

Выводы

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что при зубошлифовании происходит снижение микротвердости поверхности зубьев на 700–1000 МПа, уменьшение параметра шероховатости R_a с 3,0 до 0,8 мкм для обоих исследованных материалов.

Остаточные напряжения 1-го рода σ_1 из сжимающих порядка 800–950 МПа переходят в разряд растягивающих в пределах 1300–1550 МПа, а напряжения 2-го рода σ_2 увеличиваются в среднем в 1,3 раза. Такой характер изменения твердости и остаточных напряжений является неблагоприятным фактором с точки зрения надежности работы зубчатых колес.

Значения общей части дисперсии A (создаваемой при зубошлифовании) исследованных параметров для шестерен, изготовленных из стали 25ХГТ, несколько превышают эти значения для деталей из стали 20ХНЗА. Так величина A по параметру H_u для стали 25ХГТ больше по сравнению со сталью 20ХНЗА на 12%; по R_a – на 6,3%; по σ_1 – на 3% и по σ_2 – на 3,5%.

Полученные данные позволяют моделировать изменения качества поверхности зубьев шестерен при зубошлифовании двусторонним коническим кругом, дают объективные характеристики этой операции для различных обрабатываемых материалов и позволяют выполнять как прогнозирование возможностей процесса зубошлифования, так и оптимизацию требований к исходным значениям качества поверхности зубьев перед зубошлифованием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Производство зубчатых колес./ Под ред. Б.А. Тайца. –М.: Машиностроение, 1990. –463 с. 2. Соломин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. –М.: Машиностроение, 1972. –215 с. 3. Кане М.М. Статистический анализ изменения параметров точности цилиндрических зубчатых колес при шевинговании. – М: Вестник машиностроения, №5, 1990. С. 24–27.

УДК 621.373.826

Кобяков О.С., Спиридонов Н.В., Кукин С.Ф., Бузун Е.Л.

ЛАЗЕРНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ФРИКЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ УЗЛОВ СЦЕПЛЕНИЯ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС»

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Минский тракторный завод (МТЗ)

В статье рассмотрены проблемы повышения износостойкости и ресурса узлов сцепления трактора «Беларус» с использованием разработанной технологии лазерной поверхностной закалки

Многолетняя эксплуатация тракторов производства РУП «Минский тракторный завод» показала, что тракторная техника может эксплуатироваться в течение 25–30 лет с минимальными затратами на техническое обслуживание и ремонтные издержки. Средняя наработка на отказ по сравнению с тракторами Российского производства: ЛТЗ-155А, ЛТЗ-60АВ, К-700, К-70 и отечественных тракторов: МТЗ-80, МТЗ-82, МТЗ-1221, МТЗ-1522 почти в 2–2,5 раза превосходят Российские. Сравнительный анализ эффективности тракторов МТЗ-80 и МТЗ-82 с аналогичными тракторами фирмы «John Deere» (США) моделей 6200 и 6200 со всеми ведущими колёсами показали несравненное преимущество отечественной техники. По таким параметрам, как: безотказность, цена, стоимости одного мотто-часа, отечественная техника дешевле тракторов фирмы «John Deere» в 5 раз. Затраты на ремонтные работы тракторов производства США в 5,5 раз больше, чем тракторов «Беларус» [1].

Учитывая новизну конструкции механизмов узлов сцепления и жёсткие требования к прочностным, износостойким характеристикам, сохранению линейных размеров детали разработка технологии термоупрочнения с использованием современной лазерной техники является крайне актуальной проблемой.

Исследования процессов лазерного термоупрочнения осуществлялись с помощью лазерной установки непрерывного излучения «Комета-2» мощностью 1,5 кВт с длиной волны излучения 10,2 мкм.

Для точного позиционирования и перемещения образцов и деталей в процессе закалки использовалась установка с ЧПУ марки РУХ-4. Мощность излучения в процессе экспериментов находилась в пределах 1 - 1,2 кВт при среднем диаметре пятна нагрева 2,5 - 3 мм.

Исследования параметров структуры металла осуществлялись с использованием металлографического структурного анализа шлифов на микроскопе «Mef-3» фирмы «Reichert» (Австрия). Измерение микротвердости зон упрочнения проводились с помощью микротвердомеров ПМТ-3, а также «Micromet-П» при нагрузке 100 и 200 г и времени экспозиции 10 с по ГОСТ 9450-76. Измерение линейных размеров зон упрочнения осуществлялось на бинокулярном микроскопе МБС-9, снабженном микрометрической оптической линейкой с ценой деления 0,01 мм.

Шероховатость поверхности образцов измерялась профилографом-профилометром мод.252А завода «Калибр». Износостойкость исследована на машине трения СМТ-1 по схеме «диск-колодка», в условиях граничной смазки в масле «Индустриальное-20».

В процессе упрочнения деталей барабанных механизмов узлов сцепления, основным технологическим требованием является сохранение линейных размеров и формы деталей в пределах поля допусков. Поле допусков отклонения линейных размеров детали, в результате предшествующей термообработки, не должно превышать величину от 0,01 мм до 0,07 мм. Учитывая сложную конфигурацию деталей (Рис. 1 а, б) к процессу лазерного термоупрочнения торцевых поверхностей предъявляются жёсткие требования. Изменения линейных размеров контролируется в нескольких направлениях, основными из которых, является радиальное смещение упоров относительно центра, а также изменение расстояния между пазами упоров дисков сцепления.

В спаренном барабане имеется 8 пазов, между которыми необходимо соблюдать строго фиксированное расстояние, с учётом допустимых размеров 25-0,2 мм. Внутри барабана размещены диски сцепления (рис. 2.), изготовленные из закаленной стали 65-Г, одни из которых являются ведущими, а другие ведомыми. В процессе работы диски сцепления обеспечивают фрикционное взаимодействие и крутящий момент на центральной силовой вал привода трактора. Концы дисков упираются в торцевые стенки детали «Барабан 2822 – 1701070» и свободно перемещаются внутри пазов без перекосов и заклинивания, вызывая повышенный износ торцовых поверхностей барабана.

Для обеспечения необходимого скольжения дисков по поверхности упоров рельеф и шероховатость поверхности торцов барабанного механизма должны отвечать заданным требованиям, что определяется предварительной механической обработкой пазов барабана. Механическая обработка торцовых поверхностей барабанов осуществляется на финишных операциях методом чистового фрезерования, что обеспечивает формирование микрорельефа поверхности Hmax до 32-35 мкм. Величина минимальной твёрдости упрочнённых поверхностей, должна быть не ниже 47 HRC. С целью повышения прочностных и износостойких свойств деталей узлов сцепления на РУП «МТЗ» было опробовано несколько методов термоупрочнения, включая объёмную закалку деталей и нагрев ТВЧ. Использование объёмного нагрева было полностью исключено в связи с очень сильным искажением формы, короблением, деформацией и окислением металла в результате высокотемпературного (до 900- 950°С) нагрева в окислительной воздушной атмосфере.

Технология закалки торцов барабанов с помощью индуктора ТВЧ, вводимого в пазы барабана, позволила получать закалённые слои металла с относительно невысокой твёрдостью. Основной проблемой, возникающей вследствие предшествующей термообработки, являлось изменение формы детали за счёт деформации упоров барабана.

Нами были проведены исследования по замене энергоёмкого, малопроизводительного процесса закалки ТВЧ на использование локального высококонцентрированного теплового источника – лазерного нагрева. Сфокусированный лазерный луч с помощью фокусирующей водоохлаждаемой головки перемещается вдоль торцов детали с заданной скоростью. Основные параметры процесса лазерного термоупрочнения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры процесса лазерного термоупрочнения

Выходная мощность лазера (кВт)	Диаметр пятна нагрева (мм)	Скорость движения пятна (мм/мин)	Длина упрочняемых упоров (мм)	Средняя величина микротвердости (МПа)	Микроструктура металла
1,0-1,1	3,0-3,5	1300	75 мм - с одной 75 мм - с другой стороны	9000-9500	Мелкодисперсный игольчатый мартенсит

С использованием режимов, близких к оптимальным, нами была отработана технология лазерной заправки, обеспечивающая минимальные поправки, изменение формы и размеров детали.

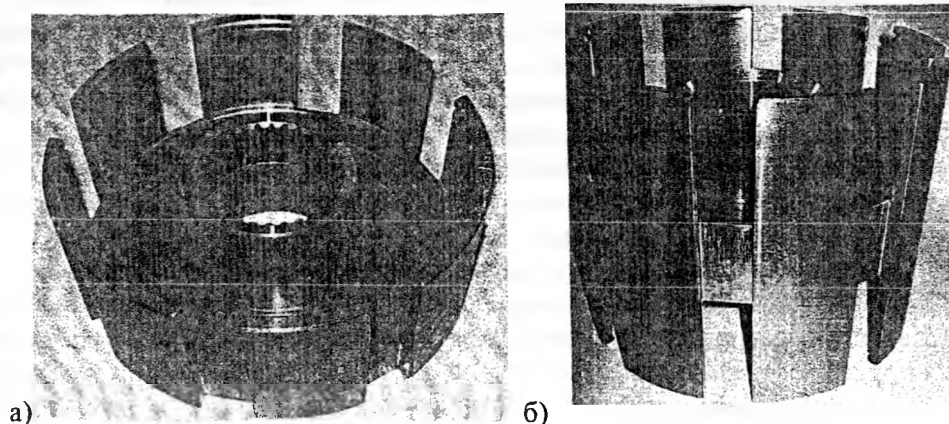
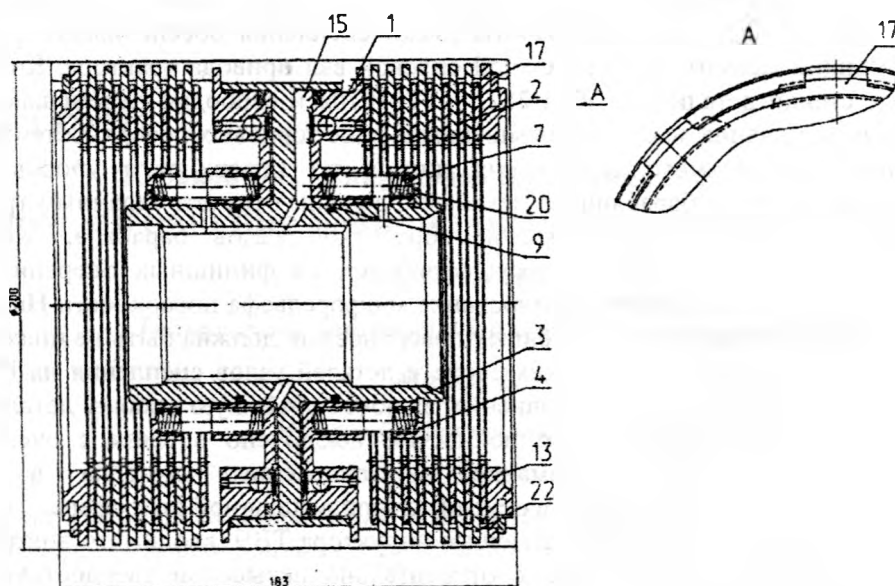


Рис. 1. – Внешний вид одиночного (а) и двойного (б) фрикционного барабана (2822-1701070) узла сцепления трактора «Беларус»



1 – корпус фрикциона; 2- промежуточные диски; 3 – паз кольца; 4 – гидроцилиндр; 7 – пружина; 9 – стопорное кольцо; 13 – упоры дисков; 15 – емкость для масла; 17 – стопорные кольца упоров; 22 – ведущие диски

Рис. 2. – Сборочный чертеж фрикционного механизма узла сцепления, деталь – «фрикцион 2822-1701070»

В таблице 1.2 приводятся результаты замеров двойных (спаренных) фрикционов сцепления. Как видно из полученных измерений, размеры деталей, после лазерного упрочнения, полностью соответствуют требованиям по чертежу и находятся в поле допусков. Почти полное отсутствие изменения линейных размеров после заправки позволяет без дополнительной рихтовки и доводочных операций непосредственно использовать детали для сборки фрикционных механизмов сцепления

Таблица 1.2 – Таблица замеров изменения линейных размеров детали «Барабан 2822-1701070» фрикционного механизма узла сцепления до и после лазерного термоупрочнения

№ раз-мера	Размер по чертежу или техпроцессу	Номер детали / сторона	Действительные размеры				После лазерного термоупрочнения, мм			
			До лазерного упрочнения, мм							
1	25+0,33	1/1	25,0				25,0	25,0	24,98	25,0
							25,01	25,0	25,0	25,01
2	Ø184+0,75	1/2	183,60	183,50	183,62	183,62	183,65	183,45	183,65	183,60
3	25+0,33		25,02-25,04				25,04	25,06	25,01	25,04
4	Ø184+0,75	2/1	25,0-25,02				25,05	25,08	25,10	25,04
							25,02	25,02	24,92	24,98
5	25+0,33	2/2	183,84	183,90	183,74	183,82	183,75	183,85	183,61	183,75
6	Ø184+0,75		183,74 183,76 183,70 183,48				25,6	25,04	25,0	25,02
7	25+0,33	2/2	25,0-25,02				25,01	25,0	25,0	24,96
8	Ø184+0,75						24,92	25,02	25,0	25,0
			183,44	183,62	183,72	183,72	183,33	183,61	183,69	183,65

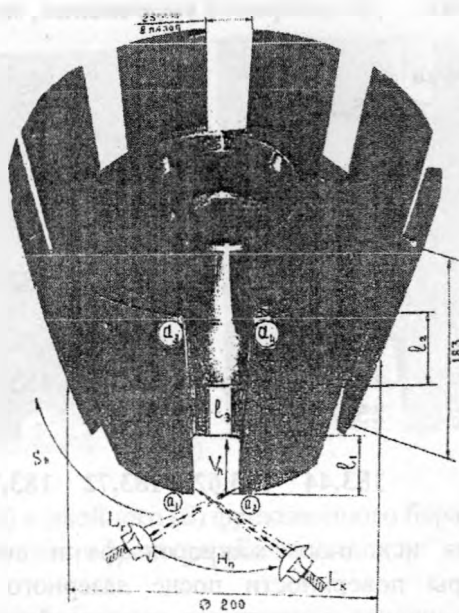
Исследование влияния исходного микрорельефа и состояния поверхности упрочняемых деталей, а также параметры поверхности после лазерного термоупрочнения имеют большое практическое значение при анализе контактного взаимодействия пар трения в процессе реальной эксплуатации.

Лазерное термоупрочнение металлов можно рассматривать как специфический метод обработки материалов, в результате которого происходит значительное изменение профиля поверхности и шероховатости от первоначальных значений с одновременным изменением структурных, фазовых, физико-механических и износостойких свойств металла [2]. При закалке стали 45 из твёрдой фазы, поверхность деталей определяется предшествующей механической обработкой и практически не изменяется при лазерной обработке. Величина наибольшего выступа H_{max} составляла 17,5 мкм, глубина наибольшей впадины H_{min} – 17,7 мкм. Параметры записи профилограмм осуществлялись при вертикальном увеличении ($\times 1000$), горизонтальном ($\times 50$) при скорости перемещения датчика 6 мм/мин. Следует отметить, что лазерная термообработка с оплавлением поверхности способствует значительному изменению профиля поверхности и шероховатости.

В зависимости от режимов закалки значения R_z , а также H_{max} и H_{min} существенно изменяются. В любом случае наибольший практический интерес представляет оценка влияния величины H_{max} на фактическую площадь опорной поверхности взаимодействующих пар трения. В нашем случае такой парой служат поверхности промежуточных дисков и торцевые поверхности барабана сцепления. Учитывая рельеф поверхности, фактическая площадь касания контактирующих поверхностей будет меньше номинальной. По нашим оценочным данным фактическая площадь касания сопряжённых поверхностей может составлять 75-80 % от номинальной площади.

С использованием разработанной технологией лазерного термоупрочнения нами были упрочнены 5 барабанов узла сцепления и произведены замеры деталей до и после лазерной термообработки. Лазерное термоупрочнение осуществлялось по технологической схеме показанной на рис. 3. В процессе закалки деталей, упрочнялось 16 поверхностей в верхней части и 16 поверхностей в нижней части детали, при общей длине упрочняемой торцевой поверхности 183 мм. Замерами микротвёрдости упрочнённых поверхностей на образцах-свидетелях было установлено, что средняя твёрдость поверхности пазов составляет 9500-9800 МПа, что удовлетворяет требованиям заданной твёрдости металла. В результате, фазовых, структурных и аллотропических превращений происходящих в металле при высокоскоростном (104-108°C/c) лазерном нагреве и охлаждении [3]. В приповерхностной зоне металла формируется слой, состоящий, в основном, из мелкодисперсного игольчатого мартенсита, обладающего высокой твёрдостью и износостойкостью (рис. 4.). Микроструктура зон термоупрочнения имеет слоистое строение, состоящее из мартенситной структуры (рис. 5.), ниже которой расположена переходная область состоящая частично из мартенсита и ферритно-цементитной фазы, а ниже слой из зернистого перлита.

Измерением износостойкости закалённого металла было установлено, что в результате лазерной закалки стали 45 из твёрдой фазы по расчётным данным коэффициента стойкости $K_{см}$ стойкость металла к изнашиванию в условиях трения с граничной смазкой, возрастает до 3 раз.



a_1 и a_2 – установка исходной позиции лазерного луча; l_1 и l_2 – длина упрочняемых поверхностей; V_n – скорость перемещения лазерного луча по поверхности упоров; L_r – лазерная фокусирующая головка; L_k – лазерный кабель транспортировки излучения; S_n – направление вращения детали; H_n – установка положения лазерной головки

Рис. 3. – Технологическая схема лазерного термоупрочнения детали «барабан 2822-1701070» фрикционного механизма узла сцепления трактора

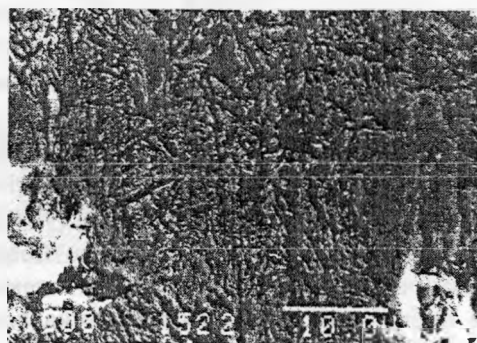


Рис. 4. – Микроструктура поверхности стального образца (сталь 45) после лазерной закалки. x 1800. Электронная сканирующая микроскопия

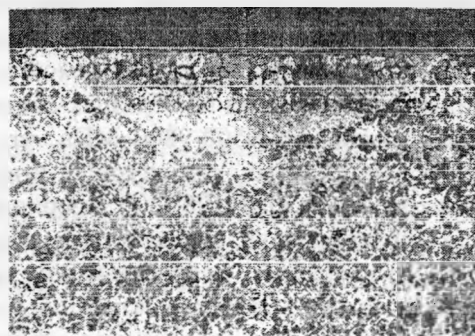


Рис. 5. – Слоистая структура упрочненного слоя. Состоит из структурных зон: мартенсит, мартенситно-ферритно-цементная смесь, зернистый перлит. Сталь 45, x 270

Стендовые испытания упрочнённых деталей в испытательном цехе РУП «МТЗ» (с. Обчак) при количестве циклов испытаний 2000 -- показали полное отсутствие следов износа на упрочнённой поверхности упоров.

На предприятии РУП «МТЗ» при освоении технологии лазерной закалки деталей будет использован лазерный автоматизированный комплекс mls-2-3df-b производства компании «Рухсервомотор» (Беларусь), укомплектованный иттербиевым волоконным лазером ЛС-2 производства НТО «ИРЭ-Полюс» (Россия). Использование многокоординатного лазерного комплекса отечественного производства взамен планировавшейся ранее 6-ти осевого робота манипулятора производства фирмы KUKA типа KR30NA (Германия) позволило на 30% уменьшить стоимость закупаемого технологического оборудования. Второй вариант соответствует разработанному нами эскизному проекту, и рекомендациям РУП «МТЗ» на технологическое оборудование лазерного комплекса.

Использование многокоординатного лазерного комплекса с числовым программным управлением и электроавтоматикой позволит осуществлять лазерное термоупрочнение деталей широкой номенклатуры.

Технология лазерного упрочнения, разработанная в НИИЛ плазменных и лазерных технологий НИЧ БНТУ, позволяет осуществлять закалку трёх модификаций узлов сцепления, увеличить износостойкость деталей до трёх раз, повысить надёжность и безотказность работы тракторной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шпилько В.В. Драгайцев В.И.. зарубежная сельскохозяйственная техника. Нормативно-справочный материал для определения экономической эффективности. – М.: МСХП РФ, 1997. 2. Кобяков О.С., Спиридонов Н.В. Каленик А.М.. Технологические особенности лазерного термоупрочнения внутренних плоских поверхностей деталей машин лучом лазера / В сб. «Теория и практика машиностроения». – УП «Технопринт», №2/ 2005. – с.10 – 13. 3. Тарасова Т.В., Сайдумаров К.В., Кривоушина О.А. Разработка научных основ процессов лазерного моделирования поверхностей сталей и сплавов/ ГОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана». М: – с.371 – 382.

УДК 621.95

Колесников Л.А.

УЧЕТ ЗАПАЗДЫВАНИЯ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ОТ ТОЛЩИНЫ СРЕЗА ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Проведено математическое моделирование эксперимента по срезанию синусоидального выступа. Показано, что экспериментально наблюдаемое отставание силы резания от толщины среза объясняется колебательными свойствами системы, а не специфическими явлениями в зоне резания. Предложено не учитывать запаздывания силы резания при математическом моделировании процессов резания.

Отставание силы резания от толщины среза (запаздывание) в теории резания представляется одной из главных причин возникновения вибраций при обработке лезвийным инструментом [1, 2]. Общепринято, что причиной запаздывания являются специфические процессы, происходящие в зоне резания.

Классический подход для определения величины запаздывания силы при резании описан в работе И.Г. Жаркова [3]. Он включает в себя синхронное измерение силы резания и толщины среза при обработке поверхности с выступами различной формы. Запаздывание силы резания, измеренное в ходе этих экспериментов, достигает величины 3...5 миллисекунд. Такие относительно большие значения могут вызывать парадоксальные результаты при математическом моделировании процессов резания. Поэтому возникает необходимость найти другое объяснение полученным результатам.

Для этого проведем анализ результатов экспериментов [3] по определению запаздывания силы резания от толщины среза. Модель системы «резец – деталь – датчик силы», использованной при