

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ, ПРОЧНОСТНЫЕ И ИЗНОСОСТОЙКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ, ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОНКРЕТНЫМ ЗАДАЧАМ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Кобяков О. С., Спиридонов Н. В., Кардаполова М.А.,
Баркун А. А., Кукин С. Ф.**

*Белорусский национальный технический университет, Минск,
Минский тракторный завод*

Производственное объединение «Минский тракторный завод» (ПО «МТЗ»), за более чем полувековую историю с момента его организации, на сегодняшний день является одним из крупнейших производителей сельскохозяйственной техники. На предприятии освоено производство 62 моделей тракторов для эксплуатации в различных климатических условиях и климатических зонах [1].

Как показывает анализ современного состояния и перспектив развития упрочняющих технологий, технический прогресс в этой области не возможен без использования современных инновационных технологий и аппаратуры.

С этой целью на РУП «МТЗ» намечена организация производственного участка лазерного термоупрочнения деталей подверженных повышенному изнашиванию в процессе эксплуатации.

К таким деталям, в частности, относятся детали разработанной новой конструкции узлов сцепления фрикционных механизмов – (деталь – «барабан» - 2822 - 1701070 и 2822 – 170-13-72) трактора, в которых повышенному изнашиванию подвержены торцевые поверхности барабана.

Традиционные технологические методы термоупрочнения такие, как объемная закалка и закалка ТВЧ не обеспечивают необходимых прочностных и износостойких свойств, а также приводят к короблению, изменению линейных размеров и формы деталей.

С учетом этих обстоятельств, с целью повышения прочностных износостойких и эксплуатационных свойств деталей, актуальным становится разработка технологии лазерного термоупрочнения, обеспечивающая минимальные изменения формы, линейных размеров и коробление деталей фрикционных механизмов узлов сцепления.

Исследования процессов лазерного термоупрочнения на образцах и деталях осуществлялись с использованием лазерной установки непрерывного излучения «Комета-2» мощностью 1,5 кВт с длиной волны излучения 10,2 мкм. Перемещение образцов и деталей в процессе закалки проводилось на установке с ЧПУ марки РУХ-4. Мощность излучения в процессе экспериментов составляла 1,1 – 1,2 кВт, а пятно нагрева 2,5 – 3,0 мм.

Металлографические исследования осуществлялись с использованием оптических микроскопов «Mef-3» фирмы «Reichert»(Австрия) и «Neofot-21» (Германия). Микротвердость зон упрочнения измерялась на микротвердомерах ПМТ-3 и «Micromet-II» при нагрузке 100 и 200г при времени экспозиции 10 с, по ГОСТ 9450-76. Изменения линейных размеров контролировались измерительным инструментом с ценой деления 0,01 мм. Шероховатость поверхности определялись профилографом-профилометром модели 252-Н завода «Калибр». Испытания на износостойкость осуществлялись на машине трения СМТ-3 по схеме «диск – колодка» при нагрузке от 8,0 до 10,0 кгс при линейной скорости скольжения 0,6 м/с и количество циклов испытаний до $5 \cdot 10^7$. Испытания проводились в масле индустриальном 20. Контртелом служили образцы из стали

65-Г твердостью 56-58 HRC. Использование данного металла обусловлено условиями взаимодействия пар трения в узлах сцепления, близких к реальным.

В процессе упрочняющей термообработки деталей барабанных механизмов узлов сцепления основными технологическими требованиями являются: сохранение линейных размеров и формы деталей в пределах поля допусков, не превышающих величину от 0,01 до 0,07 мм., обеспечение минимальной твердости упрочняемых поверхностей трения не менее 47 единиц HRC.

Учитывая сложную конфигурацию деталей барабанных механизмов изменение линейных размеров после лазерного термоупрочнения контролируется в нескольких направлениях. Основными являются: радиальные смещения упоров относительно центра, а также изменение расстояния между пазами упоров дисков сцепления.

Спаренный (двойной) барабан (2228-1701070) имеет 8 пазов, между которыми фиксированное расстояние составляет $25^{-0,2}$ мм. Жесткие требования к изменению линейных размеров обусловлены конструктивными особенностями барабанных механизмов, внутри которых размещены ведущие, и ведомые диски из закаленной стали 65Г. Общее количество дисков достигает 14 штук с одной стороны барабана и 14 дисков с другой стороны.

В процессе работы узла сцепления диски обеспечивают фрикционное взаимодействие и передают крутящий момент на силовой вал привода трактора. Концы ведущих дисков упираются в торцовые стенки барабана, вызывая повышенный износ. Скольжение дисков по поверхности пазов упоров обеспечивается заданными по чертежу параметрами рельефа и шероховатостью поверхности, которая должна быть в пределах Ra-5 мкм.

С целью повышения износостойких свойств деталей узлов сцепления на РУП «МТЗ» было опробовано несколько методов термообработки, включая закалку с объемным нагревом и с нагревом ТВЧ. Использование объемного нагрева было полностью исключено, в связи с очень сильным искажением размеров и формы деталей, а также окислением поверхности в результате высокотемпературного (900-950°C) нагрева в окислительной воздушной атмосфере. Закалка торцов с помощью плоского индуктора, вводимого в пазы барабана, позволяет получать закаленные слои с относительно невысокой твердостью. Нагрев с использованием ТВЧ часто приводит к изменению формы и требуемых линейных размеров от реальной поверхности или реального профиля формы лимитируемых в соответствии с требованиями ГОСТ 24642-8. В связи с этим, значительное количество деталей не попадают в поле допусков, по диаметру или расстояниям между пазами и отбраковываются.

Нами были проведены исследования по замене энергоемкого, малоэффективного процесса закалки ТВЧ на использование локального высококонцентрированного лазерного источника нагрева.

В результате лазерного термоупрочнения торцовых поверхностей упоров барабанных механизмов двойного узла сцепления модели 2822-17010170 были проведены замеры линейных размеров взаимного расположения упоров барабана относительно центра и пазов детали в соответствии с требованиями по чертежу.

Замеры линейных размеров фрикционных механизмов узлов сцепления до процесса термоупрочнения и после лазерной обработки показали, что линейные размеры деталей находятся в поле допусков и соответствуют требованиям размеров по чертежу.

При закалке металла на режимах с подплавлением поверхности, наблюдается изменение микрорельефа поверхности за счёт уменьшения среднеарифметического отклонения профиля Ra, а также уменьшения высоты микронеровностей Rz и увеличения радиусов округления вершин, сформировавшихся в результате механической обработки.

При закалке стали 45 из твердой фазы поверхность деталей определяется предшествующей механической обработкой и после лазерной закалки не изменяется.

Наибольший практический интерес представляет оценка влияния величины H_{\max} на фактическую площадь опорной поверхности взаимодействующих пар трения. По нашим оценочным данным фактическая площадь касания сопряжённых поверхностей трения составляет 75–80% от номинальной площади.

Для создания оптимальной величины опорной поверхности было рекомендовано ввести дополнительную механическую финишную обработку поверхностей упоров деталей шлифованием. Это обеспечит площадь опорной поверхности близкую к номинальной. Устранение микронеровностей не существенно отразится на износостойких свойствах упрочнённого слоя, толщина которого составляет 0,95–1,1 мм.

Исследования влияния глубины упрочнённого слоя (h) в зависимости от скорости (v) перемещения зоны нагрева, показывало, что уменьшение скорости перемещения зоны приводит к увеличению глубины (h) закалённого слоя. Однако микротвёрдость металла при этом уменьшается. Например, при скорости $v > 0,7$ м/мин микротвёрдость стали 45 на 1500–2000 МПа превышает микротвёрдость, полученную традиционными методами закалки с объёмным нагревом металла.

При скорости $v < 0,7$ м/мин наблюдается значительное уменьшение микротвёрдости. По-видимому, это связано с тем, что при определённых скоростях нагрева, $v > 10^4$ С/с, начинает преобладать бездиффузионный механизм $\alpha \rightarrow \gamma$ – превращений с последующей рекристаллизацией γ -фазы. При этом скорость зарождения аустенита становится соизмеримой и даже превосходит скорость роста его зёрен [2, 3], в результате чего, формируется структура мелкоигольчатого мартенсита.

Превращение «перлит – аустенит» происходит при этом, преимущественно, в рамках перлитных колоний, благодаря чему имеет место неравномерное распределение углерода, что характерно для сверхскоростных методов нагрева и, прежде всего, лазерного [2]. Эти особенности обуславливают высокую твёрдость мартенсита.

В случае использования лазерного излучения, поверхностный нагрев осуществляется за время порядка 10^{-3} с. Распределение теплоты происходит за счёт теплопроводности в глубь детали. Например, при закалке углеродистых сталей 35, 40, 45, 40ХН и ряда других с подплавлением поверхностного слоя – формируется зона, состоящая из дисперсного мартенсита твёрдостью $H_{100} - 10000-12000$ МПа. Непосредственно под верхним слоем располагается слой крупноигольчатого мартенсита, средняя твёрдость которого достигает $H_{100} - 10000$ МПа, а далее расположена переходная зона, состоящая из мартенсита и феррита твёрдостью до $H_{100} - 8000$ МПа. Такая слоистая структура закаленного металла способствует тому, что возникающие при закалке напряжения компенсируются многослойной структурой металла, что не приводит к короблению и изменению линейных размеров и формы деталей. При закалке из твёрдой фазы без подплавления поверхности, возрастает предел выносливости металла на изгиб до 70–80% и контактной выносливости на 60–70%, в связи с формированием мартенситной структуры с высокой степенью дисперсности [4].

С уменьшением скорости перемещения пятна нагрева мгновенные значения температуры на поверхности возрастают и по расчётным и экспериментальным данным [6] температура на поверхности может достичь 1300-1400 С. Одновременно возрастает и длительность выдержки металла при высокой температуре, а скорость охлаждения уменьшается, что в конечном итоге способствует значительному снижению микротвёрдости упрочнённого слоя [3,5].

Как показали экспериментальные исследования и анализ формирования зон лазерного термоупрочнения глубина зон термоупрочнения и микротвёрдость металла, прежде всего, определяются скоростью движения зоны нагрева.

При формировании зон закалки в диапазоне скоростей (250, 300, 500, 800 мм/мин) основной наблюдаемой закономерностью является уменьшение глубины закалённого слоя с увеличением скорости пятна нагрева с одновременным изменением микротвёрдости металла.

Как показали измерения, наиболее оптимальной скоростью перемещения пятна нагрева будет диапазон скоростей в пределах 1100–1200мм/мин. При этом глубина закали составляет 1,1–1,5 мм с максимальной твёрдостью до 9000 МПа.

Таким образом, в результате проведенных исследований нами было упрочнено 5 штук деталей барабанных механизмов узлов сцепления. Разработанная технология лазерной закалки обеспечивает минимальные изменения формы и линейных размеров деталей и способствует повышению износостойких (до 2,5–3 раз) и эксплуатационных свойств деталей.

Производственные испытания упрочнённых деталей в испытательном цехе РУП «МТЗ» (с. Обчак) показали хорошие результаты. Стендовые испытания упрочнённых лазером деталей (при общем количестве циклов до 2000) показали полное отсутствие следов износа торцовых поверхностей деталей узлов сцепления при сохранении линейных размеров и формы детали в пределах существующих допусков.

В результате проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлено преобладающее влияние скорости зоны нагрева на глубину закалённого слоя в диапазоне скоростей от 250 до 200мм/мин. Показано, что при скорости 1100-1200мм/мин микротвёрдость закалённого слоя достигает значений 9000 МПа при толщине слоя 1,1–1,5мм.

2. Микрорельеф и шероховатость поверхности существенно влияют на площадь опорной поверхности сопряжённых пар трения, фактическая площадь которой составляет 75–80% от номинальной.

3. Установлено, что жесткие требования, предъявляемые к изменению линейных размеров и формы деталей узлов сцепления, могут быть обеспечены в случае использования технологии лазерного упрочнения деталей фрикционных механизмов узлов сцепления тракторов «Беларус».

Список использованных источников

1. Ильющенко А.Ф., Крупец Л.Н., Киреев П.Н. Сотрудничество НАН Беларуси и ПО «МТЗ». Разработка и внедрение новых материалов и технологий. В сб. научных докладов «Порошковая металлургия в автотракторном машиностроении», ГНУ ИПМ, Минск-2007.- С.30-33.
2. Кидин И.Н. – Фазовые превращения при ускоренном нагреве стали. – М.: Металлургиздат, 1957. – 45 с.
3. Хрущев М.М. – Закономерности абразивного изнашивания // Износостойкость. – М.: Наука, 1957. – Вып.3. – с 5-28.
4. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н.В.Спиридонов, О.С.Кобяков, И.Л.Куприянов. Изд. «Вышэйшая школа», Мн., 1988, 155 с.
5. Блантер М.А., Гольденберг А.А. Термическое упрочнение низкоуглеродистой нелегированной стали. – М.: - Машиностроение, 1967. – 40 с.
6. Физические основы электротермического упрочнения стали / В.Н.Гриднев, Ю.Л.Мешков, С.Л.Ошкадеров, В.Л.Трефилов. – Киев : Наук. Думка, 1973. – 335 с.