

УДК 536.46

## ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ НЕПРЕРЫВНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЗАКАЛКЕ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМИССИИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

*А.И. МИХЛЮК  
(Минский автомобильный завод)*

*Исследуются особенности деформации при непрерывно-последовательной закалке ТВЧ деталей трансмиссии мобильных машин. Проанализированы технологические возможности оборудования для обеспечения стабильных линейных размеров поверхностей различного назначения. Повышение механических свойств изделий объясняется внутренней структурой материала. Представлены статистические данные по деформациям различных поверхностей при непрерывно-последовательной индукционной закалке деталей мобильных машин, полученные при проведении опытно-экспериментальных работ, и результаты оптимизации режимов и способов закалки, обеспечивающие минимизацию величин деформаций. Результаты исследований позволили оптимизировать режимы индукционной термообработки и повысить конструкционную прочность деталей и узлов мобильных машин.*

**Введение.** При скоростном локальном индукционном нагреве и последующем неоднородном охлаждении неизбежны изменения первоначальных размеров и формы деталей, свойственные каждой термической обработке. Это связано как с тепловым расширением детали при нагреве, так и объёмными изменениями при фазовых (структурных) превращениях [1].

Тот факт, что при поверхностной индукционной закалке нагреву и охлаждению подвергаются только поверхностные слои металла, в одном случае может способствовать значительным деформациям (например, односторонний нагрев и закалка плоской поверхности), а в другом случае, наоборот, твердая сердцевина способствует созданию жесткого каркаса, препятствующего значительным деформациям. Поэтому на практике установление значений и характера деформаций при индукционной закалке всегда представляется работой во многом экспериментальной, с обработкой и измерением опытных партий, анализом и статистической обработкой полученных результатов.

В статье приведены результаты работ, выполненных в течение длительного периода времени на ОАО «МАЗ» по установлению закономерностей деформаций и оптимизации режимов непрерывно-последовательной индукционной термической обработки целого ряда типовых поверхностей деталей ведущих мостов автомобилей.

При исследовании деформаций всех вышеуказанных поверхностей использовали действующие детали и проводили закалку токами высокой частоты (ТВЧ), варьируя частотой, мощностью и интенсивностью охлаждения, применяя при этом различные типы индукторов.

**Непрерывно-последовательная закалка ТВЧ наружной цилиндрической поверхности.** Наиболее характерной деталью этого класса является полуось заднего моста автомобиля МАЗ. В большинстве автомобилей МАЗ применена схема трансмиссии с понижающей планетарной колесной передачей, что определяет конструкцию полуоси. Это цилиндрическая деталь длиной 1060...1130 мм, диаметром 46...55 мм, имеющая наружные шлицевые поверхности на концах и подвергаемая непрерывно-последовательной закалке ТВЧ на частоте 2,4 кГц по всей длине от преобразователя мощностью 250 кВт. В зависимости от скорости перемещения детали относительно индуктора, конструкции самого индуктора, мощности и частоты источника ТВЧ глубина закаленного слоя может изменяться от 2...3 до 10...12 мм.

На рисунке 1 показано расположение зоны закалки ТВЧ на цилиндрической и шлицевой части детали при различной глубине закаленного слоя.

Соответственно и значение деформаций, прежде всего увеличение линейных размеров детали, для различной толщины закаленного слоя будет разной, что связано с разными объемами поверхностных слоев металла, прошедшими структурные преобразования при закалке. При поверхностной закалке, когда направление свободного расширения ограничено, можно ожидать увеличение линейных размеров на 8...10 мкм на каждый миллиметр толщины закаленного слоя [2].

Анализ полученных статистических данных позволил установить закономерность при закалке ТВЧ – длина полуоси увеличивается, диаметр полуоси и шлицев уменьшается.

Значения величин увеличения длины полуосей при закалке ТВЧ при толщине закаленного слоя 5...6 мм представлены в таблице 1.

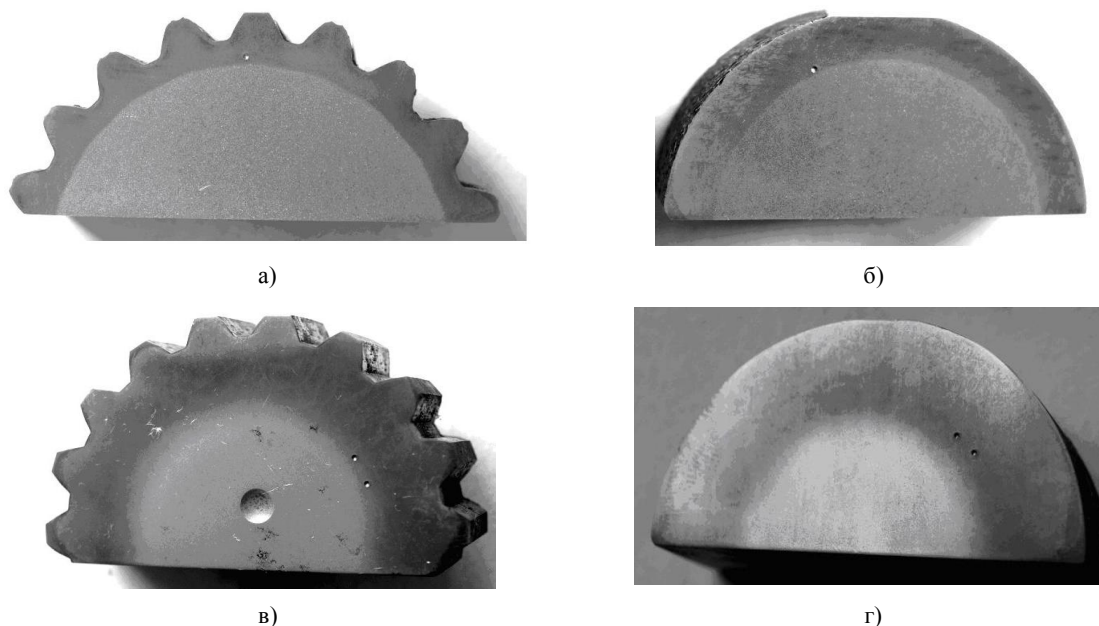


Рис. 1. Внешний вид расположения зоны закалки ТВЧ на детали «полуось автомобиля» – на шлицевой части (а, в); на стержне (б, г);  
а – толщина закаленного ТВЧ слоя – 5 мм, твердость поверхности – 54 HRC;  
б – толщина закаленного ТВЧ слоя – 5 мм, твердость поверхности – 53...54 HRC;  
в – толщина закаленного ТВЧ слоя – 11 мм, твердость поверхности – 57 HRC;  
г – толщина закаленного ТВЧ слоя – 10 мм, твердость поверхности – 59 HRC

Таблица 1

Удлинение полуосей до и после непрерывно-последовательной закалки ТВЧ

№ п/п	До термической обработки		После термической обработки		Удлинение	
	фактическая длина, мм	длина по отношению к нижнему пределу поля допуска, мм	фактическая длина, мм	длина по отношению к верхнему пределу поля допуска, мм	абсолютное, мм	относительное, %
Размер по чертежу $1063 \pm 1,3$ мм						
1	1061,9	+0,2	1064,6	+0,1	+2,7	0,25
2	1062,8	+1,1	1065,9	+1,6	+3,1	0,29
3	1063,6	+1,9	1066,4	+2,1	+2,8	0,26
4	1063,3	+1,6	1066,2	+1,9	+2,9	0,27
5	1062,3	+0,6	1064,5	+0,1	+3,2	0,21
6	1062,4	+0,7	1064,6	+0,2	+2,2	0,21
7	1062,5	+0,8	1064,8	+0,5	+2,3	0,31
8	1062,0	+0,3	1064,1	0,3	+2,3	0,21
<b>Средняя величина удлинения</b>					<b>+2,69</b>	<b>0,25</b>
Размер по чертежу $1091 \pm 1,3$ мм						
9	1091,4	+1,7	1094,4	+2,1	+3,0	0,27
10	1090,4	+0,7	1093,3	+1,0	+2,9	0,26
11	1088,0	-0,7	1091,0	-1,3	+3,0	0,27
12	1094,2	+4,5	1097,0	+4,7	+2,8	0,26
13	1090,6	+0,9	1093,0	+0,7	+2,4	0,22
14	1091,0	+0,4	1093,2	+0,9	+2,2	0,20
<b>Средняя величина удлинения</b>					<b>+2,72</b>	<b>0,25</b>

Из анализа таблицы 1 видно, что после закалки ТВЧ происходит удлинение детали, причем данное удлинение является стабильной величиной. Для устранения данного негативного влияния закалки ТВЧ на геометрические размеры детали достаточно введения технологического размера (уменьшенного на величину удлинения) перед закалкой.

Таким образом, установлено, что деформации при непрерывно-последовательной закалке цилиндрических деталей являются легко прогнозируемыми и их негативное влияние устранимо введением промежуточных технологических размеров.

**Сочетание наружной цилиндрической поверхности с выходом на галтель.** Коробление поверхностей данного типа рассматривали при закалке следующих деталей: непрерывно-последовательная для цапфы заднего моста грузового автомобиля и корпуса наружного шарнира равных угловых скоростей переднеприводного легкового автомобиля и одновременная для детали кулак поворотный для передней оси [3, 4].

**Непрерывно-последовательная закалка.** Закалке подвергается цилиндрическая поверхность цапфы с выходом на галтель, с одной стороны, и наружную шлицевую поверхность – с другой. Для выхода зоны закалки на галтель был применен одновитковый индуктор с тремя магнитопроводами в виде вставок, расположенных под углом  $120^\circ$  по окружности, что позволило перераспределить электромагнитное поле и обеспечить при вращении детали равномерный прогрев цилиндрической части и галтели.

На рисунке 2 показана схема закалки данного типа поверхности. Основными параметрами технологического процесса кроме частоты и мощности, подводимой в индуктор, являются расстояние  $h$  между индуктором и торцом цапфы, скорость перемещения детали или индуктора и расход охлаждающей жидкости.

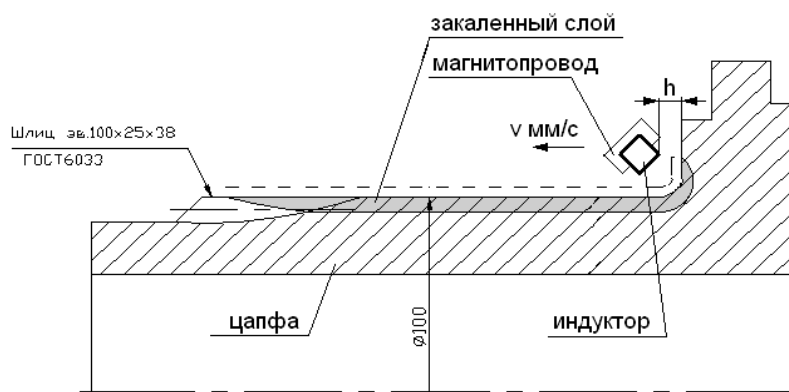


Рис. 2. Схема закалки наружной цилиндрической поверхности с выходом на галтель непрерывно-последовательным способом при движении индуктора относительно детали

На рисунке 3 показано расположение зоны закалки в районе галтели при различных значениях величины  $h$ .

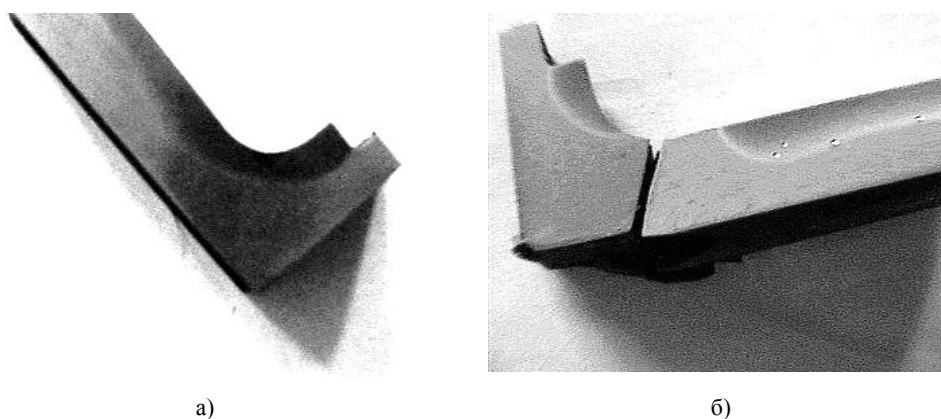


Рис. 3. Расположение зоны закалки ТВЧ на цапфе картера заднего моста автомобиля МАЗ: а – правильно; б – неправильно

При расстоянии  $h$  в интервале 15...18 мм зона закалки ТВЧ располагается равномерно по цилиндрической части с выходом на галтель. При увеличении расстояния  $h$  более 20 мм образуется разрыв зоны ТВЧ, тем самым увеличивается глубина зоны закалки на цилиндрической части.

Детали с таким расположением зоны закалки ТВЧ обладают низкой долговечностью, при этом очаг разрушения располагается по месту разрыва зоны упроченного слоя. При таком расположении зо-

ны закалки величина деформаций, в первую очередь радиальное биение цилиндрической поверхности, напрямую зависит от толщины закаленного слоя на галтели.

На рисунке 4 показана диаграмма изменения параметра биения по цилиндрической поверхности закаленной цапфы при различных значениях толщины закаленного слоя  $\Delta$  на галтели.

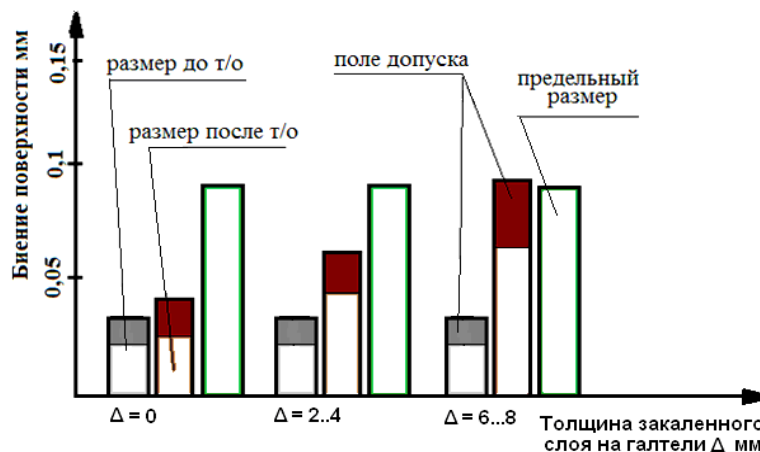


Рис. 4. Изменение радиального биения цилиндрической поверхности цапфы при различных значениях толщины закаленного слоя на галтели

Одним из наиболее сложных и тяжелонагруженных узлов переднеприводных транспортных средств является шарнир равных угловых скоростей. Данные детали изготавливаются из стали 50 и подвергаются закалке по внутренней поверхности, имеющей беговые дорожки для шариков подшипника и наружной поверхности шлицевого вала с выходом зоны закалки ТВЧ на галтель (рис. 5).

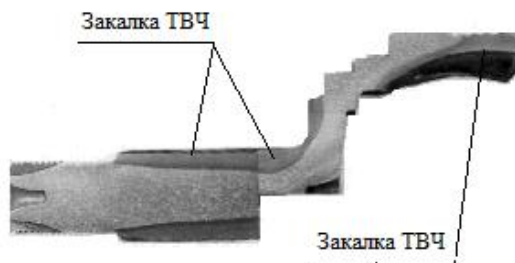


Рис. 5. Внешний вид зон закалки ТВЧ на детали корпус шарнира наружный

Наружная поверхность представляет собой шлицевой вал и цилиндрическую часть, переходящую на галтель (см. рис. 5). Закалка данной детали осуществляется одновитковым индуктором при перемещении детали. Охлаждение производится спрейером. Частота ТВЧ составляла 10,0 кГц, мощность генератора – 250 кВт, потребляемая мощность составляла от 60 до 110 кВт.

Для проведения данных работ был проектирован и изготовлен специальный узел – блок подготовки закалочной среды, который был скомпонован с установкой ТВЧ. Отличительной особенностью блока подготовки закалочной среды является то, что при постоянстве расхода и давления охлаждающей воды регулируется и задается её температура. Это позволяет поддерживать температуру закалочной воды постоянной в течение всего времени установки ТВЧ с точностью  $\pm 2$  °С. На рисунке 6 показана функциональная схема данного блока.

Были выполнены исследования влияния режимов индукционной спрейерной закалки на коробление, формирование структуры и распределение твердости по толщине упрочняемых слоев для такого типа поверхности из углеродистых сталей при различных значениях температуры закалочной воды. Работы проводили со сталями 45, 50 и У8 при изменении температуры закалочной воды от 12 до 40 °С.

Блок подготовки воды (см. рис. 6) состоит из бака 1 со встроенными нагревателями 2. Блок 1 связан с трубопроводами заводской системы водоснабжения сливной 3 и подающей 4 задвижками, работой которых управляют клапаны 5 и 6.

Насос для подачи воды (на схеме не показан) обеспечивает подачу воды при работе установки и ее перемешивание при поддержании заданных параметров температуры. Блок управления 7 принимает сигналы от контрольно-измерительных приборов (на схеме не показаны), которые предназначены для измерения температуры охлаждающей воды и поддержания ее в заданных параметрах.

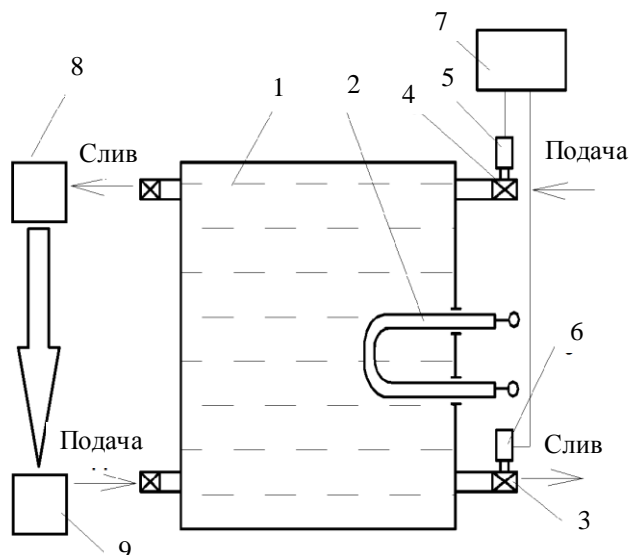


Рис. 6. Схема блока подготовки воды:

- 1 – бак; 2 – электронагреватели; 3 – сливная задвижка; 4 – подающая задвижка;  
5; 6 – электроклапаны управления; 7 – блок управления; 8 – система закаливания установки ТВЧ;  
9 – система сбора закалочной воды установки ТВЧ

Были опробованы различные режимы закаливания при температуре закалочной воды от 12 до 30 °С и с различной длительностью охлаждения.

В таблице 2 представлены результаты закаливания опытной партии детали 2108-2215020-01 при различной температуре закалочной воды.

Таблица 2

Результаты закаливания опытной партии детали «корпус наружного шарнира» из стали 50 при различной температуре закалочной воды

№ п/п	Температура воды, °С	Результаты закаливания		Величина деформаций	
		Внутренняя поверхность	Наружная шлицевая поверхность	Биение делительного диаметра шлицев, ± мм	Изменение размера среднего диаметра беговой дорожки, ± мм
1	12	62...65 HRC, трещины	63...65 HRC, трещины	0,08	-0,05
2	16	62...65 HRC, трещины	63...65 HRC, трещины	0,06	-0,03
3	20	61...63 HRC, трещины	62...64 HRC, трещины	0,05	-0,02
4	22	60...63 HRC	61...63 HRC, трещины	0,04	±0,02
5	24	59...62 HRC	60...62 HRC	+0,03	±0,02
6	26	59...61 HRC	60...61 HRC	0,02	±0,01
7	28	58...60 HRC	59...61 HRC	0,01	0,01
8	30	56...58 HRC	57...59 HRC	±0,01	0,02
9	34	50...56 HRC	52...57 HRC	±0,01	0,02

В результате проведенных опытно-исследовательских работ было установлено, что при закалке наружных цилиндрических поверхностей с выходом зоны закалки на галтель из стали 50 со скоростями охлаждения не менее 400 °C/с водой с температурой в интервале 24...28 °C и дозированием времени охлаждения с точностью до  $\pm 0,1$  с обеспечивается твердость поверхности в интервале 760...800 HV, исключается образование закалочных трещин при минимальной деформации упрочняемых поверхностей, составляющей не более 35 % от поля допуска.

Таким образом, при непрерывно-последовательной закалке деталей с наружной цилиндрической поверхностью с выходом закалки на галтель высокая конструкционная прочность детали достигается при оптимизации следующих параметров – толщины закаленного слоя на галтели и величины деформации цилиндрической поверхности детали. При этом для углеродистых сталей типа 50 следует учитывать изменение температуры охлаждающей воды, которая должна изменяться в интервале 24...28 °C.

**Заключение.** В результате проведенных опытно-экспериментальных работ установлены закономерности деформаций ряда типовых поверхностей деталей мобильных машин. Полученные результаты исследований позволили оптимизировать режимы индукционной термообработки и повысить конструкционную прочность деталей и узлов мобильных машин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Обработка изделий машиностроения с применением индукционного нагрева / А.И. Гордиенко [и др.]. – Минск: Белорус. наука, 2009.
2. Головин, Г.Ф. Остаточные напряжения. Прочность и деформации при поверхностной закалке токами высокой частоты / Г.Ф. Головин. – Л.: Машиностроение, 1973.
3. Гурченко, П.С. Технология регулирования охлаждения при закалке деталей автомобиля / П.С. Гурченко, А.И. Михлюк // Грузовик. – 2006. – № 8. – С. 33 – 36.
4. Гурченко, П.С. Регулирование параметров охлаждения как способ повышения качества изделий / П.С. Гурченко, А.И. Михлюк // Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль нагрева и упрочнения деталей на машиностроительных предприятиях: сб. науч. тр.; под ред. П.С. Гурченко. – Минск: УП «Технопринт», 2002. – С. 73 – 78.

*Поступила 24.05.2010*

#### FEATURES OF DEFORMATION DIFFERENT DETAILS' SURFACES OF TRANSMISSION OF MOBILE MACHINES WITH THE CONTINUOUSLY-SUCCESSIVE HIGH FREQUENCY HARDENING

*A. MIKHLYK*

*Statistic facts about deformation different surfaces with the continuously-successive induction tempering of mobile machine's details and results of optimization regimes and ways of hardening, provided minimization values of deformations are represented.*