



МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

УДК.621.833

В.Е. АНТОНЮК, д-р техн. наук,
С.Н. ПОДДУБКО, Н.Н. ИШИН, А.С. СКОРОХОДОВ, кандидаты техн. наук
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

Ю.И. НИКОЛАЕВ, главный конструктор
Минский завод колесных тягачей, Республика Беларусь

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Рассматриваются пути изготовления среднемодульных модифицированных зубчатых колес по 8 степени точности без зубошлифования. Приводятся результаты исследования зубчатых колес с модулем 5 мм, изготовленных по предлагаемой технологии с использованием станка OFA75 CNC.

Ключевые слова: зубчатые колеса, зубошлифование, зубофрезерный станок с ЧПУ, модификация профиля, уровень шума

Введение. Зубчатые колеса коробок передач тракторов и грузовых автомобилей на предприятиях СНГ традиционно изготавливались по технологической схеме «зубофрезерование — шевингование — термообработка» и соответствовали примерно степени точности 8-7-7 по ГОСТ 1643-81 [1, 2].

Снижение шума зубчатых передач автотракторной техники в настоящее время является актуальной задачей в связи с ужесточением и нормированием требований к уровню шумов автомобилей и тракторов.

Совершенствование современных технологических процессов изготовления зубчатых колес и создание современного зубообрабатывающего оборудования. На рисунке 1 представлена схема сравнения технологических процессов изготовления зубчатых колес, предложенная фирмой Praweta [3]. Как видно из этой схемы, наиболее отсталой является схема изготовле-

ния «фрезерование — шевингование — термообработка». По этой схеме многие годы работали и продолжают работать изготовители зубчатых колес в СНГ. Схема «фрезерование — шевингование — термообработка — хонингование» не получила широко применения в СНГ. Схема «фрезерование — термообработка — шлифование» применяется в станкостроении и при изготовлении специальных зубчатых колес. Две наиболее современные схемы «фрезерование — термообработка — силовое хонингование» и «фрезерование — термообработка — шлифование — хонингование» практически не применяются изготовителями массовых зубчатых колес в СНГ.

Причина такого отставания технологий изготовления зубчатых колес в СНГ от зарубежных находится в прямой зависимости от имеющегося оборудования. Изготовители зубообрабатывающего оборудования в СНГ пока не могут предложить равноценного комплекта оборудования и инструментов, которые уже освоены зарубежными фирмами.

В последнее время отечественными изготовителями мобильных машин используется зубошлифование для снижения шума зубчатых передач. Следует отметить, что эта проблема не решается автоматически с введением зубошлифования. Выполнение требований по уровню шума зубчатой передачи может быть только следствием отладки конструкции и технологии изготовления каждой конкретной зубчатой передачи.

Зубофрезерование на современных станках с ЧПУ в настоящее время становится основной операцией по обеспечению высокой и окончательной точности зубчатого венца. Увеличение типоразмеров зубчатых колес

	Фрезерование (обкат)	Фрезерование (обкат)	Фрезерование (обкат)	Фрезерование (обкат)	Фрезерование (обкат)
	Шевингование	Шевингование	Упрочнение	Упрочнение	Упрочнение
	Упрочнение	Упрочнение	Шлифование	Шлифование	Зубохонингование Praweta
	Контроль	Хонингование	Built-In	Хонингование	Built-In
	Built-In	Built-In	Built-In	Built-In	Built-In
Качество	Среднее	Хорошее	Высшее	Высшее	Высшее
Условия шума	Хорошие	Высшие	Критические	Высшие	Высшие
Цена	Низкая	Высокая	Высокая	Очень высокая	Низкая

Рисунок 1 — Схема сравнения технологических процессов изготовления зубчатых колес

требует повышения гибкости и быстрой переналадки оборудования. Усложнение конструкции станков и оснащение их системами ЧПУ требует встроенных систем контроля за процессом нарезания и диагностики всех ответственных узлов станка.

Для сравнительной оценки различных вариантов технологии изготовления среднемодульных зубчатых колес были проведены исследования точности и шума зубчатых пар, используемых в коробках передач мобильных машин.

В качестве объекта исследования использовались зубчатые колеса 5-й передачи коробки передач 65151. Основные параметры исследуемых зубчатых колес приведены в таблице 1.

Исследуемые зубчатые колеса изготавливались по двум технологическим процессам:

- без зубошлифования с использованием операции зубофрезерования на станке OFA75CNC и опытных червячных фрез отечественного изготовления;
- с зубошлифованием методом единичного деления в качестве финишной операции.

Технология изготовления зубчатых колес без зубошлифования выполнялась по схеме «зубофрезерование на станке с ЧПУ — термообработка».

При зубофрезеровании экспериментальных зубчатых колес была достигнута 6 степень точности по всем показателям согласно ГОСТ 1643-81, за исключением погрешности профиля, по которой была достигнута 9-я степень точности из-за недостаточной точности опытных червячных фрез отечественного изготовления (таблица 2).

Таблица 1 — Основные параметры зубчатых колес 5-й передачи коробки передач 65151

Параметры	Тип зубчатого колеса	
	202-1701053-40	202-1701132-40
Модуль нормальный, мм	5	5
Число зубьев	35	26
Угол наклона, град.	20	20
Направление линии зуба	правое	левое
Угол профиля, град.	24	24
Степень точности	8-7-7	8-7-7

Таблица 2 — Точность экспериментальных зубчатых колес после зубофрезерования на станке OFA 75 CNC

202-1701053-40		202-1701132-40	
Обозначение	Степень точности	Обозначение	Степень точности
2 CNC-35	6-9-7	2 CNC-26	6-9-7
3 CNC-35	6-9-6	3 CNC-26	6-9-7*
4 CNC-35	6-9-7	4 CNC-26	6-9-7*

* с бочкообразным зубом

При нарезании зубчатого колеса 202-1701132-40 была получена бочкообразная форма зуба по длине с «бочкообразностью» 0,03 мм (рисунок 2).

Термическая обработка опытных зубчатых колес проводилась на агрегате IPSEN. Было отмечено, что в процессе термической обработки произошло изменение угла наклона зубьев в сторону уменьшения. Достигнутая окончательная точность экспериментальных зубчатых колес приведена в таблице 3.

Технология изготовления зубчатых колес с зубошлифованием выполнялась по схеме «зубофрезерование — термообработка — зубошлифование методом единичного деления». Достигнутая окончательная точность зубчатых колес приведена в таблице 4.

Стандовые испытания зубчатых пар, изготовленных с применением и без применения зубошлифования

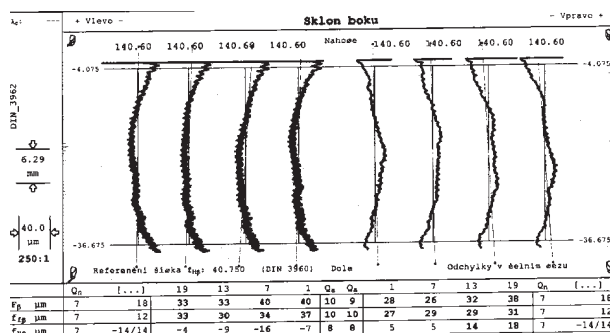


Рисунок 2 — Результаты измерения бочкообразности после зубофрезерования зубчатого колеса 202-1701132-40

Таблица 3 — Окончательная точность экспериментальных зубчатых колес, изготовленных без зубошлифования

202-1701053-40		202-1701132-40	
Обозначение	Степень точности	Обозначение	Степень точности
2 CNC-35	7-9-9	2 CNC-26	7-9-8
3 CNC-35	7-9-9	3 CNC-26	8-9-8*
4 CNC-35	6-9-9	4 CNC-26	6-9-8*

*с бочкообразным зубом

Таблица 4 — Окончательная точность зубчатых колес, изготовленных с применением зубошлифования

202-1701053-40		202-1701132-40	
Обозначение	Степень точности	Обозначение	Степень точности
1-35	6-10-10	1-26	10-9-11
2-35	7-7-9	2-26	9-8-11
3-35	7-9-11	3-26	10-9-11

ния, проводились на стенде с разомкнутым силовым контуром, программа испытаний включала измерение спектра шума в 1/3-октавных полосах и измерение пятна контакта. На рисунке 3 представлен спектр записи шума исследуемой пары 4-4CNC при частоте вращения ведущей шестерни 1500 мин⁻¹ и нагрузке на ведомом колесе $M_m=100$ Нм. Оценка уровня шума производилась по уровню звукового давления на частотах f_z , дБ и $2f_z$, дБ, а также оценивался общий уровень шума в $L_{общ}$, дБА.

В таблице 5 приведены результаты измерения шума исследуемых зубчатых пар при режиме нагружения $n_1=1500$ мин⁻¹ и $M_m=90...110$ Нм.

Зубчатые передачи, изготовленные с использованием зубофрезерного станка с ЧПУ и без зубшли-

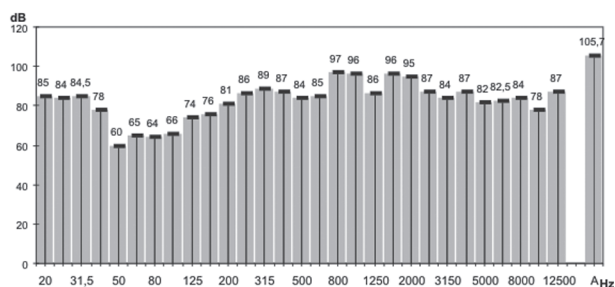


Рисунок 3 — Спектр шума экспериментальной зубчатой пары 4-4 CNC

фованная, с модифицированным бочкообразным зубом, с точностью в пределах 7—9 степени по ГОСТ 1643-81, показали уровень шума в пределах 103,4...107,5 дБА. Зубчатые передачи, изготовленные с использованием зубшлифования, без бочкообразного зуба, с точностью в пределах 7—11 степени по ГОСТ 1643-81, имели уровень шума в пределах 102,5...112,8дБА при аналогичных режимах испытаний.

Стендовые испытания зубчатых пар под нагрузкой выявили существенные дефекты пятна контакта у зубчатых колес, изготовленных с применением зубшлифования (рисунок 4). Такие дефекты являются результатом комплекса погрешностей, к которым можно отнести погрешности наладки станка, профилирования инструмента, базирования шестерни. Испытания зубчатых пар, изготовленных без зубшлифования, показали, что экспериментальные шестерни 202-1701132-40 с бочкообразным зубом имели длинные пятна контакта, расположенные в центре зуба и с отрывом от кромки зуба.

При проведении термической обработки угол наклона зубьев уменьшился в среднем на 0,04...0,06 мм, в то время как при зубофрезеровании бочкообразность задавалась 0,03 мм. В связи с этим на паре 4-3CNC наблюдается небольшое смещение пятна контакта с центра зуба. Для достижения правильного положения пятна контакта после термической обработки следует зафиксировать направление и величину деформации и внести соответствующие поправки в величину и положение бочкообразности на

Таблица 5 — Результаты стендовых испытаний уровня шума зубчатых колес, изготовленных с применением и без применения зубшлифования

Особенности	Обозначение пары		Уровень шума		
	202-1701053-40	202-1701132-40	f_z , дБ	$2f_z$, дБ	$L_{общ}$, дБА
Без зубшлифования	4 CNC-35	3 CNC-26	105,0	104,0	107,5
	4 CNC-35	4 CNC-26	97,0	96,0	105,7
	3 CNC-35	4 CNC-26	98,0	96,0	105,5
	3 CNC-35	3 CNC-26	99,0	94,0	104,1
С зубшлифованием	1-35	1-26	86	92	108,2
	2-35	2-26	90	90	102,5
	3-35	3-26	103	102	112,8



а



б



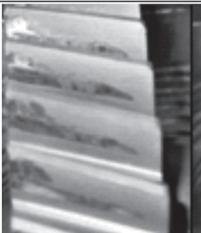

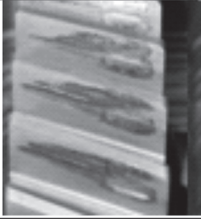
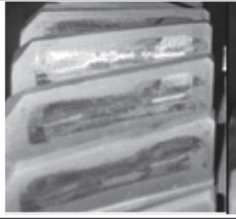
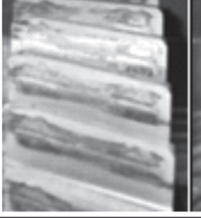
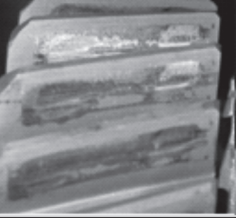
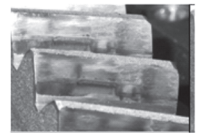

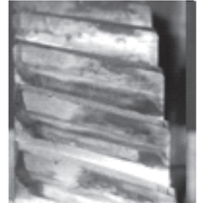
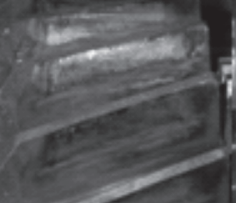

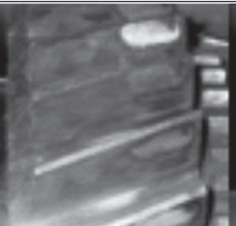
в

Рисунок 4 — Дефекты пятна контакта зубчатых колес после зубшлифования: а — кромочный контакт; б — разрыв пятна контакта по высоте; в — разрыв пятна контакта по длине

зубе во время операции зубофрезерования. Одним из существенных достоинств зубофрезерных станков с ЧПУ является возможность выполнять любую форму бочкообразного зуба: симметричную, асимметричную, с двойной бочкообразностью, с прямым и бочкообразным участками и т.д. В связи с такими возможностями зубофрезерного станка с ЧПУ обеспечение требуемого размера и положения пятна контакта по длине зуба для достижения 7-й степени точности является технически выполнимой задачей (таблица 6).

Обеспечение требуемого пятна контакта по высоте зуба связано с погрешностью его профиля и зависит от точности изготовления червячной фрезы. Червячные фрезы отечественного изготовления с точностью класса В и А используются для чернового нарезания под последующее шевингование или зубошлифование. Поэтому для достижения 7-й степени точности по погрешности профиля зуба и пятна контакта по высоте зуба рекомендуется применение червячных фрез класса точности АА.

Таблица 6 — Пятна контакта после стендовых испытаний зубчатых колес, изготовленных с применением и без применения зубошлифования

Особенности	Обозначение пары		Пятно контакта	
	202-1701053-40	202-1701132-40	202-1701053-40	202-1701132-40
Без зубошлифования	4 CNC-35	3 CNC-26		
	4 CNC-35	4 CNC-26		
	3 CNC-35	4 CNC-26		
С зубошлифованием	1-35	1-26		
	2-35	2-26		
	3-35	3-26		

Выводы. 1. Проведенные исследования подтверждают тенденции зарубежных технологий изготовления среднемодульных высоконагруженных зубчатых колес, заключающиеся в использовании современных зубофрезерных станков с ЧПУ, агрегатов термической обработки с системами учета деформаций термической обработки, а также в использовании при необходимости в качестве финишной операции силового зубохонингования взамен зубошлифования.

2. Проведенные исследования подтвердили возможность изготовления среднемодульных зубчатых колес коробок передач в пределах 8-й степени точности ГОСТ 1643-81 на основе технологии без зубошлифования с использованием современного зубофрезерного станка с ЧПУ и модификаций профиля зуба. Сравнительные исследования шума зубчатых колес, изготовленных без зубошлифования по предлагаемой технологии, показали возможность достижения уровня шума, сравнимого с уровнем шума зубчатых колес, изготовленных с применением зубошлифования.

3. Использование технологии изготовления среднемодульных зубчатых колес без зубошлифования с применением современного зубофрезерного станка с ЧПУ за счет различных форм модифицирования профиля по

длине зуба позволяет управлять положением пятна контакта и избегать кромочных контактов, что является важнейшим фактором в обеспечении расчетных режимов нагружения зубчатой передачи.

4. Использование технологии изготовления среднемодульных зубчатых колес без зубошлифования позволяет сократить трудоемкость изготовления зубчатых колес на 20...40 минут, сократить затраты на приобретение и обслуживание зубошлифовальных станков и шлифовальных кругов, избежать опасности возникновения прижогов при зубошлифовании и необходимости контроля прижогов, не нарушается созданный при химико-термической обработке высокопрочный поверхностный слой, что является существенным фактором для повышения ресурса работы зубчатой передачи.

Список литературы

1. Антонюк, В.Е. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач / В.Е. Антонюк [и др.]. — СПб.: Профессия, 2007. — 832 с.
2. Антонюк, В.Е. Тенденции современного производства зубчатых колес / В.Е. Антонюк // Инженерный журнал: справочник. — 2004. — Приложение № 12. — С. 2—15.
3. High speed chamfering. Prawema Honing: проспекты. — Prawema, 2005.

Antoniuk V.E., Poddubko S.N., Ichin N.N., Skorochodov A.S., Nikolaev J.I.

Possibilities of improvement of performance data of tooth gearings use hobbingmachine tool with CNC

Possibilities of use modern hobbingmachine tool CNC for achievement of 8 degrees of accuracy of GOST 1643-81 without gear grinding are considered. Results of manufacturing of cogwheels by the module of 5 mm on offered technology with machine tool OFA 75 CNC use are resulted.

Поступила в редакцию 18.03.2011.