

УДК 536.46

А.И. МИХЛЮК, канд. техн. наук
Минский автомобильный завод, Республика Беларусь

П.С. ГУРЧЕНКО, д-р техн. наук
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А.А. ШИПКО, д-р техн. наук, М.А. ПОЛЬШИКОВА
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМООБРАБОТКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ ВЕДУЩИХ МОСТОВ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Представлены результаты работ по оптимизации и повышению конструкционной прочности длинномерных деталей ведущих мостов грузовой автотехники ОАО «МАЗ». Разработаны конструкции оборудования и установлены режимы индукционной термической обработки, обеспечивающие при одновременной жесткости и сохранении неизменности формы конструкции минимальные деформации упрочняемых рабочих поверхностей деталей.

Ключевые слова: индукционный нагрев, термическая обработка, детали ведущего моста автомобиля, сталь

Введение. В течение пробега автомобиля до капитального ремонта должна быть обеспечена безотказная работа деталей ведущего моста. Допустимой является лишь замена уплотнений. Корпусные и основные детали моста должны сохранять работоспособность до пробега, соответствующего списанию автомобиля [1]. Для обеспечения вышеуказанных требований большинство деталей заднего моста подвергаются различным видам термического упрочнения. Отдельно следует отметить среди них длинномерные детали — это непосредственно картер и полуоси, длина которых более 1000 мм. Особенностью конструкции этих деталей является то, что наряду с повышенной твердостью рабочих поверхностей они должны обладать определенной жесткостью, которую получают также с помощью различной термической обработки.

Выполненные ранее работы по термической обработке длинномерных деталей касались, в основном, материалов и полуфабрикатов, которые в дальнейшем использовались при изготовлении деталей. Так в ВНИИ ТВЧ (Санкт-Петербург, РФ) была разработана серия индукционных установок для термообработки круглого стального проката диаметром до 130 мм. На данном оборудовании выполнялись следующие технологические операции — рекристаллизационный отжиг, нормализация, закалка, улучшение для конструкционных углеродистых и легированных сталей, ликвидация карбидной сетки у заэвтектоидных инструментальных и шарикоподшипниковых сталей [2]. Известны работы по индукционной закалке длинномерных железнодорожных рельсов, обеспечивающие при повышении твердости головки рельса до 300...400 НВ повышение срока их службы в 1,5...2,0 раза [3, 4]. Во ВНИИТВЧ разработан метод скоростной индукционной термической обработки (СИТО) изделий и полуфабрикатов из проката малых сечений (листы, полосы, прутки, трубы) из низко- и среднеуглеродистых, нелегированных и низколегированных сталей [5].

На ОАО «МАЗ» имеется определенный опыт в термообработке длинномерных материалов и полуфабрикатов. Разработаны и внедрены линии по нормализации с индукционного нагрева круглого стального проката \varnothing 16...28 мм и стальных прямоугольных электросварных труб для

изготовления каркасов автобусов [6]. Длина обрабатываемого материала при этом составляет до 6 метров. Вместе с тем недостаточно проработан вопрос термической обработки длинномерных деталей, испытывающих в процессе эксплуатации сложные динамические и статические нагрузки, отсутствуют практические наработки по конструкции технологической оснастки и режимов термообработки. Решение данной проблемы позволит повысить надежность целого ряда механизмов и изделий, в частности различных типов мобильных машин, выпускаемых на промышленных предприятиях РБ.

Исходя из вышеизложенного, представляет как практический, так и научный интерес решение проблемы оптимизации и повышения конструкционной прочности длинномерных деталей ведущих мостов автотехники МАЗ.

Термообработка картера ведущего моста среднетоннажного автомобиля. Картер заднего моста среднетоннажных автомобилей семейства МАЗ-4370 (рисунок 1) представляет собой жесткую конструкцию, в которой основную нагрузку несут два кожуха полуоси 1, запрессованные в литой картер центрального редуктора 2. Наружные концы кожухов выполнены в виде цапф 3 для установки ступиц колес. Исходя из условий работы картера, можно сформулировать следующие критерии его конструкционной прочности: общая жесткость конструкции за счет кожухов полуосей 1, высокая твердость рабочих поверхностей цапф 3 при минимальной деформации единой оси $X-X$ сборочной детали [7].

Жесткость кожуха полуоси, представляющей собой толстостенную трубу, следует формировать при предварительной термообработке заготовки данной детали.

Были проведены сравнительные исследования микроструктуры и механических свойств опытных партий кожухов из стали 35 и 40Х при различных видах термообработки: нормализация, нормализация + улучшение, улучшение (рисунок 2).

Микроструктура после нормализации представляет собой перлит сорбитообразный + феррит, зерно № 7 ГОСТ 5639-82 (рисунок 2 а), твердость — 187...201 НВ, после улучшения с предварительной нормализацией — сорбит с твер-

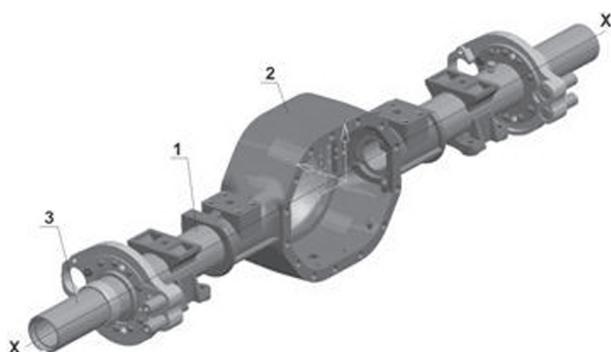
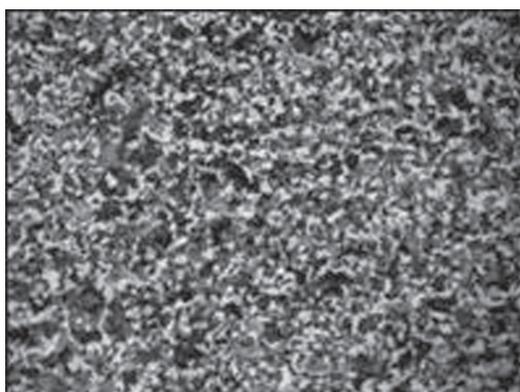
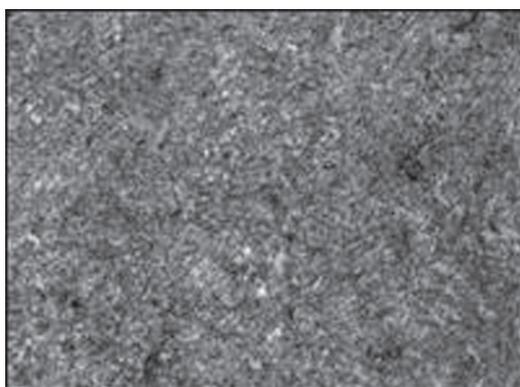


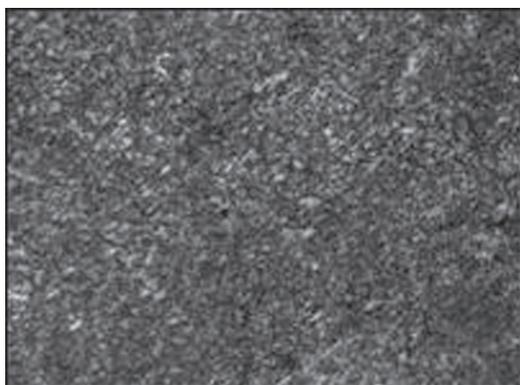
Рисунок 1 — Картер заднего моста среднетоннажных автомобилей семейства МАЗ-4370: 1 — кожух полуоси; 2 — литой картер центрального редуктора; 3 — цапфа



а



б



в

Рисунок 2 — Микроструктура кожухов из стали 40X после различной термообработки: а — нормализация; б — нормализация + улучшение; в — улучшение

достью 277—285 НВ, после улучшения без предварительной нормализации — также сорбит с твердостью 269—285 НВ.

Нормализацию применяли для устранения пороков стали, возникших при горячей деформации и термической обработке: крупнозернистости, видманштеттовой структуры, строчечности. При повторном нагреве в аустенитную область зерно получается более мелким. Но, при определенных условиях, например при наличии в структуре видманштетта, при повторном нагреве, когда вновь образуется аустенит, размер, форма и кристаллографическая ориентировка зерен могут быть такими же, как у исходного зерна аустенита перед первым перлитным превращением [8]. Из сравнительного анализа микроструктур видно (рисунок 2 а—в), что выполнение предварительной нормализации для подготовки структуры не приводит к получению более тонкой структуры после операции улучшения [9]. Следовательно, не должно привести к получению более высоких механических свойств. Результаты испытаний механических свойств образцов, вырезанных из исследованных рычагов, приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, механические свойства образцов с предварительной нормализацией и без нее практически одинаковые. Следовательно, для получения достаточной конструкционной жесткости картера необходимо выполнить предварительное улучшение заготовки кожуха полуоси.

Высокая твердость рабочих поверхностей цапф достигается путем индукционной закалки. Для решения данной задачи специалистами ОАО «МАЗ» была разработана и внедрена установка ТВЧ для закалки длинномерных деталей длиной от 2 до 2,5 метров. Схема работы установки следующая: расположение детали вертикальное, индуктор одновитковой с приставным спреером, неподвижный, деталь перемещается и вращается в центрах, закалочная среда — вода техническая. Рабочий цикл установки производится в автоматическом режиме. Конструкция индуктора и схема закалки показана на рисунке 3.

Расчетами определено, что оптимальная высота индукционного витка $H = 16...18$ мм, а количество рядов спреерных отверстий должно быть не менее 4, включая спреерные отверстия в индукционном витке. При этом величина зазора в индукторе D составляет 4...6 мм.

Минимальные деформации единой оси X—X сборочной детали достигаются путем оптимизации режимов

Таблица 1 — Результаты испытаний механических свойств образцов из кожуха полуоси

Марка стали	Вид термообработки	Временное сопротивление σ_s , МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, Дж/см ²
Сталь 40X	Нормализация	700	25	33	69
	Норм. + улучш.	910	22	37	149
	Улучшение	920	21	40	144
Сталь 35	Нормализация	720	24	32	57
	Норм. + улучш.	840	21	35	135
	Улучшение	830	20	36	140

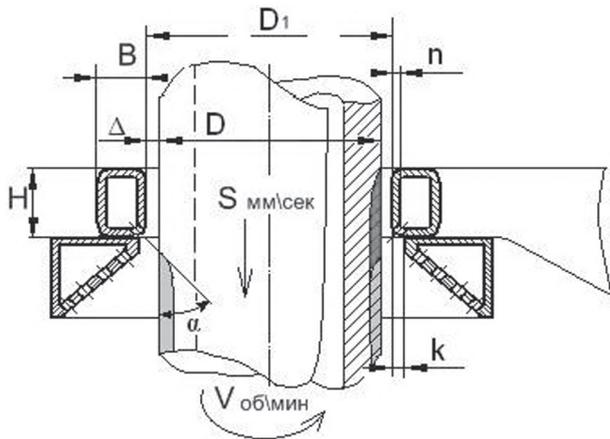


Рисунок 3 — Схема закалки ТВЧ кожуха полуоси картера среднетоннажного автомобиля: D — диаметр закаливаемой поверхности; D_1 — внутренний диаметр индукционного витка; B — ширина индукционного витка; H — высота индукционного витка; Δ — зазор между индукционным витком и закаливаемой поверхностью; k — зазор между спреером и закаливаемой поверхностью; n — толщина стенки индукционного витка; α — угол подачи охлаждающей среды из спреерных отверстий на закаливаемую поверхность

индукционной закалки. Была выполнена закалка опытных партий деталей при различной частоте источника и скорости перемещения детали относительно индуктора.

Потребляемая мощность при закалке составляла 100...110 кВт. При этом достигалась твердость поверхности 45...56 HRC и толщина закаленного слоя в интервале 2...4 мм. Величина коробления единой оси $X-X$ определялась путем измерения биения цилиндрической поверхности цапф до и после термообработки. На графике рисунка 4 показана величина данного параметра после термообработки при различных скоростях движения детали и частоте источника ТВЧ.

Таким образом, установлено, что для обеспечения требуемой конструкционной прочности детали картера моста среднетоннажного автомобиля в соответствии с требованиями документации необходимо выполнить предварительное улучшение заготовки кожуха полуоси и закалку ТВЧ рабочих поверхностей цапф на частоте не менее 10,0 кГц при скорости перемещения детали относительно индуктора не менее 0,2 мм/с с обеспечением твердости поверхности в интервале 45...56 HRC и толщины закаленного слоя 2...4 мм.

Термообработка картера ведущего моста основного (большегрузного) семейства автомобилей МАЗ. Все картеры основного семейства автомобилей МАЗ пред-

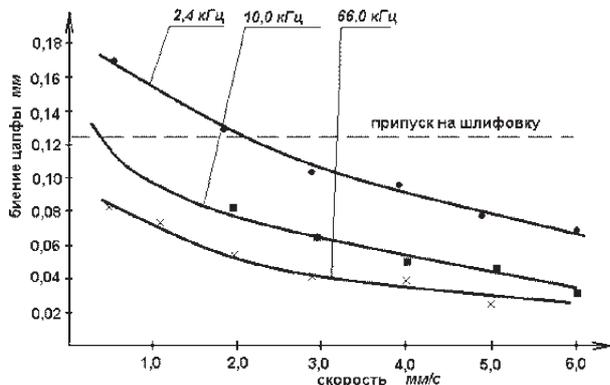


Рисунок 4 — Величина биения рабочей поверхности цапфы при различной частоте ТВЧ и скорости перемещения детали

ставляют собой штампованную конструкцию высокой жесткости, отличающуюся способом крепления цапф: крепления болтами (рисунок 5 а) и приваривания (см. рисунок 5 б). Поэтому критериями его конструкционной прочности являются: минимальная деформация единой оси $X-X$ сборочной детали и высокая твердость рабочих поверхностей цапф 2.

При термообработке картеров заднего моста автомобилей МАЗ основного семейства (см. рисунок 5) данная задача решалась в два этапа.

Первый этап. Методом локальной индукционной термообработки были достигнуты требуемые структура и прочностные показатели тяжело нагруженных сварных швов картера (зона 1 на рисунке 5) на стадии сварки конструкции [10]. Это обеспечивало минимальные деформации единой оси при последующих операциях механической обработки и равнозначную конструкционную прочность тяжелой длинномерной детали (длина картера 2280 мм, вес 110—130 кг). Работы проводили для двух типов сварных швов — полученных методом ручной полуавтоматической сварки (см. рисунок 5 а) и методом сварки трением (см. рисунок 5 б). Свариваемые материалы: цапфа — сталь 30ХГСА по ГОСТ 4543-71, кожух картера — сталь 17ГС по ГОСТ 19281-89.

Для выбора оптимальных параметров технологии термообработки ТВЧ необходимо определить:

- величину зоны термического воздействия, т.е. какие размеры околошовной зоны, кроме сварного шва, следует подвергать нагреву;

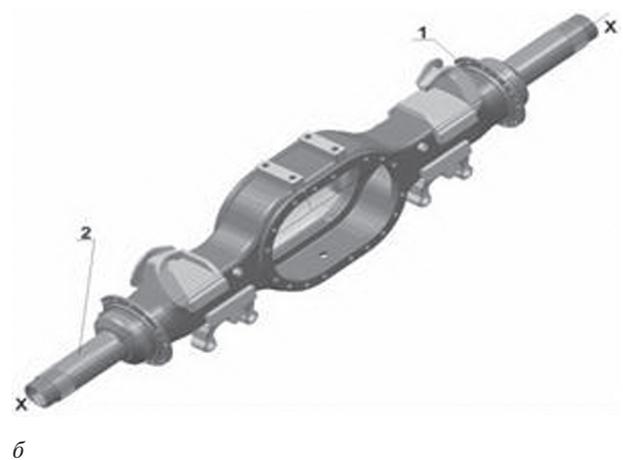
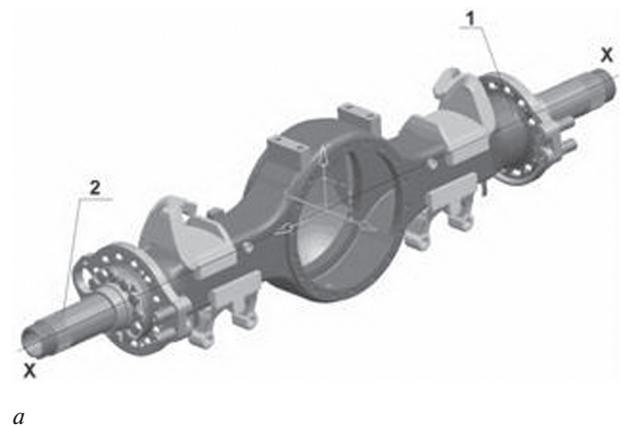


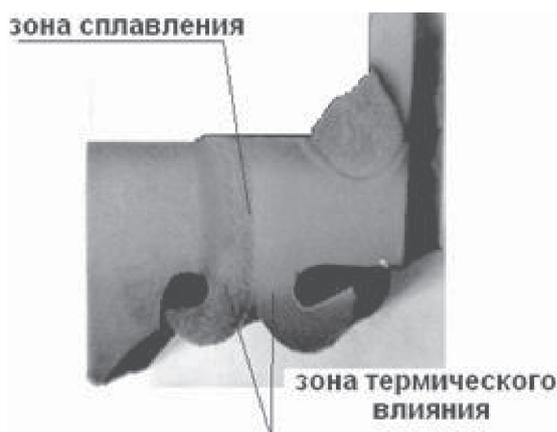
Рисунок 5 — Картер заднего моста основного семейства автомобилей МАЗ: а — штампованной картер с цапфой крепящейся болтами; б — штампованной картер с приварной цапфой

- параметры нагрева, т.е. температуру и скорость нагрева, градиент изменения температуры нагрева по нагреваемой толщине детали, для получения требуемой структуры и твердости металла сварного шва и околошовных зон;
- взаимосвязь получаемых структур, коробления сварной конструкции с параметрами нагрева.

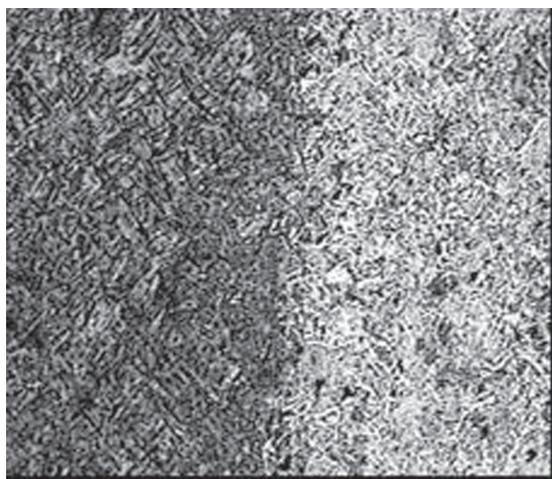
Нагрев осуществляли от преобразователя мощностью 100 кВт и частотами 2400 Гц и 8000 Гц с различными скоростями нагрева металла, измеряемыми с помощью хромель-алюмелевой термопары, закрепленной на наружной поверхности сварного шва, на глубине 10 мм и внутренней поверхности сварного шва.

На рисунке 6 показан общий вид сварного шва сварки трением до термообработки, на котором отчетливо видны зона сплавления и зоны термического влияния, и микроструктура в зоне сварки детали цапфа, которая представляет собой троостосорбит крупноигльчатого строения. Твердость — 367,7 ... 385,8 HV (~ 37,5 ... 39,3 HRC). Микроструктура в зоне сварки детали кожух картера — бейнит + феррит. Твердость — 250,3 ... 257,5 HV (22,3 ... 23,5 HRC).

Для сварного шва, полученного ручной электродуговой сваркой (рисунок 7 а), характерны следующие зоны: сварной шов, зона сплавления металлов, зона термического воздействия и зона основного металла.



а



б

Рисунок 6 — Сварной шов при сварке трением: а — внешний вид шлифа; б — микроструктура зоны сплавления

Металл шва имеет литую структуру с характерным дендритным строением. В зоне сплавления (см. рисунок 7 б) отчетливо виден переход от литой структуры шва к участку со структурой перегрева. Участок перегрева (см. рисунок 7 в) характеризуется крупнозернистой видманштеттовой структурой, а участок нормализации (см. рисунок 7 г) имеет мелкозернистую структуру. Далее следует участок неполной нормализации, который характеризует переход околошовной зоны к основному металлу. Основной металл, не попавший в зону высоких температур, не претерпел структурных изменений. Микроструктура основного металла цапфы (см. рисунок 7 д) — перлит пластинчатый + феррит, зерно № 7,8 ГОСТ 5639-82, наблюдаются крупные участки с зерном № 5, 4 и элементами видманштетта. Микроструктура основного металла кожуха (см. рисунок 7 е) — перлит пластинчатый + феррит, зерно № 7, 8 ГОСТ 5639-82, полосчатость 2 балла ГОСТ 5640-68.

Из сварных швов картера были изготовлены образцы, которые подвергнуты термообработке, как в печи, так и индукционным методом. Образцы для печного отпуска загрузались в печь СН-3, время нагрева 30 минут, что соответствовало скорости нагрева 0,46...0,5 °С/с. Образцы с отжигом ТВЧ вырезались из деталей, отпущенных ТВЧ при различных температурах. Скорость нагрева при этом составляла 5...7 °С/с. Температура отпуска — 300 °С, 400 °С, 500 °С, 600 °С, 700 °С, 800 °С. На рисунках 8 а, б представлены микроструктуры зон сплавления сварного шва, отпущенного в печи и с нагревом ТВЧ при температуре 800 °С.

В результате проведенных работ установлено, что для получения равнозначной структуры и прочностных свойств сварного шва по сечению скорость индукционного нагрева должна составлять от 5 до 8 °С/с. Нагрев с меньшими скоростями нагрева приводит к большим потерям энергии за счет передачи тепла в слой металла, не требующие термического воздействия. Увеличение скоростей нагрева приводит к неравномерности нагрева сварного шва и околошовной зоны и, как следствие этого, неравномерности структуры и твердости по сечению сварного шва [11].

С целью установления влияния режимов индукционного нагрева сварных швов картера на величину деформаций были проведены замеры биения цапфы по четырем точкам при различных скоростях нагрева. Точки замеров находились на наружном диаметре цапфы, максимально приближенные к переходу на радиус.

В таблице 2 представлены результаты проведенных измерений биения цапфы по четырем контрольным точкам до и после отжига кольцевых швов. Для картеров № 7, 9 скорость нагрева составляла около 4,9—6,4 °С/с, для картеров № 1, 2, 4, 5, 6 — от 6,0 до 7,8 °С/с, а для картеров № 3 и 8 — 8,3—10,9 °С/с.

Второй этап. Были выполнены работы по оптимизации режимов индукционной закалки цапфы картера, обеспечивающих высокие прочностные свойства при минимальном короблении картера. Закалке подвергалась цилиндрическая поверхность цапфы с выходом на галтель с одной стороны и наружная шлицевая поверхность с другой стороны. Для выхода зоны закалки на галтель был применен одновитковой индуктор с тремя магнитопроводами в виде вставок, расположенных под углом 120 ° по окружности. Это позволило перераспределить электромагнитное поле и обеспечить при вращении детали рав-

Таблица 2 — Величина биения поверхности цапфы до и после нормализации ТВЧ сварного шва

№ картера	№ цапфы	Замеры биения цапфы по точкам								Средн. отклонение
		1		2		3		4		
		До т/о	После т/о	До т/о	После т/о	До т/о	После т/о	До т/о	После т/о	
0	00	-0,5	-0,3	+1,2	+0,8	-0,9	-1,1	+0,7	+0,8	0,15
		+0,4	+0,3	+1,4	+1,2	-1,2	-1,5	+0,1	-0,1	
1	11	+0,6	-0,7	+1,1	+1,2	-1,0	-0,8	-0,3	+1,0	0,15
		-0,6	+0,6	+1,1	+1,3	-0,9	-0,9	+1,0	-0,3	
2	22	+1,0	+0,7	-1,1	-1,2	+1,6	+1,3	-0,8	-0,6	0,2
		-0,1	-0,1	-0,6	-0,3	+0,7	-0,3	+0,3	+0,4	
3	33	-0,1	-0,4	-0,6	-0,5	+1,0	+1,0	+0,4	+0,9	0,2
		-0,5	-0,2	-0,2	-0,1	+0,6	+0,5	+0,9	0,0	
4	44	+0,4	+0,5	-1,2	-1,3	+1,5	+1,7	-0,2	-0,1	0,1
		-0,3	-0,6	-0,7	-1,0	+1,2	+1,3	+0,5	+0,8	
5	55	+1,3	+0,6	+1,0	+1,0	-0,7	-0,8	-1,0	-1,2	0,25
		-0,4	-0,6	+1,1	+1,2	-0,8	-0,8	+0,8	+1,0	
6	66	+1,0	+1,4	+0,8	+0,7	-0,5	-0,4	-0,8	-0,9	0,2
		-0,4	-0,5	+0,7	+0,7	-0,1	-0,3	+0,7	+0,9	
7	77 777	+1,1	+1,2	-0,9	-1,3	+1,1	+1,0	-1,0	-1,0	0,1
		-0,1	0,0	-0,8	-1,2	+1,3	+0,7	+0,2	+0,3	
8	88	-0,1	-0,3	-1,3	-0,9	+1,6	+1,3	+0,3	+0,6	0,3
		-0,1	-0,2	-1,3	-1,1	+1,5	+0,7	0,0	0,0	
9	99 999	+0,4	+0,4	-1,0	-1,1	+1,6	+1,5	0,0	0,0	0,0
		+0,9	+0,9	-0,2	-0,3	+0,4	+0,5	-0,6	-0,7	

номерный прогрев цилиндрической части и галтели. Схема закалки показана на рисунке 9. Экспериментальным путем были определены значения мощности, подводимой в индуктор, расстояние h между индуктором и торцем цапфы, скорость перемещения индукционной головки и расход охлаждающей жидкости.

На рисунке 10 показано расположение зоны закалки в районе галтели при различных значениях величины h .

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, при этом 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 упрочненного слоя.

Измерением геометрических размеров установлено, что при обеспечении зоны закалки на цапфе согласно рисунку 10 *а* достигается минимальное короб-

ление упрочняемых поверхностей. На рисунке 11 показана диаграмма изменения параметра биения по различным поверхностям закаленной цапфы, полученная после изготовления и измерения опытной партии деталей в количестве 180 шт.

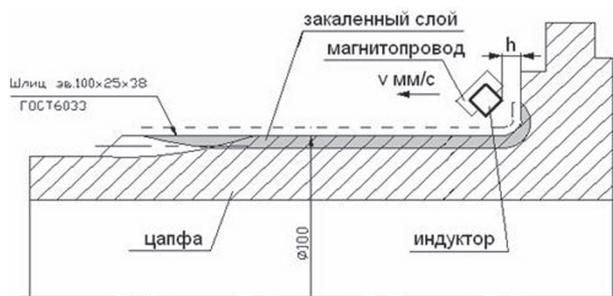
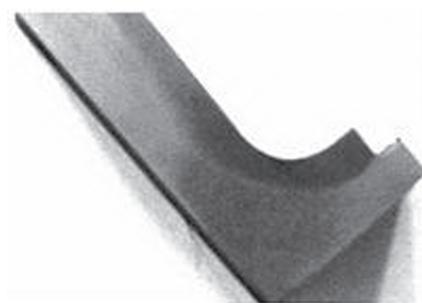
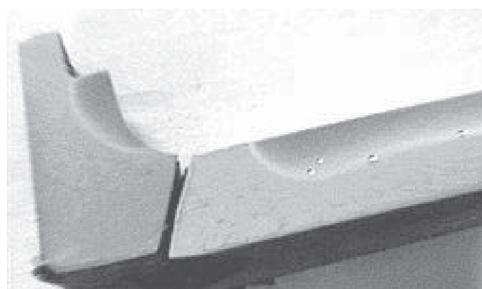


Рисунок 9 — Схема закалки цапфы картера заднего моста непрерывно-последовательным способом при движении индуктора относительно детали



а



б

Рисунок 10 — Расположение зоны закалки ТВЧ на цапфе картера заднего моста автомобиля МАЗ: *а* — правильно; *б* — неправильно

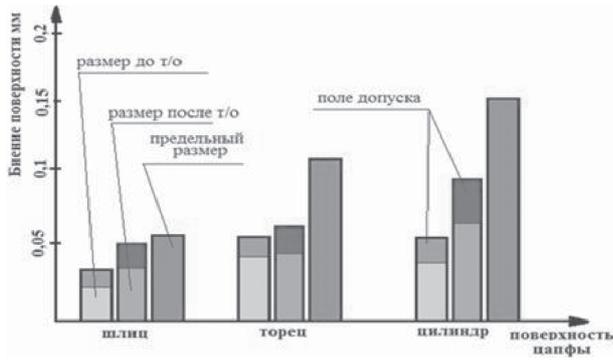


Рисунок 11 — Изменение радиального биения различных поверхностей цапфы

Индукционная термообработка полуосей заднего моста автомобилей МАЗ. Важным элементом ведущего заднего моста мобильной машины является полуось, которая является длинномерным тяжело нагруженным элементом несущей конструкции, испытывающим при эксплуатации значительные крутящие усилия. Для всей номенклатуры ведущих мостов применяются две конструкции полуосей — цилиндрическая со шлицами на обоих концах (рисунок 12 а) для большегрузных автомобилей и цилиндрическая с фланцем на одном конце и шлицем на другом — для среднетоннажных (см. рисунок 12 б).

Полуоси ведущего моста автомобилей МАЗ всех типоразмеров изготавливают из сталей 40Х, 40ХН, 35ХГСА и подвергают поверхностной индукционной закалке непрерывно-последовательным способом. Важнейшим условием ее длительной эксплуатации является формирование значительной толщины закаленного слоя при минимальных короблениях. Для выполнения закалки полуосей используется установка ТВЧ, обеспечивающая закалку деталей длиной до 1200 мм. Для обеспечения глубины закалки ТВЧ для полуосей по рисунку 12 а в интервале 5,0—8,0 мм и твердостью поверхности 50—54 HRC была разработана конструкция двухвиткового индуктора с дифференцированной



Рисунок 12 — Полуоси автомобилей МАЗ: а — цилиндрическая для большегрузного автомобиля; б — цилиндрическая с фланцем для среднетоннажного автомобиля

шириной индукционных витков и регулируемым расположением спрейерного устройства. Нагрев выполняют от преобразователя частоты ППЧВ-250/2400, мощностью 250 кВт и частотой 2400 Гц.

Схема работы индукторов для закалки полуосей обоих типов представлена на рисунке 13, где показана схема двухвиткового индуктора с регулируемым спрейером. При прохождении детали через индуктор, на первом витке за счет уменьшения его высоты h_1 увеличивается плотность электромагнитного поля, что позволяет быстро нагреть поверхность детали. При прохождении вдоль второго витка, имеющего большую высоту h_2 и соответственно меньшую плотность электромагнитного поля, происходит поддержание температуры и распространение нагрева в глубину детали. За счет регулирования расстояния L_1 обеспечивается выравнивание температуры по сечению детали в глубину, обеспечивая тем самым попадание нагретого металла в зону спрейерного охлаждения с достижением закалочной температуры, как на поверхности детали, так и максимально по глубине нагретого слоя. Соответственно можно установить зависимость величины L_2 (расстояние от нижнего края второго витка до начала зоны действия спрейерного охлаждения) от величин L_1 , зазора между индуктором и деталью Δ , и угла α подачи закалочной среды из спрейера:

$$L_2 = L_1 + \Delta / \operatorname{tg} \alpha. \quad (1)$$

Применение подобной схемы нагрева и охлаждения позволяет получить закаленный слой толщиной до 10 мм без перегрева на поверхности детали.

Для закалки полуосей с фланцем (рисунок 13 б) также была разработана конструкция двухвиткового индуктора с фигурной формой первого витка, которая при соблюдении зазора $\Delta_2 = 2 \dots 2,5$ мм обеспечивает прогрев зоны галтели. За счет разного зазора в индукторе для первого и второго витков обеспечивается быстрый прогрев поверхности на первом витке (зазор меньше) и поддержание температуры поверхности металла с распространением ее вглубь металла на втором витке. Это позволяет получить требуемую толщину закаленного слоя 5...8 мм. Регулируя при этом скорость перемещения детали отно-

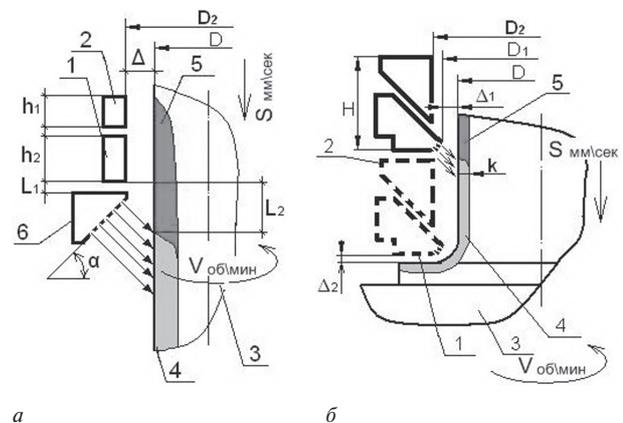


Рисунок 13 — Схема закалки полуосей автомобилей МАЗ: а — для закалки цилиндрической полуоси; б — для закалки цилиндрической полуоси с фланцем; 1 — закаливаемая деталь; 2 — первый виток индуктора; 3 — второй виток индуктора; 4 — спрейер; 5 — зона нагрева; 6 — зона закалки

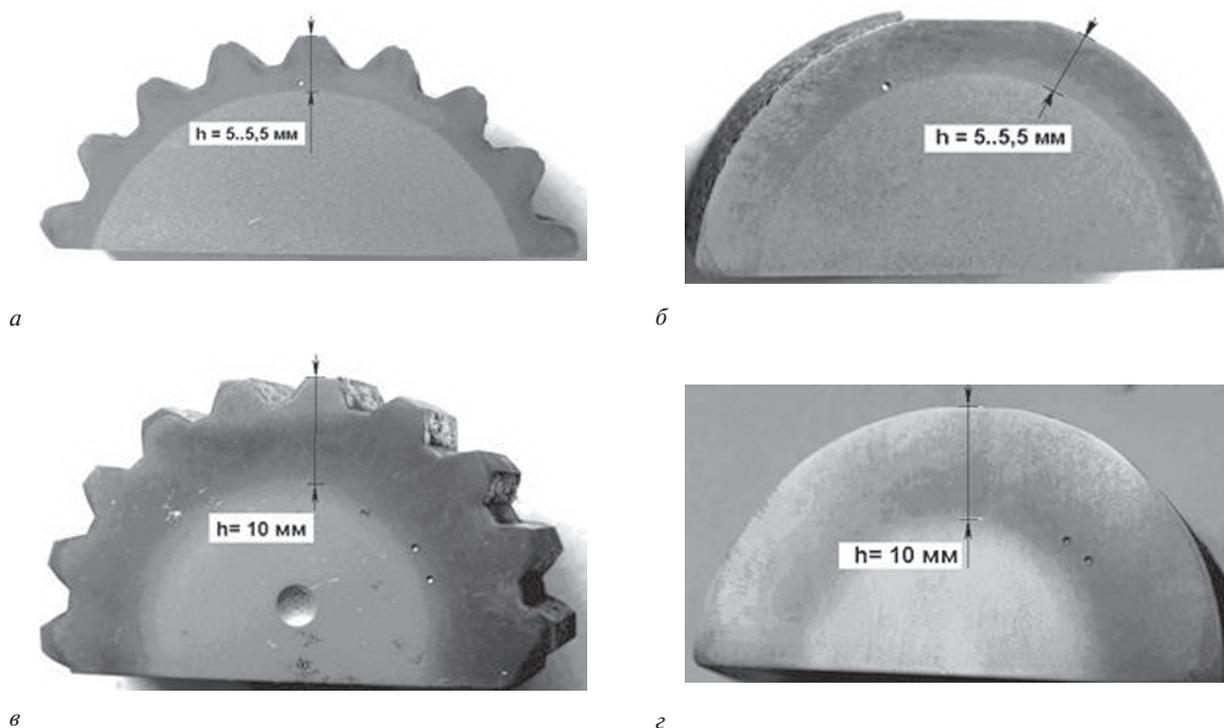


Рисунок 14 — Внешний вид расположения зоны закалки ТВЧ на детали полуось автомобиля (а — толщина закаленного ТВЧ слоя — 5 мм, твердость поверхности — 54–54,5 HRC; б — толщина закаленного ТВЧ слоя — 5 мм, твердость поверхности — 53–54 HRC; в — толщина закаленного ТВЧ слоя — 10 мм, твердость поверхности — 59 HRC); а, в — на шлицевой части; б, г — на стержне

сительно индуктора, можно также менять толщину закаленного слоя.

На рисунке 14 показано расположение зоны закалки ТВЧ различной глубины на цилиндрической и шлицевой частях детали при изменении скорости перемещения детали в индукторе.

Соответственно и величина 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. Анализируя полученные статистические данные, установлена следующая закономерность: при закалке ТВЧ — длина полуоси увеличивается, диаметр полуоси и шлицев уменьшается. В таблице 3 показаны значения величин увеличения длины полуосей при закалке ТВЧ.

Из анализа таблицы 2 видно, что после закалки ТВЧ происходит удлинение детали, причем данное удлинение является стабильной величиной. Для устранения негативного влияния закалки ТВЧ на геометрические размеры детали достаточно введения технологического размера (уменьшенного на величину удлинения) перед закалкой.

Заключение. В результате проведенных работ были спроектировано и изготовлено оборудование и индукторы для термической обработки длинномерных тяжело нагруженных деталей ведущего моста грузового автомобиля МАЗ, в частности картера и полуоси, обеспечивающие высокую надежность и долговечность для заданных мощности и полной массы автомобиля. Разработаны режимы индукционной термической обработки, обеспечивающие при сохранении одновременно жесткости и единой оси конст-

рукции минимальные деформации упрочняемых рабочих поверхностей деталей. Установлена величина стабильного удлинения деталей после термической обработки, что позволяет прогнозировать его негативное влияние и вводить промежуточные технологические размеры деталей.

Комплекс специализированных технологических процессов, специального оборудования и оснастки для термической обработки обеспечивает значительное повышение конструкционной прочности длинномерных деталей ведущих мостов автомобильной техники при одновременном снижении материальных, трудовых и энергетических затрат на их производство.

Список литературы

1. Высоцкий, М.С. Грузовые автомобили / М.С. Высоцкий, Л.Х. Гилелес, С.Г. Херсонский. — М.: Машиностроение, 1995.
2. Шамов, А.Н. Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок / А.Н. Шамов, В.А. Ботажков. — Л.: Машиностроение, 1974.
3. Червинский, В.И. Применение индукционного нагрева при изготовлении и упрочнении изделий, предназначенных для железнодорожного транспорта / В.И. Червинский, В.Г. Шевченко // Индукционный нагрев. — 2010. — № 4. — С. 18–20.
4. Тарас, П. Индукторы для непрерывного индукционного нагрева рельсов / П. Тарас, В. Феретеану // Индукционный нагрев. — 2010. — № 4. — С. 21–26.
5. Зимин, Н.В. Скоростная индукционная термическая обработка — универсальным методом повышения эксплуатационных свойств низко- и среднеуглеродистых сталей / Н.В. Зимин, В.И. Червинский // Индукционный нагрев. — 2008. — № 3. — С. 26–32.
6. Гурченко, П.С. Оборудование и технологии индукционной обработки длинномерных изделий на РУП «МАЗ». Теория и практика энергосберегающих термических процессов в

Таблица 3 — Удлинение полуосей до и после непрерывно-последовательной закалки ТВЧ

№ п/п	До т/о		После т/о		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	Относительное
1	2	3	4	5	6	7
Размер по чертежу $1063 \pm 1,3$ мм (1061,7—1064,3)						
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 %
Средняя величина удлинения					+2,69	0,25 %
Размер по чертежу $1091 \pm 1,3$ мм (1089,7—1092,3)						
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 %
Средняя величина удлинения					+2,72	0,25 %

- машиностроении: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19—21 нояб. 2008 г. / П.С. Гурченко, А.И. Михлюк., В.Е. Летунович; под ред. д.т.н. проф. П.С. Гурченко. — Минск: РУП «МАЗ», 2008. — С. 79—89.
- Автомобили. Конструкция, конструирование и расчет. Трансмиссия / под ред. А.И. Гришкевича. — Минск: Выш. шк., 1985. — 240 с.
 - Башнин, Ю.А. Технология термической обработки стали / Ю.А. Башнин, Б.К. Ушаков, А.Г. Секкей. — М.: Металлургия, 1986. — 424 с.
 - К проблеме энергосбережения и повышения качества термической обработки / В.М. Константинов [и др.] // Металлургия: республ. межведом. сб. науч. тр. — Минск: Белорус. наука, 2008. — Вып. 31.
 - Гурченко, П.С. Упрочнение при индукционном нагреве и управляемом охлаждении / П.С. Гурченко. — Гомель: ИММС НАНБ, 1999. — 236 с.
 - Головин, Г.Ф. Высоочастотная термическая обработка / Г.Ф. Головин, М.М. Замятин. — Л.: Машиностроение, 1990.

Mikhlyuk A.I., Gurchenko P.S., Shipko A.A., Polshikova M.A.
The long details of the leading axles of the lorres' an induction heat treatment

The results of work about the long details of the leading axles of the lorres' an induction heat treatment by PC «MAZ» are represented.
 Поступила в редакцию 23.06.2011.