

Моделирование непрерывного и импульсного режимов лазерного нагрева при термоупрочнении

И.В. Нырцов

Лазерное упрочнение (ЛУ) является перспективным методом термоупрочнения поверхностного слоя деталей в машиностроении.

Процесс ЛУ проходит в два этапа: нагрев детали до температуры плавления или выше и последующее ускоренное охлаждение ее поверхности. Эффект ЛУ достигается на стадии охлаждения при создании градиентов температуры в поверхностном слое, приводящих к протеканию пластической деформации растяжения. Установлено [1], что достижение эффекта упрочнения требует создания в поверхностном слое на стадии охлаждения достаточно больших градиентов температуры (~500 град/мм). После выравнивания температуры под влиянием нижележащих слоев на поверхности формируются реактивные сжимающие остаточные напряжения.

В зависимости от режима нагрева можно выделить:

1. ЛУ непрерывным излучением.
2. ЛУ импульсным нагревом.

Первый способ характеризуется значительными нагревом зоны облучения и относительно большими её размерами.

В связи с этим большой интерес представляет разработка процесса импульсного ЛУ, 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.).

Эффективность импульсного нагрева определяется двумя основными факторами:

- мощность лазерной установки (выражающаяся в энергии одного импульса);
- уровень теплоотвода (выражающийся коэффициентом теплоотдачи для пары).

В данном исследовании проведено моделирование процесса ЛУ при различных режимах работы лазера в среде ANSYS.

Режим 1.

Нагрев: монотонный.

Мощность ~ 1 кВт

Теплоотвод: 28 000 Вт/м² (воздух комнатной температуры)

```
TIME=48.3  
TEMP (AVG)  
RSYS=0  
SMN =293  
SMX =2174
```

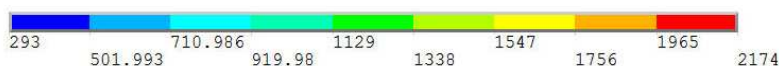
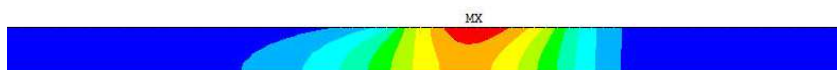


Рис. 1 . Температурное поле при монотонном режиме.

```

TIME=1380
PATH PLOT
MOD1=3022
MOD2=202
SX

```

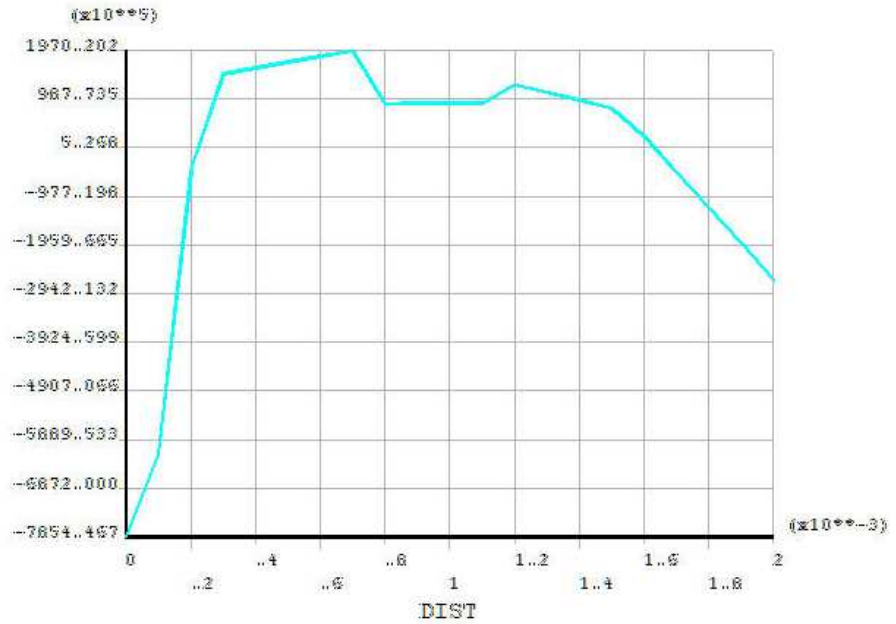


Рис.2 Напряжения при монотонном режиме

Температура в центре пятна достигает 2100К, подповерхностный слой 1900К.

Вывод: подповерхностный слой прогрет достаточно для формирования реактивных остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое.

Режим 2.

Нагрев: импульсный.

Мощность ~ 3 кВт.

Частота 10 Гц.

Продолжительность импульса 15 мс.

Теплоотвод 28 000 Вт/м² (воздух комнатной температуры под давлением 6 атм).

```

TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =292.997
SMX =1106

```

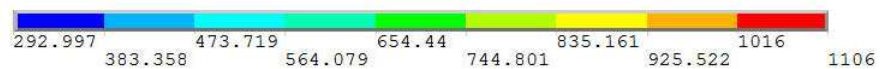
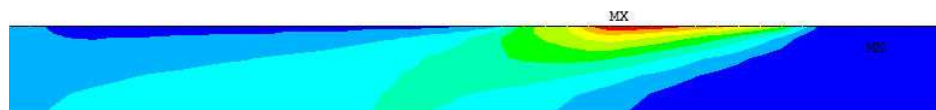


Рис. 3 Температурное поле при импульсном режиме (охлаждение воздухом)

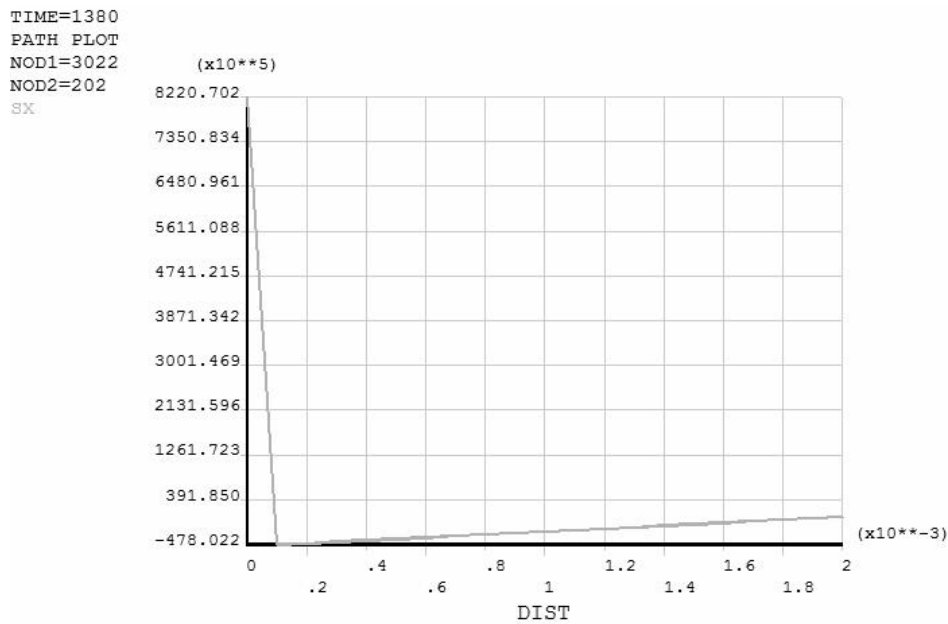


Рис. 4 Напряжения при импульсном режиме (охлаждение воздухом)

Температура в центре пятна достигает 835К, подповерхностный слой – 650-750К.

Вывод: подповерхностный слой прогрев недостаточно, поэтому образуется неблагоприятная картина остаточных напряжений.

Режим 3.

Нагрев: импульсный

Мощность ~ 3 кВт

Частота 10 Гц

Продолжительность импульса 30 мс.

Общая продолжительность обработки 20 с.

Теплоотвод 260 000 Вт/м² (вода комнатной температуры)

```

TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =292.997
SMX =1106

```

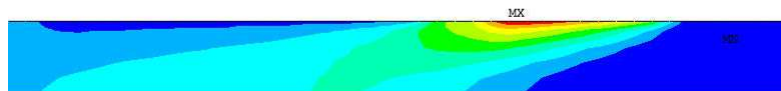


Рис. 5 Температурное поле при импульсном нагреве (охлаждение водой комнатной температуры)

Температура в центре пятна достигает 1106К, подповерхностный слой 850-950К.

Вывод: несмотря на увеличение продолжительности импульса и, как следствие, температуры в зоне облучения, охлаждение водой комнатной температуры не позволяет создать необходимый градиент температуры, и образуется неблагоприятная картина остаточных напряжений.

Режим 4.
Нагрев: импульсный
Мощность ~ 3 кВт
Частота 10 Гц
Продолжительность импульса 30 мс.
Теплоотвод 2 000 000 Вт/м² (жидкий азот).

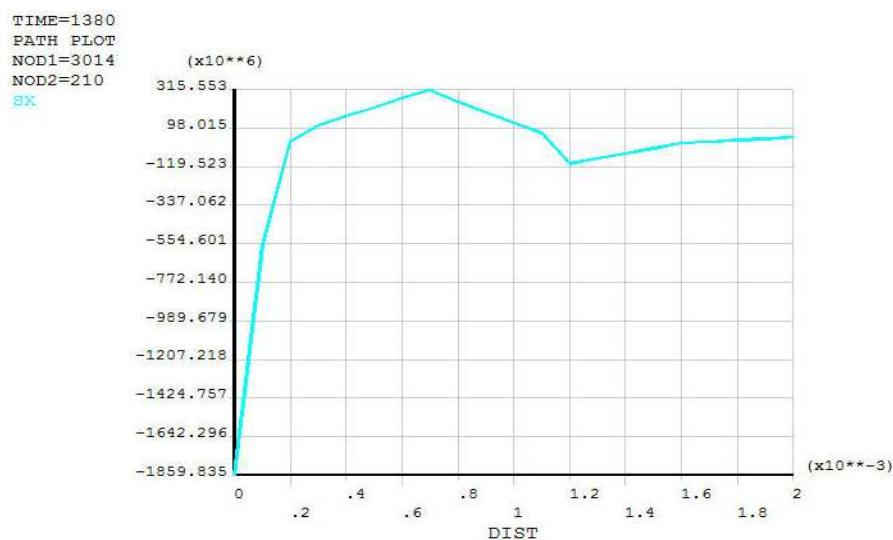


Рис. 6 Напряжения при импульсном нагреве (охлаждение жидким азотом)

Вывод: благоприятная картина остаточных напряжений в поверхностном слое модели для импульсного лазерного нагрева получены только при моделировании охлаждения жидким азотом. Данная охлаждающая среда предъявляет повышенные требования к установке для ЛУ, значительно увеличивая энерго- и трудоёмкость процесса упрочнения.

Следовательно, снижение требований к охлаждающей среде возможно только при использовании лазерной установки высокой мощности импульсного излучения (свыше 3 кВт).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кравченко Б.А., Гутман Г.Н., Костина Г.Н. Формирование остаточных напряжений при термоупрочнении деталей ГТД // Проблемы прочности. Издательство «Наукова думка». – 1978.- №5. – С. 12-15.