

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ЧПУ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ

*Г.М.Мартинов, докт. техн. наук (МГТУ "СТАНКИН"),
канд. техн. наук В.В.Плихунов, А.В.Коваленко
(ОАО "Национальный институт авиационных технологий")*

Определены требования к системе управления технологическим процессом электронно-лучевой сварки, сделан анализ современных систем ЧПУ и выбрана коммерческая система управления. Построена компонентная модель системы управления электронно-лучевой установкой, проиллюстрированы ее функциональные возможности и раскрыта специфика реализации.

Ключевые слова: сварка, ЧПУ, станочный цикл, электроавтоматика, интерфейс оператора, управляющая программа.

ENHANCEMENT OF FUNCTIONAL CAPABILITIES OF THE NC SYSTEM FOR ELECTRON-BEAM WELDING MACHINE CONTROL. *G.M.Martinov, Dr.Tech.Sc, V.V.Plikhunov, Cand.Tech.Sc, A.V.Kovalenko*

Requirements to the manufacturing process control system for welding of heat resistant materials are determined, modern NC systems are analyzed and a commercial control system is selected. A component model of the control system for the electron-beam machine is constructed, its functional capabilities are illustrated and specific character of realization is disclosed.

Key words: welding, NC, machining cycle, electrics, operator's interface, control program.

Системы управления, используемые в электронно-лучевых установках (ЭЛУ) отечественного производства, значительно уступают аналогам, применяемым в современном механообрабатывающем технологическом оборудовании [1]. Большинство систем управления ЭЛУ выполнено по децентрализованной двухкомпьютерной схеме, где один компьютер управляет взаимным перемещением свариваемых заготовок и электронно-лучевой пушки (ЭЛП) друг относительно друга, а второй – параметрами электронного луча. Для управления взаимным перемещением свариваемых деталей и ЭЛП, как правило, используются программы, написанные на едином стандартизованном языке ISO-7bit [2], а для управления электронным лучом –

электронные таблицы либо программы на нестандартном языке программирования, как правило, собственной разработки. Синхронизация необходимых перемещений и изменения параметров электронного луча производится оператором в ручном режиме. Такая схема построения системы управления устарела. Основные ее недостатки заключаются в отсутствии единой концепции построения систем управления для данного типа технологического оборудования [3] и в необходимости совместной работы специалистов по электронно-лучевой сварке и по автоматизации технологического оборудования.

ОАО «Национальный институт авиационных технологий» разработал функциональную схему системы управления ЭЛУ, которая позволила

реализовать качественную сварку сложно-профильных изделий из титановых сплавов.

Выявление управляемых параметров электронно-лучевой сварки

Электроны, эмитированные катодом и ускоренные напряжением между катодом и анодом (ускоряющим напряжением), направляются в рабочую камеру установки. Дальнейшее формирование электронного луча производится с помощью фокусирующей системы, а его направление корректируется отклоняющей системой (рис. 1).



Рис. 1. Принцип формирования электронного луча

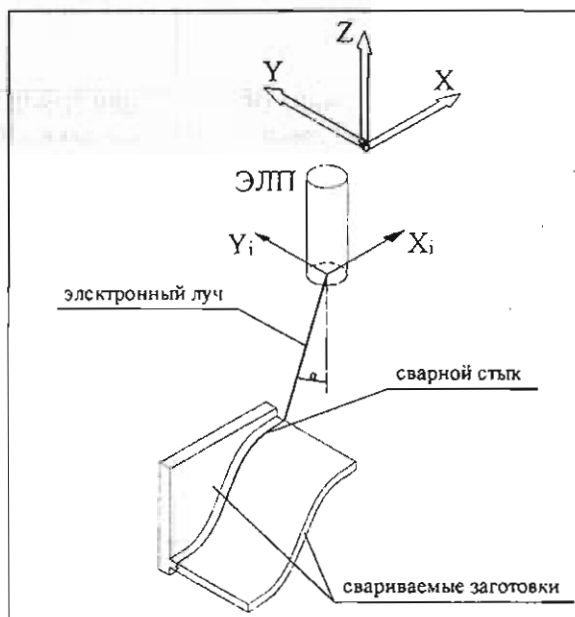
Основные параметры, характеризующие процесс сварки: мощность луча, его фокусировка, а также величина отклонения луча относительно оси абсцисс и оси ординат системы координат ЭЛП.

Мощность луча определяется как произведение ускоряющего напряжения и силы тока луча, которая определяется силой тока эмиссии катода и потенциалом прикатодного управляющего электрода. Обычно в ЭЛП применяется термоэмиссионный катод [5], и сила тока эмиссии имеет нелинейную зависимость от его температуры [4], что неудобно при управлении:

$$I_e = AT^2 S e^{-\frac{b}{T}}$$

где I_e – ток эмиссии; T – температура катода; S – эмитирующая площадь катода; A, b – постоянные, зависящие от материала катода.

Процесс изменения температуры катода в значительной мере инерционен, что также затрудняет управление током эмиссии. Ускоряющее напряжение не применяется для управления мощностью луча, так как от величины данного напряжения зависит дальность пробега электронов. Поэтому температура катода и управляющий ею ток подогрева катода отнесены к контролируемым параметрам, а управление током луча реализовано с помощью изменения потенциала управляющего электрода. Ускоряющее напряжение также отнесено к контролируемым параметрам (рис. 2).



Параметры электронного луча:

- мощность луча;
- фокусировка луча;
- отклонение луча по оси абсцисс (X_i) в системе координат ЭЛП;
- отклонение луча по оси ординат (Y_i) в системе координат ЭЛП.

Электрические оси, реализованные в ЭЛП:

- ток электронного луча;
- ток фокусировки электронного луча;
- отклонение луча по оси абсцисс (X_i) в системе координат ЭЛП;
- отклонение луча по оси ординат (Y_i) в системе координат ЭЛП.

Рис. 2. Управляемые параметры ЭЛС

Управление фокусировкой луча, определяющей его удельную мощность в месте контакта со свариваемыми заготовками, осуществляется регулировкой силы тока фокусирующей системы, представляющей собой электрическую катушку, ось которой совпадает с осью луча.

Путем изменения сил токов двух составляющих отклоняющей системы, направленных вдоль оси абсцисс (X_i) и оси ординат (Y_i) системы координат ЭЛП, достигается требуемое отклонение электронного луча.

Формирование требований к системе управления и к ее компонентам

В результате исследований сформулирован ряд требований, предъявляемых к системе ЧПУ для обеспечения управления технологическим процессом сварки в вакуумных камерах: число геометрических интерполируемых осей должно быть от 3 до 5; число электрических интерполируемых осей – 4; поддержка функций интерполяции – линейная, круговая и сплайновая.

Требования к геометрическим осям

Диапазон скоростей подачи, мм/мин	0...10 000
Максимальное ускорение, мм/мин ²	100
Точность позиционирования, мм	±0,05
Повторяемость, мм	0,05
Неравномерность хода, %	±0,5

Требования к электрическим осям

Интерфейсы для подключения силовых модулей	цифровые и аналоговые
Диапазон выходного напряжения для цифровых выходов, В	±5
Диапазон выходного напряжения для аналоговых выходов, В	±10
Скорость нарастания сигнала для аналоговых выходов, В/с	не менее 100
Частота дискретизации цифроаналогового преобразователя для аналоговых выходов, МГц	не менее 3

Анализ и выбор системы управления

Характеристика флагманских систем ЧПУ ведущих мировых производителей на основе предъявляемых к ним требований представлена в таблице. Поскольку отечественная аэрокосмическая индустрия ориентирована на продукцию

Характеристика	GE FANUC 18i model B	Siemens SINUMERIK 840Di sl	Power Automation PA 8000e	Heidenhain iTNC 530	Rexroth IndraMotion MTX advanced
Архитектура	PCNC-4	PCNC-4	PCNC-4	PCNC-2	PCNC-4
Максимально допустимое количество осей (для одного блока ЧПУ)	8, возможно расширение путем установки дополнительных модулей	20	64	8, возможно расширение до 16	64
Максимальное количество осей на один канал	8	12	10	8	8
Приводные шины	FANUC Serial Servo Bus, FANUC I/O Link	PROFIBUS-DP, возможна реализация аналогового управления посредством ANA-модулей	PA SDI-Bus, SERCOS, аналоговый ±10 В	SERCOS, аналоговый ±10 В	SERCOS-III, аналоговый ±10 В
Шины для подключения периферии	PROFIBUS-DP, FL-net, DeviceNet, Asi, I/O Link-II	MPI, PROFIBUS-DP	PA Superbus, PROFIBUS-DP, CANopen, DeviceNet	PROFIBUS-DP, CANopen, DeviceNet	PROFIBUS-DP, DeviceNet
Наличие слотов расширения	Нет	1x PCI, возможно расширение за счет замены стандартных комплектующих	2x PCI, возможно расширение за счет замены стандартных комплектующих	Нет	1x PCI, возможно расширение за счет замены стандартных комплектующих
Разъемы для подключения вычислительных устройств	2x COM, 1xEthernet	2xPS/2, 4xUSB, 2xCOM, 1xLPT, 1xVGA, 1xEthernet	2xPS/2, 4xUSB, 1xCOM, 1xLPT, 1xVGA, 1xEthernet	2xUSB, 1xCOM, 1xVGA, 1xEthernet	2xPS/2, 4xUSB, 1xCOM, 1xLPT, 1xVGA, 1xEthernet

фирмы Siemens, выбор был остановлен на системе SINUMERIK 840Di Solution Line.

Построение функциональной схемы системы управления

Кинематическая схема механической части ЭЛУ предусматривает наличие до пяти интерполируемых геометрических осей, при этом управление ЭЛП производится посредством четырех параметров, оформленных в системе ЧПУ в виде электрических осей, таким образом, необходимо одновременно управлять девятью станочными осями (рис. 3).

Модуль согласования, предназначенный для передачи сигнала от системы ЧПУ к модулю управления ЭЛП, подключается к системе управления с помощью универсальной промышленной шины PROFIBUS-DP.

Алгоритм работы конвейера обработки данных системы ЧПУ [6] представлен на рис. 4. Управляющая программа интерпретируется с помощью стандартного интерпретатора системы ЧПУ SINUMERIK 840Di sl. Затем на уровне интерполятора производится разделение управляющих потоков на поток геометрических и поток электрических осей. Поток геометрических осей является стандартным и направляется через промышленную шину на модули управле-

ния электродвигателями. Поток электрических осей направляется в ПЛК, где на основании их текущих параметров и значений формируется телеграмма, передаваемая далее по промышленной шине в модуль согласования, там производится ее обработка и формирование аналоговых управляющих сигналов.

На основании полученной телеграммы модуль согласования задействует один из встроенных алгоритмов генерации управляющего сигнала:

1. Поддержание фиксированного значения.
2. Линейная или круговая интерполяция текущего значения с предыдущим.
3. Один из встроенных генераторов сигналов типа синусоиды, меандра или «пилы».

Сформированный сигнал передается на цифроаналоговый преобразователь, откуда поступает на силовой модуль управления ЭЛП.

Видеоконтрольное устройство предназначено для получения изображения из рабочей камеры установки. Вторичные электроны [4], эмитированные изделием при облучении его электронным лучом малой мощности, улавливаются чувствительной матрицей – коллектором электронов. Полученный с коллектора аналоговый сигнал передается на плату расширения, где оцифровывается, анализируется и выводится на дополнительный монитор.

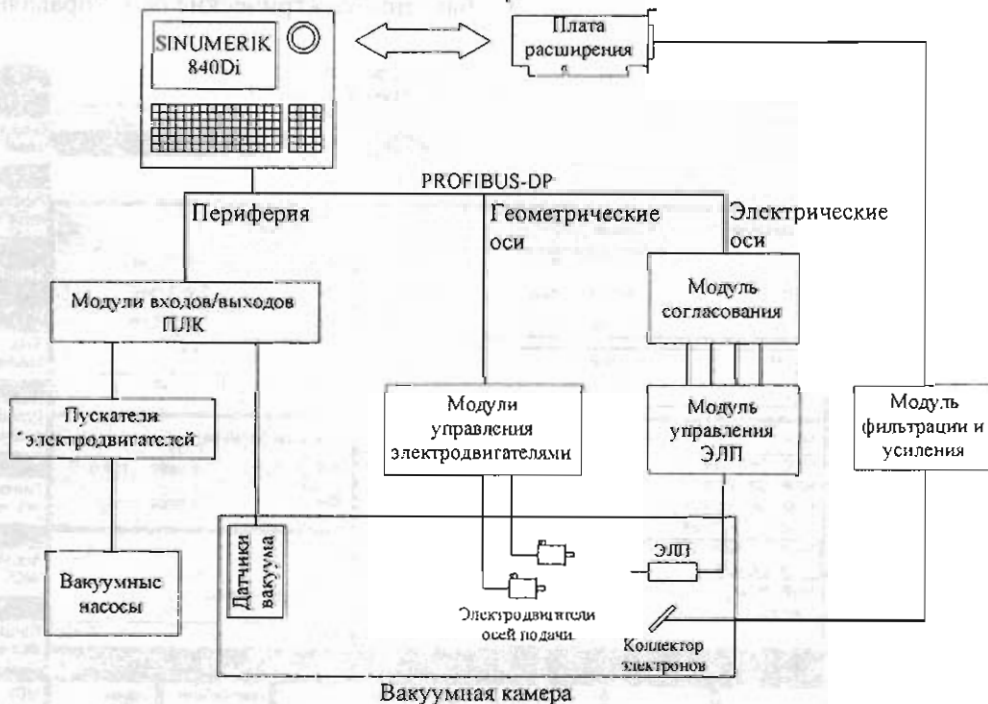


Рис. 3. Архитектура системы управления технологическим процессом

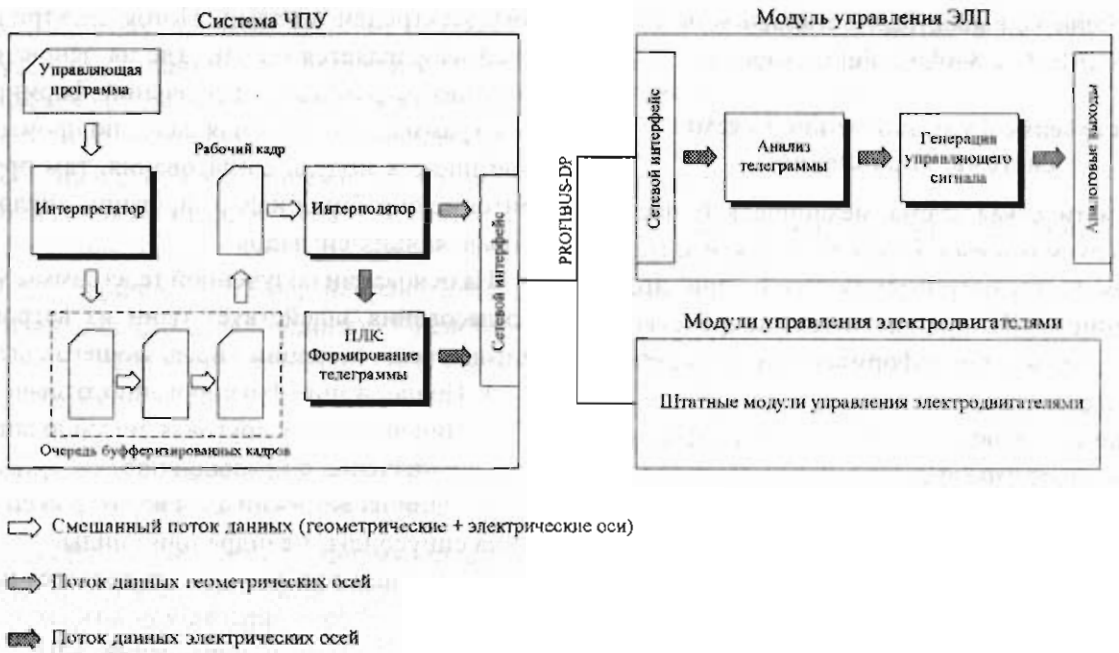


Рис. 4. Конвейер обработки данных в системе управления

Специфика реализации

Системы ЧПУ серии SINUMERIK 840D, хотя и позиционируются как открытые, имеют ряд коммерческих ограничений [7]. Во-первых, открытость необходимо приобретать, и стоимость каждого последующего уровня открытости возрастает. Во-вторых, наиболее глубокое внедрение в ядро системы ЧПУ фирма Siemens оставляет за своими специалистами, предоставляя в этом случае заказчику собственные услуги по

разработке. Данный факт не всегда приемлем, так как потребует раскрытия know-how последнего, что может конфликтовать с его интересами. В описанной схеме был найден компромисс посредством приобретения ограниченной открытости и последующей адаптации системы ЧПУ.

В интерфейсе оператора (рис. 5), посредством конфигурации машинных параметров добавлены электрические оси, управляющие ЭЛП.

The screenshot shows the operator interface for the 'ЭЛУ-20АМ' control system. It is divided into several sections:

- Machine Status:** Shows 'Machine: CHAN1', 'MDI: SYF DIR', 'OSTORE1.SYF', and 'Program aborted'. A 'Channel reset' button is visible.
- Axis Position Table:**

Machine	Position	D. to-go
Z1	0.0000 mm	0.0000
B1	0.0000 deg	0.0000
C1	0.0000 deg	0.0000
I01	0.0000	0.0000
JF1	0.0000	0.0000
- MDI Window:** Shows the current program 'SYF0STORE1.SYF' with the following commands:


```

N10 G64 G90
N20 G0 Z0
N30 X0 Y100
N30 G1 F350
N40 X1000 SSTART
N50 SEND
N60 M30
eof =
            
```
- Machine Parameters:** Shows 'Master spindle: S1' with 'Act. 0.000 rpm', 'Set 0.000 rpm', 'Pos. 0 deg', and 'Power 0%'. Other parameters include 'Feedrate (mm/min)' and 'Tool T2'.

Annotations on the left side of the screenshot:

- Геометрические оси (Geometric axes) - points to the Z1, B1, C1 axes.
- Электрические оси (Electric axes) - points to the I01, JF1 axes.
- Специфические команды языка ISO-7bit (Specific ISO-7bit commands) - points to the MDI window.

Рис. 5. Интерфейс оператора системы управления установки «ЭЛУ-20АМ»

Расширение версии языка управляющей программы реализовано посредством добавления пользовательских станочных циклов и их вызовом с соответствующим набором параметров. В теле каждого из пользовательских станочных циклов вызывается подпрограмма электроавтоматики, в которую передаются значения управляющих параметров ЭПП, обрабатываемые далее в соответствии с рис. 4.

Таким образом, в результате внедрения предложенной системы управления на установке «ЭЛУ-20АМ», используемой в опытном производстве ОАО «Национальный институт авиационных технологий», удалось добиться значительного снижения брака в сварных соединениях (с 16 до 2%), сокращения времени сварочного цикла (в среднем со 136 до 70 мин) и уменьшения трудоемкости всех выполняемых операций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плихунов В.В., Шлесберг И.С., Коваленко А.В. Функциональные возможности систем ЧПУ и перспективы их применения на современном машиностроительном производстве // *Авиационная промышленность*. – 2007. – № 1. – С. 42–46.
2. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Концепция геометрического ISO-процессора для систем ЧПУ // *СТИН*. – 1994. – № 7. – С. 12–20.
3. Плихунов В.В., Шлесберг И.С., Коваленко А.В. Перспективы развития систем управления современных установок электронно-лучевой сварки // *Авиационная промышленность*. – 2008. – № 4. – С. 16–20.
4. Шалимов М.П., Панов В.И. Сварка вчера, сегодня, завтра... / Под науч. ред. В.В.Запарий. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 227 с.
5. Глазов С.И., Люшинский А.В., Магнитов В.С., Обознов В.В., Чуклинов С.В. Основы технологии электронно-лучевой и диффузионной сварки / Под общей науч. ред. О.С.Сироткина, С.В.Чуклинова. – Рыбинск: Рыбинский дом печати, 2001. – 288 с.
6. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Программирование систем числового программного управления: Учеб. пособие. – М. Логос, 2008. – 344 с.
7. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: Учеб. пособие. – М.: Логос, 2005. – 296 с.