

УДК 669.018.8+621.78

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2018.82.0.68

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА ВАЛИКОВ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРА

Дощечкина И.В., Лалазарова Н.А., Германенко Л.В., ХНАДУ

Аннотация. Предложена замена нитроцементации валиков поверхностной закалкой, что позволит существенно увеличить долговечность изделий и увеличить ресурс, сократить количество операций обработки, повысить продуктивность, улучшить условия труда и экологические показатели, получить значительный экономический эффект.

Ключевые слова: валики, трение, износостойкость, нитроцементация, индукционная закалка, микроструктура, твердость, ресурс.

Введение

Роль тракторостроения в техническом вооружении народного хозяйства, в его дальнейшем развитии чрезвычайно велика. Эта отрасль должна обеспечить народное хозяйство более совершенными и надежными машинами в соответствии с потребностями современной техники, характерными особенностями которой является повышение скорости движения машин и механизмов, рост мощностей, увеличение нагрузок.

Тракторы – это в целом надежные конструкции, которые эксплуатируются десятки лет, но имеют проблемные узлы (или детали), эксплуатационная устойчивость которых зачастую ниже необходимого моторесурса. По статистике до 75% отказов тракторов приходится на коробку передач. Из них до 25% отказов является следствием неудачного выбора материала детали и некачественной термической обработки его. Основной причиной досрочного выхода из строя деталей машин, в большинстве случаев (до 80%), является интенсивный износ. Значительный износ приводит к необходимости снижать нагрузку на поверхности, подлежащие трению, увеличивать расходы на ремонт и изготовление запасных частей (на материалы, электроэнергию, рабочую силу).

Износостойкость – это важнейшая эксплуатационная характеристика деталей машин, работающих в условиях трения, от которой зависит долговечность детали, узла, агрегата в целом.

Все сказанное свидетельствует, что проблема повышения износостойкости изделий является чрезвычайно острой.

Увеличение эксплуатационного ресурса деталей машин при одновременном уменьшении стоимости изготовления и улучшении

экологических показателей является безусловно актуальной задачей, которую и решал автор работы.

Состояние вопроса

Как известно, поверхностная закалка изделий с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ) обладает целым рядом технологических преимуществ: резкое сокращение времени процесса обработки и повышение производительности, отсутствие окисления и коробления изделий, возможность механизации и автоматизации процесса, улучшение экологии и культуры производства. Наряду с этим такой вид обработки обеспечивает существенное повышение эксплуатационных свойств и долговечности обрабатываемых деталей.

В настоящее время в автомобиле- и тракторостроении объем деталей, упрочняемых поверхностной закалкой с нагревом ТВЧ, превышает 60 % от общей массы упрочняемых деталей [1–4].

Цель и постановка задачи

Целью данного исследования явилось повышение эксплуатационного ресурса валиков переключения передач трактора. Для этого была поставлена задача изучить возможности замены химико-термической обработки на индукционное поверхностное упрочнение валиков, эксплуатирующихся в условиях трения, интенсивного износа, значительных удельных нагрузок.

Влияние поверхностной закалки на повышение износостойкости валиков

В процессе эксплуатации валик при переключении скоростей перемещается вдоль оси и стопорится фиксатором, который входит в

зацепление с валиком в лунке. На участке сопряжения боковой поверхности лунки с фиксатором действуют значительные контактные давления. Такие условия работы диктуют необходимость получения высокой твердости на сопряженных поверхностях.

Валик изготавливается из стали 20Х. Для обеспечения износостойкости и сопротивле-

ния контактными нагрузками рабочие поверхности лунки валика в заводских условиях подвергаются нитроцементации с последующей закалкой и низким отпуском.

Технологический процесс обработки деталей (рис. 1) сложный (состоит из 9 операций) и очень длительный (~ 20 часов).

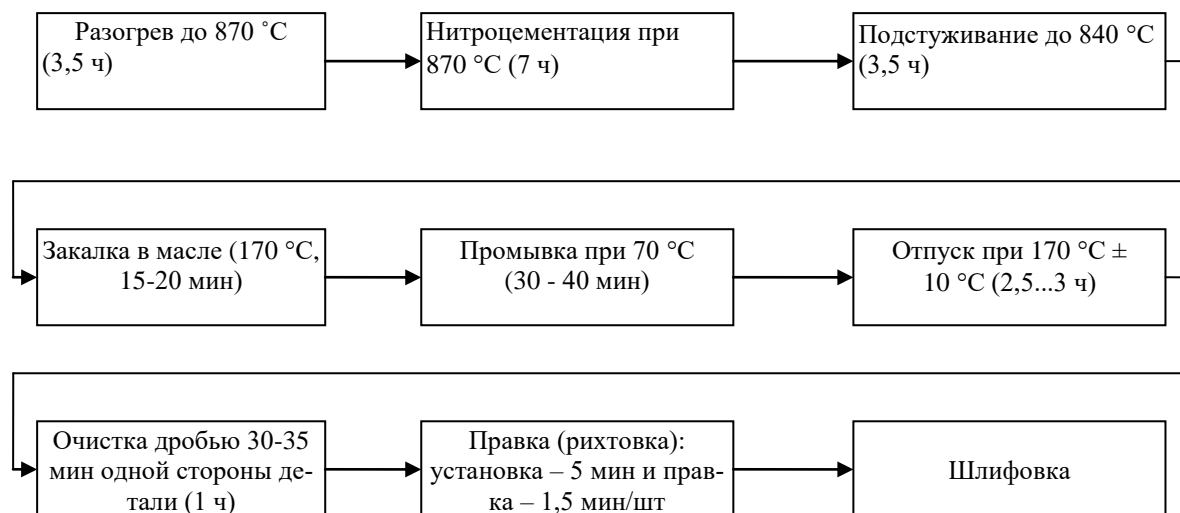


Рис. 1. Технологический цикл обработки валиков в заводских условиях

Требуемый эксплуатационный ресурс валиков по условиям завода составляет 8000 мото-часов, а фактически при активном использовании деталь работает не более 5000, а чаще менее 2000 часов.

Выборка основной массы деталей производится по причине значительного износа и разрушения в местах контакта фиксатора и валика (боковые поверхности и края лунки) и смятия между лунками (рис. 2). Также наблюдается износ цилиндрической поверхности валика при передвижении его вдоль оси в корпусе коробки передач.



Рис. 2. Общий вид вышедшего из строя валика коробки передач

Установлено, что непосредственно после нитроцементации твердость рабочих поверхностей (60 – 62 HRC) соответствовала требованиям технических условий. Однако при исследовании обнаружено существенное различие (~ в 2 раза) глубины упрочненного

слоя по диаметру валиков и по их длине как для одного и того же валика, так и от детали к детали.

Валики имеют диаметр 23 мм и длину 192 мм. Закалка после нитроцементации деталей с большим отношением длины к диаметру приводит к короблению, особенно если они погружаются в охлажденную среду не вертикально. Это требует, несмотря на операцию рихтовки, значительного съема металла при шлифовке. В результате механической обработки удаляются наиболее твердые поверхностные слои, которые обеспечиваются нитроцементацией. Это приводит к тому, что валик эксплуатируется с существенно более низкой твердостью поверхности, что и объясняет интенсивный износ рабочего слоя.

В связи со сказанным представляется рациональным упрочнять поверхность валика вместо нитроцементации поверхностной индукционной закалкой, заменив при этом сталь 20Х на среднеуглеродистую сталь 40Х.

Кроме указанных выше преимуществ, индукционная закалка обеспечивает:

- стабильность упрочненного слоя как по глубине, так и по твердости;
- сокращение времени процесса обработки детали до 60 с;

- получение более мелкого зерна в поверхностном слое, что улучшает комплекс механических характеристик;

- благоприятную эпюру поверхностных остаточных сжимающих напряжений, что способствует повышению надежности деталей в эксплуатации;

- значительное уменьшение тепловложения, поскольку нагревается всего около 5 % общего объема металла детали, что приводит к снижению затрат электроэнергии;

- улучшение экологической обстановки.

Таким образом, замена нитроцементации поверхностной закалкой оправдана как с точки зрения улучшения эксплуатационных характеристик, так и из экономических и экологических соображений.

Трудность использования индукционной закали в данном случае заключается в том, что наличие лунок искажает распределение электромагнитного поля, а следовательно, теплового потока в детали. Различается также и интенсивность отвода тепла от выступа и впадины. В результате закаленный слой может оказаться неравномерным.

Следует отметить, что валики по количеству лунок (2 или 3) и их расположению неидентичны. На одних лунки удалены друг от друга на 3-5 мм, на других разнесены на расстояния от 14 до 48 мм. Расположение лунок от торца валиков колеблется от 3 до 78 мм. Эти обстоятельства вносят в параметры процесса для каждого отдельного случая.

Для исследований валики изготавливали из стали 40X. Ставилась задача обеспечить глубину закаленного слоя рабочих поверхностей не менее 2 мм с твердостью на поверхности 60 – 62 HRC. Поскольку фиксатор при эксплуатации не касается дна лунки, допускалось наличие незакаленного слоя на расстоянии от дна лунок не более 5 мм.

Для исследований были выбраны наиболее нагруженные валики, имеющие неблагоприятное для закали расположение лунок на очень близком расстоянии (~ 3 мм) друг от друга.

Поверхностное упрочнение деталей производили на высокочастотной установке с питанием от генератора при частоте 8000 Гц и максимальной мощностью 100 кВт.

Учитывая, что деталь длинная, нагрев осуществлялся непрерывно-последовательно и равномерно. Для этого валик вращался в поле индуктора, который перемещался снизу вверх с определенной скоростью, последова-

тельно нагревая один участок поверхности за другим. Деталь охлаждалась водой помощью душирующего устройства.

После поверхностной закали определяли глубину закаленного слоя и твердость на цилиндрической части валика и на вершинах выступов, также изучали микроструктуру в продольном и поперечном сечении детали. Результаты выполненных нами экспериментальных исследований приведены в табл. 1.

Сопоставление твердости с макро- и микроструктурой валиков позволило установить, что обработка по режиму 1 (мощность 17 кВт) вообще не приводит к структурным превращениям в поверхностных слоях. Твердость остается на исходном уровне.

При обработке по режиму 2, несмотря на увеличение мощности до 23 кВт, имеет место недогрев, в результате чего карбиды не успевают раствориться в аустените. Это приводит к низким значениям твердости и большому ее разбросу.

Обработка по режиму 3 (за счет снижения скорости движения индуктора при той же мощности) обеспечивает более полное насыщение аустенита углеродом.

Однако и в этом случае на поверхности наряду с мартенситом, имеющим с твердость 52–55 HRC присутствуют участки с трооститной структурой (твердость 42–45 HRC). Таким образом, и этот режим нельзя считать удовлетворительным.

Обращает на себя внимание, что после обработки по режимам 2 и 3 упрочненный слой неравномерен, имеет размытые границы (рис. 3), что свидетельствует о значительном рассеянии электромагнитного поля.



Рис. 3. Макроструктура валика после обработки по 3-му режиму

Для получения более концентрированного потока энергии, следует уменьшить зазор между индуктором и деталью. Поэтому следующая серия экспериментов была проведена с индуктором диаметром 50 мм (режимы 4 – 5). В варианте 5 была увеличена мощность индуктора. Наиболее высокие значения твердости получены при обработке по режиму 5.

Таблица 1 – Параметры обработки и твердость закалённой поверхности

Режимы	Параметры обработки							Твердость, HRC
	$D_{ин}$, мм	U_r , кВ	I_r , А	τ , с	V , мм/с	P , кВт	ρ_0 , кВт/см ²	
1	70	470	60	60	5,0	17	0,53	20...23
2		550	70	60	5,0	23	0,72	35...48
3		550	70	65	4,5	23	0,60	42...52
4	50	610	110	47	6,6	34	1,05	48...50
5		800	130	75	4,2	57	1,79	57...59
6	40	610	110	58	5,5	34	1,05	60...62

Здесь $D_{ин}$ – диаметр индуктора, U_r , I_r – напряжение и сила тока генератора соответственно, τ – время нагрева, V – скорость движения индуктора, P – мощность генератора, ρ_0 – удельная мощность индуктора/

Однако при обработке по варианту 4 произошла сквозная закалка выступов и образование участков с троосто-мартенситной структурой, имеющих твердость 48-52 HRC, что может привести к хрупкому разрушению

Наилучшие результаты получились при обработке по режиму 5, который обеспечил относительно однородный по толщине упрочненный слой с твердостью 57-59 HRC

Этот режим рекомендуется для обработки валиков.

Можно ожидать еще лучших показателей при уменьшении диаметра индуктора. По известным литературным данным [6] для деталей диаметром менее 50 мм зазор между индуктором и деталью должен быть в пределах 2–5 мм, что приведет к повышению электрического КПД и более концентрированному потоку энергии.

При использовании индуктора диаметром 40 мм получен однородный по толщине упрочненный слой ~2,3 мм на цилиндрической части валика и 3,5 мм на выступах (рис. 4) с твердостью 60-62 HRC, что соответствует эксплуатационным требованиям.

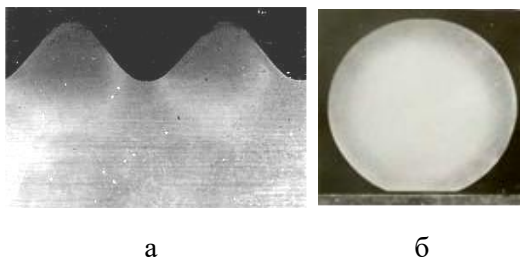


Рис. 4. Макроструктура валика в продольном (а) поперечном (б) сечениях после обработки по 6-му режиму

Использование индукционной закалки взамен нитроцементации существенно сократит технологический цикл обработки де-

талей с 9 операций (рис. 2) до 5 операций (объемная закалка с высоким отпуском для сердцевины, закалка ТВЧ с низким отпуском и шлифовка). При этом значительно уменьшится общая длительность процесса обработки валиков.

Выводы

1. Выполненные эксперименты показали возможность и эффективность упрочнения валиков переключения передач индукционной закалкой взамен нитроцементации.

2. Определены параметры индукционной обработки, обеспечивающей получение требуемой структуры и твердости изделий.

3. Использование индукционной закалки позволит существенно сократить технологический цикл, повысить в 4-5 раз производительность обработки, уменьшить затраты электроэнергии, улучшить условия труда и экологическую обстановку.

4. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения закалки ТВЧ взамен нитроцементации для валиков при объеме 3500 шт. составит около 91000 грн.

Литература

1. Краснокутський В.М. Якість машин: навчально-методичний посібник / В.М. Краснокутський, В.В. Нічке, Г.Г. Пімонов – Харків : ХНАДУ, 2009. – 224.
2. Ремонт машин та обладнання: підручник / О.І. Сідашенко, О.А. Науменко, Т.С. Скобло та ін. – Харків: КП «Міська друкарня», 2010. – 743 с.
3. Ремонт сільськогосподарської техніки: Довідник / В.К. Аветисян, В.А. Бантковський, В.О. Деєв та ін. – К.: Урожай, 1992. – 304 с.
4. Матеріали різного призначення, їх обробка та властивості: навчальний посібник / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, І.В. Пономаренко, С.І. Бондаренко. – Х.: ХНАДУ, 2016. – 148 с.

5. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин : навч. посіб. / А.Г. Фесенко, К.В. Бечке, С.В. Манжेलіівський та ін. – Д.: РВВ ДНУ, 2015. – 104 с.
6. Шепеляковский К.З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве / К.З. Шепеляковский. – М.: Машиностроение, 1972. – 288 с.

References

1. Krasnokutskiy V.M., NIchke V.V., Pimonov G.G. (1981). *Yakist mashin: navchalno-metodichniy posibnik [Quality machines]*. Harkiv: KHNADU [in Ukrainian].
2. Sidashenko O.I., Naumenko O.A., Skoblo T.S. ta in. (2010). *Remont mashyn ta obladnannya: pidruchnyk [Repair of machinery and equipment]*. Kharkiv: KP «Miska drukarnya» [in Ukrainian].
3. Avetisyan V.K., Bantkovskiy V.A., Deev V.O. ta in. (1992). *Remont silskogospodarskoyi tehniki: dovidnik [Repair of agricultural machinery]*. Harkiv: Urozhay [in Ukrainian].
4. Dyachenko S.S., Doshchekina I.V., Ponomarenko I.V., Bondarenko S.I. (2016). *Materialy riznoho pryznachennya, yikh obrobka ta vlastyvoli: navchalnyy posibnyk [Materials of various purposes, their processing and properties]*. Harkiv: KHNADU [in Ukrainian].
5. Fesenko A.H., Bechke K.V., Manzheliyivskiy S.V. ta in. (2015). *Metody poverkhnevo zmitsnennya u protsesi vyhotovlennya detaley mashyn: navch. posib. [Methods of surface hardening in the manufacture of machine parts]*. D.: RVV DNU [in Ukrainian].
6. Shepelyakovskiy K.Z. (1972). *Uprochnenie detaley mashin poverhnostnoy zakalkoy pri induktsionnom nagreve [Hardening of machine parts by surface hardening during induction heating]*. Moskva: Mashynobuduvannya [in Russian].

Дошечкина Ирина Васильевна – к.т.н., доц, кафедра технологии металлов и материаловедения, тел. +38 0951628250, divkhadi@ukr.net.

Лалазарова Наталія Олексіївна – к.т.н., доцент, кафедра технологии металлов и материаловедения, тел.: +38 0953903816, lalaz1932@gmail.com.

Германенко Людмила Вадимовна – магистр, тел. +38 0505968251, germanenko_ludmila@ukr.net, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет.

INCREASING THE RESOURCE OF TRACTOR GEAR OPERATING SHAFTS
Doschekina I.V., Lalazarova N.O., Germanenko L.V., KhNAHU

Abstract. According to statistics, up to 75 % of tractor failure is caused by the gearbox. The main

reason for premature failure of up to 80% of machine parts is intense wear. Of these, up to 20% is the number of failures due to the unsuccessful selection of material of parts and poor quality of its thermal treatment. These details include the gear operating shaft, which is the subject of the research. The decreased by almost 10 times operation life (100 motor-hours instead of the factory-set 8000) is associated with the use of chemical-thermal treatment (CTT), which is inappropriate for thin details of considerable length, moreover, those with a variable section. Volume hardening (an integral process of CTT), causes significant deformation of such parts and the need for finite mechanical treatment, which destroys a significant part of the strengthened surface layer. As a result there is the wear and tear of the surface in conditions of friction, considerable pressure and shock loads. Significant wear results in the need to reduce the load on the surfaces that are subject to friction, increase the cost of repairs and manufacture of spare parts (of materials, electricity, labour). Increasing the long life of the tractor gear operating shafts is definitely a topical task. Increasing the service life of shafts of a gearbox, while reducing the cost of their production and improving environmental performance, is definitely an important task that was solved in this work. The purpose of this work is to solve this acute problem by replacing the CTT with superficial induction hardening, which has undeniable advantages: the stability of the strengthened layer; significant reduction of the processing time; obtaining finer grain of the surface layer, which improves the complex of mechanical characteristics; providing favorable compressive stresses; substantial reduction of the cost of electricity, as it heats up ~ 5% of the total metal parts, improving the environmental situation. In this work, research was carried out on the choice of the steel grade, the diameter of the inductor and the parameters of the technological process of hardening, which provided the necessary structure and hardness to obtain a quality wear-resistant surface layer, which in its properties meets the requirements of production. The replacement of CTT with superficial induction hardening allowed to increase the durability of shafts by 3 times, to reduce the processing time almost twice, to increase productivity, improve environmental conditions, and reduce the cost of parts.

Key words: shafts, friction, wear resistance, nitrocarburizing, induction hardening, structure, hardness, resource.

ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ ВАЛІКІВ ПЕРЕКЛЮЧЕННЯ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРА

Дошечкіна І.В., Лалазарова Н.О., Германенко Л.В., ХНАДУ

Анотація. За статистикою до 75 % відмов тракторів припадає на коробку передач. Основною причиною дострокового виходу з ладу до 80 % деталей машин є інтенсивне зношування. Із

них до 20 % – це кількість відмов, що обумовлені невдалим вибором матеріалу деталі і неякісною термічною обробкою його. До таких деталей відноситься валик переключення швидкостей передач трактора, який і є об'єктом досліджень. Занижений майже в 10 разів експлуатаційний ресурс (100 мото-годин) замість встановлених за технічними умовами заводу 8000) пов'язаний із застосуванням хіміко-термічної обробки (ХТО), яка є недоцільною для тонких деталей значної довжини, та ще й зі змінним перерізом. Об'ємне гартування (невід'ємний процес ХТО), призводить до значної деформації таких деталей і необхідності кінцевої механічної обробки, що знищує значну частину зміцненого поверхневого шару. Як наслідок, знос та змінання поверхні в умовах тертя, значного тиску та ударних навантажень. Значний знос призводить до необхідності знижувати навантаження на поверхні, що підлягають тертю, збільшувати витрати на ремонт і виготовлення запасних частин (на матеріали, електроенергію, робочу силу). Підвищення довговічності валиків КП трактора є безумовно актуальною задачею. Збільшення експлуатаційного ресурсу валиків переключення швидкостей передач трактора при одночасному зменшенні вартості їх виготовлення і поліпшенні екологічних показників є безумовно актуальною

задачею, яка і вирішувалася в даній роботі. Мета даної роботи - вирішення цього гострого питання шляхом заміни ХТО поверхневим індукційним гартуванням, яке має безперечні переваги: стабільність зміцненого шару; значне скорочення часу обробки; отримання більш дрібного зерна в поверхневому шарі, що покращує комплекс механічних характеристик; забезпечує сприятливі стискувальні напруження; суттєво зменшення витрат електроенергії, оскільки нагрівається ~5% загального обсягу металу деталі, поліпшення екологічної обстановки. В роботі проведені дослідження по вибору марки сталі, діаметра індуктора та параметрів технологічного процесу гартування, що забезпечили необхідну структуру та твердість для отримання якісного зносостійкого поверхневого шару, який за своїми властивостями відповідає вимогам виробництва. Заміна ХТО поверхневим індукційним гартуванням дозволила в 3 рази підвищити довговічність валиків, майже ввічі скоротити процес їх обробки і підвищити продуктивність, покращити екологічні умови праці, зменшити собівартість деталей.

Ключові слова: валики, тертя, зносостійкість, нітроцементация, індукційне гартування, структура, твердість, ресурс.