

величин E_z , φ/φ_s , δ . Видно, что, пока $|\delta| < 0.5$, рост амплитуды линейный. Колебания δ существенно несимметричны.

При возбуждении полей порядка $10^5 - 10^6$ В/см может возникнуть проблема пробоя вблизи внутренней поверхности волноводной замедляющей структуры. В связи с этим отметим важные экспериментальные результаты, полученные в Новосибирске [4], по ликвидации пробоя за счет особой технологии обработки поверхностей, а также результаты обсуждения проблемы пробоя на совещании по сверхсильным электрическим полям [5], в частности рост пробойного напряжения при увеличении частоты, что существенно облегчает решение этой задачи при $\lambda = 3$ см ($f = 10$ ГГц).

Рис. 2. Зависимость E_z , δ , φ/φ_s от Ψ .

Таким образом, взаимодействие заряженного пучка со встречной волной при выполнении резонансного условия в системе волна—пучок с окружением приводит к получению бегущих волн с весьма высокой напряженностью электрического поля.

Список литературы

- [1] Рухадзе А. А., Богданкевич Л. С., Росинский С. Е., Рухлин В. Г. Физика сильноточных релятивистских электронных пучков. М.: Атомиздат, 1980. 165 с.
- [2] Бонч-Осмоловский А. Г. Препринт ОИЯИ. № Р2-89-83. Дубна, 1989.
- [3] Бонч-Осмоловский А. Г., Решетникова К. А. // ЖТФ. 1986. Т. 56. Вып. 9. С. 1664—1672.
- [4] Балакин В. Е., Бамбуров Ю. Г., Брежнев О. Н. и др. // Тр. X Всесоюз. совещания по ускорителям. Дубна, 1985. Т. 2. С. 401—402.
- [5] Weiland T. Proc. of Gas-ECFA-JNFN. Workshop, Frascati, 1984. CERN 85-07. 1985. P. 13—28.

Поступило в Редакцию
7 февраля 1990 г.
В окончательной редакции
17 июня 1991 г.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ УЛЬТРАЗВУКА В МЕТАЛЛАХ

Ю. В. Петров, А. Н. Чудинов, А. А. Шульгинов

Одним из перспективных методов, применяемых в ультразвуковой дефектоскопии, является возбуждение акустических волн в металлах с помощью ОКГ. Основными достоинствами такого метода являются осуществление генерации ультразвука непосредственно на поверхности металла на достаточно большом расстоянии от ОКГ, возможность достаточно легко управлять диаграммой направленности возбуждаемых ультразвуковых волн путем изменения размеров и формы светового пятна. Однако малая эффективность преобразования световой энергии в акустическую ($\sim 0.01 - 0.001\%$) является существенным недостатком

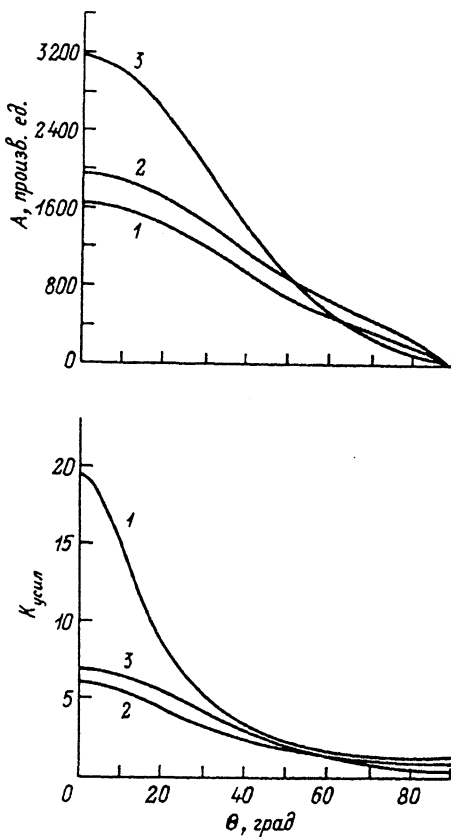


Рис. 1. Диаграмма направленности продольных волн и угловая зависимость коэффициента усиления $K_{\text{усил}}$ при возбуждении со слоем воды для различных значений плотности мощности падающего излучения W .

лазерной генерации ультразвука [1, 2], что сдерживает внедрение ее в практику.

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию увеличения эффективности преобразования путем нанесения на поверхность металла линейной периодической решетки и слоя жидкости. Вначале рассмотрим первый способ.

Как известно, на границе раздела металл—воздух в оптической области частот может существовать поверхностная электромагнитная волна (ПЭВ) [3]. Для возбуждения ПЭВ при нормальном падении излучения необходимо выполнить два условия: на поверхность металла должна быть нанесена линейная решетка с периодом, равным длине волны падающего излучения, и, кроме того, направление вектора поляризации падающего излучения должно совпадать с направлением вектора решетки [4]. Всякую линейно-шероховатую поверхность можно представить в виде набора пространственных фурье-компонент. Поэтому всегда найдется такая фурье-компонента, которая соответствует условию возбуждения ПЭВ. Этот эффект сопровождается увеличением доли поглощенной энергии падающего излучения, что в свою очередь приводит к увеличению энергии акустических волн, возбужденных в металлическом образце. Возбуждение ПЭВ может сопровождаться ростом резонансной решетки за счет термического расширения, что может привести к увеличению поглощения [5, 6].

Цель данной работы состояла в обнаружении увеличения амплитуды продольных волн при повороте поляризации лазерного излучения падающего на поверхность металла с линейно-периодической структурой. В эксперименте ис-

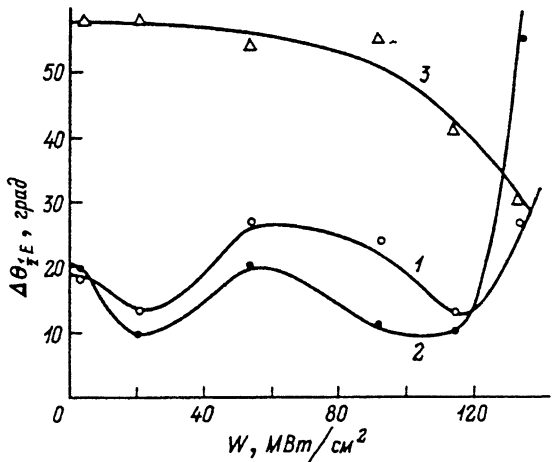
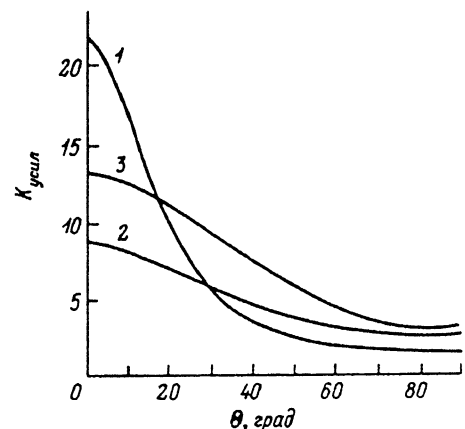
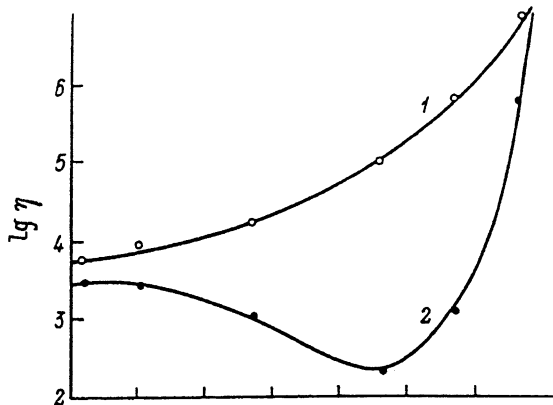
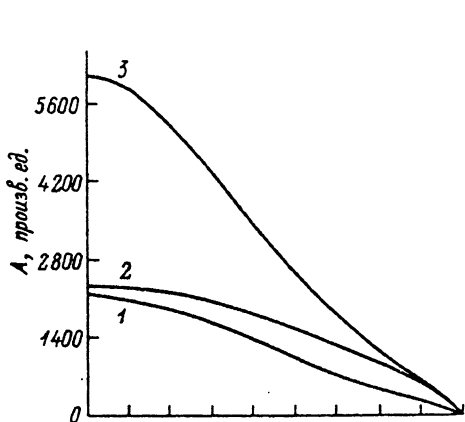


Рис. 2. То же самое, что и на рис. 1, но при возбуждении волн со слоем глицерина.

Рис. 3. Зависимости логарифма энергетического коэффициента усиления $\lg \eta$ и энергетической полуширины $\Delta \theta_{1/2E}$ от плотности мощности излучения W для случаев возбуждения ультразвука.

1 — со слоем воды, 2 — со слоем глицерина, 3 — без слоев.

пользовался импульсный Nd:YAG лазер с активной модуляцией добротности. Длина волны излучения 1.06 мкм, длительность импульса 50—70 нс, частота следования импульсов 12.5 Гц. Импульсы фокусировались с помощью линзы на торцевую грань алюминиевого полуцилиндра радиусом 100 мм и толщиной 50 мм в пятно диаметром 2 мм. Плотность падающего излучения варьировалась от 10 до 60 МВт/см². При этих условиях осуществлялся термоупругий режим генерации ультразвука. Для поворота поляризации излучения использовалась фазовая пластинка $\lambda/2$. Линейная решетка наносилась на поверхность образца с помощью наждачной бумаги, размер зернистости которой, как оказалось, практически не влиял на амплитуду возбужденных продольных волн. Прием ультразвука осуществлялся пьезоэлектрическим преобразователем (ПЭП) размером 1 × 1 мм с собственной частотой 2.5 МГц. Сигнал с ПЭП подавался на усилитель и осциллографическую трубку дефектоскопа ДУК-6В.

По результатам экспериментов можно сделать следующие выводы: 1) при повороте вектора поляризации падающего светового излучения от перпендикулярного к параллельному вектору решетки при неизменной интенсивности происходит увеличение амплитуды продольных волн на 30—50%; 2) это увеличение

практически не зависит от угла наблюдения; 3) коэффициент усиления слабо зависит от плотности мощности излучения при термоупругом режиме генерации ультразвука, а при переходе к терморективному механизму эффект увеличения амплитуды ультразвука исчезает.

Рассмотрим другой способ увеличения преобразования световой энергии в акустическую, заключающийся в нанесении слоя на поверхность образца. Этот эффект был обнаружен экспериментально и описан в ряде работ [2, 7—11]. В работе [1] предпринята попытка теоретического обоснования этого эффекта. Например, нанесение водяной пленки на поверхность алюминиевого образца дает 100—1000-кратное увеличение энергии продольных волн в эпитцентре [1, 2]. В данной работе была поставлена цель определить влияние жидкой пленки на диаграмму направленности продольных волн при различных энергиях падающего излучения. Для эксперимента была использована установка, описанная выше, но без фазовой пластины. Плотность мощности излучения изменялась в пределах от 3 до 130 МВт/см². В качестве пленок использовались слой воды и глицерина. Диаграммы направленности продольных волн возбужденных лазерными импульсами различных энергий ($I = 3.2, 2 - 54.1, 3 - 114.6$ МВт/см²) в алюминиевом полуцилиндре, на поверхность которого наносился слой воды и слой глицерина, приведены вверху на рис. 1 и 2 соответственно. Ниже на этих рисунках представлены угловые зависимости амплитудного коэффициента усиления $K_{\text{усил}} = (A_1(\Theta)) / (A_0(\Theta))$, где $A_0(\Theta)$, $A_1(\Theta)$ — амплитуды продольных волн в случае возбуждения без слоя и со слоем соответственно. По полученным результатам был рассчитан полный энергетический коэффициент усиления $\eta = \frac{E_1}{E_0}$, где E_0 , E_1 — полная энергия продольных волн, излучаемых во все полупространство, в случаях возбуждения без слоя и со слоем жидкости. Кроме того, рассчитана энергетическая полуширина диаграммы направленности $\Delta\Theta_{1/2E}$, т. е. тот телесный угол, в пределах которого излучается половина энергии продольных волн (рис. 3).

На основании полученных результатов можно сделать следующий вывод: влияние жидких слоев, в частности глицерина и воды, на лазерное возбуждение продольных волн в металлическом полупространстве сводится не только к сильному увеличению амплитуды волн, но и к значительному сужению диаграммы направленности при плотности мощности импульса W меньше 120 МВт/см².

Таким образом, полученные результаты по использованию поверхностных периодических структур в целях увеличения эффективности лазерного возбуждения ультразвука и тонких жидких слоев в целях сужения диаграммы направленности ультразвука могут успешно использоваться в практике неразрушающего контроля материалов и изделий.

Список литературы

- [1] Бондаренко А. Н. Лазерные методы возбуждения и регистрации акустических сигналов. М.: Изд-во стандартов, 1989. 115 с.
- [2] Архипов В. И., Бондаренко А. Н., Кондратьев А. И. // Акуст. журн. 1982. Т. 28. Вып. 3. С. 303—309.
- [3] Поверхностные поляритоны / Под ред. В. М. Аграновича, Д. Л. Миллса. М.: Наука, 1985. 526 с.
- [4] Прохоров А. М., Сычугов В. А., Тищенко А. В., Хакимов А. А. // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. Вып. 16. С. 961—966.
- [5] Конов В. И., Токарев В. Н. Препринт ИОФ АН СССР. № 70. М., 1985. 55 с.
- [6] Макианцев Б. И., Пилипецкий Н. Ф. // Квантовая электрон. 1985. Т. 12. № 4. С. 860—863.
- [7] Саттикулов М., Леманов В. В., Смирнов И. А., Шульман С. Г. // Письма в ЖТФ. 1978. Т. 4. Вып. 21. С. 1265—1268.
- [8] Ходинский А. Н., Корочкин Л. С., Михнов С. А. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1980. Т. 44. № 10. С. 2083—2085.
- [9] Fox J. A. // Appl. Phys. Lett. 1974. Vol. 24. N 10. P. 461—464.
- [10] Чабанов В. Е. Лазерный ультразвуковой контроль материалов. Л., 1986. 230 с.
- [11] Monchalin J.-P., Héon R. // Mater. Eval. 1986. Vol. 44. P. 1231—1237.