

Необходимо отметить, что экспериментальные исследования, проведенные ранее одним из авторов, соответствуют полученной картине. Такие исследования проводились с большим интервалом значений угла резания (через  $10...15^0$ ). Отклонения силы  $P_1^{\max}$  при углах резания, при которых эта сила попадала на вершину зуба пилы, естественно, не могли быть в свое время поняты и объяснялись влиянием случайных неучтенных факторов.

Исследования влияния других параметров режущего элемента показали, что, например, увеличение длины ножа приводит к увеличению количества колебаний в цикле, в результате чего потеря одного колебания становится менее чувствительна и не вызывает таких резких изменений силы  $P_1^{\max}$ .

Тем не менее, пилообразный вид зависимости силы  $P_1^{\max}$  от угла резания позволяет поставить вопрос о целесообразности адаптации параметров режущих элементов к условиям протекания процесса резания. Так, незначительное изменение угла резания от значений  $\alpha \approx 32^0$  или  $\alpha \approx 52^0$  в сторону уменьшения приводит к дискретному увеличению силы  $P_1^{\max}$  на  $60...70\%$  (естественно, в данных условиях).

Приведенные результаты показывают, что при изучении процессов, имеющих периодический характер, как физические опыты, так и аналитические расчеты должны проводиться с малым шагом исследуемого параметра.

Проведенные исследования позволили выявить закономерности и факторы разрушения грунта режущими элементами и сформулировать рекомендации, направленные на совершенствование режущих элементов рабочих органов машин для земляных работ.

#### *Литература*

1. Берестов. Е. И. Соппротивление грунтов резанию // Известия Вузов. Строительство. – 1997. – № 10. – С. 102–107.
2. Берестов. Е. И. Моделирование взаимодействия системы "грунт – рабочий орган землеройных машин" //Современные проблемы машиноведения (научные чтения, посвященные П.О.Сухому): Материалы МНТК. – Гомель, 1998. – С. 37–39.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТУРНОГО МОНОИМПУЛЬСНОГО ТЕРМОУПРОЧНЕНИЯ СОСТАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ОТЛИВКИ КОРПУСОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ**

**С. В. Шалупаев, В. Н. Мышковец, А. В. Максименко,  
Ю. В. Никитюк, И. М. Каморников**

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,  
Республика Беларусь*

Одной из основных областей применения лазерных технологий в машиностроении является лазерное термоупрочнение. Физическая природа процесса лазерной закалки заключается в следующем [1]: охлаждение аустенита, образующегося в результате разогрева поверхностного слоя лазерным лучом, происходит с высокой скоростью вследствие больших значений теплопроводности сталей. При этом атомы углерода остаются в междоузлиях решетки железа, которая в это время быстро перестраивается в  $\alpha$ -модификацию (происходит мартенситный переход). Мартенситную структуру можно рассматривать как пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе, в котором атомы углерода частично упорядочены. Результатом этого упорядочения является искажение кубической решетки. Это искажение и обеспечивает высокую твердость и прочность мартенсита. Таким образом, для закалки стали необходимо нагреть элемент объема до температуры перехода материала в аустенит и затем быстро охладить.

К основным преимуществам лазерного термоупрочнения следует отнести [2]:

- возможность локальной термообработки избранных участков поверхности образца в

местах, недоступных при других методах обработки;

- меньшую деформацию образцов, чем при обработке другими методами;
- отсутствие необходимости вакуумирования образцов, термообработку можно проводить в различных (активных и нейтральных) газовых средах.

Необходимо отметить, что при использовании обычных сфокусированных лазерных пучков происходит частичное перекрытие пятен закалки, вследствие чего на обрабатываемой поверхности появляются зоны с пониженной микротвердостью. Использование специальных формирующих оптических систем позволяет реализовать режим моноимпульсной контурной обработки [3], лишенный вышеуказанного недостатка и обладающий значительно большей производи-

тельностью. В связи с этим возникает необходимость исследования процесса контурного моноимпульсного термоупрочнения.

В качестве примера для изучения процессов термоупрочнения была использована пресс-форма для отливки корпусов интегральных схем. Характер работы и причина выхода из строя которой позволил выделить деталь, рабочие кромки которой подвержены наибольшему износу – пуансоны, изготовленные из стали У8 (см. рис. 1).

При воздействии лазерного луча на образец происходит его разогрев до определенной температуры. После выхода из-под луча каждый элементарный объем образца остывает за счет передачи тепла остальной части мишени. Элементарные объемы образца, находящиеся на различной глубине, будут нагреваться до различной температуры. Именно зависимость температуры от времени для каждого элемента определяет происходящий в нем процесс закалки материала. Таким образом, необходимо решить задачу о распределении температуры в образце, нагреваемом лазерным источником. В связи с трудностями, возникающими при использовании аналитических методов для расчета температурных полей в нелинейной постановке задачи, была использована методика, разработанная на основе МКЭ и изложенная в [4].

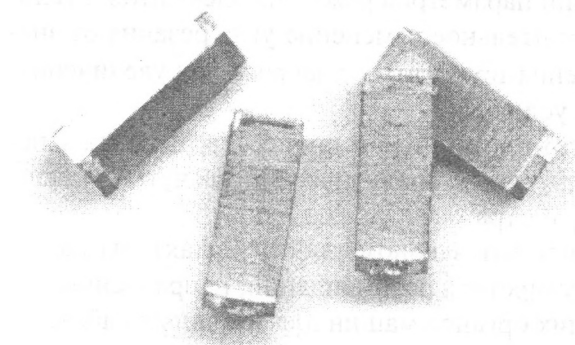


Рис. 1. Составные детали пресс-формы подверженные наибольшему износу – пуансоны

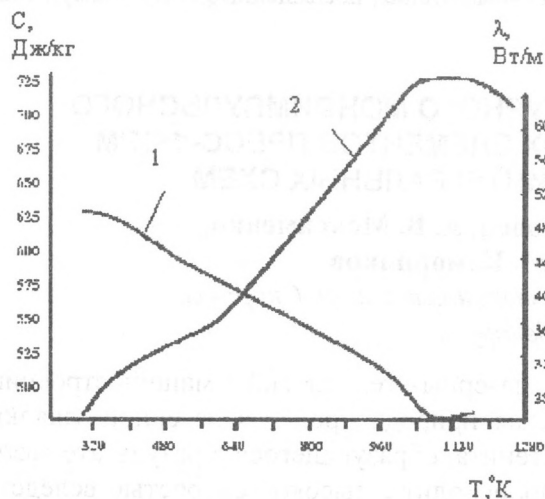


Рис. 2. Зависимость удельной теплоемкости (1) и коэффициента теплопроводности (2) стали У8 от температуры

Так как протяженность зоны обработки соизмерима с размерами тела, то расчетная область была построена с учетом реальной конфигурации обрабатываемой детали. Размеры области, прогреваемой в начальный момент времени, определяются глубиной проникновения излучения в материал, сравнимой с длиной волны лазерного излучения, поэтому тепловой источник считался поверхностным и точно соответствовал линейным размерам рабочей кромки пуансона. При расчете были учтены зависимости теплофизических параметров стали У8 от температуры (рис. 2) [4–6].

Плотность стали была принята равной  $7800 \text{ кг/м}^3$ , а её отражательная способность 0.65 [2]. Расчетные режимы термоупрочнения приведены в таблице.

Размеры контура обработки (мм)	Плотность мощности излучения ( $\text{Вт/м}^2$ )	Длительность импульса (мс)
6.7×3.6×0.5	$2.15 \cdot 10^8$	7

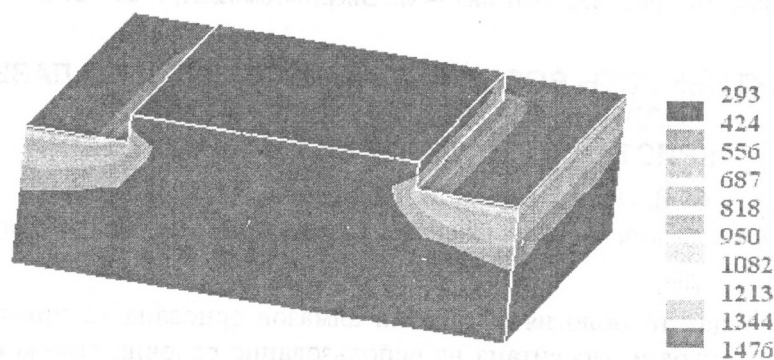


Рис. 3. Распределение температурных полей в моделируемом образце, °К

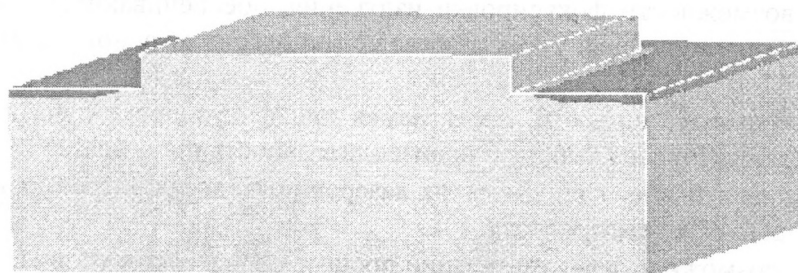


Рис. 4

На рис. 3 представлено расчетное распределение температурных полей в исследуемом образце, а на рисунке 4 выделена область, в которой температура больше или равна температуре закалки  $T_3=1020 \text{ °K}$ . На поверхности расчетная максимальная температура  $T_{\text{max}}=1476 \text{ °K}$  достигается к концу импульса. Эта температура сохраняется практически постоянной по всей площади сечения пучка и только на внутреннем крае прямоугольного контура уменьшается, что ведет к образованию узкой зоны отпущенной стали по внутреннему периметру контура обработки. Таким образом, размеры термоупрочненной зоны на поверхности фактически совпадают с формой пучка. Во внутренних слоях образца температура так же остается постоянной почти по всему сечению обрабатываемой детали и лишь немного раньше чем на поверхности, начинает уменьшаться к внутреннему краю контура. Расчетная глубина закалки составила  $\sim 100-120 \text{ мкм}$ , что находится в хорошем соответствии с проведенными экспериментальными исследованиями.

#### Литература

1. Веденов А. А., Гладуш Г. Г. Физические процессы при лазерной обработке материалов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 208 с.



2. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, И. В. Зуев, А. Н. Кокора. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
3. А. с. 1078773 СССР, МКИ В23К 26 / 00. Установка для лазерной обработки материалов по прямоугольному контуру / Б. В. Бокуть, В. С. Кондратенко, А. Т. Малащенко, В. Н. Мышковец, А. Н. Сердюков (СССР)
4. Шабров Н. Н. Метод конечных элементов в расчетах деталей тепловых двигателей. – Л.: Машиностроение, 1983. – 212 с.
5. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Сорокина; Под общ. ред. В. Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
6. Теплопроводность твердых тел; Справочник / А. С. Охотин, Р. П. Боровикова, Т. В. Нечаева, А. С. Пушкарский; Под ред. А. С. Охотина. – М.: Энергоатомиздат, 1984. 320 с.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АЛМАЗЫ В РАЗЛИЧНЫХ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЯХ

С. В. Шалупаев, Е. Б. Шершнев, Ю. В. Никитюк

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,  
Республика Беларусь*

Существующая технология обработки алмазов основана на применении простых механических станков и рассчитана на использование рабочих высокой квалификации, знающих кристаллографию алмаза. Резервы повышения эффективности использования алмазного сырья при традиционных методах обработки практически исчерпаны. В связи с этим, представляется перспективной лазерная обработка алмазов, имеющая следующие преимущества [1]:

- благодаря возможности фокусировки излучения, обеспечивающей локальность нагрева, возможно получение узких разрезов с минимальной зоной термического влияния;
- высокая плотность мощности, достигаемая при фокусировке луча на поверхность обработки, обеспечивает высокую производительность процесса;
- применение импульсно-периодических лазеров позволяет контролировать состояние алмаза при высоких температурах;
- существует возможность автоматизации процесса на высоком уровне;
- применение соответствующих координатных устройств позволяет осуществить лазерную резку по сложному контуру в двух и даже в трех измерениях.

Эффективность лазерного нагрева зависит не только от параметров воздействующего излучения, но также от свойств обрабатываемого материала, который должен обладать достаточной поглощательной способностью для этого излучения. На практике данная проблема решается путем покрытия поверхности алмаза слоем вещества с низкой теплопроводностью и большим коэффициентом поглощения. Лазерное излучение выделяется в тонком слое покрытия. Тепло от покрытия вследствие теплопроводности передается алмазу. Использование покрытия необходимо только на начальном этапе. В дальнейшем на поверхности алмаза в процессе воздействия лазерных импульсов формируется графитизированная пленка, которая поглощает энергию лазерного излучения и служит источником тепла для кристалла алмаза.

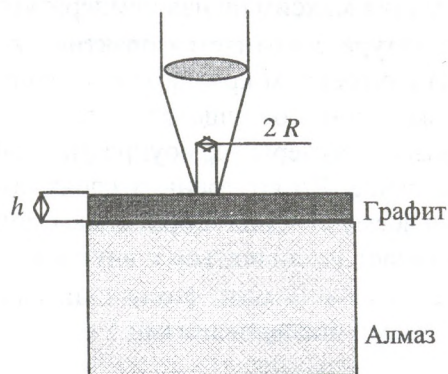


Рис. 1. Расчетная схема системы алмаз – графит