



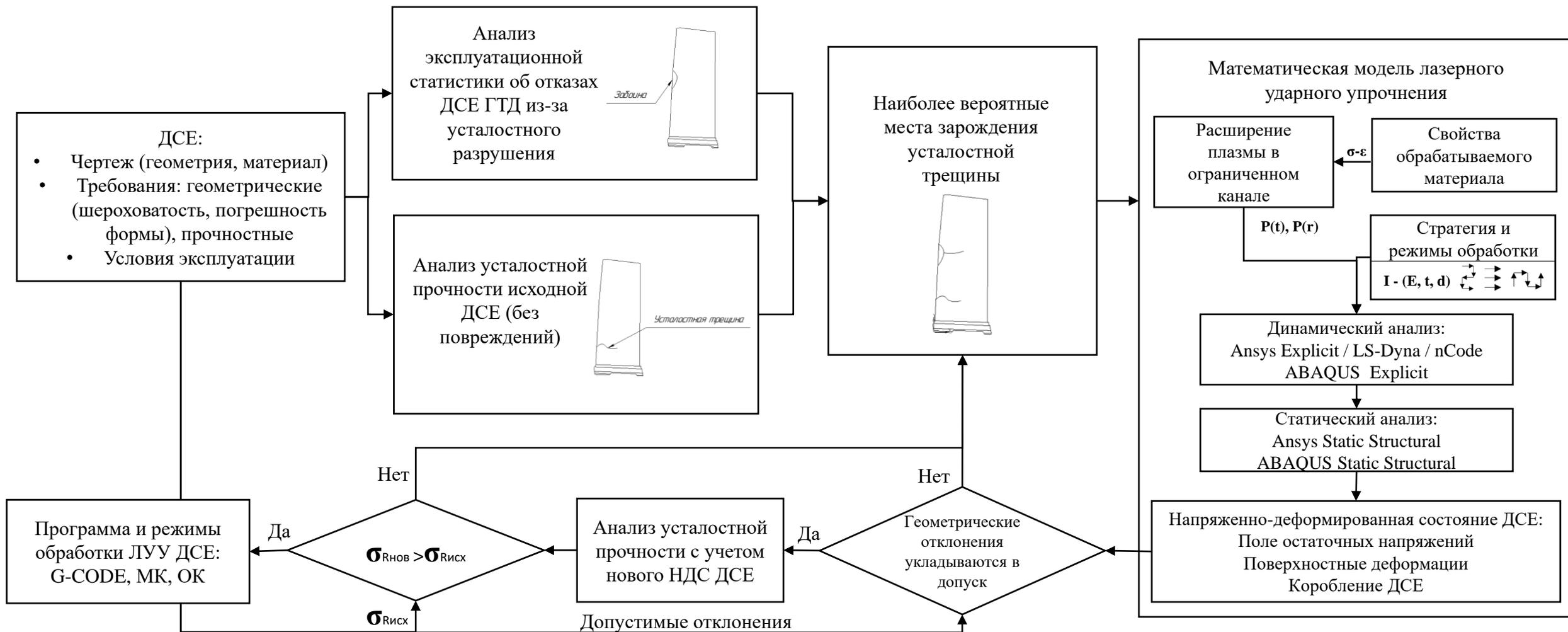
Разработка комплексной математической модели лазерного удара для решения инженерных задач.

Оптимизация режимов обработки лазерным ударным упрочнением жаропрочного сплава Inconel 718 численным моделированием

Докладчик: Кожевников Глеб Денисович
Инженер НИО-205

Москва, 2022

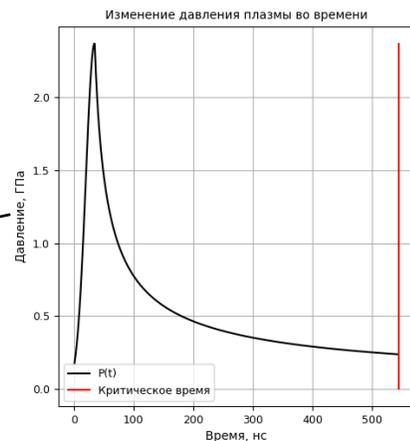
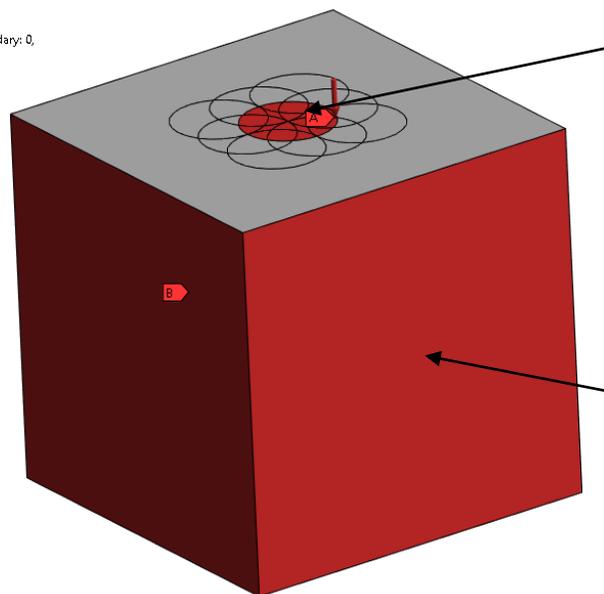
Математическая модель повышения усталостной прочности ДСЕ ГТД



Оптимизация режимов обработки лазерным ударным упрочнением жаропрочного сплава Inconel 718 численным моделированием

Куб: 6 мм
Размер пятна: 1,5 мм
Размер элемента: 50x50 мкм
Перекрывание: 50%

A Pressure: 0, MPa
B Impedance Boundary: 0,



Fabbro model¹

$$I(t) = p(t) \frac{dL(t)}{dt} + \frac{3}{2a} \frac{d[p(t)L(t)]}{dt}$$

$$P[\text{ГПа}] = 0.01 * \sqrt{\frac{\alpha}{2\alpha + 3}} * \sqrt{Z[\frac{\Gamma}{\text{см}^2 * \text{с}}]} * \sqrt{I_0[\frac{\Gamma\text{Вт}}{\text{см}^2}]}$$

Johnson-Cook model²:

$$\sigma = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right] [1 - T'^m],$$

Механические свойства Inconel 718

Плотность кг/м3	8190
Модуль Юнга, ГПа	174,61
Коэффициент Пуассона	0,291

Изменение кинетической энергии в системе

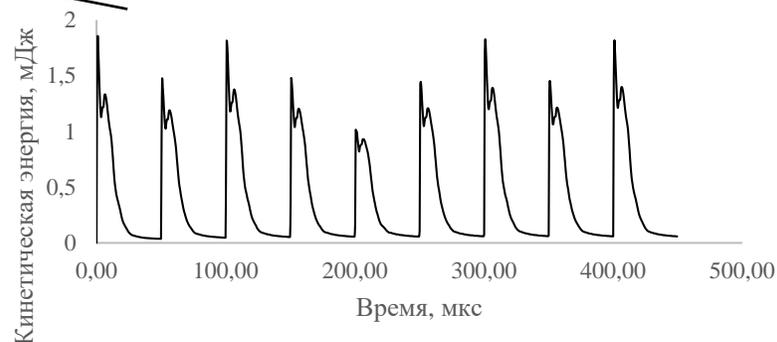


Рис. 4 Граничные условия

Параметры модели J-C S.

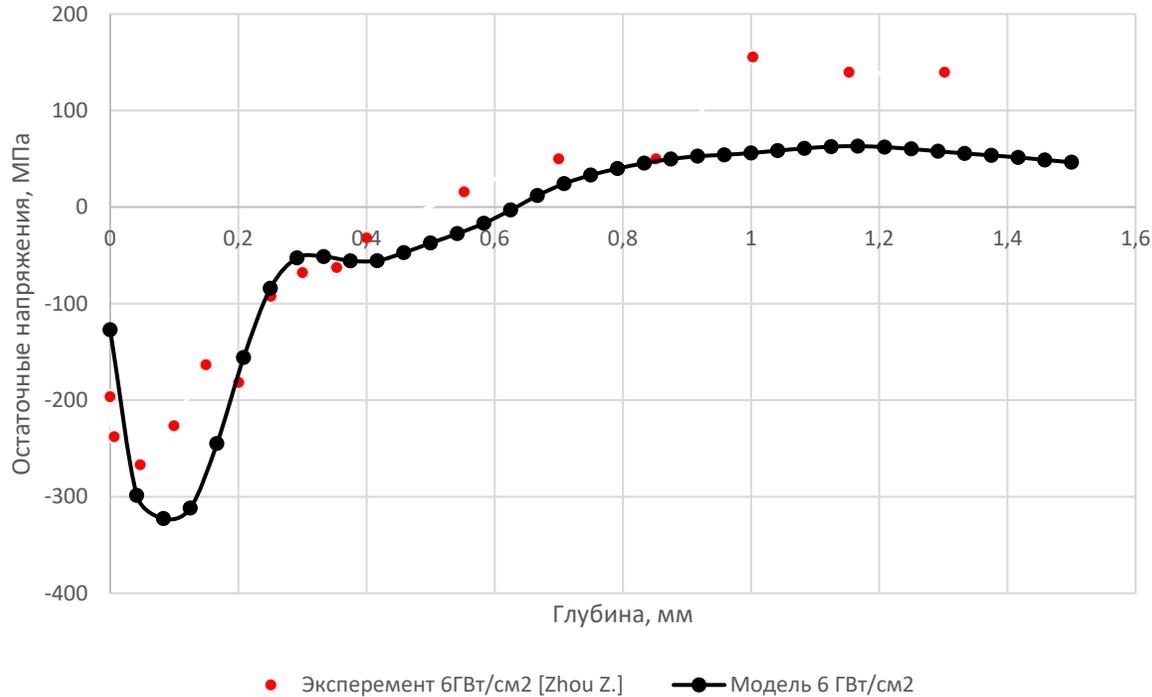
A, МПа	485
B, МПа	1490
n	0,654
C	0,023
ε, 1/с	0,005

¹ Fabbro R. et al. Physical study of laser-produced plasma in confined geometry //Journal of applied physics. – 1990. – Т. 68. – №. 2. – С. 775-784.

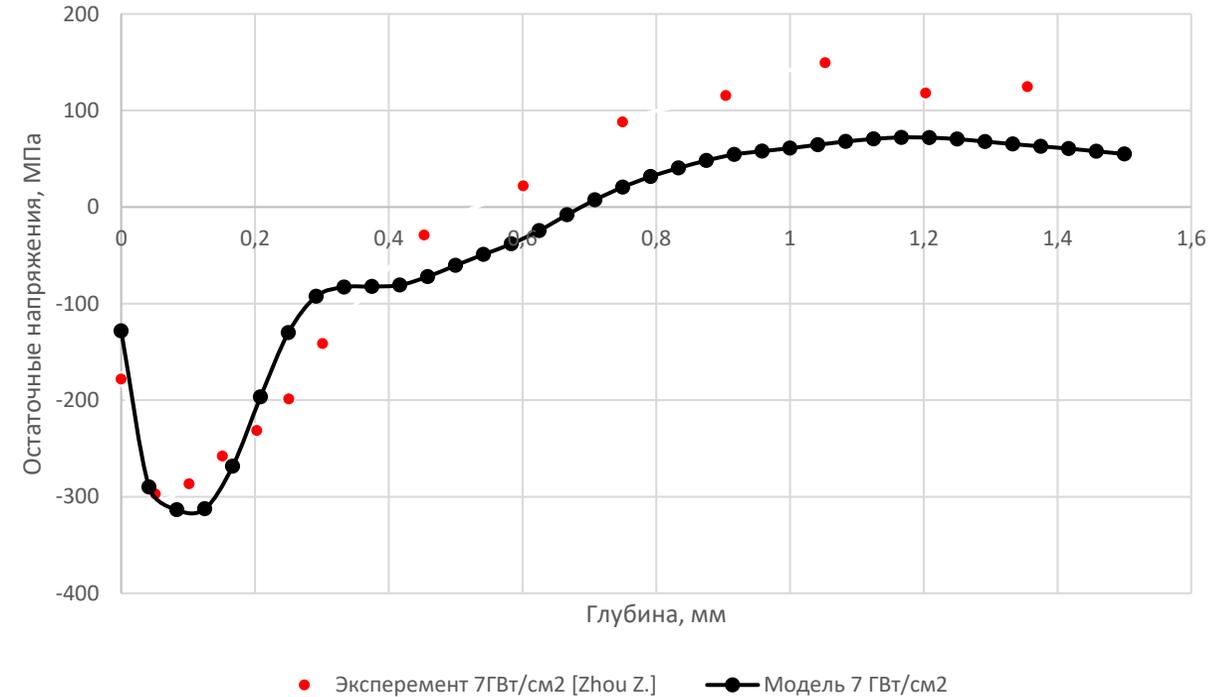
² Johnson G. R., Cook W. H. Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures //Engineering fracture mechanics. – 1985. – Т. 21. – №. 1. – С. 31-48.

Сравнение с экспериментальными данными

Распределение остаточных напряжений по глубине



Распределение остаточных напряжений по глубине



* Zhou Z. et al. A finite element study of thermal relaxation of residual stress in laser shock peened IN718 superalloy //International Journal of Impact Engineering. – 2011. – Т. 38. – №. 7. – С. 590-596..

Область растяжения в центре пятна

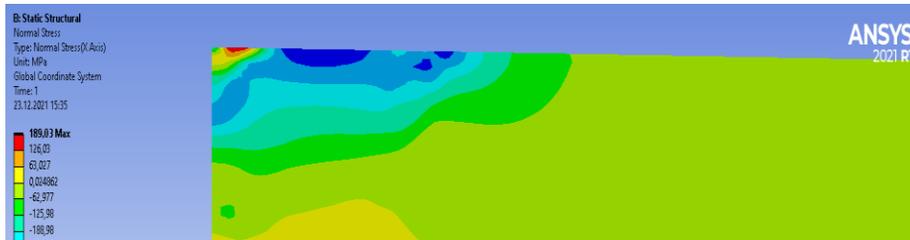


Рис. 5 Поле остаточных напряжений

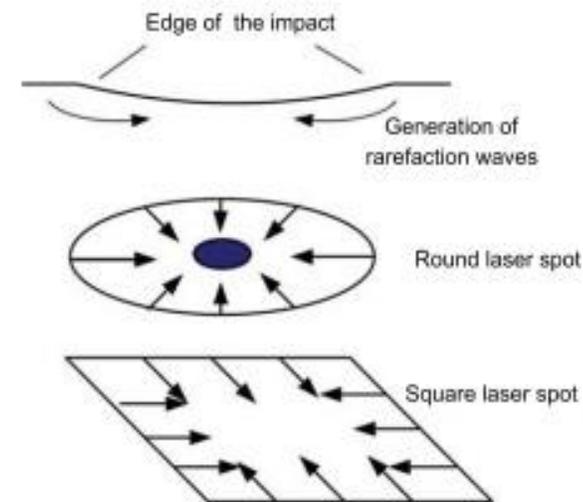


Рис. 6 Механизм формирования области растяжения

Решения:

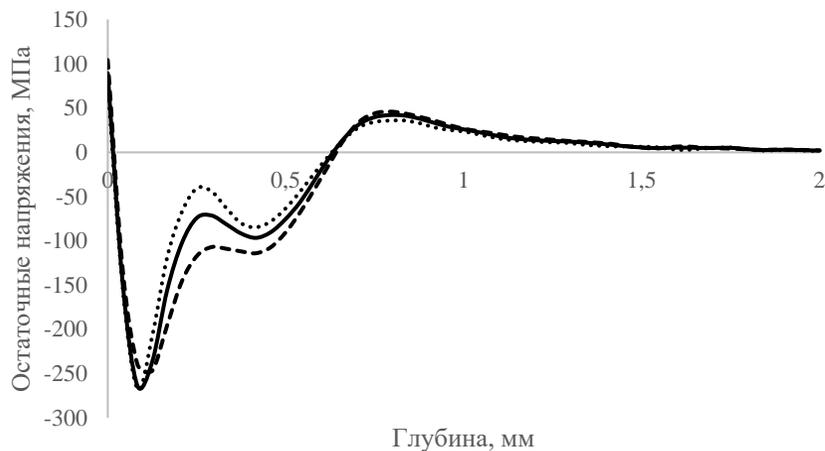
1. Использование менее симметричных пятен при обработке;
2. Использовать перекрытие пятен на растянутую область;
3. Уменьшать плотность мощности;
4. Использовать многократные удары

Влияние времени импульса лазерного излучения

$$\text{Power Density } \left(\frac{\text{GW}}{\text{cm}^2}\right) = \frac{\text{Energy (J)}}{\text{Pulse width (ns)} \times \text{Laser spot area (cm}^2\text{)}}$$

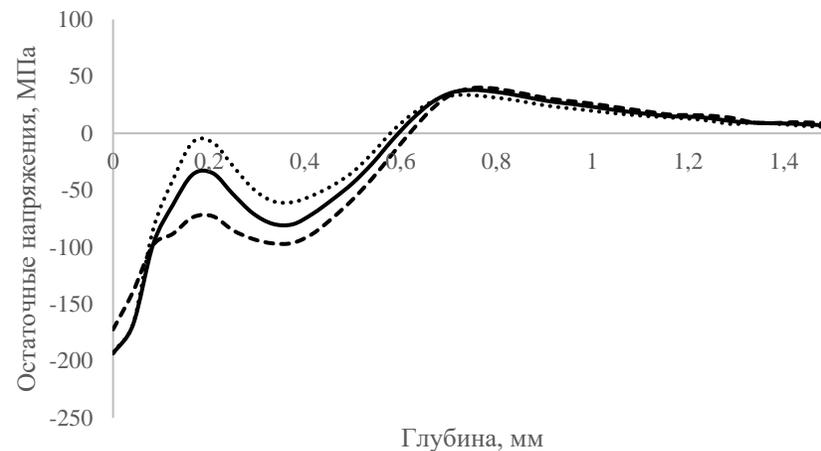
N	Energy (J)	Pulse width (ns)	Laser spot (mm)	Power Density
1	8	30	0,18	9,85
2	8	45	0,18	6,57
3	8	60	0,18	4,93

Изменение остаточных напряжений по глубине в центре пятна



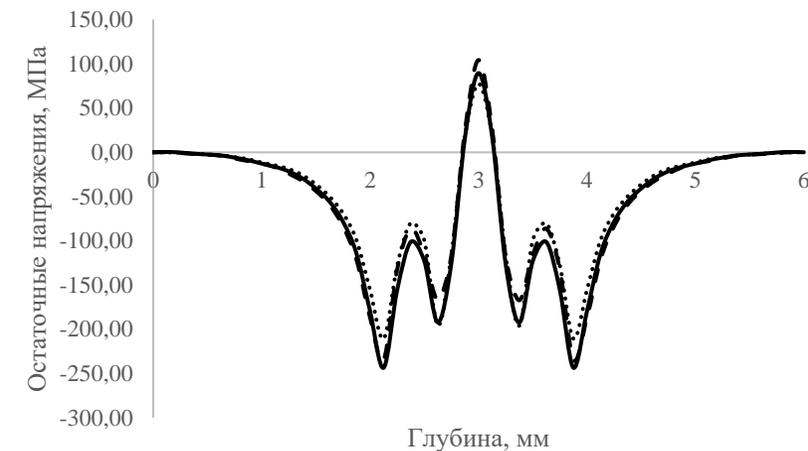
--- 30 нс — 45 нс 60 нс

Распределение остаточных напряжений по глубине на R/2



--- 30 нс — 45 нс 60 нс

Распределение остаточных напряжений по поверхности



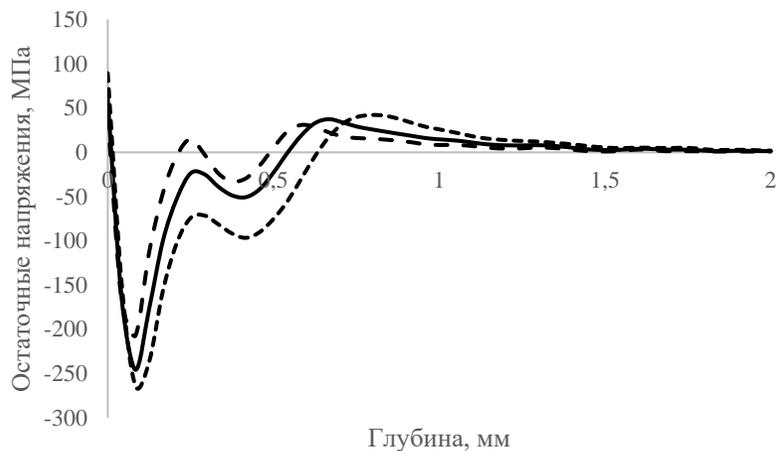
--- 30 нс — 45 нс 60 нс

Влияние энергии лазерного излучения

$$\text{Power Density } \left(\frac{\text{GW}}{\text{cm}^2}\right) = \frac{\text{Energy (J)}}{\text{Pulse width (ns)} \times \text{Laser spot area (cm}^2\text{)}}$$

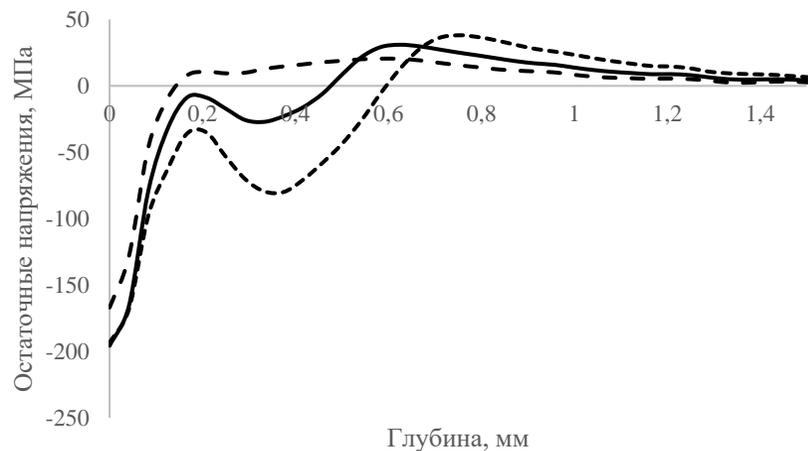
N	Energy (J)	Pulse width (ns)	Laser spot (mm)	Power Density
1	8	45	0,18	6,57
2	6	45	0,18	4,93
3	4,5	45	0,18	3,69

Изменение остаточных напряжений по глубине в центре пятна



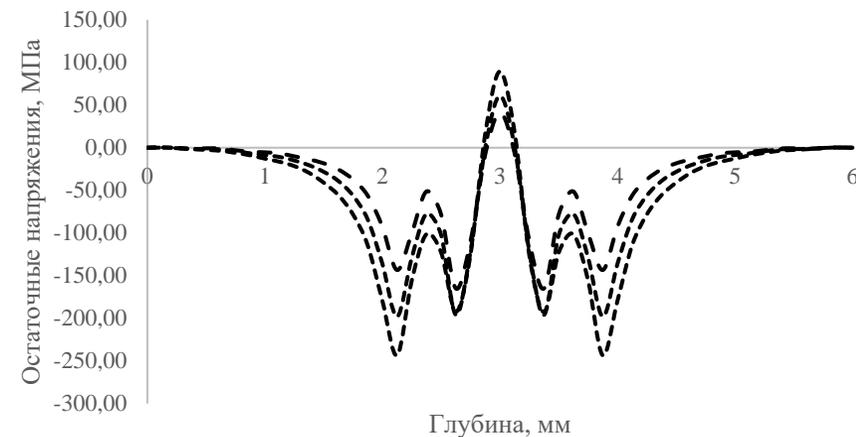
----- 8 Дж ——— 6 Дж - · - · 4,5 Дж ······

Распределение остаточных напряжений по глубине на R/2



----- 8 Дж ——— 6 Дж - · - · 4,5 Дж ······

Распределение остаточных напряжений по поверхности



----- 8 Дж - · - · 6 Дж - · - · 4,5 Дж

Влияние параметров лазерного излучения

$$\text{Power Density } \left(\frac{GW}{cm^2}\right) = \frac{\text{Energy (J)}}{\text{Pulse width (ns)} \times \text{Laser spot area}(cm^2)}$$

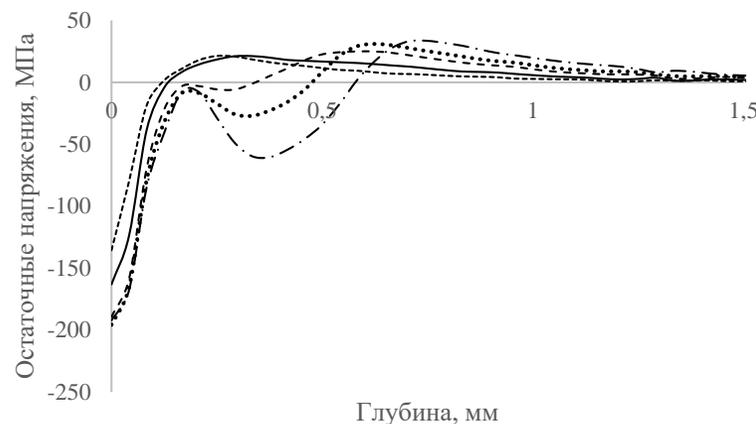
N	Energy (J)	Pulse width (ns)	Laser spot (mm)	Power Density
1	1,6	12	1,8	4,93
2	2,8	21	1,8	4,93
3	4,8	36	1,8	4,93
4	6	45	1,8	4,93
5	8	60	1,8	4,93

Изменение остаточных напряжений по глубине в центре пятна



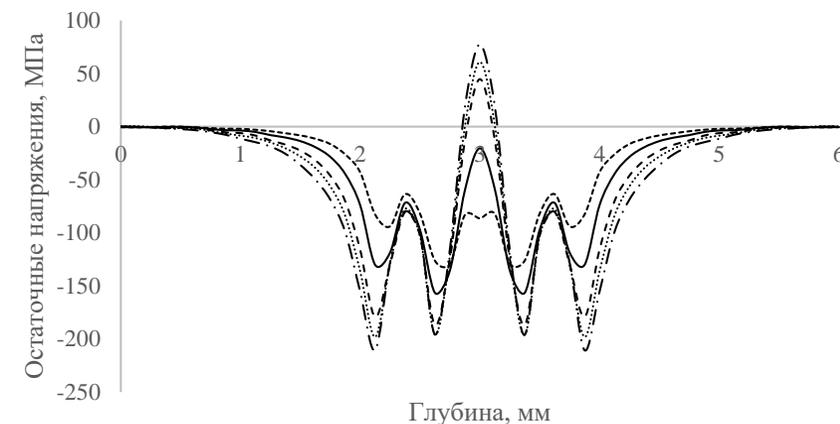
----- N1 ——— N2 - - - - N3 N4 - · - · - N5

Распределение остаточных напряжений по глубине на R/2



----- N1 ——— N2 - - - - N3 N4 - · - · - N5

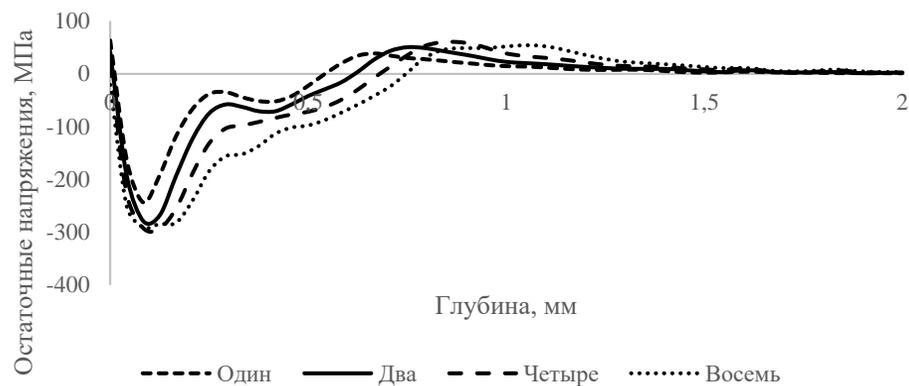
Распределение остаточных напряжений по поверхности



----- N1 ——— N2 - - - - N3 N4 - · - · - N5

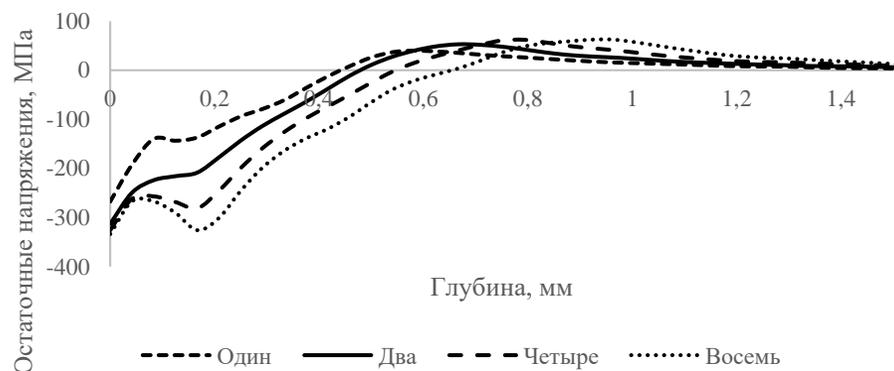
Повторные удары

Изменение остаточных напряжений по глубине
в центре пятна

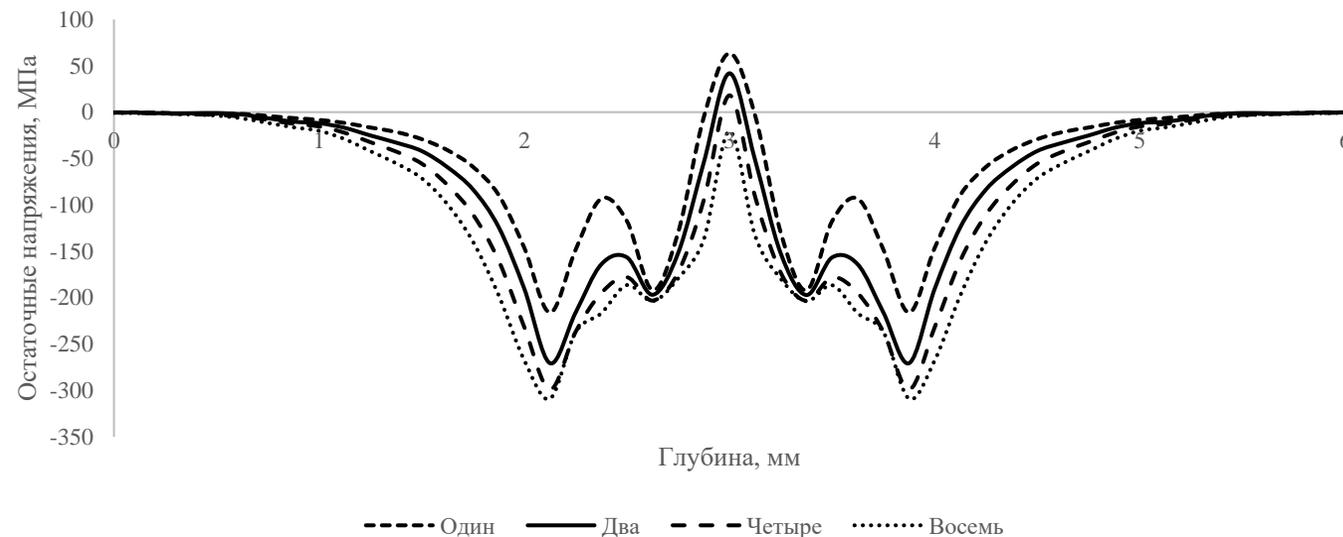


N	Energy (J)	Pulse width (ns)	Laser spot (mm)	Power Density
1	4	35	0,15	6

Распределение остаточных напряжений по
глубине на R/2



Распределение остаточных напряжений по поверхности





Результаты и дальнейшие исследования

Результаты:

1. Получено качественное согласование модели лазерного ударного упрочнения для никелевого сплава Inconel 718 с экспериментальными данными на двух режимах: 6 и 7 ГВт/см²;
2. Оценено влияние энергии и времени импульса лазерного излучения, а также повторное воздействие на величину и глубину сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое;
3. Определены режимы обработки, решающие проблему зоны растяжения в центре пятна для никелевого сплава Inconel 718: 3-4 Дж, 10-25 нс, 1-2 удара.

Дальнейшие исследования:

1. Оценка влияния параметров лазерного излучения на деформации поверхности;
2. Оценить влияние перекрытия пятен;
3. Определение оптимальных НДС для усталостных образцов;
4. Учет влияния толщины абляционного и ограничивающего слоя на изменение магнитуды и времени действия давления на поверхность детали.