

Эксперимент позволит установить связь между кинематическими параметрами зубчатой передачи и износом зубчатого сектора, подтвердить правильность теоретических исследований, а также разработать рекомендации по повышению износостойкости плавнорегулируемой передачи с составными зубчатыми колёсами.

#### Литература

1. Андожский В.Д. Путь трения эвольвентных зубчатых передач /В.Д. Андожский, А.М. Даньков, Н.И. Рогачевский //Известия ВУЗов, Машиностроение. – 1987. – № 2. – С. 18-21.
2. Справочник по триботехнике: В 3 т. /Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1989. – Т 1: Теоретические основы.
3. Даньков А.М. Выбор оптимальной конструкции передачи зацеплением с переменным передаточным отношением по критерию износостойкости //Трение и износ. – Июль-август 2000. – Т. 21. – № 4. – С. 401-407.
4. Марков А.Л. Измерение зубчатых колёс. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1977.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Г.В. Петришин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Афанасьев Н.И.

В последнее время при проектировании и изготовлении новой техники имеет место тенденция к повышению ее мощности, производительности за счет возрастания рабочих скоростей и автоматизации управления. Все это приводит к усложнению конструкции, возрастанию динамических нагрузок и тем самым к снижению надежности машины [1].

Отказы возникают на протяжении всего срока службы, и характер их зависит от этапа эксплуатации. Динамика отказов тракторов и сельскохозяйственных машин отражена на рис. 1 [2].

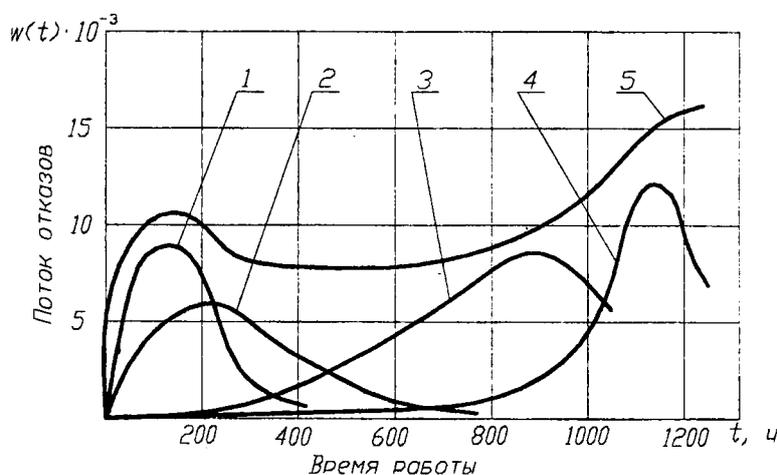


Рис. 1. Динамика отказов тракторов и сельскохозяйственных машин [2]

Из-за нарушения правил и норм проектирования, когда не учитываются вариации нагрузок, характер работы машины, условия эксплуатации и т. п., возникают конструкционные отказы (кривая 1). Проявляются они обычно в начальный период эксплуатации машины и выявляются на машиностроительных станциях.

Технологические отказы возникают из-за нарушения технологии изготовления элементов машин, а также вследствие разброса механических характеристик материалов и изделий (кривая 2). Кривая 3 отражает отказы, вызванные нарушением правил эксплуатации машины. При строгом соблюдении норм эксплуатации отказы возникают из-за неизбежного износа элементов машины и характеризуются кривой 4.

Динамика проявления отказов у тракторов и сельскохозяйственных машин от совокупности действия всех факторов – конструкторского, технологического и эксплуатационных – изображена кривой 5.

Анализ отказов машин показал, что значительная доля из их общего числа приходится на трансмиссии.

Производитель техники имеет возможность реально контролировать динамику отказов только на этапах проектирования и производства. Конструкции приводов мобильных машин постоянно совершенствуются, надежность передачи при этом во многом зависит от совершенства методики расчета элементов трансмиссии. Технологическая надежность машины в первую очередь зависит от уровня технологии производства.

Довольно чувствительны к технологическим дефектам зубчатые передачи. Особенно большое влияние на долговечность зубчатой передачи оказывает качество поверхностного слоя зубьев. На конечное состояние поверхностного слоя зубьев в той или иной степени влияет весь комплекс технологических операций. Однако большее значение имеют заключительные операции.

Как правило, в настоящее время в качестве завершающей операции при изготовлении зубчатых передач применяется зубошлифование. Однако шлифовальная операция зубчатых колес не обеспечивает высоких требований, предъявляемых к качеству поверхностного слоя зубьев. Значительно снижая шероховатость поверхности, шлифование, между тем, формирует микронеровности, профиль которых характеризуется острыми вершинами и впадинами с малым радиусом закругления, которые служат концентраторами напряжения и определяют небольшую величину опорной поверхности. При шероховатости  $Ra = 0,63-0,08$  мкм, полученной чистовым шлифованием, опорная площадь поверхности составляет примерно 40 % [3]. Кроме того, во время шлифования происходит импульсный тепловой нагрев поверхностного слоя металла, что приводит к изменениям в микроструктуре и твердости. В результате местного теплового нагрева металла могут возникнуть местные прижоги.

Прижоги являются структурными концентраторами напряжений и существенно влияют на сопротивление усталости и длительности работы зубчатых колес. Так, испытаниями на усталость установлено, что колеса с прижогами у основания зубьев имеют среднюю долговечность в 1,4 раза, а минимальную в 1,6 раза меньше, чем колеса, отшлифованные без прижогов.

Как показал металлографический анализ, глубина слоя с прижогами составляет 20-40 мкм, при повышенных режимах шлифования глубина слоя – 50-80 мкм [3].

Для повышения надежности работы шлифованных зубчатых колес нужны дополнительные технологические операции, исключаяющие воздействие отрицательных факторов технологической наследственности. В настоящее время в качестве такой операции наибольшее распространение получило поверхностное пластическое деформирование (ППД).

Для выполнения ППД деталей машин разработаны и используются в промышленности различные методы. Каждый из них имеет ряд разновидностей, общее количество которых достигает тридцати наименований [3]. Для комбинированного упрочнения зубьев колес наиболее широко используют обдувку сухой дробью или в смеси со смазывающе-охлаждающей жидкостью (дробеударный метод) и обкатывание валками-шестернями. В настоящее время однозначно установлено положительное влияние упрочнения дробью на выносливость зубьев при изгибе. По данным [3], упрочнение дробью цементованных колес почти в 2 раза повышает прочность зубьев при изгибе. Эффективность наклепа дробью для контактной выносливости однозначно не установлена.

Эффективно применение ППД для устранения шлифовочных прижогов. Пластическая деформация повышает твердость в прижогах отпуска и способствует ее выравниванию на поверхности. Степень восстановления твердости определяется глубиной слоя с измененной структурой и временем упрочнения элемента поверхности. Дробеструйное упрочнение поверхности, имеющей шлифовочные прижоги, изменяет знак остаточных напряжений, формируя в поверхностном слое остаточные напряжения сжатия.

Однако при ППД под действием многочисленных ударов дробинки обработанная поверхность приобретает специфическую микрогеометрию, в большинстве случаев с повышенной шероховатостью. Это особенно заметно при невысокой исходной шероховатости ( $Ra = 0,16-0,30$  мкм) и времени наклепа 1-2 мин (табл. 1).

Таблица 1

## Изменение шероховатости поверхности при наклепе дробью

Исходный параметр $Ra$ , мкм	Параметр $Ra$ для времени упрочнения элемента поверхности, мин			
	1	2	4	8
0,16-0,30	0,23-0,40	0,25-0,45	0,25-0,30	0,23-0,29
0,42-0,62	0,42-0,62	0,40-0,60	0,40-0,58	0,39-0,56
0,63-0,85	0,55-0,80	0,52-0,75	0,50-0,70	0,50-0,70

В качестве завершающей операции при обработке зубчатых колес можно применить метод магнитно-абразивного полирования зубчатых колес. Метод разработан на основе работ Шулева Г.С., Барона Ю.М., Хомича Н.С., Ящерицына П.И. и др. [4] и основан на использовании энергии магнитного поля в качестве связки магнитно-абразивного порошка. Сформированный таким образом абразивный инструмент представляет собой зубчатое колесо соответствующего модуля, который вводится в зацепление с обрабатываемым зубчатым колесом.

В отличие от ППД метод магнитно-абразивного полирования обеспечивает устранение дефектного слоя толщиной 20-60 мкм, не снижая при этом геометрическую точность колеса. При этом значительно снижается шероховатость обработанной поверхности, что благоприятно сказывается на контактной выносливости зубьев.

Отсутствие трения связки об обрабатываемую поверхность значительно снижает температуру в зоне резания, что исключает явления прижогов, возникающих при обработке шлифовальными кругами. Кроме того, из-за эластичности инструмента, после финишной магнитно-абразивной обработки не снижается геометрическая точность обработанных поверхностей.

Данный метод финишной обработки зубьев высокопроизводителен: за цикл обработки 60-90 секунд шероховатость рабочей поверхности зубьев снижается с Ra 1,25-0,32 до Ra 0,08-0,01 мкм или с Ra 10,0-2,5 до Ra 0,32-0,08 мкм.

Несмотря на очевидные достоинства магнитно-абразивной обработки зубьев зубчатых колес, позволяющей в процессе производства управлять надежностью трансмиссии машины, данный метод пока не нашел применения в промышленности из-за недостаточной изученности процесса обработки зубьев. Однако перспективность такого вида обработки несомненна, так как она позволяет устранить недостатки процесса шлифования, обеспечивая при этом высокое качество обработанной поверхности и, тем самым, высокие эксплуатационные свойства передач.

#### Литература

1. Ускоренные испытания элементов трансмиссий мобильных энергетических средств /Н.И. Афанасьев, С.Н. Демиденко, В.А. Дьяченко и др. – Мн.: Беларуская навука, 1999. – 55 с.
2. Цитович И.С., Дорожкин Н.Н., Дьяченко В.А. Безотказность и долговечность тракторов и сельскохозяйственных машин. – Мн.: Ураджай, 1977. – 152 с.
3. Генкин М.Д. и др. Повышение надежности тяжело нагруженных зубчатых передач /М.Д. Генкин, М.А. Рыжов, Н.М. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
4. Ящерицын П.И., Забавский М.Т., Кожуро Л.М., Акулович Л.М. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 272 с.

## ПОВЫШЕНИЕ ТОРМОЗНЫХ КАЧЕСТВ КОЛЁСНЫХ ТРАКТОРОВ

П.В. Радченко

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Научный руководитель Жуковский Ю.М.

В последнее время наблюдается значительный рост транспортных скоростей движения тракторов. Сегодня существуют тракторы, способные двигаться со скоростью до 65 км/ч [5]. Это предъявляет повышенные требования к тормозным качествам тракторов. В настоящее время на Минском тракторном заводе производятся энергонасыщенные тракторы тяговых классов 2, 3 и 5 с максимальной скоростью до 40 км/ч. Ведётся работа над повышением их максимальных скоростей движения до 50 км/ч. Проведены исследования тормозных качеств перспективного трактора кл. 3 с максимальной скоростью 50 км/ч. Для расчётов были взяты массово-геометрические параметры близкого по тяговому классу трактора, выпускаемого на Минском тракторном заводе. Была составлена расчётная схема трактора для режима торможения (рис. 1) и получены нижеприведенные уравнения.

При торможении только задними колёсами:

$$N_1 = \frac{mg \cdot (b + \varphi \cdot c)}{a + b + \varphi \cdot c}; \quad N_2 = \frac{mg \cdot a}{a + b + \varphi \cdot c}.$$

При торможении всеми колёсами:

$$N_1 = \frac{mg \cdot (b + \varphi \cdot c)}{a + b}; \quad N_2 = \frac{mg \cdot (a - \varphi \cdot c)}{a + b}.$$