



ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ: ЛАЗЕРНАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ ОБРАБОТКА

В. Югов, д.т.н., проф.,
ООО "Новые технологии лазерного термоупрочнения", Владимир

Упрочнение поверхностей металлических деталей лазерным лучом радикально повышает их твердость и износостойкость. В статье рассмотрены лазерные комплексы, которые обеспечивают лучший по сравнению с другими методами термический цикл для структурно-фазовых превращений со скоростным нагревом и быстрым охлаждением поверхностного слоя. При этом луч не нагревает глубинные слои детали и не вызывает напряжений, деформаций и изменений геометрических размеров.

Иногда приходится слышать и читать о том, что лазерные технологические установки имеют низкий по сравнению с традиционным оборудованием КПД и требуют больших затрат в эксплуатации. Тем не менее, в заголовке здесь осознанно применен термин "ресурсосбережение". О недостаточной аргументации и убедительности заявлений относительно КПД и затрат при эксплуатации уже говорилось [Лазер-Информ, 2012, №№5-6)]. Но поскольку, опираясь именно на такие неаргументированные заявления, иногда принимаются серьезные руководящие решения, то здесь придется изложить свои соображения более подробно. Речь пойдет о ресурсосбережении, причем не о таком, как заменить лампочку в 100 Вт на 75 Вт, или вовремя выключить станок, чтобы не работал вхолостую, или не забывать перекрывать водопроводный кран, чтобы экономить на расходе воды, хотя эти меры тоже нужны.

Речь в данном случае пойдет о том, чтобы с одного дорогостоящего штампа с меньшим количеством перешлифовок снять в 2-3 раза больше продукции. Как использовать для одного и того же объема грузоперевозок по железной дороге в 2-3 раза меньшее

количество дорогостоящих колесных пар, над-рессорных балок, боковых рам и других быстроизнашивающихся деталей тележек вагонов. Как сделать, чтобы коленчатые валы, гильзы цилиндров, клапаны и седла клапанов двигателей внутреннего сгорания служили в разы дольше, чтобы увеличился срок службы валов турбокомпрессоров и лопаток турбин до первого ремонта, а в случае износа - они восстанавливались бы с одновременным увеличением межремонтного срока эксплуатации. Поговорим о том, что надо сделать, чтобы для выпуска одного и того же количества стекло-тары или пластиковых емкостей использовать в 3-5 раз меньшее количество дорогостоящих пресс-форм. Что позволит дольше эксплуатировать запорную арматуру нефтегазопроводов и других аналогичных систем, резко повысить износостойкость и срок службы деталей нефтебурового оборудования, работающих в особо сложных условиях? Что надо сделать, чтобы зубчатые колеса различных типоразмеров и назначения, трудоемкие, металлоемкие и дорогие в производстве, могли эксплуатироваться значительно дольше? Что предотвратит преждевременную утилизацию в металлолом различных валов



и валков, особенно сложных и крупногабаритных, почвообрабатывающей и дорожно-строительной техники? Что будет способствовать эффективному восстановлению и одновременному повышению износостойкости и срока службы, что повысит стоимость дорогостоящих инструментов и оснастки, деталей станочного оборудования? Что вообще резко сократит количество ремонтов и связанных с ними простоев и потерь? Давайте поговорим и о том, что поможет чрезвычайно дорогостоящим орудийным стволам служить дольше. И т.д. и т.д.

То есть, в данном случае речь пойдет о такой технологии, которая позволит произвести больше промышленной продукции, перевезти больше грузов, добывать больше нефти и газа и т.д. ценой меньших затрат и потерь, причем меньших не на проценты, а в разы. Это принципиально, так как широко-масштабное освоение именно такой технологии в масштабах страны позволит сэкономить материальных, энергетических, трудовых и финансовых ресурсов на десятки миллиардов рублей в год.

Поскольку срок службы деталей в большинстве случаев определяется износостойкостью рабочих поверхностей, то необходимо разработать оборудование и технологию, позволяющие повысить износостойкость с минимальными прямыми затратами и без каких-то дополнительных сопутствующих проблем и затрат. Бесспорно, уже существует множество технологий, направленных на решение этой задачи: легирование материалов, из которых изготавливаются детали, различные способы напыления на изнашивающиеся поверхности, нанесение износостойких покрытий гальваническим способом, поверхностное термоупрочнение с использованием ТВЧ, плазменной дуги (струи), электромеханическое упрочнение, наплавка электродуговая, плазменная и т.д. Все эти технологии уже в течение многих лет в той или иной степени (каждая на своем уровне) решают задачи продления срока

службы деталей. Надо отдать должное этим технологиям и их разработчикам. Но появляются, и это естественно, новые технологии.

В данном случае речь пойдет о более новой, то есть более молодой по сравнению с упомянутыми, технологии лазерной обработки поверхностей деталей. Мы не говорим о том, что с появлением этой технологии все перечисленные выше действующие технологии должны отмереть. Пусть потребители сами их выбирают в зависимости от производственных условий, требований к продуктам, степени актуальности проблем эксплуатации, в конце концов, от уровня собственных знаний и компетентности. Но при разработке любых новых технологий серьезные разработчики стремятся, что естественно, минимизировать или вообще избежать недостатков предыдущих технологий и одновременно развивать и усиливать положительные качества новой технологии.

Имея почти сорокалетний практический опыт работы в сфере самых разных технологий и производств, могу с уверенностью оценить лазерное излучение как наиболее эффективный по сравнению с традиционными инструментами для термических (тепловых) методов обработки материалов. Особенно, подчеркиваю, учитывая, что процессы структурно-фазовых изменений (превращений) поверхностных слоев деталей для получения в них высоких эксплуатационных характеристик диктуют необходимость обеспечить строго определенный энергозатрат и термический цикл в зависимости от исходной структуры металла, химического состава, конструктивных особенностей деталей, условий теплоотвода и т.д.

То есть, если мы хотим получить действительно хороший результат, то мы должны пользоваться тонко регулируемым, хорошо управляемым инструментом со стабильными предсказуемыми энергетическими параметрами. При этом, учитывая



исключительное разнообразие типоразмеров деталей и конструктивных параметров зоны обработки (острые кромки, тонкие стенки, сложные рельефы, внутренние поверхности и углубления, малые и большие поверхности и т.д.), этот инструмент должен быть достаточно гибким и применимым во всех этих случаях. То есть нужен инструмент с качественно новыми возможностями для практического (а не только экспериментального) применения.

Именно поэтому в последние несколько лет мы целенаправленно занимаемся разработкой и развитием технологии лазерного упрочнения поверхностей деталей, прежде всего без оплавления, но обязательно добиваясь радикального (в разы) повышения их твердости и износостойкости.

Сейчас уже достаточно широко известно, что именно лазерный луч обеспечивает лучший по сравнению с другими методами термический цикл для структурно-фазовых превращений со скоростным нагревом и быстрым охлаждением поверхностного слоя. Это происходит благодаря высокой и стабильной плотности мощности в пятне и большой линейной скорости перемещения пятна, не нагревая глубинные слои детали и не вызывая напряжений, деформаций и изменений геометрических размеров.

Известно также, что лазерное упрочнение позволяет получать вполне достаточную для большинства случаев глубину упрочненного слоя от десятков микрон до 1,2–1,5 мм без оплавления поверхности и до 2,0–2,5 мм с минимальным оплавлением. Когда детали кроме износа испытывают большие радиальные нагрузки (например, шейки валов, обоймы подшипников и т.д.), оптимальной будет объемная закалка детали до 35–42 HRC перед ее окончательной механической обработкой. А после окончательной обработки в чертежный размер следует провести лазерное упрочнение изнашивающейся поверхности без ее оплавления, без нарушения макро- и микрогеометрии, например до 60–62 HRC. Это уже неоднократно проверено практикой.

При лазерном термоупрочнении поверхности не существует проблемы адгезии, т.е. связи упрочненного слоя с основной массой детали. Известно, что такая проблема преследует технологии нанесения различных износостойких слоев методами напыления и гальванических покрытий.

Лазерный луч, как никакой другой тепловой источник, позволяет упрочнять любые минимальные локальные участки деталей, тонкостенные ажурные нежесткие детали, широчайшую номенклатуру материалов. В частности, у нас есть практические результаты эффективного упрочнения

среднеуглеродистых сталей: 45, 40X, 40X13; высокоуглеродистых: У8, У10, ШХ15, ХВГ, 9ХС; инструментальных высоколегированных: Р18, Р6М5, Х12М, Х12МФ, Х12Ф, 4Х5МФС, Х6ВФ, чугунов СЧ20, ЧФ4, ЧХ1, титановых сплавов ВТ-6, VST2 и т.д. Менее эффективно, но упрочняются даже (предпочтительно с оплавлением) низкоуглеродистые доэвтектоидные стали: 10, 20, 20X, 12ХН4А.

Используя перечисленные и другие известные преимущества лазерного луча как инструмента, за последние годы нами на созданных специализированных комплексах уже упрочнены десятки тысяч самых разнообразных деталей по заказам предприятий разных отраслей. Достигнутые при этом радикальные (в 2–5 раз) повышения износостойкости подтверждены на практике и во многих случаях оформлены документально.

Сейчас главной целью и направлением нашей работы является дальнейшее совершенствование оборудования и технологии с последующим тиражированием и широкомасштабным внедрением в реальное производство.

Совершенствование ведется в трех основных направлениях.

Во-первых, совершенствование лазерного излучателя в части энергетических параметров пятна излучения в зоне обработки.

При упрочнении поверхности необходимо получить максимально равномерную глубину упрочненного слоя и максимально стабильную (равномерную) структуру и твердость в упрочненной зоне. Для этого необходимо (особенно при упрочнении без оплавления поверхности) создать равномерный тепловвод в поверхностный слой в зоне обработки. А это накладывает соответствующие требования к источнику энергии, точнее к его параметрам непосредственно в зоне контакта и воздействия на поверхность. Прежде всего, к величине плотности мощности и времени экспозиции (продолжительности воздействия) по ширине дорожки упрочнения.

То есть необходимо обеспечить максимально равномерный и стабильный тепловвод и термический цикл вдоль перемещения луча по ходу его движения по поверхности и по сечению, перпендикулярному движению. Причем при движении не только по прямой, но и по любой криволинейной траектории и любому сложному рельефу. Это непросто, но это не надуманное, а необходимое условие, если мы хотим иметь действительно качественную поверхностную обработку.

Трудно представить, что электрическая дуга, ацетиленокислородное пламя, плазменная дуга (струя), например в пятне обработки диаметром

6–8 мм, в принципе могут хотя бы отдаленно обеспечить это условие, отвечая этим требованиям. Поэтому подчеркну, мы целенаправленно сосредоточились на изучении возможностей, развития, разработке и практическом освоении оборудования и технологии именно лазерной поверхностной обработки.

Уже достаточно публикаций по лазерной обработке однолучевыми (CO_2 , волоконными, YAG) лазерами, обладающими гауссовым распределением плотности мощности в сечении луча (рис.1).

Естественно, здесь не может быть и речи о хотя бы более-менее равномерном распределении плотности мощности и одинаковом времени экспозиции по сечению луча. Поэтому и упрочненный слой в сечении имеет, как правило, форму сегмента (рис.2). В этом случае темп износа по мере углубления резко возрастает. Хотя износостойкость упрочненной зоны

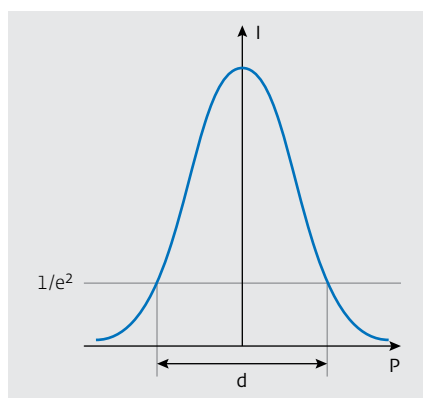


Рис.1. Гауссово распределение плотности мощности в пятне излучения

и выше, но темп износа связан не только с некоторым уменьшением твердости, но и особенно в связи с быстрым уменьшением ширины и площади упрочненной поверхности. В этом случае связь между глубиной упрочненной зоны и ресурсом по износу далеко не прямая, то есть достаточно условная. Кроме того, при необходимости сплошной обработки поверхностей размерами больше ширины одной дорожки, упрочнение необходимо проводить с перекрытием дорожек (рис.3). При этом понятно, что для

повышения ресурса по износу нужно стремиться, чтобы отношение h_1/h_2 было как можно ближе к 1. Это значит, что придется дорожки проводить с большим перекрытием. Следовательно, резко снижается производительность и увеличивается стоимость обработки, так как приходится ту же площадь упрочнять большим количеством дорожек. Между прочим,

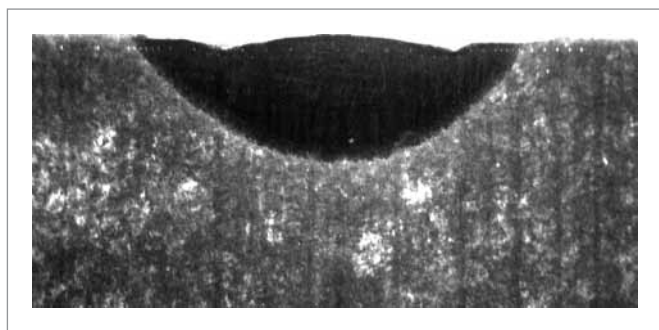


Рис.2. Сечение дорожки упрочнения однолучевым лазером

эта проблема относится не только к лазерному упрочнению.

Известно, что при упрочнении с перекрытием дорожек каждая последующая дорожка приводит к некоторому разупрочнению упрочненной предыдущей дорожкой зоны вблизи последующей дорожки. При этом, чем больше перекрытие, тем большая часть предыдущей дорожки разупрочняется (см.рис.3). Следовательно, с этой точки зрения обработку надо вести с меньшим перекрытием, но обеспечивая при этом максимальное приближение величины h_1 к h_2 . Это будет возможно тогда, когда форма сечения упрочненной зоны дорожки будет иметь вид не сегмента, а вид кривой, представленной на рис.4. А это возможно только при максимально равномерном по сечению дорожки тепловом вводе с учетом распределения плотности мощности и времени экспозиции, о чем было сказано выше. Известны способы решения этой задачи путем выравнивания гауссового распределения с использованием оптических систем (рис.5).

Однако это выравнивание рассчитывается для стабильного состояния, без перемещения пятна излучения по поверхности. Но при его перемещении суммирование мощности в точках дорожки по центру пятна все-таки значительно больше, чем в направлении от центра к краям. То же самое проявляется и в распределении по времени экспозиции, следовательно, и по термическому циклу. Известен способ выравнивания тепловвода путем

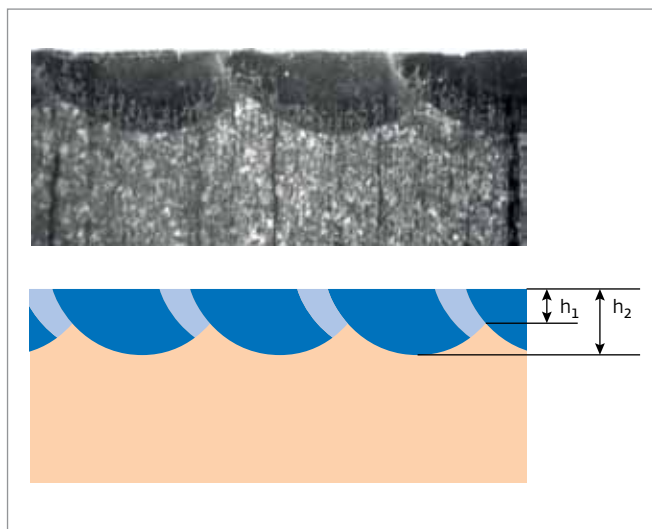


Рис.3. Схема наложения дорожек упрочнения при лазерной обработке однолучевым лазером

сканирования лучом. Однако этот способ решает проблему при перемещении луча (обработке) по прямой, но не годится для обработки по сложным криволинейным траекториям. Причина в том, что времена экспозиции для противоположных краев дорожки резко различаются между собой. И, соответственно, различны термические циклы и качество обработки по сечению дорожки (рис.6).

Появление многоканальных (многолучевых) лазеров серии МКТЛ, в которых один мощный луч с гауссовым распределением мощности заменен большим количеством лучей малой мощности, формируемых в разрядных трубках, скомпонованных в одном излучателе (рис.7а), бесспорно явилось очень серьезным шагом в решении перечисленных проблем.

И мы первый свой специализированный комплекс создали с использованием именно такого лазера МКТЛ-2 и на этом комплексе упрочнили тысячи производственных деталей.

Работа на этом комплексе нас убедила в правильности использования для поверхностного упрочнения именно многоканальных лазеров, так как

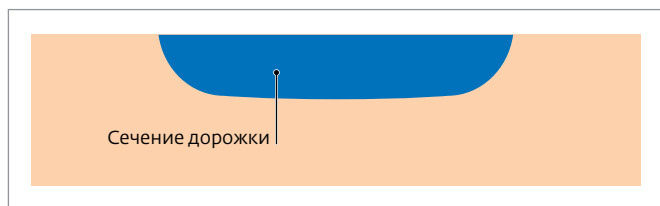


Рис.4. Сечение дорожки упрочнения многоканальным лазером



Рис.5. Устройство оптического выравнивания распределения плотности мощности в сечении луча

в них технически наиболее доступно и относительно не сложно решение вопроса перераспределения плотности мощности в сечении выходного излучения и в пятне обработки в нужном направлении. Результаты работы подсказали нам также, в каком направлении нужно и можно совершенствовать эти лазеры.

Из рис.7б видно, что компоновка трубок излучателя МКТЛ-2 все-таки не до конца решает задачу создания равномерного тепловвода. Это вызвано тем, что при движении пятна в разных направлениях суммирование мощности излучения трубок на одинаковом расстоянии от центра пятна, т.е. от продольной оси дорожки упрочнения, разное. Кроме того, в этой компоновке существует довольно большая разница во временах экспозиции равноудаленных от центра дорожки точек.

С целью устранить эти недоработки мы тщательно проверили конструкцию и расчеты и разработали новые оригинальные компоновки трубок излучателей. Изготовлены и эксплуатируются два комплекса мощностью 1,8 кВт и 3 кВт. Параметры и возможности второго лазерного комплекса подробно опубликованы [Лазер-Информ, 2012, №№5-6]. Сейчас мы запустили в производство первую партию, состоящую из трех мощных промышленных

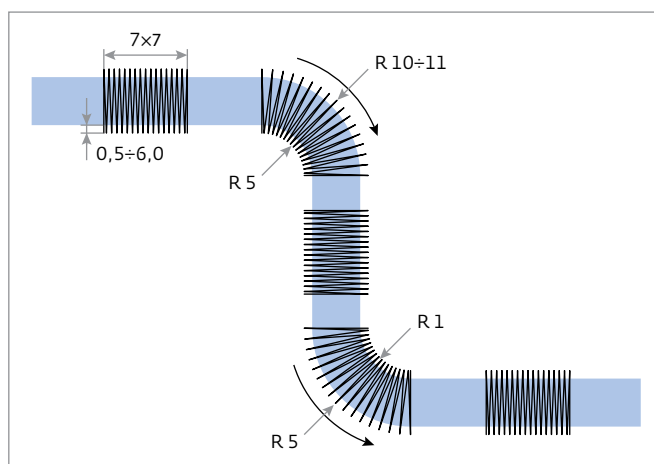


Рис.6. Лазерная обработка методом сканирования лучом

лазерных комплексов с лучшими (на наш взгляд) на сегодняшний день характеристиками лазерного луча в зоне обработки. Лучшими мы их оцениваем по распределению плотности мощности в пятне обработки и времени экспозиции в точках по сечению дорожки упрочнения, наиболее отвечающими изложенным требованиям для качественного термоупрочнения (рис.8, 9). Кстати, эти параметры пятна излучения в зоне обработки также наиболее

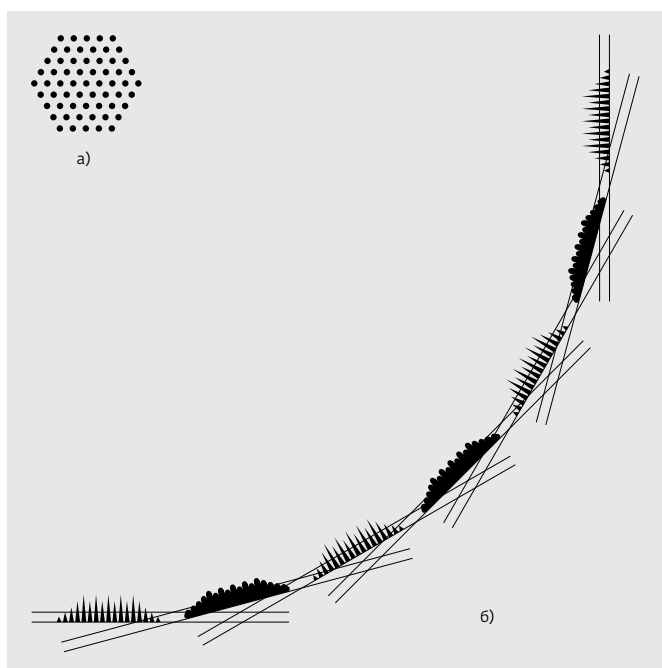


Рис.7. Лазерный комплекс МКТЛ-2: а) – компоновка трубок; б) – суммирование мощностей при движении пятна излучения в разных направлениях лазера

оптимальны и для лазерной наплавки. Мы в этом убедились на практике (рис.10).

Попутно здесь надо отметить, что появление многоканальных лазеров решило еще одну серьезную проблему в промышленном лазеростроении – повышение ресурса выходных окон. Поскольку в однолучевых мощных лазерах луч выходит с гауссовым распределением мощности с самой большой ее концентрацией в центре, то тепловая нагрузка на выходное окно самая высокая в центре, а отвод этого тепла хуже всего именно из центра. В многоканальных лазерах, как уже отмечалось, плотность мощности распределяется равномерно по всему выходному окну.

Второе направление развития оборудования заключается в особом подходе к проектированию и созданию технологического поста комплекса,



Рис.9. Схема наложения дорожек упрочнения при лазерной обработке многоканальным лазером

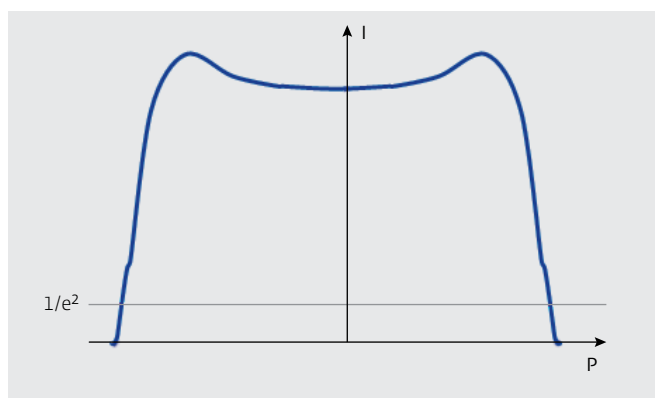


Рис.8. Распределение энерговклада в пятне излучения многоканального CO_2 -лазера

точнее, стола-манипулятора. Лазерные комплексы для упрочнения поверхностей и наплавки в большинстве случаев (хотя и не всегда) будут использоваться не для обработки одной номенклатуры деталей или для одного предприятия. То есть они предназначены для обработки широкой номенклатуры разнотипных по конструкции и массогабаритам деталей, причем номенклатура часто варьируется в связи с запросами заказчиков.

Поэтому столы-манипуляторы должны быть достаточно универсальными по грузоподъемности, зонам обработки, по возможности манипулирования лучом и деталями, по габаритам обрабатываемых деталей. Причем габариты обрабатываемых деталей вполне могут значительно превышать зону

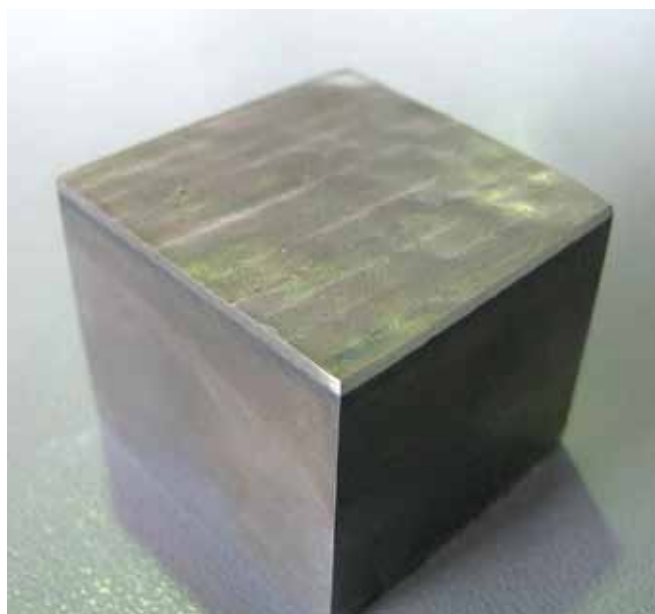


Рис.10. Образец лазерной наплавки на сталь 35 порошка на никелевой основе (толщина слоя 1,2 мм)



Рис.11. Лазерный технологический комплекс АЛТКУ-3

обработки, так как упрочняются или наплавляются, как правило, локальные участки деталей.

С учетом этой специфики мы создали комплекс АЛТКУ-3 (рис.11), о котором уже подробно мы писали. Повторим только то, что стол-манипулятор имеет грузоподъемность 2 тонны, 5 степеней подвижности манипулирования лучом и 2 степени подвижности манипулирования деталями, зону обработки $1000 \times 1000 \times 400$ мм и позволяет обрабатывать детали размерами до $2500 \times 1000 \times 1000$ мм.

Конечно, если на одном предприятии комплекс будет полностью загружен обработкой (детали однотипной номенклатуры, например типа боковых рам, наддресорных балок, колесных пар на крупном вагоноремонтном заводе, или турбинных лопаток на авиадвигательном заводе, или гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания и т.д.), то в этом случае целесообразней использовать комплекс с узкоспециализированным столом-манипулятором. Или, например, для упрочнения или наплавки внутренних цилиндрических поверхностей диаметром 120 мм, длиной (глубиной) до 3000 мм в трубах (в стволах), длиной до 6000 мм, т.е. для какой-либо уникальной работы

также целесообразней создавать узкоспециализированный комплекс. Мы работаем над созданием таких комплексов.

Третьим направлением нашей работы по совершенствованию оборудования и технологии является автоматизация процессов обработки поверхностей. Выше уже было сказано, что технология упрочнения (не только лазерного) поверхностей, процессы структурно-фазовых превращений зависят от очень многих факторов и параметров. Поэтому, чтобы получить желаемый результат, требуются строгие расчеты, тонкое регулирование задаваемых параметров режимов обработки с учетом всех факторов и точное оперативное управление текущим процессом обработки.

Поэтому такие технологические процессы должны и могут выполняться только в режиме автоматического управления с обеспечением предсказуемых, стабильных и воспроизводимых режимов. Только в таком случае можно говорить и рассчитывать на получение действительно качественных высокоэффективных упрочненных поверхностей. Этим принципом мы руководствуемся при создании наших комплексов.

У нас вызывает недоумение и удивление, когда некоторые компании, позиционирующие себя как инновационные, на выставках распространяют красочно оформленные рекламные материалы, где на снимках рабочий вручную, держа в руках на весу аппаратуру проводит плазменное упрочнение рабочих поверхностей зубьев большого зубчатого колеса диаметром более 1 метра и с модулем $m > 5$. О каком качестве упрочнения, о каком равномерном, стабильном, воспроизводимом тепловом вводе в поверхность и термическом цикле можно здесь говорить вообще. Кому нужна такая ручная технология, пусть даже дешевая? Во всяком случае, не для ответственных деталей и сфер применения.

Иногда собеседники говорят, что нет особого смысла так серьезно работать над проблемой



распределения плотности мощности, якобы все равно в пятне обработки все нивелируется. Практика доказала ошибочность таких утверждений. Например, когда в 2006 году на первом нашем комплексе перестали излучать несколько трубок (до нас этот лазер более 9 лет проработал на другом предприятии), то это сразу же отразилось в зоне обработки. При этом уменьшилась глубина упрочнения и твердости именно в местах проецирования излучения вышедших из строя трубок. Этот факт подтвердил высокую чувствительность процессов структурно-фазовых превращений к отклонениям параметров и режимов обработки, необходимость строгого, щепетильного подхода к разработке оборудования и технологии.

Именно с этих позиций мы стараемся, по возможности, внимательно следить за работами разных фирм в этом направлении, критически, но объективно их оценивая. Главное – в своих работах максимально глубоко и профессионально решать все научно-технические и организационно-экономические вопросы. За прошедшие годы целенаправленной работы над этой проблематикой нам удалось накопить большой практический опыт в создании оборудования и в разработке технологии. Мы упрочнили десятки тысяч разнообразных деталей различного назначения, из разных материалов, для разных предприятий, увеличив износостойкость в 2-5 раз, иногда даже в шесть раз, ценой упрочнения не более 15-20% от стоимости детали. Срок окупаемости затрат на создание оборудования и внедрение технологии в среднем составляет не более 1,5-2 лет, а срок службы такого оборудования в режиме активной эксплуатации не менее 10-15 лет. Мы убеждены в чрезвычайной актуальности резкого расширения работ в этом направлении.

Технологический спрос на предлагаемую технологию и оборудование для широкомасштабного внедрения во все отрасли в масштабах страны по самым сдержанным подсчетам составляет более 600 комплексов. Грамотное и оперативное решение этой масштабной задачи позволит, как уже отмечалось, сэкономить в стране ресурсы на десятки миллиардов рублей в год. У нас есть четкое понимание, как решать эту задачу, налажена кооперация предприятий, готовых к реализации проектов в этом направлении, сложились деловые контакты в лазерном сообществе. Однако знаний, опыта и желаний только создателей оборудования и технологий недостаточно для широкомасштабного развертывания работ по удовлетворению всего технологического спроса.

Не менее, и даже более важно, чтобы присутствовала озабоченность, заинтересованность и ответственность специалистов и руководителей разного уровня производственных предприятий (крупных, средних, малых), холдингов и корпораций за качество и ресурс выпускаемой ими продукции. Чтобы не покидало их желание искать, профессионально грамотно оценивать новые технологии, объективно и ответственно готовить предложения для руководства. Посоветуем руководителям принимать взвешенные решения, внедряя ту или иную технологию, иногда даже преодолевая сопротивление своих специалистов, цепляющихся за старые технологии, которым они посвятили многие годы. К сожалению, не секрет сегодня и то, что некоторые предприятия, особенно монополисты, выпуская технику, не заинтересованы в повышении срока службы своей продукции, боясь снижения заказов со стороны потребителей. Но потребители однозначно должны быть заинтересованы в повышении качества, износостойкости и срока службы приобретаемой и эксплуатируемой ими техники и, соответственно, влиять на поставщиков.

К нам поступило несколько десятков писем от предприятий различных отраслей с просьбой решить их проблемы повышения ресурса деталей и изделий. Но, как правило, у них нет своих средств на финансирование работ, особенно на приобретение оборудования. А создание одного, даже уникального, комплекса на средства какого-нибудь частного предпринимателя – это не решение вопроса стратегического развития высокоэффективной технологии многоотраслевого применения.

К продвижению таких наукоемких технологий необходимо подключиться государственным структурам с помощью технологических платформ, федеральных целевых программ, технологических баз, разного рода инновационных и венчурных фондов и т.д., и т.д. Но только нельзя допустить, чтобы при этом серьезные инициативы потонули в многотонной бумажной волоките, далеко не всегда продуманной и обоснованной. Многомесячные экспертизы и разбирательства часто отталкивают разработчиков.

Если мы хотим, чтобы многочисленные выступления, заявления и призывы на разных уровнях о модернизации, наукоемких технологиях и т.д. не остались только красивыми и правильными призывами, надо однозначно понять, что новые высокоэффективные наукоемкие технологии и оборудование нужны не только и не столько самим разработчикам и создателям, сколько прежде всего потребителям, наконец стране. ■