

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ ЗАКАЛЕННОЙ ЗОНЫ ОБРАЗЦА НА ЕГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

Веремейчик А.И., Холодарь Б.Г., Мазырка М.В.

Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь

Ключевые слова: модуль упругости, коэффициент Пуассона, эквивалентные напряжения, коэффициент концентрации напряжений.

Аннотация. В статье исследовано влияние глубины зоны измененной структуры образца после локального высокоэнергетического воздействия движущимся источником на его напряженно-деформированное состояние для различных физико-механических характеристик материала. Получено распределение эквивалентных напряжений для различных соотношений свойств материала зон термообработки и зависимости коэффициентов концентрации напряжений от глубины зоны измененной структуры материала.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE DEPTH OF THE HARDENED ZONE OF THE SAMPLE ON ITS STRESS-STRAIN STATE

Verameichyk A.I., Kholodar B.G., Mazyrka M.V.

Brest State Technical University, Brest, Belarus

Keywords: elastic modulus, Poisson's ratio, equivalent stresses, stress concentration coefficients.

Abstract. The article examines the influence of the depth of the zone of the changed structure of the sample after local high-energy exposure to a moving source on its stress-strain state for various physical and mechanical characteristics of the material. The distribution of equivalent stresses was obtained for various ratios of material properties of heat treatment zones and the dependence of stress concentration coefficients on the depth of the zone of changed material structure.

При поверхностном воздействии на детали высокоэнергетической струей структура стали в значительной степени изменяется, образуя приповерхностную зону целевого воздействия и окружающую ее зону термического влияния. Локальность и объемная неравномерность распределения температуры в этих зонах вызывает значительные изменения механических характеристик материала, в частности, модулей упругости, пределов текучести и временной прочности, коэффициентов Пуассона [1]. Эта проблема относится к числу недостаточно исследованных, поэтому возникает вопрос об оценке влияния этих изменений на напряженно-деформированное состояние (НДС) материала при типичных видах нагружения детали, например, продольном растяжении вдоль образовавшейся дорожки воздействия. В [2] рассматривались случаи дорожек различной, но неизменной по размерам формы сечения, при наличии одной или нескольких дорожек с варьированием расстояния между ними. Показано распределение в объеме материала эквивалентных по Мизесу σ_i и продольных растягивающих напряжений σ_z , а также определены коэффициенты концентрации продольных напряжений в зависимости от предполагаемых соотношений между модулями упругости и коэффициентами Пуассона основного материала, зон поверхностного воздействия и промежуточной зоны термического влияния в стационарных условиях после охлаждения детали.

Рассмотрим влияние глубины обработанной зоны для одиночной дорожки. В связи с геометрической симметрией задачи рассматривалась вырезанная четверть объема исходного образца. Верхний левый угол занимает зона прямого воздействия (ядро), варьируемая по глубине за счет снятия соответствующего поверхностного слоя. Размеры образца сечения образца составляют $2,6 \times 2,0$ мм, длина 4,4 мм, исходная площадь ядра $0,4 \times 0,4$ мм [2, 3]. Общая площадь сечения и толщина промежуточного слоя (0,2 мм) при этом остается неизменной. Нагружение задавалось путем перемещения переднего торца на 0,0044 мм, что в исходном материале вызывает продольные напряжения $\sigma_z=200$ МПа. При варьировании значений модуля упругости и коэффициента Пуассона для промежуточного слоя приняты средние значения сравнительно с величинами прилегающих зон. Правая боковая грань рассматривалась незакрепленной ($u_x \neq 0$ – свободная деформация) или закрепленной ($u_x = 0$ – стесненная деформация). Индексы “*bas*”, “*int*”, “*pr*” соответствуют исходному (базовому) материалу, промежуточной и обработанной зонам. Расчеты проводились для значений модуля упругости $E_{bas}=200$ ГПа и коэффициента Пуассона $\mu_{bas}=0,3$. На рисунке 1 показано распределение эквивалентных напряжений σ_i для толщины ядра $h=0,3$ мм, на рисунке 2 – зависимости эквивалентных напряжений от толщины обработанной зоны для различных характеристик зон материала.

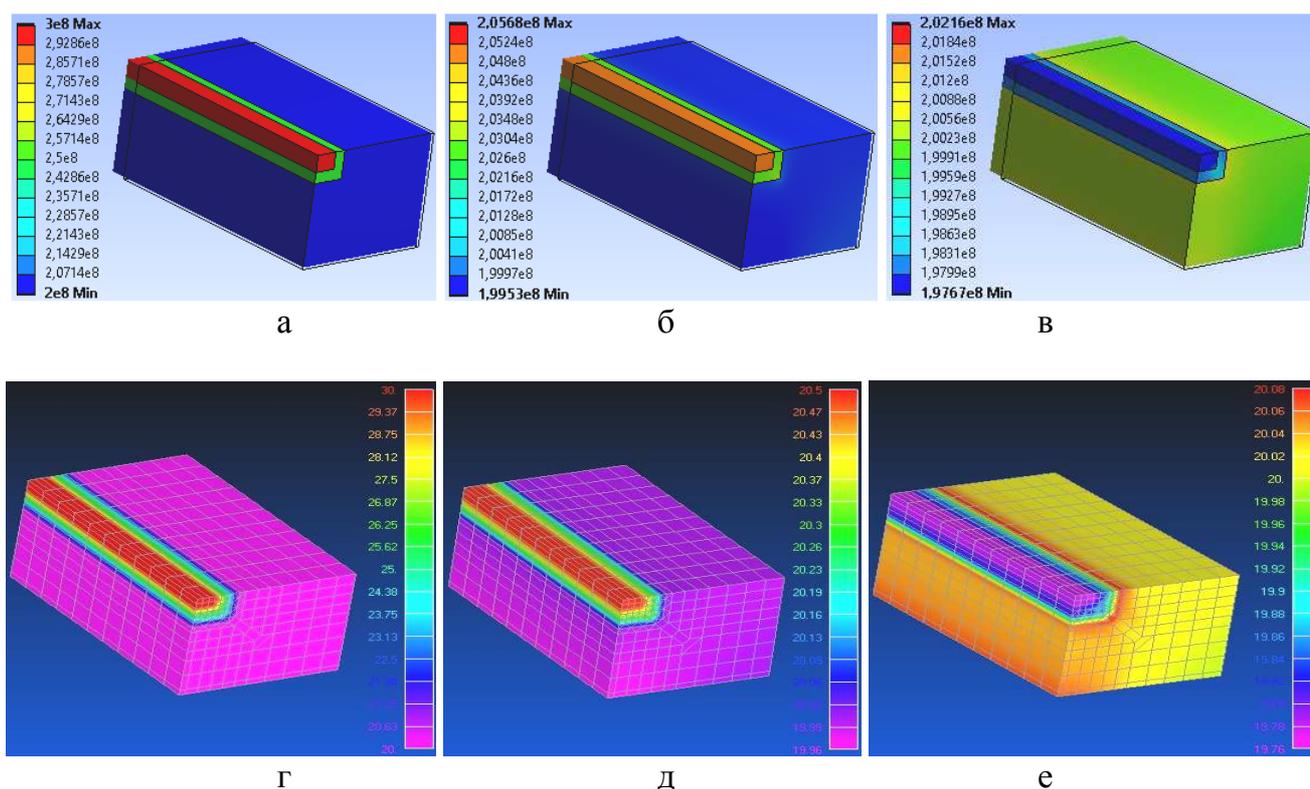


Рис. 1. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса σ_i при свободной (а-е) правой грани: $h=0,3$ мм, $E_{bas}=200$ ГПа, $\mu_{bas}=0,3$;
 а, г – $E_{int}=250$ ГПа, $E_{pr}=300$ ГПа, $\mu_{int}=0,3$, $\mu_{pr}=0,3$;
 б, д – $E_{int}=200$ ГПа, $E_{pr}=200$ ГПа, $\mu_{int}=0,24$, $\mu_{pr}=0,21$;
 в, е – $E_{int}=200$ ГПа, $E_{pr}=200$ ГПа, $\mu_{int}=0,36$, $\mu_{pr}=0,42$;
 а-в – ANSYS – решение; г-е – NASTRAN – решение

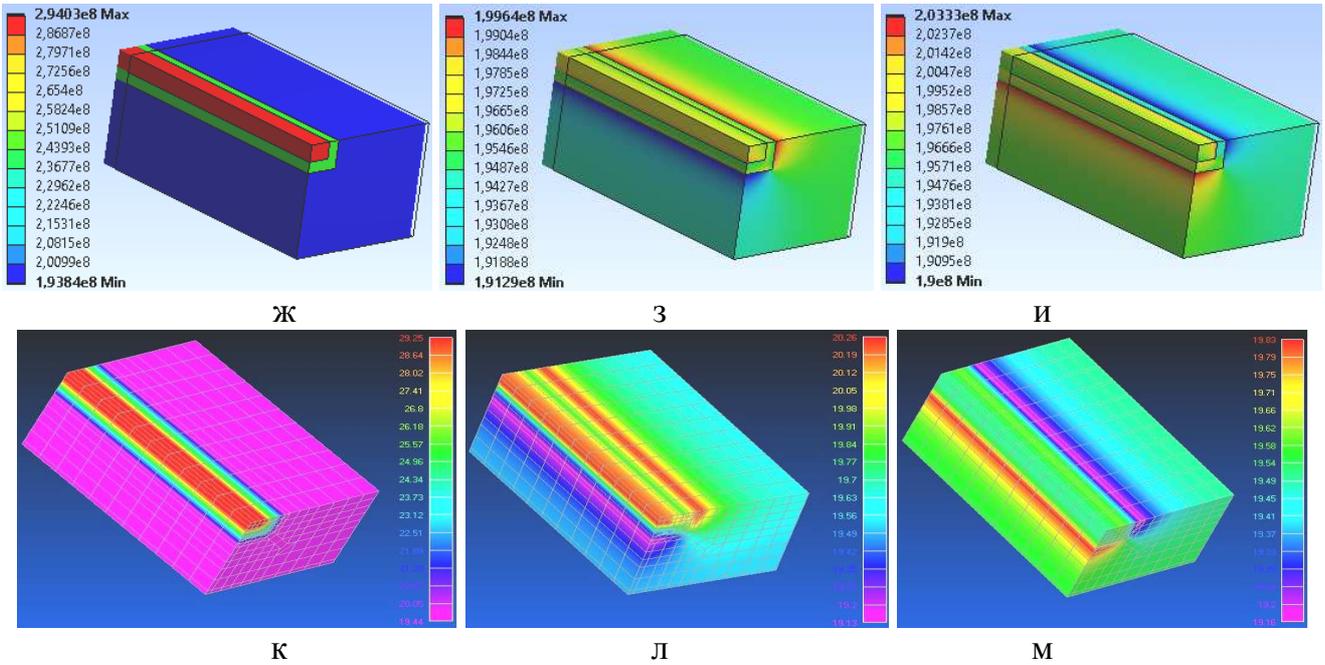
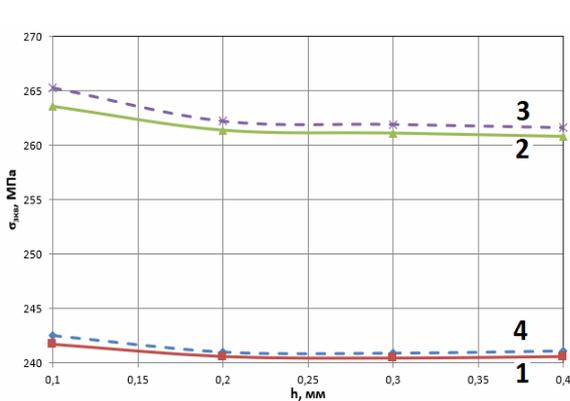
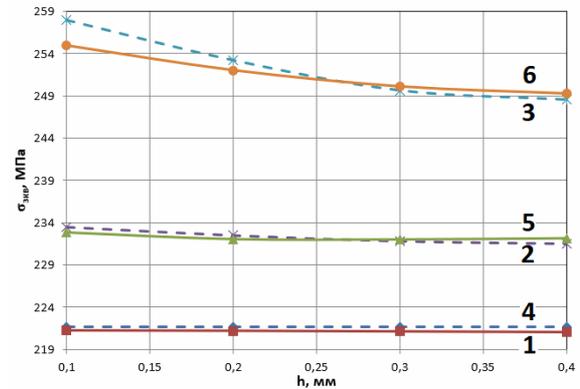


Рис. 1. Продолжение. Распределение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса σ_i при закрепленной (ж-м) правой грани: $h=0,3$ мм, $E_{bas}=200$ ГПа, $\mu_{bas}=0,3$;
 ж, к – $E_{int}=250$ ГПа, $E_{pr}=300$ ГПа, $\mu_{int}=0,3$, $\mu_{pr}=0,3$;
 з, л – $E_{int}=200$ ГПа, $E_{pr}=200$ ГПа, $\mu_{int}=0,24$, $\mu_{pr}=0,21$;
 и, м – $E_{int}=200$ ГПа, $E_{pr}=200$ ГПа, $\mu_{int}=0,36$, $\mu_{pr}=0,42$;
 ж-и – ANSYS – решение; к-м – NASTRAN – решение



$\mu_{int}=0,3$, $\mu_{pr}=0,3$,
 1, 4 – $E_{int}=210$ ГПа, $E_{pr}=220$ ГПа,
 2, 3 – $E_{int}=220$ ГПа, $E_{pr}=240$ ГПа

а



$E_{int}=200$ ГПа, $E_{pr}=200$ ГПа,
 1, 4 – $\mu_{int}=0,24$, $\mu_{pr}=0,21$,
 2, 5 – $\mu_{int}=0,33$, $\mu_{pr}=0,36$,
 3, 6 – $\mu_{int}=0,36$, $\mu_{pr}=0,42$

б

Рис. 2. Зависимости эквивалентных напряжений от толщины обработанной зоны для различных характеристик зон материала, $E_{bas}=200$ ГПа, $\mu_{bas}=0,3$:
 — решение ANSYS, - - - - - решение NASTRAN

Из рисунка 1 видно, что максимальные напряжения могут возникать во всех трех зонах материала. Изменение модуля упругости зоны ядра E_{pr} ведет к пропорциональному изменению максимальных напряжений.

В широких диапазонах модуля упругости и коэффициента Пуассона исследовано влияние глубины зоны измененной структуры материала на продольные напряжения. На рисунке 3 показаны графики коэффициентов

концентрации продольных напряжений $K_Z = \sigma_z / \sigma_{bas}$ при варьировании коэффициента Пуассона для различных толщин ядра.

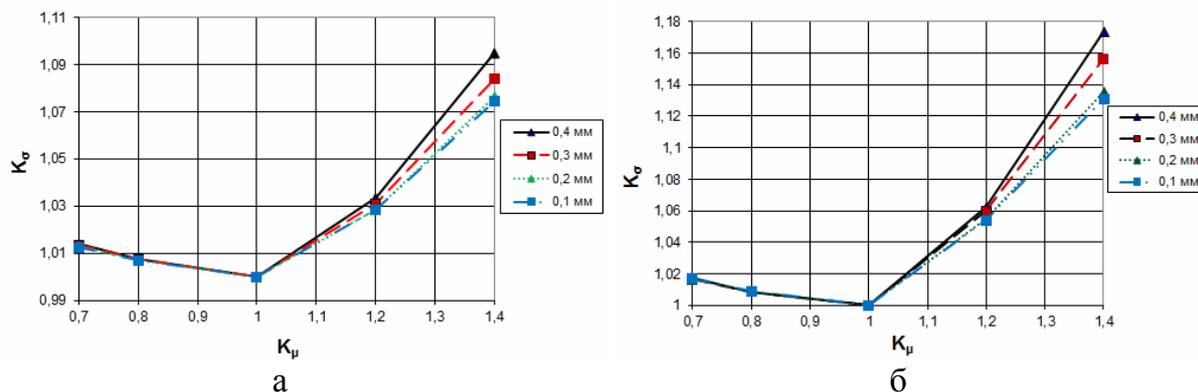


Рис. 3. Влияние коэффициента Пуассона на продольные напряжения, $K_E = E_{pr} / E_{bas}$, $K_\mu = \mu_{pr} / \mu_{bas}$: а) свободная правая грань; б) закрепленная правая грань

Результаты расчетов при варьировании модуля упругости показало незначительное влияние глубины на продольные напряжения. Из рисунка 1 видно, что НДС зависит от глубины проникновения зон трансформированной структуры внутрь образца и от характера изменения основных механических характеристик материала, что естественно соответствует физическому смыслу рассматриваемого вопроса, а также от направления изменения этих величин в большую или меньшую сторону.

Анализ результатов подтверждает необходимость дальнейших исследований свойств материалов при наличии их обработки высокоэнергетическими струями с целью более точного прогнозирования работоспособности элементов конструкций.

Список литературы

1. Войтович О.Н., Соколов И.Н. Исследование влияния параметров лазерной термообработки на свойства упрочненных поверхностных слоев // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2013. – № 2. – С. 6-14.
2. Веремейчик А.И., Нерода М.В., Холодарь Б.Г. Конечно-элементное моделирование задачи о растяжении материала с зонами измененной структуры // Механика машин, механизмов и материалов. – 2022. – № 3(60). – С. 77-84.
3. Веремейчик А.И. Исследование напряженно-деформированного состояния образцов с серповидными зонами измененной структуры материала при осевом растяжении // Механика. Исследования и инновации / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2022. – Вып. 15. – С. 37-49.

Сведения об авторах:

Веремейчик Андрей Иванович – к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры прикладной механики;

Холодарь Борис Григорьевич – к.т.н., доцент, старший научный сотрудник;

Мазырка Михаил Владимирович – аспирант.