

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ, НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ УПРОЧНЕНИИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРОБИВНОГО ИНСТРУМЕНТА И ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ТЕПЛООТВОДЕ

Веремейчик А.И., Гарбачевский В.В., Сазонов М.И., Хвисевич В.М.

Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь
vai_mrtm@bstu.by

В производственных условиях при использовании установок для пробивки отверстий в крепежных деталях различного назначения применяют цилиндрические и прямоугольные пуансоны. Визуальные обследования отработанных пуансонов показали, что происходит не только интенсивный износ их режущих частей, но и их искривление. Такой характер разрушения присущ деталям, упрочненным объемной закалкой и обусловлен возникновением в металле значительных механических напряжений и охрупчивания стали вследствие неоднородной закалки.

Для процесса поверхностного плазменного упрочнения рабочей зоны цилиндрических пуансонов для пробивки отверстий, изготовленных из стали X12M, применялся плазмотрон с высокой удельной мощностью. В качестве плазмообразующего газа использовался аргон. В используемом плазмотроне было применено обжимающее сопло с диаметром отверстия 1,2 мм. Струя плазмы шириной 3 мм направлялась на торцы пуансонов, которые были обжаты двумя пластинами из меди М0 высотой 6 мм и толщиной 4 мм каждая для их интенсивного охлаждения, и собраны в обойму. Расстояние между соседними пуансонами принималось равным 15 мм. При равномерном движении плазмотрона производится последовательные интенсивный нагрев пуансонов и закалка их торцов. Схема приспособления приведена на рисунке 1. 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.

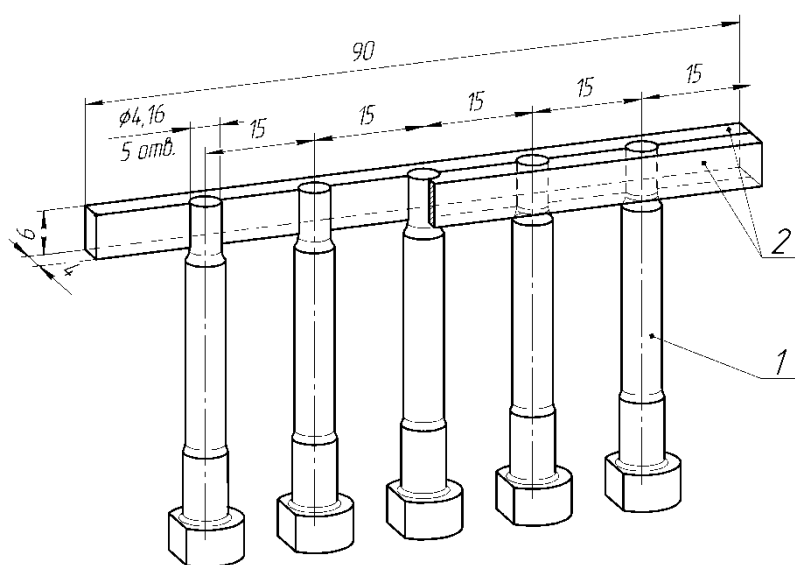


Рис. 1. Приспособление для интенсивного теплоотвода
1 – пуансон;
2 – пластины обоймы

Плазменная закалка производилась при токах дуги $I = 6-32$ А. Скорость перемещения плазмотрона варьировалась от 5 до 25 мм/с. В результате проведенных экспериментов и статистической обработки их результатов были определены оптимальные параметры процесса поверхностного упрочнения: скорость перемещения плазмотрона $V = 10-13$ мм/с,

ток дуги $I = 27$ А, расход защитного газа $Q = 2\text{--}2,5$ 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. В ходе проведения вычислительного эксперимента разработана трехмерная модель пуансона и приспособления для теплоотвода. 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 пошагово последовательно прикладывалась температурная нагрузка в виде конвекции с учетом того, что температура плазменной струи в центре составляет порядка 20000 °С. Максимальная температура поверхности торца пуансона при таком способе закалки должна быть на 5...7 % меньше температуры плавления стали. Конвекция задавалась также и на всех ненагруженных поверхностях модели. Так как тепловой поток распределяется по ширине пятна нагрева по закону, близкому к кривой вероятности Гаусса, то на торцевой поверхности, по которой движется плазменная струя, коэффициент конвекции задавался различным по ширине пятна нагрева, также соответствующим нормальному распределению. Его значение выбиралось в зависимости от того, чтобы максимальная температура на закаливаемой поверхности составляла 1300-1370 °С. Увеличение температуры в центре пятна нагрева при увеличении скорости движения плазмотрона объясняется увеличенным коэффициентом конвекции, что на практике достигается регулированием режимов закалки и расстояния от сопла до закаливаемой поверхности. Удельная теплоемкость стали принималась зависящей от температуры и при температурах 0...1300 °С находилась в интервале $c_{ст} = 400\text{--}600$ Дж/(кг·К), для меди ввиду температур до 400 °С принималась постоянной. Равномерное движение пятна диаметром 3 мм проводилось с различными скоростями. Время движения определялось в зависимости от скорости движения плазмотрона и диаметра торцевой части. В результате расчета определены поля температур, напряжений и перемещений для различных скоростей движения пятна нагрева в различные моменты времени.

Анализ полученных результатов температурного анализа показывает, что благодаря высокому коэффициенту теплопроводности меди после прохождения центром пятна нагрева внешнего контура пуансона для исследованных скоростей движения пуансона температура на торце рабочей зоны не превышает 350 °С. Это свидетельствует о высокой скорости охлаждения пуансона. Благодаря высоким скоростям охлаждения обеспечивается одновременность мартенситного превращения по всему контуру охлаждаемой детали, что уменьшает или даже полностью исключает появление закалочных трещин. Кроме того, установлено, что наибольшую температуру имеют точки на торце в момент прохождения пятна нагрева центра торцевой поверхности.

Исследовано распределение температурных полей по глубине диаметрального сечения пуансона, вдоль которого перемещается источник нагрева. На рис. 2 приведены типичные распределения температурных полей для различных моментов времени и скоростей движения плазмотрона.

При решении задачи термоупругости модель пуансона закреплялась по нижней торцевой и нижним боковым поверхностям. Для определения оптимальных режимов закалки проведено исследование напряженно-деформированного состояния пуансона при различных скоростях движения плазмотрона, коэффициентах конвекции, токах дуги, расходах аргона.

На рис. 3 приведены типичные результаты решения задачи термоупругости по определению напряжений и перемещений в пуансоне при температурной нагрузке при токе дуги $I = 27$ А и расходе защитного газа $Q = 2,5$ л/мин.

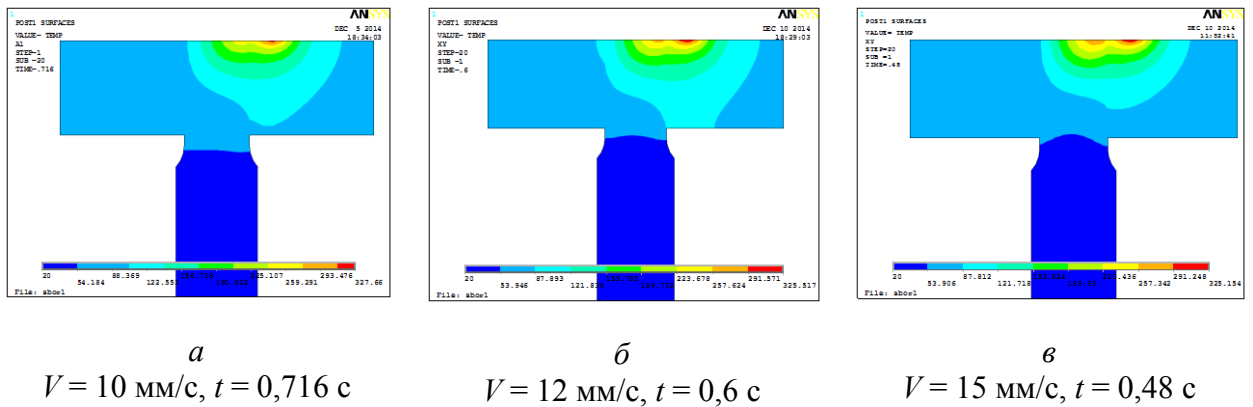


Рис. 2. Распределение температурных полей в продольном сечении цилиндра вдоль линии движения пятна нагрева

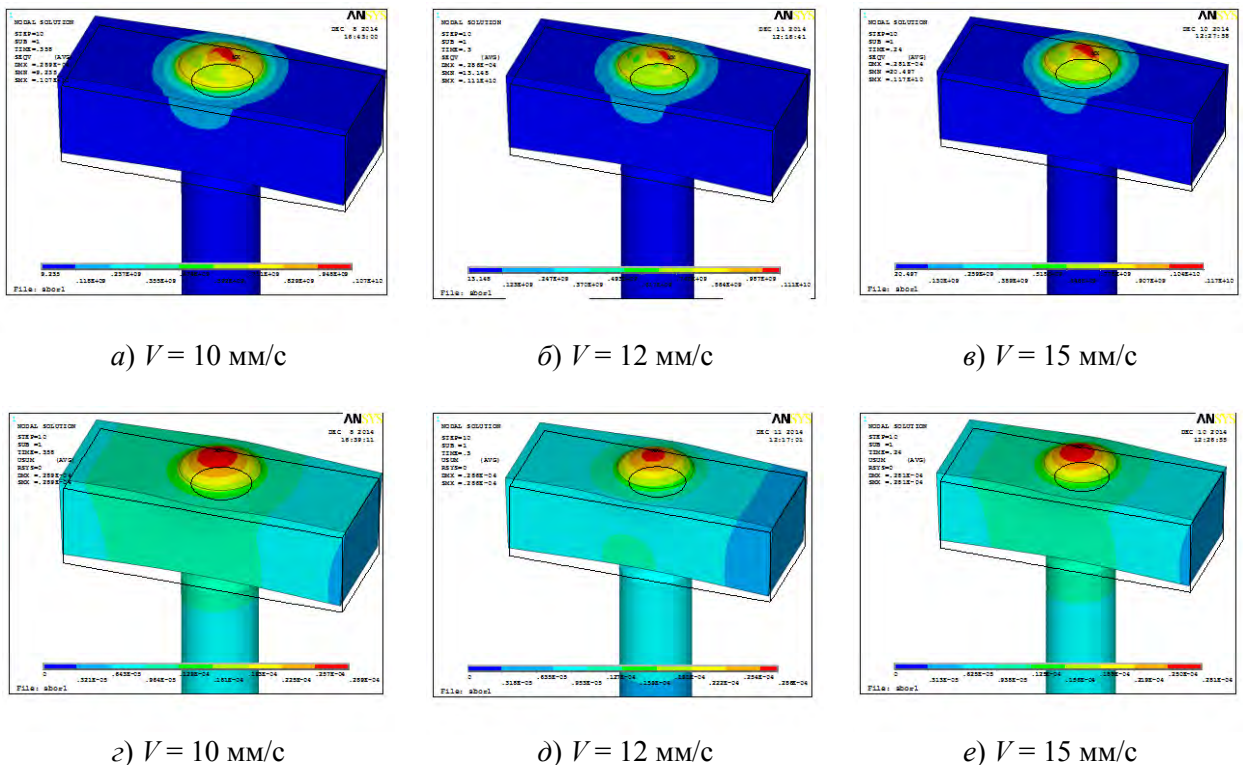


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу (a , $б$, $в$) и суммарных перемещений ($г$, $д$, $е$) при различных скоростях движения теплового источника в момент прохождения им центра торца пуансона

Проведено сравнение результатов расчета температурных полей, напряжений и перемещений при различных скоростях движения плазмотрона. Для обработки результатов использовался вычислительный комплекс MathCAD 15. Исследовано влияние тепловых и механических характеристик материала обойм на температурные поля, напряжения и перемещения в упрочняемом пуансоне.

Полученные результаты нестационарного термостатического анализа пуансонов могут быть непосредственно использованы для определения оптимальных режимов технологических процессов при поверхностном упрочнении металлоизделий с помощью высококонцентрированных источников нагрева, а также оценить прочностные свойства изделий и обеспечить повышение эксплуатационных свойств.