ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ И РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ

ОАО НПК «Северная заря», Санкт-Петербург
(Федеральное агентство по промышленности)

Малащенко А. А. –
1-ый зам. генерального директора,
зам. директора НИИ КТ по научной работе и маркетингу,
канд. техн. наук, доцент

Лакиза Ю. В. –
Начальник НИЛ "Лазерной технологии"

Начало применения лазеров в отечественной промышленности

В начале 60-х годов прошлого века – вскоре после изобретения лазера – были изготовлены первые отечественные лабораторные установки **СУ-1, К-3, К-3М, Квант-3, УЛ-20М**, позволившие инженерам опробовать новые технологические возможности даже сравнительного маломощного импульсного излучения.

Первые исследования термических операций (сварка, сверление, испарение, резка) позволили сформировать требования к параметрам технологических лазерных установок, интенсивная разработка и производство которых продолжилось в 70-х годах в электронной, часовой и оптико-механической отраслях промышленности.

Первые установки на базе твердотельных лазеров **СЛС-10-1, "Квант-9" (10, 11, 12, 16, 17),** лазеры типа **"Корунд", "Кристалл", ЛИТМО**, а позднее и газовые лазеры типа **ЛНР** и **Катунь** [1, 2] нашли широкое применение в различных отраслях техники, показав, что лазерное излучение по эффективности термического действия на вещество существенно превосходит оптическое излучение аналогичных традиционных источников и обладает значительными конструктивно-технологическими преимуществами по сравнению с контактными, плазменными, ионными и электронно-лучевыми источниками нагрева.

Кроме того, быстрому и эффективному внедрению лазерной технологии способствовали своевременные исследования по физике взаимодействия лазерного излучения с веществом (см., например, [3-6]), а также работы по интенсификации процессов лазерной технологии (см., например, [7-9]).

Наиболее эффективное и широкое внедрение первые технологические лазеры нашли на ленинградских приборостроительных предприятиях: Петродварцовом часовом заводе (для прошивки черновых отверстий в рубиновых камнях [10]), "Светлане" (для сварки узлов электровакуумных приборов [11, 12]), а также на «Красной заре"[1] (для сварки контактов слаботочных электромагнитных реле).

Как оказалось впоследствии специальные электромагнитные реле (рис. 1) стали

1 В 1974 г. релейная часть ПО «Красная заря» была преобразована в НПО «Северная заря» (с 1994 г. - ОАО НПК "Северная заря"), в котором в 1979 г. был создан сектор лазерной технологии – одно из первых подразделений отечественной промышленности по применению лазеров.

предметом наиболее широких технологических применений **импульсных лазеров**, примеры которых приведены ниже.

Рис. 1. Слаботочные электромагнитные реле ОАО НПК "Северная заря"

Сварка реле и повышение ее эффективности

Первым (1969 г.) производственным применением лазеров в технологии сборки электромагнитных реле стало применение установки СЛС-10-1, импульсное излучение которой, благодаря хорошему сочетанию энергетических, временных и пространственных характеристик, успешно осуществляло сварку контактов и контактодержателей реле с выводами цоколя (рис. 2), заменяя таким образом традиционную «грязную» пайку или контактную сварку давлением.

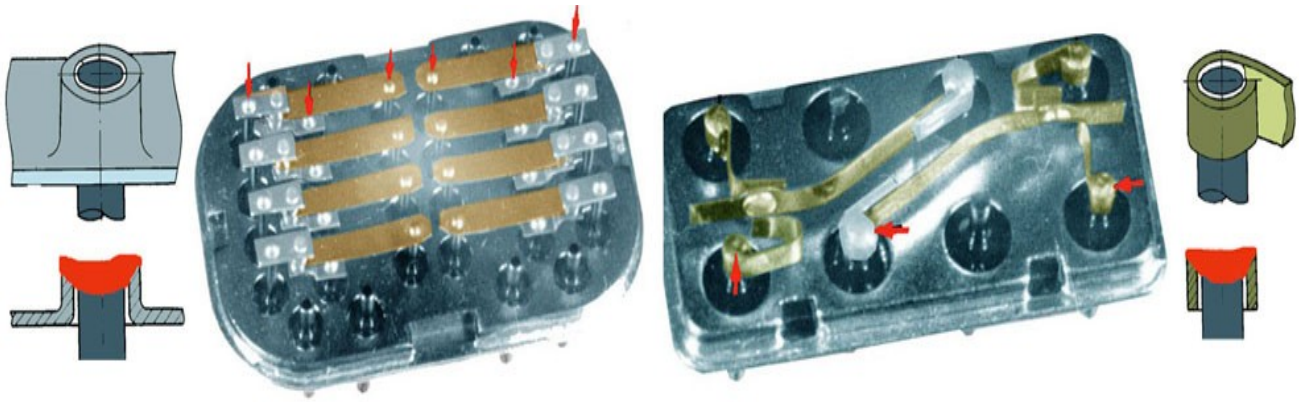

Рис. 2. Внешний вид типичных контактных систем реле и соединений контактов и контактодержателей с выводом (стрелками показаны места лазерной сварки)

Следующим очевидным внедрением лазеров в производство реле стало их применение для импульсной шовной герметичной сварки кожуха с цоколем (рис 3), для чего вначале использовались установки СЛС-10-1, а затем более мощные лазеры "Квант-10 (16)" и более производительные установки "Квант-12" (17, 40).

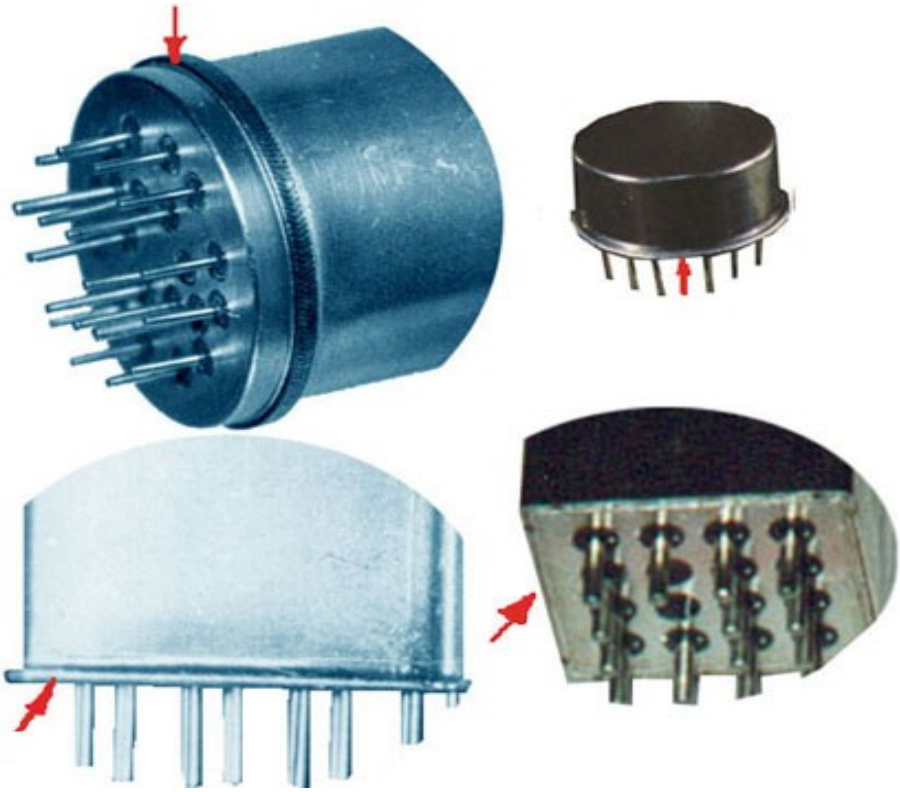

Рис. 3. Внешний вид типичных соединений кожуха с цоколем реле (стрелками показаны места лазерной сварки)

В последствии специалистами предприятия «Северная заря» была разработана и внедрена для герметизации реле специализированная установка на базе импульсно–периодического лазера ЛИТ-500, оснащенная программно-управляемым столом, размещенным в герметичном боксе, заполняемым защитным газом (рис. 4).

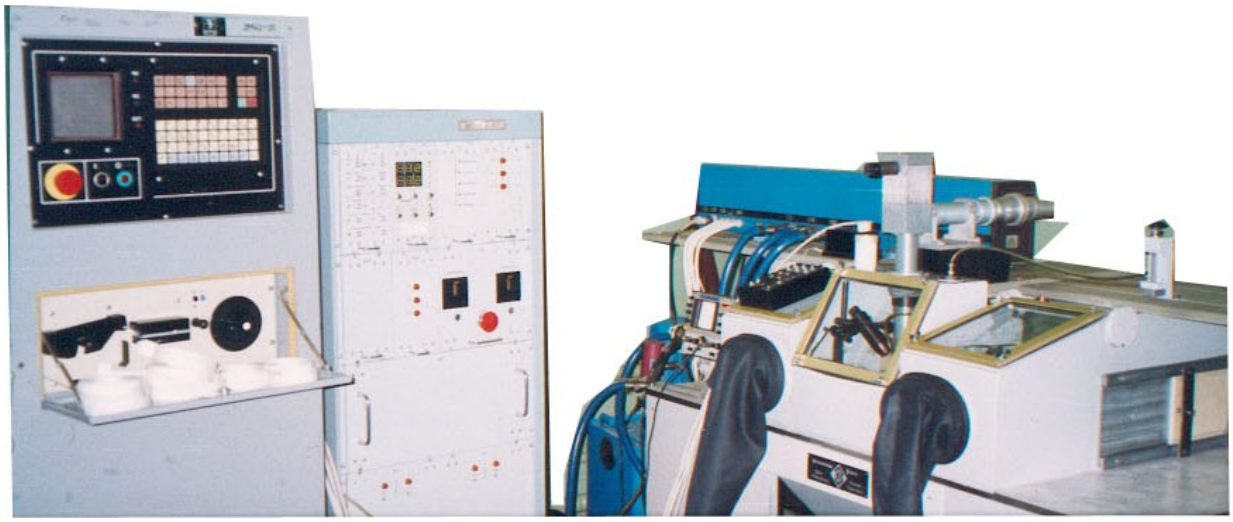

Рис. 4. Специализированная установка на базе лазера ЛИТ-500.

Для более широкого внедрения в технологию сборки реле по существу безальтернативной лазерной импульсной сварки требовалось более мощное излучение, обеспечивающее более производительную и глубокую безвыплесковую сварку. Решением этой задачи в начале 90-х годов стала модернизация на предприятии "Северная заря" стандартных установок «Квант-15» с получением параметров импульсов излучения длительностью 5-6 мс и энергией до 10 Дж при частоте повторения до 30 Гц. Очевидно, что модернизированные установки стали успешно применяться для шовной сварки более габаритных корпусов и точечной сварки деталей электромагнита реле (рис. 5).

01000900000378000000002001c0000000000040000000301080005000000b020000
0000050000000c0201060b0b040000002e0118001c000000fb021000070000000000bc020
00000cc0102022253797374656d00060b0b0000d5560000fc5b110004ee833940481e000c0
20000040000002d0100001c000000fb029cff0000000000009001000000cc0440001254696
d6573204e657720526f6d616e0000000000000000000000000000000000040000002d0101
000400000002010100050000000902000000020d000000320a5a00000001000400000000
0030bfb0520002d00040000002d010000030000000000

Рис. 5. Примеры лазерной точечной сварки деталей электромагнита

К счастью в настоящее время рядом отечественных предприятий налаживается выпуск современного лазерного технологического оборудования. Примером может служить "Машина лазерная МЛ4-2", разработанная и производимая Зеленоградским НПЦ "Лазеры и аппаратура ТМ".

Технологические установки МЛ4-2 (рис. 6) предназначены для сварки и размерной обработки импульсным излучением Nd:YAG лазера со следующими параметрами:

- частота повторения импульсов до 100 Гц;
- регулируемая форма импульса и длительность до 20 мс;
- энергия импульса до 50 Дж;
- средняя импульсная мощность до 250 Вт,

управляемыми наряду с иными технологическими параметрами от IBM PC совместимого компьютера.

Подобная установка МЛ4-2 с 2006 г. внедрена в ОАО НПК "Северная заря" для шовной сварки электромагнитных реле и используется также для изучения иных технологических возможностей при производстве реле и других изделий приборостроения.

Рис. 6. Машина лазерная МЛ4-2.

Характер сварных соединений реле, состоящих, как правило, из разнородных металлов, в том числе, хорошо отражающих лазерное излучение, потребовал поиска не стандартных технологических решений, направленных на повышение эффективности и качества сварки.

Одним из таких решений является применение в процессе воздействия излучения световозвращающих устройств, обеспечивая таким образом повышение КПД лазерного излучения от 2 до 10 раз при одновременной стабилизации энерговложения. Более подробно этот вопрос изложен в работах [8, 9, 13, 14]. В работе [8] рассмотрены также и вопросы расчета режимов лазерной сварки деталей реле.

Здесь же на рис. 7 приведена одна из оптически схем, поясняющая принцип многократного возврата лазерного излучения в зону обработки, и внешний вид некоторых, например [15,16], из разработанных световозвращающих устройств.

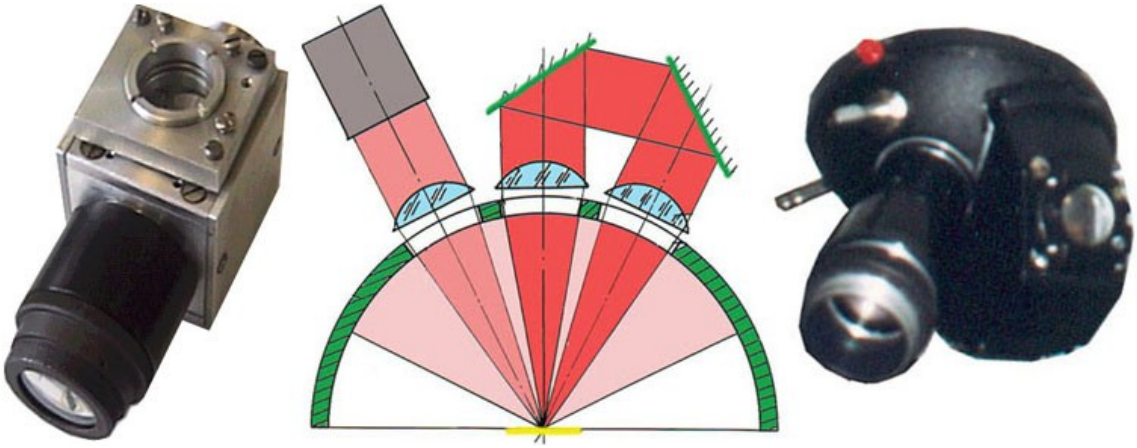

Рис. 7. Оптическая схема многократного возврата лазерного излучения и внешний вид световозвращающих устройств

Скрайбирование магнитных заготовок, маркировка, резка деталей реле

Не менее эффективным применением лазеров в технологии производства реле является и разработанный в середине 80-х годов типовой процесс скрайбирования (надрезания) листовых и прутковых заготовок толщиной до 5 мм из моно- и поликристаллических магнитных материалов, используемых для изготовления постоянных магнитов поляризованных реле [17]. Для реализации лазерного скрайбирования был разработана специализированная полуавтоматическая установка на базе лазера ЛТИ-502 (рис 8), используемая взамен 10 традиционных электроэрозионных станков, позволяя также сэкономить до 20% материала заготовки и уменьшить потребление электроэнергии в 2 раза.

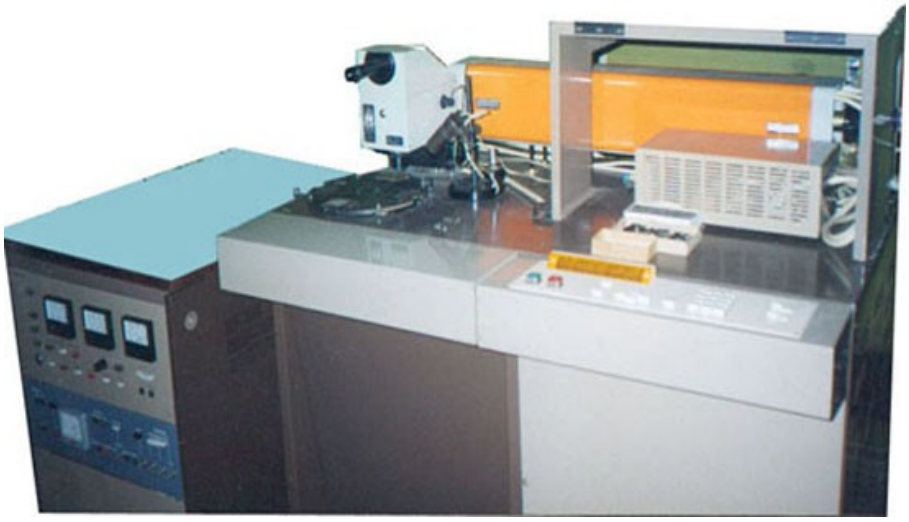

Рис. 8. Специализированная лазерная установка для скрайбирования магнитных заготовок.

Мощность лазерного излучения и длительность импульсов при скрайбировании магнитных заготовок (рис. 9) выбираются так, чтобы происходило удаление материала из зоны обработки преимущественно за счет его испарения, т.е. без образования жидкой фазы. Скорость выполнения надреза глубиной и шириной 0,1 мм составляет около 10 мм\с.

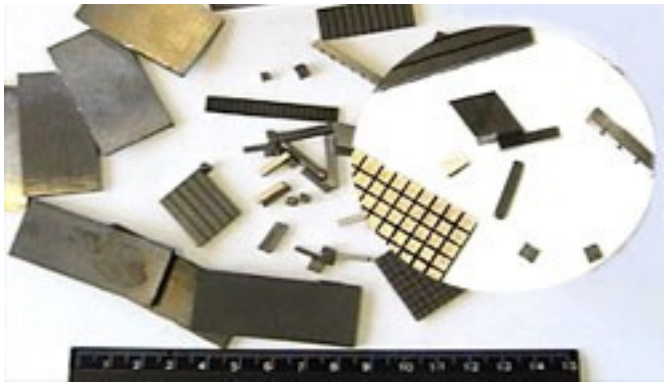

Рис. 9. Внешний вид магнитных заготовок до и после скрайбирования.

Аналогично процессу скрайбирования металлов выбираются параметры лазера и для осуществления маркировки металлических и пластмассовых материалов, а также окрашенных поверхностей.

Для маркировки готовых реле и их деталей, шильдиков аппаратуры и оборудования, проводов и т.п. используются специализированные маркеры на базе лазера «Квант-60», оснащенные IBM PC совместимым компьютером для программирования текста или рисунка маркировки (рис. 10).

Рис. 10. Установка для лазерной маркировки реле

Детали реле в серийном производстве обычно изготавливаются методом штамповки с использованием сложной и дорогостоящей оснастки. Однако при макетировании реле или при их единичном производстве такой способ изготовления небольшого количества деталей трудоемок и дорог. В этом случае целесообразно применение газолазерного вырезания сравнительно тонкостенных деталей реле (рис. 11) с использованием также импульсного излучения твердотельных лазеров, работающих с частотой повторения импульсов 30–100 Гц. Соответствующий выбор параметров излучения, состава и скорости подачи газа позволяют получать приемлемое качество кромок деталей, форма которых задается соответствующим перемещением праграммно-управляемого стола или излучения.

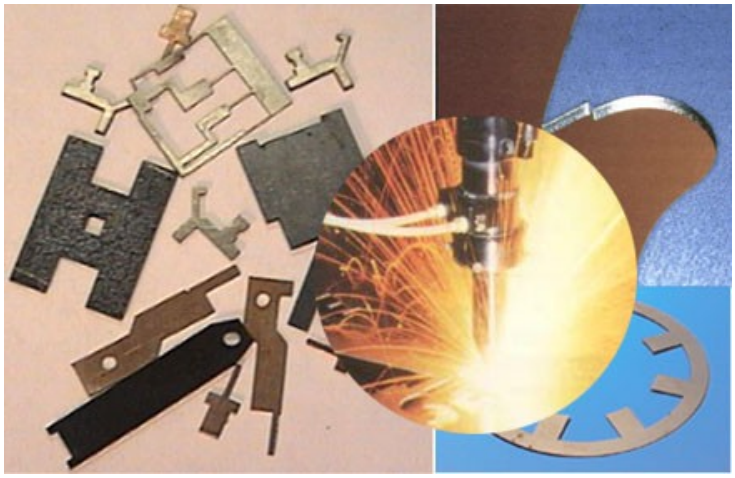

Рис. 11. Детали реле, изготовленные газолазерной резкой

Лужение и заплавка отверстий

Заплавка лазерным излучением облуженных технологических отверстий в кожухе реле (рис. 12) был разработан как альтернатива традиционному процессу флюсовой опайки отверстий низкотемпературным припоем. Для заплавки отверстий диаметром 0,5-1,0 мм используются сварочные установки типа "Квант-10" (15).

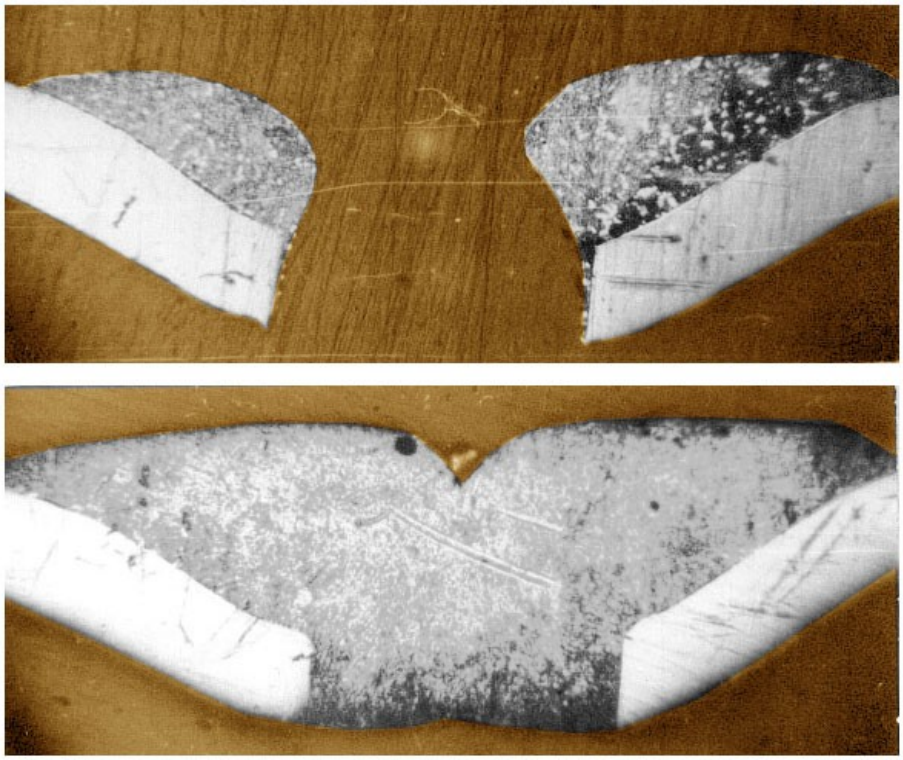

Рис. 12. Шлифы облуженного (верх) и заплавленного отверстия

Очевидно, что при лазерном нагреве, благодаря высокой скорости расплавления припоя, не требуется флюс, пары которого могли бы попасть во внутренний объем реле. Кроме того, мощности лазерного излучения достаточно для использования и более тугоплавких припоев.

Для объективной оценки качества заплавки отверстия лазерная установка оснащена устройством [18], измеряющим пространственно-временные характеристики основного и вспомогательного лазерного излучения, отражаемого от формирующейся поверхности припоя. При получении неудовлетворительного сигнала устройство выдает команду лазеру на повторение посылки импульса для повторной заплавки.

С целью получения стабильных по форме облуженных кромок отверстия, в том числе и облуженных тугоплавким припоем, был разработан новый способ и специализированная автоматизированная установка для его осуществления [19,20], основанные также на использовании лазерного излучения как источника дозированного тепла (рис. 13).

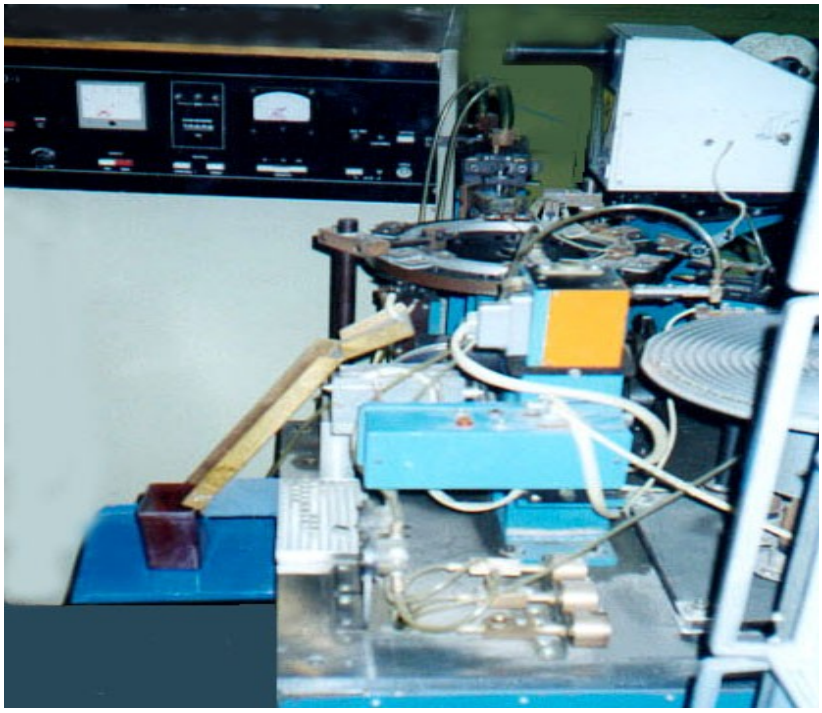

Рис. 13. Специализированная автоматическая установка лужения кромок отверстия в кожухе реле на базе лазера ЛТН-102

Удаление изоляции с миниатюрных проводов

Традиционные способы очистки от изоляции обмоточных микропроводов (ϕ=20–150 мкм) и монтажных проводов (ϕ=0,5–1,0 мм) основаны на термо-механическом, или на чисто термическом воздействии на изоляцию соответствующего инструмента. Применение этих способов для обработки специальных проводов в полиимидной изоляции не обеспечивало требуемого качества, так как высокопрочная и теплостойкая (температура разложения 600–800 ºС) изоляция, сгорая, существенно окисляла жилу провода. При механической же зачистке жила микропровода получает недопустимые повреждения.

Решение этой технической задачи стало возможным благодаря использованию нового способа лазерной очистки [21], основанного не на термическом разложении (сгорании) изоляции, а на ее удалении с одновременно испаряемым тонким слоем металлической жилы в результате воздействия на нее мощного (10^8–10^9 Вт\см^2) и короткого (около 10 нс) импульса излучения, мало поглощаемого изоляцией.

Для ускорения очистки обмоточных микропроводов без их вращения было разработано фокусирующее устройство, оптическая схема которого показана на рис. 14. Для очистки более толстых монтажных проводов используется несколько таких устройств, фокусирующих на разные части провода лазерный пучок, предварительно разделенный оптико-механическим блоком на несколько частей.

На рис. 15 показан общий вид специализированной установки для очистки от изоляции миниатюрных проводов, созданной на базе лазера ЛТИ-205 и обеспечивающей скорость зачистки обмоточных микропроводов до 50 мм\с, а монтажных проводов до 10 мм\с.

Более подробно с особенностями технологии лазерной очистки миниатюрных

проводов можно ознакомиться в работе [22].

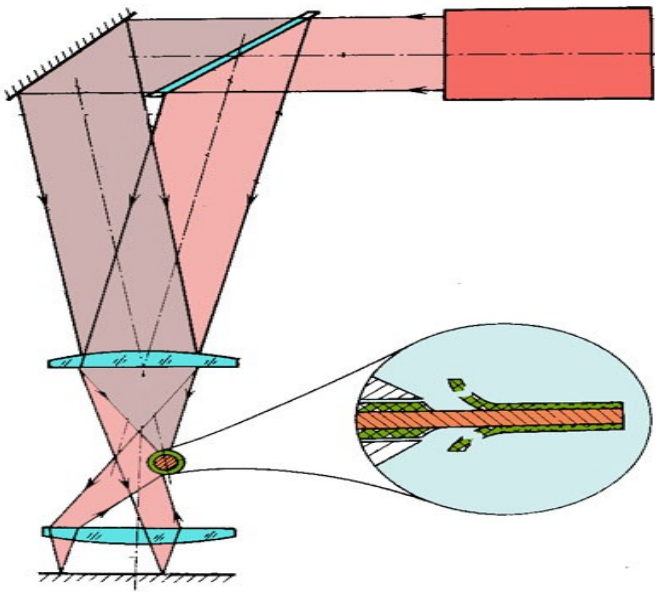

Рис. 14. Оптическая схема двухсторонней фокусировки излучения на провод

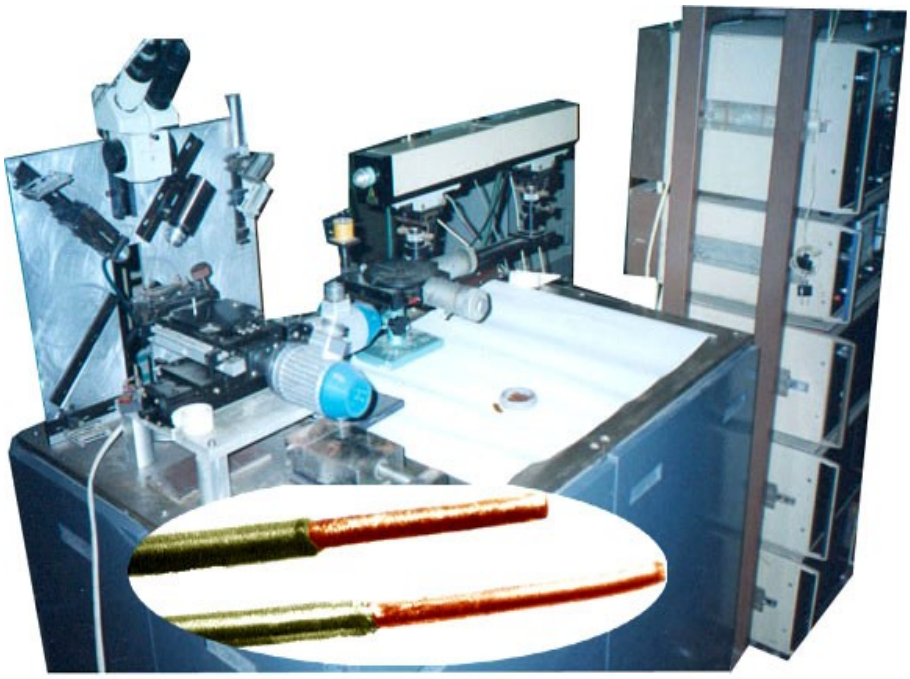

Рис. 15. Специализированная установка для очистки от изоляции миниатюрных проводов на базе лазера ЛТИ-205
(λ=1,06 мкм, E≤1,0 Дж, F≤50 Гц, τ=5–15 нс).

Заключение

Как следует из представленного обзора, импульсные твердотельные лазеры занимают одно из ведущих мест в технологии производства специальных электромагнитных реле. По сути, современное производство таких реле и их дальнейшее совершенствование уже не возможно без использования лазеров.

Среди новых возможных применений лазерного излучения следует отметить направление, связанное с повышением электрохимической износостойкости контактов и механической износостойкости деталей электромагнита, которые могут быть достигнуты благодаря специфическому воздействию лазерного излучения на контактирующие и трущиеся поверхности.

Другим актуальным направлением работ является повышение качества и стабильности операций сварки, лужения, заплавки и т.п., особенно при изготовлении дорогих и высоконадежных изделий. Как показано в [8, 9, 13, 14, 23], наиболее простым и эффективным способом повышение качества и стабильности лазерной металлообработки является использование отраженного излучения, содержащего не только энергию, которую можно повторно и многократно применить, но и информацию, по которой можно судить о результате воздействия.

Для наиболее всестороннего исследования пространственно-временных параметров отражаемого из зоны обработки лазерного излучения можно воспользоваться запатентованным устройством [24].

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазеры в технологии/Ф. Ф. Водоватов, А. А. Чельный, В. П. Вейко и др.; Под ред. М. Ф. Стельмаха. М.:Энергия, 1975, 216 с.
2. Крылов К. И., Прокопенко В. Т., Митрофанов А. С. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении. – Л. Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978, 336 с.
3. Вейко В. П., Либенсон М. Н. Лазерная обработка. Л.: Лениздат, 1973, 192 с.
4. Рэди Дж. Действие мощного лазерного излучения. М., "Мир", 1974. 468 с.
5. Рыкалин Н. Н., Углов А. А., Кокора А. Н. Лазерная обработка материалов. М.: Машиностроение, 1975, 296 с.
6. Коваленко В. С. Обработка материалов импульсным излучением лазеров. Киев: Вища школа, 1977, 144 с.
7. Бонч-Бруевич А. М., Либенсон М. Н. Использование термооптических и термохимических явлений для интенсификации процессов лазерной технологии. – В сб. : Использование лазеров в современной науке и технике. – Л. : ЛДНТП, 1980.
8. Малащенко А. А., Мезенов А. В. Лазерная сварка металлов. М.: Машиностроение, 1984.
9. Лакиза Ю. В., Малащенко А. А., Мезенов А. В. Повышение эффективности лазерной обработки материалов. – Л.: ЛДНТП, 1984.
10. Лазерная обработка отверстий в технических рубиновых камнях. ЛДНТП, 1975. 43 с. Авт.: Е. Д. Вакс, Б. Х. Мечетнер, Б. М. Соколов, Н. Э. Соколов.
11. Климов А. А., Малащенко А. А., Радченко Л. А. Внедрение лазерной сварки в производство катодных узлов ЭВП. - Электронная промышленность, 1976, вып.1 (49).
12. Климов А. А., Малащенко А. А. Лазерная сварка цилиндрических электродов ЭВП. - Электронная промышленность, 1976, вып.1 (49).
13. Лакиза Ю. В., Малащенко А. А., Мезенов А. В. Эффективность электронно-лучевой и лазерной обработки металлов – Изв. ЛЭТИ/ Научн. тр. Ленингр. электротехн. ин-та им. В. И. Ульянова (Ленина), 1982, вып. 303.
14. Лакиза Ю. В., Малащенко А. А., Мезенов А. В., Пустоварин В. И. Исследование возможности повышения эффективности использования лазерного излучения в металлообработке. – Техника средств связи, 1982, сер. ТПС, вып. 5.
15. Авт. свид. СССР № 892808. Устройство для лазерной обработки материалов / Лакиза Ю. В., Малащенко А. А.
16. Авт. свид. СССР № 957507. Устройство для лазерной обработки / Лакиза Ю. В., Малащенко А. А.

17. Авт. свид. СССР № 1384084. Способ изготовления магнитов преимущественно с поликристаллической столбчатой структурой из заготовки / Лакиза Ю. В., Малащенко А. А., Мезенов А. В.

18. . Авт. свид. СССР № 1561368. Способ регулирования процесса лазерной обработки / Лакиза Ю. В., Малащенко А. А., Мезенов А. В., Пустоварин В. И., Аносов С. В.

19. Авт. свид. СССР № 1108941. Способ герметизации миниатюрных реле / Любинский Д. Л., Малащенко А. А., Лакиза Ю. В.

20. Патент России № 1410130. Способ герметизации реле / Аносов С. В., Лакиза Ю. В., Малащенко А. А.

21. Патент России № 949746. Способ удаления изоляции с провода / Лакиза Ю. В., Малащенко А. А.

22. Лакиза Ю. В., Малащенко А. А. Опыт применения лазеров для зачистки миниатюрных проводов с теплостойкой эмалевой изоляцией. – Техника средств связи, 1991, сер. ТПС, вып. 9.

23. Авт. свид. СССР № 1295620. Способ контроля параметров процесса лазерной обработки материалов / Кузнецова Е. П., Лакиза Ю. В., Малащенко А. А., Мезенов А. В.

24. Патент России № 1120810. Устройство для исследования отражения / Лакиза Ю. В., Малащенко А. А., Мезенов А. В.