

мую мощность. Изготовленные структуры показали хорошие отклики на 1 ppm CO, при этом для работы сенсора в оптимальном режиме температура нагрева чувствительного слоя не должна превышать 300°C. Чувствительность сенсора к 1 ppm CO в этом случае составляет 23,08% при потребляемой мощности 14,0 мВт. Нагрев чувствительного слоя до температур выше 300°C приводит к уменьшению чувствительности сенсора, увеличению его потребляемой мощности и ухудшению вида кривой сенсорного отклика.

1. Semiconductor type MEMS gas sensor for real-time environmental monitoring applications / S.E. Moon, N.-J. Choi, H.-K. Lee [et al.] // ETRI Journal. – 2013. – Vol. 35. – Iss. 4. – P. 617-624.
2. Васильев, А.А. Технология «Нано-на-микро». Улучшение характеристик газовых сенсоров / А.А. Васильев, И.М. Олихов,

Н.Н. Сомтаев // Электроника. Наука, технологии, бизнес. – 2011. – №1(00107). – С. 36-44.

3. Пути снижения потребляемой мощности тонкопленочных химических сенсоров / Г.Г. Горох, А.И. Захлабаева, И.А. Таратын, О.Г. Реутская, В.В. Хатько // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: КрыМиКо`2015: Материалы 25-й Международной Крымской конференции, Севастополь, 6–12 сентября 2015 г. : в 2 т. – Севастополь, 2015. – Т. 1. – С. 645–648.
4. Маломощный газовый сенсор на наноструктурированной диэлектрической мембране / Е.А. Белогуров, В.В. Хатько, Г.Г. Горох, А.И. Захлабаева, О.Г. Реутская, И.А. Таратын // Нано- и микросистемная техника. – 2015. – № 6. – С. 34–42

УДК 519.210

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ОКРЕСТНОСТИ ТРЕЩИНЫ ОБЩЕГО ВИДА

Гундина М.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Рассматривается неподвижная трещина в бесконечной пластине, материал которой предполагается упругопластическим, упрочняющимся по степенному закону, несжимаемым, в условиях плоской деформации. Исследуется напряженно-деформированное состояние в малой окрестности конца трещины общего вида.

Заметим, что под трещиной общего вида понимается прямолинейная неподвижная трещина-разрез, произвольно ориентированная по отношению к нагрузкам на бесконечности.

Задача решается методом асимптотических разложений по малому параметру, где в качестве малого параметра используется расстояние от вершины трещины. При рассмотрении процесса разрушения необходимо находить асимптотики полей напряжений и деформаций, которые являются предельным представлением решений краевых задач у вершины трещины. В этом случае, напряжения и деформации представляются в виде разложений по степеням расстояния от вершины трещины. Единственной возможностью построения таких разложений для упругопластических задач является реализация итерационного процесса: вначале задача решается для нахождения первого члена ряда, затем находится второй член разложения и т.д.

С целью исследования основных закономерностей деформирования упругопластического материала для сравнения используем решение упругопластической задачи в рамках деформационной теории методом конечных элементов.

С целью исследования основных закономерностей деформирования упругопластического материала у вершины трещины при растяжении используем решение упругопластической задачи в рамках деформационной теории методом конечных элементов. Построим модель для задачи о растяжении плоскости, ослабленной прямолинейной трещиной.

Бесконечную плоскость заменим квадратом достаточно большого размера. Размеры квадрата будем выбирать так, чтобы была возможной замена бесконечной области конечной. Можно рассматривать квадрат $-a \leq x \leq a, a \leq y \leq a$. Проанализировав аналитическое решение задачи, можно сделать вывод, что при удалении от края отверстия на величину a концентрация напряжений быстро уменьшается. Локальный характер оправдывает возможность сравнения решений, полученных для бесконечной пластины и пластины конечных размеров. В задачах теории упругости и пластичности [1,2], если ширина пластины превышает на порядок длину трещины, то разница в решениях по наиболее чувствительному параметру σ_φ не превысит 6%.

Объектом численного исследования служила пластина высотой 200 мм, длиной 200 мм с трещиной длиной $l = 20$ мм. Размеры пластины были приняты схожими как в [1].

Поскольку в пакете SolidWorks плоский образец представляем, как приближение пространственного с малой толщиной пластины. Толщина

пластины удовлетворяет следующему соотношению: $l \geq 0,6W$, где W – ширина брутто-сечения образца, т.е. в нашем случае W можно взять равным 10 мм.

Зададим на границе рассматриваемого квадрата давление, соответствующее одноосному растяжению пластины в -70МПа .

Поскольку трещину можно представить в виде отверстия в форме эллипса с полуосями l, b . То дальнейшие расчеты в нелинейной постановке будут проводиться на сформированной расчетной схеме, содержащей трещину с конечным радиусом кривизны $\rho = \frac{b^2}{l}$, где l, b – полуоси эллипса, который в приближении дает прямолинейную трещину. Отношение этого радиуса к длине трещины l примерно составляет $\rho/l = 10^{-3}$, т.е. $b^2 = \rho l = 10^{-2}\text{мм}$.

После того, как будут полученные значения напряжений и деформаций, соотнесем их к величине коэффициента интенсивности K^2/G^2 .

В качестве материала для пластины выбрана сталь Х6СrNiTi18-10, иностранный аналог близкий к стали Сталь марки 12Х18Н9Т, рассмотренной в данной работе.

Поскольку материал должен обладать способностью к пластическому деформированию, в качестве модели пластического течения примем модель Мизеса с изотропным упрочнением для численного решения.

В качестве материала для пластины выбрана сталь Х6СrNiTi18-10. На рисунках представлены распределения безразмерных компонент напряжений для стали с упругопластическими характеристиками:

$$G = 77000 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2},$$

$B_2 = 3.2124114 \cdot 10^{-6}$ при нагрузке $P = 70\text{МПа}$ (рис. 1-3).

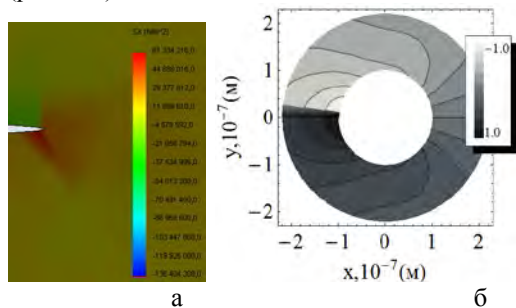


Рисунок 1 – Распределение напряжений σ_{11} :
а – полученные методом конечных элементов;
б – полученные методом асимптотических разложений

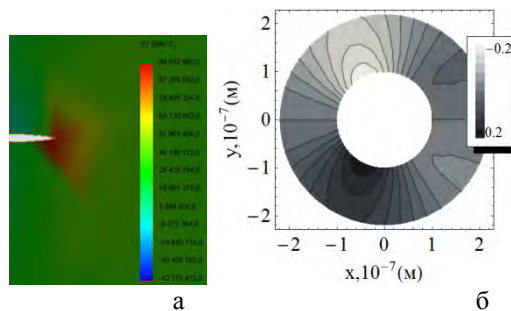


Рисунок 2 – Распределение напряжений σ_{22} :
а – полученные методом конечных элементов;
б – полученные методом асимптотических разложений

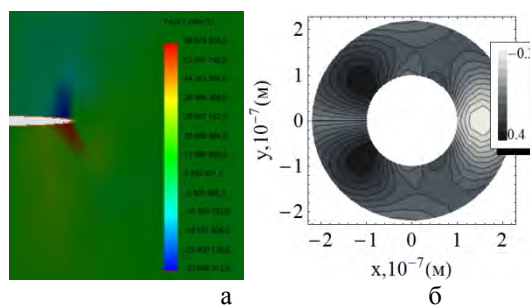


Рисунок 3 – Распределение напряжений σ_{12}
а – полученные методом конечных элементов;
б – полученные методом асимптотических разложений

Влияние отверстия носит локальный характер: с увеличением отдаления от отверстия напряжения σ_{22} приближаются к значению P .

Следует отметить, что максимальное напряжение принимает наибольшие значения не при $\varphi = 0$, а при $\varphi = -\pi$. Среднее напряжение достигает своего наибольшего значения при $\varphi = -\pi$.

Исследование распределения окружной компоненты напряжений $\sigma_{\varphi\varphi}$ показывает, что максимум имеет место в направлении предполагаемого развития трещины. Наблюдается схожая с полученной в работе [3] картина распределения нормальных компонент тензора напряжений: напряжения убывают по мере удаления от конца трещины.

На определенном удалении от вершины трещины по длине трещины наблюдается более равномерное распределение касательных напряжений.

Противоположная ситуация возникает для нормальных напряжений. В непосредственной окрестности вершины касательные напряжения имеют минимальные значения для трещины нормального отрыва и общего вида, в то же время для поперечного сдвига они достигают максимального значения, но при удалении от трещины быстро уменьшаются. При увеличении радиуса скорость изменения касательных напряжений уменьшается.

Рассмотренное в работе асимптотическое решение сравнивается с приближенным решением, полученным методом конечных элементов. Сравнивая численное и аналитическое решения, можно объяснить различия в значениях тем, что при использовании численного метода имеем дело с сеткой конечных элементов.

Проявляются следующие закономерности:

- увеличение внешней нагрузки сопровождается разрастанием пластической области;
- при фиксированной нагрузке в более мягком материале появляется большая пластическая область.

УДК 621.373.826:535.54

НЕПРЕРЫВНЫЙ ТУЛИЕВЫЙ МИКРОЧИП ЛАЗЕР С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ, ИЗЛУЧАЮЩИЙ В ОБЛАСТИ 1,95 МКМ

Гусакова Н.В., Демеш М.П., Ясюкевич А.С., Кисель В.Э., Кулешов Н.В., Курильчик С.В., Ивашко А.М.

НИИ оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Одним из актуальных направлений лазерной физики в настоящее время является создание лазерных систем, работающих в спектральном диапазоне 1.9 мкм. Для этих целей широко применяются лазерные кристаллы, активированные ионами тулия. Освоение данного спектрального диапазона открывает благоприятные перспективы решения ряда прикладных задач, таких как: дистанционное зондирование атмосферы, экологический мониторинг окружающей среды, развитие медицинских технологий, создание систем оптической связи. Кроме того, излучение с длиной волны более 2 мкм может быть эффективно преобразовано в средний ИК-диапазон (3-8 мкм) с помощью нелинейных кристаллов.

В последнее время все больше внимания уделяется разработке эффективных микрочип-лазеров, способных работать без системы активного охлаждения. Это обусловлено компактностью, простотой конструкции и сравнительно низкой стоимостью данных систем. Ранее микрочип-лазеры были реализованы на ряде кристаллов легированных ионами тулия например, на основе матриц: YVO_4 [1], $YLiF_4$ [2], $YAlO_3$ [3], YAP [4], $KY(WO_4)_2$ [5].



Рис. 1 – Фотография микрочип лазера

1. Timoshenko, S.P. Theory of Elasticity / S.P. Timoshenko, J.N. Goodier. – NY: McGraw-Hill –1970. - С. 100-209.
2. Морозов, Е.М. Техническая механика разрушения – 1997. – 390 с.
3. Subramanya, H. Y., Viswanath, S., Narasimhan, R., A three- dimensional numerical study of mixed mode (i and ii) crack tip fields in elastic-plastic solids / H.Y. Subramanya, S. Viswanath, R. Narasimhan // International Journal of Fracture. – 2005. – P. 167–184.

В настоящей работе была получена эффективная генерация на основе кристалла $Tm(13.2 \text{ ат}\%):KLuW$. На рисунках 1 и 2 представлены фотография и схема макета микрочип лазера.

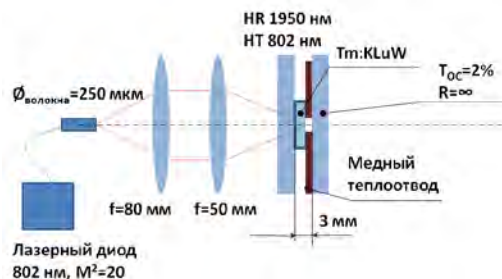


Рис. 2 – Схема микрочип лазера

Накачка осуществлялась лазерным диодом ($M^2=20$) с длиной волны 802 нм, что соответствует максимуму в спектре поглощения ($EINm$) кристалла $Tm:KLuW$. Диаметр волокна лазерного диода – 250 мкм. Система фокусировки излучения накачки, состоящая из двух линз, обеспечивала диаметр перетяжки в активном элементе 150 мкм. Кристалл толщиной 0.5 мм был вырезан вдоль оси оптической индикатриссы N_g . Лазерный элемент был закреплен на медном теплоотводе таким образом, что входное зеркало резонатора подводилось вплотную к торцу активного элемента. Между выходным зеркалом и активным элементом был воздушный зазор 2.5 мм. Лазер работал в непрерывном режиме генерации. Пропускание выходного зеркала составляло $T=2\%$. Зависимость выходной мощности от падающей мощности накачки показана на рисунке 3. Максимальная выходная мощность лазера составила 576 мВт.