К 30-летию Института проблем лазерных и информационных технологий РАН

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК ПО ТЕРМИЧЕСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ИПЛИТ РАН

В.С.Майоров
доктор физ.-мат. наук, директор Научно-образовательного центра Института проблем лазерных и информационных технологий РАН

1. ВВЕДЕНИЕ

Недавно исполнилось 30 лет со дня основания Института проблем лазерных и информационных технологий Российской академии наук – ИПЛИТ РАН (который до июля 1998 г. назывался Научно-исследовательском центром по технологическим лазерам – НИЦТЛ РАН). В 70-х годах XX века уровень развития отечественной лазерной техники и научные достижения в области взаимодействия лазерного излучения с веществом создали необходимые предпосылки для их практического использования в промышленности. Основной задачей НИЦТЛ ставилась организация работ по созданию лазеров и лазерных технологий для народного хозяйства и определению эффективных областей их применения.

С тех пор прошло много событий в жизни института. Одни события забылись, другие события воспринимаются иначе, чем в былые времена. В год юбилея института стоит вспомнить историю, разные факты, подвести некоторые итоги. Цель данного обзора – составить некоторую историческую справку о становлении и развитии работ в институте по термической лазерной технологии и провести анализ научных разработок.

2. РАБОТЫ ИНСТИТУТА ПО ТЕРМИЧЕСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В начале 1980 года для НИЦТЛ было выделено небольшое помещение в здании горисполкома г. Троицка Московской области, в котором размещались сотрудники дирекции и администрации НИЦТЛ. В это же время был издан приказ директора НИЦТЛ о создании первых научно-исследовательских отделов: отдела газовых лазеров (ОГЛ), отдела лазерной атомно-молекулярной технологии (ОЛАМТ) и отдела термической лазерной технологии (ОТЛТ).

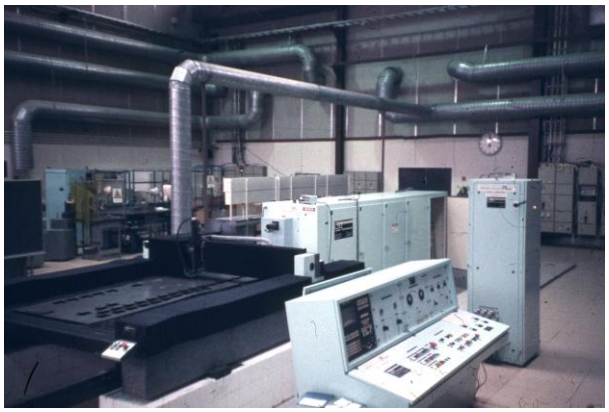
Пока ещё не было построено основное здание института в г. Шатуре, и научные отделы формировались и располагались в других организациях, работающих в близких направлениях. Так, практически сразу после создания НИЦТЛ началось организационное оформление фактически уже существовавшего его совместного научного коллектива с центральной лабораторией лазерной и электронно-лучевой обработки (ЦЛЭЛЛО) ПО “АвтоЗИЛ”.

Было принято решение о формировании на базе ЦЛЭЛЛО совместного с НИЦТЛ научного коллектива и наборе в него сотрудников. Вскоре было подготовлено Положение и подписан совместный приказ № 141 от 02.04.81г. о ЦЛЭЛЛО ЗИЛ - базовой лаборатории НИЦТЛ АН СССР. Был сформирован единый совместный коллектив лаборатории из сотрудников ЗИЛ и НИЦТЛ. В течение нескольких лет, до начала реального функционирования научно-экспериментальной базы в Шатуре, основная деятельность НИЦТЛ в области лазерной обработки материалов велась с опорой на базовую лабораторию ЗИЛа. Общая численность сотрудников базовой лаборатории в этот период превышала 30 человек.

Фактически эта лаборатория являлась центром коллективного пользования для многих научных организаций страны. В этот период совместная работа сотрудников разных организаций отнюдь не мешала, а наоборот, помогала, дополняла и интенсифицировала научные исследования. Открытость, взаимопомощь, постоянные творческие контакты в огромной степени ускоряли ход работ.

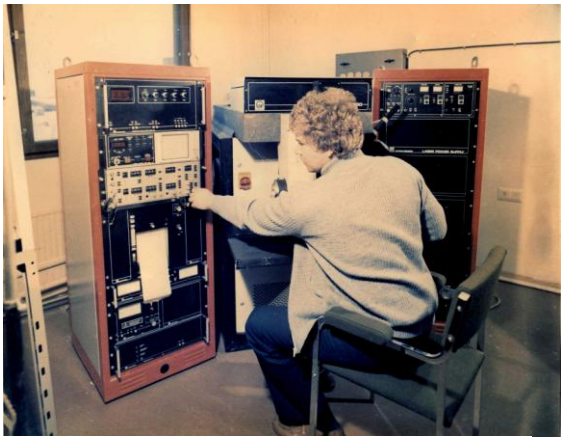
В базовой лаборатории. Справа – А.П.Александров, В.М.Андрияхин. Слева – Е.П.Велихов, В.Д.Кальнер.

С весны 1983 года началась подготовка к созданию собственной базы ОТЛТ в Шатуре. В течение 1984-85 годов в стендовом зале ещё строящегося института были установлены и запущены лазеры SP-973, SP-820, ТЛ-5, МКТЛ-2 с технологической оснасткой, лазерный комплекс Laser Techniqe для прецизионной резки.



Стендовый зал. Слева - лазерный комплекс Laser Techniqe для прецизионной резки. Справа – стенд для лазерной сварки с лазером ТЛ-5.

Были запущены участок изготовления металлографических шлифов, машины для испытания износных и прочностных характеристик. Была развернута и введена в действие современная металлофизическая лаборатория с электронным микроскопом Tesla, установкой LAMMA-500, анализатором ДРОН, металлографическим микроскопом Neophot и другим металлографическим оборудованием.



Электронный микроскоп Tesla (слева) и установка LAMMA-500 (справа)

Руководство НИЦТЛ уделяло большое внимание сотрудничеству с промышленными предприятиями, отраслевыми НИИ. Сотрудники института активно участвовали в программах работ по межакадемическому сотрудничеству. Велись совместные работы с зарубежными организациями. Производился отбор важнейших тем для реальных внедрений и перспективных НИР.

21 февраля 1986 года - особая дата в истории НИЦТЛ. Это дата официального открытия экспериментальной и опытно-промышленной базы Центра в Шатуре. Официальные представители и гости увидели и оценили результаты работы ОТЛТ, на стендовой базе которого реально демонстрировались процессы обработки материалов на наших и импортных лазерных установках.

На открытии Лазерного Центра в г. Шатуре

В начале 80-х годов основной объем исследований был сконцентрирован в области разработки научных основ лазерной сварки. В первую очередь работа была направлена на разработку технологии сварки деталей автомобилей ЗИЛ: карданного вала и шестерен. Применение лазерной сварки позволило устранить деформации проушин карданного вала и резко увеличить ресурс его работы.

Сотрудники института активно участвовали в разработке технологии сварки алюминиевых сплавов применительно к испарителю холодильника ЗИЛ. Выполнен большой объем исследований по сварке воздушной заслонки карбюратора автомобилей ЗИЛ. Проведен цикл исследований лазерной сварки труб из различных сталей, в том числе разработаны режимы лазерной сварки сталей бейнитного класса 17Г1С, 17Г2С, 16ГФР, 10Г2Ф6ТУ, применяющихся для строительства газо- и нефтепроводов. . Разработаны режимы лазерной сварки встык магистральных труб газо- и нефтепроводов: диаметр труб 273 и 325 мм при толщине стенок 6 и 8 мм. Проведены эксплуатационные испытания сварных швов при их врезке непосредственно в трубопроводы.

Выделялось развитое направление по физике взаимодействия излучения с веществом. На созданном для таких исследований стенде осуществлен цикл измерений поглощательной способности материалов. Проведены работы по исследованию поглощающих покрытий при лазерной закалке, бесконтактному пирометрическому измерению температуры в зоне обработки. Разработана теоретическая модель и предложена методика расчета оптимальных режимов лазерной закалки. Исследовано влияние различных факторов на глубину лазерной закалки сталей: режимов лазерной обработки, химсостава, исходной микроструктуры, типа поглощающего покрытия, шероховатости поверхности. Разработана научная теория прогнозирования микроструктуры железоуглеродистых сплавов при лазерной обработке, основанная на решении диффузионной задачи аустенизации в процессе лазерного нагрева и сопоставлении термических циклов с термокинетическими кривыми распада аустенита на стадии охлаждения.

Исследовались распределения остаточных напряжений в поверхностных слоях сталей после лазерной обработки. Изучение остаточных деформаций при лазерной обработке длинномерных изделий (станочные направляющие длиной около 2 м) из стали и серого чугуна показало, что лазерная закалка на глубину до 1 мм при наложении на одну плоскость нескольких полос шириной 16 мм может привести к деформации бруса в несколько миллиметров. Соответственно, были предложены и запатентованы способы устранения подобных деформаций. С использованием данных металлографического анализа, а также определения величины и знака остаточных напряжений оптимизированы режимы и схемы лазерной обра-

ботки, позволяющие получить положительные результаты по усталостным характеристикам и износостойкости.

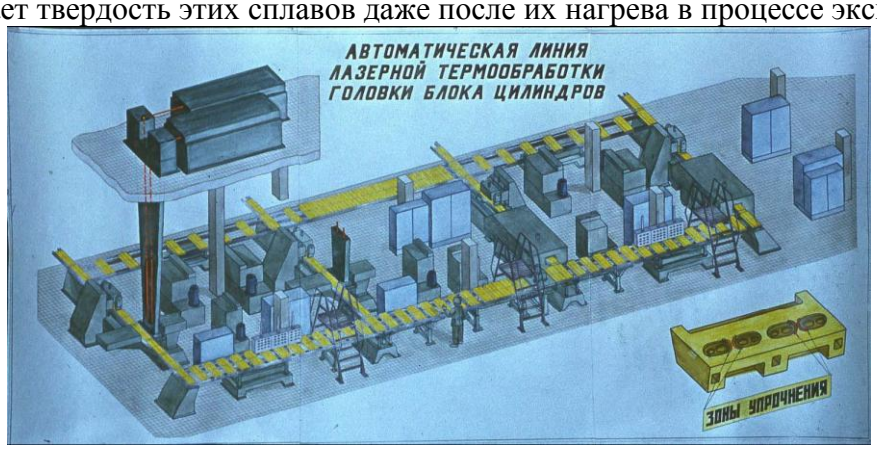
Теоретически обосновано и экспериментально исследовано влияние различного количества поверхностно-активных веществ (в том числе серы, селена) на характер конвекции в ванне расплава и на геометрию проплавленных лазером полос на армко-железе и сталях. Разработана модель, описывающая процессы перемешивания жидкой ванны при лазерном легировании поверхности. Построена термодинамическая модель, описывающая явление капиллярной термоконцентрационной неустойчивости.

Большой объем научно-исследовательских работ приходился на разработку и всестороннее изучение методов лазерной наплавки самофлюсующимися никелевыми порошками при различных способах введения присадки в зону воздействия. Изучены такие свойства, как тепло- и трещиностойкость; выявлены особенности формирования микроструктуры никель-хром-бор-кремниевых сплавов; показано, что износостойкость лазерных наплавок в 3-5 раз выше газоплазменных и более чем в 10 раз - наплавок ТВЧ. Наплавлены опытные партии клапанов дизельных двигателей для ПО “АвтоЗИЛ”, ПО “Барнаултрансмаш”, предприятия IFA (ГДР) и получены успешные данные их испытаний.

Проведены исследования по изучению механизмов упрочнения цветных сплавов при лазерной обработке: деформируемых алюминиевых (Д16, Д19), литейных алюминиевых (АЛ4, АЛ9, АЛ10В, АЛ25, АЛ30, АЛ32, АЛ26), алюминиевых ковочных (АК4, АК5М7), медных (БрНХК, БрОЦС-4-4-2,5), титановых (ОТ-4, ВТ6, ВТЗ-1, ВТ16), циркониевого (Н-1).

Была показана возможность лазерного упрочнения некоторых цветных сплавов (титановых, циркониевых, медных), исследованы микроструктуры этих сплавов, установлены механизмы повышения твердости при лазерном облучении. Проводились опыты по лазерной обработке ферритов, твердых сплавов, пермаллоя, керамики. Применительно к упрочнению бандажных полок лопаток турбин из никелевого сплава проведен цикл экспериментов по их легированию карбидами и субкарбидами титана, ниобия, тантала, кремния. Апробировано лазерное упрочнение ряда деталей двигателей: цилиндров автомобильных двигателей, втулок тепловозов и тракторов, втулок и седел клапанов, а также деталей трансмиссий автомобилей и комбайнов.

Исследования по лазерной закалке и легированию алюминиевых и медных сплавов также во многом были связаны с работами на ПО “АвтоЗИЛ” (упрочнение головки блока цилиндров из сплава АЛ-4 и компрессионных канавок в поршне из сплава АЛ30). Разработаны методы лазерного легирования алюминиевых сплавов железом, никелем и никель-хром-бор-кремниевыми сплавами. Показано, что в результате лазерной обработки и легирования значительно возрастает твердость этих сплавов даже после их нагрева в процессе эксплуатации.



Автоматическая линия лазерной термообработки головки блока цилиндров автомобиля ЗИЛ.

В моторном корпусе на ЗИЛе для упрочнения головок блока цилиндров была запущена не имеющая аналогов в мире автоматическая линия с лазерами “Комета”. На Ивановском станкостроительном производственном объединении был запущен участок лазерной закалки станочных направляющих с использованием лазера SP-973 мощностью 2,5 кВт.

На Московском заводе карданных валов на базе лазера ЛТ1-2 был создан лазерный технологический комплекс для сварки карданных валов. Была отработана технология лазерной сварки карданного вала нахлесточным швом при спиральном проплавлении, что значительно упростило требования к подготовке кромок к сварке. Были разработаны методы ультразвукового контроля качества соединений карданного вала, выполненных лазерной сваркой с вероятностью обнаружения дефектов 95%.

Карданный вал автомобиля ЗИЛ.
Слева – лазерная сварка, справа – аргонно-дуговая сварка.

Разработана технология лазерной сварки изделий из тонколистовых сталей (аэрозольных баллончиков, консервных банок) с производительностью до 150 штук в минуту. Изготовлен и испытан экспериментальный макет такой автоматической линии для НПО “Крымпродмаш”. Разработаны режимы лазерной сварки, сварены шестерни из сталей 18ХГТ и 40Х как с присадочной проволокой, так и без нее. Испытания шестерен на Барнаульском моторном заводе показали, что уровень остаточных деформаций не превышает 0.05 мм, технология лазерной сварки шестерен рекомендована к внедрению. Разработаны режимы лазерной сварки корпусов электродвигателей для ПО “Воронежагрегат”, угольников для Ставропольского инструментального завода, а также корпусов конденсаторов для Рязанского конденсаторного завода.

Для резки шаблонов и ряда других деталей в прессовом корпусе ЗИЛ была запущена установка для лазерной резки “Луч”. Разработка технологии импульсной лазерной закалки штамповой оснастки позволила там же внедрить установки “Квант-16” для закалки вырубных пуансонов и матриц, что позволило увеличить их срок службы в несколько раз.

Закалённые лазером вырубные пуансоны и матрицы.

Изучены микроструктура и свойства (износостойкость, теплостойкость, усталостная прочность), а также оптимизированы режимы лазерной обработки клапанной стали 40Х10С2М. Результаты этих разработок были положены в основу технологического упрочнения фасок и штоков клапанов двигателей. Испытания на ПО “Барнаултрансмаш” показали значительное увеличение стойкости узлов “фаска-седло” и “шток-втулка”. В результате рекомендации были приняты к использованию на вышеуказанном ПО, а также на ПО “КАМАЗ”.

Номенклатура деталей для лазерной обработки регулярно обсуждалась совместно с технологическими и конструкторскими подразделениями предприятий-потребителей. При этом рассматривались и проводились эксперименты по разработке таких технологических процессов, как лазерная резка с последующей лазерной сваркой труб глушителя, лазерная резка аллитированной жести для прокладки в головке блока цилиндров, термоупрочнение вилки дизеля, серьги, рычага управления, компрессионных канавок поршней, лазерная наплавка рычага диска сцепления и др.

3. СОЗДАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Одновременно с научными и прикладными технологическими работами в НИЦТЛ формировалась идеология построения и создания специализированного оборудования для

реализации лазерных технологических процессов - лазерных технологических комплексов (ЛТК).

В 1985 году в связи с созданием Межотраслевого научно-технического комплекса “Технологические лазеры” (МНТК ТЛ) перед нашим институтом как головным встал ряд новых задач по координации планов и совместных работ по поиску, выявлению и обоснованию крупных, массовых задач для внедрения лазерных технологий и оборудования. Была разработана методика оценки потребности отраслей в лазерном оборудовании, составлены и разосланы опросные формы, проведен анализ и систематизация полученных данных.

Основной задачей МНТК ТЛ являлось налаживание промышленного выпуска CO_2-лазеров. На Совете МНТК ТЛ за каждым предприятием были закреплены конкретные разработки, определены институты, ответственные за подготовку документации и ведение авторского надзора (Табл. 1).

Табл. 1. Предприятия МНТК ТЛ и их планируемое производство

№ п/п	Наименование предприятий	Тип лазеров	Разработчик	Подготовка КД и надзор	Гос-заказ на 1988 г.
1.	ПО “Сибэлектротерм”	ЛН-1,2 НО-И1 ЛН-1,2 НО-И2 (ЛОК-1, ЛОК-2)	ИТПМ	ВНИИЭТО	20
2.	МосЗЭТО	ЛН-2,5 НМ-И2 ЛН-1,2 НМ-И1 (ИГЛАН-2, ИГЛАН-1)	ВНИИЭТО	ВНИИЭТО	16
3.	НПО “Ротор” г. Черкассы	УЛГ-2.02 (Лантан-3)	ИПМ	ИПМ	4
4.	Новозыбковский з-д “Индуктор”	УЛГ-2.01 (Лантан 2) ТЛ-5М, ТЛ-1,5	ИПМ НИЦТЛ	ВНИИЭСО НИЦТЛ	48
5.	Калининградский з-д “Электросварка”	МТЛ-2	НИЦТЛ	НИЦТЛ	2
6.	ПО “Азэлектротерм”	ТЛ-1,5	НИЦТЛ	НИЦТЛ	4

Уже в 1987 г. в различных организациях МНТК ТЛ было изготовлено 28 технологических лазеров и лазерных установок. В связи с этим перед ОТЛТ были поставлены задачи выявления потребности в лазерной технике и наиболее перспективных областей ее использования, распределения лазерных установок и анализа эффективности их применения. Для решения этих задач был создан технологический совет. В течение 1987-1988 гг. совет выполнял регулярную работу, которая координировалась директором НИЦТЛ. Под руководством технологического Совета были организованы ежеквартальные совещания технологов-лазерщиков отраслевых НИИ и машиностроительных министерств.

В таблице 2 дан перечень основных работ по созданию АЛТК за прошедшие годы.

Таблица 2. Перечень АЛТК, разрабатывавшихся в НИЦТЛ в кооперации с другими организациями

N	Назначение и тип АЛТК	Тип лазера	Манипулятор. Габариты рабочей зоны, мм	Организация-соисполнитель	Результат разработки
1.	Маркировка, МИ	ЛТН-102, 103	АП-400 400x500	НПО “Ротор”	Внедрен на Ставропольском инструментальном заводе
2.	Резка, МИ	ТЛ-1,5	АП-400 400x500	НИЦТЛ	Выставка “Химия 88”
3.	Термообработка, МИ	МТЛ-2	Робот-манипулятор М20П.40.01	НИЦТЛ	Выставка “Машиностроение 88”

4.	Резка, МО	ТЛ-1,5	ЕЛП-002 1450x2015	З-д “Строярне пиесок”, ЧСФР	Изготовлено 4 экз.
5.	Резка, МО	ТЛ-1,5 ТЛ-5М	РБ 282 1600x2500 3200x6300	ТКР “Берое”, Болгария	Изготовлено 13 экз. Выставка “Метал-лообработка 89”
6.	Резка, МО	ТЛ-1,5	2000x4000	ВНИИАВТОГЕНМАШ	Изготовлен 1 экз.
7.	Резка, СМ	ТЛ-1,5	СЛАП-1 2000x3000	НИИТМ	Изготовлен 1экз.
8.	Резка, СМ	ТЛ-1,5		Стерлитамакское СПО	Изготовлено 12 экз.
9.	Резка, СМ	ТЛ-1,5	ЛМС 7И-1000	НИТИ “Прогресс”	Изготовлен 1 экз.
10.	Резка, МО	ТЛ-1,5	СР-0812 840x1200	НИЦТЛ	Изготовлено несколько экз.
11.	Резка, перфо-рация, МО	ТЛ-1,5 (ИПЛ-2)	СР-1712 1200x1700 1600x2500	ИЧТЧМ, Румыния	Разработана КД
12.	Термо-обработка, СМ	МТЛ-2	1000x2000	ЗЭЗ/ЗСЭ, ЧСФР	Разработана КД
13.	Многоцелевой, СМ	МТЛ-2 (ТЛ-1,5, ТЛ-5М)	ЛОЦ-001	ЗММ, Болгария	Изготовлено 2 экз. Выставка “Пловдив 89”
14.	ЛТК для сварки карданного вала, СП	ЛТ1-2	Специализир.	ПО “АвтоЗИЛ”, ФИАЭ	Изготовлен 1 экз.
15.	Резка, МО	ТЛ-1,5	1600x2500	ПО “АвтоЗИЛ”	Изготовлен 1 экз. на ПО “АвтоЗИЛ”
16.	Резка, МО	ТЛ-1,5	“Севан” 2000x2000	ПО “АвтоЗИЛ”	Изготовлен 1 экз. на ПО “АвтоЗИЛ”
17.	Многоцелевой, МИ	ТЛ-1,5, МТЛ-2 (ТЛ-5М)	124А-400x400 125А-630x630 126А-1000x1000	ВИСП Каунасское СПО	Изготовлено 4 экз.
18.	Термообработ-ка колец под-шипников, СП	ТЛ-5М	Специализир.	НИЦТЛ	Изготовлен 1 экз.
19.	Прокатно-сварочный стан, СП	ТЛ-5М	Специализир.	ВНИИМЕТМАШ, ЭЗТМ	Изготовлен 1 экз.
20.	Сварка кон-сервных банок, СП	ТЛ-5М	Специализир.	ПО “Крымпродмаш”	Изготовлен 1 экз.
21.	Резка, СМ	ТЛ-1,5	РТМ-1502 1000x2000	ЗММ, Болгария	Изготовлен 1 экз. Выставка “Машино-строение 89”
22.	Многоцелевой, МН	ТЛ-5М (ТЛ-1,5, МТЛ-2)	М115 250x500	Кировское МПО	Изготовлен 1 экз.
23.	Маркировка, ЛР	ЛТН-102	Робот РМ-01 с лучепроводом	НПО “Гранат”	Изготовлен 1 экз.

Условные обозначения: МИ - манипулятор изделий; МО - манипулятор оптики; СМ - смешанная система; ЛР - лазер-робот; СП - специализированные.

Как видно из приведенных данных, к началу 90-х годов разработано, изготовлено и в ряде случаев поставлено потребителям более 20 типов ЛТК, большинство из которых предназначено для резки листовых материалов. Разработаны оригинальные специализированные ЛТК для сварки консервных банок и аэрозольных баллончиков, а также для продольной сварки труб в прокатном стане. Разработанный группой конструкторов НИЦТЛ лазерный обрабатывающий центр широкоуниверсального назначения имел систему для автоматической смены оптико-фокусирующих головок.

Начиная с 90-х годов как организация работ, так и структура института коренным образом изменились. Являясь учреждением Российской академии наук, ИПЛИТ РАН сосредо-

точился на фундаментальных научных проблемах. Производство и промышленный выпуск оборудования перешёл к специализированным предприятиям, основная часть которых выросла в стенах НИЦТЛ.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ деятельности отдела термической лазерной технологии показал, что за многолетний период выполнен внушительный объем научно-организационных и научно-исследовательских работ. С участием сотрудников ОТЛТ внедрены технологические процессы на многих предприятиях. В течение нескольких лет функционировали базовые лаборатории на промышленных предприятиях. В кооперации с рядом предприятий организован промышленный выпуск лазерных технологических комплексов. Определены наиболее крупные технологические задачи для термической лазерной технологии. Созданы инженерные центры по лазерной технологии, работающие на принципах самофинансирования. На предприятия и в различные организации поставлено около сотни технологических лазеров и комплексов.

В разное время выполнены фундаментальные исследования по разработке технологических процессов лазерной обработки материалов: закалки, легирования, наплавки, сварки, резки и др. Многие направления исследований, выполненные в подразделениях ОТЛТ, имеют приоритетные значения. По результатам деятельности ОТЛТ опубликовано несколько сотен печатных работ, оформлено около сотни изобретений, изданы монографии и учебные пособия. Разработаны и изготовлены уникальные образцы экспериментальных стендов и экспериментальной оснастки для реализации технологических процессов.

Специфика термической лазерной технологии как направления в составе фирмы или предприятия, выпускающего оборудование с высокими начальными инвестициями, состоит еще и в том, что деятельность в рамках этого направления очень разнообразна. Кроме исследований физических процессов при лазерной обработке и разработке режимов и схем технологических процессов важное, а часто и главное место должны занимать организационно-аналитические мероприятия: постоянное изучение состояния промышленных и обрабатывающих предприятий, определение изменяющихся потребностей в лазерной технике, тенденций и настроений на предприятиях.