

ТЕРМООБРАБОТКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕРМООБРАБОТКИ – НЕ ТОЛЬКО ПРИБЫЛЬНЫЙ БИЗНЕС, НО И ШАГ К ВОЗРОЖДЕНИЮ МАШИНОСТРОЕНИЯ.

РЕТРОСПЕКТИВА И СЕГОДНЯШНЕЕ СОСТОЯНИЕ РЫНКА ТО И ХТО В РОССИИ

До середины 80-х годов в Советском Союзе на достаточно хорошем уровне термообработка была представлена на заводах оборонной промышленности. Причем, даже по оценкам западных экспертов, технологии термообработки (ТО) и химико-термической обработки (ХТО), разработанные в это время, зачастую превосходили их зарубежные аналоги.

Безусловным лидером в термообработке в России являлась автомобильная отрасль с ее флагманом — заводом «АВТОВАЗ». При массовом производстве ТО должна гарантированно обеспечить качество с допусками в узких переделах для 100% деталей. Это достигалось использованием на заводе современных автоматических печных линий с контролируемой атмосферой, с контролем и регулированием нагрева, выдержки, охлаждения. На этом заводе постоянно совершенствовались технологии поверхностного упрочнения. В частности, профессором А.К. Тихоновым [1] успешно внедрена технология нитроцементации шестерен с предварительным оксидированием, которая позволяет до 50% снизить время на обработку без потери характеристик упрочненного слоя. Кроме того, на АВТОВАЗе впервые в мире применили низкотемпературное газовое нитрокарбооксидирование стальных и чугунных деталей в атмосфере аммиака и экзотермического газа вместо цементации, цианирования, твердого хромирования. Характеристики деталей (износостойкость, коррозионная стойкость) после такой обработки более чем в 5 раз превосходят характеристики при твердом хромировании. «АВТОВАЗ» одним из первых в мировом автопроме применил в крупносерийном производстве технологию ионного азотирования для упрочнения клапанов двигателя.

Но, увы, эти достижения остались в прошлом. Слишком многое в машиностроении, включая ТО и ХТО, оказалось разрушенным за послесоветские годы. Общеизвестно, что локомотивом в машиностроении является станкостроение. Эта отрасль в России уничтожена практически полностью. Уровень производства станков упал в России с 70 000 шт. в 1991 году до 3 000 шт. в 2012 году, т.е. более чем в 20 раз [3]. Сейчас приняты государственные программы по возрождению станкостроения, где не последнюю роль играет и ТО. Но есть серьезные опасения, что эту программу некому будет выполнять. Вместо того, чтобы готовить кадры, в технических ВУЗах массово закрываются профильные кафедры, в том числе кафедры материаловедения даже в ведущих ВУЗах страны, например в МАДИ. Кроме того, в некоторых вузах уже не каждый год проводят наборы студентов по указанной специальности. Это тем более парадоксально, когда все происходит на уровне роста мирового потребления машиностроительной продукции и, соответственно, глобального роста рынка ТО.

Однако нельзя не отметить, что в последнее время появились и некоторые позитивные моменты в развитии машиностроения в России. Так, экспортно-ориентированные машиностроительные предприятия, в частности, выпускающие аэрокосмическую продукцию, закупают

суперсовременное оборудование, в том числе и для ТО, сертифицированное по системе международных стандартов для авиации и космической отрасли Nadcap. К сожалению, в России такое оборудование не выпускается, и такое техпереворужение оставляет зависимость и этих отраслей от импорта.

Оценим потенциал рынка *ТО и ХТО в российском машиностроении* и, с учетом и скромных сегодняшних успехов в современном состоянии этой отрасли, зададимся вопросом: какими видятся перспективы развития ТО в России?

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ И ТЕНДЕНЦИИ РЫНКА ТО И ХТО В ЗАРУБЕЖНОМ И РОССИЙСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Российский рынок термообработки, как и глобальный рынок, формируется из трех основных направлений: металлургическое; кузнечно-прессовое; машиностроительное. Предприятия, выпускающие как листовой прокат, так и поковки, в своих переделах в обязательном порядке используют различные виды термической обработки (в основном, отжиг) и термомеханической обработки. Эти российские металлургические предприятия, как правило, экспортно-ориентированные, прошли полное техпереворужение, обладают современным оборудованием (в том числе и термическим) и успешно конкурируют на западных рынках своей продукцией.

К сожалению, в отличие от металлургии машиностроению в России до последнего времени на уровне государства уделялось значительно меньше внимания, хотя мировой исторический опыт показывает, что именно машиностроению принадлежит ключевая роль в распространении передовых производственных процессов практически во всех отраслях экономики. А в машиностроении термическая и химико-термическая обработка (ТО и ХТО) является основным методом формирования необходимых эксплуатационных характеристик деталей машин и оборудования. Именно благодаря развитию технологий ТО и ХТО, наряду с другими факторами, стало возможным существенно улучшить многие функциональные качества машиностроительной продукции. Так, в частности, не в последнюю очередь применение современных методов ТО и ХТО в автомобильной промышленности позволило увеличить скорость автомобиля с 20 км/час (в начале XX века) до 300 км/час в настоящее время.

Глобальный рынок термообработки в машиностроении постоянно растет и на начало 2015 года составлял, в соответствии с оценкой [2], примерно 70 млрд долларов. Подчеркнем, что эта цифра не включает затраты на первичную термообработку стали и чугуна на металлургических предприятиях и продукцию кузнечного передела.

Известно [1], что совокупный мировой выпуск стали и чугуна составляет более 1 млрд тонн в год, а термообработывается более 1,5 млрд тонн деталей из этих материалов. Для ТО и ХТО такого количества металла требуется серьезные инвестиции, в том числе и в оборудование. Экспертная оценка [2] ежегодных глобальных

Таблица 1.

Экономические показатели в странах с развитым машиностроением.

№	Страна	Объем ТО в номинальных ценах, млрд. долл. $V_{ТО}$	ВВП 2013 по номиналу, трлн. долл. [4]	ВВП 2013 по ППС, трлн. долл. [5]	Козэфф. пересчета номинала по ППС, 2013 г. $K_{ППС\ 2013}$	Объем ТО в пересчете по ППС, млрд. долл. $V_{ТО\ ППС}$	УЧП машиностроения млрд. долл.	Объем ТО в УЧП, % $V_{ТО\ УЧП}$
1	США	19,0	16 663	16 663	1,00	19,0	103	18
2	КНР	11,0	9 491	16 585	1,75	19,2	161	12
3	ЕС	19,0	17 373	18 011	1,04	19,7	158	12
4	Япония	9,0	4 920	4 695	0,95	8,6	66	13
5	Россия	0,9	2 079	3498	1,68	1,5	12	12

ППС – паритет покупательной способности;
 ВВП – валовой внутренний продукт
 $K_{ППС}$ – коэффициент пересчета номинальных цен по ППС,
 где $K_{ППС} = \frac{ВВП_{ППС}}{ВВП_{НОМИНАЛ}}$
 $V_{ТО\ ППС} = V_{ТО} / K_{ППС}$ – стоимостной объем термообработки в пересчете по ППС,

УЧП – условно чистая продукция;
 $V_{ТО\ УЧП} = V_{ТО\ ППС} / УЧП = V_{ТО} * K_{ППС} / УЧП$ – объем ТО в объеме УЧП (в %),
 $V_{ТО} = V_{ТО\ УЧП} * УЧП / K_{ППС}$ – объем ТО в номинальных ценах

продаж оборудования для ТО и ХТО на машиностроительных предприятиях составляет 5–5,5 млрд долл.

Прямую оценку рынка термообработки в России сделать крайне затруднительно из-за отсутствия достаточных статистических данных по отраслям промышленности. Однако возможно сделать косвенную оценку этого рынка, исходя из наблюдаемых пропорций в машиностроении стран с более достоверной статистикой.

Анализ рынка ТО Евросоюза и других развитых стран показывает, что существует прямая связь между стоимостными объемами ТО и показателем условно чистой продукции (УЧП) машиностроения, т.е. добавленной стоимости продукции в результате машиностроительных переделов. Величину УЧП для российского машиностроения и других стран для сравнения мы можем взять из обзора [3].

Исходя из того, что в наиболее крупных сегментах машиностроения в России (производство турбин, насосов, компрессоров, подъемно-транспортного оборудования, запорно-регулирующей арматуры, автомобилестроения и др.) пропорции затрат должны быть близки к пропорциям в странах ЕС, принимаем для дальнейших расчетов, что объем термообработки в России составляет порядка 12% от УЧП всего машиностроения в сопоставимых ценах, как у ряда других развитых стран (табл. 1) (за исключением США, где этот показатель достигает 18%). Используя эту пропорцию (12%) и известную из [3] величину УЧП машиностроения в России, можно сделать оценку объема ТО в России в долларовом эквиваленте по состоянию на 2013 г.

Исходя из принятых допущений и на основе данных, приведенных в таблице 1, можно оценить, что рынок термообработки в России только в машиностроительной отрасли составляет примерно **900 млн долл.** в номинальных ценах 2013 года. Причем, по нашей собственной оценке, в России практически 99% стоимости на этом рынке создают предприятия, выпускающие конечную продукцию (машины и оборудование).

В отличие от отечественной практики, опыт развитых стран [2] показывает, что около 15% рынка термообработки занято коммерческими центрами термообработки. Эти центры оказывают услуги не только по традиционным видам ТО и ХТО (закалке, цементации и азотированию), но и по инновационным методам ХТО (типа Arcor,

Tenifer, Durofer, Stanal 400 и др.) с целью получения предельных характеристик поверхностного слоя обрабатываемых деталей.

Полагая, что развитие рынка ТО в России пойдет по тому же пути, что и в развитых странах, можно сделать прогноз, что объем рынка коммерческой термообработки в России может составлять те же 15% от объема всего рынка, т.е. достигать 140 млн долл. На данный момент этот рынок коммерческой термообработки пуст и наполнить его в разумные сроки можно только с помощью участия мировых лидеров в этой области, таких как Bodycote (Великобритания) и/или HEF-group (Франция).

Как указано выше, глобальные продажи оборудования для ТО и ХТО в мире составляют 5.5 млрд долл. в год [2], причем из них около 12% приходится на оборудо-



ТЕРМОХИМ

Услуги

- Карбонитрация
- Цементация
- Борирование
- Хромонитризация
- Термообработка в защитных атмосферах и расплавах солей

Оборудование

- Разработка
- Изготовление
- Поставка
- Пуско-наладка
- Сервисное обслуживание

Расходные материалы

- Соли для термической и химико-термической обработки



Москва, Остاپовский проезд, д. 13
 Тел.: +7(495)981-14-92, +7(495)676-79-37, +7(495)675-78-21
 e-mail: info@termohim.com, termohim@bk.ru
 www.termohim.com

вание для вакуумной термообработки. Отсюда следует, что Россия, с ее чуть более 1% от глобального рынка ТО, может иметь потребность в ежегодном обновлении оборудования для ТО и ХТО на сумму свыше 55 млн долл. Эта ниша в российском машиностроении заполняется продукцией, прежде всего, зарубежных компаний. В их числе:

Electrotherm (Израиль) — оборудование для закалки алюминия;

ALD Vacuum Technologies GmbH (Германия) — оборудование для вакуумной термообработки;

HEF DURFERRIT (Германия) — оборудование и расходные материалы для термической и химико-термической обработки в расплавах солей;

BMI Fours Industriels (Франция) — оборудование для вакуумной термической и химико-термической обработки;

Galika AG (Швейцария) — автоматизированное оборудование для термической и химико-термической обработки, моечное оборудование, реконструкция и модернизация печей;

Ipsen (США-Германия) — оборудование для термической и химико-термической обработки;

Bosio (Словения) — оборудование для термической и химико-термической обработки;

SECO/Warwick (Польша) — оборудование для термической обработки в защитных атмосферах, вакууме;

SCHMETZ (Германия) — вакуумные печи для термической обработки, пайки;

Uttis (Румыния) — оборудование для термической обработки в защитных атмосферах, химико-термической обработки.

В последнее время проявляют активность на рынке и российские компании, такие как:

«Накал» — поставляет широкий спектр термического оборудования;

ВНИИЭТО — оборудование для термической и химико-термической обработки, в том числе в тлеющем разряде;

ИЦУ — экологически чистые линии для термической и химико-термической обработки в расплавах солей;

ДарЗЭТО — закально-отпускные агрегаты;

НПП Нитрид — оборудование для химико-термической обработки;

«Тула-Терм» — оборудование для термической обработки.

Мировыми трендами при разработке нового оборудования и технологий для ТО являются:

- снижение воздействия на окружающую среду;
- сокращение времени производственного цикла;
- снижение затрат на эксплуатацию за счет более эффективного использования электроэнергии, воды и других видов ресурсов.

В русле этих трендов видится, что процессы низкотемпературной модификации поверхности с их минимальным изменением геометрии деталей получают более высокие доли на рынке. Все виды азотирования, низкотемпературные процессы цементации в расплавах и вакууме являются хорошими кандидатами на высокий потенциал роста в течение следующего десятилетия. Термохимические процессы поверхностного упрочнения, такие как CVD/PVD, борирование, оксикарбонитрация также имеют хорошие перспективы. Процессы с низким уровнем выбросов оксидов азота будут заменять более «загрязненные» процессы.

Вакуумные технологии получают свою заметную долю рынка в ТО. Заметим, что основным препятствием для быстрого роста вакуумной термообработки является высокая стоимость соответствующего оборудования. Однако сокращение проблем с экологией оправдывает более высокие затраты на вакуумное оборудование по сравнению с традиционными печами с защитной атмосферой.

Новые источники тепла, такие как инфракрасное излучение и СВЧ, наверняка, получат распространение в промышленном масштабе.

Системы управления печей для ТО стали компьютеризированными за последние 10 лет, и прогресс в этом направлении будет продолжаться. Для повышения эффективности процесса термообработки печи будут интегрированы в промышленный поток производства. Современное развитие в системе управления с PLC/HMI позволяет пользователем такого оборудования работать с компанией-разработчиком ПО в режиме онлайн. Следующей задачей в развитии управления печами является разработка системы управления, которая способна по заданным алгоритмам и контрольным показателям анализировать весь цикл термообработки и обеспечивать решение проблем, связанных с производительностью печей и качеством термообработки.

Таким образом, анализ тенденций показывает, что коммерциализация инновационных технологий ТО может быть весьма прибыльным бизнесом, обеспечивающим возрождение всего машиностроения в России.

БИЗНЕС-ПРОЕКТ СОЗДАНИЯ СЕТИ ЦЕНТРОВ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ХТО В РОССИИ

Несомненным лидером на рынке коммерческой ТО является компания HEF-group (Франция), обладающая сетью центров более чем в 20 странах.

Недавно достигнуто соглашение о создании в России совместного с этой компанией франко-немецко-российского предприятия «HEF-DURFERRIT-TERMONIM» (HDT), под эгидой которого будет создана сеть коммерческих центров ХТО по всей стране. Основной целью HDT является оказание высококачественных услуг по ХТО, прежде всего, по инновационными технологиям.

Эти технологии мало представлены на серийных заводах, хотя они обеспечивают несравнимо более высокие, чем классические технологии, характеристики поверхностных слоев деталей. К таким технологиям относятся разработанная в России карбонитрация в расплавах солей и ее зарубежные аналоги — Tenifer и Argcor. Их применение в различных задачах взамен азотирования и гальванического хромирования деталей (рис. 1) из сталей перлитного класса позволило получить абсолютно новое качество изделий.

Например, карбонитрация стволов стрелкового оружия взамен гальванического хромирования увеличивает кучность стрельбы и ресурс стволов более чем в 2 раза. Это связано с тем, что при гальваническом хромировании хром внутри ствола «ложится» волнообразно, в результате чего пуля на выходе из ствола приобретает импульс, вектор которого отклоняется от заданной прямой прицеливания. Напротив, упрочненный слой, полученный в результате диффузионных процессов карбонитрации, является абсолютно ровным, не скалывается и не трескается, что благоприятно сказывается на служебных характеристиках оружия.

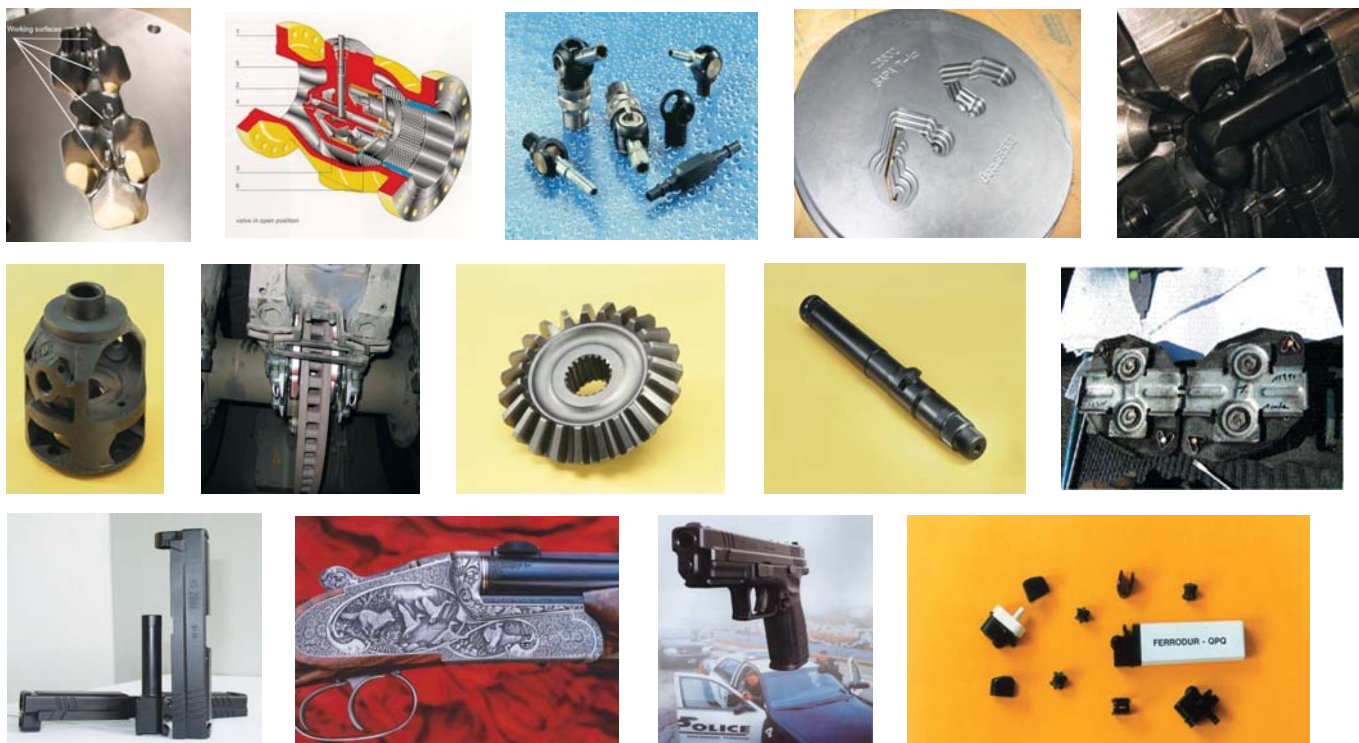


Рис. 1. Примеры применения технологии оксикарбонитрации.

Примерами эффективного применения технологии жидкостной оксикарбонитрации являются детали гидравлических систем, показывающие характеристики износо- и коррозионной стойкости значительно выше, чем после гальванического хромирования (рис. 2).

Автомобильная промышленность стран западной Европы активно использует коммерческие центры термообработки для упрочнения своей продукции инновационными методами. В частности, разработанная компанией HEF-Durferfrit технология Arcor нашла в таких центрах широкое применение для упрочнения клапанов, форсунок, храповиков и т. п. (рис. 3) вместо традиционной технологии азотирования.

Немногие технологии поверхностного упрочнения, наряду с высокими трибологическими характеристиками, могут обеспечить определенный запас пластичности поверхностного слоя. Это свойство особенно актуально для упрочнения резьбовых соединений, острых кромок, ультратонких уплотнительных поверхностей запорно-регулирующей арматуры и др. И здесь применение жидкостной оксикарбонитрации является наилучшей альтернативой

для достижения практически предельных эксплуатационных характеристик изделий в целом.

Не менее перспективной для использования в коммерческих центрах термообработки является технология STANAL 400, разработанная компанией HEF-group. Эта технология и оборудование не имеют аналогов в мировой практике и предназначены для упрочнения деталей из нержавеющей стали без потери коррозионной стойкости (рис. 4). Причем окончательное формирование свойств поверхности деталей осуществляется диффузионной обработкой при 400°C, что положительно сказывается на сохранении геометрии деталей.

Такие отрасли, как атомная энергетика, судостроение, химическая и пищевая промышленность, использующие в оборудовании пары трения, уплотнительные поверхности, резьбовые соединения и другие детали из нержавеющей стали, являются потенциальными потребителями этой технологии. Подчеркнем еще раз, в мире сегодня нет других технологий упрочнения нержавеющей стали без потери их коррозионных свойств, а потребности в ней различных отраслей огромны.

Еще одним из направлений в коммерческой термообработке может стать технология борирования. Это единственная технология из диффузионных методов упрочнения, предназначенная для повышения износостойкости в абразивных средах. Еще в Советском Союзе активно разрабатывали эту технологию, но сколько-нибудь значимого ее использования в промышленности не последовало из-за дороговизны,



Рис. 2. Примеры применения технологии жидкостной оксикарбонитрации (Tenifer-QPQ).



Рис. 3. Примеры применения технологии Arcor.



Рис. 4. Примеры применения технологии STANAL 400.

трудоемкости и неэкологичности процесса. А потенциал рынка для этой технологии в России огромен. Например, проведенные испытания деталей ступеней центробежных насосов для добычи нефти (рис. 5), упрочненных по этой усовершенствованной технологии, получившей коммерческое название Rubor, показали четырехкратное увеличение ресурса работы насосов. При средней годовой потребности в России более 100 000 насосов в год и сроком эксплуатации одного насоса без ремонта примерно в 1 год, при существующей цене спуска и подъема в скважине насоса для его замены в 0,5–1,0 млн руб. за каждый такой цикл, технология Rubor может сэкономить нефтяной отрасли десятки миллиардов рублей в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение хочется еще раз подчеркнуть, во-первых, огромную важность и перспективность развития инновационных методов ТО и ХТО для машиностроения и экономики страны в целом. А, во-вторых, отметить, что российская материаловедческая школа, как кадровая основа развития ТО, несмотря на все трудности как экономического, так и бюрократического характера раз-



Рис. 5. Примеры применения технологии Rubor.

вивается. Это видно, например, по увеличивающемуся количеству российских участников на международных выставках, возросших количества публикаций и активности воссозданного Российского общества материаловедения и термообработки (РОМиТ).

Все это дает надежды на то, что термообработка может стать одним из локомотивов всей машиностроительной отрасли. Ведь недаром после открытия великим русским ученым Д.К. Черновым полиморфизма железа в мире произошел бурный рост термообработки. Начало XXI века придает этому процессу новый импульс.

С. Г. Цих, ООО «ТЕРМОХИМ»
В. А. Андреев, ЗАО «Кермет»
info@termohim.com, vandreev@kermet-m.ru

Литература:

1. А. К. Тихонов. Основные направления развития термообработки в России. *Металлургия машиностроения* № 1, 2013. с. 36–40.
2. <http://www.themonty.com/Global%20Heat%20Treatment%20Industry.htm>.
3. http://www.perspektivy.info/rus/ekob/globalnyj_rynok_mashinostrojenija_2013-10-24.htm (Владимир Кондратьев. Глобальный рынок машиностроения).