуска симметричности шпоночного паза относительно оси отверстия 0,025 мм;
- шероховатость поверхности зубчатого венца $Ra = 1,6$ мкм, отверстия и торцов – 1,6 мкм. Зубчатый венец закаливается ТВЧ до HRC 45–50 на глубину 1–2 мм.

В зависимости от служебного назначения зубчатые колеса изготавливают из углеродистых, легированных сталей, чугуна, пластических масс. Легированные стали обеспечивают более глубокую прокаливаемость и меньшую деформацию по сравнению с углеродистыми. Материал зубчатых колес должен обладать однородной структурой, обеспечивающей стабильность размеров после термической обработки, особенно по размеру отверстий и шагу колес. Нестабильность возникает после цементации и закалки, когда в заготовке сохраняется остаточный аустенит, она может также возникнуть в результате наклепа и при механической обработке. Установлено, что наибольшее коробление дает цементация и меньшее – закалка, поэтому часто исправление коробления и повышение точности шевингованием производят не до цементации, а между цементацией и закалкой. При изготовлении высокоточных колес рекомендуется чередовать механическую обработку с операциями термической стабилизации размеров для снятия внутренних напряжений.

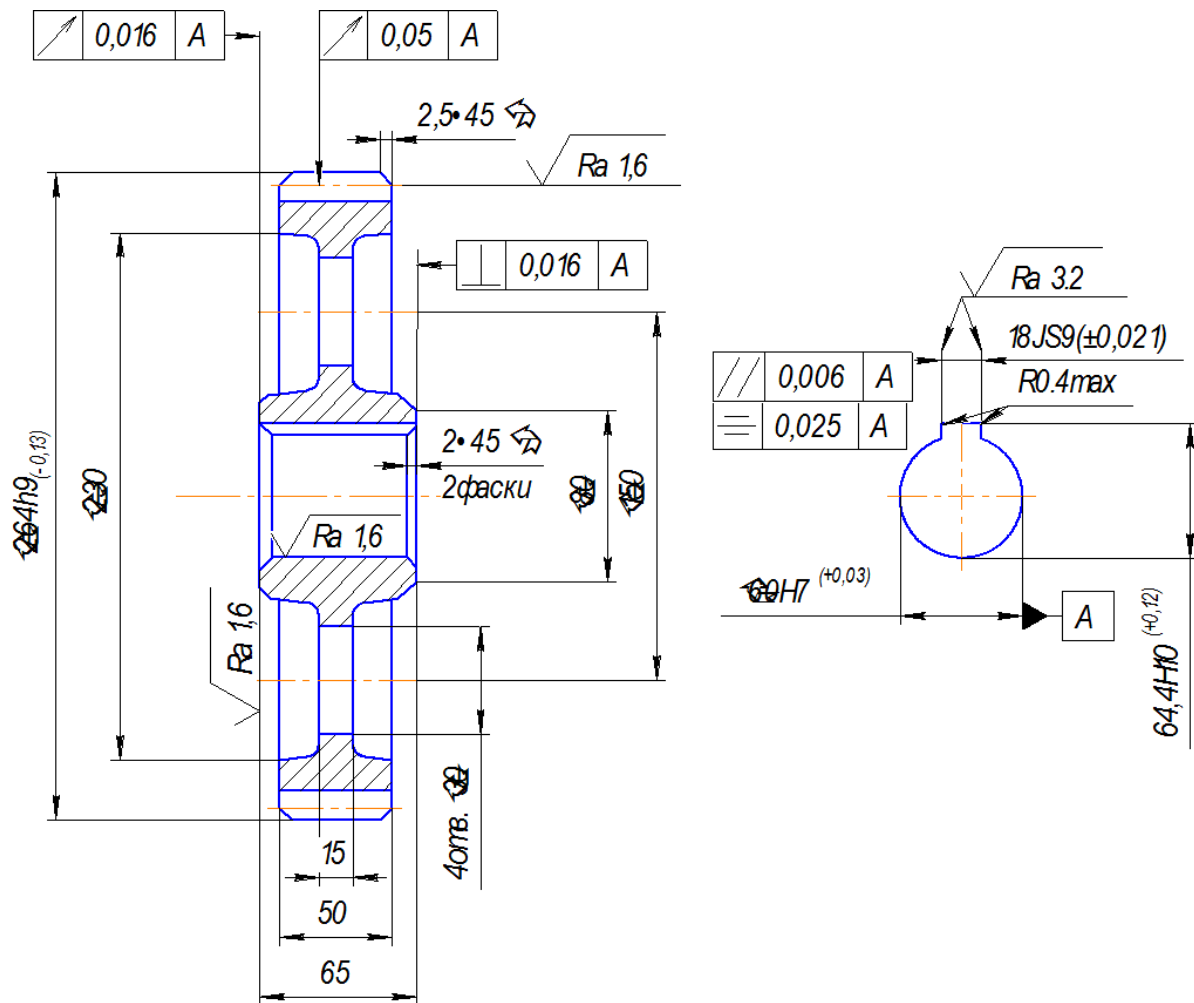


Рис. 1. Зубчатое колесо с типовыми требованиями к точности

Виды заготовок зубчатых колес при разных конструкциях и серийности выпуска: из проката; поковка, выполненная свободной ковкой на ковочном молоте; штампованная заготовка в подкладных штампах, в закрытых штампах, выполненная на молотах или прессах и горизонтально-ковочных машинах. Заготовки, получаемые свободной ковкой на молотах, по конфигурации не соответствуют форме готовой детали, но структура металла благодаря ковке улучшается. Штамповка заготовок в закрытых штампах имеет ряд преимуществ: снижается расход металла из-за отсутствия облоя, форма заготовки ближе к готовой детали, снижается себестоимость. На прессах можно штамповать с прошиванием отверстия.

В зависимости от способа образования зубьев различают два метода зубонарезания: копирование и обкатку. Оба метода используют на различных зубообрабатывающих станках [1, 2].

Нарезание зубчатых колес методом копирования. Распространенной разновидностью метода копирования является зубофрезерование, осуществляется на зубофрезерных вертикальных и горизонтальных станках полуавтоматах.

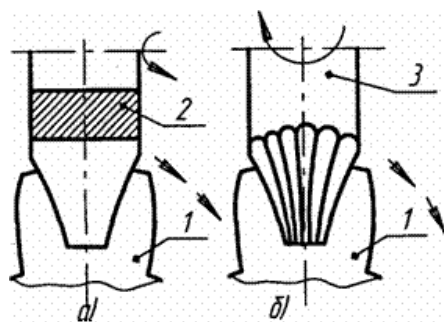


Рис. 2. Схемы фрезерования цилиндрических колес методом копирования: а – дисковой фрезой; б – концевой фрезой;

Нарезание зубьев по методу копирования осуществляют модульной дисковой или модульной концевой фрезой. Режущие кромки зубьев этих фрез изготовляют по форме впадины между зубьями колеса, и при фрезеровании они копируют форму впадины, создавая, две половины профилей двух соседних зубьев. После нарезания одной впадины заготовка поворачивается на один зуб с помощью делительного механизма, и фреза снова проходит по новой впадине между зубьями (рис. 2). Производительность данного способа низкая, точность и качество поверхности невысокие.

В массовом производстве применяют зубодолбежные резцовые головки, работа которых основана на методе копирования.

Другой разновидностью нарезания зубчатых колес методом копирования является протягивание как наружных, так и внутренних зубчатых поверхностей, характеризующееся высокой производительностью.

Нарезание зубчатых колес методом обкатки. При методе обкатки заготовка и инструмент воспроизводят движение пары сопряженных элементов зубчатой или червячной передачи. Для этого либо инструменту придаётся форма детали, которая могла бы работать в зацеплении с нарезаемым колесом (зубчатое колесо, зубчатая рейка, червяк).

Зубонарезание червячными фрезами. Фрезу на станке устанавливают, чтобы ее ось была повернута под углом β подъема винтовой линии витков фрезы (рис. 3). Червячная фреза, кроме вращения, совершает поступательное движение подачи вдоль образующей цилиндра нарезаемого колеса, в результате чего колесо обрабатывается по всей его ширине.

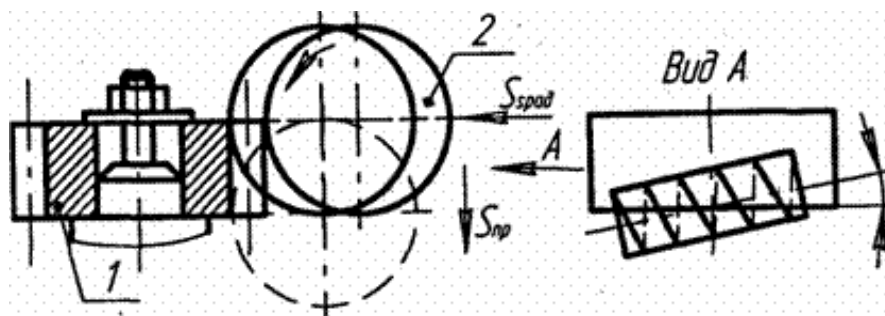


Рис. 3. Схема фрезерования зубьев червячной фрезой

В зависимости от модуля устанавливают число рабочих ходов фрезы: для $m=2-2,5$ мм – один рабочий ход, для $m>2,5$ мм – два рабочих хода и более.

Повышения производительности при зубофрезеровании достигают путем увеличения диаметра фрезы (повышается стойкость инструмента), жесткости ее установки, использования специальных инструментальных материалов, твердосплавных, композиционных, применения многозаходных червячных фрез и увеличения числа одновременно нарезаемых колес.

Зубодолбление. Режущим инструментом является долбяк, представляющий собой зубчатое колесо с эвольвентным профилем зубьев. В процессе нарезания долбяк и нарезаемое зубчатое колесо находятся в относительном движении зацепления (без зазора). Зубодолбление является единственным методом для нарезания колес с внутренним зацеплением (при средних и малых диаметрах), а также при обработке зубчатых венцов в блочных шестернях [1].

Зубострогание. Этот метод основан на зацеплении колеса и рейки, воспроизводимом инструментом – гребенкой. У зубострогания производительность меньше, чем у зубофрезерования червячной фрезой и зубодолбления.

Накатывание зубчатых поверхностей имеет большие преимущества перед способами обработки резанием: повышает производительность в 5–30 раз; увеличивает износостойкость и прочность зубьев; значительно уменьшает отходы металла и др. Различают горячее и холодное накатывание (рис. 4). Горячее накатывание применяют для профилей с модулем больше 2 мм; холодное накатывание рекомендуется для мелкозубчатых колес с модулем до 1,5–2 мм [2].

Может применяться и комбинированное накатывание для средних и крупных модулей (основная пластическая деформация проводится в горячем состоянии, а окончательное профилирование – в холодном).

Перед накатыванием заготовку нагревают до 1000–1200 °С за 20–30 с до накатывания.

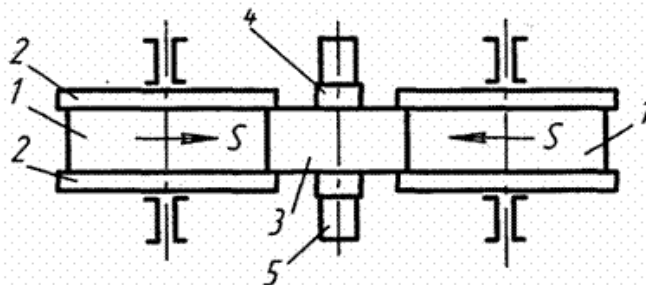


Рис. 4. Схема горячего накатывания зубьев колес:

- 1 – накатники; 2 – реборды; 3 – заготовка;
- 4 – переходная втулка; 5 – оправка

Шевингование – чистовая обработка зубьев незакаленных цилиндрических зубчатых колес (твердость обычно не более HRC 40), осуществляемая инструментом – шевером (рис. 5а). Шевингование зубчатых колес заключается в срезании весьма тонких волосовидных стружек толщиной 0,05–0,01 мм острыми кромками канавок шевера (рис. 5б). В процессе шевингования точность зубчатых колес повышается на одну степень, реже – на две [1].

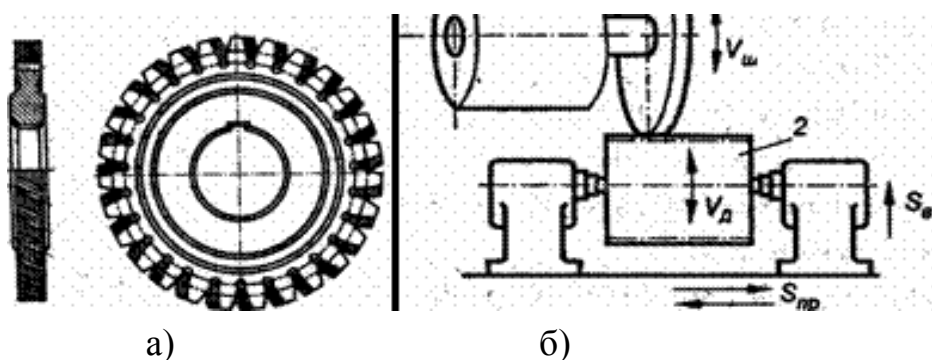


Рис. 5. Шевингование: а – дисковый шевер; б – схема обработки зубьев колес дисковым шевером

Шевингуют зубчатые колеса как наружного, так и внутреннего зацепления.

Шлифование зубьев зубчатых колес – наиболее надежный метод отделочной обработки, обеспечивающий высокую точность закаленных зубчатых колес. Шлифование зубьев производят на различных зубошлифовальных станках методом копирования и методом обкатки. На станках, работающих по методу копирования, шлифуют прямозубые зубчатые колеса профилированными кругами (рис. 6). Метод обкатки осуществляется на зубошлифовальных станках, которые точны и универсальны в наладке. При шлифовании зубьев этим методом (рис. 7) воспроизводится зубчатое зацепление пары рейка – зубчатое колесо. Инструментом является воображаемая рейка, боковые стороны зуба которой образованы шлифовальными тарельчатыми кругами 2.

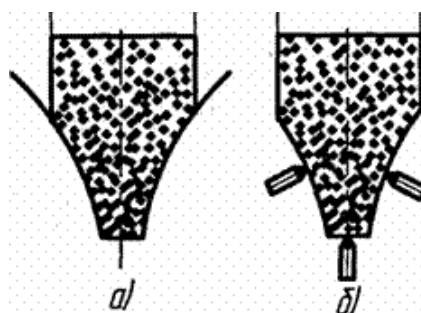


Рис. 6. Схемы профильного шлифования зубьев: а – профилирование зубьев; б – правка шлифовального круга

Движение обкатки складывается из вращения заготовки вокруг своей оси А и поступательного движения вдоль воображаемой рейки Б.

Существуют различные методы шлифования цилиндрических зубчатых колес: дисковым кругом; двумя дисковыми кругами; червячным кругом и др.

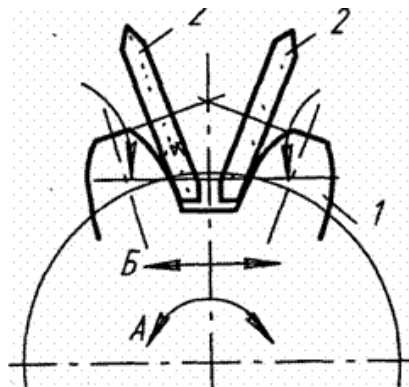


Рис. 7. Схема шлифования зубьев методом обкатки:
1 – зубья колеса; 2 – шлифовальные круги

Немаловажным вопросом при зубошлифовании является постоянство профиля круга, что может быть обеспечено за счет учета интенсивности износа абразивных зерен при проектировании операции [5, 6, 7].

Хонингование применяют для чистовой отделки зубьев закаленных цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацеплений. Процесс осуществляется на зубохонинговальных станках с помощью зубчатого абразивного инструмента – хона.

Зубчатые хоны представляют собой прямозубые или косозубые колеса, обычно состоящие из стальной ступицы и абразивного венца того же модуля, что и обрабатываемое колесо. Хонингование позволяет уменьшить параметры шероховатости и тем самым повысить долговечность зубчатой передачи.

К отделочным методам относятся также: обкатка зубьев и прикатка (зацепление с эталонным колесом); притирка (искусственное изнашивание рабочей поверхности зубьев притирами с применением абразивной пасты); приработка (притирание пары зубчатых колес без притира).

Библиографический список

1. Калашников, А.С. Технология изготовления зубчатых колес / А.С. Калашников. – М: Машиностроение, 2004. – 480 с.
2. Михайлов, А.В. Основы проектирования технологических процессов / А.В. Михайлов, Д.А. Расторгуев, А.Г. Схиртладзе. – Ст. Оскол: ТНТ, 2004. – 336 с.
3. Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для ВУЗов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2004. – 767 с.

4. ГОСТ 1643-81 Передачи зубчатые цилиндрические Допуски и посадки. – М., 1981.

5. Ардашев, Д.В. Определение величины механического износа абразивных зерен при шлифовании / Д.В. Ардашев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». – 2014. – [№ 4](#). – С. 55–65.

6. Ардашев, Д.В. Прогнозирование величины износа абразивного зерна в результате физико-химического взаимодействия с обрабатываемым материалом / Д.В. Ардашев // СТИН. – 2014. – № 11. – С. 33–37.

7. Ардашев, Д.В. Определение износостойкости абразивного зерна при шлифовании на основе кинетической теории прочности / Д.В. Ардашев // Технологическое обеспечение машиностроительных производств: сб. трудов I Межд. заочн. Научно-техн. конф. – 2013. – С. 260–267.

8. URL: www.autowelding.ru.