

Влияние скорости перемещения лазерного луча вдоль поверхности образца на формирование остаточных напряжений в нем при импульсном лазерном упрочнении

И.В. Нырцов

Проведено компьютерное моделирование процесса лазерного упрочнения при импульсном режиме нагрева поверхности обрабатываемого образца. Получены изображения температурных полей и графики распределения остаточных напряжений в сечении образца для различных режимов обработки.

Ключевые слова: лазерное упрочнение, лазерный импульс, остаточные напряжения.

Большой интерес представляет разработка процесса импульсного лазерного упрочнения, вследствие локальности и большей интенсивности его воздействия, и, как результат, большей энергетической эффективности и меньших побочных эффектов обработки (изменение химического состава металла, ухудшение шероховатости поверхности и т.д.) по сравнению с лазерным упрочнением непрерывным излучением.

Целью данного исследования является оценка влияния такого параметра импульсного лазерного излучения, как скорость перемещения лазерного луча при сканировании поверхности образца, на формирование остаточных напряжений.

Для достижения указанной цели было проведено моделирование процесса ЛУ образцов из никелевого сплава ЭИ698 при различных режимах работы лазера в программной среде ANSYS. Моделируется работа установки, описанной в исследовании [1]. Принцип ее действия состоит в следующем: оптическая головка лазера движется вдоль обрабатываемой поверхности, облучая её; следом за оптической головкой (на расстоянии 2—3 мм) движется трубка, подающая охлаждающую среду.

Моделирование ЛУ сводится к решению двухмерной нестационарной сопряженной тепло-прочностной задачи. Геометрическая модель ограничена размерами 100x2 мм, что соответствует продольному сечению образцов в исследовании [1].

Эффективность лазерного упрочнения при импульсном нагреве определяется следующими факторами:

- мощность излучения в импульсе:

$$P_u = \frac{W_u}{\tau_u},$$

где W_u - энергия импульса излучения, Вт;

τ_u - длительность импульса, с;

- радиус зоны облучения на обрабатываемой поверхности r_u ;

- уровень теплоотвода (выражающийся коэффициентом теплообмена h между охлаждающей средой и обрабатываемой поверхностью).

Лазерное излучение учитывается через параметр плотности мощности (команда Heat Flux), с учетом эффективного коэффициента поглощения для белой гуаши $A_{\text{эф}} = 0,5$. Интенсивное охлаждение моделируется через конвекцию (команда CONV).

Эффект упрочнения исследовался на нескольких режимах импульсного нагрева с охлаждением сжатым воздухом, отличающихся скоростью движения лазерной головки вдоль поверхности образца.

Для каждого режима получены температурные поля в сечении образца и графики остаточных напряжений по глубине. На основании полученных графиков сделаны выводы о зависимости скорости движения лазерной головки вдоль поверхности образца и градиента температуры по глубине образца.

Режим 1

Нагрев: импульсный.

Скорость перемещения луча: 10^{-3} м/с.

Длительность импульса: $\tau_{\text{и}}=0,015$ с.

Частота излучения: $\nu=10$ Гц.

Радиус зоны облучения: $r_{\text{и}}=0,0025$ м.

Мощность: $P=1$ кВт.

Охлаждающая среда: вода комнатной температуры под напором.

Коэффициент теплообмена: $h=2 \cdot 10^5$ Вт/(м²·К).

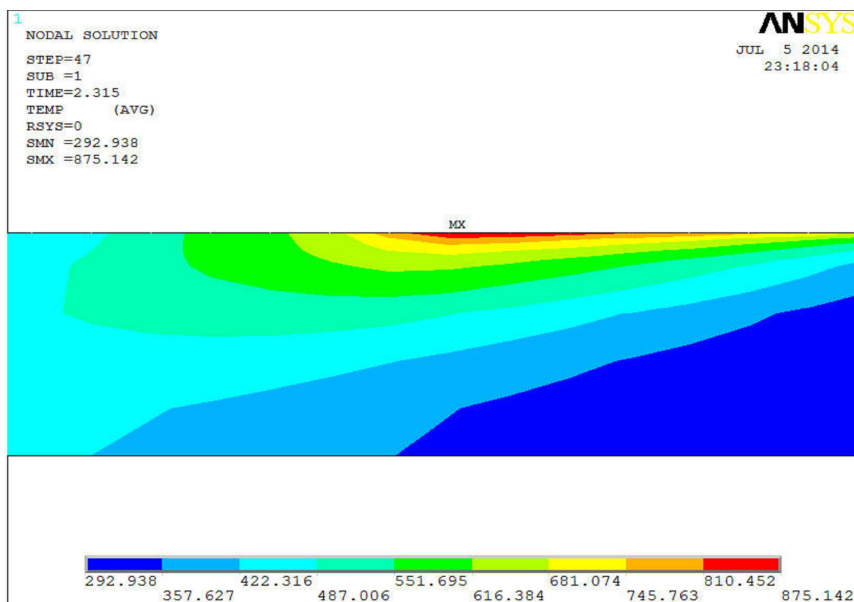


Рис. 1 Температурное поле в продольном сечении образца в процессе лазерной обработки (импульсный нагрев, охлаждение водой)

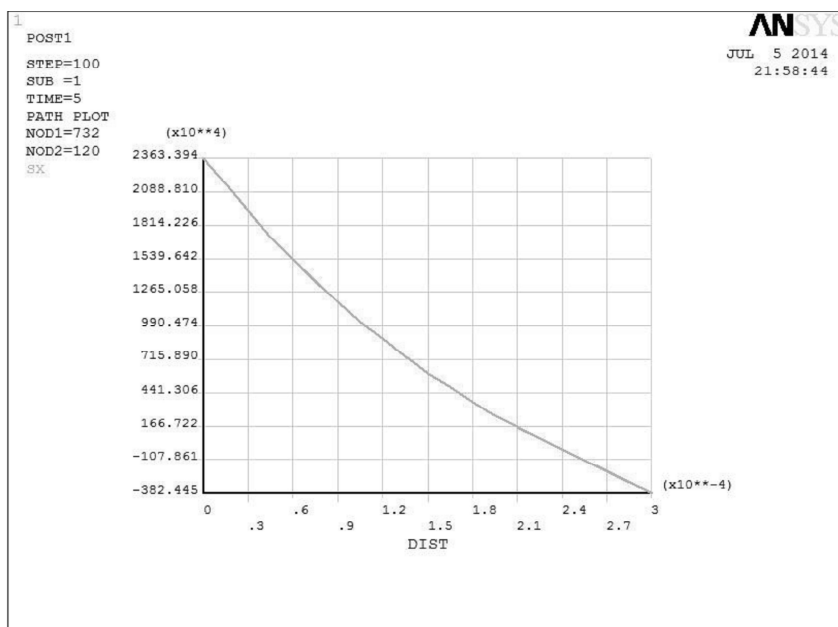


Рис. 2 График остаточных напряжений по глубине после лазерной обработки в сечении образца (импульсный нагрев, охлаждение водой)

Температура в центре пятна не превышает 900 К, подповерхностный слой прогревается до 550...600 К. Таким образом, подповерхностный слой прогрев недостаточно для создания минимально необходимого градиента температуры, и

образуется неблагоприятная картина остаточных напряжений — растягивающие напряжения величиной порядка 20 МПа у поверхности.

Режим 2

Нагрев: импульсный.

Скорость перемещения луча: $5 \cdot 10^{-3}$ м/с.

Длительность импульса: $\tau_{\text{и}}=0,015$ с.

Частота излучения: $\nu=10$ Гц.

Радиус зоны облучения: $r_{\text{и}}=0,0025$ м.

Мощность: $P=1$ кВт.

Охлаждающая среда: вода комнатной температуры под напором.

Коэффициент теплообмена: $h=2 \cdot 10^5$ Вт/(м²·К).

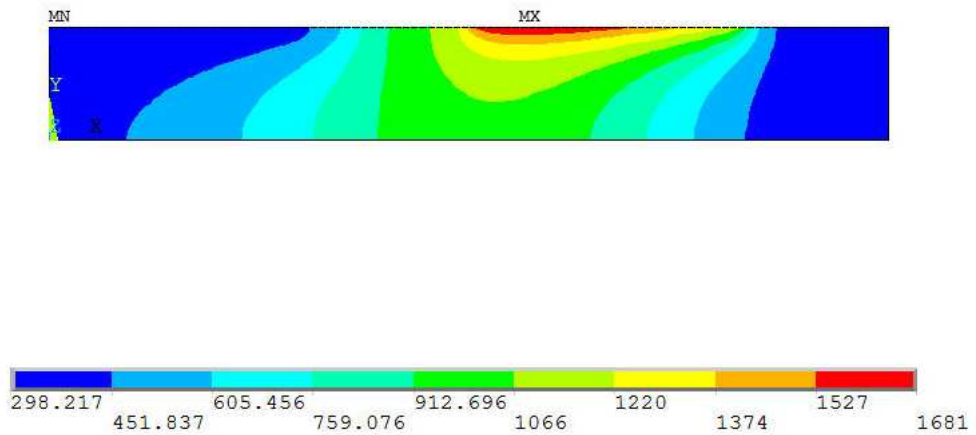


Рис. 3 Температурное поле в продольном сечении образца в процессе лазерной обработки (импульсный нагрев, охлаждение водой)

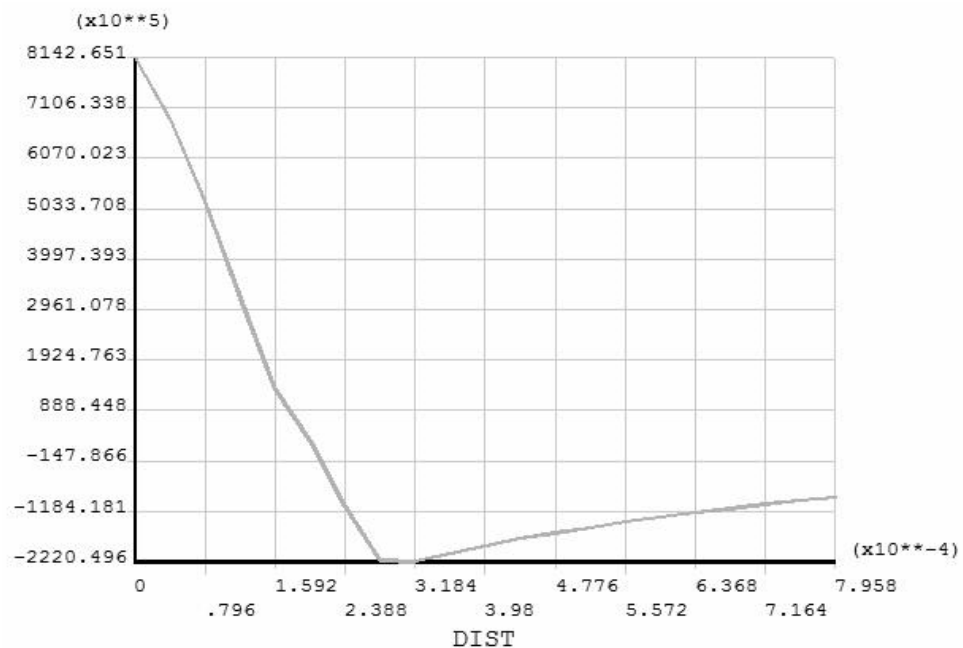


Рис. 4 График остаточных напряжений по глубине после лазерной обработки в сечении образца (импульсный нагрев, охлаждение водой)

Температура в центре пятна составляет около 1600 К, подповерхностный слой прогреет до 1200...1300 К, чего также недостаточно для создания минимально необходимого градиента температуры. Из рисунка 4 видно, что при обработке при таком режиме растягивающие остаточные напряжения не только не меняются на сжимающие, но и еще более возрастают по сравнению с предыдущим режимом излучения — до 700...800 МПа у поверхности.

Режим 3

Скорость перемещения луча: $5 \cdot 10^{-4}$ м/с.

Длительность импульса: $\tau_{\text{и}}=0,015$ с.

Частота излучения: $\nu=10$ Гц.

Радиус зоны облучения: $r_{\text{и}}=0,0025$ м.

Мощность: $P=1$ кВт.

Охлаждающая среда: вода комнатной температуры.

Коэффициент теплообмена: $h=2 \cdot 10^5$ Вт/(м²·К).

Температура в центре пятна достигает 2200 К, подповерхностный слой прогревается до 1600...1800 К. Видно, что подповерхностный слой прогреет достаточно для создания минимально необходимого градиента температуры, поэтому образуется благоприятная картина остаточных напряжений — значительные (~ 150 МПа) сжимающие напряжения у поверхности.

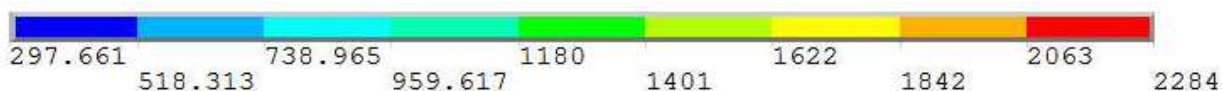
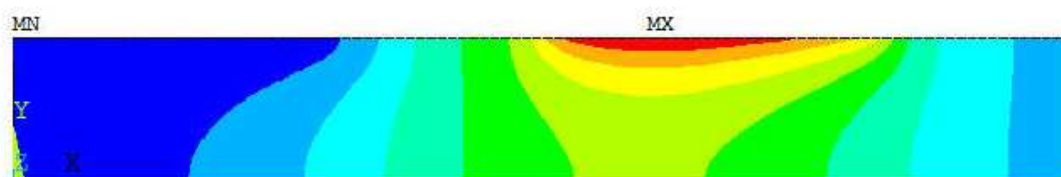


Рис. 5 Температурное поле в продольном сечении образца в процессе лазерной обработки (импульсный нагрев, охлаждение водой)

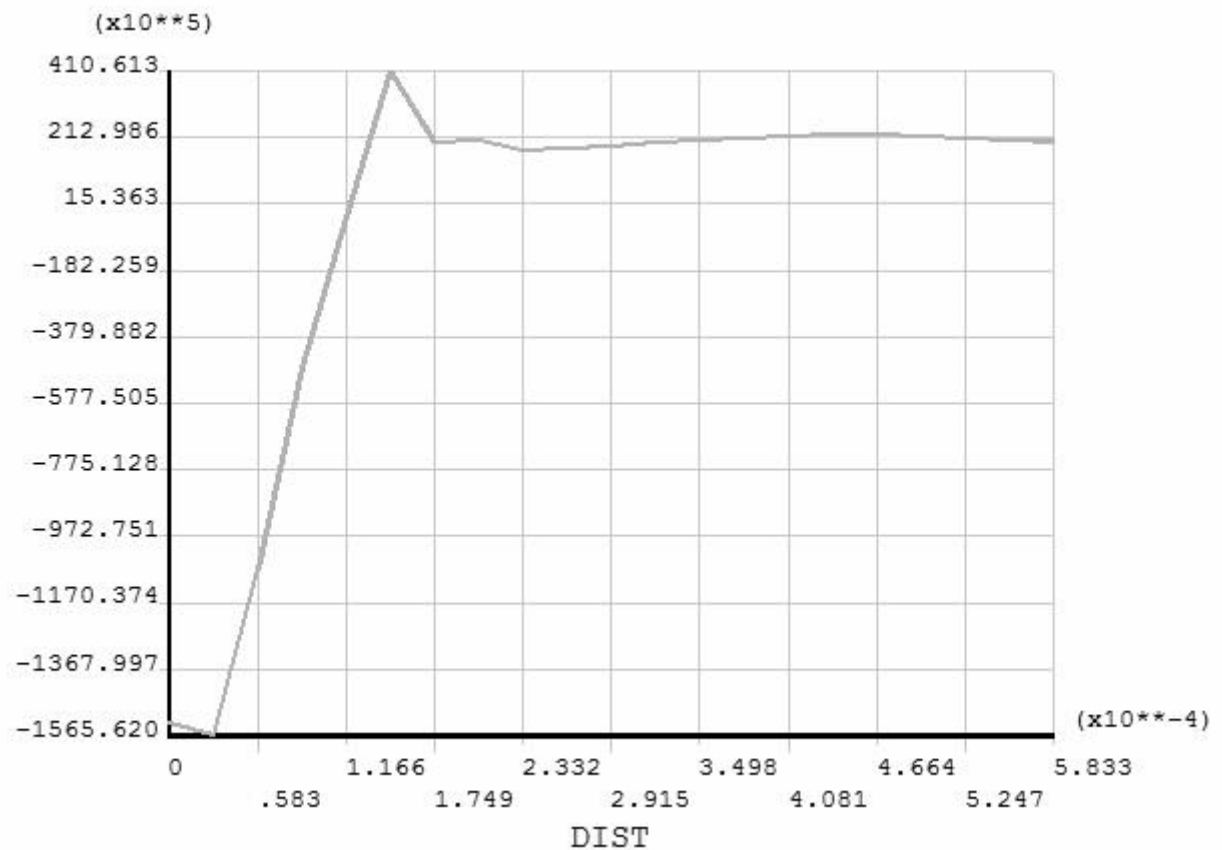


Рис. 6 График остаточных напряжений по глубине после лазерной обработки в сечении образца (импульсный нагрев, охлаждение водой)

Выводы:

1. Построены компьютерные модели процесса лазерного упрочнения при различных режимах импульсного нагрева.
2. Получены тепловые поля и графики распределения остаточных напряжений в сечении образцов.
3. Выявлено, что благоприятная картина остаточных напряжений в поверхностном слое образца для импульсного лазерного нагрева получена только при моделировании движения лазерной головки вдоль образца со скоростью $5 \cdot 10^{-4}$ м/с. Таким образом, эффективность лазерной обработки обратно пропорциональна скорости движения лазерного луча вдоль поверхности образца.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кравченко Б.А., Каюков С.В., Гусев А.А. Термопластическое упрочнение жаропрочных никелевых сплавов с использованием лазерного нагрева // Физика и химия обработки материалов. 1999. № 6. С. 17-21.