

Контрольная работа по дисциплине «Лазерные технологии в промышленности и медицине»

Основные физические процессы лазерных технологий

Основными физическими процессами лазерных технологий являются:

1. Испарение (и абляция в расплавленной фазе) – наиболее популярный процесс, который лежит в основе большинства промышленных технологий любых материалов в микроэлектронике, микромеханике и микрооптике; в настоящее время актуальными остаются проблемы точности и качества.

2. Нагревание до температуры размягчения (или плавления) с последующим деформированием в вязко-текучей фазе (дополненное тем или иным механическим воздействием – вытяжкой, вращением и т.п.) применяется для изготовления ближнепольных оптических зондов, медицинского оптического инструментария и т.п.

3. Направленное локальное нагревание, вызывающее появление контролируемого поля напряжений, приводящего к управляемому деформированию листовых материалов (laser forming), причем не только с целью формообразования, но и прецизионной сборки и юстировки микромеханических компонентов.

4. Локальное нагревание, вызывающее появление избыточного давления газа (пара) на поверхности раздела двух сред (например, пленка-подложка) с целью создания направленных микродеформаций и перемещений.

5. Послойный синтез трехмерных объектов методом послойного наращивания, в том числе стереолитография, селективное лазерное спекание и послойная сборка из листовых материалов (laminated object

manufacturing).

6. Комбинированные лазерные процессы совместного действия с другим излучением или с плазмой для инициирования поглощения и т.п.

7. Манипулирование микрочастицами (молекулярная сборка), основанное на захвате частиц в фокусе лазерного излучения давлением света и последующем построении микроструктур.

Лазерные технологии могут быть основаны не только на высокой плотности мощности, но также и на большой плотности фотонов:

$$N = q/vh > 10^{30} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1},$$

где q – плотность мощности излучения, h – постоянная планка, ν – частота излучения). Это важно для нелинейных процессов (нелинейное поглощение в слабопоглощающих средах), в селективных технологиях (химические, биомедицинские технологии).

Могут найти применение сильные и сверхсильные электромагнитные поля в области фокуса пучка, когда напряженность электрического поля сравнима с внутриатомной 10^5 - 10^6 В/см.

Большинство лазерных технологий основаны на тепловом действии излучения. При падении пучка лазерного излучения на поверхность материала часть излучения отражается от нее, а часть проходит вглубь материала, поглощаясь в нем. Распространение излучения в веществе, как правило, описываются законом Бугера:

$$q(x) = q_0(1 - R)\exp(-\alpha x),$$

где $q(x)$ – плотность мощности излучения в веществе на расстоянии x от его поверхности, q_0 – плотность мощности падающего излучения, R – коэффициент отражения поверхности, α – показатель ослабления света в веществе.

При поглощении излучения вещество нагревается. Различают режимы нагревания материала, соответствующие сильному (поверхностному) и

слабому (объемному) поглощению излучения. Для большинства технологических процессов используется лазерное излучение на длинах волн, находящихся в спектральной области сильного поглощения вещества, так как это обеспечивает локальность воздействия и большую эффективность использования энергии. Сильное поглощение света имеет место в металлах, в полупроводниках при их «металлизации» достаточно мощным излучением, а также в полупроводниках и диэлектриках, когда длина волны излучения лежит в области их фундаментального поглощения. При этом глубина теплопроводности

$$1/\alpha \ll \sqrt{a\tau} ,$$

где τ – время воздействия излучения, a – температуропроводность материала). Режимы облучения, обеспечивающие объемное поглощение излучения $1/\alpha \gg \sqrt{a\tau}$

используют при необходимости создания в обрабатываемом материале объемного теплового источника или при фокусировке излучения (и локальной обработке) внутри объема.

Для решения уравнений теплопроводности существуют различные математические методы, среди которых наиболее употребительны методы интегральных преобразований (в том числе преобразование Лапласа), метод Фурье (разделения переменных) и метод источников.

При нагревании материала его оптические и теплофизические свойства изменяются, в особенности коэффициент отражения R . Кроме того, большое влияние на процесс нагревания оказывает временная и пространственная структура излучения. Эти факторы иногда необходимо учитывать для точного определения временного хода температуры нагреваемого излучением тела и пространственного распределения температуры.

При нагревании тела лазерным излучением в нем активируются различные процессы. К их числу относятся эмиссионные процессы (эмиссия электронов, ионов, нейтральных молекул), поверхностные и объемные химические реакции, структурные превращения, тепловое расширение и термомеханические процессы, плавление, испарение и т.п. Эти изменения могут быть положены в основу того или иного технологического процесса – например, испарение и плавление при резке и сверлении отверстий, плавление при сварке, структурные превращения при термоупрочнении материалов и т.д.

При определении основных параметров процесса на практике в большинстве случаев не требуется точного решения тепловой задачи, а достаточно оценить пороговую плотность мощности излучения q_n (или пороговую мощность P_n , пороговую энергию W_n). Пороговая плотность мощности излучения – это такое ее значение, при котором в облучаемом материале начинают происходить заданные изменения. Теоретически величина q_n определяется как такое значение плотности мощности падающего излучения q_0 , при котором максимальная температура обрабатываемого материала достигает значения T_* , соответствующего началу данного процесса (например, для испарения материала это температура его кипения).

Постановка задачи

Оценить плотности мощности лазерного излучения, необходимые для нагревания материала (№1 – № 23) до температур плавления и температур кипения излучением лазера с длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм при длительностях импульса излучения $\tau = 10^{-3}$ с и $\tau = 10^{-7}$ с.

1. алюминий
2. медь
3. вольфрам
4. железо
5. бронза
6. латунь
7. магний
8. никель
9. титан
10. олово
11. свинец
12. цинк
13. золото
14. серебро
15. платина
16. осмий
17. рутений
18. родий
19. палладий
20. молибден
21. ванадий
22. тантал
23. ниобий

Решение

При импульсном воздействии лазерного излучения на металлы температура поверхности определяется следующим выражением:

$$T = \frac{2q_0 A \sqrt{a\tau}}{k\sqrt{\pi}} + T_n,$$

$A=1-R$ – поглощательная способность материала, R – коэффициент отражения материала. Выражение для плотности мощности:

$$q_0 = \frac{(T - T_n)k\sqrt{\pi}}{2(1 - R)\sqrt{a\tau}}$$

Пример, результаты вычислений для алюминия, меди, вольфрама и железа сведены в таблицу (плотность мощности излучения в таблице выражена в Вт/ см²):

Длительность импульса τ , с	Al		Cu		W		Fe	
	$q_{0\text{пл}}$	$q_{0\text{кип}}$	$q_{0\text{пл}}$	$q_{0\text{кип}}$	$q_{0\text{пл}}$	$q_{0\text{кип}}$	$q_{0\text{пл}}$	$q_{0\text{кип}}$
10^{-3}	$6,2 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$	$2,9 \cdot 10^6$	$6,3 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^5$	$3,6 \cdot 10^5$
10^{-7}	$6,2 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^8$	$2,9 \cdot 10^8$	$6,3 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^8$	$1,9 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^7$