

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Куликов, И.С. О неосесимметричном НДС неравномерно нагретых длинных цилиндрических тел в условиях ползучести и облучения / И.С. Куликов, А.В. Чигарев, П.И. Ширвель // *Материалы VIII Всероссийской конференции по механике деформируемого твердого тела: в 2 ч.* – Чебоксары, 2014. – Ч.2. – С. 5–16.
2. Чигарев, А.В. Исследование неосесимметричного напряженного состояния при квазистатическом термосиловом нагружении в условиях облучения высокоэнергетическими частицами / А.В. Чигарев, П.И. Ширвель // *Наука и Техника.* – 2013. – №4. – С. 46–53.
3. Ширвель, П.И. Неосесимметричное напряженно-деформированное состояние длинного тепловыделяющего цилиндра в условиях квазистатического терморрадиационного воздействия / П.И. Ширвель, И.С. Куликов, А.В. Чигарев // *Теор. и прикладная механика: междунар. науч.-техн. сб.* – Минск: БНТУ, 2014. – Вып. 29. – С. 79–85.
4. Ширвель, П.И. Численное моделирование процессов деформирования элементов конструкций и компонентов оборудования ЯЭУ / П.И. Ширвель, А.В. Чигарев, А.А. Сергей // *Теоретическая и прикладная механика: междунар. науч.-техн. сб.* – Минск: БНТУ, 2014. – Вып. 29. – С. 173–178.

УДК 539.3

НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ТЕРМОСТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРОБИВНОГО ПУАНСОНА

*Веремейчик А.И.¹, Гарбачевский В.В.¹, Сазонов М.И.¹,
Хвусевич В.М.¹, Цыганов Д.Л.²*

¹Брестский государственный технический университет,
Брест, Республика Беларусь;

²Институт физики плазмы и ядерного синтеза,
Лиссабон, Португалия

Для процесса поверхностного плазменного упрочнения рабочей зоны цилиндрических пуансонов для пробивки отверстий применялся плазмотрон с высокой удельной мощностью. В качестве плазмообразующего газа использовался аргон, причем в плазмотроне было применено обжимающее сопло с диаметром отверстия 1,2 мм. Струя плазмы шириной 2,8 мм направлялась на торцы пуансонов, которые обжаты двумя медными пластинами для их интенсивного охлаждения и собраны в обжим. При движении плазмотрона производится последовательные интенсивный нагрев и закалка их торцов. Схема приспособления приведена на рисунке 1.

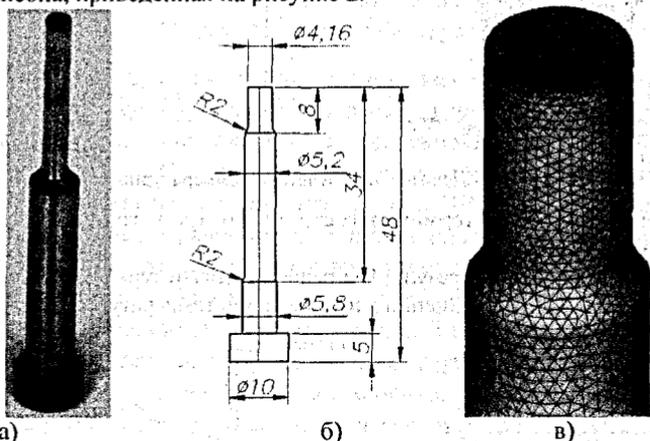
Рисунок 1 – Приспособление для интенсивного теплоотвода



Сначала плазмотрон перемещается относительно пуансонов вдоль их торцевых поверхностей, затем их поворачивают на 90° , и движение повторяется. Таким образом достигается закалка торца и режущей кромки пуансонов. Плазменная закалка производилась при токах дуги $I = 6 - 32$ А. Скорость перемещения плазмотрона варьировалась от 4 до 27 мм/с. В результате проведенных экспериментов и статической обработки их результатов были определены оптимальные параметры процесса поверхностного упрочнения: скорость перемещения плазмотрона $V = 9 - 13$ мм/с, ток дуги $I = 27$ А, расход защитного газа $Q = 3,1$ л/мин. Эти параметры зависят от расстояния плазмотрона до поверхности торцов пуансонов.

Проведено исследование нестационарных температурных полей, напряжений и перемещений при поверхностной закалке, выполненное с применением конечно-элементного комплекса ANSYS. Следует отметить, что основой термического анализа в пакете ANSYS является уравнение теплового баланса, которое получается из принципа сохранения энергии. Конечно-элементное решение заключается в получении значений узловых температур и напряжений, на основе которых вычисляются остальные необходимые величины.

В ходе проведения вычислительного эксперимента разработана трехмерная модель пуансона, приведенная на рисунке 2.



а) внешний вид; б) схема; в) конечно-элементная модель рабочей зоны

Рисунок 2 – Пуансон

При решении нестационарной температурной задачи использовался предназначенный для анализа переходных процессов восьмиузловой термический элемент SOLID70 (Brick 8node), который имеет одну степень свободы (температура в каждой точке), при структурном анализе - восьмиузловой элемент SOLID185 (Brick 8node). В соответствии со скоростью движения плазменной струи к узлам дискретной модели пуансона пошагово последовательно прикладывалась температурная нагрузка в виде теплового потока. Максимальная температура поверхности торца пуансона составляет 1300°C (начальная температура 20°C). На всех поверхностях модели задавалась конвекция: на торцевой поверхности, по которой движется плазменная струя, коэффициент конвекции

составлял $50 \text{ Вт}/(\text{К}\cdot\text{м}^2)$, на боковой цилиндрической - $100 \text{ Вт}/(\text{К}\cdot\text{м}^2)$. Теплопроводность стали X12M принималась равной $50 \text{ Вт}/(\text{К}\cdot\text{м})$, модуль упругости $E=2\cdot 10^{11} \text{ Па}$, коэффициент Пуассона $\nu=0,28$. Скорость движения плазмотрона равна $11 \text{ мм}/\text{с}$. Нагрев пуансонов производится в течение $0,346 \text{ с}$, а интенсивное охлаждение - в течение $2-7 \text{ с}$.

После каждого шага нагружения проводился расчет температурных полей, результаты которого записывались в LS-файлы. Для получения общего решения выполнялось совместное решение по определенному количеству LS-файлов, соответствующее 22 шагам нагружения. В результате проведения расчета определены поля температур, напряжений и перемещений в различные промежутки времени.

На рисунке 3а представлено распределение температурных полей на рабочей зоне пуансона в момент времени $t=0,346 \text{ с}$, на рисунке 3б - зависимость температуры от времени в средней точке торца.

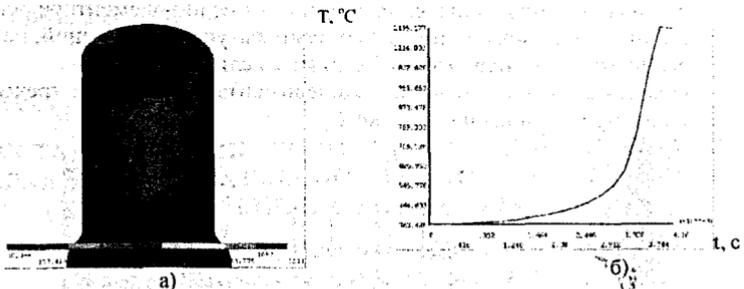


Рисунок 3 – Некоторые результаты температурного анализа

При решении задачи термоупругости плазмотрон закреплялся по нижней торцевой поверхности.

На рисунке 4 приведены результаты решения задачи термоупругости по определению напряжений и перемещений в пуансоне при температурной нагрузке.

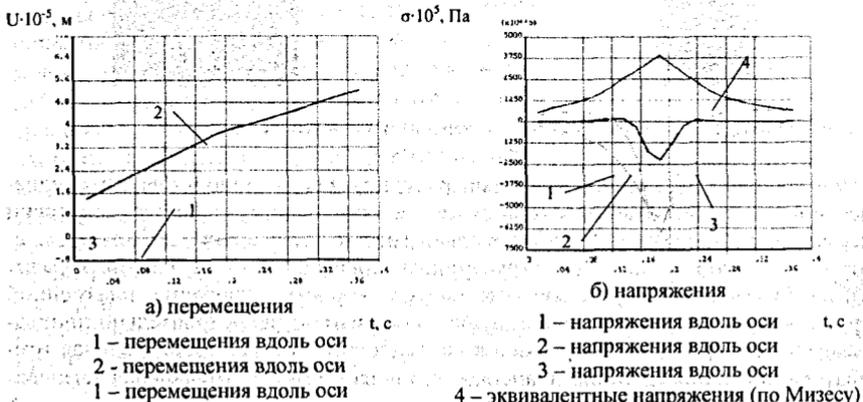


Рисунок 4 – Зависимость перемещений и напряжений в средней точке рабочего торца пуансона от времени

Отрицательные напряжения при $t = 0,173$ с можно объяснить «выдавливани-ем» материала в зоне, находящейся непосредственно перед плазменной струей, в результате увеличения объема материала непосредственно в месте нагрева.

Полученные результаты нестационарного температурного и структурного анализа могут быть непосредственно использованы для определения оптимальных режимов работы плазмотронов и других высококонцентрированных источников нагрева, позволяющих проводить поверхностную обработку металлоизделий высокотемпературной плазменной струей.

УДК 539.3+621.039.54

НДС НЕРАВНОМЕРНО НАГРЕТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ И ОБЛУЧЕНИИ

Ширвель П.И., Чигарев А.В.

Белорусский национальный технический университет,

Минск, Республика Беларусь

Вопросы моделирования процессов деформирования сплошных сред в условиях сложных техногенных воздействий рассмотрены в [1–4], но при этом в них не в полной мере учитывались все особенности напряженно-деформированного состояния (НДС) при таких условиях нагружения. В некоторых случаях (осесимметричный нагрев) при определении НДС оправдано использование одномерной осесимметричной модели цилиндрических тел. Однако воздействие неоднородного в окружном направлении температурного поля в условиях интенсивного облучения высокоэнергетическими частицами неизбежно приводит к появлению дополнительных напряжений. Таким образом, компоненты тензора деформаций, тензора напряжений и вектора перемещений будут зависеть как от радиальной, так и от окружной координат материальных точек тела. В таком случае необходимо рассматривать неосесимметричное НДС, под которым подразумевается зависимость характеристик деформирования не только от радиуса, но и от меридионального угла (т.е. в плоскостях, проходящих через ось вращения, не возникает одинаковое напряженное и деформированное состояние для текущей радиальной координаты).

В настоящей работе рассматривается неосесимметричное НДС массивного цилиндрического тела, осевое сечение которого образует ограниченную связанную область с кусочно-гладкой границей. Считается, что для любого осевого сечения цилиндра характерно неоднородное распределение температуры $T(r, \theta)$, напряжений $\sigma_{ij}(r, \theta)$ и деформаций $\epsilon_{ij}(r, \theta)$, $i, j = r, \theta, z$. Цилиндрическое тело находится в условиях обобщенной плоской деформации ($\epsilon_{zz} = \text{const}$), а все осредненные параметры и константы (свойства материалов, температура, скорость пото-