Министерство образования и науки Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

## А. Н. ШЛЕГЕЛЬ, В. Ф. КОРОСТЕЛЕВ

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

## Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств»



#### Рецензенты: Доктор технических наук, профессор зав. кафедрой технологии машиностроения Ковровской государственной технологической академии им. В.А. Дегтярева Ю. 3. Житников

Доктор технических наук, доцент профессор, зав. кафедрой технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов Тамбовского государственного технического университета *М. В. Соколов* 

Доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и информационного менеджмента Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых *Р. И. Макаров* 

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

#### Шлегель, А. Н.

Ш69

Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / А. Н. Шлегель, В. Ф. Коростелев ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. – 88 с.

ISBN 978-5-9984-0392-7

Цель учебного пособия – изучение современных методов и средств, обеспечивающих автоматизацию управления отдельными производственными процессами, движением рабочих органов станков и работой производственных комплексов. Теоретический, практический и экспериментальный материал посвящен автоматизации современного высокоэффективного оборудования и связанных с ним высокоэффективных процессов обработки, к которым относятся получение новых наноструктурированных материалов и лазерная поверхностная обработка.

Предназначено для бакалавров 3 – 4-го курсов направления 220700 – Автоматизация технологических процессов и производств дневной и заочной форм обучения и магистрантов.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Табл. 9. Ил. 45. Библиогр.: 5 назв.

УДК 658.52 ББК 32.965.5 © ВлГУ, 2013

ISBN 978-5-9984-0392-7

## введение

Современное машиностроение отличается интенсивным ростом и многообразием выпускаемой продукции. Одновременно происходит сокращение продолжительности цикла выпуска изделий одного вида. Объемы выпуска продукции, как и прежде, изменяются в широком диапазоне – от единичных образцов до массового производства. Однако преобладает мелко- и среднесерийное производство.

Автоматизация способствует интенсификации технологических процессов и снижению себестоимости изготовления изделий машиностроения, в корне меняет условия работы на производстве, сглаживая противоречия между трудом умственным и физическим.

Учебная дисциплина «Автоматизация технологических процессов» имеет большое значение в подготовке бакалавров и магистров, поскольку ее изучение дает знания, необходимые для разработки и применения в производстве высокопроизводительных методов и средств автоматизации.

Цель изучения дисциплины – закрепление у студентов полученных знаний и навыков в области современных методов и средств автоматизации управления отдельными высокоэффективными производственными процессами, движением рабочих органов станков и работой производственных комплексов.

Учебное пособие содержит обширный теоретический материал, описывающий оборудование, не имеющее аналогов, которое реализует перспективные, высокоэффективные методы обработки, а также методические указания к лабораторным работам. В издании акцентировано внимание на физических основах процессов обработки и технологических особенностях их применения. В результате изучения теоретического материала и выполнения лабораторных работ студент должен обладать:

 способностью к практическому освоению и совершенствованию систем автоматизации производственных и технологических высокоэффективных процессов обработки, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством;

 способностью осуществлять модернизацию и автоматизацию действующих и проектирование новых автоматизированных и автоматических производственных и технологических процессов с использованием автоматизированных средств и систем технологической подготовки производства.

## Тема 1. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

# Описание лабораторного стенда для исследования процессов литья с кристаллизацией под давлением

Программно-аппаратный комплекс предназначен для изучения, использования и исследования процесса литья с кристаллизацией под давлением. Комплекс (рис. 1.1) состоит:

- из пресса ПЛД-300;
- вакуумной системы;
- информационно-измерительной системы;
- управляющей ЭВМ (IBM Pentium);

– устройства связи с объектом управления, а также специальной экспериментальной технологической оснастки.

Пресс представляет собой гидравлическую машину для литья с кристаллизацией под давлением, с горизонтальным расположением основных силовых агрегатов.



Рис. 1.1. Структурная схема комплекса:1 – устройство связи с объектом управления; 2 – управляющая ЭВМ; 3 – информационно-измерительная система; 4 – вакуумная система; 5 – пресс ПЛД-300; ДП – датчик положения; ДД – датчик давления; ДР – датчик разряжения; ПП – термопары

Пресс скомпонован как силовой агрегат, состоящий:

– из двух соосных встречно-расположенных гидроцилиндров (рис. 1.2), развивающих каждый в отдельности усилие 0,3 МН и рассчитанных на перемещение пресс-плунжеров на 150 мм для непосредственного наложения давления на кристаллизующийся металл;

 – гидроцилиндра замыкания формы с мультипликатором давления и клапаном высокого давления, причем развиваемое гидроцилиндром усилие – 3 МН, ход – 250 мм.



Рис. 1.2. Усиленный подвижный блок пресса: 1 – трубопровод; 2, 4, 8, 13 – гидроцилиндры; 3 – клапан высокого давления; 5, 12 – неподвижная плита; 6 – сферический подпятник; 7, 9 – подвижная плита; 10 – гильза; 11 – колонны

Гидроцилиндры унифицированы по внутреннему диаметру, который составляет 200 мм. Ход поршня мультипликатора, как и ход силового штока гидроцилиндра, равен 250 мм, соотношение площадей поршня и штока мультипликатора 1:10, так что давление на поршень гидроцилиндра, удерживаемое клапаном, при давлении в гидросистеме 10 МПа составляет 100 МПа. Для удержания этого давления гидроцилиндр запрессован в неподвижную плиту.

Плита пресса оснащена усиленной направляющей в виде блока, в состав которого входят также промежуточная плита, гильзы. Гильзы выполнены с высокой точностью (Н7) как по поверхности контакта с колоннами, так и по поверхности запрессовки (h7) в плиты. Необходимую жесткость блоку придает встроенный гидроцилиндр.

Из кинематической схемы, приведенной на рис. 1.3, видно, что установка представляет собой горизонтальный гидравлический пресс с мультипликацией усилия, прикладываемого к подвижной плите, которая состоит из двух неподвижных плит и одной подвижной, стянутых колоннами. Основной гидроцилиндр для перемещения подвижной плиты и создания на отливку технологического давления запрессован в плите; он имеет правую и левую рабочие полости, причем в правой установлен рабочий поршень, шток которого через сферический подпятник связан с плитой, а в левой смонтирован поршень со штоком гидромультипликатора. Для включения в работу мультипликатора предусмотрено перекрытие гидромагистрали с помощью специального клапана высокого давления.

В неподвижной плите установлен вспомогательный гидроцилиндр (гидроцилиндр прессования), поршень и шток которого связаны с одной из формообразующих частей технологической оснастки или с выталкиванием отливки.

7

На гидравлической схеме пресса (рис. 1.4) использованы следующие обозначения:

ГЦНД – гидроцилиндр наложения давления;

ГЦВ – гидроцилиндр встроенный;

ГЦСЗ – гидроцилиндр силового замыкания;

ГЦМ – гидроцилиндр мультипликатора;

ГЦТ – гидроцилиндр телескопический;

КВД – клапан высокого давления;

ШТ – присоединительная арматура;

Р – распределитель;

Н – гидронасос;

Ф – фильтр;

ДРР – дроссель регулируемый;

КО – клапан обратный;

КП – клапан перепускной;

МН – манометр;

Б – бак сливной.

Для защиты гидросистемы от гидроударов при отключении КВД в соответствующей магистрали предусмотрены КОЗ и ДРРЗ. Плавность отвода ГЦМ контролируется с помощью ДРР4.

Управление работой гидросистемы осуществляется с пульта ручного управления или в автоматическом режиме от системы управления.

Гидропривод (см. рис. 1.4) включает два нереверсивных нерегулируемых насоса с постоянной производительностью (H1, H2), два фильтра (Ф1, Ф2), два регулируемых дросселя (ДРР1, ДРР2) с обраными клапанами, два перепускных клапана (КП1 и КП2), два обратных клапана (КО1, КО2), три манометра (МН1, МН2, МН3) и бак Б1.



Рис. 1.3. Кинематическая схема пресса: 1 – гидроцилиндр мультипликатора; 2 – клапан высокого давления; 3 – гидроцилиндр силового замыкания; 4, 15 – поршень; 5 – плита неподвижная левая; 6 – гидроцилиндр телескопический первый (ГЦТ1); 7 – плита подвижная (опорная) левая; 8 – гидроцилиндр встроенный; 9 – блок подвижный; 10 – шток; 11 – плита подвижная правая; 12 – колонна; 13 – плита неподвижная правая; 14 – гидроцилиндр наложения давления; 16, 17, 20, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 – трубопровод; 18 – станина; 19 – гидростанция; 21 – бак сливной; 22 – бачок уровня; 23, 24 – насосы; 25 – гидроцилиндр телескопический второй (ГЦТ2)



Рис. 1.4. Гидравлическая схема пресса

Электрогидропривод состоит из десяти электрогидравлических переключателей (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11) и одного клапана высокого давления КВД. Электрогидравлический дискретный переключатель P11 сообщается с полостью цилиндра силового замыкания при движении назад, на напорном трубопроводе стоит регулируемый дроссель ДРРЗ.

Клапан высокого давления работает следующим образом: при подаче давления с Р7 клапан закрыт и жидкость, находящаяся в штоковой полости цилиндра силового замыкания, оказывается заперта, при этом включается мультипликатор давления (с помощью Р8 и Р10); при подаче давления с Р5 клапан высокого давления открывается, при этом можно двигать вперед подвижную плиту при помощи Р5, а не мультипликатором (Р8, Р10) либо сливать рабочую жидкость через Р5 и трубопровод в сливной бак.

Электрогидравлические переключатели (Р1, Р2, Р4, Р5, Р6, Р7, Р8, Р9, Р10, Р11) работают так: электромагнит включен – переключатель соединяет полость цилиндра со сливом; электромагнит выключен – полость цилиндра сообщается с напорной магистралью.

## Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия и конструктивные особенности гидропривода пресса, отдельных узлов.

2. Расскажите об особенностях кинематической схемы пресса.

3. Объясните физические основы регулирования скорости гидравлических приводов.

4. Укажите особенности позиционирования рабочего органа (PO) на жёсткий упор.

5. Укажите отрицательные факторы, которые влияют на работу привода, вызванные ударными явлениями при позиционировании на упор.

## Методические указания к лабораторной работе по теме 1

## Цель работы

1. Изучить программно-аппаратный комплекс для литья с кристаллизацией под давлением.

2. Изучить способы задания линейных перемещений исполнительных органов с помощью упоров и конечных выключателей.

## Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип работы и конструкцию приводов, используя описание и реальную конструкцию. Определить места установки основных узлов гидропривода пресса. Обратить внимание на конструкцию дросселей и способ их регулировки. При давлении в гидросистеме оценить вручную подвижность рабочего органа (подвижной плиты), усилие страгивания из начального положения.

2. Подготовить пресс к работе:

– проверить наличие масла в гидросистеме, добавить масло в случае необходимости;

– проверить наличие смазки на направляющих;

– проверить смазку трущихся поверхностей механизмов пресса;

– установить упоры движения рабочего органа (РО) в крайнее положение, обеспечивающее максимальный ход движения;

- установить зону безопасной работы;

– проверить настройку электромагнитных клапанов и клапана высокого давления;

 в режиме РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ проверить работу пресса, произведя 5 – 6 повторений движения РО. При этом дроссели регулирования скорости должны быть максимально открыты, каждое движение должно выполняться без сбоев и затираний;

– проверить эффективность торможения РО, не допускать резких ударов по упорам.

3. В режиме РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ определить время прямого и обратного перемещений РО. Время измерить с помощью программно-аппаратного комплекса "ПРЕСС". Произвести 5 – 6-кратное измерение времени перемещения РО от упора до упора по каждой степени подвижности.

4. Измерить максимальный ход РО.

5. Вычислить среднюю линейную скорость прямого и обратного ходов РО.

6. Определить точность позиционирования РО, для этого:

– в режиме РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ выполнить команды «Движение вперед» и «Движение назад». С помощью микронного индикатора определить крайнее положение РО;

- повторить движения прямого и обратного ходов 10 – 15 раз;

- определить точность позиционирования δ из соотношения

$$\delta = 0,5A,$$

где А – максимальная зона разброса показаний индикатора;

– полученный результат сравнить с техническими данными пресса.

## Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1) цель работы;

2) схему гидравлического привода;

3) условия проведения и объем выполненных работ;

4) полученные результаты;

5) анализ результатов и выводы.

## Тема 2. ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ

## Описание программно-аппаратной системы управления прессом

Система управления прессом реализована на базе компьютера Pentium/200 MHz. В состав информационно-измерительной системы входят устройства сбора и первичной обработки информации (рис. 2.1), выполняющие следующие функции:

- контроль температуры металла и формы;

– обработка информации о перемещении, скорости и давлении;

 диагностика состояния пресса, исследование технологического процесса и поиск неисправностей.

Для измерения температуры в форме и в кристаллизующемся металле использованы термопары К-типа (хромель – алюмель), характеризующиеся практически линейной зависимостью V = V(T) в интервале температур от 0 до 1000 °C.

Для передачи показаний термопар на достаточно большое расстояние (5 ... 10 м) использован усилитель сигнала XTR типа токовой петли.

Для измерения перемещения подвижного блока и плунжеров используется индуктивный датчик перемещения, представляющий собой дифференциальный индуктивный преобразователь (ДИП). Информация с датчика перемещения поступает в преобразователь.



Рис. 2.1. Фрагмент функциональной схемы системы управления гидропривода: 1 – заливочная чаша; 2 – датчик температуры; 3 – поршень; 4 – шток поршня гидроцилиндра; 5 – две электрические катушки; 6 – преобразователь датчика перемещения; 7 – бачок уровня; 8 – датчик давления МД-150Т; 9 – плунжер правый; 10, 13 – камеры опрессовки; 11 – форма с плоскостью разъема; 12 – полость формы; 14 – плунжер левый; J, К – полости гидроцилиндра

Для контроля давления в гидросистеме используются тензометрические и индуктивные датчики, принцип действия которых заключается в том, что под давлением жидкости изменяют прогиб мембраны и индуктивность зазора. Для согласования сигналов с датчиков и персонального компьютера используется плата сбора данных L-154 фирмы L-card (Россия). Плата L-154 предназначена для преобразования аналоговых сигналов в цифровую форму для персональной ЭВМ, а также для ввода/вывода цифровых ТТЛ линий и управления одним выходным аналоговым каналом (цифро-аналоговый преобразователь).

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) платы имеет 16 каналов, разрядность 12 бит. На плате расположены восемь цифровых входных и восемь выходных ТТЛ линий.

Для наложения на расплавленный металл давления по некоторому заданному закону в модуле управления предусмотрена функция, реализующая импульсную модуляцию электрического сигнала на дискретный электрогидравлический клапан пресса.

При застывании металла скорость роста корки зависит от целого ряда факторов: прежде всего от скорости охлаждения, конфигурации отливки, рода сплава и т.д. Скорость нарастания давления должна быть приведена в соответствие со скоростью роста кристаллов, поэтому в каждом конкретном случае закон наложения давления приходится отрабатывать с использованием результатов предварительных исследований и математического моделирования. Программа позволяет генерировать импульсный модулированный сигнал по заложенным алгоритмам (рис. 2.2, 2.3), сохранять показания и представлять результаты в виде графиков.



Рис. 2.2. Общий алгоритм наложения модулированного сигнала



Рис. 2.3. Алгоритм выработки заданной частоты: W – частота; t<sub>1</sub> – длительность импульса; t<sub>2</sub> – задержка

Значение длительности импульса *t*<sub>1</sub> выбирается таким образом, чтобы клапан успел полностью открыться, а длительность задержки *t*<sub>2</sub> была такой, чтобы клапан успел полностью закрыться. Импульсная модуляция сигнала представлена на рис. 2.4.



Рис. 2.4. Импульсная модуляция сигнала

Принцип регулирования обеспечивает широкие пределы регулирования как по величине давления, так и по времени его поддержания, позволяет эффективно использовать возможности программирования без включения в гидросистему дополнительного элемента (объемного или дискретного регулятора).

#### Контрольные вопросы

1. Укажите особенности системы управления прессом.

2. Изобразите структурную схему гидропривода пресса.

3. Расскажите об алгоритме генерирования импульсного модулированного сигнала.

4. Расскажите о способе идентификации параметров элементов гидропривода.

#### Методические указания к лабораторной работе по теме 2

#### Цель работы

1. Изучить методы наблюдения сигналов в системе управления реальными объектами с аналоговым пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором.

2. Изучить методы настройки пропорционально-интегрального регулятора.

#### Порядок выполнения работы

1. Идентифицировать параметры элементов гидропривода в следующем виде:

- гидропривод:

$$W(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2\zeta T p + 1},$$

где *К* – коэффициент усиления; *Т* – постоянная времени; *р* – комплексная переменная; ζ – коэффициент затухания;

$$T = \sqrt{\frac{mK_{Qp}}{FK_{Qx}}},$$
$$\zeta = \frac{F}{2}\sqrt{\frac{F}{mK_{Qp}K_{Qx}}},$$

где m – перемещаемая масса; F – площадь цилиндра;  $K_{Qp}$  и  $K_{Qx}$  – коэффициенты линеаризации расходной характеристики гидропривода;

- датчик обратной связи:

$$W(p) = \frac{K_{\text{o.c}}}{T_{\text{o.c}}+1}$$

2. Вычислить с помощью ЭВМ параметры ПИ-регулятора для получения наименьшего времени регулирования.

3. Снять переходные характеристики скорости и определить показатели качества при вычисленных параметрах ПИ-регулятора для частоты модуляции  $\omega_1 = 1$  Гц,  $\omega_5 = 5$  Гц,  $\omega_{10} = 10$  Гц.

4. Снять зависимость статической ошибки по скорости  $\varepsilon = f(v)$  при  $\omega_1$ ,  $\omega_5$ ,  $\omega_{10}$ .

5. Вычислить ПИ-регулятор для получения наилучших показателей качества регулирования. 6. Построить зависимость  $\varepsilon = f(v)$ .

7. Сравнить наилучшие теоретические показатели качества с экспериментальными.

## Отчет о работе

Отчет должен содержать:

1) схему установки с ПИ-регулятором;

2) расчётную схему привода с ПИ-регулятором для моделирования на ЭВМ;

3) таблицы результатов экспериментальных исследований;

4) расчеты параметров ПИ-регулятора и расчетные характеристики;

5) экспериментальные характеристики;

6) анализ результатов и выводы.

## Тема З. ИЗУЧЕНИЕ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНЫМ ОБЪЕКТОМ

## Краткое описание цифровой системы автоматического управления от ПК «Пресс»

Законы функционирования пресса ПЛД-300 определяются прикладной программой «Пресс», работающей в среде Windows 9X/ME/2000/XP. Система управления имеет два основных режима работы:

1) ручной – управление исполнительными механизмами пресса при помощи кнопок окна программы;

2) автоматический – многократное воспроизведение ранее заданной программы.

В автоматическом режиме легко реализуются любые типовые режимы для автоматических систем программного управления, например: покадровый (отработка одного кадра программы), полуавтоматический (однократное воспроизведение программы) и т.д.

Система «Пресс» обеспечивает формирование различных законов программного управления наложением давления, изменение параметров частотно-импульсной модуляции, наблюдение в реальном времени как циклограммы работы, так и показаний датчиков. Прикладная программа «Пресс» разбита на три предметноориентированных модуля: модуль генерации жесткой программы, отработчик жесткой программы и модуль снятия показаний, обработки и анализа собранной информации с объекта управления. Модули связаны между собой через общий формат файла данных.

Главное окно модуля управления (рис. 3.1) имеет следующие основные органы управления. В верхнем поле вводится имя файла с расширением \*.prg и сохраняется на диске кнопкой «Задать». Блок формирования циклограммы состоит из двух строк, длительность которых отображается в полях «Время». Количество и последовательность циклов из этих строк заносится в поле «Циклить» и записывается в файл. Исполнительные механизмы имеют следующие условные обозначения: М – мультипликатор; П1, 2 – плиты 1, 2; ГЦ – гидроцилиндр; ГК – гидроклапан; Н1, 2 – насосы 1, 2. «+», «–» соответственно обозначают «включено», «выключено» или «вперед», «назад». (На рис. 3.2 изображены исполнительные механизмы пресса и обозначены их рабочие полости в соответствии с терминами рис. 3.1).



Рис. 3.1. Главное окно модуля генератора жесткой программы: 1 – блок формирования циклограммы; 2 – поле для ввода имени файла; 3 – кнопка сохранения файла; 4 – поле, отражающее время; 5 – окно отображения циклограммы работы пресса; 6 – кнопка для очищения окна 5; 7 – поле для ввода количества и последовательности циклов; 8 – кнопка для записи в файл; 9 – кнопка для просмотра программы; 10 – окно числового представления циклограммы

В окне отображена циклограмма работы пресса, где цифра «1» обозначает, что исполнительное устройство включено, цифра «0» – выключено, справа дана длительность одного кадра программы в миллисекундах, эта же циклограмма имеет графическое представление. Специальной кнопкой можно очистить окна циклограммы. Модуль снятия показаний собранной информации также можно запустить кнопкой.

Утилита отработки жесткой программы (рис. 3.3) имеет поле отображения циклограммы (аналогичное окну 10 на рис. 3.1), кнопку для запуска исполнительных механизмов пресса и поля для ввода файла циклограммы и файла с данными от объекта управления.



Рис. 3.2. Обозначения исполнительных механизмов пресса, программируемых в циклограмме работы



Рис. 3.3. Модуль отработки жесткой программы: 1 – поле для ввода файла циклограммы; 2 – поле для ввода файла с данными от объекта управления; 3 – поле отображения циклограммы; 4 – кнопка запуска исполнительных механизмов пресса

Модуль снятия показаний и анализа информации с объекта управления (рис. 3.4) может быть запущен из главного окна кнопкой 9 (см. рис. 3.1) или запуском файла HRView.exe. В окне 2 (см. рис. 3.4) отображается циклограмма работы и показания датчиков системы управления в реальном времени. Блок 3 имеет аналогичные функции, что и в окне 10 главного модуля управления (см. рис. 3.1). Кнопки 1 – для типовых операций: открытие файла, сохранение, печать и т.д.



Рис. 3.4. Модуль снятия показаний и анализа информации с объекта управления: 1 – кнопки для типовых операций; 2 – окно отображения циклограммы; 3 – окно числового представления циклограммы

#### Контрольные вопросы

1. Что такое система автоматического управления?

2. Каковы основные этапы наладки автоматической системы управления?

3. Укажите порядок работы оператора в процессе программирования.

4. Укажите особенности работы устройств в режиме программирования и автоматическом режиме.

## Методические указания к лабораторной работе по теме 3

## Цель работы

Изучить устройства программного управления прессом ПЛД-300, методики программирования и приобрести практические навыки настройки работы пресса по заданной циклограмме в программе «Пресс».

## Порядок выполнения работы

1. Изучить структурную схему, принцип действия и конструктивные особенности системы управления.

2. Визуально освоить систему управления. Изучить программу «Пресс». Точно знать назначение каждой команды и кнопок программы.

3. Практически освоить все режимы работы системы управления.

4. В ручном режиме отработать все команды управления прес-

5. Составить циклограмму функционирования пресса.

6. После набора циклограммы произвести её отладку в ручном и автоматическом режимах работы.

7. Продемонстрировать преподавателю функционирование пресса по составленной программе.

## Отчет о работе

Отчёт должен содержать:

1) задание;

2) циклограмму работы пресса;

3) выводы.

## Тема 4. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА «СЖИМАЕМОСТИ» ЖИДКОГО МЕТАЛЛА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ СО СКРЫТЫМИ СВОЙСТВАМИ

#### Методика исследований (общие положения)

Выплавку сплавов опытных составов осуществляют в индукционной печи мощностью 50 кВт в графитовом тигле под слоем флюса. Вначале расплавляют чушковый алюминий. По ходу плавки температуру металла контролируют хромель-алюмелевой термопарой погружения и прибором КСП-4 с точностью  $\pm 5$  К. После расплавления создают перегрев 100 ... 200 К, последовательно вводят медь, магний в виде сплава МЛ-5, цинк. Сплав нагревают до 850 °С, счищают шлак, наводят новый слой флюса. Рафинирующую термовременную обработку расплава проводят в течение 15 мин, после чего шлак отодвигают и под зеркало вводят Ті и Zr, зеркало закрывают флюсом, дают выдержку 5 мин для растворения Ті, Zr, счищают шлак. При температуре 850 °С металл переливают в графитовый разливочный тигель, предварительно нагретый до 950 °С.

Заливку формы металлом осуществляют через заливочную чашу в течение 8 ... 10 с.

Форму прогревают, наносят на рабочую поверхность пульверизатором слой графитовой краски (аналог SN2000) и доводят до температуры 300 °C. Перед заливкой полость формы вакуумируют.

После заливки металла включают управляющую программу, в соответствии с которой на форму накладывают усилие 300 тс, необходимое для удержания давления, включают первый плунжер, с задержкой 5 с включают второй плунжер.

Схема процесса видна на рис. 4.1. Расположение датчиков температуры в стенке формы, перемещения плунжеров и мультипликатора, давления в гидросистеме пресса приведены на рис. 4.2.



Рис. 4.1. Комплект технологической оснастки: 1 – прессующий плунжер; 2 – упор; 3 – левая втулка; 4 – левый вкладыш; 5 – бандаж; 6 – заливочная чаша



Рис. 4.2. Схема расположения датчиков технологических параметров: 1, 2 – прессующие плунжеры (правый и левый)



Рис. 4.3. Характерная осциллограмма процесса наложения давления на жидкий металл

#### Обработка результатов измерения

Характерная осциллограмма процесса наложения давления на жидкий металл представлена на рис. 4.3.

Здесь шлейф в виде пилообразной линии от отметки -2 слева до отметки 4 дает информацию о движении плунжера 1 слева направо. Масштаб по оси времени 0,01 с, т.е. цифре 1000 соответствует отрезок времени 10 с. Видно, что в течение примерно 8 с плунжер *1* очень быстро, затем с замедлением входит внутрь отливки и далее остается в неизменном положении, так как соответствующий поршень гидроцилиндра доходит до упора. Ход плунжера *1* составляет 150 мм. Через 8 с в работу включается плунжер *2*, который сначала быстро, а затем по экспоненте во времени, примерно, до 72 с опрессовывает жидкий металл, его ход составляет 125 мм.

Светлой линией от отметки примерно 0,5 показано изменение давления рабочей жидкости в гидросистеме от 0 до 10 МПа. Видно, что во время включения гидропривода плунжера возникает переходный процесс – давление падает, затем в режиме колебаний его величина постоянно нарастает.

Наконец, в левом верхнем углу такой же светлой линией показаны изменения положения поршня-мультипликатора. Во время снижения давления мультипликатор перемещается назад, при этом усилие на подвижную плиту составляет не более 0,3 МН, но когда давление в гидросистеме достигает 10 МПа, это усилие возрастает до 3 МН. Если давление на жидкий металл в момент отхода мультипликатора будет больше 40 МПа, может произойти раскрытие формы и выплеск металла по плоскости смыкания матриц. Такой режим работы недопустим, поэтому плунжеры *1* и 2 включаются в работу поочередно с интервалом 8 с. В правой части осциллограммы показано движение плунжеров и мультипликатора в исходное положение.

Важное значение имеет сравнение осциллограмм. Если полученная отливка не удовлетворяет требованиям, необходимо внести коррективы в управляющую программу, изменить температуру формы, температуру заливаемого металла.

Когда управляющая программа окончательно откорректирована, автоматическое управление процессом наложения давления обеспечит стабильность структуры и свойств получаемых изделий.

Для построения наглядных графиков процесса необходимо определить масштаб по вертикальной оси осциллограммы. Для этого нужно рассчитать масштабный коэффициент для каждой кривой

$$k=\frac{A}{L},$$

где *А* – амплитудное значение параметра; *L* – соответствующее ему отклонение шлейфа на осциллограмме. Тогда текущая координата параметра

$$y_i = ka$$
,

где *а* – отклонение шлейфа от начального положения в данный момент времени.

С учетом рассчитанных масштабных коэффициентов на рис. 4.4 представлены результаты обработки осциллограммы.

Усилие, передаваемое на жидкий металл, рассчитано по формуле

$$P = p_{\rm rc}F = p_{\rm rc}\frac{\pi d^2}{4},$$

где  $p_{rc}$  – давление в гидросистеме в данный момент времени; d – диаметр поршня, d = 200 мм.

В отличие от исходной осциллограммы, представленной на рис. 4.3, кривые на рис. 4.4 дают наглядное представление об изменении физических величин – перемещений, давления, времени.

Данная работа, помимо изучения автоматизации технологического процесса литья с наложением давления, предполагает исследование процесса формирования нанокристаллических структур, определяющих качественно более высокое сочетание химических и физико-механических свойств получаемых материалов.



Рис. 4.4. Результаты обработки осциллограммы

Из термодинамики реальных процессов, а также из таких дисциплин, как материаловедение, физика металлов, физическое металловедение и др., известно, что во время охлаждения металла в нем атомы выстраиваются в определенном порядке, как говорят, выстраивается определенная структура. Параметром, от которого зависит качество и свойства металла, может служить размер отдельных зёрен. Чем мельче зерно, тем выше свойства. Не менее важным параметром является однородность состава как в разных частях слитка, так и в пределах отдельных зерен.

Современные металлургические технологии практически исчерпали свои возможности, так как получаемые по ним материалы не отвечают возросшим требованиям.

Необходимы материалы, однородные по составу на уровне нанометров независимо от размеров изделия, их состава и характера легирования, независимо от влияния возмущений, неизбежно присутствующих в реальных технологических процессах.

Природа явлений и процессов, обусловливающих неравномерное распределение компонентов сплавов и формирование грубокристаллической структуры, достаточно хорошо изучена на уровне влияния двух физических параметров – температуры и времени. В то же время известно, что давление как фактор внешнего воздействия на состояние системы, механизм и кинетику структурно-фазовых превращений в современных металлургических процессах, а также в процессах заготовительного производства не используется или используется неэффективно. Именно поэтому на данном этапе большие надежды связывают с развитием наноиндустрии – нового направления в производстве материалов.

Предполагается, что требуемая структура может быть, как конструкция, собрана из отдельных наночастиц, при взаимодействии которых получится новый материал, не имеющий аналогов ни в природе, ни среди промышленных сплавов.

Возможно, что в перспективе наноиндустрия выйдет за пределы лабораторных исследований, или будут найдены другие, более эко-

29

номичные подходы. В этом смысле использование давления можно рассматривать как шаг в направлении поиска альтернативных решений.

Известно, что в расплавленном состоянии при температурах, на 200 ... 300 К превышающих температуру начала кристаллизации, атомы в пространстве распределены статически равномерно, поэтому, если наложением внешнего давления осуществить сближение атомов, их опрессовку, при которой такие процессы, как разделительная диффузия, изменение концентрации реагирующих фаз, образование границ раздела фаз и др. будут частично или полностью подавлены, то эффектов равномерного распределения и эффективного межатомного взаимодействия можно добиться более простым путем.

Данная модель также непротиворечива в своей сущности, однако, как и во всяком другом случае, для разработки технологического процесса, для создания автоматизированной системы управления необходимы новые знания. Например, знания о поведении жидкого металла под давлением предлагается генерировать путем построения зависимости коэффициента сжимаемости жидкого металла на разных эталонах формирования структур.

Коэффициент сжимаемости характеризует изменение объема металла при наложении давления. Он рассчитывается по формуле

$$K = \frac{\Delta V}{V_0},$$

где  $\Delta V$  — это объем металла, запрессованного внутрь отливки в данный момент времени;  $V_0$  — объем полости формы, в которую залит металл.

Для определения коэффициента *К* данные с рис. 4.4 перенесем в таблицу, в которой определим положение плунжеров в фиксированный момент времени, давление в гидросистеме и в жидком металле, а также  $\Delta V$  и *K* с учетом того, что  $V_0 = 1800$  см<sup>3</sup>.

№ п/п	Время, с	Х плу ров 1	од нже- , мм 2	Давлен рабочей жидкости	ние, МПа в жидком металле	Объем запрессованного металла, см <sup>3</sup>	Коэффи- циент сжимае- мости, %
1	1	3	0	_	_	2,4	0,13
2	2	9	0	_	_	7,3	0,40
3	3	20	0	3	50	16,2	0,90
4	4	50	0	4	150	40,5	2,25
5	5	80	0	6	200	64,8	3,55
6	6	140	0	6,5	250	113,4	6,25
7	7	150	0	9	300	120,15	6,60
8	8	150	0	9,5	320	120,15	6,60
9	9	150	40	9	340	152,5	8,40
10	10	150	55	9,3	350	164,6	9,10
11	12	150	65	9,6	370	172,7	9,50
12	15	150	85	10	400	188,9	10,40
13	20	150	95	10	400	197,0	10,90
14	25	150	106	10	400	206	11,2
15	30	150	112	10	400	211	11,7
16	35	150	115	10	400	213	11,8
17	40	150	120	10	400	218	12,1
18	50	150	122	10	400	220	12,3
19	60	150	124	10	400	222	12,4
20	70	150	125	10	400	223	12,4

## Данные для расчета коэффициента сжимаемости

жидкого металла

По данным таблицы построим график (рис. 4.5), характеризующий сжимаемость жидкого металла. В данном эксперименте относительная сжимаемость достигает 12,4 %. На графике буквой *R* обозначена точка перегиба.



Рис. 4.5. Изменение коэффициента сжимаемости Е по ходу процесса

Можно предположить, что до этой точки происходит сравнительно легкое сближение атомов на расстояние, соизмеримое с амплитудой колебания атомов относительно исходного положения. Дальнейшее уменьшение объема металла, вероятно, связано с переходом атомов из жидкого состояния в твердое, сопровождаемое выделением скрытой теплоты кристаллизации, когда, преодолевая сопротивление атомов, можно запрессовать дополнительный объем на уплотнение металла, на формирование дополнительных межатомных связей. (Студентам предлагается самим изучить публикации по данной теме и дать объяснение полученных результатов).

Знание закона изменения сжимаемости того или иного металла позволяет с большой точностью построить систему управления процессом. Фотографии микроструктуры отливки приведены на рис. 4.6.

32



Рис. 4.6. Фотография микроструктуры отливки:  $a - \times 500$ ; б) –  $\times 1000$ 

В отличие от литой структуры, существенным признаком которой являются дендриты, ориентированные вдоль направления отвода теплоты, здесь видны мелкие равноосные кристаллы (см. рис. 4.6). Такая структура характеризуется более высоким уровнем физикомеханических свойств.

На рис. 4.5 до точки *R* внедрение плунжеров в жидкий металл происходит быстро, справа от этой точки – медленно. Соответственно отмечены и две фазы процесса:

1-я – опрессовка жидкого металла;

2-я – опрессовка кристаллизирующегося металла.

В первой фазе давление на жидкий металл невысокое, после точки перегиба оно растет до ~ 400 МПа и только при этом давлении возможно продолжение опрессовки.

Обращает на себя внимание, что в точке *R* коэффициент  $\varphi = 11...12$  %, что значительно выше объемной усадки; за точкой перегиба прирост  $\varphi = 0.9 ... 1.0$  %.

#### Опрессовка с модуляцией давления

В отличие от скорости охлаждения, управлять которой в ходе данного технологического процесса не представляется возможным, давление как фактор внешнего динамического воздействия можно изменять в широких пределах на всех этапах формирования отливки. На осциллограмме, приведенной на рис. 4.7, запись процесса осуществлена в режиме частотно-импульсной модуляции с частотой 0,1 Гц, причем время задержки подачи давления в гидросистему составило 1с.

Видно, что в моменты отключения давления происходит «отскок» плунжеров на некоторое расстояние. При включении давления график восстанавливается. По мере нарастания числа импульсов амплитуда «отскоков» уменьшается и через 10 ... 15 циклов затухает. Характерно, что восстановление графика происходит за счет того, что после остановки плунжер внедряется в металл с большей скоростью, чем до отключения давления.



Рис. 4.7. Процесс наложения давления с частотно-импульсной модуляцией

Подобный эффект наблюдается также в том случае, когда один плунжер, внедряясь в жидкий металл, встречает сопротивление, скорость его снижается, если в это время включается второй плунжер, то его движение начинается с большей скоростью по сравнению со скоростью первого плунжера.

#### Интерпретация на уровне межатомных взаимодействий

Для создания модели управления процессом опрессовки необходимо выявить наиболее общие закономерности, опираясь на такие принципиально значимые впервые представленные здесь определения, как сжимаемость жидкого металла, существенно превышающая объемную усадку, упругость сжатого жидкого металла, а также явления замедления и ускорения опрессовки, связанные, вероятно, с определенными гистерезисными процессами во взаимодействиях между атомами.

Поскольку конечной целью формирования более благоприятной структуры литого металла является достижение более высоких физи-ко-химических и механических свойств, необходимо представить, на чем может быть основан механизм зависимости свойств металла от его опрессовки.

Для описания взаимного расположения атомов в жидкости и в аморфном состоянии принято использовать функцию радиального распределения атомов (ФРРА) N(r) и парную корреляционную функцию (ПКФ) W(r) [3].

ФРРА характеризует число атомов в единице объема слоя, а ПКФ определяет вероятность нахождения атома в элементе объема dV, удаленном на расстояние r от центра атома, выбранного за начало координат, так что при полном хаотическом расположении W(r) = 1. Функция ФРРА является осциллирующей, что можно принять как до-казательство наличия в расположении атомов ближнего порядка (БП).

Установлено, что уникальные свойства наночастиц размерами 5 ... 10 нм у Nb, Mo, Ta, Cr объясняются наличием гранецентрированной кубической (ГЦК) и гексагональной плотноупакованной (ГП) структур, более плотноупакованных по сравнению с объемноцентрированной кубической кристаллической (ОЦК) структурой, которую названные металлы имеют в исходном состоянии.

Следовательно, для достижения более высоких свойств необходимо добиться того, чтобы каждый атом в структуре металла имел как можно больше связей с соседними атомами.

35

С этой точки зрения технологически реализуемое сближение атомов при опрессовке жидкого металла, с одной стороны, нейтрализует развитие естественных процессов подготовки фазовых превращений, с другой стороны, сжимает растворенные газы, обеспечивает более равномерное по сравнению с обычным гравитационным литьем распределение неметаллических включений. Но более существенно сближение атомов на расстояния, когда проявляется действие упругих сил взаимного отталкивания. Благодаря этому эффекту давление, развиваемое прессующим плунжером, распространяется на определенное расстояние, которое и определяет возможности формирования равномерной без существенных различий структуры.

Наложение давления путем запрессовки внутрь отливки из полости специально предусмотренных камер дополнительных объемов металла создает условия для преодоления сопротивления и сближения атомов. Можно предположить, что при этом захлопываются внутренние межкластерные пространства, или под влиянием давления амплитуда колебаний атомов уменьшается, или изменяется взаимное пространственное расположение атомов, координационное число увеличивается. И если внешние очертания атомов представляют собой шары, то их сближение небеспредельно. Механическое соприкосновение атомов происходит при достижении давления ~ 300 МПа, наложение которого связано с определенными трудностями. И если сегодня в литературе отсутствуют какие-либо данные о поведении расплавов под давлением, то одной из причин сложившегося положения может быть разочарование исследователей в том, что достигнутый при этом результат не был достаточно впечатляющим.

Сближение атомов на расстояние действия достаточно больших сил отталкивания создает ложное представление об окончании процесса. Высокая сжимаемость расплава может быть заложена в основу процесса высокоскоростной изостатической обработки.

В процессе жидкой штамповки можно осуществить опрессовку жидкого металла, но после образования кристаллов под коркой развивается усадка и действие внешнего давления на кристаллизующийся металл прекращается, поэтому роль давления в этом процессе сводится больше к формообразованию и в меньшей степени к повышению свойств.
#### Опрессовка металла во второй фазе процесса

Поведение жидкого металла под давлением в первой фазе может быть представлено моделью плотной неупорядоченной упаковки жестких сфер. Имеются данные моделирования посредством размещения твердых шариков одинакового размера в резиновую камеру и фиксации положения шариков жидким воском с последующим за-твердением воска. Коэффициент заполнения составляет  $\eta = 64$  %. Наблюдается соответствие между расчетной и экспериментальной ФРРА.

Во второй фазе объем запрессовываемого металла изменяется по сложной зависимости

$$\frac{dV}{d\tau} = \psi FY(p, z, s),$$

где  $V = \pi d^2$  – объем запрессовываемого плунжером металла при перемещении на расстояние l;  $\tau$  – время;  $\psi$  – коэффициент изменения объема при переходе из жидкого состояния в твердое; F – поверхность фронта кристаллизации; Y(p, z, s) – функция скорости кристаллизации от давления p, скорости охлаждения z, структурных факторов s.

После сближения атомов как «жестких сфер» в жидком состоянии дальнейшая опрессовка происходит в темпе кристаллизации. При включении давления темп движения прессующих плунжеров увеличивается, что указывает на появление внутри отливки дополнительного свободного пространства. Оно может быть связано исключительно с качественным изменением состояния металла, т.е. с кристаллизацией.

Давление в этой фазе, вероятно, необходимо не для того, чтобы сблизить атомы на величину усадки, а для преодоления сопротивления нагромождений атомов, которые при этом доходят до фронта кристаллизации и способствуют дополнительной упаковке атомов.

Таким образом, существенным дополнением в представления о кристаллизации, вытекающим из анализа осциллограмм процесса, является пьезоэффект, т.е. уплотнение в момент возникновения кристалла. Возможно, такая кристаллизация может привести к образованию более плотноупакованных атомных структур. В заключение необходимо отметить следующее:

1. Опрессовка жидкого и кристаллизирующегося металла в условиях изостатического сжатия проходит в две фазы: в первой фазе за счет уменьшения амплитуды температурных колебаний атомов их сближение происходит достаточно быстро и не требует наложения высокого давления, но по мере сближения возникают силы отталкивания, жидкость проявляет упругие свойства – модуль упругости ~ 1, 6 ·10<sup>7</sup> Па, сжимаемость жидкого расплава достигает 12 % при давлении до 300 МПа; во второй – опрессовка происходит за счет преодоления сопротивления нагромождений атомов заполнению пространств, освобождающихся в момент перехода атомов из жидкого в кристаллическое состояние, опрессовка в этой фазе достигает 1,0 %.

2. В процессе опрессовки металл ведет себя как сложное реологическое тело, проявляя при этом свойства вязкой жидкости, упругого тела, упруго-вязко-пластичного тела. Наибольшим инновационным потенциалом располагают закономерности межатомных взаимодействий, когда при температуре кристаллизации пространство, зарезервированное атомом в жидком состоянии, в результате отвода скрытой теплоты кристаллизации под влиянием давления уменьшается. Подобно атомам на поверхности наночастиц, соотношение числа атомов с насыщенными и числа атомов с открытыми связями может достичь уровня, обеспечивающего качественное изменение свойств в макроскопических объемах.

3. Задача управления формированием структуры может быть решена в два этапа: на первом – фиксированием сильнонеравновесного состояния обрабатываемого материала, на втором – активированием диффузионных процессов перевести материал в состояние, необходимое для достижения требуемого сочетания свойств.

4. Практическое значение выполненных исследований состоит в том, что в нанотехнологическом мире технологии металлообработки могут быть гармонизированы с качеством жизни. В частности, уже сегодня жизненный цикл целого ряда сплавов можно повторять многократно, изготавливая изделия и заготовки из деталей, прошедших период эксплуатации, методом переплава и кристаллизации в условиях наложения давления, не прибегая к традиционным металлургическим технологиям, требующим в несколько раз больших затрат всех видов ресурсов.

## Контрольные вопросы

1. Расскажите про датчики контроля технологических параметров прессования (назначение, места установки и пр.).

2. Какова методика проведения исследований?

3. Как происходит сжимаемость металла в процессе прессования?

4. Расскажите про процесс наложения давления с частотноимпульсной модуляцией сигнала.

## Методические указания к лабораторной работе по теме 4

#### Цель работы

1. Исследовать процесс «сжимаемости» жидкого металла как объект управления со скрытыми свойствами.

2. Изучить методику прессования жидкого металла.

## Порядок выполнения работы

1. Смонтировать на плите пресса технологическую оснастку в соответствии со схемой, изображенной на рис. 4.1.

2. Осуществить предварительный подогрев оснастки газовым пламенем до температуры 150 ... 180 °С.

3. Нанести с помощью пульверизатора слой краски на рабочие поверхности плунжеров, матриц, заливочной чаши.

4. Проверить в режиме холостого хода работу пресса с ручным управлением с пульта и с автоматическим управлением с использованием компьютера.

5. Расплавить металл в индукционной печи, довести его до требуемой температуры (для сплава В95 температура заливки примерно 850 °C).

6. Подогреть заливочный ковш (графитовый тигель) до температуры 800 °C.

7. Провести оснастку в состояние готовности: сомкнуть половинки формы, прогреть до температуры 280 ... 300 °C.

8. Включить гидросистему пресса и установить необходимое усилие запирания формы.

9. Установить защитные экраны в местах возможных выплесков жидкого металла.

10. Обеспечить безопасность студентов и рабочего персонала лаборатории.

11. Залить через заливочную чашу жидкий металл в полость формы.

12. Через 2 ... 3 с после начала заливки включить клапан, соединяющий через гибкий бронированный шланг полость формы с вакуумным бустером, обеспечить вакуумирование полости формы до давления примерно 10 кПа.

13. Одновременно с окончанием заливки запустить управляющую программу компьютерной системы управления.

14. Осуществить запись показаний датчиков на осциллограмму в течение 10 ... 90 с.

15. Выдержать металл в форме в течение 5 мин.

16. Раскрыть форму, извлечь отливку, с помощью штангенциркуля измерить глубину проникновения прессующих плунжеров внутрь отливки.

# Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1) цель работы;

2) методику и результаты исследований;

3) анализ результатов и выводы;

4) предложения и рекомендации по использованию полученных результатов при разработке структуры системы управления.

# Тема 5. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ МКТЛ-1500

# Правила работы на МКТЛ-1500

Технологический СО<sub>2</sub>-лазер МКТЛ-1500 – лазерное изделие IV класса опасности.

Опасные факторы:

1. Прямое лазерное излучение может привести к ожогу глаз, кожи. Необходимо исключить попадание прямого лазерного излучения на кожу и глаза персонала. Лазерный пучок должен быть заключен в металлическую трубу на протяжении всего оптического тракта.

2. Рассеянное лазерное, в том числе видимое, отраженное от мишени, излучение может привести к ожогу не только слизистой глаз, но и сетчатки. Оператор должен работать в защитных очках (по ГОСТ 9411-75), не пропускающих рассеянное лазерное излучение и видимое излучение юстировочного лазера.

3. Излучение вспомогательного юстировочного лазера может привести к ожогу сетчатки глаз.

4. Высокое напряжение источника питания (свыше 1000 В до 15000 В), – возможно поражение электрическим током

5. Вращающиеся части насосов могут привести к механическому повреждению частей тела.

Требования к обслуживающему персоналу:

- возраст не моложе 18 лет;

- среднетехническое образование;

– обязательная аттестация по электробезопасности не ниже группы, допуск свыше 1000 В;

– специальное обучение работе, обслуживанию, ремонту лазера по программе изготовителя.

#### Описание, работа и назначение лазера

1. Технологический СО<sub>2</sub>-лазер МКТЛ-1500 предназначен для использования в качестве генератора мощного когерентного инфракрасного излучения для термоупрочнения поверхности металла.

41

2. Широкий диапазон применения позволяет использовать технологический лазер МКТЛ-1500 в составе технологического оборудования на предприятиях различных отраслей промышленности.

3. Лазер предназначен для работы во взрывобезопасных помещениях при отсутствии химически активных газов и паров, агрессивных по отношению к углеродистой стали, сплавам алюминия, изоляции электрических элементов.

Технические характеристики лазера представлены в таблице.

Параметр	Знач	нения
	заданные	фактические
Длина волны излучения, мкм	10,6	10,6
Максимальная мощность, Вт.	1500	1500
Пределы регулирования мощности излучения, Вт	1001500	1001500
Параметры импульсно-периодического	э режима	
Частота, Гц	52000	52000
Длительность импульса излучения, мс	1,550	1,550
Скважность (период), мс	0,2200	0,2200
Одиночные импульсы (трапеция)	0,5200	0,5200
Длительность нарастания (фронта), с	0,00120	0,00120
Длительность одиночного импульса, мс	0,001800	0,001800
Нестабильность мощности, % не более	±2	±2
Апертура излучения, мм	75	75
Апертура излучения после сужающего телескопа, мм	50	50
Расходимость излучения (полный угол на выходе те-		
лескопа, не более), мрад	1,5	1,4
Стабильность оси луча (на выходе из телескопа),		
мрад	≤0,2	≤0,2
	Близкая к	Близкая к
Тибда излучения	TEM <sub>00</sub>	TEM <sub>00</sub>
Поляризация	Линейная	Линейная
Состав рабочей смеси газов CO <sub>2</sub> : N <sub>2</sub> : Не		
Чистота газов: CO <sub>2</sub> – 99,8 %; N <sub>2</sub> – 99,99 %; He–		
99,99 %. Допускается отклонение объема каждого		
из компонентов смеси не более ±10 %	1:2:10	1:2:10

#### Характеристика лазера

#### Окончание

Параметр	Значения		
	заданные	фактические	
Общий расход рабочих газов, л/ч, не более	4	4	
Потребляемая мощность при номинальном режиме,			
кВт (установка требует электропитания $380 \text{ B} \pm 10 \%$ ,			
трехфазного переменного тока 50 Гц. Потребляемый			
ток – 30 А)	≤18	_	
Расход охлаждающей воды, л/мин	≤12	≤12	
Температура охлаждающей воды на входе, °С,			
не более	20	20	
Давление охлаждающей воды в напорном			
трубопроводе, МПа	0,350,5	0,350,5	
Давление охлаждающей воды в сливном			
трубопроводе, МПа	≤0,05	0,05	
Температура в рабочем помещении, °С	≤35	≤35	
Влажность в рабочем помещении, %	≤ <b>8</b> 0	≤ 80	
Время готовности лазера к работе, мин	≤ 20	≤20	
Габариты:			
длина, мм,	2520	2520	
ширина, мм	550	550	
высота, мм	1135	1135	
Масса моноблока, кг	≤200	≤200	

# Состав лазера

Технологический лазер МКТЛ-1500, выполненный в виде моноблока (рис. 5.1), состоит из блока генерации луча (БГЛ), блока электропитания и установлен на металлической подставке.



a)



б)

Рис. 5.1. Технологический СО<sub>2</sub>-лазер МКТЛ-1500: а – общий вид; б – с открытыми панелями; 1 – блок генерации луча (БГЛ); 2 – блок электропитания

В блок генерации луча входят (рис. 5.2):

- 1) лазерная головка (ЛГ), которая состоит:
  - из корпуса с фланцами (труба стеклотекстолитовая);
  - пакета волноводов;
  - каркасного пакета трубок;
- 2) узел переднего зеркала;
- 3) узел заднего зеркала.
- В блок электропитания входят:
- 1) система откачки и поддержания давления, которая состоит:
  - из вакуумного насоса (рис. 5.3);
  - элементов блока газонапуска (см. рис. 5.3);
  - фильтра системы откачки;
  - буферного объема (рис. 5.4);
- 2) система охлаждения блока генерации луча, которая состоит:
  - из насоса прокачки масла (см. рис. 5.3);
  - теплообменника вода/масло (рис. 5.5);
  - клапана сетевой воды;

3) система охлаждения зеркал и источника электропитания (ИП), которая состоит:

- из водяного насоса (см. рис. 5.3);
- теплообменника вода/вода (см. рис. 5.3);
- вентилятора;
- водяного бака;
- 4) система управления, которая состоит:
  - из блока центрального компьютера;
  - плат локальных контроллеров (см. рис. 5.3);
  - плат дискретного ввода вывода (см. рис. 5.3);
  - спецплаты ИП (см. рис. 5.3);
- 5) панель силовая, в которую входят соединительные провода и кабели;
- 6) панели источников питания вторичного напряжения, которые оснащены стабилизатором напряжения (см. рис. 5.5);
- 7) источник питания высокого напряжения, которой включает:
  - трансформатор высокого напряжения (см. рис. 5.4);
  - выпрямитель и инвертор (см. рис. 5.4).



Рис. 5.2. Блок генерации луча



Рис. 5.3. Первый отсек блока электропитания МКТЛ-1500: 1 – спецплата источника питания (ИП); 2 – платы локальных контроллеров и платы дискретного ввода-вывода; 3 – теплообменник вода/вода; 4 – элементы блока газонапуска; 5 – фильтр системы откачки; 6 – насос прокачки масла; 7 – вакуумный насос; 8 – водяной насос



Рис. 5.4. Второй отсек блока электропитания МКТЛ-1500: 1 — стабилизатор напряжения; 2 вентилятор; 3 — теплообменник вода/масло



Рис. 5.5. Третий отсек блока электропитания МКТЛ-1500: 1 – буферный объем; 2 – трансформатор высокого напряжения; 3 – выпрямитель и инвертор

## Устройство и работа лазера

Технологический СО<sub>2</sub>-лазер МКТЛ-1500 является источником излучения с длиной волны 10,6 мкм.

Лазер МКТЛ-1500 – волноводный СО<sub>2</sub>-лазер с диффузионным охлаждением рабочей смеси. Режим генерации непрерывный и импульсный.

Для осуществления генерации рабочая смесь CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Не при полном давлении 30 – 40 Торр возбуждается в стеклянных трубках тлеющим разрядом переменного тока. Каждая трубка разделена на четыре разрядных промежутка медными электродами, намотанными на поверхность трубки, к которым через алюминиевые сепараторы подведено высокое напряжение частотой 25 – 30 кГц.

В разрядной области газ нагревается до температуры 200 – 300 °С. Разрядные трубки охлаждаются потоком трансформаторного масла. Формирование излучения лазера осуществляется в волноводном резонаторе в виде единого блока с разрядными трубками. Резонатор состоит из заднего зеркала и выходного окна, закреплённых в узлах крепления зеркал на плитах резонатора. Они соединены четырьмя трубами – несущими штангами резонатора. В выходном блоке излучение сужается с помощью телескопа до диаметра 50 мм. Мощность выходного излучения измеряется с помощью измерителя мощности на основе измерительного зеркала-приемника.

Система откачки лазера предназначена для откачки смеси газа атмосферного давления в блоке генерации луча после проведения профилактических работ, откачки перед работой после перерывов, а также для поддержания рабочего давления смеси газов в лазере в процессе работы.

Система газообеспечения служит для подачи рабочей смеси газов в вакуумный контур и установки величины их расхода.

Выходное излучение прерывают выключением возбуждающего разряда.

Управление работой лазера возможно благодаря системе управления, включающей в себя центральный компьютер с клавиатурой и дисплеем и локальными контроллерами.

#### Описание и работа составных частей лазера

Лазер состоит из двух основных частей: БГЛ и выходного блока. 1. Блок генерации луча

Блок генерации луча представляет собой жесткую конструкцию, состоящую из электродного блока и узлов крепления зеркал (см. рис. 5.2).

Электродный блок представляет собой 40 стеклянных разрядных трубок внешним диаметром 7 мм, собранных в пакет. Трубки изготовлены из специального термостойкого стекла с низким коэффициентом термического расширения. Внутренний диаметр трубок – 5 мм. Каждая трубка вставлена в индивидуальный канал, образованный отверстиями в несущих фланцах и промежуточных перегородках. Эти отверстия выполнены с большой точностью относительно друг друга. Электродный блок установлен на три точки на основании. На рис. 5.6. изображено пятно излучения, на котором можно увидеть действие каждой трубки.

Четыре штанги (см. рис. 5.2) соединяют несущие дюралевые фланцы в жесткую ферму. К фланцам крепятся узел переднего зеркала и узел заднего зеркала.

Лазерное излучение формируется в резонаторе, представляющем

собой систему зеркал, расположенных в переднем и заднем узлах блока генерации луча. Система зеркал состоит из зеркала заднего и зеркала переднего (выходного окна).

Выходное окно выполнено из материала ZnSe (селенид цинка) и имеет одну просветлённую поверхность, а другую – отражающую, с коэффициентом отражения 60 %. Заднее зеркало выполнено из полированного кремния, на который нанесено защитно-отражающее покрытие.



*Рис. 5.6. Отпечаток пятна* излучения на кирпиче

Внутри трубок излучение распространяется в волноводном режиме, переотражаясь от внутренних стенок трубок. Для того чтобы волноводные потери были минимальны, трубки изготавливают с предельно гладкой внутренней поверхностью. Сборка в пакет производится на специальных стапелях с использованием набора каркасных кварцевых трубок.

Емкостной (бесконтактный) тлеющий разряд зажигается внутри стеклянных разрядных трубок между электродами, которые представляют собой намотку из медной фольги. Разрядные промежутки соединены согласно электрической принципиальной схеме. Количество разрядных промежутков – 4. Кроме основных электродов, на трубки намотаны также поджигающие электроды. Внутри каждого разрядного промежутка имеется по паре поджигающих электродов, электрически соединенных между собой. Напряжение для обеспечения разряда подводится к электродам через металлические перегородки. В каждой перегородке предусмотрены три проходные втулки для соединения эквипотенциальных электродов и поджигающих электродов. При подаче высоковольтного переменного напряжения на электроды тлеющий разряд сначала зажигается между основным электродом и поджигающим электродом, а затем полностью заполняет межэлектродный промежуток. Стенка стеклянной разрядной трубки служит емкостным балластным сопротивлением и стабилизирует ток разряда.

Разрядные трубки охлаждаются потоком трансформаторного масла, который обеспечивает система охлаждения масла. Масло прокачивается последовательно через все разрядные секции, образованные электродными перегородками. При этом внутри секции масло обтекает разрядные трубки поперечно.

2. Выходной блок

Выходной блок включает в себя сужающий телескоп (рис. 5.7).



Рис. 5.7. Оптическая схема телескопа: 1 – собирающая линза (выходное зеркало); 2 – рассеивающая линза; F1 – F2 = L; F1/F2 = M

Пучок излучения 75 мм выходит из блока генерации луча лазера (БГЛ) через выходное зеркало *1*. Проходя через рассеивающую линзу 2, излучение выходит параллельным пучком диаметром 50 мм.

#### Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия и конструктивные особенности CO<sub>2</sub>-лазера МКТЛ-1500, отдельных узлов.

2. Расскажите о конструктивных особенностях излучателя лазера.

3. Объясните физические основы генерации излучения CO<sub>2</sub>-лазеров.

4. Укажите особенности генерации лазерного излучения.

5. Укажите отрицательные факторы, которые влияют на работу лазера, в процессе его эксплуатации.

6. Расскажите про главное отличие данного типа лазеров от лазеров для раскроя.

#### Методические указания к лабораторной работе по теме 5

#### Цель работы

1. Изучить конструкцию и принципы работы технологического лазера МКТЛ-1500.

2. Изучить правила эксплуатации МКТЛ-1500.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип работы и конструкцию лазера, используя описание и реальную конструкцию. Определить места установки основных элементов и узлов лазера. Обратить внимание на конструкцию системы управления и источник питания высокого напряжения.

2. Подготовить лазер к работе:

– проверить наличие трансформаторного масла в блоке генерации луча, добавить масло в случае необходимости;

 проверить наличие масла в трансформаторе высокого напряжения, добавить масло в случае необходимости;

 проверить уровень охлаждающей жидкости в системе охлаждения зеркал и источника электропитания (ИП), добавить дистиллированную воду в случае необходимости;

– проверить уровень охлаждающей жидкости в холодильной установке, добавить дистиллированную воду в случае необходимости;

- установить зону безопасной работы;

– осмотреть оптические элементы на наличие загрязнений, в случае обнаружения протереть их ватой, смоченной особо чистым ацетоном (ОСЧ ацетон). Протирать оптические элементы необходимо круговыми движениями с небольшим нажатием. После протирания оптические элементы обдуть чистым воздухом, чтобы убрать остатки пыли и частицы ваты;

– осмотреть все шланговые соединения на наличие повреждений и утечки жидкости, при обнаружении сообщить преподавателю.

3. Построить структурную схему работы СО<sub>2</sub>-лазера МКТЛ-1500.

4. Построить алгоритм работы СО<sub>2</sub>-лазера МКТЛ-1500.

# Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1) цель работы;

2) структурную схему работы лазера;

3) алгоритм работы лазера;

4) условия проведения и объем выполненных работ по подготовке лазера к работе;

5) анализ результатов и выводы.

# Тема 6. ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛАЗЕРОМ МКТЛ-1500

#### Порядок включения лазера

1. Включить входной автомат.

2. Открыть вентиль подвода магистральной воды к лазеру (включить холодильную установку ВХТО) – давление не менее 3 атм.

3. Открыть баллон с газовой смесью:

– давление на редукторе не менее 4 атм;

– работа лазера при невыполнении данного пункта категорически воспрещена.

4. Включить компьютер системы управления лазером.

5. Загрузить программу управления лазера МКТЛ-1500 (файл Cutext.exe).

На экране монитора появится главное окно системы управления (рис. 6.1) с товарным знаком предприятия-изготовителя и кнопками управления: «Помощь», «О программе», «Выход», «Лазер» и «Станок».

Информацию о функциях кнопок можно получить, нажав на кнопку «Помощь» (рис. 6.2).

LASERS LASER LASER SYSTEMS	
CutExt 1.0	
Лазер	

Рис. 6.1. Главное окно системы управления

Навигация и выполнение команд осуществляется:

• при помощи клавиш навигации клавиатуры "→", "←" или с помощью манипулятора «мышь» (при этом активная кнопка под-свечивается голубым цветом);

← → ↑ ↓ Enter	<ul> <li>перемещение курсора,</li> <li>выполнение команды (левая кнопка мышки),</li> </ul>
Помощь или F1	– этот экран,
О программе	- информация о программе,
Пазер	- окно управления лазером
Станок	- окно управления станком
Выход	- выход в ДОС.

Рис. 6.2. Команды меню

- Enter выполнение команды (левая кнопка мышки);
- Esc переход на верхний уровень меню;
- F1 контекстно зависимая помощь;

Энра Вкл.	вление Выкл.	Эл. За Откр.	твор Закр.				авария	
Подг Вкл.	отовка Выкл.	Трасси Выкл.	провка Вкл.					
Выс Вкл.	окос  Выка.	Внеш. З Возм.	атвор Невозм					
Pe Henp.	жим Имп.	Траг Пуск	еция Стоп					
		Сброс (	варий					
Аналот сигна	овые ! Лы !	Эправлени мощностьи	11C2 0	Окна па траг	араметров пеции	и	Окно пар ипульсног	аметров о режима
1 0		0.0	+ t1	0.001 s	0.000	f,Hz	2000	0.00
0.00		0	t2	30 s	0.000	Q	2	0.000
0.00			t3	0.001 s	0.000	T,ms	0.5	0.000
1		11.	Pri	500 11	0.000	1.05	0.25	0 000

Рис. 6.3. Окно управления лазером

• F2 – установка параметров СОМ-порта.

6. Нажать кнопку «Лазер». Вызывается окно управления лазером (рис. 6.3).

# Описание меню, панелей и кнопок окна управления лазером

А. Кнопки «Помощь», «Станок», «Пуск», «Выход» (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Описание кнопок «Помощь», «Станок», «Пуск», «Выход»

Обозначение кнопок,	Индикация	Выполняемые функции
переключателей и табло		17
ПОМОЩЬ	_	Вызов окна помощи
СТАНОК	_	Переход в окно управления станком
		(столом)
ПУСК / СТОП	Появляется	Старт/Стоп/Начало/ Остановка передачи
	надпись	данных из TGF файла в стол
	Стоп /Пуск	
ВЫХОД	Появляется	При нажатии на клавиатуре кнопки
	надпись:	«Y» – переход в окно системы управ-
	Вы хотите	ления; кнопки «N» – отмена ВЫХОДА
	выйти?	
	(Y/N)	

Б. Переключатели «Управление», «Подготовка», «Высокое», «Режим», «Эл. затвор», «Трассировка», «Внеш. затвор», «Трапеция», «Сброс аварий» (рис. 6.4, табл. 6.2).

Упра	вление	3n. 3	атвор
Вкл.	Выкл.	Откр.	Закр.
Подготовка		Tpace	ировка
Вкл.	Выка.	Выкл.	Вкл.
Высокое		Внеш. Затвор	
Вкл.	Выка.	Возм.	Невозм
Pe	HIM	Tpa	пеция
Непр.	Имп.	Пуск	Стоп
		Сброс	Аварий

Рис. 6.4. Окно кнопок вывода лазера на рабочий режим

# Таблица 6.2

$\mathbf{O}$		<u> </u>
$\mathbf{I}$	PHPODA TASPNA	ua nanounn nouch $M$
Onacanae knonok		
	1	

Обозначение кно- пок, переключате- лей и табло	Индикация	Выполняемые функции
«Управление Вкл»	Кнопка «Вкл» утоп- лена	Включение системы управления ла- зером
«Управление	Кнопка «Выкл» утоп-	Выключение системы управления
Выкл»	лена	лазером
«Подготовка Вкл»	Мигает желтый ин- дикатор. По заверше- нии подготовки кнопка «Вкл» утоп- лена	Запуск процесса подготовки лазера к работе. В процессе подготовки происходит откачка до давления 1 торр, затем напускается рабочая смесь до давления 30 торр
«Подготовка Выкл»	Мигает синий инди- катор. По завершении кнопка «Выкл» утоп- лена	Остановка процесса подготовки ла- зера к работе
«Высокое Вкл»	Мигает синий инди- катор. По завершении процесса включения «Высокого» кнопка «Вкл» утоплена	Включение высокого напряжения
«Высокое Выкл»	Мигает синий инди- катор. По заверше- нии процесса выклю- чения «Высокого» кнопка «Выкл» утоп- лена	Выключение высокого напряжения
«Режим Непр»	Кнопка «Непр» утоп- лена	Переход на непрерывный режим работы лазера
«Режим Имп»	Кнопка «Имп» утоп- лена	Переход на импульсный режим ра- боты лазера
«Эл. затвор Откр»	Кнопка «Откр» утоп- лена	Открытие электронного затвора
«Эл. затвор Закр»	Кнопка «Закр» утоп- лена	Закрытие электронного затвора
«Трассировка Выклуу	Кнопка «Выкл» утоп-	Открытие механического затвора. Выключение трассировочного дазера
		Закрытие механинеского затвора
«Трассировка Вкл»	лена	Включение трассировочного лазера

Окончание табл. 6.2

Обозначение кно- пок, переключате- лей и табло	Индикация	Выполняемые функции
«Внеш. Затвор	Кнопка «Возм» утоп-	Разрешение работы электронного
Возм»	лена	затвора от внешнего сигнала
«Внеш. Затвор	Кнопка «Невозм»	Запрещение работы электронного
Невозм»	утоплена	затвора от внешнего сигнала
		Запуск процесса выполнения тра-
	Кнопка «Пуск» утоп-	пеции в соответствии с параметра-
«трансция ттуски	лена	ми, заданными в окне параметров
		трапеции
	Кнопка «Стоп» утоп-	Остановка процесса выполнения
«трансция стоп»	лена	трапеции
«Сброс аварий»	—	Сброс аварий лазера

# В. Аналоговые сигналы (рис. 6.5, табл. 6.3).



Рис. 6.5. Окно «Аналоговые сигналы»

# Таблица 6.3

Обозначение кнопок,	Индикония	Выполняемые	Единицы	
переключателей и табло	индикация	функции	измерения	
М	Аналоговый сиг-	Инликания мошности	BT	
141	нал мощности	индикация мощности	DI	
т	Аналоговый	Аналоговый сигнал	Δ	
I	сигнал тока	тока	Λ	
Π	Аналоговый сиг-	Аналоговый сигнал	Topp	
Д	нал давления	давления	ropp	

# Описание окна «Аналоговые сигналы»

# Г. Управление мощностью (рис. 6.6, табл. 6.4).

#### Таблица 6.4

Обозначение кно-	Индика-	Выполняемые функции
пок, переключате-	ция	
лей и табло		
—	-	Enter – пошаговое уменьшение величины
		мощности; Blank (пробел) – посылка значения
		мощности в лазер; область изменения мощно-
		сти – 1500 Вт
+	-	Enter – пошаговое увеличение мощности;
		Blank (пробел) – посылка значения мощности
		в лазер; область изменения мощности – 1500 Вт

Описание окна управления мощностью



Рис. 6.6. Окно управления мощностью: 1 – окно выбора значения мощности; 2 – окно индикации выбранной мощности

При выборе окна *1* курсором мыши или клавишами навигации и последующем его активировании нажатием правой кнопки мыши или клавишей «Enter», выпадает меню электронного калькулятора, который позволяет набрать и ввести величину необходимой мощности (набор осуществляется кнопками «1», «2», «3» и т.д., ввод – нажати-

ем кнопки «Ок», отмена – кнопкой «Cancel», также можно вводить значения с клавиатуры). Далее – подтверждение набора – нажать на клавиатуре клавишу «Пробел».

Д. Окно параметров трапеции. Задает время единичного лазерного воздействия по закону «трапеция» (рис. 6.7, табл. 6.5).



Рис. 6.7. Окно параметров трапеции

Таблица 6.5

Обозначение	Индикация	Выполняемые функции
кнопок, переклю-		
чателей и табло		
tl	Правый индикатор отображает текущее значение параметра	Установка времени нарастания мощ- ности в трапеции. Область измене- ния – 0.001 – 20.0 с. Enter – устано- вить время нарастания мощности. Blank (пробел) – послать установ- ленные параметры трапеции в лазер
12	Правый индикатор отображает текущее значение параметра	Установка времени удержания мощ- ности в трапеции. Область изменения – 0.001 – 800.0 с. Enter – установить время удержания мощности. Blank (пробел) – послать установленные параметры трапеции в лазер
t3	Правый индикатор отображает текущее значение параметра	Установка времени уменьшения мощности в трапеции. Область изме- нения – 0.001 – 20.0 с. Enter – устано- вить время уменьшения мощности. Blank (пробел) – послать установлен- ные параметры трапеции в лазер
М	Правый индикатор отображает текущее значение параметра	Установка величины мощности в трапеции. Область изменения – 1500 Вт. Enter – задание величины мощности. Blank (пробел) – послать установленные параметры трапеции в пазер

## Описание окна трапеции

Е. Окно параметров импульсного режима излучения (рис. 6.8, табл. 6.6).



Рис. 6.8. Окно параметров импульсного режима излучения

# Таблица 6.6

Описание окна параметров импульсного режима

Обозначение кнопок,	Индикация	Выполняемые функции
переключателей и		
табло		
f	Правый индикатор	Установка частоты импульсного
	отображает текущее	режима. Область изменения – 5 –
	значение параметра	2000 Гц. Enter – задание частоты
		импульсов. Blank (пробел) – послать
		установленные параметры импульс-
		ного режима в лазер
	Правый индикатор	Установка скважности импульсного
	отображает текущее	режима. Область изменения – 1,54 –
0	значение параметра	50 мс. Enter – задание скважности.
Q		Blank (пробел) – послать установлен-
		ные параметры импульсного режима
		в лазер
	Правый индикатор	Установка периода импульсного
	отображает текущее	режима. Область изменения – 0,5 –
Т	значение параметра	200 мс. Enter – задание периода.
		Blank (пробел) – послать установ-
		ленные параметры импульсного ре-
		жима в лазер
t	Правый индикатор	Установка рабочего времени им-
	отображает текущее	пульсного режима. Область измене-
	значение параметра	ния – 0,25 – 200 мс. Enter – задание
		рабочего времени импульса. Blank.
		(пробел) – послать установленные
		параметры импульсного режима в
		лазер

Ж. Авария (рис. 6.9).

При возникновении аварийной ситуации происходит отключение источника питания. При этом в окне «Авария» появляется индикация причины аварии (табл. 6.7).



Рис. 6.9. Окно аварии

# Таблица 6.7

Описание окна «Авария»

	<b>▲</b>	
Индикация	Причины аварии	
«Темпер. головки»	Перегрев головки	
«Источник питания»	Авария источника питания	
«Пуск.Выс. не Вкл.»	Пускатель «Высокого» напряжения не включился	
«Пуск.МНнеВкл.»	Пускатель масляного насоса не включился	
«Двери ИстПит Откр.»	Открыты двери источника питания	
«Пуск.Выс. не Выкл.»	Пускатель «Высокого» напряжения не выключился	
«Пуск.МН не Выкл.»	Пускатель масляного насоса не выключился	
«При Вкл. Затвора»	Затвор не закрылся	
«При Выкл.Затвора»	Затвор не открылся	
«При Вкл.ВакНасоса»	Авария при включении вакуумного насоса	
«При Выкл.ВакНасоса»	Авария при выключении вакуумного насоса	
«За 10 мин не откач»	За 10 мин газ не откачается до 2 Торр	
«Нет газа»	Нет газа	
«За 10 мин не Напуст»	За 10 мин не напустилось до 30 Торр	
«P <p1-dpal»< td=""><td>Давление ниже допустимого</td></p1-dpal»<>	Давление ниже допустимого	
«P>P1-DPAL»	Давление выше допустимого	
«Нет связи с БлИстПит:	Нет связи с контроллером блока источника питания.	
время»	Авария по времени	
«Нет связи с БлГазНап:	Нет связи с контроллером блока газонапуска. Авария	
время»	по времени	
«Нет связи с БлИстПит:	Нет связи с контроллером блока источника питания.	
счет»	Авария по счетчику	
«Нет связи с БлГазНап:	Нет связи с контроллером блока газонапуска. Авария	
счет»	по счетчику	

7. Нажать кнопку «Вкл.» окна «Управление».

8. Нажать «Вкл» окна «Подготовка».

Этап «Подготовка» включает в себя процесс откачки вакуумного контура до давления 1 Торр и последующего напуска рабочей смеси до давления 30 Торр. Для этапа подготовки надо нажать клавишу «Подготовка Вкл.». В процессе подготовки мигает синий индикатор. При достижении в процессе напуска давления 30 Торр синий индикатор исчезает, кнопка «Подготовка Вкл.» переходит в утопленное положение. Это означает завершение этапа «Подготовка» и возможность перехода к следующему этапу работы.

В ходе подготовки проводится целый ряд подготовительных операций:

1) включение пускателя вакуумного насоса;

2) открытие клапана быстрой откачки;

- 3) откачка до давления 1 Торр;
- 4) закрытие клапана быстрой откачки;

5) открытие клапана быстрого напуска;

6) напуск рабочей смеси до давления 30 Торр;

7) закрытие клапана быстрого напуска;

8) открытие клапана медленной откачки;

9) включение процесса стабилизации давления. Давление стабилизируется включением – выключением клапана медленного напуска.

9. Нажать «Вкл» окна «Высокое».

В процессе включения «Высокого» мигает желтый индикатор. При завершении процесса он перестает мигать и становится зеленым, кнопка «Высокое Вкл.» переходит в утопленное положение. Это означает завершение этапа «Включение высокого» и возможность работы в режиме генерации.

Последовательность действий этапа «Включение высокого»:

1) включение пускателя маслонасоса;

2) включение пускателя «Высокого»:

– включение сигнала МТОТО;

- включение сигнала «+20 Вольт».

10. Набрать требуемую мощность в окне «Управление мощностью».

11. При работе лазера от внешнего управления (в составе комплекса для резки или т.п.) нажать «Возм» окна «Внеш.Затвор». В противном случае нажать «Невозм» окна «Внеш.Затвор».

12. При работе лазера в непрерывном режиме:

- нажать «Непр» окна «Режим».

При работе лазера в импульсном режиме:

- нажать «Имп» окна «Режим»;

– задать частоту f, Hz и скважность Q импульсов в окне параметров импульсного режима (параметры устанавливаются аналогично заданию мощности).

Лазер готов к работе.

13. Включение и выключение генерации осуществляется кнопками «Откр» и «Закр» (либо нажатием на клавиатуре F9) окна «Эл. Затвор».

## Порядок выключения лазера

Выключение лазера производить в обратном порядке.

1. «Закр» (либо нажать на клавиатуре F9) окна «Эл. Затвор».

- 2. Нажать «Невозм» окна «Внеш. Затвор».
- 3. Нажать «Выкл» окна «Высокое».
- 4. Нажать «Выкл» окна «Подготовка».
- 5. Нажать «Выкл» окна «Управление».
- 6. Нажать «Выход» окна «Управление лазером».
- 7. Нажать «Выход» окна «Управление системой».
- 8. Выключить компьютер системы управления лазером.
- 9. Закрыть баллон с газовой смесью.
- 10. Закрыть вентиль подвода магистральной воды к лазеру.
- 11. Выключить входной автомат.

Лазер выключен.

## Порядок перевода лазера с одного режима на другой

В процессе работы лазера при необходимости мощность можно изменить непосредственно в процессе генерации излучения или при его остановке. Для этого следует выполнить требования, описанные в разделе «Порядок включения лазера», п. 6 и п. 10.

В случае изменения режима генерации («Непр», «Имп») необходимо выполнить требования, описанные в разделе «Порядок включения лазера», п. 6, нажать «Закр» (либо нажать на клавиатуре F9) окна «Эл. Затвор» и осуществить операции, указанные в разделе «Порядок включения лазера», п. 12.

Лазер готов к работе.

## Порядок перехода лазера на управление от внешнего источника

При включении лазера выполнить требования, описанные в разделе «Порядок включения лазера», п. 1 – 10; нажать «Возм» окна «Внеш. Затвор» и осуществить операции, указанные в разделе «Порядок включения лазера», п. 12.

При включенном лазере необходимо выполнить требования, описанные в разделе «Порядок перевода лазера с одного режима на другой»; нажать «Закр» (либо нажать на клавиатуре F9) окна «Эл. Затвор»; нажать «Возм» окна «Внеш. Затвор».

Лазер готов к работе.

# Контроль работоспособности

Работоспособность лазера контролируется и поддерживается автоматически.

При возникновении аварийной ситуации в работе систем лазера происходит отключение источника питания. При этом в окне «Авария» появляется индикация причины аварии.

В этом случае необходимо:

1) выяснить и устранить причину сбоя;

2) выполнить требования раздела «Порядок включения лазера», п. 6;

3) нажать «Сброс Аварий» в окне «Управление лазером»;

4) выполнить требования раздела «Порядок включения лазера»,

п. 9 – 12.

Если сбой не повторился, можно продолжить работу.

#### Контрольные вопросы

1. Опишите функционально меню панелей и кнопок окна управления CO<sub>2</sub>-лазера МКТЛ-1500.

2. Что включает в себя этап «Подготовка»?

3. Что включает в себя этап «Высокое»?

4. Расскажите про последовательность включения и отключения лазера.

5. Расскажите про порядок перевода лазера с одного режима работы на другой.

## Методические указания к лабораторной работе по теме 6

#### Цель работы

Изучить и получить практические навыки по управлению лазером МКТЛ-1500.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить программу управления лазером МКТЛ-1500, используя описание и реальный интерфейс на мониторе пульта управления. Запомнить последовательность запуска лазера и вывода его в рабочий режим. Обратить внимание на перевод лазера с одного режима на другой и переход лазера на управление от внешнего источника.

ВНИМАНИЕ! Все последующие разделы выполнять только в присутствии человека, имеющего право работы на лазерной установке четвертого класса опасности (инженера) и обученного работе на лазере МКТЛ-1500, а также преподавателя.

2. Удостовериться, что лазер готов к работе, согласно лабораторной работе № 5.

3. Согласно разделу «Порядок включения лазера» запустить лазер МКТЛ-1500 и вывести его в непрерывный режим генерации излучения.

4. Ввести в окно управления мощностью значение 500 Вт.

5. Перевести лазер на управление от внешнего источника.

6. На пути выхода излучения из лазера установить глиняный кирпич. Надеть защитные очки. При помощи внешнего источника управления включить излучение лазера на 2-3 с. Удостовериться, что излучение появилось.

7. Перевести лазер в режим импульсной генерации, выставить значения параметров согласно рис. 6.8. Установить мощность 550 Вт. Повторить п. 6 порядка выполнения работы.

8. Перевести лазер в режим трапеции, выставить значения параметров согласно рис. 6.7, кроме мощности. Установить мощность 400 Вт. Повторить п. 6 порядка выполнения работы.

9. Выключить лазер.

## Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1) цель работы;

2) алгоритм включения и выключения лазера с пояснениями;

3) анализ возможных аварий;

4) условия проведения и объем выполненных работ;

5) анализ результатов и выводы.

# Тема 7. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС (АЛТК) ДЛЯ ТЕРМОУПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ НА БАЗЕ СО<sub>2</sub>-ЛАЗЕРА МКТЛ-1500

# Состав АЛТК

В АЛТК входят следующие узлы и элементы (рис. 7.1):

1) многоканальный технологический лазер МКТЛ-1500;

2) технологический пост для упрочнения деталей;

3) холодильная установка ВХТО;

4) система транспортировки и фокусировки излучения (СТФИ);

5) узел первого поворотного зеркала;

6) узел второго поворотного зеркала;

7) фокусирующая линза;

8) первое поворотное зеркало манипулятора луча;

9) второе поворотное зеркало манипулятора луча;

10) шкаф ЧПУ;

11) станина;

12) стол;

13) пульт управления;

14) сопло;

15) подставка под лазер;

16) вращатель двухосевой (имеет две оси вращения – вращение шпинделя и поворот оси вращения шпинделя на 180°);

17) вертикальный вращатель.

#### Преимущества технологии лазерного термоупрочнения

Важнейшим и принципиальным преимуществом лазерной технологии и лазерного оборудования является то, что упрочнение и повышение износостойкости поверхности достигается за счет структурно-фазовых изменений поверхностного слоя на глубину 0,3 – 1,0 мм без оплавления поверхности, без какой-либо наплавки, без нарушения геометрии поверхности детали (процесс может быть полностью автоматизирован). Преимущества обеспечиваются за счет заданного распределения плотности мощности в пятне излучения многолучевого лазера, тонкого регулирования уровня мощности, подводимой в зону обработки, скоростного режима обработки и использования специального светопоглощающего покрытия.



Рис. 7.1. АЛТК для термоупрочнения сталей и сплавов на базе CO<sub>2</sub>-лазера МКТЛ-1500: 1 – многоканальный технологический лазер МКТЛ-1500; 2, 4 – узлы первого и второго зеркала; 3 – система транспортировки и фокусировки излучения; 5 – подставка под лазер; 6 – технологический пост для упрочнения деталей; 7 – шкаф ЧПУ; 8 – вращатель двухосевой; 9 – вертикальный вращатель; 10 – станина; 11 – пульт управления;12 – стол; 13 – сопло; 14, 15 – первое и второе поворотные зеркала манипулятора луча; 16 – холодильная установка ВХТО; 17 – фокусирующая линза

Перечисленные возможности позволяют упрочнять поверхности окончательно изготовленных деталей без необходимости выполнения каких-либо трудоемких подготовительных и последующих доводочных операций.

Эксперименты по лазерному термическому упрочнению проводились на ряде различных материалов, в том числе на серых чугунах СЧ20, СЧ25, ЧФ4, различных легированных чугунах, сталях 45, 40Х, У8, У10А, Х12М, Х12МФ, 12Х1МФ, 4Х5МФС, ХВГ, 20Г1ФЛ, 22Л, 4Х13, на специальной стали с гетерогенной структурой (типа булатной стали) и т.д. Практически на всех исследуемых образцах получены мелкодисперсные структуры поверхностных слоев с повышенной твердостью. В частности, твердость поверхности чугунов повысилась в 3 – 4 раза и достигла 53 HRC<sub>3</sub> и выше.

Твердость поверхности стали 45 достигла 50 – 55 HRC<sub>э</sub>, стали 40X, 40X13 – 55 – 58 HRC<sub>э</sub>, стали 14X17H2 – 34 HRC<sub>э</sub>, сталей У8 и У10А – 62 – 64 HRC<sub>э</sub>. Твердость поверхности сплава ИС110X17ГД увеличилась с 49 до 54 – 56 HRC<sub>э</sub> (лазерному термоупрочнению подвергались детали «статор» и «ротор» для измельчения кормов). Причем данные получены без оплавления поверхности изделия. С оплавлением поверхности изделия твердость несколько увеличивается.

Примеры лазерного термоупрочнения: упрочнение рабочих кромок разъема чугунных стеклоформ (лазерный луч совершает обход по поверхности кромок разъема формы, рис. 7.2); упрочнение направляющего паза детали «водило» (осуществляется совместное движение луча и вращение детали, рис. 7.3).



Рис. 7.2. Лазерное термоупрочнение кромок разъема чугунных стеклоформ: 1 – половинка стеклоформы (полуформа); 2 – призмы (приспособление)



Рис. 7.3. Лазерное термоупрочнение направляющего паза детали «водило»: 1 – вращатель двухосевой; 2 – деталь «водило»; 3 – задняя бабка

Стендовые испытания образцов из различных материалов показали повышение износостойкости во всех случаях. Это повышение в зависимости от исходного материала составило от 1,7 до 6 раз. Причем даже на образцах, предварительно подвергнутых объемной закалке до твердости 50 HRC<sub>3</sub> (сталь 4X5MФЦ), 60 – 62 HRC<sub>3</sub> (сталь XBГ), 60 HRC<sub>3</sub> (сталь X12Ф), после их лазерной обработки получено повышение износостойкости от 3 до 4 раз.

#### Указания по мерам безопасности

1. В шкафу «Системы Управления» присутствует опасное для жизни напряжение 380 В переменного тока.

2. Пульт управления содержит электрические цепи с напряжением 220 В переменного тока.

3. Питание электромоторов – напряжение 68 В постоянного и (или) переменного тока, но в режиме торможения напряжение может достигать 90 В.

4. Все остальные датчики напитываются напряжением 24 В постоянного тока.

ВНИМАНИЕ!

Комплекс в сборе содержит элементы, опасные для жизни и здоровья людей или способные нанести вред окружающей среде:

1) подвижные механические части, способные производить перемещения с высокой скоростью;

2) баллоны с газом под высоким давлением;

3) озоноразрушающий летучий хладагент, способный при высокой температуре образовывать ядовитый газ.

Также опасными факторами является лазерное излучение большой мощности и высоковольтное напряжение высокой частоты.

Для работы и обслуживания других частей комплекса следует руководствоваться инструкциями и правилами эксплуатации.

5. К работе с «Системой Управления» в составе комплекса допускаются лица, изучившие «Руководство по эксплуатации», прошедшие необходимую подготовку и инструктаж по технике безопасности в соответствии с действующим законодательством.

6. Обслуживающий персонал должен быть аттестован и иметь квалификационную группу не ниже третьей согласно «Правилам технической эксплуатации и технике безопасности для электроустановок с напряжением до 1000 Вольт».

7. Любые работы внутри шкафа или пульта управления производить не ранее трех минут после выключения питающего напряжения.

8. При выключенной «Системе Управления» другие компоненты комплекса (лазерная установка, хладостанция) могут находиться под высоким напряжением и быть в рабочем состоянии.

9. Для экстренного (аварийного) останова перемещения по координатам, снятия питающих напряжений с двигателей, закрытия выходного затвора лазера используйте красную кнопку «СТОП» типа «грибок»», расположенную на боковой поверхности пульта управления. 10. Для принудительного закрытия выходного затвора лазера и работы без лазерного излучения можно использовать переключатель режима работы, расположенный на боковой поверхности пульта управления.

# Система управления АЛТК для термоупрочнения сталей и сплавов на базе CO<sub>2</sub>-лазера МКТЛ-1500

В систему управления входят несколько элементов:

1) система управления лазером;

2) система управления технологического поста;

3) ЭВМ высшего уровня, которая контролирует работу АЛТК в целом.

Система управления АЛТК с учетом корректирующей информации, полученной с различных датчиков, вырабатывает управляющий сигнал на каждый привод технологического поста в соответствии с заданной программой обработки (перемещение, поворот, скорость) и управляющие сигналы, которые поступают в лазер.

#### Система управления технологического поста

#### Общие сведения

Система управления технологического поста автоматизированного лазерного комплекса для поверхностного термоупрочнения деталей (в дальнейшем – система управления) предназначена для ручного и программного режима управления пятикоординатным технологическим постом (рабочим столом, см. рис. 7.1) с манипулятором луча, а также имеет возможность управлять дополнительными сменными приспособлениями, имеющими до трех осей (двумя вращателями). При этом одна дополнительная ось (вращение шпинделя двухосевого вращателя) позволяет осуществлять вращение синхронно со всеми пятью основными осями, а две другие дополнительные оси исключают синхронное движение с осями X и Y. Все оси оснащены шаговыми двигателями, имеющими две или четыре обмотки.
Технологический пост (см. рис. 7.1, 7.4) имеет три линейных степени подвижности X, Y, Z (относятся к обеспечению перемещения зеркал) и две вращательные A, B степени у манипулятора луча (осуществляют поворот в горизонтальной и вертикальной плоскостях). Привод Q, привод V и привод W служат как вспомогательная оснастка, т. е. с помощью них управляют дополнительными сменными приспособлениями (вращателями).

Три привода X, Y, Z (см. рис. 7.4) состоят из устройства управления, усилителя мощности, исполнительного шагового двигателя, датчика положения и двух концевых выключателей (служат для ограничения перемещения по осям) и датчика обнуления координаты – «репера» (задает точку начала отсчета координаты).

Приводы А, В (см. рис. 7.4) не имеют датчика положения, а концевой выключатель совмещает в себе также функцию «репера».

Приводы Q, V и W не имеют датчиков.

Питание системы управления осуществляется от трехфазной сети переменного тока напряжением 380 В  $\pm 10$  %.

Система управления может использоваться как в автономном режиме, так и быть подключенной к локальной вычислительной сети с транспортным протоколом Ethernet и скоростью передачи данных 10 или 100 Мбит/с.

Система управления имеет встроенный язык программирования, разработанный по стандарту ISO 6983-1.

К работе с системой управления в составе комплекса допускаются лица, изучившие «Руководство по эксплуатации АЛТК для термоупрочнения сталей и сплавов на базе СО<sub>2</sub>-лазера МКТЛ-1500», прошедшие необходимую подготовку и инструктаж по технике безопасности в соответствии с действующим законодательством.

Обслуживающий персонал должен быть аттестован и иметь квалификационную группу не ниже третьей согласно «Правилам технической эксплуатации и технике безопасности для электроустановок с напряжением до 1000 Вольт».

73





## Основные технические характеристики системы управления

1. Количество осей – восемь (пять основных и три для сменной технологической оснастки (вращателей)).

2. Все оси оснащаются шаговыми двигателями с числом обмоток 2 или 4.

3. Ток обмоток для каждой оси задается отдельно и может принимать следующие значения: 2,8; 3,5; 4,2; 4,9; 5,7; 6,4; 7,0; 7,8 А.

4. Максимальное напряжение на обмотке шагового двигателя – 68 В.

5. Для уменьшения нагрева двигателей при неподвижности оси более 1 с ток обмоток может быть снижен на 50 %.

6. По каждой оси используется микрошаговый режим работы шагового двигателя. Возможны следующие коэффициенты дробления шага двигателя: 2, 4, 5, 8, 10, 16, 25, 32, 50, 64, 125, 128, 250, 256.

7. 14-дюймовый ЖК монитор с разрешением 1024х768 точек.

8. Промышленная клавиатура с сенсорным полем для управления экранным указателем.

9. Оптически изолированный интерфейс RS-485 для связи с дополнительным оборудованием.

10. Порт Ethernet 10/100 Мбит для подключению к ЛВС.

11. Возможность подключения сменных носителей информации (USB Flash Card).

12. Питание напряжением переменного тока 380 B  $\pm$ 10 %.

13. Система управления сохраняет работоспособность при следующих условиях эксплуатации: температура окружающего воздуха от 5 до 40 °C; относительная влажность воздуха 93 % при температуре 40 °C; атмосферное давление от 630 до 800 мм рт. ст.; агрессивные примеси должны отсутствовать.

## Конструкция системы управления

Конструктивно система управления состоит из шкафа управления и выносного пульта управления.

Выносной пульт управления (см. рис. 7.1) имеет в своем составе:

1) 14-дюймовый цветной жидкокристаллический монитор;

2) промышленную алфавитно-цифровую клавиатуру с сенсорной панелью;

3) кнопку «Включение» зеленого цвета с внутренней подсветкой, расположенную на боковой поверхности пульта управления. Подсветка включена, когда система управления находится во включенном состоянии;

4) кнопку «Аварийный останов» красного цвета с внутренней подсветкой, расположенную на боковой поверхности пульта управления. Подсветка включена, когда система управления находится во включенном состоянии;

5) переключатель для ручного управления затвором лазера, расположенный на боковой поверхности пульта управления. Переключатель позволяет в любой момент времени закрыть затвор лазера и продолжить выполнять программу обработки без использования лазерного излучения.

## Включение и выключение системы управления

1. При подаче питания на систему управления (все автоматы в шкафу управления должны быть включены) автоматически происходит загрузка операционной системы и программы DNCX.EXE. Если операционная система не загрузилась – необходимо нажать клавишу «пробел» пульта управления; если программа DNCX.EXE не запустилась – запустить ее с помощью ярлыка на рабочем столе.

2. Если есть аварийные сообщения красного цвета в нижней части экрана, перейдите на закладку «Аварии», устраните причины аварии, выделите строку с текстом аварии и сбросьте аварию.

3. При отсутствии аварии нужно нажать на зеленую кнопку «Включение». При этом будет включена внутренняя подсветка кнопок «Включение» и «Аварийный останов».

4. Если какой-нибудь датчик аварийного ограничения хода находится в сработавшем состоянии, то, удерживая кнопку «Включение» в нажатом состоянии, необходимо сбросить аварии и, соблюдая меры предосторожности, в ручном режиме произвести перемещение по оси в сторону середины рабочего диапазона.

Для ручного управления можно вызвать командную строку, нажав комбинацию клавиш «ALT+C».

5. Для использования абсолютной системы координат необходимо произвести калибровку используемых осей. Для этого, используя сенсорную панель или клавиатуру, нажмите на соответствующие кнопки с обозначением осей в верхнем правом углу главной панели программы по управлению технологическим постом DNCX.EXE. После чего будет произведена калибровка выбранной оси. Калибровку следующей оси можно начать, не дожидаясь окончания калибровки предыдущей оси. Калибровка каждой оси будет производиться в направлении, указанном в файле MD.INI, которое может быть как положительным, так и отрицательным.

По окончании калибровки текущее положение оси может быть не нулевым.

6. Для выключения системы управления нажмите кнопку «Аварийный останов». Переведите переключатель ручного управления затвора лазера в состояние «затвор закрыт». Произведите необходимые манипуляции с программой управления лазером. Завершите программу DNCX.EXE и выключите операционную систему. После этого можно выключить питающее напряжение или заново включить систему управления, нажав кнопку «пробел» согласно п. 1.

## Контрольные вопросы

1. Расскажите о принципе работы и составе АЛТК.

2. Перечислите меры безопасности при работе на АЛТК.

3. Расскажите про структуру системы управления АЛТК.

4. Опишите функционально меню панелей и кнопок окна управления технологическим постом АЛТК.

5. Расскажите про функциональные возможности и направления модернизации АЛТК.

## Методические указания к лабораторной работе по теме 7

## Цель работы

1. Изучить назначение, состав и принцип работы автоматизированного лазерного технологического комплекса (АЛТК) для термоупрочнения сталей и сплавов на базе CO<sub>2</sub>-лазера МКТЛ-1500.

2. Изучить правила эксплуатации АЛТК.

3. Получить практический навык работы на АЛТК.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить состав и структуру АЛТК для термоупрочнения сталей и сплавов на базе СО<sub>2</sub>-лазера МКТЛ-1500.

2. Изучить принцип работы и конструкцию приводов технологического поста с учетом расположения датчиков, используя описание и реальную конструкцию. Определить места установки основных узлов оптических элементов системы транспортировки и фокусировки излучения (СТФИ). Обратить внимание на конструкцию манипулятора луча. 3. Изучить программу по управлению лазером МКТЛ-1500, используя описание и реальный интерфейс на мониторе пульта управления.

4. Удостовериться, что лазер готов к работе, согласно лабораторной работе № 5.

5. Подготовить технологический пост к работе:

– проверить наличие смазки на направляющих и передачах винт-гайка;

освободить узлы оптических элементов от пылезащитных чехлов;

 удостовериться в отсутствии посторонних предметов в СТФИ;

- установить зону безопасной работы.

6. Запустить технологический пост и обнулить все координаты. Вывести сопло манипулятора луча в нулевое, вертикальное положение и переместить в центр стола.

7. Запустить лазер МКТЛ-1500 и вывести его в непрерывный режим генерации излучения.

8. Ввести в окно управления мощностью значение 550 Вт.

9. Перевести лазер на управление от внешнего источника.

10. На пути выхода излучения из сопла на расстоянии 80 мм на столе установить металлическую пластину. Надеть защитные очки.

При помощи внешнего источника управления включить излучение лазера на 2-3 с. Удостовериться, что излучение появилось.

11. В ручном режиме пройти дорожку с лазерным воздействием длинной +50 мм, скоростью  $\upsilon = 6$  мм/с по оси X, а затем по оси Y – +70 мм со скоростью  $\upsilon = 8$  мм/с и вернуться в исходную точку на скорости холостого хода. Оценить точность позиционирования.

12. Выключить лазер и технологический пост.

## Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1) цель работы;

2) алгоритм запуска технологического поста с пояснениями;

3) анализ возможностей АЛТК;

4) условия проведения и объем выполненных работ;

5) анализ результатов и выводы.

# Тема 8. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ СТОЛА ЛАЗЕРНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

#### Основные положения

На основании анализа процесса лазерного термоупрочнения, его основных законов и зависимостей и учета влияния таких факторов, как скорость координатных перемещений, расфокусировка луча, мощность лазерного воздействия на материал в процессе обработки выявлено, что для стабилизации получения твердости обрабатываемой поверхности необходимо поддерживать постоянство температуры в зоне воздействия лазерного излучения с металлом.

С учетом того, что температура нагрева поверхности зависит от скорости относительного движения луча и обрабатываемой детали, создание эффективных систем управления может быть связано со стабилизацией скорости шаговых двигателей (ШД) в составе лазерно-го технологического комплекса.

Для решения проблемы регулирования и поддержания постоянства скорости в режиме реального времени была предложена система управления с коррекцией скорости координатных перемещений и разработана структурная схема системы управления (рис. 8.1). Принципиально важно здесь наличие трехуровневой системы управления:

1) уровень исполнительных устройств (шаговый двигатель – ШД);

2) контроллерный уровень;

3) верхний уровень ПК и управляющей программы (УП).

На основе модели ШД в режиме БМПТ (бесконтактной машины постоянного тока) был исследован процесс изменения скорости ШД при различной степени дискретизации подаваемого сигнала на обмотки.

Модель ШД в режиме БМПТ реализована в программном пакете MATLAB/Simulink (рис. 8.2).

На обмотки возбуждения БМПТ подается от Pulse Generator импульсный периодический сигнал с варьируемой частотой.







Рис. 8.2. Модель ШД в режиме БМПТ в программном пакете MATLAB/Simulink

При подаче единичного ступенчатого сигнала, показанного на рис. 8.3, был получен график изменения скорости во времени. Амплитуда колебаний скорости, прежде чем она достигла конечного установившегося значения, имеет достаточно высокое значение, что существенно влияет на полученные результаты.



Рис. 8.3. Воздействие единичного ступенчатого сигнала на САУ: а – вид подаваемого сигнала; б – характер изменения скорости ротора во времени

На следующем этапе моделирования была увеличена дискретизация подаваемого возбуждения. За тот же период времени вместо единичного сигнала было подано три ступенчатых сигнала с одинаковой периодичностью (рис. 8.4, a). На рис. 8.4,  $\delta$  показан характер изменения скорости во времени при подаче трех ступенчатых сигналов.



Рис. 8.4. Воздействие трехступенчатого сигнала на САУ: а — вид подаваемого сигнала; б — характер изменения скорости ротора во времени

Из графиков видно, что скорость быстрее достигла необходимого значения, чем в первом случае, но затем наблюдаются значительные ее колебания с уже большей частотой и с незначительно меньшей амплитудой. На следующем этапе подан сигнал еще большей дискретности (рис. 8.5, a) и сняты показания измерения скорости (рис. 8.5,  $\delta$ ).



Рис. 8.5. Воздействие семиступенчатого сигнала на САУ: а – вид подаваемого сигнала; б – характер изменения скорости ротора во времени

Из полученных данных нетрудно заметить, что амплитуда колебания скорости значительно уменьшилась, но остается достаточно значимой в процессе обработки.

При еще большей дискретизации сигнала (рис. 8.6, *a*) была получена следующая кривая (рис. 8.6, *б*).



Рис. 8.6. Воздействие сигнала с большой дискретностью на САУ: а – вид подаваемого сигнала; б – характер изменения скорости ротора во времени

Как видно из полученного графика, колебания скорости и их амплитуда очень незначительны по сравнению с предыдущими результатами.

Отсюда следует вывод о влиянии дискретизации подаваемого на обмотки ШД сигнала на характер изменения скорости ротора. При этом нетрудно заметить, что при увеличении числа подаваемых импульсов в единицу времени колебания скорости уменьшаются.

Как было показано ранее, даже незначительные колебания скорости приводят к изменению твердости. Поэтому при упрочнении таких объектов, как режущий инструмент, кромки штампов и др. следует настраивать систему ЧПУ на режим более высокой дискретизации.

Разработанная СУ выполняет задачи по решению проблемы регулирования и поддержания постоянства скорости в режиме реального времени. Как уже было отмечено, температура в зоне лазерной обработки зависит от скорости координатных перемещений, поэтому возможность стабилизации и поддержания постоянства скорости предоставляет возможность повысить эффективность управления лазерным технологическим комплексом.

#### Контрольные вопросы

1. Как обеспечить постоянство скорости работы привода в реальном времени?

2. Как построить виртуальную модель ШД в режиме бесконтактной машины постоянного тока в программном пакете MATLAB/Simulink?

83

3. Расскажите о методике проведения исследований, выполненных в данной работе.

4. Что такое переходный процесс и что он характеризует?

5. Расскажите о функциональных возможностях MATLAB/ Simulink.

## Методические указания к лабораторной работе по теме 8

## Цель работы

1. Создать виртуальную модель ШД в режиме бесконтактной машины постоянного тока в программном пакете MATLAB/Simulink.

2. Исследовать переходный процесс изменения скорости в процессе работы ШД. Определить влияние дискретизации подаваемого на обмотки ШД сигнала на характер изменения скорости ротора.

## Порядок выполнения работы

1. Построить виртуальную модель ШД в режиме бесконтактной машины постоянного тока в программном пакете MATLAB/Simulink.

2. Выполнить моделирование в среде MATLAB для исследования переходных процессов, характера изменения скорости в процессе работы ШД. Определить влияние дискретизации подаваемого на обмотки ШД сигнала на характер изменения скорости ротора.

3. Разработать рекомендации по управлению скоростью координатных перемещений ШД в составе АЛТК в процессе автоматизированного лазерного термоупрочнения (АЛТУ) деталей в режиме более высокой дискретизации управления.

## Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1) цель работы;

2) структуру системы управления;

3) структуру виртуальной модели ШД;

4) условия проведения и объем выполненных работ ;

5) анализ результатов и выводы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены современные методы и средства, обеспечивающие автоматизацию управления отдельными производственными процессами, движением рабочих органов станков и работу производственных комплексов.

Теоретический, практический и экспериментальный материал посвящен автоматизации современного высокоэффективного оборудования и связанных с ним высокоэффективных процессов обработки, к которым относятся получение новых наноструктурированных материалов путем использования процесса литья с кристаллизацией под давлением и лазерная поверхностная обработка (термоупрочнение).

В пособии представлено восемь тем теоретического характера и методические указания к лабораторным работам. Такое структурное построение обусловлено желанием авторов дать читателю такой объем информации, который позволит получить теоретические знания о высокоэффективных процессах обработки и практические навыки работы на современном оборудовании.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Качак, В. В.* Нанотехнологии и упрочнение сплавов / В. В. Качак, В. Ф. Коростелев, Л. П. Хромова. – М. : Новые технологии, 2011. – 240 с. – ISBN 978-5-94694-025-2.

2. *Иванов, А. А.* Автоматизация технологических процессов и производств : учеб. для высш. шк. / А. А. Иванов. – М. : Форум, 2011. – 223 с. – ISBN 978-5-91134-511-2.

3. *Коростелев, В.* Ф. Теория, технология и автоматизация литья с наложением давления : моногр. / В. Ф. Коростелев. – М. : Новые технологии, 2004. – ISBN 5-94694-016-3.

4. Шандров, Б. В. Автоматизация производства (металлообработка) : учеб. для начал. проф. образования / Б. В. Шандров, А. А. Шапарин, А. Д. Чудаков. – М. : Академия, 2002. – 256 с. – ISBN 5-8222-0176-8.

5. Технологические лазеры : справочник. В 2 т. Т. 1. Расчёт, проектирование и эксплуатация / Г. А. Абельсиитов [и др.] ; под общ. ред. Г. А. Абельсиитова. – М. : Машиностроение, 1991. – 432 с. – ISBN 5-217-01269-2.

# оглавление

ВВЕДЕНИЕ	. 3
Тема 1. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ	
И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ	. 5
Тема 2. ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ	
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ	13
Тема 3. ИЗУЧЕНИЕ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ	
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНЫМ	
ОБЪЕКТОМ	19
Тема 4. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА «СЖИМАЕМОСТИ»	
ЖИДКОГО МЕТАЛЛА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ	
СО СКРЫТЫМИ СВОЙСТВАМИ	24
Тема 5. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА	
РАБОТЫ МКТЛ-1500	41
Тема 6. ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛАЗЕРОМ	
МКТЛ-1500	53
Тема 7. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС (АЛТК)	
ДЛЯ ТЕРМОУПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ	
НА БАЗЕ CO <sub>2</sub> -ЛАЗЕРА МКТЛ-1500	66
Тема 8. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ	
СКОРОСТЬЮ СТОЛА ЛАЗЕРНОГО	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	85
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	86

Учебное издание

# ШЛЕГЕЛЬ Александр Николаевич КОРОСТЕЛЕВ Владимир Федорович

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Учебное пособие

Подписано в печать 06.12.13. Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 5,11. Тираж 82 экз. Заказ Издательство Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. 600000, Владимир, ул. Горького, 87.