



ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ

А.Н. Кирилина (ВлГУ)

Рассмотрена возможность использования тепловизора ThermoCAM S65 в системе управления процессом лазерного термического упрочнения в контуре обратной связи в блоке коррекции скорости координатных перемещений для оценки состояния упрочняемого материала по температурным параметрам. Работоспособность предложенной структуры подтверждена результатами моделирования и практического использования.

В последнее время в ряде стран, в том числе и в России, метод контроля температуры с помощью тепловизора переживает подъем. Это обусловлено несомненными преимуществами этого метода перед другими [1]. Данные, полученные отечественными и зарубежными учеными, показывают, что эксплуатация 30...50% материалов, изделий, конструкций, а также ТП в различных отраслях промышленности так или иначе связаны с изменением их температурного режима.

Управление температурными параметрами ТП актуально и для лазерного термоупрочнения. Требуемые свойства поверхности при лазерном термоупрочнении получают созданием соответствующего термического цикла с заданными оптимальными параметрами, определяемыми максимальной температурой нагрева, скоростью нагрева и охлаждения, временем пребывания металла при температуре выше характерной критической и др.

Информация о тепловом состоянии металла в процессе лазерной обработки является исходной для анализа геометрии зоны термического влияния, механизма и кинетики фазовых превращений, конечной структуры металла, напряженно-деформированного состояния, свойств поверхности. Проблема управления режимами лазерного термического упрочнения состоит в точности оценки состояния материала, в котором он переходит под влиянием лазерного облучения.

Подбор режимов упрочнения особо актуален для сталей с высоким содержанием хрома, который как известно, расширяет α – область железа, что приводит к повышению критических температур A_{c1} и A_{c3} , в результате область допустимых температур нагрева суживается, а требования к регулированию температуры ужесточаются [2, 3].

На предприятии ОАО "Судогодское стекловолокно" для резки продукции применяют ножи из стали 40X13, термообработка которых по традиционной технологии, включающей нагрев до аустенитного состояния с последующим охлаждением

(объемная закалка), не обеспечивает повышение твердости более 38...42 HRC. Для увеличения срока службы и повышения качества упрочняемых ножей используется автоматизированный лазерный технологический комплекс на базе лазерного модуля МЛТИ-500 (изготовитель ОАО "Туламашзавод").

АСУ комплекса построена по разомкнутому принципу, относительно объекта управления. Настройка лазера состоит только в установке параметров мощности и фокусировки, которые стабилизируются на весь цикл процесса обработки, а возмущения, влияющие на процесс обработки, не компенсируются, что приводит к разбросу и нестабильности твердости на упрочняемых кромках. Использование обычных методов измерения температуры с помощью термодпар не обеспечивает необходимого быстродействия. Одним из решений этой задачи является введение обратной связи по температуре.

Для точного определения температуры в зоне обработки необходимо в структуре системы управления, оснащенной средствами диагностики [4], предусмотреть возможность оценки состояния упрочняемого материала по температурным параметрам с помощью современных инструментальных средств.

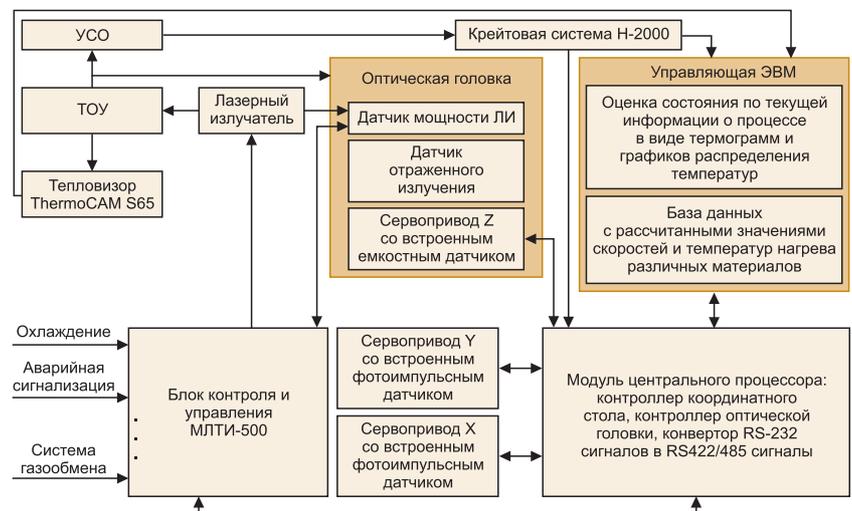


Рис. 1. Структура системы управления процессом лазерного термического упрочнения, где ТОУ – технологический объект управления, УСО – устройство связи с объектом, ЛИ – лазерное излучение

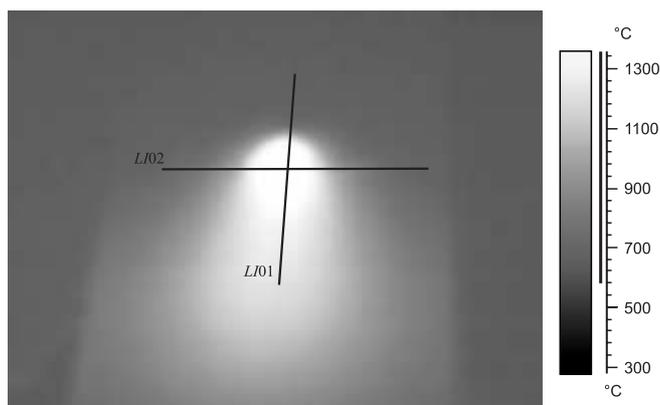


Рис. 2. Термограмма взаимодействия лазерного излучения с упрочняемым материалом

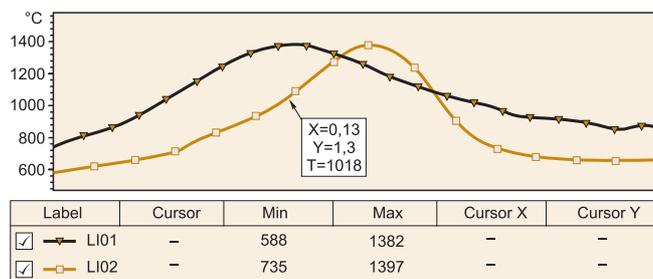


Рис. 3. Кривые распределения температур в зоне термического упрочнения

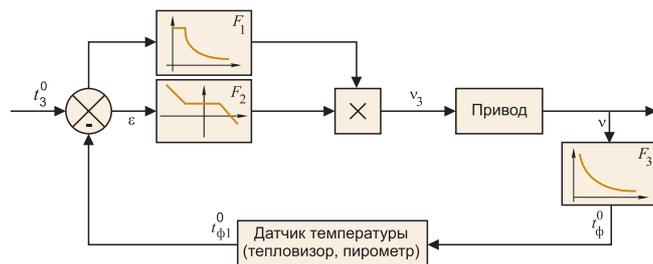


Рис. 4. Модель привода с коррекцией скорости перемещений в функции ошибки по температуре, где t_3^0 – заданная температура термообработки; ϵ – ошибка по температуре; F_1 – вычислительная модель;

$$F_2 = \begin{cases} 1, & \text{при } \epsilon = 0; \\ 1 + k\epsilon, & \text{при } \epsilon < 0; \\ 1 - k\epsilon, & \text{при } \epsilon > 0. \end{cases}$$

– коррекция скорости перемещений,

где k – коэффициент усиления; F_3 – модель процесса; t_ϕ^0 – значение фактической температуры; $t_{\phi 1}^0$ – значение температуры, полученное с датчика температуры (тепловизор, пирометр); v_3 – задание по скорости; v – фактическая скорость привода

С этой целью в состав структуры управления ввели тепловизор ThermoCAM S65 (Швеция) и специальную крейт-систему Н-2000 для измерений температур контактным методом. Последний применяется для тарировки тепловизора перед началом измерений, т.е. вносится поправка на коэффициент излучения материала по температуре "эталонной" точки.

На исследовательском этапе работы целесообразно использовать тепловизор, так как его обширное ПО позволяет решить целый ряд задач, таких как распределение температурных полей в виде термограмм в режиме РВ, протяженность зоны термического влияния,

вычисление максимальных, минимальных, средних температур в любой точке и т.д. Но из-за высокой стоимости тепловизионного оборудования в реальной технологии в системе управления можно применять пирометр. Его ПО также позволяет получать и обрабатывать данные о значениях температур. Разработанная структурная схема АСУ представлена на рис. 1.

Тепловизор входит в состав системы управления для формирования БД и составления модели процесса. Но измерения с применением инфракрасного излучения, обладающие самым высоким быстродействием, не могут быть осуществлены, потому что в зоне фокального пятна возникает плазма, искажающая истинную картину нагрева. Выход из создавшегося положения состоит в том, чтобы термограммы процесса снимать через определенный интервал $\sim 0,05 \dots 0,10$ с после окончания лазерного облучения, а настройку лазера осуществлять в режиме накопления данных.

Мощное ПО тепловизора *ThermoCAM Researcher Professional* позволяет получать данные о значениях температур в виде термограмм, кривых распределения значений на плоскости по выбранным направлениям или точкам в виде гистограмм и таблиц. Характерный вид термограммы, снятой в зоне взаимодействия лазерного излучения с упрочняемым материалом, представлен на рис. 2, а на рис. 3 приведены кривые распределения температур LI01 и LI02 в окрестности пятна нагрева в радиальных направлениях R_x и R_y соответственно, перпендикулярных координатному перемещению, и по направлению перемещения через центр пятна.

Для проверки работоспособности предложенной структуры системы управления разработана модель привода координатных перемещений с нелинейным корректирующим устройством (блоком коррекции скорости перемещений в функции ошибки по температуре) (рис. 4).

Моделирование выполнено в системе MATLAB 6.5, модель приведена на рис. 5. В блоке задания режимов обработки задаются температуры начального состояния детали и требуемой для процесса упрочнения (для лазерного упрочнения стали 40X13 $T_{нач} = 20^\circ\text{C}$, $T_{обр} = 1300^\circ\text{C}$).

В качестве модели процесса в структуре АСУ использована функция F_1 – зависимость температуры от скорости, полученная на основе анализа инфракрасных видеоизображений температурных полей, а в качестве модели вычислителя скорости F_3 – аппроксимирующая функция скорости координатных перемещений от температуры, полученная решением тепловой задачи численными методами [2] в среде MathCAD 2001 Pro. Например, для стали 40X13 при режимах обработки: размер обрабатываемой детали $0,1 \times 0,2 \times 0,002$ м, радиус пятна $r_n = 1,5 \cdot 10^{-3} \dots 4 \cdot 10^{-3}$ м, мощность излучения $P = 300 \dots 500$ Вт были получены следующие зависимости $F_1 = -0,000258T + 0,405$, где среднеквадратичная ошибка составила 0,044, и $F_3 = 73469,99v^3 - 4516,23v^2 - 4664,2v + 1215,01$, где среднеквадратичная ошибка составила 0,012.

Переходный процесс по температуре зависит от настройки внутреннего контура регулирования ско-

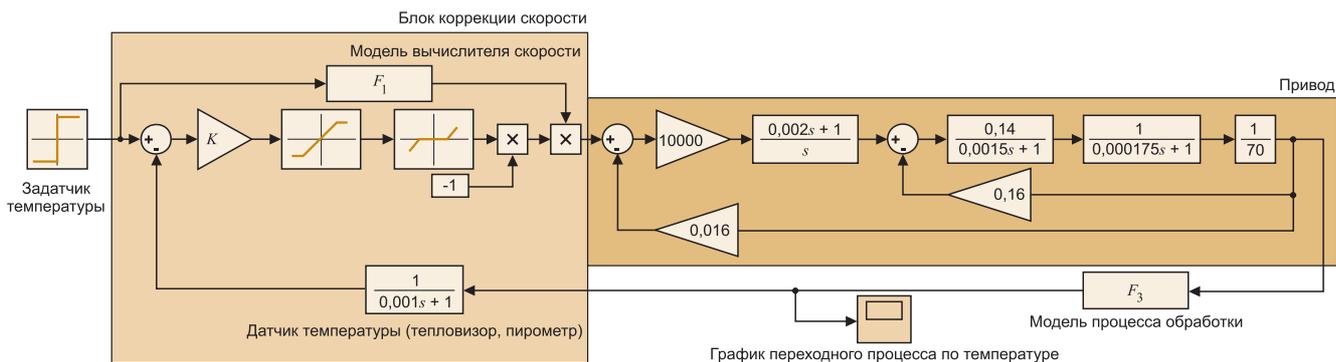


Рис. 5. Модель привода в среде MathLAB

рости. Время переходного процесса $t_{n.n.}$ должно быть не больше времени взаимодействия $t_u = 2r_n/v$ лазерного излучения с обрабатываемым материалом, а коэффициент перерегулирования не должен превышать 5%. В результате моделирования получили время переходного процесса $t_{n.n.} = 0,05$ с и коэффициент перерегулирования $\sigma = 2,8\%$ (рис. 6), что полностью соответствует требованиям ТП. В установившемся режиме ошибка регулирования по температуре $< 1\%$.

Разработанная система управления позволила стабилизировать параметры процесса на уровне $T_n = 1300...1350$ °С при плотности излучения $0,65 \cdot 10^9$ Вт/м² и частоте импульсов 15 Пц. На ножах для промышленной резки стекловолокна достигнуто увеличение твердости до 65...70 HRC при глубине упроченного слоя 0,25...0,30 мм, что гарантирует увеличение срока службы ножей в 2...3 раза. Применение средств тепловизионного контроля в системе управления позволяет ускорить и повысить информативность исследований процесса лазерного термоупрочнения.

Список литературы

1. Будадин О.Н., Потапов А.И., Колганов В.И. и др. Тепловой неразрушающий контроль изделий. М.: Наука. 2002.

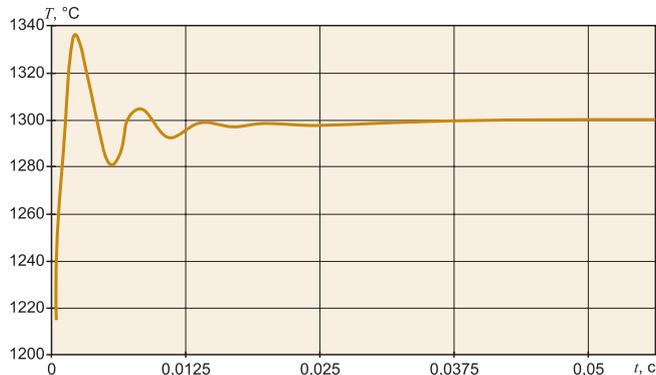


Рис. 6. График переходного процесса по температуре модели привода

2. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1989.
 3. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.А. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник. М.: Машиностроение. 1985.
 4. Веселов О.В., Югов В.И., Мишулин Ю.Е., Довбань С.Н. Распределенная система программного управления технологическим оборудованием лазерного комплекса упрочнения поверхностей // Новые российские разработки в лазерной науке, технике и технологии. Сборник. Вып. 1. Под. Ред. Панченко В.Я. Калуга. 2005.

Кирилина Анастасия Николаевна – ассистент кафедры автоматизации технологических процессов Владимирского государственного университета. Контактный телефон (4922)279-861 E-mail: a_kirilina@mail.ru

Самый производительный в мире аппаратный программируемый контроллер со встроенным Ethernet-CP 343

На прошедшей в ноябре 2006 г. выставке SPS/IPC/Drives в г. Нюрнберге фирма VIPA анонсировала прибавление в семействе ПЛК SPEED7. Это оригинальная платформа аппаратных контроллеров, программируемых на языке STEP7, имеющая самую высокую в мире производительность в своем классе и совместимая с набором инструкций S7-300 и S7-400. В настоящее время высокопроизводительные процессоры VIPA System 300S, построенные по технологии SPEED7, уверенно замещают на рынке прежнюю линейку VIPA System 300V, являющуюся просто аналогом SIMATIC S7-300. При этом все имевшиеся в 300-й серии модули расширения могут применяться с новой платформой без ограничений. Все процессоры серии, выполненной на базе платформы SPEED7, снабжаются встроенными высокоскоростными портами Ethernet-CP 343 с RFC1006, TCP-IP и UDP.



Начиная с первого квартала 2007 г., заказчикам предлагаются компактные ПЛК на основе платформы SPEED7-CPU 313SC и 314SC. Производительность этих компактных систем со встроенными входами/выходами, портами Ethernet, Profibus-DP (ведущий) и MPI2 превышает производительность существующих функциональных аналогов на простых операциях с регистрами, словами, а также на петле PID-регулирования в десятки раз.

С этого же времени в ассортименте периферийных модулей для популярной серии ПЛК VIPA System 200V появятся "экономичные" модификации с индексом ECO, цена которых будет ниже цены "стандартного исполнения" за счет упрощения конструкции и замены некоторых дорогостоящих механических узлов более дешевыми функциональными аналогами (например, замены цифрового кодировщика адреса DIP-переключателем). Естественно, модули в "стандартном исполнении" также останутся в ассортименте в полном объеме.

[Http://www.efo.ru](http://www.efo.ru)