

07;12

© 1992

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ИЗЛУЧЕНИЯ В МЕХАНИЧЕСКИЙ ИМПУЛЬС В РЕАКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ДВИЖИТЕЛЕ

Р.А. Луконец, А.М. Трофименко

Интерес к идее лазерного реактивного двигателя (ЛРД) был стимулирован бурным развитием техники в начале 80-х годов [1, 2]. Однако после ряда проведенных исследований [3, 4], продемонстрировавших явное отставание в создании мощных лазерных систем от параметров, требуемых для практического использования ЛРД, оптимизма заметно поубавилось. Тем не менее, интенсивное освоение космического пространства, высокая удельная стоимость грузов, доставляемых на орбиты традиционными носителями вынуждают продолжить поиск и исследование более дешевых способов доставки полезных грузов в космос [5, 6]. С этой целью получили новое развитие исследования по оптимизации энергетических и механических характеристик лазерных двигателей, улучшению их удельных параметров. Названные проблемы становятся особенно актуальными при использовании существующих лазерных систем, т. к. имеющиеся результаты экспериментальных и теоретических исследований свидетельствуют, что повышение интенсивности излучения на мишени неизменно приводит к снижению механической эффективности воздействия [4].

Целью наших исследований было выяснение причин, приводящих к снижению эффективности преобразования энергии излучения в механический импульс при увеличении плотности энергии в условиях испарительного режима воздействия на диэлектрическую мишень, и поиск путей механического импульса без изменения параметров лазерного излучения.

Исследования проводились с использованием CO_2 лазеров, излучающих в одном случае импульсы длительностью 20 мкс с плавно нарастающим фронтом и энергией до 100 Дж, в другом случае – импульсы с крутым фронтом, длительностью до 40 мкс и энергией до 3 кДж. Размер пятна облучения на мишени был 1 и 68,6 см² соответственно. В первом случае принимались меры для обеспечения в пятне равномерного распределения энергии, в другом – распределение было неравномерным в пределах $\pm 25\%$ от некоторого среднего значения.

Эффективность преобразования лазерной энергии в механическую определялась путем измерения отклонения баллистического маятника, вызванного импульсом реактивной отдачи при испарении мишени или образовании плазмы на ее поверхности лазерным импульсом. Исследования проводились в атмосфере воздуха и в вакуумной

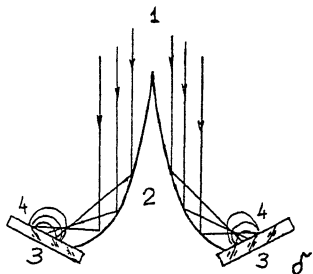
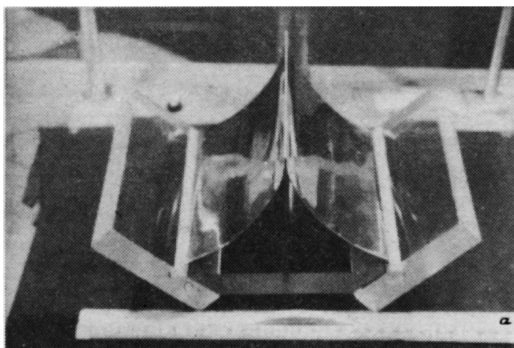


Рис. 1. Макет лазерного реактивного двигателя. а - общий вид, б - принцип действия. 1 - лазерный луч, 2 - зеркальный отражатель, 3 - мишень, 4 - эрозионный факел.

камере с маятником массой 30–40 г с оптическим методом регистрации угла отклонения и маятником, масса которого 0,2–5,0 кг с электронномеханическим методом измерения угла. В качестве мишеней в основном использовались пластины из полиметилметакрилата и материала типа СЛАВИТ размерами 2 x 2 см² и 15 x 15 см² или устройство специальной конструкции - макет лазерного двигателя (МЛД-1), см. рис. 1.

Результаты этих исследований приведены на рис. 2, которые свидетельствуют, что при испарении плоской диэлектрической мишени (плексиглас) удельный импульс ($1/W$) реактивной отдачи имеет тенденцию к возрастанию в достаточно узком энергетическом интервале от 5 до 20 Дж/см², достигая величины ~ 10 дин·с/Дж. При дальнейшем увеличении плотности лазерной энергии на мишени до 50 Дж/см² удельный импульс возрастает всего на 30–40%.

Измеренные значения расхода испаренной массы с поверхности мишени дают возможность оценить плотность пара в приповерхностном слое, степень его нагрева и экранирующие свойства [7]. Результаты этих расчетов свидетельствуют об эффективной экранировке поверхности продуктами испарения, при этом дополнительный подогрев за счет поглощенной энергии не приводит к заметному возрастанию скорости разлета пара из-за достаточно большой длительности греющего лазерного излучения (20–40 мкс), что и

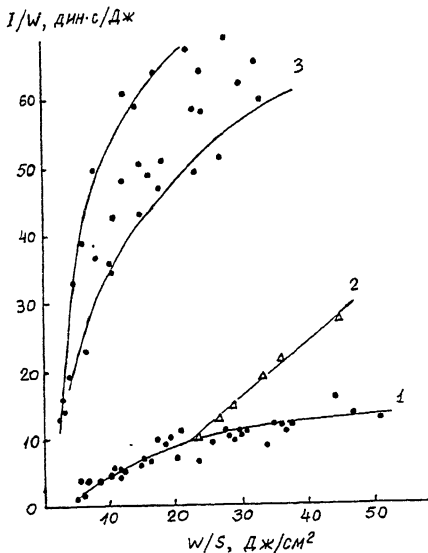


Рис. 2. Удельный импульс отдачи при лазерном испарении плексигласа (1, 2) и СЛАВИТа (3).

сказывается на величине удельного импульса при высокой плотности энергии (см. 1 на рис. 2). Здесь следует отметить, что на этот график с указанным разбросом укладываются все экспериментальные данные при облучении плоских мишеней, полученные на разных стендах как в атмосфере воздуха, так и в вакууме и с площадью пятен воздействия, отличающимися почти в 100 раз.

Роль экранировки испаренного материала убедительно проявилась и в результатах исследований импульса отдачи при облучении устройства, представленного на рис. 1 и созданного с целью увеличения эффективности преобразования лазерной энергии в механическую. Этого удалось достичь за счет снижения экранировки благодаря тому, что облучение плоской мишени осуществляется не через факел испаренного вещества, а под углом к поверхности, при этом возникающая реактивная сила отдачи, как и образующийся факел, имеют направление по нормали к поверхности (рис. 1, б). Кривизна зеркальных отражателей рассчитана таким образом, чтобы плотность энергии лазерного излучения на поверхности мишени была такой же, как и в случае плоской без отражателя.

График 2 на рис. 2 свидетельствует, что удельный импульс отдачи в этом случае возрастает в 2–3 раза, а при высоких плотностях энергии $1/W$ не достигает насыщения, что говорит о перспективности разработанного устройства для дальнейших исследований и использования. Максимальный зарегистрированный в этом эксперименте импульс отдачи достигал 0,75 Н·с при плотности энергии 45 Дж/см².

Третье семейство точек на рис. 2 получено при импульсном испарении поверхности плоской мишени, изготовленной из материала СЛАВИТ. Особенностью этого материала является низкий порог испарения, а в образующемся облаке пара под действием лазерного излучения возможно возбуждение химической реакции с импульсным выделением энергии, которая идет как в атмосфере газа, так и в вакууме. Полученный в эксперименте разброс точек связан с неоднородностью состава отдельных образцов материала мишени.

В данном случае реализуется способ лазерно-химического реактивного ускорения, потенциальные возможности которого ранее не изучались.

Такой способ создания реактивной тяги значительно увеличивает эффективность преобразования энергии лазерного излучения в механический импульс и повышает удельный импульс реактивной отдачи при ускорении плоской мишени почти в 10 раз при плотности падающей энергии 3-20 Дж/см².

Проведенные экспериментальные исследования показали возможность варьирования в широких пределах величиной силы реактивной тяги при лазерном ускорении материальных тел в атмосфере и в вакууме. Разработанное устройство макета лазерного двигателя и исследованные материалы мишени позволили реализовать удельные импульсы отдачи до ~70 дин·с/Дж на плоской мишени. Если учесть результаты работы [3, 4], где показано, что при использовании сопла соответствующего профиля импульс отдачи еще может быть увеличен в несколько раз, то, применив в качестве рабочего тела материала СЛАВИТ, удельный импульс отдачи можно довести до 200-300 дин·с/Дж, а удельная тяга при этом реально может достигать $F_{уд} = 500-600$ с.

Эти параметры превосходят имеющиеся в литературе, например, [3], и такой лазерный двигатель может рассматриваться в качестве альтернативы традиционным.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] K a n t r o w i t z A.R. // Astronautics and Aeronautics. 1971. V. 9. N 3. P. 34-35.
- [2] P i r r i A.N., W e l s s R.F. AIAA 5 th Fluid and Plasma Dynamics Conference, Boston, 1972. AIAA Paper N 72-719.
- [3] P i r r i A.N., M o n s l e r M.J., N e b o l s i n e P.E.// AIAA J. 1974. V. 12. P. 1254.
- [4] Б у н к и н Ф.В., П р о х о р о в А.М. // УФН. 1976. Т. 119. В. 3. С. 425.
- [5] J o n e s L.W. AIAA/SAE/ASME 16 th Joint Propulsion conference, 1980. Hartford, AIAA-80-1264.
- [6] K a r e J o r d i n. IAF Conference on Space Power cleveland, 1989. UCRL-101139. Preprint.

[7] Л и у к о н е н Р.А., Т р о ф и м е н к о А.М. Тез. докл.
8 Всес. конф. по взаимодействию оптического излучения с ве-
ществом. Ленинград. 1990. Т. 2. С. 185.

Поступило в Редакцию
12 марта 1992 г.