

РАЗДЕЛ V
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
В ОБЛАСТИ МЕХАНИКИ, МАТЕМАТИКИ
И ИНФОРМАТИКИ

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ С ЗОНАМИ
ИЗМЕНЕННОЙ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА ПОСЛЕ
ТЕРМООБРАБОТКИ

А. И. Веремейчик¹⁾, М. В. Нерода²⁾, В. М. Хвисевич³⁾, Б. Г. Холодарь⁴⁾

^{1), 2), 3), 4)} *Брестский государственный технический университет, Беларусь, Брест,
vai_mrtm@bstu.by*

Исследуется напряженно-деформированное состояние образцов с зонами измененной структуры материала, которые возникают после термообработки локальным высокоэнергетическим источником нагрева. Проведено компьютерное моделирование задачи при растяжении, изгибе и кручении образцов с зонами серповидного сечения. Исследовано влияние механических характеристик материала зон термообработки на напряженно-деформированное состояние. Определены коэффициенты концентрации напряжений в окрестности термообработанных областей.

Ключевые слова: зона измененной структуры; механические характеристики; напряженно-деформированное состояние; растяжение; изгиб; кручение; коэффициент концентрации напряжений; модуль упругости; коэффициент Пуассона.

SIMULATION OF TEST SAMPLES WITH ZONES OF ALTERED
MATERIAL STRUCTURE AFTER HEAT TREATMENT

A. I. Verameichyk¹⁾, M. V. Neroda²⁾, V. M. Hvisevich³⁾, B. G. Holodar⁴⁾

^{1), 2), 3), 4)} *Brest state technical university, Belarus, Brest, vai_mrtm@bstu.by*

The stress-strain state of samples with zones of altered material structure that arise after heat treatment by a local high-energy heating source is investigated. A computer simulation of the problem of stretching, bending and torsion of samples with sickle-shaped cross-section zones has been carried out. The influence of the mechanical characteristics of the material of the heat treatment zones on the stress-strain state is investigated. Stress concentration coefficients in the vicinity of heat-treated areas are determined.

Keywords: zone of altered structure; mechanical characteristics; stress-strain state; stretching; bending; torsion; stress concentration coefficient; elastic modulus; Poisson's ratio.

Введение

При лазерной, плазменной и других высокоэнергетических методах сосредоточенного воздействия на деталь возникают зоны измененной структуры исходного материала – зона целевого воздействия и окружающая ее зона термического влияния [1]. В последней структура заметно отличается как от структуры зоны обработки, так и от структуры основного материала, и управление ее свойствами затруднено в связи с отсутствием возможности непосредственного воздействия на структурообразование в этой области. Данные о свойствах материала в этих областях ограничены, однозначных аналитических зависимостей между их механическими характеристиками не существует, поэтому имеет место большая неопределенность в их значениях, что является существенным недостатком при прогнозировании поведения реального объекта в условиях эксплуатации. Проводимые отечественными и зарубежными учеными исследования в области свойств образцов после воздействия локальным источником нагрева направлены в основном на установление характера структурных превращений и твердости материалов, а результаты изучения механических характеристик материала обработанной зоны, в частности, модулей упругости и коэффициентов Пуассона, представлены недостаточно. Соответственно не в полной мере представлены результаты исследований влияния возникающих различий этих показателей на напряженно-деформированное состояние (НДС) деталей машин. Поэтому рассматриваемый вопрос является актуальным. Влияние материала зон термообработки удобно характеризовать через коэффициенты концентрации напряжений.

Постановка задачи

Для исследования влияния различий модуля упругости и коэффициента Пуассона двух новообразованных зон образца и их количества после его термообработки по сравнению с характеристиками основного материала проведено конечно-элементное моделирование задачи о деформировании стержня (образца) размерами $b \times h \times l = 20 \times 7 \times 200$ мм с зонами обработанного материала сечением в форме полукруга радиусом 0,4 мм, окруженного промежуточной серповидной зоной термического влияния толщиной 0,2 мм (рисунок 1), расположенными вдоль всей длины образ-

ца или на половине его длины. В качестве расчетного пакета использован программный комплекс *ANSYS Workbench*.

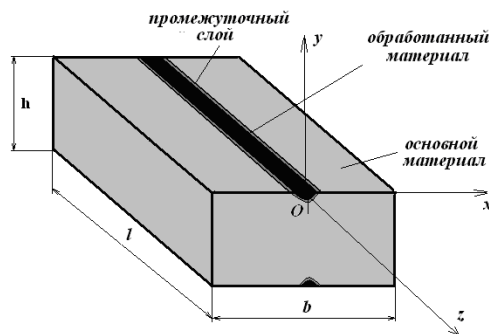


Рис. 1. Образец

Модуль упругости основного материала («bas») принимался равным $E = E_{bas} = 200$ ГПа, коэффициент Пуассона $\mu = \mu_{bas} = 0,3$. Модули упругости промежуточного («int») и обработанного («pr») слоев и их коэффициенты Пуассона варьировались, но принято, что после обработки материал тела во всех его точках остается в упругой области работы и при одинаковой температуре, что соответствует большинству реализующихся случаев эксплуатации деталей машин и механизмов. Отношение модулей упругости и коэффициентов Пуассона обработанного материала к значениям для исходного материала варьировалось в пределах $K_E = E_{pr}/E_{bas} = K_\mu = \mu_{pr}/\mu_{bas} = 0,6 \dots 1,5$. Рассматривалось НДС тела в установившемся тепловом режиме. Коэффициенты концентрации напряжений определяются как отношение максимального значения напряжений $\sigma_i^{\max}$ с учетом концентрации к номинальному значению $\sigma_{ном}$ для образца без зон измененной структуры: $K_\sigma = \sigma_i^{\max} / \sigma_{ном}$.

Моделирование испытаний на растяжение

Нагружение осуществлялось силой, действующей по передней торцевой грани, при номинальных нормальных напряжениях $\sigma_{ном} = 239$ МПа. Граничные условия по перемещениям задавались в виде ограничения перемещения в направлении оси Oy ($v_y = 0$) в точках верхней грани тела, в направлении оси Oz ($w_z = 0$) по задней торцевой грани. На рисунке 2 приведено распределение нормальных напряжений в образце при различных соотношениях E и μ , на рисунке 3 – зависимость коэффициента концентрации напряжений от соотношений K_E или K_μ .

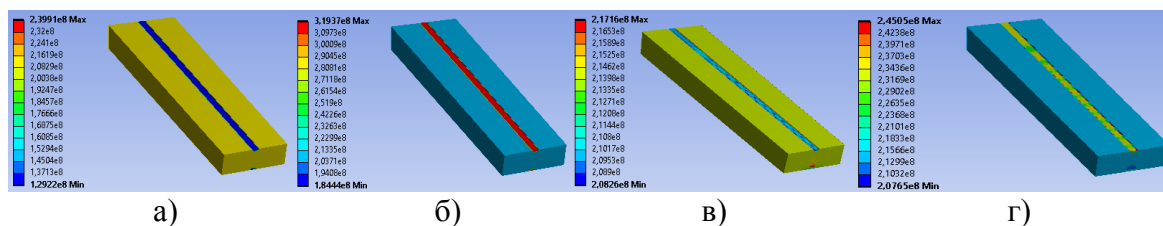


Рис. 2. Распределение нормальных напряжений в образце

- а) $E_{bas} = 200$ ГПа, $E_{int} = 160$ ГПа, $E_{pr} = 120$ ГПа, $\mu_{bas} = \mu_{int} = \mu_{pr} = 0,3$
 б) $E_{bas} = 200$ ГПа, $E_{int} = 250$ ГПа, $E_{pr} = 300$ ГПа, $\mu_{bas} = \mu_{int} = \mu_{pr} = 0,3$
 в) $E_{bas} = E_{int} = E_{pr} = 200$ ГПа, $\mu_{bas} = 0,3$, $\mu_{int} = 0,24$, $\mu_{pr} = 0,18$
 г) $E_{bas} = E_{int} = E_{pr} = 200$ ГПа, $\mu_{bas} = 0,3$, $\mu_{int} = 0,375$, $\mu_{pr} = 0,45$

Некоторые результаты исследований для случая нескольких зон измененной структуры прямоугольного сечения, а также при зонах, занимающих половину длины образца, приведены в [2].

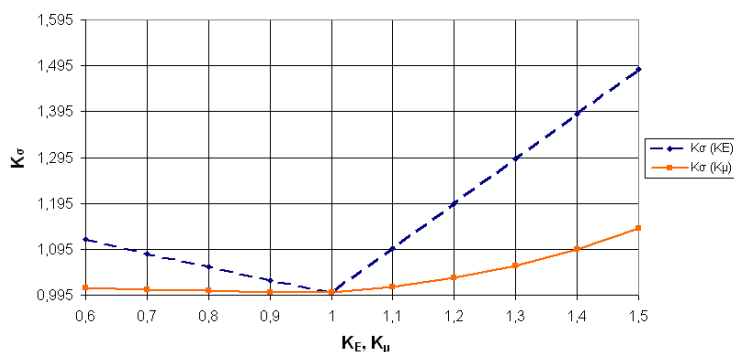


Рис. 3. Зависимость коэффициента концентрации напряжений от соотношений K_E или K_μ

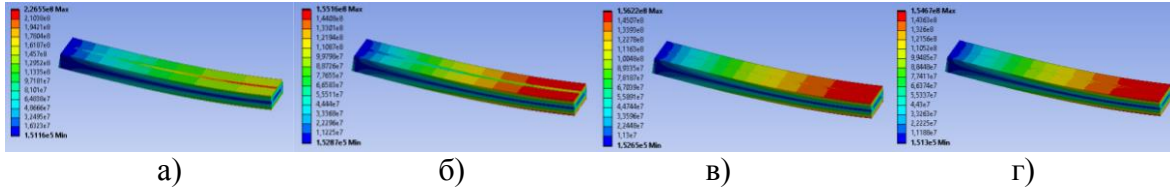
Моделирование испытаний на изгиб и кручение

Нагружение образца, закрепленного на 2-х шарнирных опорах по краям, осуществлялось силой $F = 500$ Н, действующей по верхней грани вдоль оси y , с помощью команды *Force*. При моделировании испытаний на кручение образец жестко заземлялся в левом торцевом сечении и нагружался в правом торцевом сечении моментом $M = 50$ Н м относительно оси z с помощью команды *Moment*. Номинальные эквивалентные напряжения по Мизесу составили 153,4 МПа при изгибе и 359,8 МПа при кручении.

На рисунке 4 приведено распределение эквивалентных напряжений по Мизесу в образцах при различных соотношениях E и μ (показана по-

ловина длины образца), на рисунке 5 – зависимость коэффициентов концентрации напряжений от соотношений K_E или K_μ .

1) изгиб



2) кручение

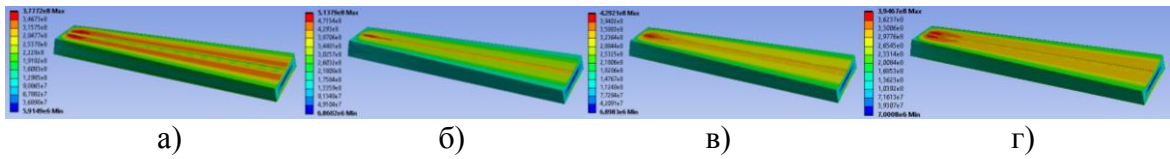


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу в образце

- а) $E_{bas} = 200$ ГПа, $E_{int} = 160$ ГПа, $E_{pr} = 120$ ГПа, $\mu_{bas} = \mu_{int} = \mu_{pr} = 0,3$
 б) $E_{bas} = 200$ ГПа, $E_{int} = 250$ ГПа, $E_{pr} = 300$ ГПа, $\mu_{bas} = \mu_{int} = \mu_{pr} = 0,3$
 в) $E_{bas} = E_{int} = E_{pr} = 200$ ГПа, $\mu_{bas} = 0,3$, $\mu_{int} = 0,24$, $\mu_{pr} = 0,18$
 г) $E_{bas} = E_{int} = E_{pr} = 200$ ГПа, $\mu_{bas} = 0,3$, $\mu_{int} = 0,375$, $\mu_{pr} = 0,45$

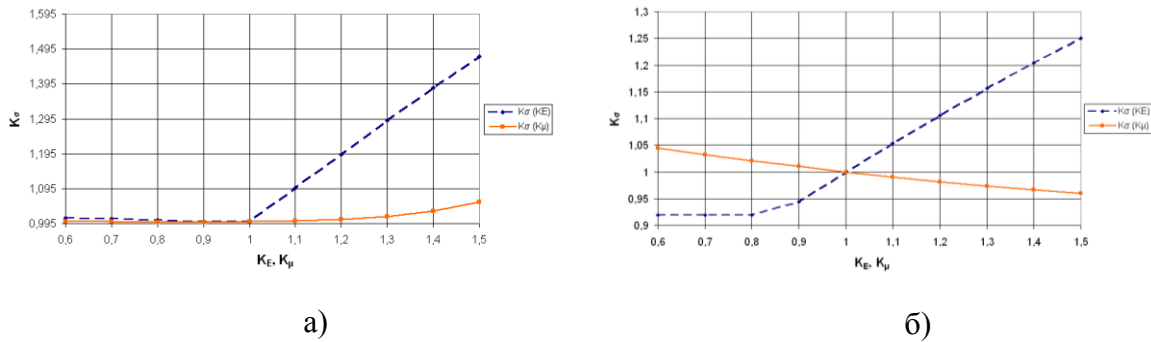


Рис. 5. Зависимость коэффициента концентрации напряжений от соотношений K_E или K_μ : а) изгиб, б) кручение

Результаты исследований показывают, что при испытаниях на кручение изменение характеристик материала упрочненной зоны менее всего влияет на эквивалентные напряжения. При кручении характер изменения коэффициентов концентрации напряжений при вариации модуля

упругости и коэффициента Пуассона принципиально отличается от испытаний на растяжение и изгиб (рисунки 3, 5).

Заключение

Установлено, что любое изменение характеристик материала обработанной и промежуточной зон по отношению к основному материалу приводит к изменению НДС образцов. Максимальные напряжения возникают как в обработанном слое, так и в основном материале или промежуточной зоне. Сравнение результатов расчетов с данными испытаний может позволить определить возможное изменение механических характеристик обработанной зоны материала от их исходных значений.

Библиографические ссылки

1. *Grigoriev, S. N.* The Influence of the Highly Concentrated Energy Treatments on the Structure and Properties of Medium Carbon Steel / S. N. Grigoriev, A. Y. Ivannikov, M. V. Prozhega, I. N. Zakharov, O. G. Kuznetsova, A. M. Levin // *Metals* 2020, 10, 1669.
2. *Веремейчик, А. И.* Конечно-элементное моделирование задачи о растяжении материала с зонами измененной структуры / А. И Веремейчик. М. В.Нерода, Б. Г Холодарь // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2022. – № 3 (60). – С. 77–84.