

УДК 621.919  
DOI: 10.12737/20596

В.В. Клепиков, д.т.н.,  
А.А. Черепакхин, к.т.н.  
(Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ))  
E-mail: prof\_klepikov@mail.ru, tkm1410@yandex.ru

## Повышение точности чистовой обработки зубчатых колес

*Проведен анализ влияния геометрии червячных фрез на точность обработки зубчатого венца. На основании этого анализа выполнена корректировка профиля шевера, что позволило повысить точность обработки.*

**Ключевые слова:** червячная фреза; шевер; зубчатое колесо; точность обработки; корректировка профиля.

V.V. Klepikov, D.Eng.,  
A.A. Cherepakhin, Can.Eng.  
(Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI))

## Accuracy increase in cog-wheel finishing

*One of the most problem areas in the technological process of cog-wheel machining is a succession of roughing (by a hob) and finishing (by shaving). In the paper there are shown the results of comparative experimental researches of a succession heredity "milling by a hob – shaving) at working with an uncorrelated and correlated shaver. The shaver correction was carried out according to the results of the analysis of toothing and accuracy parameters (profile error) of a milling wheel.*

**Keywords:** hob; shaver; cog-wheel; machining accuracy; profile correction.

Одно из самых проблемных мест в технологическом процессе обработки зубчатого колеса – это цепочка «черновая обработка (червячной фрезой) – чистовая обработка (шевингованием)». Червячные фрезы часто не обеспечивают заданную подрезку ножки зуба или формирование фаски на головке зубьев нарезаемых колес, а шевера не всегда обеспечивали требуемый профиль зуба, форму и расположение пятна контакта, т.к. расчетные параметры не способны учесть всех тонкостей конкретного технологического процесса обработки зубчатых колес [1, 2].

В технологических лабораториях МГИУ и МГТУ (МАМИ) (в настоящее время – объединенный Технологический университет) были проведены исследования по повышению точности зубообработки за счет корректировки профиля шевера, которая осуществлялась по результатам анализа геометрии червячных фрез и фактической точности зубчатого венца после фрезерования [4, 5].

В качестве объекта исследования были выбраны цилиндрические зубчатые колеса из стали 25ХГМ с модулем  $m = 4,0$  и  $4,25$ ; число зубьев – 35, 34, 39, 22, 26, 23, 36, 44, 30, 31; угол наклона зубьев  $22^{\circ}10'51''$  и  $0^{\circ}$ ; направление линии зуба – правое и левое; угол профиля  $20^{\circ}$ ; 7-я степень точности; ХТО – нитро-

цементация.

Червячные фрезы – цельные из стали Р6М5К5 (63...66 HRC) с модулем 4,0 и 4,25; угол зацепления  $20^{\circ}$ ; одно и двухзаходные. Однозаходные фрезы имели осевой шаг захода 12,557; 12,576; 13,353; 13,364, двухзаходные 24,516; 24,518; 24,522; 26,063. Режимы резания: скорость резания  $v = 48,4$  м/мин; частота вращения  $n = 140$  мин<sup>-1</sup>; подача  $S = 0,9$  мм/об.

Два типа шеверов изготавливались из стали Р6Ф5 и Р8 (63...66 HRC) и подвергались цианированию, с модулем 4,0 и 4,25 мм, углом зацепления  $20^{\circ}$ , углом наклона зубьев  $15^{\circ}$ , шириной 25 мм, числом зубьев 51, 92, 88, 43, 54, 109, 48, 53, 55, 17, 100. Тип 1 – не скорректированный профиль («чистоэвольвентный» шевер); тип 2 – шевер с скорректированным профилем.

Шевингование выполнялось методом параллельного шевингования дисковыми шеверами. Припуск под шевингование контролировался по длине общей нормали [3].

После зубофрезерования и зубошевингования контролировались: колебание ИМР (измерительное межцентровое расстояние) за один оборот и на одном зубе, отклонение профиля, направление зуба, а так же форма и расположение пятна контакта пары зубчатых колес.

Контроль колебаний ИМР проводился на межценнотре фирмы «Мааг», отклонение профиля на эвольвентомере фирмы «Мичиган ТУЛ», форма и расположение пятна контакта на контрольно-обкатном станке фирмы «Демм» [2]. Пример результатов измерения

погрешности профиля зуба фрезерованных и шевингованных зубчатых колес с «чисто-эвольвентным» профилем представлены на рис. 1 и рис. 2.

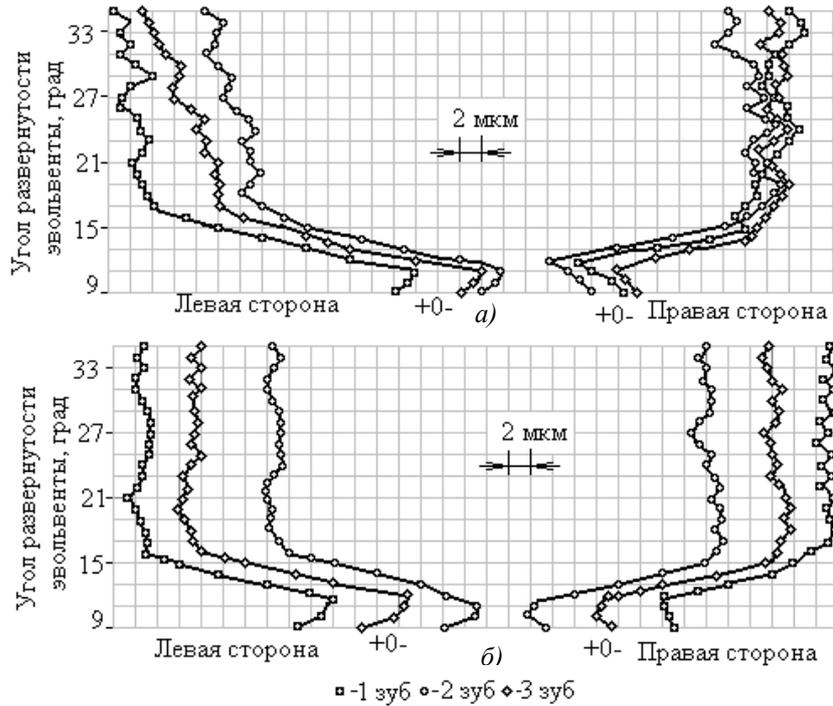


Рис. 1. Погрешность профиля зубьев колеса (мкм) после зубофрезерования (а) и шевингования шевером первого типа (б)

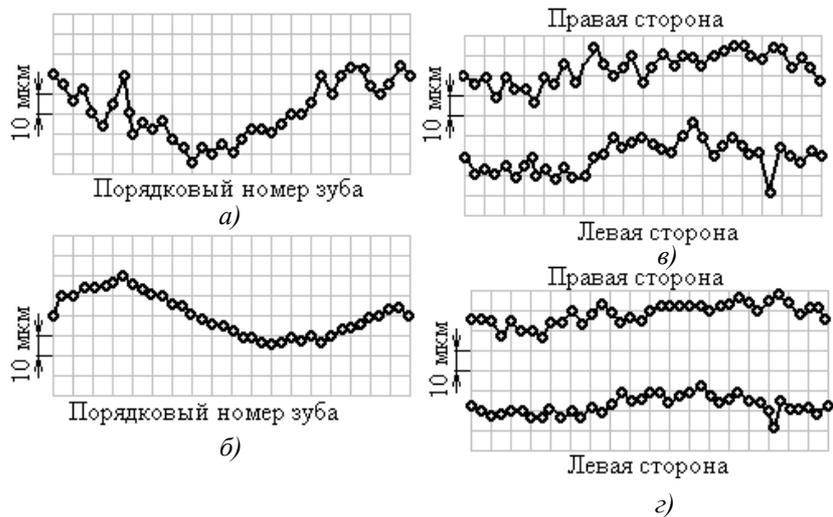


Рис. 2. Радиальное биение зубчатого венца и разность соседних основных шагов после фрезерования зубчатого колеса (а и в соответственно) и после шевингования шевером первого типа (б и г соответственно)

Припуск под шевингование составлял 0,15 мм [2].

На базе полученных результатов и анализа зацепления по пятну контакта, было проведено корректирование рабочего профиля шеве-

ров.

На рис. 3 приведены диаграммы шеверов с эвольвентным 1 и корректированным 2 профилями, обеспечивающими заданное качество зубьев колес.

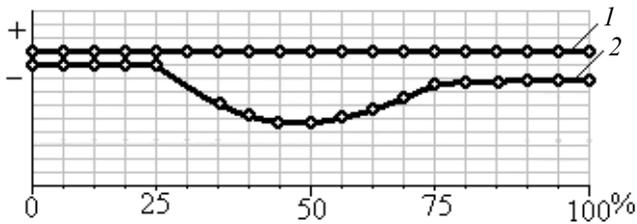


Рис. 3. Диаграммы шевров с эвольвентным 1 и скорректированным 2 профилем

Результаты измерений фрезерованного зубчатого колеса червячными фрезами с скорректированным профилем приведены на рис. 4 и рис. 5.

Управление технологическим процессом обработки зубчатых колес представляет собой сложный информационно-энергетический процесс, основанный на системном анализе конструкторских и технологических пара-

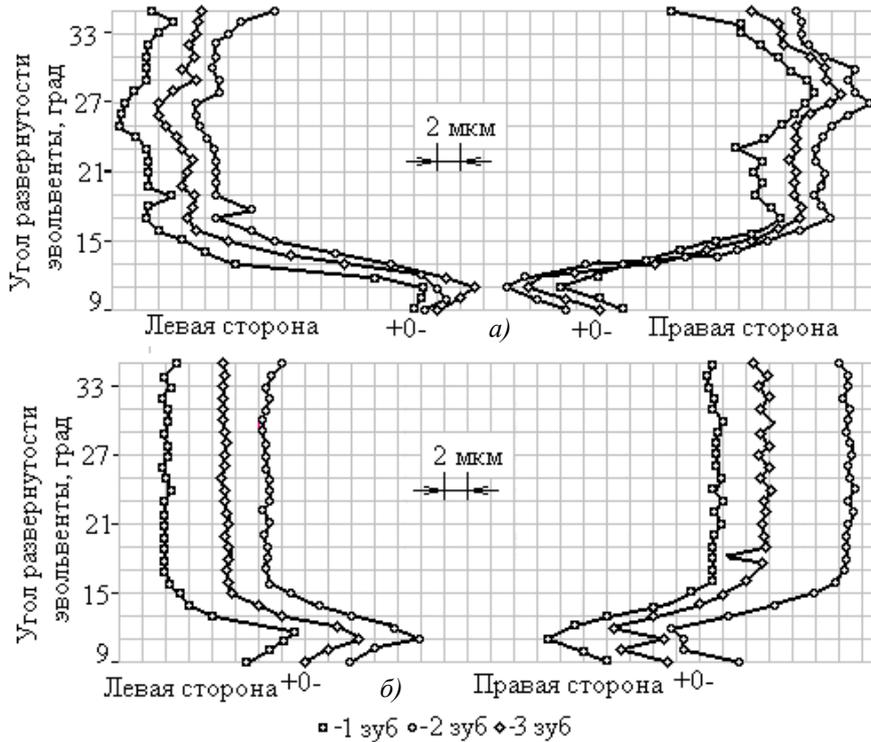


Рис. 4. Погрешность профиля зубьев колеса (мкм) после зубофрезерования (а) и шевингования шевром второго типа (б)

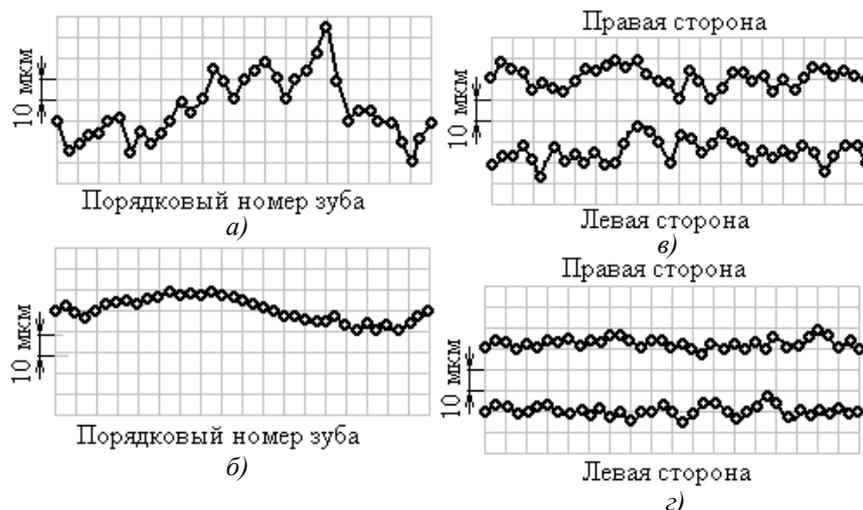


Рис. 5. Радиальное биение зубчатого венца и разность соседних основных шагов после фрезерования зубчатого колеса (а и б соответственно) и после шевингования шевром второго типа (б и г соответственно)

метров. Технологический процесс таких взаимодействующих методов обработки как зубофрезерование и зубошевингование может

быть представлен в виде некоторой последовательности изменения конструктивных и технологических параметров, формируемых

на предшествующих операциях [4, 5, 6].

Совокупность этих параметров образует так называемое параметрическое пространство зубчатого колеса, требующее новых и совершенствования существующих технических решений. В частности повышение производительности зубофрезерования в значительной степени связано с обработкой заготовок паке- том. При этом особую сложность представляет установка заготовок с предварительно сформированным зубом из-за значительной погрешности ориентации заготовок относительно режущей кромки фрезы, возникающей в результате неравномерного распределения припуска по профилю зубьев.

Для ориентации пакета таких заготовок было разработано приспособление, состоящее из сектора, зубья которого выполнены с положительным смещением контура, и фиксаторов, размещенных на кронштейне, закрепленном на оси сектора. Кроме того, на оправку зажимного приспособления устанавливалось колесо, осуществляющее кинематическую связь заготовок с режущими кромками фрезы. Число его зубьев равнялось числу зубьев колеса. После установки пакета заготовок фиксаторы подводятся к зубьям колеса и ориентируют их относительно фрезы. После закрепления заготовки отводятся в исходное положение. Такое решение позволяет оценить взаимное положение фрезы и заготовки и в случае необходимости произвести поднастройку инструмента.

Кроме процесса фрезерования исследовались новые технические решения шевингования зубьев колес. В частности с целью повышения стойкости инструмента и производительности обработки зубчатых колес создавались одинаковые условия резания на обеих сторонах зубьев шевера. Для этого заготовку устанавливали со смещением относительно шевера, уменьшая при этом угол станочного зацепления и увеличивая коэффициент перекрытия. При такой наладке осуществляется равномерный съем металла с обеих сторон зубьев колеса, но снижается качество обработанных поверхностей [3].

Для устранения этого недостатка вводится дополнительная поперечная подача шевера, которая постепенно уменьшается до тех пор, пока не совпадут оси шевера и обрабатываемого колеса. Затем шевер выполняет калибрующие ходы. Чтобы износ обеих сторон зубьев шевера был равномерным, при обработке новой партии заготовок шеверу необходимо обеспечить в противо-

положном направлении.

Проведенные комплексные исследования процессов фрезерования и шевингования зубчатых колес позволили повысить качество их обработки и снизить уровень шума коробки переключения передач автомобиля на 7 дБ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Современные** методы обработки зубчатых колес / А.С. Калашников, Ю.А. Моргунов, П.А. Калашников. М.: Изд. центр «Спектр», – 2012. – 239 с.
2. **Клепиков В.В., Таратынов О.В., Курочкин Н.А., Солоницын Б.М.** Анализ процесса формирования качества эвольвентных поверхностей цилиндрических зубчатых колес // Вестник машиностроения. – 2005. – № 3. – С. 49–53.
3. **Черепяхин А.А., Клепиков В.В., Солдатов В.В.** Методы обработки ответственных деталей автомобилей. М.: МГИУ, 2011. – 214 с.
4. **Параметрическая** оптимизация обработки зубчатых колес. Монография: Черепяхин А.А., Виноградов В.М., Клепиков В.В./ Deutschland, Saarbrücken, the publishing house LAP Lambert Academic Publishing GmbH &Co., 2012 г. – 230
5. **Таратынов О.В., Клепиков В.В., Черепяхин А.А.** Пути совершенствования технологических систем // Технология машиностроения. – 2014. – № 9. – С. 61–63.
6. **Клепиков В.В., Черепяхин А.А.** Пути совершенствования технологических процессов чистовой обработки изделий // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2014. – № 12(42). – С. 15– 18.

## REFERENCES

1. *Modern Methods of Cog-wheel Machining* / A.S. Kalashnikov, Yu.A. Morgunov, P.A. Kalashnikov. M.: Publishing Center "Spectrum", – 2012. – pp. 239.
2. Klepikov V.V., Taratynov O.V., Kurochkin N.A., Solonitsyn B.M. Analysis of quality formation in involute surfaces of spur gears // *Bulletin of Mechanical Engineering*. – 2005. – № 3. – pp. 49–53.
3. Cherepakhin A.A., Klepikov V.V., Soldatov V.V. *Methods of Critical Parts Working for Motor Cars*. M.: MSIU, 2011. – pp. 214.
4. *Parametric Optimization of Cog-Wheel Machining*. Monograph: Cherepakhin A.A., Vinogradov V.M., Klepikov V.V./ Deutschland, Saarbrücken, the publishing house LAP Lambert Academic Publishing GmbH &Co., 2012 г. – 230
5. Taratynov O.V., Klepikov V.V., Cherepakhin A.A. Ways for technological system up-dating // *Engineering Techniques*. – 2014. – № 9. – pp. 61–63.
6. Klepikov V.V., Cherepakhina A.A. Ways for technological process up-dating in parts finishing // *Science Intensive Techniques in Mechanical Engineering*. – 2014. – № 12(42). – pp. 15– 18.

Рецензент д.т.н. Г.А. Харламов