

УДК 621.83.062.1

DOI 10.22213/2413-1172-2017-2-19-21

Е. И. Тескер, доктор технических наук, Волгоградский государственный технический университет

В. Г. Карабань, кандидат технических наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет

А. В. Соломатин, аспирант, Волгоградский государственный технический университет

## ПОВЫШЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ БЕССТУПЕНЧАТЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕДАЧ

**Б**есступенчатые механические передачи находят достаточно широкое применение в различных приводах и трансмиссиях машин. Следует отметить, что наибольшее развитие получили классические фрикционные передачи непрерывного действия [1–4], в то время как бесступенчатые импульсные передачи значительно отстают в практическом использовании.

Бурное развитие вариаторы получили за счет решения проблемы повышения нагрузочной способности, долговечности и надежности. Совершенствование передач осуществляется по следующим основным направлениям: изменение конструкции; новые материалы; условия трения контактных поверхностей; минимизация потерь.

Конструкция металлического дискретного ремня позволила решить многие проблемы качества фрикционной передачи. В отличие от передач с гибкой связью бесступенчатые импульсные передачи (БИП) в своем составе содержат генератор колебаний и механизм свободного хода. Регулирование параметров в большинстве конструкций осуществляется за счет генератора колебаний [5–8]. Функциональные свойства БИП отвечают современным требованиям, однако их нагрузочная способность не в полной мере соответствует требованиям к приводам силовых устройств.

Разрабатываемые методы снижения динамических нагрузок хотя и дают ожидаемый эффект, но приводят к существенному повышению стоимости и усложнению приводов с БИП. Многочисленные исследования БИП направлены на повышение долговечности механизма свободного хода (МСХ), работающего в наиболее сложных динамических условиях, при высокой частоте включений.

К основным типам МСХ, использующихся в БИП, следует отнести роликовые, клиновые и храповые механизмы.

В настоящей работе приводятся результаты исследований клиновых механизмов конструкции, предложенной А. А. Благоднаровым. Эти устройства обладают высокой жесткостью и высокой нагрузочной способностью, что достигается за счет применения развитых контактных поверхностей.

На рис. 1 приведена конструктивная схема механизма. Клин изготовлен из материала близкого по химическому составу к чугуну. В исследуемой конструкции наиболее нагруженными являются сопрягаемые поверхности клина, ведомой обоймы и внут-

реннего кольца. На первом исследовались геометрические показатели, характеризующие условия контакта клина.

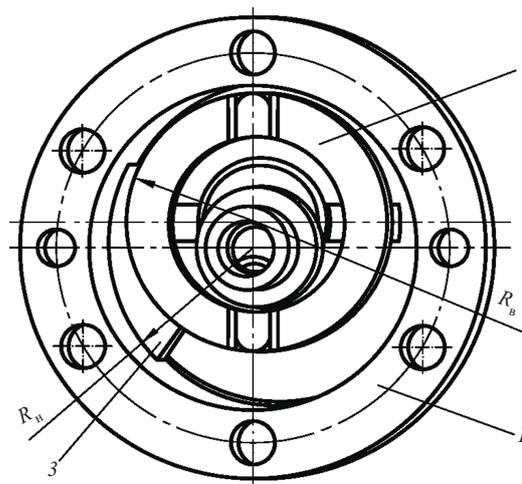


Рис. 1. Механизм свободного хода: 1 – наружная обойма; 2 – внутренняя обойма; 3 – клин

МСХ (рис. 1) имел следующие геометрические характеристики:  $R_H = 35$  мм;  $R_B = 29$  мм; толщина клина 9 мм; сектор  $90^\circ$ . Исследования проводились после приработки в течение пятидесяти часов работы при частоте 10 включений в секунду, при моменте нагрузки  $9,8$  Н · м. Измерение показателей рельефа осуществлялось с помощью сканирующего зондового микроскопа *Solver P47H*. Для исходной поверхности до начала испытаний характеристики геометрии были следующие: среднее значение  $Sz = 1927$  нм; среднее значение  $Sa = 423$  нм; среднее максимальных значений – 3924 нм.

После приработки для внешней поверхности получены следующие данные: среднее значение  $Sz = 1213$  нм; среднее значение  $Sa = 369$  нм; среднее максимальных значений – 3032 нм.

На рис. 2 приведена типовая картина рельефа поверхности клинового тела до приработки; на рис. 3 – типовая картина рельефа микронеровностей после приработки.

Для внутренней поверхности получены следующие данные: среднее значение  $Sz = 1479$  нм; среднее значение  $Sa = 100$  нм; среднее максимальных значений – 3000 нм.

Таким образом, после приработки наблюдается уменьшение высотных показателей микронеровно-

стей для среднего значения  $\Delta Sz = 714$  нм; для среднего значения  $\Delta Sa = 323$  нм; для среднего максимальных значений – на 924 нм.

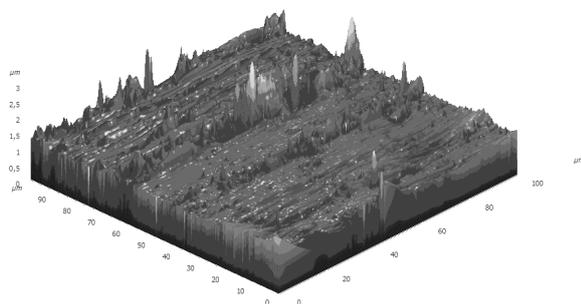


Рис. 2. Рельеф клина до приработки

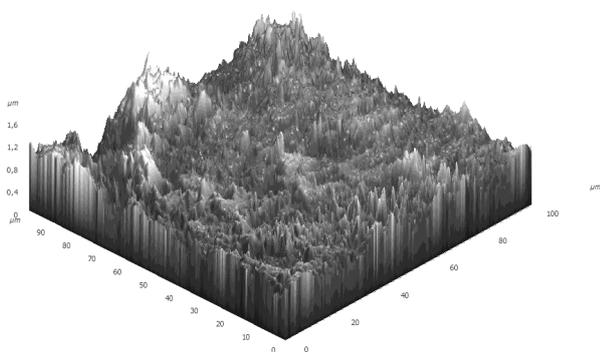


Рис. 3. Рельеф клина после приработки

Используя полученные данные, можно прогнозировать предполагаемый износ поверхностей для клина (таблица).

#### Результаты испытаний клина на изнашивание

Внутренняя поверхность					
Циклы работы	$3,6 \cdot 10^5$	$7,2 \cdot 10^5$	$10,8 \cdot 10^5$	$14,4 \cdot 10^5$	$18,0 \cdot 10^5$
мкм	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4
Внешняя поверхность					
Циклы работы	$3,6 \cdot 10^5$	$7,2 \cdot 10^5$	$10,8 \cdot 10^5$	$14,4 \cdot 10^5$	$18,0 \cdot 10^5$
мкм	0,9	1,1	1,3	1,4	1,5

Выполненные исследования свидетельствуют о том, что износостойкость деталей МСХ существенно зависит от топографии поверхности трения.

Кроме того, результаты исследований позволяют утверждать, что нагрузочную способность МСХ можно значительно повысить за счет целенаправленного управления физико-механическими и триботехническими свойствами поверхностных слоев.

Исследованиями механизмов износа и разрушения поверхностей трения клина установлено, что причиной выхода из строя является усталостное изнашивание. Для повышения сопротивляемости этому виду изнашивания материала клина было предложено использовать упрочняющую лазерную обработку поверхности клина.

Высокая плотность мощности лазерного излучения позволяет формировать поверхностные слои с уникальными свойствами, недоступными традиционным методам обработки.

Концентрация подводимой энергии позволяет осуществлять обработку без нагрева, что исключает макро- и микроискажения геометрии поверхностей. Нагрев и охлаждение поверхностного слоя с высокими скоростями при незначительном времени лазерного воздействия, а также возможность регулирования параметров в широком диапазоне позволяет целенаправленно формировать оптимальную структуру поверхностного слоя, требуемые свойства, необходимую топографию поверхностей обработанных участков.

Неоспоримые преимущества лазерных технологий и возможности их использования для разработки новых технических решений послужили основой для совершенствования конструкций МСХ, используемого в БИП.

На рис. 4 показана типовая микроструктура поверхностного слоя конструкционной среднеуглеродистой легированной стали после обработки непрерывным лазером без оплавления поверхности. Исследования выполняли на оптическом металлографическом микроскопе *Olympus BX61* при увеличениях в пределах 100...500. Параметры структуры измеряли путем обработки на ПВЭМ цифровых изображений, полученных на фотокамере *DP-12*. Использовался пакет программ *AnalySiS*. Испытания на микротвердость проводили на приборе *ПМТ-3М*.

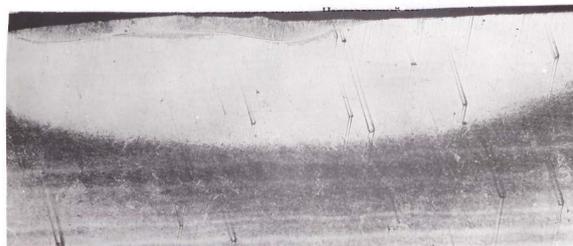


Рис. 4. Микроструктура упрочненного лазером слоя ( $\times 100$ )

Из рисунка видно, что микроструктура упрочненного лазером металла состоит из двух участков. Первый слой представляет собой зону закалки из твердой фазы. Верхняя граница слоя определяется нагревом до температуры, необходимой для формирования закаленного слоя из однородного мартенсита с высокой твердостью и мелкодисперсной микроструктурой («белый слой»).

Второй слой представляет собой переходную зону с неоднородной структурой и пониженной твердостью. Формированием микроструктуры изменяется твердость по толщине лазерного слоя.

Вследствие структурной неоднородности в зонах перекрытия лазерных треков выявляются участки с низкой твердостью. На рис. 5 показаны графики, иллюстрирующие закономерности изменения твердости на упрочненной поверхности, измеренной по ширине лазерного трека. Испытания на изнашивание

образцов с различным расположением лазерных дорожек выполнены на машине трения по схеме «ролик – колодка». При испытаниях износостойкость оценивали по величине линейного и весового износа. Результаты испытаний иллюстрируются рис. 6.

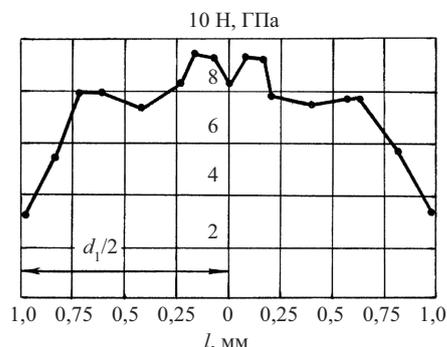


Рис. 5. Распределение микротвердости по ширине лазерного трека при единичном проходе лазерного луча

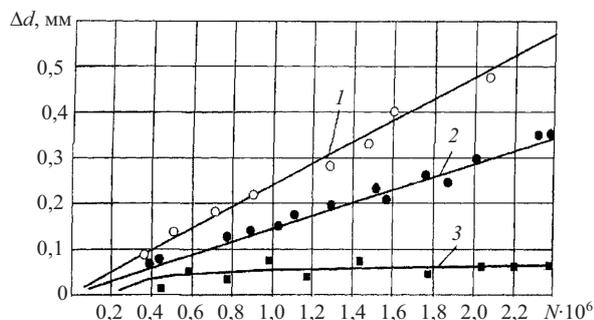


Рис. 6. Зависимость линейного износа от числа циклов нагружения при испытаниях на машине трения по схеме «ролик – колодка»: 1 – закалка ТВЧ; 2 – лазерная обработка при перекрытии дорожек при  $k = 0,3d_1$ , 3 – при  $k = 0,5 - 0,7d_1$

Во всех опытах износостойкость упрочненных лазером образцов была выше, чем после закалки методом объемного нагрева ТВЧ или ХТО. Это объяс-

Получено 27.02.2017

няется тем, что наряду с оптимальной твердостью структура лазерного слоя обладает высокой дисперсностью, пластичностью и стабильностью к деформациям. Накопление упругопластических деформаций и усталостных разрушений в процессе циклического нагружения не приводит к структурным превращениям с образованием таких неустойчивых хрупких вторичных структур, как неотпущенный мартенсит. Существенную роль в формировании заданных свойств играют остаточные напряжения сжатия, возникающие в поверхностном слое, обусловленные высокой скоростью охлаждения металла при лазерной обработке.

Изучение кинетики износа упрочненного металла с помощью профилограмм, полученных на разных стадиях испытаний, характеризующих динамику изнашивания, позволило установить, что при определенном распределении микротвердости на упрочненной поверхности и структурных зон за счет неодинакового темпа износа локальных участков (например, перекрестия лазерных дорожек) происходит формирование волнистости, которая способствует существенному увеличению фактической поверхности контакта, снижению контактных давлений и повышению функциональных и эксплуатационных показателей МСХ и БИП в целом.

#### Библиографические ссылки

1. Благодравов А. А. Бесступенчатые импульсные передачи. – М. : Машиностроение, 2005. – 366 с.
2. Леонов А. И. Микрохраповые механизмы свободного хода. – М. : Машиностроение, 1982. – 219 с.
3. Мальцев В. Ф. Механические импульсные передачи. – М. : Машиностроение, 1978. – 367 с.
4. Карабань В. Г., Скребцов А. И. Результаты исследований механических импульсных передач в автоматических приводах стабилизации скорости малой мощности // Машиностроение и электроника. – 2004. – № 9. – С. 89–92.
5. Благодравов А. А. Указ. соч.
6. Леонов А. И. Указ. соч.
7. Мальцев В. Ф. Указ. соч.
8. Карабань В. Г., Скребцов А. И. Указ. соч.