



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

УДК 621.833:621.785.4.52

А.Н. КАРАСЬ, И.В. ФИРСОВ, А.Е. КОЛЕСНИКОВ

Минский тракторный завод, Республика Беларусь

П.А. ВИТЯЗЬ, акад. НАН Беларуси

Президиум НАН Беларуси, г. Минск

А.А. ШИПКО, д-р техн. наук; С.П. РУДЕНКО, канд. техн. наук; А.Л. ВАЛЬКО

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА РУП «МТЗ» НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВАКУУМНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Приведены результаты модернизации литейных и термических производств РУП «МТЗ». Показана эффективность применения комплексной технологической линии изготовления деталей трансмиссий тракторов «Беларусь», включающей оборудование для механической и вакуумной химико-термической обработки.

Ключевые слова: трактор «Беларусь», термическое производство, модернизация, вакуумная технология

Одним из направлений технического развития Минского тракторного завода является масштабная модернизация производства на основе внедрения новых технологий высокого уровня. В рамках выполнения «Программы технического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств на 2010–2015 годы», утвержденной Советом Министров Республики Беларусь в 2007 году (постановление № 1421), на предприятии осуществляется комплексное переоснащение литейных и термических производств.

За последние два года по программе внедрено 14 мероприятий, выполнена модернизация 22 единиц энергоемкого оборудования, в том числе: модернизация двух дуговых сталеплавильных печей и вертикально-конвейерного сушила стержней с внедрением энергоэффективных газогорелочных устройств в литейном цехе № 3 (ЛЦ-3); модернизация пяти дуговых сталеплавильных печей в сталелитейном цехе СЛЦ; модернизация линии Л-200 для зачистки отливки «головка цилиндров» в ЛЦ-1; внедрение системы использования вторичного тепла печи сушки стержней для подогрева песка в ЛЦ-3.

Проведена реконструкция стержневых участков с использованием современного высокотехно-

логичного стержневого оборудования фирмы «Лемпе» (Германия) и ОАО «БЕЛНИИЛИТ» (Беларусь), позволяющего внедрить изготовление стержней по ХТС-процессу. Это позволило на 42 % снизить потребление природного газа, на 21 % сократить расход песка. Только в литейном цехе № 1 за счет внедрения технологии ХТС годовая экономия составила около 1,4 млрд руб. и более 650 т условного топлива. Сэкономлено сырья и материалов на сумму более 2 млрд руб.

Особое значение приобретает экономия сырьевых и энергетических ресурсов, снижение их расхода на единицу производимой продукции, что обусловило ряд проводимых научных исследований в этом направлении. В кузнечном цехе введен в эксплуатацию однорядный толкательный закалочный агрегат, в котором в качестве закалочной жидкости используется полимерный раствор, что позволило улучшить условия труда и получать экономию за счет отсутствия отходов производства. В этом же цеху на линии штамповки внедрена технология нагрева заготовок с помощью индукционного нагревателя предприятия «Белтехнология», внедрена в эксплуатацию автоматизированная штамповочная линия для изготовления горячих поковок на базе КГШП 63МН.

Одним из видов металлоотходов, образующихся на предприятии, является чугунная и стальная стружка. Благодаря внедрению линии горячего брикетирования металлической стружки заводу удалось снизить импорт чугунного лома на 5400 т, а стального — на 2220 т в год. Экологический эффект от данной линии — уменьшение вредных выбросов от плавильных печей в атмосферу на 16,5 т в год.

Ужесточение требований современного рынка обуславливает проведение работ по улучшению точностных характеристик изготавливаемых деталей и снижению уровня шума трансмиссии тракторов марки «Беларус». С этой целью на предприятии введена в эксплуатацию комплексная технологическая линия, включающая оборудование для полной механической и термической обработки с программным управлением участком. Организация участка позволила повысить технологический уровень производства за счет применения передовых технологий и оборудования мировых производителей и обеспечила изготовление заданного количества валов-шестерен и зубчатых колес для тракторов серий 1200, 1500, 2000.

Металлорежущее оборудование, установленное на участке, дало возможность реализовать современные технологии зубообработки, а вакуумное термическое оборудование позволило существенно снизить время цементации и деформацию деталей при высоком качестве химико-термической обработки.

В настоящее время работы по внедрению технологии химико-термической обработки деталей в вакууме с закалкой в среде инертного газа на установке «ModulTherm 7/1» фирмы «ALD Vacuum Technologies GmbH» (Германия) завершены. Общий вид линии показан на рисунке 1.

Данное оборудование смонтировано в механическом цехе № 5 в составе комплексной технологической линии для механической и терми-

ческой обработки шестерен и валов коробки передач и других деталей тракторов моделей МТЗ 1221/2022, типовые представители которых показаны на рисунке 2.

Линия химико-термической обработки состоит из следующего основного оборудования: системы внешнего транспорта для перемещения поддонов, моечной машины для промывки деталей до химико-термической обработки, печи предварительного окисления, 7 камер нагрева/цементации, закалочного транспортного модуля, 3 печей низкого отпуска и компьютера оператора с системой управления. Данная линия также укомплектована необходимым вспомогательным оборудованием: насосной станцией камер нагрева для создания вакуума, системой оборотного водоохлаждения с градирней, системой рециркуляции гелия, компрессором для подачи гелия, системой бесперебойного питания для системы управления, дизель-генератором для аварийной подачи электроэнергии, системой обеспечения технологическими газами (ацетиленом, аммиаком, водородом, гелием и азотом). Схема размещения технологических блоков вакуумной линии показана на рисунке 3.

В комплект поставки также входит лабораторное оборудование: устройства пробоподготовки микрошлифов, металлографический микроскоп и твердомеры с программным обеспечением.

Модульная вакуумная установка «ModulTherm 7/1» представляет собой полностью автоматическую систему. Наличие штабелеров-накопителей на 36 поддонов позволяет круглосуточно проводить химико-термическую обработку деталей без участия основного производственного персонала. Большим преимуществом является то, что проведение ремонтно-профилактических работ на отдельных модулях возможно без остановки работы

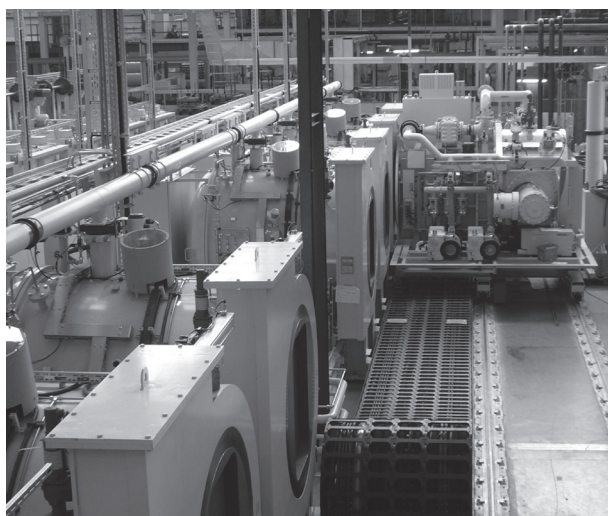
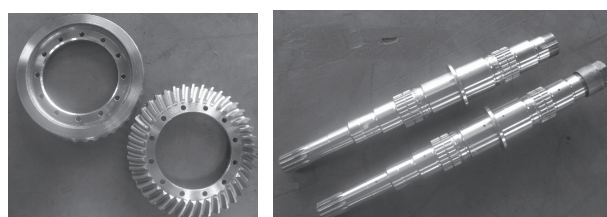
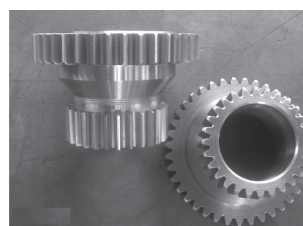


Рисунок 1 — Общий вид линии химико-термической обработки «ModulTherm 7/1», введенной в эксплуатацию на РУП «Минский тракторный завод»



а

б



в

Рисунок 2 — Типовые детали:

а — ведомая шестерня дифференциала ведущего моста;
б — вал коробки переключения передач; в — блок шестерен переднего ведущего моста

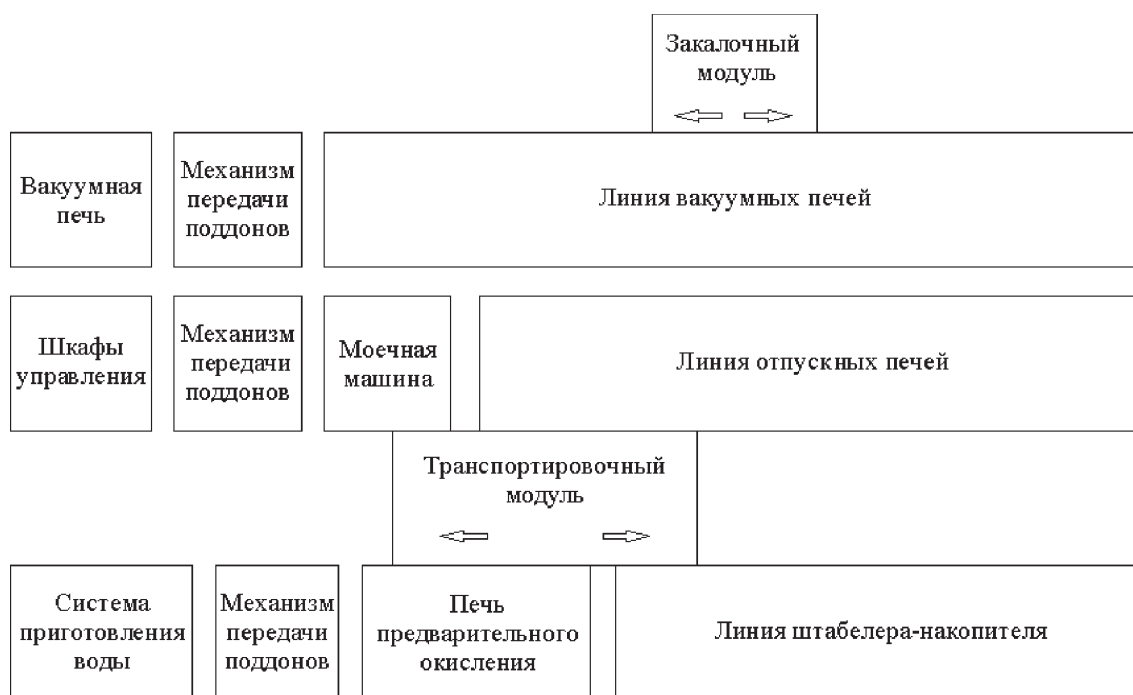


Рисунок 3 — Схема размещения технологических блоков линии химико-термической обработки «ModulTherm 7/1»

всей установки. Модульное построение всей системы позволяет дооснащать ее в любое время дополнительными камерами или другими системными компонентами. При вакуумной термообработке детали нагреваются до высоких температур в бескислородной атмосфере, что позволяет препятствовать окислению поверхности деталей.

В линии вакуумной химико-термической обработки выполняются следующие технологические операции:

- промывка деталей в моечной машине 20–25 минут при 40–60 °С;
- предварительный нагрев до 350 °С в течение 40–60 минут;
- цементация в вакуумных печах с циклической подачей ацетилена при 940–960 °С при ориентировочной скорости насыщения 0,2 мм диффузионного слоя в час;
- закалка в среде инертного газа при давлении гелия до 2,0 МПа;
- низкотемпературный отпуск при 160–180 °С 2,5–3 часа.

Таким образом, на вакуумной линии «ModulTherm 7/1» в автоматическом режиме происходит выполнение всех операций химико-термической обработки.

Процесс химико-термической обработки в вакууме с закалкой в среде инертного газа имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционной технологией химико-термической обработки:

- сокращение технологического времени химико-термической обработки;
- улучшение качества обрабатываемых деталей;
- снижение затрат на проведение химико-термической обработки;

- улучшение экологических условий;
- гибкость и легкая переналадка технологии;
- стабильная воспроизводимость результатов.

В качестве закалочной среды используется экологически безопасный инертный газ — гелий, что исключает образование паров закалочной жидкости. После проведения термообработки отпадает необходимость в очистке деталей дробью. Процесс регенерации гелия позволяет восстанавливать до 90 % газа, используемого на закалку. Применение в высокотемпературных печах современных футеровочных материалов снижает затраты на топливно-энергетические ресурсы.

На линии «ModulTherm 7/1» камера нагрева/цементации состоит из водоохлаждаемого корпуса печи, графитовой жестко-волоконной теплоизоляции с дополнительной внешней изоляцией из керамики. Камера оснащена графитовыми нагревателями, датчиками-контроллерами расхода технологических газов, конвективным вентилятором, опорами для установки садки. Опоры изготовлены из карбида кремния и оснащены защитой из молибдена для предотвращения теплового взаимодействия с поддоном из жаропрочной стали. В закалочной камере детали охлаждаются инертным газом высокого давления. Величина давления закалочного газа, как и другие технологические параметры, задается в программе термообработки и регулируется автоматически.

Применение технологии науглероживания при низком давлении в сочетании с закалкой в потоке инертного газа высокого давления позволяет значительно уменьшить деформации обрабатываемых деталей. Закалка газом обеспечивает постоянный коэффициент теплопередачи. Значительное сниже-

ние деформаций достигается в процессе «динамического закалывания», при котором степень закалывания варьируется в процессе последовательных этапов путем ступенчатого регулирования скорости газового потока.

Технология закалки инертными газами имеет преимущества по сравнению с обычными технологиями, такими как закалка в жидких охлаждающих средах. При охлаждении в жидких закалочных средах процесс теплообмена протекает в виде трех заметно разграниченных фаз [1]. Эти фазы наблюдаются в определенных температурных интервалах на поверхности закаливаемых деталей и характеризуются тремя различными механизмами: пленочный режим кипения, пузырьковое кипение и конвекция (рисунок 4). Вследствие осуществления этих трех механизмов скорость охлаждения и плотность теплового потока на поверхности деталей весьма неоднородны. Эта неоднородность условий охлаждения вызывает значительные термические напряжения в деталях и, как следствие, приводит к их деформации. При проведении же процесса

закалки инертными газами происходит только конвекция, которая позволяет повысить однородность условий охлаждения. Равномерность охлаждения деталей достигается реверсированием подачи газа и турбулентным характером его движения.

Другое преимущество технологии закалки инертными газами — это возможность подобрать необходимую интенсивность закалки путем выбора давления и скорости закалки. Обычно давление при закалке варьируется от 0,2 до 2,0 МПа. Скорость газового потока регулируется преобразователем частоты в пределах 2–15 м/с в зависимости от геометрии деталей, марки стали, количества деталей в садке.

Металлографическими и дюрOMETрическими исследованиями установлено, что химико-термическая обработка на вакуумной линии обеспечивает более высокие и стабильные показатели по сравнению с традиционными процессами: равномерное распределение твердости по периметру и сечению упрочняемых изделий, заданное распределение концентрации углерода и твердо-

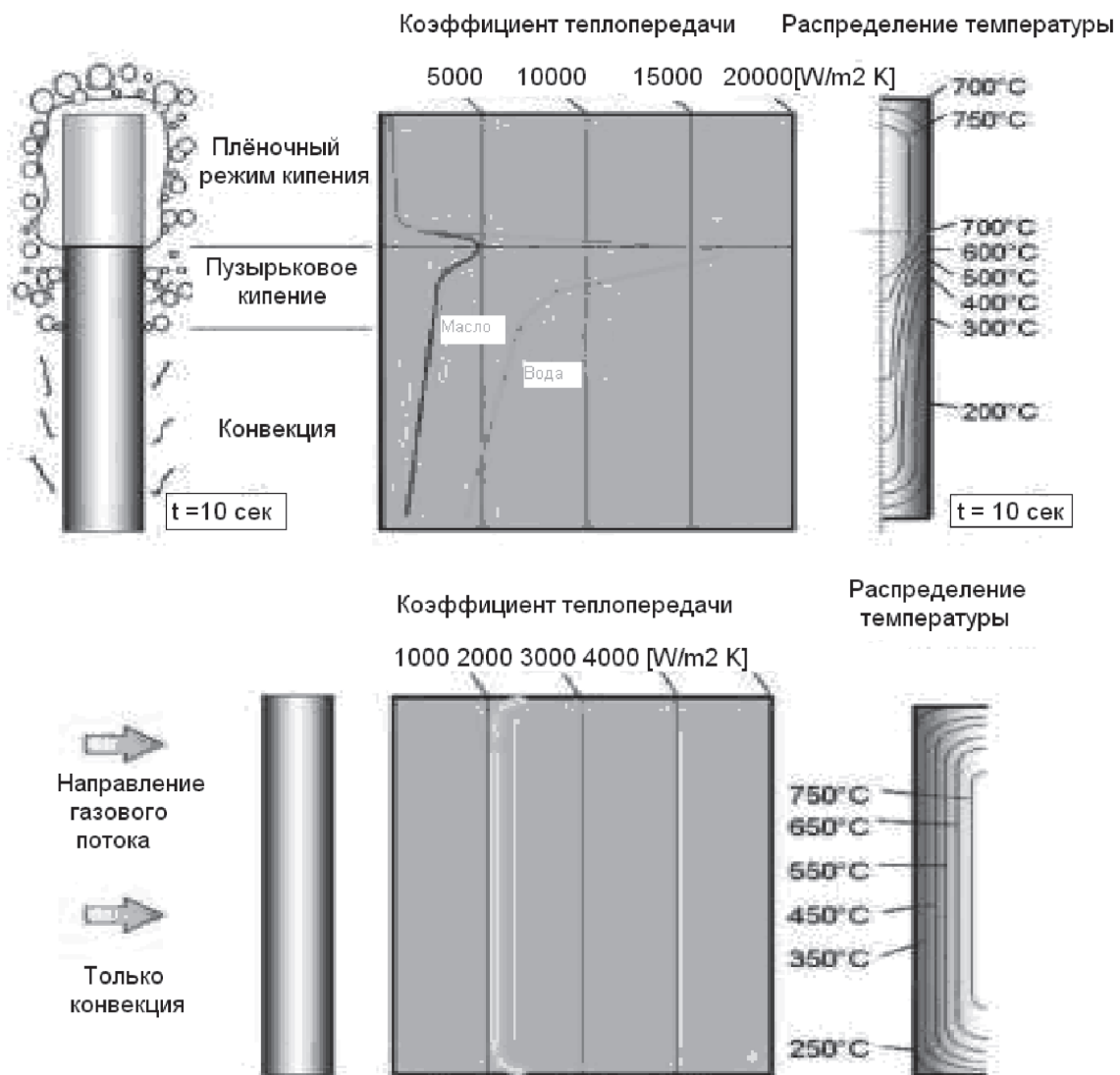


Рисунок 4 — Коэффициент теплопередачи и распределение температуры при закалке в жидкости и газе

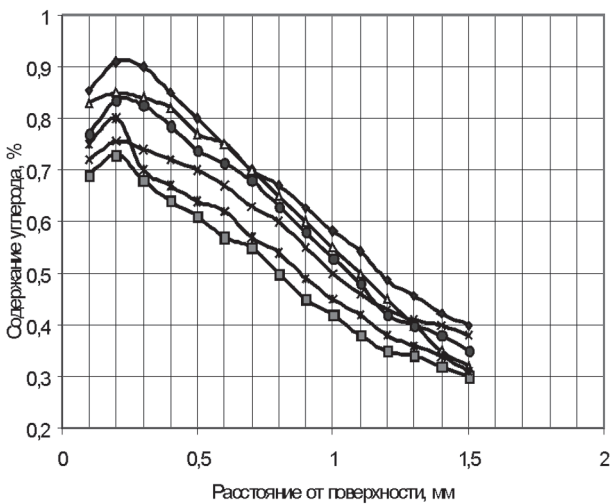
сти по толщине диффузионного слоя, меньшие значения деформаций, возникающих в результате химико-термической обработки. Распределение углерода и микротвердости по толщине диффузионного слоя для традиционной ХТО в безмуфельных агрегатах показано на рисунке 5. Приведенные результаты характеризуются большим разбросом как по содержанию углерода, так и по величине микротвердости упрочненного слоя. Разброс содержания углерода составляет до 0,2 % С, а величины микротвердости — до 100 единиц HV 0,2.

Качество химико-термической обработки на линии вакуумных печей «ModulTherm 7/1» контролируется в основном по наиболее объективному показателю упрочнения — по распределению микротвердости по толщине цементованного слоя. На рисунке 6 показано распределение микротвердости по сечению контрольных образцов после цементации, закалки в потоке инертного газа и низкого отпуска. При одинаковой поверхностной твердости микротвердость более глубо-

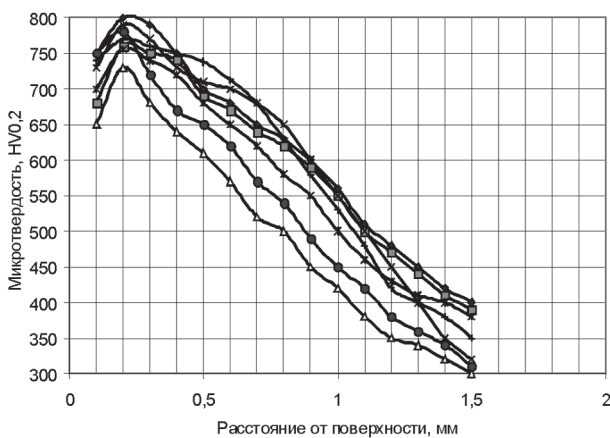
ких слоев несколько отличается, что объясняется различными давлением и скоростью подаваемого в закалочный модуль инертного газа. Менее интенсивное охлаждение в газовом потоке приводит к понижению прокаливаемости слоев с содержанием углерода менее 0,5 % (кривая 1) по сравнению с закалкой при давлении охлаждающего газа более 1 МПа при скорости потока более 10 м/с (кривые 2 и 3).

Так как деформации деталей находятся в прямопропорциональной зависимости от их скорости охлаждения, при выборе параметров подачи инертного газа необходимо находить оптимальный вариант с учетом прокаливаемости применяемой марки стали. Широкий диапазон вариаций давления и скорости потока закалочного газа позволяет достичь требуемого результата. На рисунке 7 приведен график, отражающий овальность вал-шестерни из стали 20ХН3А до и после химико-термической обработки на линии вакуумных печей «ModulTherm 7/1». Видно, что после полного цикла химико-термической обработки геометрические размеры шестерни увеличились незначительно.

Результаты металлографических исследований показали, что качество микроструктуры цементованного слоя и сердцевины шестерни полностью соответствует требованиям РТМ ОИМ 34—2010, предъявляемым к высоконапряженным зубчатым колесам ответственного назначения: микрострукту-



а



б

Рисунок 5 — Распределение углерода (а) и микротвердости (б) для традиционной химико-термической обработки в безмуфельных агрегатах

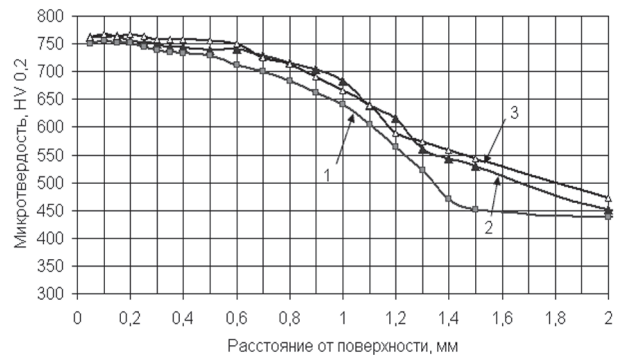


Рисунок 6 — Распределение микротвердости после химико-термической обработки в вакуумных печах «ModulTherm 7/1» при давлениях охлаждающего газа: 1 — 0,6 МПа; 2 — 1,0 МПа; 3 — 1,5 МПа

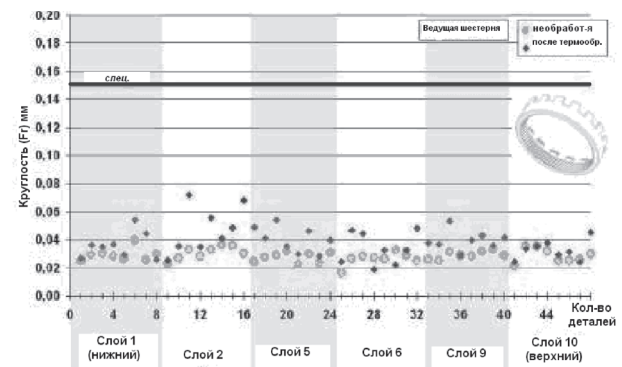


Рисунок 7 — Овальность шестерни до и после вакуумной химико-термической обработки на линии «ModulTherm 7/1»

ра цементованного слоя содержит мелкоигльчатый мартенсит балл 3–4 ГОСТ 8233, остаточный аустенит 2 балла, бейнит и карбиды отсутствуют. Балл зерна в цементованном слое и сердцевине № 9 ГОСТ 5639. Твердость поверхности составляет 60 HRC, сердцевины зуба — 40 HRC. Эффективная толщина упрочненного слоя шестерни с модулем 4,5 мм на уровне делительной окружности зуба составляет: до 750 HV 0,2–0,3 мм; до 700 HV 0,7–0,9 мм; до 600 HV 1,1–1,25 мм.

Внедренная технология вакуумной химико-термической обработки с закалкой в среде инертных газов на линии «ModulTherm 7/1» по сравнению с ХТО в безмуфельных агрегатах экономически выгодна с точки зрения роста производительности (905 кг/ч и 342 кг/ч соответственно), снижения продолжительности цикла цементации на толщину слоя 1,0–1,4 мм (5,8 ч и 17,5 ч), исключения операции очистки деталей после закалки и необходимости утилизации промасленной окалины, вывода из процесса закалочного масла, снижения практически до нуля брака обрабатываемых изделий, резкого сокращения времени вывода термического оборудования на рабочий температурный режим.

Расчет годовой экономии от внедрения оборудования фирмы «ALD» взамен БМА представлен в таблице.

Как видно из приведенной таблицы, экономия от внедрения нового оборудования, исходя из стоимости теплоэнергетических ресурсов, технологических газов (азот, метан, водород, ацетилен, гелий), закалочного масла, очистки деталей, величины брака, составляет около 2 млрд руб в год.

Заключение. Использование установки «ModulTherm 7/1» на РУП «МТЗ» позволило значительно улучшить качество химико-термической обработки деталей и обеспечить снижение затрат в

Таблица — Результаты расчета годовой экономии от внедрения технологии вакуумной ХТО взамен ХТО на безмуфельных агрегатах

№ п/п	Показатели	Величина показателя, млн руб.		Изменения в млн руб. (–) уменьшение (+) увеличение
		БМА	ALD	
1	ТЭР	3683,12	1 668,9	–2 014,22
2	Технологические газы:			
	- азот	0	152,3	+152,3
	- водород	0	31,2	+31,2
	- ацетилен	0	115,7	+115,7
	- гелий	0	171,0	+171,0
3	Масло	61,4	0	–61,4
4	Очистка	258,8	0	–258,8
5	Брак	129,8	0	–129,8
	ИТОГО:	4 133,12	2 139,1	–1 994,02

производстве. Неоспоримым преимуществом вакуумной линии химико-термической обработки «ModulTherm 7/1» является то, что она установлена в общей линии механической обработки и все операции технологического цикла обработки деталей от поковки до годной детали производятся на одном участке без дополнительных межцеховых транспортных перемещений.

Список литературы

1. Люты, В. Закалочные среды: справ. изд. / Вацлав Люты; под ред. С.Б. Масленкова; перевод с польск. — Челябинск: Металлургия, 1990. — 192 с.

Karas A.N., Firsov I.V., Kolesnikov A.E., Vityaz P.A., Shipko A.A., Rudenko S.P., Valko A.L.
Modernization of thermal manufacture RUP «MTZ» on the basis of application of vacuum technology chemical thermal processing

Results of modernization of foundry and thermal manufactures RUP «MTZ» are presented. Efficiency of application of the complex technological line, including the equipment for mechanical and vacuum chemical-thermal hardening, manufacturing of details of transmissions of tractors «Belarus» is shown.

Поступила в редакцию 28.11.2012.