



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ
980—
2024
(ИСО 23704-3:
2023)

Системы киберфизические
**ТИПОВАЯ АРХИТЕКТУРА
ДЛЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ УМНЫМ СТАНКОМ**

Часть 3

Типовая архитектура для аддитивного производства

[ISO 23704-3:2023, General requirements for cyber-physically controlled
smart machine tool systems (CPSMT) — Part 3: Reference architecture of CPSMT
for additive manufacturing, MOD]

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации») и Некоммерческим партнерством «Русское общество содействия развитию биометрических технологий, систем и коммуникаций» (Некоммерческое партнерство «Русское биометрическое общество») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 194 «Кибер-физические системы»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2024 г. № 105-пнст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 23704-3:2023 «Общие требования к киберфизическим системам управления умным станком (CPSMT). Часть 3. Типовая архитектура CPSMT для аддитивного производства» [ISO 23704-3:2023 «General requirements for cyber-physically controlled smart machine tool systems (CPSMT) — Part 3: Reference architecture of CPSMT for additive manufacturing», MOD] путем изменения отдельных фраз (слов, значений показателей, ссылок), которые выделены в тексте курсивом. Внесение указанных технических отклонений направлено на учет потребностей национальной экономики Российской Федерации.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДА

5 Некоторые элементы настоящего стандарта могут быть объектами патентных прав. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии не несет ответственности за установление подлинности каких-либо или всех таких патентных прав

Правила применения настоящего стандарта и проведения его мониторинга установлены в ГОСТ Р 1.16—2011 (разделы 5 и 6).

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии собирает сведения о практическом применении настоящего стандарта. Данные сведения, а также замечания и предложения по содержанию стандарта можно направить не позднее чем за 4 мес до истечения срока его действия разработчику настоящего стандарта по адресу: 115324 Москва, Овчинниковская набережная, д. 20, стр. 2, помещ. 34, e-mail: info@tc194.ru и/или в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: 123112 Москва, Пресненская набережная, д. 10, стр. 2. В случае отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты» и также будет размещена на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.rst.gov.ru)

© ISO, 2023

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

II

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины, определения и сокращения	2
3.1 Термины и определения	2
3.2 Сокращения	3
4 Соответствие типовой архитектуре CPSMT для аддитивного производства	4
5 Цели и задачи типовой архитектуры CPSMT для аддитивного производства	4
6 Технические требования к SAMS с точки зрения CPSMT	5
6.1 Общие положения	5
6.2 Технические требования автономной борьбы с аномалиями	6
6.3 Технические требования автономной координации с устройствами цеха	10
6.4 Технические требования автономного взаимодействия с системой управления цехом	10
6.5 Технические требования взаимодействия с рабочим процессом аддитивного производства	11
6.6 Технические требования взаимодействия с уровнями иерархии	11
6.7 Технические требования взаимодействия с человеком	12
7 Типовая архитектура CPSMT для аддитивного производства	12
8 CPCM с функциональной точки зрения	13
8.1 Общие положения	13
8.2 Блок умного станка для аддитивного производства	14
8.3 Блок киберфизической системы	16
9 CSSM с функциональной точки зрения	19
9.1 Общие положения	19
9.2 Блок обработки данных	20
9.3 Блок цифрового потока	21
9.4 Блок МАПВ	24
9.5 Блок внешнего интерфейса	25
10 CPSMT с точки зрения интерфейса	26
10.1 Общие положения	26
10.2 Интерфейс CPCM	27
10.3 Интерфейс CSSM	28
Приложение А (справочное) Требования заинтересованных сторон к SAMS	30
Приложение В (справочное) Концепция цифрового потока в аддитивном производстве	32
Приложение С (справочное) Типы аномалий в аддитивном производстве	33
Приложение D (справочное) Примеры вариантов использования типовой архитектуры CPSMT для аддитивного производства	35
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте	40
Библиография	41

Введение

Аддитивное производство — это процесс послойного соединения материалов для изготовления детали на основе данных 3D-модели. Аддитивное производство способствует реализации индивидуального производства путем использования различного сырья, развития технологических процессов и методологии проектирования продукции. Кроме того, аддитивное производство позволяет создавать изделия сложной геометрии и другие детали, которые ранее было невозможно или непрактично изготовить.

В настоящее время на рынке представлено множество умных станков на основе интеллектуальных технологий с использованием собственных концепций, например терминологии изготовителей станков (МТВ), разработчиков систем управления умными станками, в том числе систем числового программного управления (ЧПУ), разработчиков решений и поставщиков сервисов. Это может запутывать заинтересованных лиц, в том числе конечных пользователей. По этой и другим причинам необходимы стандарты и субстанциональное моделирование для интеллектуальных систем управления умными станками.

ПНСТ 854—2023 и настоящий стандарт определяют требования к киберфизическим системам управления умными станками (CPSMT).

Настоящий стандарт предназначен для использования:

- инженерами-конструкторами;
- системными архитекторами;
- инженерами-программистами МТВ;
- разработчиками средств управления умными станками;
- разработчиками решений и поставщиков сервисов;
- конечными пользователями, такими как операторы умных станков на производстве.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Системы киберфизические

ТИПОВАЯ АРХИТЕКТУРА ДЛЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УМНЫМ СТАНКОМ

Часть 3

Типовая архитектура для аддитивного производства

Cyberphysical system.
Reference architecture for cyberphysically controlled smart machine tool system.
Part 3. Reference architecture for additive manufacturing

Срок действия — с 2025—01—01
до 2026—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт определяет типовую архитектуру киберфизической системы управления умным станком (CPSMT) для аддитивного производства на основе типовой архитектуры CPSMT в соответствии с ПНСТ 854—2023.

Типовая архитектура CPSMT для аддитивного производства включает:

- технические требования к интеллектуальной системе аддитивного производства (SAMS);
- типовую архитектуру умного станка с киберфизическим управлением (CPCM);
- типовую архитектуру системы киберподдержки умного станка (CSSM);
- архитектуру интерфейсов CPSMT.

Настоящий стандарт также предусматривает:

- требования заинтересованных сторон к SAMS;
 - концептуальное описание цифрового потока;
 - типы аномалий в аддитивном производстве;
 - примеры вариантов использования типовой архитектуры CPSMT для аддитивного производства.
- Настоящий стандарт не определяет физическую архитектуру или архитектуру реализации.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 57100—2016/ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Системная и программная инженерия. Описание архитектуры

ГОСТ Р 57558/ISO/ASTM 52900:2015 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения

ГОСТ Р 70240 (ИСО/АСТМ 52941:2020) Аддитивные технологии. Методы испытаний установок синтеза металлических изделий на подложке. Общие положения

ГОСТ Р ИСО 10303-242 Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 242. Прикладной протокол. Управляемое проектирование на основе модели 3D

ГОСТ Р ИСО 18629-1 Системы промышленной автоматизации и интеграция. Язык спецификаций процесса. Часть 1. Обзор и основные принципы

ГОСТ Р ИСО/АСТМ 52950 Аддитивные технологии. Представление и обработка данных технологического процесса. Общие положения

ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207 Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств

ПНСТ 854—2023 (ИСО 23704-1:2022) Системы киберфизические. Типовая архитектура для киберфизической системы управления умным станком. Часть 1. Общие положения

ПНСТ 855—2023 (ИСО 23704-2:2022) Системы киберфизические. Типовая архитектура для киберфизической системы управления умным станком. Часть 2. Типовая архитектура для субтрактивного производства

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ПНСТ 854—2023, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 компонент аддитивного производства (additive manufacturing component, AM component): Отдельная деталь или группа деталей, образующая функциональную единицу в аддитивном производстве.

3.1.2 функция аддитивного производства (additive manufacturing function, AM function): Функция, выполняемая блоком умного станка для аддитивного производства.

3.1.3 блок умного станка для аддитивного производства (additive manufacturing machine unit, AM machine unit, AMU): Пример умного станка с киберфизическим управлением для аддитивного производства в типовой архитектуре киберфизической системы управления умным станком для аддитивного производства.

3.1.4 процесс аддитивного производства (additive manufacturing process, AM process): Процесс послойного соединения материалов для изготовления детали из данных 3D-модели в типовой архитектуре умного станка с киберфизическим управлением для аддитивного производства.

3.1.5 рабочий процесс аддитивного производства (additive manufacturing workflow, AM workflow): Последовательность технологических этапов производства физической детали с использованием аддитивного производства.

Примечание — Рабочий процесс аддитивного производства включает в себя:

- a) проектирование продукта;
- b) сырье;
- c) подготовку процесса;
- d) контроль процесса;
- e) постобработку;
- f) контроль качества;
- g) деталь.

3.1.6 движение сборки (build motion): Движения станка, необходимые для создания продукта из сырья/вспомогательного материала.

3.1.7 процесс сборки (build process): Реализация соединения материалов с помощью источника активации.

Примечание — Соединение означает консолидацию сырья для создания окончательной формы с помощью метода активации вещества.

Пример — Методами активации являются механизм связывания, химическая реакция, нагревание.

3.1.8 блок киберфизической системы; блок КФС (cyber physical system unit, CPS unit): Совокупность функциональных объектов, ответственных за расширенный киберфизический контроль.

Примечание — Блок КФС обеспечивает расширенные функции управления умным станком, взаимодействие с данными датчиков, ядром числового управления/программируемым логическим контроллером, системой киберподдержки умного станка (CSSM), системой управления цехом (SFCS) и системой единого интерфейса (UIS).

3.1.9 интеллектуальная система аддитивного производства с киберфизическим управлением (cyber-physically controlled smart additive manufacturing system, CPSAM): Интеллектуальная система аддитивного производства, рассматриваемая с точки зрения возможностей киберфизических систем управления умным станком.

3.1.10 цифровой поток (digital thread): Структура, обеспечивающая интегрированное представление данных на протяжении всего рабочего процесса аддитивного производства.

Примечания

1 Цифровой поток управляет записью продукта от его создания до удаления.

2 Данные взаимосвязаны в серии циклов обратной и прямой связи.

3 Более подробную информацию о цифровом потоке, включая разницу между цифровым потоком и цифровым двойником, см. в приложении В.

3.1.11 блок цифрового потока (digital thread unit): Экземпляр цифрового потока, ориентированный на этап эксплуатации, в типовой архитектуре киберфизической системы управления умным станком для аддитивного производства.

3.1.12 обработка сырья/вспомогательного материала (feedstock/support handling): Подача, хранение и управление оставшимся сырьем на станке.

Пример — Механизм повторного покрытия и выравнивания поверхности при фотополимеризации в ванне, система подачи порошка при струйной печати связующим веществом.

3.1.13 блок умного станка (machine tool unit): Блок, состоящий из оборудования, выполняющего ряд функций умного станка: операции умного станка (процесс обработки, движение и управление), подготовка процесса, обработка заготовок, управление инструментом, вторичное использование и утилизация отходов, охлаждение/нагрев станка.

3.1.14 интеллектуальная система аддитивного производства (smart additive manufacturing system, SAMS): Система аддитивного производства, которая поддерживает концепцию, характеристики и возможности умного производства.

3.1.15 блок (unit): Группа элементов, которая составляет часть типовой архитектуры умного станка с киберфизическим управлением и системы киберподдержки умного станка для аддитивного производства.

3.1.16 заготовка (workpiece): Соединенный материал, образующий функциональный элемент, который составляет часть предполагаемого продукта или продукт целиком.

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

КФС — киберфизическая система;

Блок МАПВ — блок мониторинга, анализа, планирования и выполнения;

ЧПУ — числовое программное управление;

AMF — файл аддитивного производства;

DED — прямой подвод энергии (direct energy deposition);

KPI — ключевой показатель эффективности (key performance indicator);

L-PBF — лазерное спекание порошкового материала (laser powder bed fusion);

MTB	— изготовитель умного станка (<i>machine tool builder</i>);
OPC	— набор спецификаций стандартов для промышленных средств связи (<i>open platform communications</i>);
OPC UA	— унифицированная архитектура OPC (<i>OPC unified architecture</i>);
PBF	— синтез на подложке (<i>powder bed fusion</i>);
SFDS	— система цеховых устройств (<i>shop floor device system</i>).

4 Соответствие типовой архитектуре CPSMT для аддитивного производства

Архитектура CPSMT соответствует типовой архитектуре CPSMT для аддитивного производства, если в рамках конкретных вариантов использования CPSMT реализованы архитектурные концепции и возможности, определенные в настоящем стандарте.

5 Цели и задачи типовой архитектуры CPSMT для аддитивного производства

Типовая архитектура CPSMT для аддитивного производства определяет архитектуру интеллектуальных систем управления умными станками для аддитивного производства на основе общей типовой архитектуры в соответствии с ПНСТ 854—2023. Типовая архитектура является руководством для проектировщиков интеллектуальных систем управления умными станками для аддитивного производства и направлена на формирование представления об интеллектуальных системах управления умными станками у заинтересованных сторон.

Примечание — Примерами заинтересованных сторон являются МТВ, изготовители систем ЧПУ и других систем управления умными станками, поставщики решений, разработчики приложений, поставщики сервисов, потребители и конечные пользователи.

Типовая архитектура CPSMT для аддитивного производства способствует достижению следующих целей стандартизации:

- обеспечение ясной и однозначной коммуникации между всеми заинтересованными сторонами интеллектуальных систем аддитивного производства;
- обеспечение интероперабельности интеллектуальных систем аддитивного производства с соответствующими аппаратными устройствами, программным обеспечением, сервисными и производственными системами;
- обеспечение качества/возможностей интеллектуальных систем аддитивного производства;
- обеспечение использования интеллектуальных систем аддитивного производства;
- обеспечение планомерного развития и модификации интеллектуальных систем аддитивного производства.

На рисунке 1 представлен контекст описания типовой архитектуры CPSMT для аддитивного производства, учитывающий различные точки зрения на архитектуру.

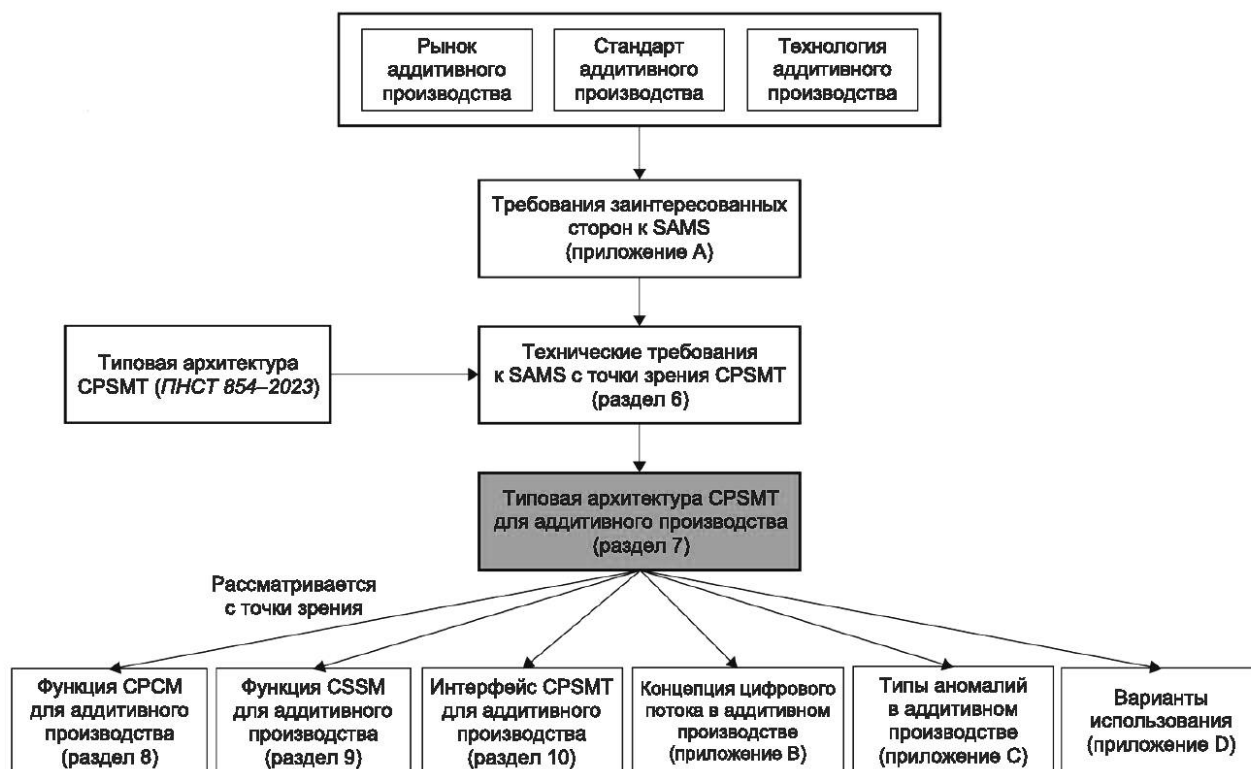


Рисунок 1 — Контекст описания типовой архитектуры CPSMT для аддитивного производства

Согласно рисунку 1, настоящий стандарт включает следующие описания:

- технические требования к SAMS с точки зрения CPSMT (см. раздел 6);
- типовую архитектуру CPSMT для аддитивного производства (см. раздел 7);
- типовую архитектуру умного станка с киберфизическим управлением (CPCM) с функциональной точки зрения (см. раздел 8);
- типовую архитектуру CSSM для аддитивного производства с функциональной точки зрения (см. раздел 9);
- типовую архитектуру CPSMT для аддитивного производства с точки зрения интерфейса (см. раздел 10);
- требования заинтересованных сторон к SAMS;
- концептуальное описание цифрового потока аддитивного производства (см. приложение В);
- типы аномалий в аддитивном производстве (см. приложение С);
- примеры вариантов использования типовой архитектуры CPSMT для аддитивного производства (см. приложение D).

6 Технические требования к SAMS с точки зрения CPSMT

6.1 Общие положения

В настоящем разделе описываются технические требования к SAMS, основанные главным образом на требованиях заинтересованных сторон аддитивного производства, описанных в приложении А, с точки зрения CPSMT, как показано в таблице 1.

Примечание — С точки зрения системной инженерии, передовой методологии разработки сложных систем, технические требования, описанные в настоящем разделе, соответствуют системным требованиям. Технические требования, которым должна удовлетворять типовая архитектура (решение) системы умного производства, указаны в разделе 7.

С точки зрения этапа рабочего процесса аддитивного производства, технические требования — это функции, которые SAMS должна выполнять на этапе управления процессом (эксплуатации), разбитые на шесть возможностей CPSMT, указанных в ПНСТ 854—2023 (раздел 10).

Примечание — Термин «аспект жизненного цикла», определенный в ПНСТ 854—2023, соответствует термину «рабочий процесс аддитивного производства» в области аддитивного производства.

В таблице 1 указаны разделы, в которых подробно описаны технические требования к типовой архитектуре CPSMT для аддитивного производства (см. раздел 7) в каждой категории.

Т а б л и ц а 1 — Технические требования к SAMS на основе возможностей CPSMT

Категории на основе возможностей CPSMT (номер подраздела настоящего стандарта)	Технические требования (номер пункта настоящего стандарта)
Автономная работа с аномалиями (6.2)	6.2.2 Работа с аномалиями в режиме жесткого реального времени в процессе аддитивного производства
	6.2.3 Работа с аномалиями в режиме мягкого реального времени в процессе аддитивного производства
	6.2.4 Сбор данных, связанных с процессом аддитивного производства
	6.2.5 Обработка данных, связанных с процессом аддитивного производства
	6.2.6 Извлечение дополнительных данных
	6.2.7 Мониторинг процесса аддитивного производства
	6.2.8 Прогнозирование статуса процесса аддитивного производства
	6.2.9 Диагностика состояния процесса аддитивного производства
	6.2.10 Принятие решений о системе аддитивного производства
	6.2.11 Обновление данных рабочего процесса аддитивного производства
	6.2.12 Устранение аномалий
Автономная координация с устройствами цеха (6.3)	6.3.2 Координация между устройствами цеха
Автономное взаимодействие с системой управления цехом (6.4)	6.4.2 Получение согласованного плана процесса
	6.4.3 Предоставление данных процесса аддитивного производства для работы цеха
	6.4.4 Интероперабельность действий с данными
Взаимодействие с рабочим процессом аддитивного производства (6.5)	6.5.2 Взаимодействие с рабочим процессом аддитивного производства
	6.5.3 Интероперабельность взаимодействия с рабочим процессом аддитивного производства
Взаимодействие с уровнем иерархии (6.6)	6.6.2 Взаимодействие с уровнем иерархии
	6.6.3 Интероперабельность взаимодействия с уровнем иерархии
Взаимодействие с человеком (6.7)	6.7.2 Взаимодействие с человеком
	6.7.3 Интероперабельность взаимодействия с человеком

6.2 Технические требования автономной борьбы с аномалиями

6.2.1 Общие положения

В настоящем подразделе описываются технические требования к SAMS с точки зрения возможностей «автономной работы с аномалиями».

Примечания

1 Определение аномалии (отклонения) приведено в ПНСТ 854—2023 (пункт 3.1.1).

2 В соответствии с ПНСТ 854—2023 (подраздел 10.1), возможность устранения аномалий реализуема в связи с тем, что:

- полная оптимизация производственного процесса, осуществляется путем автономной оптимизации, за которой следует точное исполнение в режиме онлайн;
- точное исполнение может быть достигнуто путем автономного устранения аномалий; отклонения от нормального состояния оптимально планируются в автономном режиме.

6.2.2 Работа с аномалиями в режиме жесткого реального времени в процессе аддитивного производства

Режим жесткого реального времени означает, что результат обработки данных неверен, если он не соответствует указанным требованиям ко времени.

Примечание — Жесткое реальное время является задачей контроллера.

В процессе сборки возможно внезапное возникновение аномалий (например, внутри слоя или между слоями), которые немедленно оказывают негативное воздействие на систему аддитивного производства, если в установленные сроки не принять меры по их устранению. Необходимо проверять и обрабатывать процесс аддитивного производства в режиме жесткого реального времени, чтобы вовремя обнаружить эти аномалии и принять меры по их устранению.

SAMS должна иметь средства работы с аномалиями в режиме жесткого реального времени.

Пример — Аномалии, с которыми необходимо работать в режиме жесткого реального времени, включают неправильную геометрию ванны расплава и распределение тепла, нарушение работы сервосистемы, засорение.

6.2.3 Работа с аномалиями в режиме мягкого реального времени в процессе аддитивного производства

Режим мягкого реального времени означает, что результат обработки данных ухудшается, если он не соответствует указанным требованиям ко времени.

В процессе сборки возможно возникновение аномалий (например, внутри слоя или между слоями), которые оказывают постепенное негативное воздействие на систему аддитивного производства, если в установленные сроки не принять меры по их устранению. Необходимо проверять и обрабатывать процесс аддитивного производства в режиме мягкого реального времени, чтобы вовремя обнаружить эти аномалии и принять меры по их устранению.

SAMS должна иметь средства работы с аномалиями в режиме мягкого реального времени.

Пример — Аномалии, с которыми необходимо работать в режиме мягкого реального времени, включают постепенный перерасход энергии, постепенное сокращение оставшегося срока службы двигателя в сопле.

6.2.4 Сбор данных, связанных с процессом аддитивного производства

Процесс сбора данных, связанных с системой аддитивного производства, необходим для определения и анализа состояния системы.

Все данные в домене аддитивного производства связаны с рабочим процессом аддитивного производства. Источниками данных могут быть: умный станок для аддитивного производства (например, датчик, контроллер), офис (например, система управления заказами), система CAx (например, CAD, CAM, CAE), человек. Эти данные являются ценным активом и обладают потенциалом для улучшения операционных показателей.

SAMS должна иметь средства для получения данных, связанных с процессом аддитивного производства.

Примеры

1 Датчики: инфракрасная камера, термopapa, тензодатчик.

2 Параметры процесса для синтеза на подложке: энергия источника тепла, подача при сканировании, размер пятна сканирования, температура предварительного нагрева камеры, давление в камере.

6.2.5 Обработка данных, связанных с процессом аддитивного производства

Данное техническое требование предполагает систематическое выполнение операций над данными аддитивного производства.

На практике полученные данные (см. 6.2.4) часто содержат неорганизованные, неточные и неверные фрагменты данных, в связи с чем для дальнейшего использования их необходимо обработать. Функции обработки данных включают, например, очистку, форматирование и группировку.

SAMS должна иметь средства обработки данных, связанных с процессом аддитивного производства.

Примеры

1 Очистка данных: работа с отсутствующими и зашумленными значениями термодатчиков.

2 Форматирование данных: организация данных датчика, контроллера и САХ в заранее определенные модели данных рабочего процесса аддитивного производства.

6.2.6 Извлечение дополнительных данных

Обработка данных (см. 6.2.5) обеспечивает основу для дальнейшего анализа и использования данных с конкретной целью. Посредством дальнейшей обработки эти данные могут способствовать повышению сложности и предсказуемости поведения умного станка для аддитивного производства, принятию точных решений и созданию управляющих входных данных для умного станка для аддитивного производства.

SAMS должна собирать и использовать дополнительные данные.

Пример — Величина отклонения подачи энергии от источника активации по сравнению с эталонным значением, расчетная величина геометрии ванны расплава и тепловое распределение.

6.2.7 Мониторинг процесса аддитивного производства

Раннее обнаружение аномалий помогает сократить время принятия решений по поддержанию или повышению эксплуатационных показателей процесса аддитивного производства. SAMS должна иметь функцию мониторинга аддитивного производства, т. е. определять возникновение аномалии во время процесса аддитивного производства в течение времени управления процессом.

Пример — Обнаружение недостаточной подачи энергии к источнику питания лазера, обнаружение перегрева лазера, обнаружение перерасхода энергии во время процесса аддитивного производства, обнаружение тепловых искажений/деформаций, расчет теплового распределения ванны расплава, обнаружение пористости внутри продукта аддитивного производства.

6.2.8 Прогнозирование статуса процесса аддитивного производства

Предварительное прогнозирование признаков аномалий способствует улучшению эффективности процесса аддитивного производства за счет сокращения времени принятия решений и увеличения шансов на упреждающие действия.

SAMS должна иметь функцию прогнозирования состояния процесса аддитивного производства.

Пример — Прогнозирование потребления энергии во время работы аддитивного производства, прогнозирование теплового распределения продукта во время процесса аддитивного производства, прогнозирование времени цикла процесса аддитивного производства.

6.2.9 Диагностика состояния процесса аддитивного производства

Выявление первопричин различных аномалий и оценка их значимости для процесса аддитивного производства в различных состояниях и контекстах имеет решающее значение для устойчивой управляемости и воспроизводимости процесса.

SAMS должна иметь механизм диагностики для повышения надежности и воспроизводимости процесса аддитивного производства.

Пример — Выяснение причины явления слипания в процессе прямого подвода энергии, анализ первопричин термического искажения/деформации продукта, выяснение причины неоднородной микроструктуры продукта.

6.2.10 Принятие решений о системе аддитивного производства

Принятие решений по устранению аномалий и отражение этих решений в работе умного станка аддитивного производства имеют решающее значение для устойчивого повышения эффективности процесса аддитивного производства.

SAMS должна иметь механизм повышения эксплуатационных характеристик для реализации возможности автономного реагирования на аномалии.

Пример — Изменение параметров для снижения вероятности коробления/искажения, проверка измененного набора параметров, передача измененных наборов параметров для снижения вероятности коробления/искажения в умный станок для аддитивного производства.

6.2.11 Обновление данных рабочего процесса аддитивного производства

Необходимо проводить обновление данных рабочего процесса аддитивного производства на основе результатов обработки данных (см. 6.2.5), мониторинга (см. 6.2.7), прогнозирования (см. 6.2.8), диагностики (см. 6.2.9) и принятия решений (см. 6.2.10) о процессе и системе аддитивного производства.

SAMS должна иметь средства для быстрой и систематической адаптации к изменению данных рабочего процесса аддитивного производства.

Пример — Изменение параметров для уменьшения вероятности деформации/искажения, изменение ориентации детали.

6.2.12 Устранение аномалий

6.2.12.1 Общие положения

Устранение аномалий включает в себя:

- a) мониторинг аномалий во время работы;
- b) прогнозирование аномалий и диагностику их причин;
- c) принятие решений о соответствующих контрмерах;
- d) отражение решений о контрмерах в системе аддитивного производства.

Для мониторинга, диагностики, прогнозирования и принятия решений может быть использована расширенная обработка данных. Допускается использование интеллектуальных технологий, таких как Интернет вещей (ИВ), для оказания поддержки путем доступа к данным из других источников.

6.2.12.2 Аномалии умного станка для аддитивного производства

В ходе процесса аддитивного производства возможно возникновение проблем с компонентами умного станка для аддитивного производства, таких как неподходящая подача сырья/вспомогательного материала, нарушение траектории, недостаточная подача энергии от источника активации.

SAMS должна иметь средства для повышения эксплуатационных характеристик процесса аддитивного производства путем устранения аномалий в работе умного станка для аддитивного производства.

Примечание — Более подробная информация об аномалиях умного станка для аддитивного производства приведена в С.2.

6.2.12.3 Аномалии сырья/вспомогательного материала

В ходе процесса аддитивного производства возможно возникновение проблем, связанных с микроструктурой сырья/вспомогательного материала: механических (например, прочность и пластичность), химических (например, энтальпия реакции и примеси), оптических (например, поглощение и отражательная способность), проблем, связанных с реологическими свойствами (например, поверхностное натяжение и вязкость плавления).

SAMS должна иметь средства для повышения эксплуатационных характеристик процесса аддитивного производства путем устранения аномалий сырья/вспомогательного материала.

Примечание — Более подробная информация об аномалиях сырья/вспомогательного материала для аддитивного производства приведена в С.3.

6.2.12.4 Аномалии заготовки

В ходе процесса аддитивного производства возможно возникновение проблем, связанных с качеством заготовки, таких как ненадлежащая шероховатость поверхности, геометрическая неточность, коробление/деформация, комкование, недостаточное соединение между слоями.

SAMS должна иметь средства для повышения эксплуатационных характеристик процесса аддитивного производства за счет устранения аномалий заготовки.

Примечание — Более подробная информация об аномалиях заготовки приведена в С.4.

6.2.12.5 Аномалии окружающей среды и безопасности

В ходе процесса аддитивного производства возможно возникновение проблем, связанных с окружающей средой и безопасностью, таких как взрывы и чрезмерное потребление энергии. Воздействие на окружающую среду с целью устранения соответствующих аномалий зависит от характера процесса и оборудования и не рассматривается подробно в настоящем стандарте.

SAMS должна иметь средства для повышения эксплуатационных характеристик процесса аддитивного производства за счет устранения аномалий окружающей среды и безопасности.

Примечание — Более подробная информация об аномалиях окружающей среды и безопасности аддитивного производства приведена в С.5.

6.3 Технические требования автономной координации с устройствами цеха

6.3.1 Общие положения

В настоящем подразделе описываются технические требования SAMS с точки зрения возможностей автономной координации с SFDS.

Примечание — Возможности автономной координации с устройством цеха описаны в ПНСТ 854—2023 (подраздел 10.2).

6.3.2 Координация между устройствами цеха

В среде умного производства система SAMS должна быть интегрирована с производственным цехом и не должна работать как автономное устройство. Координация между устройствами цеха (например, с умным станком для аддитивного производства, устройством постобработки) предполагает автоматическое взаимодействие между ними на основе состояния каждого устройства и технологического плана для повышения эффективности производства.

В технологической цепочке, включающей аддитивное производство, постобработка во многом влияет на производственные возможности. С точки зрения работы цеха необходимо повысить не только эксплуатационные характеристики каждого станка, но и эффективность взаимодействия между ними.

SAMS должна иметь средства координации между устройствами цеха.

Примеры

1 Умный станок для аддитивного производства, робот, центр обработки — это пример автоматизированного цеха, в котором устройства координированы.

2 Загрузка сырья в умный станок для аддитивного производства, выгрузка готовой продукции и запрос отделочных работ после сборки — примеры взаимодействия с производственным цехом.

6.4 Технические требования автономного взаимодействия с системой управления цехом

6.4.1 Общие положения

В настоящем подразделе описываются технические требования к SAMS с точки зрения возможностей автономного взаимодействия с системой управления цехом.

Примечание — Возможности автономного взаимодействия с системой управления цехом описаны в ПНСТ 854—2023 (подраздел 10.3).

6.4.2 Получение согласованного плана процесса

Данное техническое требование подразумевает получение согласованного технологического плана, в котором учитывается оптимизация работы цеха.

Примечание — Планирование процессов определяется в ГОСТ Р ИСО 18629-1 как анализ и проектирование последовательностей процессов и требований к ресурсам, необходимым для производства товаров и услуг.

Для согласования могут быть объединены данные, полученные от умного станка для аддитивного производства, системы CAx и человека.

Увеличение возможностей процесса является одной из ключевых проблем в области аддитивного производства. Работа цеха по согласованному технологическому плану может способствовать повышению эффективности.

SAMS должна иметь средства для получения согласованного плана процесса.

Пример — *Элементы данных плана процесса: номер задания, номер продукта, время начала, количество продукта, время окончания.*

6.4.3 Предоставление данных процесса аддитивного производства для работы цеха

Для корректировки согласованного плана технологического процесса данные об устройствах цеха, работе цеха, процессе аддитивного производства должны быть переданы организациям, осуществляющим управление цехом.

SAMS должна иметь средства для передачи полученных и обработанных данных, связанных с процессом аддитивного производства (см. 6.2.5—6.2.10), организациям, осуществляющим управление цехом, для поддержки обновления согласованного плана процесса.

Пример — Данные, которые могут быть переданы: состояние умного станка для аддитивного производства (например, холостой ход, работа, режим ожидания, неисправность) и датчиков (например, пирометр, ПЗС-камера, термопара), мониторинг, прогнозирование, результаты диагностики аномалий.

6.4.4 Интероперабельность действий с данными

Интероперабельность предполагает способность различных систем обработки данных и программных приложений взаимодействовать, обмениваться данными и использовать полученные данные. Ключевой фактор интероперабельности — независимое от платформы предоставление данных устройствами аддитивного производства организациям, которые осуществляют управление цехом.

SAMS должна иметь средства независимости от конкретной платформы.

6.5 Технические требования взаимодействия с рабочим процессом аддитивного производства

6.5.1 Общие положения

В настоящем подразделе описываются технические требования к SAMS с точки зрения возможностей взаимодействия с рабочим процессом аддитивного производства.

Примечания

1 Возможности взаимодействия с аспектами жизненного цикла описаны в ПНСТ 854—2023 (подраздел 10.4).

2 Термин «аспект жизненного цикла», определенный в ПНСТ 854—2023, соответствует термину «рабочий процесс аддитивного производства» в области аддитивного производства.

6.5.2 Взаимодействие с рабочим процессом аддитивного производства

Рабочий процесс и система аддитивного производства должны быть связаны для обмена данными. Это взаимодействие подразумевает передачу данных, относящихся к системе аддитивного производства, в рабочий процесс аддитивного производства и передачу выходных данных рабочего процесса аддитивного производства в систему аддитивного производства.

Обновление данных рабочего процесса необходимо не только для повышения производительности процесса аддитивного производства, но и для поддержки оптимизации всего рабочего процесса аддитивного производства.

SAMS должна иметь средства взаимодействия с рабочим процессом аддитивного производства.

6.5.3 Интероперабельность взаимодействия с рабочим процессом аддитивного производства

Данные от устройств производственного цеха должны передаваться в рабочий процесс аддитивного производства независимым от платформы способом. В противном случае рабочий процесс аддитивного производства должен иметь отдельные протоколы связи для всех устройств цеха, поддерживающих разные протоколы.

SAMS должна иметь механизм независимости от конкретной платформы при взаимодействии с рабочим процессом аддитивного производства.

6.6 Технические требования взаимодействия с уровнями иерархии

6.6.1 Общие положения

В настоящем подразделе описываются технические требования к SAMS с точки зрения возможностей взаимодействия с уровнями иерархии.

Примечание — Возможности взаимодействия с уровнем иерархии описаны в ПНСТ 854—2023 (подраздел 10.5).

6.6.2 Взаимодействие с уровнем иерархии

Уровень иерархии и устройства цеха, включая систему аддитивного производства, должны быть связаны. Это способствует сокращению времени для отражения данных с уровня иерархии в процесс аддитивного производства и обновлению данных уровня иерархии с учетом процесса аддитивного производства и состояния цеха.

SAMS должна иметь механизм взаимодействия с уровнями иерархии.

6.6.3 Интероперабельность взаимодействия с уровнем иерархии

Передача данных от устройств цеха на уровень иерархии должна осуществляться независимым от платформы способом. В противном случае на уровне иерархии должны быть отдельные протоколы связи для всех устройств цеха, поддерживающих разные протоколы.

SAMS должна иметь механизм независимости от конкретной платформы при взаимодействии с уровнем иерархии.

6.7 Технические требования взаимодействия с человеком

6.7.1 Общие положения

В настоящем подразделе описываются технические требования к SAMS с точки зрения возможностей взаимодействия с человеком.

Примечание — Возможности взаимодействия с заинтересованными сторонами описаны в ПНСТ 854—2023 (подраздел 10.6).

6.7.2 Взаимодействие с человеком

Взаимодействие устройств цеха, включая систему аддитивного производства, с человеком предполагает прием данных от человека и передачу данных, сгенерированных устройствами цеха, человеку.

SAMS должна иметь механизм для взаимодействия с человеком.

Пример — Передача информации о рабочем состоянии оператору (например, передача визуализированных результатов диагностики комкования поверхности через UIS), процесс постобработки в механическом цехе аддитивного производства (например, извлечение детали, выполняемое человеком).

6.7.3 Интероперабельность взаимодействия с человеком

Передача данных от устройств цеха человеку должна осуществляться независимым от платформы способом. В противном случае возникнет необходимость в отдельных интерфейсах для связи с различными устройствами цеха.

SAMS должна иметь механизм независимости от конкретной платформы при взаимодействии с человеком.

7 Типовая архитектура CPSMT для аддитивного производства

На рисунке 2 представлена типовая архитектура CPSMT для аддитивного производства на основе типовой архитектуры CPSMT в соответствии с ПНСТ 854—2023.

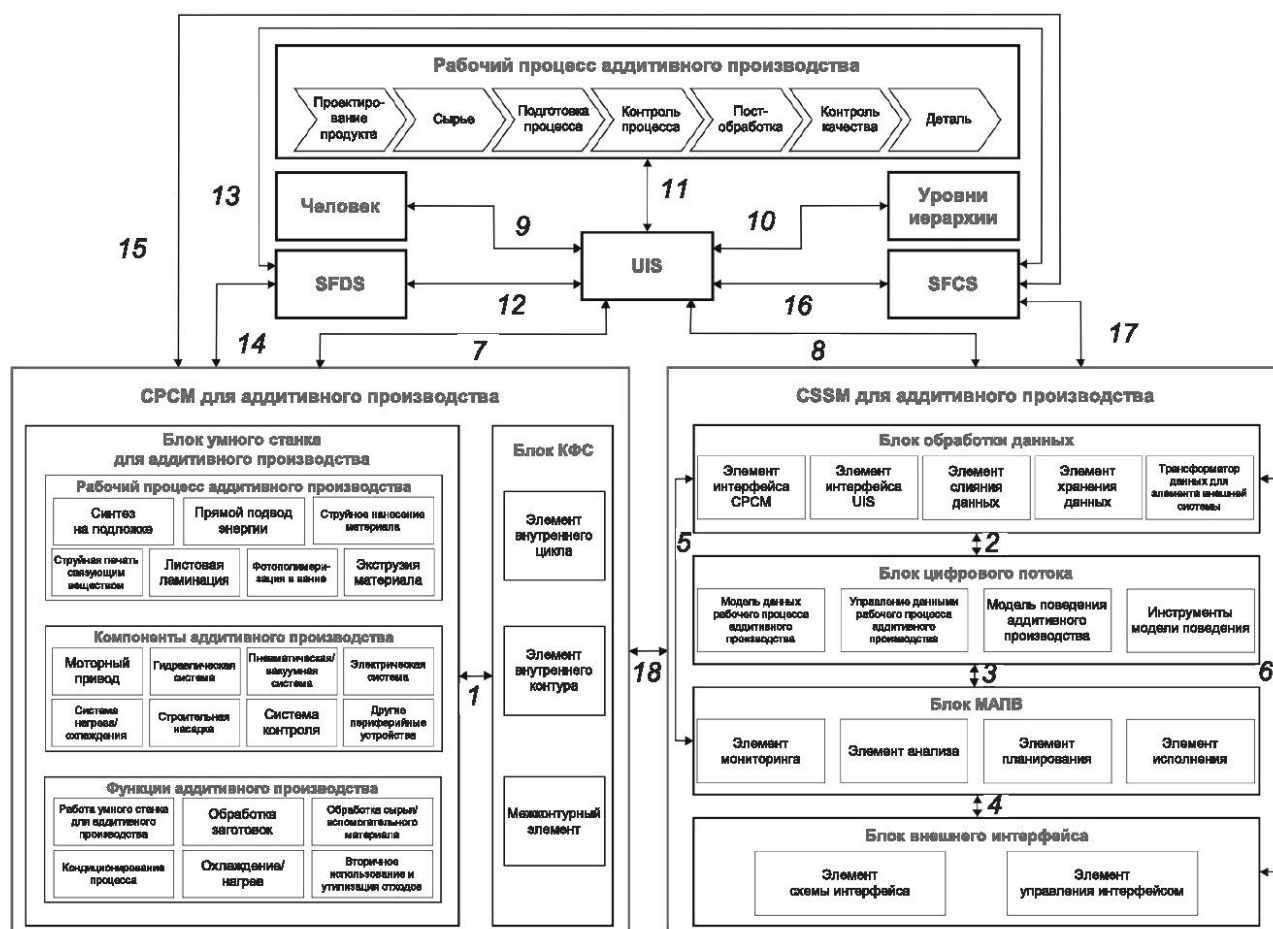
Структура соответствует следующим положениям:

- первичная система CPSMT для аддитивного производства состоит из CPCM и CSSM. Основной функцией первичной системы является автономное устранение аномалий умного станка (см. ПНСТ 854—2023, подраздел 10.1);
- ассоциированная система CPSMT для аддитивного производства состоит из системы цеховых устройств (SFDS), системы управления цехом (SFCS) и системы единого интерфейса (UIS). SFDS и SFCS имеют возможности, определенные в ПНСТ 854—2023 (раздел 10);
- через UIS CPSMT для аддитивного производства взаимодействует с внешними объектами, например оператором, аспектом жизненного цикла и уровнем иерархии (см. ПНСТ 854—2023, подразделы 10.4—10.6).

По сравнению с типовой архитектурой для субтрактивного производства, указанной в ПНСТ 855—2023:

- CPCM для аддитивного производства отличается от умного станка для аддитивного производства, который рассматривается с трех точек зрения: процесс аддитивного производства, компонент аддитивного производства и функции аддитивного производства;
- CSSM для аддитивного производства отличается от блока цифрового потока, который состоит из модели данных рабочего процесса, управления данными рабочего процесса, модели поведения аддитивного производства и механизма модели поведения;
- аспект жизненного цикла аддитивного производства отличается от рабочего процесса аддитивного производства, который состоит из проектирования продукта, сырья, подготовки процесса, контроля процесса, постобработки, контроля качества и детали.

Требования к функциональным блокам и элементам CPCM и CSSM для аддитивного производства, а также требования к интерфейсу CPSMT для аддитивного производства определены в разделах 8—10.



1 — обмен данными между блоком умного станка для аддитивного производства и блоком КФС; 2 — обмен данными между блоком обработки данных и блоком цифрового потока; 3 — обмен данными между блоком цифрового потока и блоком МАРВ; 4 — обмен данными между блоком МАРВ и блоком внешнего интерфейса; 5 — обмен данными между блоком обработки данных и блоком МАРВ; 6 — обмен данными между блоком обработки данных и блоком внешнего интерфейса; 7 — обмен данными между CPCM и UIS; 8 — обмен данными между CSSM и UIS; 9 — обмен данными между человеком и UIS; 10 — обмен данными между уровнем иерархии и UIS; 11 — обмен данными между рабочим процессом и UIS; 12 — обмен данными между SFDS и UIS; 13 — обмен данными между SFDS и SFCS; 14 — обмен данными между SFDS и CPCM; 15 — обмен данными между CPCM и SFCS; 16 — обмен данными между UIS и SFCS; 17 — обмен данными между SFCS и CSSM; 18 — обмен данными между CPCM и CSSM

Рисунок 2 — Типовая архитектура CPSMT для аддитивного производства

8 CPCM с функциональной точки зрения

8.1 Общие положения

В настоящем разделе определен набор требований к составным элементам CPCM для аддитивного производства.

CPCM для аддитивного производства должна состоять:

- из блока умного станка для аддитивного производства;
- блока КФС (см. 8.3).

Конкретная конфигурация структуры CPCM и связанных с ней элементов данных должна определяться в зависимости от цели реализации.

Примечание — Функциональность CPCM соответствует типовой архитектуре CPSMT (см. ПНСТ 854—2023, раздел 7), но адаптирована к характеристикам аддитивного производства.

8.2 Блок умного станка для аддитивного производства

8.2.1 Общие положения

Блок умного станка для аддитивного производства — это физическая система, мониторинг и анализ которой необходимо проводить и для которой принимаются решения о возможных аномалиях.

Блок умного станка для аддитивного производства следует рассматривать с точки зрения функции аддитивного производства, процесса аддитивного производства и компонента аддитивного производства.

8.2.2 Блок умного станка с точки зрения функции аддитивного производства

Функции аддитивного производства включают в себя:

- операции умного станка для аддитивного производства (процессы сборки, движения, управления);
- кондиционирование процесса;
- обработку заготовок;
- обработку сырья/вспомогательного материала;
- вторичное использование и утилизацию отходов;
- охлаждение/нагрев.

Примечание — По сравнению с функцией умного станка для субтрактивного производства (см. ПНСТ 855—2023, раздел 7), два атрибута станка заменяются процессами сборки/движения и обработки сырья/вспомогательного материала из-за различия в методе производства.

8.2.3 Блок умного станка с точки зрения процесса аддитивного производства

С точки зрения процесса аддитивного производства, согласно ГОСТ Р 57558, категории процессов включают:

- a) струйную печать связующим веществом;
- b) прямой подвод энергии и материала;
- c) экструзию материала;
- d) струйное нанесение материала;
- e) синтез на подложке;
- f) листовую ламинацию;
- g) фотополимеризацию в ванне.

Определения данных процессов приведены в ГОСТ Р 57558.

8.2.4 Блок умного станка с точки зрения компонента аддитивного производства

Компоненты аддитивного производства подразделяют (см. [1]):

- a) на моторный привод;
- b) гидравлическую систему;
- c) пневматическую/вакуумную систему;
- d) электрическую систему;
- e) систему нагрева/охлаждения;
- f) сопло;
- g) систему управления;
- h) другие периферийные устройства.

Примечания

1 По сравнению с группой компонентов умного станка, описанной в [2], добавлено сопло, а смазка и система удаления стружки исключены. Это связано с различием в методе производства.

2 Физические компоненты блока умного станка для аддитивного производства возможно сгруппировать по процессам и функциям аддитивного производства.

Примеры компонентов с точки зрения функции аддитивного производства для процесса синтеза на подложке:

- для процесса сборки — источник энергии (например, лазер, электронный луч) в компоненте вида «сопло»;
- для движения сборки — сервопривод, сборочная платформа в компоненте вида «моторный привод»;

- для управления умным станком:
 - трансформатор напряжения, источник питания, система освещения, преобразователь частоты, реле в компоненте вида «электрическая система»;
 - система числового управления, программируемый логический контроллер в компоненте вида «система управления»;
 - дисплей, датчики, декодер/энкодер, камера, ХСТ, сенсорный датчик в компоненте вида «другие периферийные устройства»;
- для кондиционирования процесса:
 - система циркуляции инертного газа, вакуумный насос в компоненте вида «пневматическая/вакуумная система»;
 - нагревательный элемент для контроля температуры в камере, лазерный нагревательный/охлаждающий элемент, нагревательный/охлаждающий элемент зеркала и другие в компоненте вида «система нагрева/охлаждения»;
- для обработки заготовок:
 - устройство смены поддонов, робот для перемещения, гидравлическое зажимное устройство в компоненте вида «гидравлическая система»;
 - пневматическое зажимное устройство в компоненте вида «пневматическая/вакуумная система»;
 - электроразрядная машина для проволоки, ленточная пила в компоненте вида «другие периферийные устройства»;
- для обработки сырья/вспомогательного материала:
 - двигатель в устройстве для распределения порошка, системе подачи порошка, в компоненте вида «моторный привод»;
 - контейнер для сырья в компоненте вида «другие периферийные устройства»;
 - для вторичного использования и утилизации отходов:
 - система выпуска воздуха, в компоненте вида «пневматическая/вакуумная система»;
 - система удаления вспомогательного материала из детали и платформы сборки, система удаления лишнего сырья из камеры сборки в компоненте вида «другие периферийные устройства»;
- для охлаждения и нагрева:
 - нагревательный элемент платформы, рамы, система охлаждения корпуса управления в компоненте вида «система нагрева/охлаждения».

8.2.5 Аномалии блока умного станка для аддитивного производства

Эксплуатационные показатели умного станка для аддитивного производства могут снизиться из-за ухудшения механических свойств или неисправности, согласно 6.2.12.2.

Производительность также может ухудшаться из-за аномалий сырья/вспомогательного материала, заготовки, а также аномалий, связанных с окружающей средой и безопасностью, в соответствии с 6.2.12.3—6.2.12.5.

На уровне возможностей СРСМ для аддитивного производства аномалии в работе аддитивного производства должны устраняться следующим образом:

- функционально — подфункция управления умным станком и взаимодействие умного станка с блоком киберфизической системы должны устранять аномалии в соответствии с техническими требованиями, приведенными в 6.2.12.2—6.2.12.5;
- компонентно — контроллер (включая ЧПУ и программируемое логическое управление) вместе с исполнительными механизмами должны устранять аномалии;
- с точки зрения процесса — устранение аномалий должно применяться ко всем типам процессов аддитивного производства, включая струйную печать связующим веществом, прямой подвод энергии, экструзию материала, струйное нанесение материала, синтез на подложке, листовую ламинацию, фотополимеризацию в ванне.

Примечание — Другие возможные аномалии описаны в приложении С.

Подфункция управления умным станком должна:

- управлять работой и другими функциями блока умного станка для аддитивного производства;
- получать программу обработки деталей от UIS и управлять ею для выполнения процесса аддитивного производства в соответствии с техническими требованиями, приведенными в 6.5.2 и 6.7.2;

- генерировать сигналы состояния с помощью датчиков и модулей ввода—вывода в соответствии с техническими требованиями, указанными в 6.2.4;
- передавать собранные данные в блок КФС, CSSM и UIS в соответствии с техническими требованиями, приведенными в 6.2, 6.5;
- получать управляющие команды от блока КФС в соответствии с техническими требованиями, приведенными в 6.2.2, 6.2.3 и 6.2.10;
- координировать смежные устройства цеха в соответствии с техническими требованиями, приведенными в 6.3.2.

8.3 Блок киберфизической системы

8.3.1 Общие положения

Блок КФС контролирует и координирует блок умного станка для аддитивного производства непосредственно с CSSM, SFDS, SFCS и косвенно с внешними объектами (с рабочим процессом аддитивного производства, уровнями иерархии и человеком) через UIS.

Блок КФС позволяет CPCM реализовать две из шести возможностей CPSMT:

- автономную работу с аномалиями путем взаимодействия с датчиками, ядром числового управления/программируемым логическим контроллером, а также UIS и CSSM в режиме жесткого/мягкого реального времени;
- автономное взаимодействие с SFCS.

Примечание — Координация с SFDS осуществляется в системе ЧПУ, программируемом логическом контроллере, как описано в 8.2.5.

Для выполнения этих задач блок КФС должен состоять:

- из элемента внутреннего цикла;
- элемента внутреннего контура;
- межконтурного элемента.

Элемент внутреннего цикла — это часть блока КФС, которая обнаруживает и устраняет аномалии блока умного станка в режиме жесткого реального времени.

Элемент внутреннего контура — часть блока КФС, которая генерирует управляющие команды для блока умного станка на основе данных от CSSM в режиме мягкого реального времени.

Межконтурный элемент — это часть блока КФС, которая генерирует управляемые событиями управляющие команды для блока умного станка на основе данных из SFCS для совместной работы.

Примечание — Схема управления КФС означает, что все процессы и функции аддитивного производства управляются с помощью функций блока умного станка для аддитивного производства и трех элементов в блоке КФС.

Функциональные возможности аддитивного производства в блоке умного станка для аддитивного производства координируются подфункцией управления умным станком.

Физическое развертывание блока КФС должно быть определено на этапе реализации. Блок КФС может находиться в контроллере и/или вне контроллера блока умного станка для аддитивного производства.

8.3.2 Элемент внутреннего цикла

Элемент внутреннего цикла — это часть блока КФС, которая обнаруживает и устраняет аномалии блока умного станка в режиме жесткого реального времени.

Элемент внутреннего цикла должен работать в соответствии с техническими требованиями, указанными в 6.2.2. Для этого элемент внутреннего цикла должен иметь следующую функциональность:

- прием данных от компонентов аддитивного производства (например, датчика и контроллера) и UIS (например, программы обработки деталей, файла трехмерного моделирования) для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.2.4, 6.5.2, 6.6.2 и 6.7.2;
- определение текущего состояния CPCM для аддитивного производства на основе данных от блока умного станка для аддитивного производства;
- сравнение текущего состояния блока умного станка для аддитивного производства с базовым состоянием;
- генерацию управляющих команд для улучшения работы блока умного станка для аддитивного производства;

- передачу сгенерированных данных в UIS для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.5.2, 6.6.2 и 6.7.2;
- передачу сгенерированной управляющей команды в блок умного станка для аддитивного производства для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.2.2 и 6.2.10.

Примечание — Примером использования элемента внутреннего цикла является адаптация стратегий обработки слоев с учетом тепловых условий при селективном лазерном спекании.

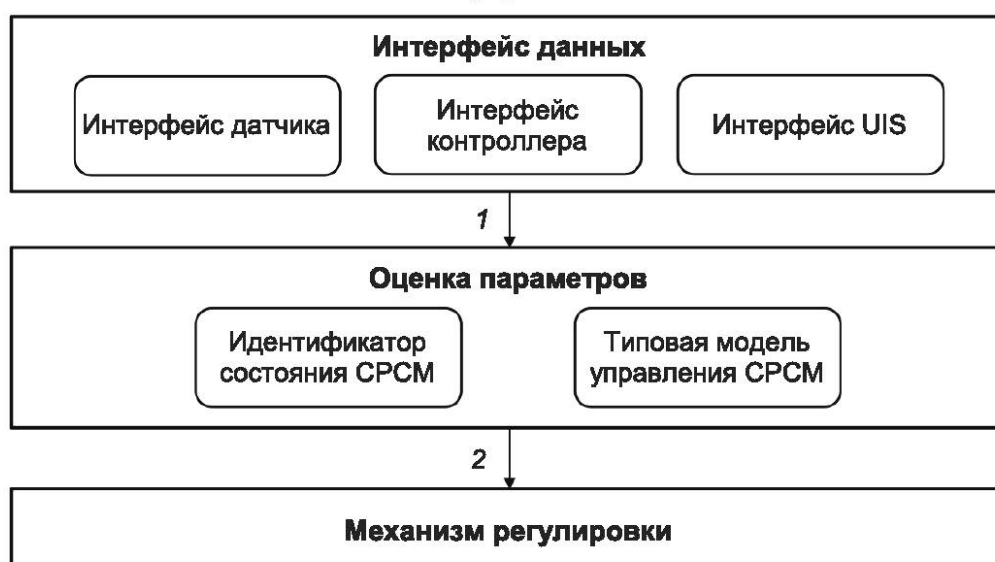
Структура элемента внутреннего цикла, показанная на рисунке 3, состоит:

- из компонента интерфейса данных;
- компонента оценки параметров;
- компонента механизма регулировки.

Примечание — Структура аналогична структуре, описанной в ПНСТ 855—2023 (пункт 7.3.2), и отражает характеристики аддитивного производства.

Компонент интерфейса данных должен соответствовать техническим требованиям, указанным в 6.2.4, 6.5.2, 6.6.2 и 6.7.2. Он должен состоять из интерфейсов данных контроллера, датчика и UIS.

Элемент внутреннего цикла



1 — передача собранных данных для оценки параметров; 2 — передача сгенерированных данных из компонента оценки параметров в механизм регулировки

Рисунок 3 — Функциональная структура элемента внутреннего цикла

Параметры, полученные из интерфейса данных контроллера, зависят от процесса аддитивного производства.

Примеры

1 В случае экструзии материала: высота слоя, температура сопла, скорость подачи печати, ширина слоя, скорость охлаждения, температура стола/комнаты, влажность;

2 В случае фотополимеризации в ванне: толщина слоя, интенсивность света, расстояние между штрихами, ширина лезвия, глубина отверждения, температура печатной смолы;

3 В случае струйной печати связующим веществом: время схватывания связующего вещества, время высыхания, мощность эмиттера, заданная температура слоя, толщина слоя, скорость нанесения следующего слоя, коэффициент мощности нагревателя;

4 В случае струйного нанесения материала: высота слоя, толщина слоя, температура/интенсивность света дозирующего устройства, скорость подачи дозирующего устройства, влажность, температура в камере;

5 В случае синтеза на подложке: энергия источника тепла, подача сканирования, размер пятна сканирования, температура предварительного нагрева камеры, давление в камере, уровень кислорода

в камере, температура рабочей платформы, толщина слоя, высота слоя, коэффициенты масштабирования, скорость перекрытия.

6 В случае прямого подвода энергии: энергия источника тепла, подача сканирования, размер пятна сканирования, температура предварительного нагрева камеры, давление в камере, уровень кислорода в камере, скорость потока порошка, защитный газ.

7 В случае листовой ламинации: скорость валов ламинатора, амплитуда вибрации валов ламинатора, сила зажима, сила натяжения, толщина слоя, высота слоя, скорость вращения/укладки материала.

Данные датчика могут быть различными, например данные камеры (ИК, оптической), данные фотодиода, данные пирометра, данные термопары, данные тензодатчика.

Данные UIS включают программу обработки деталей, файл 3D-моделирования.

Компонент оценки параметров должен оценивать состояние процесса аддитивного производства на основе данных из компонента взаимодействия с данными. Разница между расчетным состоянием и эталонным состоянием определяется компонентом оценки параметров в соответствии с техническими требованиями, приведенными в 6.2.7 и 6.2.8.

Пример — Расчетные параметры процесса синтеза на подложке включают геометрию ванны расплава, распределение термической ванны расплава, остаточное напряжение, помехи сервопривода.

Компонент механизма регулировки должен генерировать серию входных значений управления на основе выходных данных компонента оценки параметров и передавать их контроллеру для соответствия техническим требованиям, приведенным в 6.2.2 и 6.2.10.

Пример — Управляющий вход для процесса синтеза на подложке включает мощность лазера, подачу сканирования, сервоуправление положением.

8.3.3 Элемент внутреннего контура

Элемент внутреннего контура — часть блока КФС, которая генерирует управляющие команды для блока умного станка на основе данных от CSSM в режиме мягкого реального времени.

Элемент внутреннего контура должен соответствовать техническим требованиям, указанным в 6.2.2. Для этого элемент внутреннего контура должен иметь следующую функциональность:

- прием данных управляющих команд от CSSM для аддитивного производства;
- прием от блока умного станка для аддитивного производства информации о состоянии контроллера для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.2.4;
- преобразование управляющих команд для блока умного станка для аддитивного производства;
- принятие решения о возможности выполнения команды на основании данных блока умного станка для аддитивного производства;
- генерацию команды переопределения для блока умного станка для аддитивного производства;
- передачу сгенерированной команды в блок умного станка для аддитивного производства для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.2.3 и 6.2.10.

Пример — Изменение опорной конструкции для решения проблем неподходящего теплового распределения или структурной стабильности во время процесса аддитивного производства посредством модификации программы обработки деталей.

Структура элемента внутреннего контура (см. рисунок 4) состоит:

- a) из интерфейса CSSM;
- b) интерфейса блока умного станка для аддитивного производства;
- c) интерпретатора CSSM для блока умного станка для аддитивного производства;
- d) средства проверки на переопределение;
- e) генератора команды переопределения.

Примечание — Структура аналогична структуре, описанной в ПНСТ 855—2023 (пункт 7.3.3), и отражает характеристики аддитивного производства.



Рисунок 4 — Функциональная структура элемента внутреннего контура

8.3.4 Межконтурный элемент

Межконтурный элемент — это часть блока КФС, которая генерирует управляемые событиями управляющие команды для блока умного станка на основе данных из SFCS для совместной работы.

Пример — Варианты использования SFCS: перераспределение ресурсов или устройств цеха из-за отказа и задержки некоторых устройств цеха, специальные запросы от системы управления производством, мониторинг характеристик цеха в соответствии с графиком, диагностика причин проблем в цехе.

Межконтурный элемент должен соответствовать техническим требованиям, указанным в 6.4.2. Для этого элемент внутреннего контура должен иметь следующую функциональность:

- прием выходных данных (например, план распределения задач) от SFCS;
- прием от блока умного станка для аддитивного производства информации о состоянии контроллера для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.2.4;
- преобразование команд управления для блока умного станка для аддитивного производства;
- принятие решения о том, может ли предложенная команда быть размещена, на основе данных из блока умного станка для аддитивного производства;
- генерирование команд переопределения для блока умного станка для аддитивного производства;
- передача сгенерированной команды в блок умного станка для аддитивного производства для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.4.3.

Структура межконтурного элемента, показанная на рисунке 5, состоит:

- а) из интерфейса SFCS;
- б) интерфейса блока умного станка для аддитивного производства;
- с) интерпретатора SFCS для блока умного станка для аддитивного производства;
- д) средства проверки на переопределение;
- е) генератора команд переопределения.

Примечание — Структура аналогична структуре, описанной в ПНСТ 855—2023 (пункт 7.3.4), и отражает характеристики аддитивного производства.



Рисунок 5 — Функциональная структура межконтурного элемента

9 CSSM с функциональной точки зрения

9.1 Общие положения

В настоящем разделе определен набор требований к составным элементам CSSM для аддитивного производства, определенных на рисунке 2.

CSSM для аддитивного производства должна состоять:

- а) из блока обработки данных;
- б) блока цифрового потока;

- с) блока МАПВ;
- д) блока внешнего интерфейса.

Примечание — Функциональность CSSM соответствует эталонной архитектуре CPSMT (см. ПНСТ 854—2023, раздел 7) и соответствует техническим требованиям аддитивного производства.

Конкретная конфигурация структуры CSSM и связанных с ней элементов данных должна определяться в зависимости от цели реализации.

9.2 Блок обработки данных

9.2.1 Общие положения

Блок обработки данных включает в себя набор функций для использования полученных данных в блоке цифрового потока, блоке МАПВ и блоке внешнего интерфейса. Блок обработки данных является основой работы CSSM.

Блок обработки данных должен состоять:

- из элемента интерфейса CPCM;
- элемента интерфейса UIS;
- элемента слияния данных;
- элемента хранения данных;
- элемента преобразователя данных для внешних объектов.

9.2.2 Элемент интерфейса CPCM

Элемент интерфейса CPCM получает данные о состоянии процесса аддитивного производства от датчиков и контроллера.

Элемент интерфейса CPCM должен соответствовать техническим требованиям, указанным в 6.2.4. Для этого элемент интерфейса CPCM должен иметь следующую функциональность:

- извлечение данных из CPCM (данные контроллера/датчика);
- передачу полученных данных элементу слияния данных.

Примечания

1 Примеры элементов данных, полученных от контроллера для каждого типа процесса аддитивного производства приведены в 8.3.2.

2 Пример данных датчика приведен в 8.3.2.

3 Настоящий стандарт не определяет промышленные протоколы связи для интерфейса CPCM (например, Profibus, Modbus и Ethernet).

9.2.3 Элемент интерфейса UIS

Элемент интерфейса UIS получает данные от внешних объектов через UIS.

Элемент интерфейса UIS должен соответствовать техническим требованиям, указанным в 6.2.4, 6.5.2, 6.6.2 и 6.7.2. Для этого элемент интерфейса UIS должен иметь следующую функциональность:

- прием данных от рабочего процесса аддитивного производства (например, программу обработки деталей) через UIS для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.5.2;
- прием данных от уровня иерархии через UIS для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.6.2;
- прием данных ручного ввода для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.6.2;
- передачу полученных данных элементу слияния данных.

Примечания

1 Рабочий процесс аддитивного производства связывает данные рабочего процесса для достижения основных целей аддитивного производства с точки зрения Индустрии 4.0, таких как сокращение показателя time to market и персонализированное производство.

2 В настоящем стандарте не рассматриваются протоколы промышленной связи для интерфейса UIS (например, Profibus, Modbus и Ethernet).

9.2.4 Элемент слияния данных

Элемент слияния данных объединяет несколько источников данных из элементов интерфейса CPCM и интерфейса UIS для получения согласованных, точных и содержательных данных.

Элемент слияния данных должен соответствовать техническим требованиям, указанным в 6.2.5.

Данные, которые прошли процесс слияния данных, должны соответствовать модели данных рабочего процесса аддитивного производства в блоке цифрового потока для использования организован-

ных данных в блоке цифрового потока и блока МАПВ. Для этого элемент слияния данных должен иметь следующую функциональность:

- функцию очистки данных:
 - а) для поиска и исправления (или удаления) поврежденных или неточных элементов данных в собранных данных;
 - б) для выявления неполных, неточных или нерелевантных частей данных;
 - с) для замены, изменения или удаления данных;
- функцию форматирования данных для организации очищенных данных в соответствии со спецификацией, которая определяется моделью данных рабочего процесса аддитивного производства в блоке цифрового потока;
- функцию группировки данных для группировки элементов данных, связанных с каждой аномалией;
- функцию передачи вывода:
 - а) в блок хранения данных;
 - б) в преобразователь данных для внешнего интерфейса;
 - с) управлению данными рабочих процессов аддитивного производства в блоке цифрового потока.

Пример — Примеры использования элемента слияния данных:

- а) хранилище, предварительная обработка, интеграция и управление большими данными в устойчивом и умном аддитивном производстве;**
- б) система управления совместной работой по всему жизненному циклу аддитивного производства и цепочкам ценностей;**
- с) предварительная обработка и очистка данных в форме тепловой карты в крупномасштабном аддитивном производстве.**

9.2.5 Элемент хранения данных

В элементе хранения данных хранятся результаты работы CSSM, включая результаты объединения данных, мониторинга, анализа и планирования, а также модель поведения в блоке цифрового потока.

Элемент хранения данных должен хранить следующие данные и управлять ими:

- обработанные данные из элемента слияния данных (см. 9.2.4);
- выходные данные блока МАПВ (см. 9.4);
- выходные данные модели поведения (см. 9.3.5) в блоке цифрового потока.

9.2.6 Элемент преобразователя данных для внешних объектов

Элемент преобразователя данных для внешних объектов преобразует выходные данные элемента слияния данных в структуру данных в блоке внешнего интерфейса.

Элемент преобразователя данных для внешних объектов должен преобразовывать данные блока обработки данных таким образом, чтобы они соответствовали структуре данных на основе элемента схемы интерфейса (см. 9.5.2) блока внешнего интерфейса. Элемент преобразователя данных для внешних объектов должен соответствовать техническим требованиям, указанным в 6.4.3, 6.4.4, 6.5.2, 6.5.3, 6.6.2, 6.6.3, 6.7.2 и 6.7.3.

Пример — Использование адаптера в MTConnect для преобразования полученных данных в модель данных MTConnect.

9.3 Блок цифрового потока

9.3.1 Общие положения

С точки зрения CPSMT, блок цифрового потока организует данные рабочего процесса аддитивного производства на основе данных, которые прошли процесс слияния данных (см. 9.2.4) в блоке обработки данных. Кроме того, блок цифрового потока предоставляет функции, которые генерируют дополнительные данные в соответствии с техническими требованиями, указанными в 6.2.6.

Примечания

1 По сравнению с элементом внутреннего цикла блок цифрового потока имеет расширенные средства для более углубленной работы с аномалиями.

2 Блок цифрового потока поддерживает мониторинг, анализ, планирование и выполнение структурированным образом в пределах разрешенного режима мягкого реального времени.

Как ключевой фактор персонализированного производства, процесс аддитивного производства должен обновляться в более коротком цикле совместно с работой САХ по сравнению с другими типами производства. Блок цифрового потока способствует этому, предоставляя дополнительные данные с учетом этапа работы, используя данные с других этапов рабочих процессов аддитивного производства в комплексном порядке. Поэтому необходимы модели данных, охватывающие целые фазы рабочего процесса аддитивного производства.

Примечание — Блок цифрового потока отличается от блока цифрового двойника, приведенного в ПНСТ 855—2023: в блоке цифрового потока используются данные со всех этапов рабочего процесса аддитивного производства. В блоке цифрового двойника в основном используются данные об этапе работы (модель данных состояния) и данные обстоятельства (модель данных контекста).

Блок цифрового потока поддерживает устранение аномалий в режиме мягкого реального времени, предоставляя дополнительные данные в блок МАПВ.

Блок цифрового потока должен состоять:

- из модели данных рабочего процесса аддитивного производства;
- элемента управления данными рабочего процесса аддитивного производства;
- модели поведения аддитивного производства;
- механизма модели поведения.

9.3.2 Модель данных рабочего процесса аддитивного производства

9.3.2.1 Общие положения

Модель данных рабочего процесса аддитивного производства следует использовать в качестве формата работы элемента слияния данных.

Модель данных рабочего процесса аддитивного производства должна содержать:

- данные о проектировании продукта;
- данные о сырье/вспомогательном материале;
- данные о подготовке процесса;
- контрольные данные.

Примечание — Постобработка не включена в модель данных рабочего процесса, т. к. она осуществляется с SFCS.

9.3.2.2 Проектирование продукта

В процессе проектирования продукта необходимо осуществлять организацию и управление данными, связанными с проектированием продукта.

Пример — *Файлы и данные 3D-модели: STL, вершины, цвет, обоснование дизайна, требования.*

Примечания

1 Для определения требований, принципов и рекомендаций по проектированию продукта допускается использовать ГОСТ Р 57558.

2 Для управляемого 3D-проектирования допускается использовать ГОСТ Р ИСО 10303-242.

9.3.2.3 Сырье/вспомогательный материал

В процессе обработки сырья/вспомогательного материала необходимо осуществлять организацию и управление данными, связанными со спецификациями сырья/вспомогательного материала, участвующими в производстве продукта.

Пример — *Оптические, химические, физические, реологические, тепловые свойства.*

Подробная информация о свойствах сырья/вспомогательного материала приведена в приложении С.

9.3.2.4 Подготовка процесса

В рабочем процессе необходимо осуществлять организацию и управление данными, связанными с подготовкой процесса, включая параметры процесса, ориентацию детали, распределение вспомогательного материала.

9.3.2.5 Элемент управления процессом

а) Общие положения

Повышение эффективности аддитивного производства может быть достигнуто за счет устранения аномалий в процессе аддитивного производства.

Аномалии, которые необходимо устранять в CPSMT, классифицируются следующим образом:

- аномалии корпуса умного станка для аддитивного производства;
- аномалии сырья/вспомогательного материала;
- аномалии заготовки;
- аномалии окружающей среды и безопасности.

Типы аномалий подробно описаны в приложении С.

Типы аномалий варьируются в зависимости от типа процесса аддитивного производства. Примеры, описанные в настоящем стандарте, относятся к PBF и DED.

б) Аномалии корпуса умного станка для аддитивного производства

Аномалии корпуса умного станка для аддитивного производства (например, неисправности печатающей головки, двигателя подачи) возникают в основном из-за деградации компонентов станка, которые вызывают различные явления, такие как нарушение траектории, неправильное распределение сырья/вспомогательного материала и неправильную подачу энергии.

Примечание — Подробная информация об аномалиях корпуса умного станка для аддитивного производства приведена в С.2.

Для устранения аномалий корпуса умного станка для аддитивного производства данные из CPCM должны быть организованы и обработаны в соответствии с техническими требованиями, указанными в 6.2.12.1.

Примечания

1 Требования к технологическому оборудованию и рабочим параметрам пластиковых деталей при использовании экструзии материала приведены в [3].

2 Требования и методы испытаний для аттестации и повторной аттестации лазерных машин для синтеза металлов на подложке установлены в ГОСТ Р 70240.

в) Аномалии сырья/вспомогательного материала

Аномалии сырья/вспомогательного материала, как правило, обусловлены изменением механических, химических, реологических, оптических, термических свойств.

Примечание — Подробная информация об аномалиях, связанных с сырьем/вспомогательным материалом, приведена в С.3.

Для устранения аномалий сырья/вспомогательного материала данные CPCM должны быть организованы и обработаны в соответствии с техническими требованиями, указанными в 6.2.12.2.

г) Аномалии заготовки

Аномалии заготовки возникают в основном из-за геометрической неточности, ненадлежащей шероховатости поверхности, коробления/перекоса, пористости, комкования, несплавленного материала, недостаточного сцепления между слоями, растрескивания и т. п.

Примечание — Подробная информация об аномалиях заготовки приведена в С.4.

Для устранения аномалий заготовки данные CPCM должны быть организованы и обработаны в соответствии с техническими требованиями, указанными в 6.2.12.3.

д) Аномалии окружающей среды и безопасности

Аномалии окружающей среды происходят в основном из-за неправильного потребления энергии, неподходящего состояния внутренней атмосферы, неправильного повторного использования материалов, превышения количества отходов. Аномалии безопасности происходят, как правило, из-за взрывов, утечек.

Примечание — Подробная информация об аномалиях окружающей среды и безопасности приведена в С.5.

Для устранения аномалий окружающей среды и безопасности данные CPCM должны быть организованы и обработаны в соответствии с техническими требованиями, указанными в 6.2.12.4.

9.3.3 Элемент управления данными рабочего процесса аддитивного производства

Элемент управления данными рабочего процесса аддитивного производства включает в себя:

- а) управление данными, передаваемыми в результате объединения данных, по временным меткам;
- б) предоставление данных в механизм модели поведения (см. 9.3.5) для извлечения дополнительных данных и в блок МАПВ (см. 9.4).

Элемент управления данными рабочего процесса аддитивного производства должен соответствовать техническим требованиям, указанным в 6.2.5. Для этого элемент управления данными рабочего процесса аддитивного производства должен иметь следующую функциональность:

- прием данных от элемента объединения данных;
- сохранение данных из элемента объединения данных по значению временной метки;
- передачу конкретных данных в механизм модели поведения (см. 9.3.5) и блок МАПВ (см. 9.4).

9.3.4 Модель поведения аддитивного производства

Модель поведения представляет собой набор моделей, описывающих поведение процесса аддитивного производства, в соответствии с техническими требованиями, приведенными в 6.2.6 для извлечения дополнительных данных. Для этого модель поведения должна иметь следующую функциональность:

- генерацию дополнительных данных об аномалиях, возникающих в корпусе умного станка для аддитивного производства, сырье/вспомогательном материале, заготовках, окружающей среде и безопасности, труднодоступных непосредственно из блока обработки данных;
- расчет дополнительных данных, используемых в блоке МАПВ;
- запуск в механизме модели поведения (см. 9.3.5) для генерации выходных данных.

9.3.5 Механизм модели поведения

Механизм модели поведения запускает модель поведения с входными данными от элемента управления данными рабочего процесса аддитивного производства (см. 9.3.3) и элемента хранения данных (см. 9.2.5).

Механизм модели поведения должен соответствовать техническим требованиям для извлечения дополнительных данных, указанным в 6.2.6.

Механизм модели поведения должен передавать выходные данные модели поведения:

- в блок МАПВ;
- в элемент хранения данных в блоке обработки данных.

9.4 Блок МАПВ

9.4.1 Общие положения

Блок МАПВ осуществляет мониторинг, анализ, планирование и выполнение действий станка на основе данных и моделей поведения для повышения KPI процесса аддитивного производства, определенных в блоке цифрового потока.

Выходные данные блока МАПВ допускается использовать для обновления данных рабочего процесса аддитивного производства, управляемых в рабочем процессе (например, проектирование 3D-модели, развертывание поддержки, ориентация деталей).

Блок МАПВ должен состоять:

- из элемента мониторинга;
- элемента анализа;
- элемента планирования;
- элемента выполнения.

9.4.2 Элемент мониторинга

Элемент мониторинга вычисляет значения KPI с точки зрения корпуса умного станка для аддитивного производства, сырья/вспомогательного материала, заготовки, окружающей среды и безопасности для обнаружения аномалии за контрольный период времени.

Элемент мониторинга должен соответствовать техническим требованиям, указанным в 6.2.7. Для этого элемент мониторинга должен иметь следующую функциональность:

- генерацию значений KPI в момент текущей работы аддитивного производства с точки зрения корпуса умного станка для аддитивного производства, сырья/вспомогательного материала, заготовки, окружающей среды и безопасности;
- оценку значений KPI на предмет наличия аномалии.

Пример — Измерение распределения тепла в ванне расплава и температуры при синтезе на подложке с помощью камеры и пирометра.

9.4.3 Элемент анализа

Элемент анализа должен иметь следующую функциональность:

- генерацию ожидаемых будущих значений KPI с точки зрения корпуса умного станка для аддитивного производства, сырья/вспомогательного материала, заготовки, окружающей среды и безопасности в соответствии с техническими требованиями, указанными в 6.2.8;

- диагностику причины ненадлежащих значений KPI, полученных в элементе мониторинга, в соответствии с техническими требованиями, указанными в 6.2.9.

Пример — Прогнозирование остаточного напряжения и деформации в порошковом аддитивном производстве, прогнозирование шероховатости поверхности при экструзии материала, диагностика отказов процесса на основе акустической эмиссии при экструзии материала.

9.4.4 Элемент планирования

Элемент планирования должен иметь следующую функциональность:

- переопределение параметров обработки или принятие решения о действиях для улучшения работы аддитивного производства с точки зрения корпуса умного станка, сырья/вспомогательного материала, заготовки, а также окружающей среды и безопасности в соответствии с техническими требованиями, указанными в 6.2.10 и 6.2.11;

- проверку переопределенных данных с помощью симуляции с целью обеспечения возможности «автономной обработки аномалий» в соответствии с техническими требованиями, указанными в 6.2.10 и 6.2.11.

Пример — Оптимизация траектории с точки зрения геометрической точности, времени сборки, использования материала, качества поверхности детали.

9.4.5 Элемент выполнения

Элемент выполнения должен иметь следующую функциональность:

- прием выходных данных от элемента планирования и передачу их в элемент внутреннего контура CPSCM в соответствии с техническими требованиями, указанными в 6.2.10;

- прием выходных данных элемента мониторинга, элемента анализа и элемента планирования и передачу их в элемент хранения данных в блоке обработки данных и блок внешнего интерфейса в соответствии с техническими требованиями, указанными в 6.4.3, 6.4.4, 6.5.2, 6.5.3, 6.6.2, 6.6.3, 6.7.2 и 6.7.3.

Пример — Передача измененного значения параметра мощности лазера в элемент внутреннего контура CPSCM для аддитивного производства.

9.5 Блок внешнего интерфейса

9.5.1 Общие положения

Блок внешнего интерфейса получает данные от блока обработки данных через элемент преобразователя данных для внешних сущностей и элемент хранения данных от блока МАПВ через элемент выполнения и передает данные в SFCS и UIS:

- а) для совместной работы с SFCS;
- б) обмена данными с рабочим процессом аддитивного производства;
- в) обмена данными с уровнем иерархии;
- г) обмена данными с человеком.

Блок внешнего интерфейса должен соответствовать техническим требованиям, указанным в 6.4.3, 6.4.4, 6.5.2, 6.5.3, 6.6.2, 6.6.3, 6.7.2 и 6.7.3.

Блок внешнего интерфейса состоит:

- из элемента схемы интерфейса;
- элемента управления интерфейсом.

9.5.2 Элемент схемы интерфейса

Элемент схемы интерфейса представляет структуру данных в CSSM для совместного использования с системой, например UIS и SFCS.

Элемент схемы интерфейса позволяет UIS и SFCS обращаться к конкретным данным и осуществлять их поиск в CSSM.

Элемент схемы интерфейса должен иметь следующую функциональность:

- управление содержанием CSSM для SFCS и UIS;
- предоставление схемы данных элементу управления интерфейсом.

9.5.3 Элемент управления интерфейсом

Элемент управления интерфейсом управляет данными, полученными от блока обработки данных и блока МАПВ, и передает их в SFCS и UIS.

Элемент управления интерфейсом должен соответствовать техническим требованиям, указанным в 6.4.3, 6.4.4, 6.5.2, 6.5.3, 6.6.2, 6.6.3, 6.7.2 и 6.7.3. Для этого элемент управления интерфейсом должен иметь следующую функциональность:

- взаимодействие и передачу данных в SFCS и UIS на основе содержания, определенного в элементе схемы интерфейса;
- прием схемы содержания из элемента схемы интерфейса;
- управление данными, полученными от блока обработки данных и блока МАПВ.

10 CPSMT с точки зрения интерфейса

10.1 Общие положения

В настоящем разделе определены интерфейсы передачи данных между компонентами CPSMT для аддитивного производства, как показано на рисунке 6.

CSSM для аддитивного производства должна состоять:

- a) из блока обработки данных;
- b) блока цифрового потока;
- c) блока МАПВ;
- d) блока внешнего интерфейса.

Примечание — Функциональность CSSM соответствует типовой архитектуре CPSMT (см. ПНСТ 855—2023, раздел 7) и соответствует техническим требованиям аддитивного производства.

Конкретная конфигурация структуры CSSM и связанных с ней элементов данных должна определяться в зависимости от цели реализации.

Настоящий стандарт не определяет протоколы связи в интерфейсе. Протоколы связи следует определять исходя из назначения реализации, с учетом требуемого порога задержки, типа конфигурации системы и объема данных.

Примечания

1 В настоящем разделе описываются внутренние и внешние интерфейсы CPCM и CSSM, представленные на рисунке 2.

2 В настоящем разделе не рассматриваются взаимодействия между связанными системами и внешними объектами. Соответствующая информация приведена в ПНСТ 854—2023 (раздел 9).

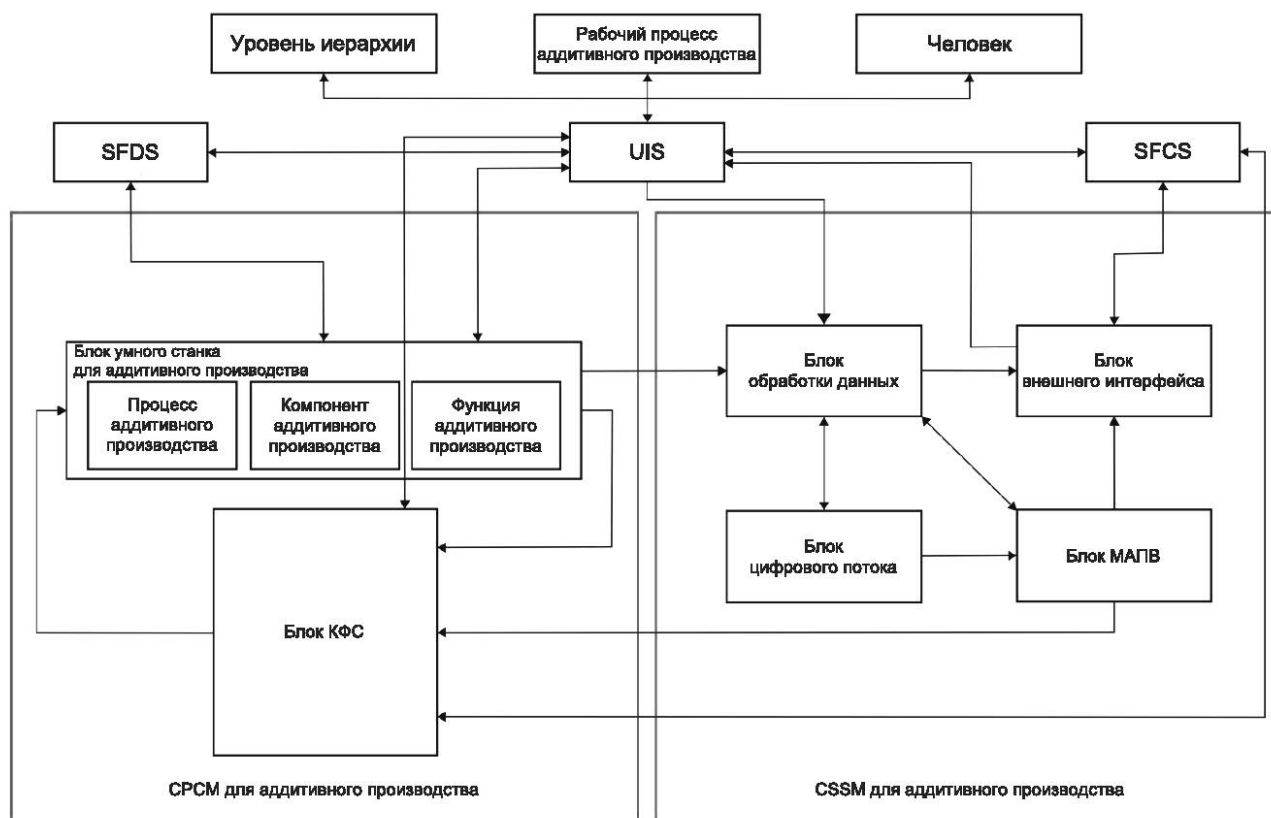


Рисунок 6 — Интерфейс CPSMT для аддитивного производства

10.2 Интерфейс CPCM

10.2.1 Общие положения

В настоящем подразделе рассматриваются внутренние и внешние взаимодействия данных в CPCM.

10.2.2 Внешнее взаимодействие с CPCM

10.2.2.1 Общие положения

В настоящем подразделе рассматриваются внешние взаимодействия данных в CPCM.

10.2.2.2 Взаимодействие между SFDS и блоком умного станка для аддитивного производства

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.3.2, для координации между устройствами в SFDS и блоком умного станка для аддитивного производства должен осуществляться обмен всеми элементами управления и данными.

Информация об интерфейсе автоматизированного обслуживания машин приведена в ПНСТ 854—2023.

10.2.2.3 Взаимодействие между UIS и блоком КФС

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.5.2, 6.6.2 и 6.7.2, должна осуществляться передача данных от внешних объектов (например, программы обработки деталей и файла AMF) в блок КФС через UIS. Должна осуществляться передача выходных данных оценки параметров в элемент внутреннего цикла внешним объектам через UIS. Выходные данные оценки параметров могут быть сгруппированы по типам аномалий, описанным в 9.3.2.5.

10.2.2.4 Взаимодействие между UIS и блоком умного станка для аддитивного производства

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.5.2, 6.6.2 и 6.7.2, должна осуществляться передача данных от внешних объектов (например, программы обработки деталей) в блок умного станка для аддитивного производства.

Для соответствия техническим требованиям, приведенным в 6.5.2, 6.6.2 и 6.7.2, значения данных, генерируемые контроллерами и датчиками, при необходимости могут передаваться внешним объектам через UIS. Примеры соответствующих элементов данных приведены в 8.3.2.

10.2.2.5 Взаимодействие между блоком умного станка для аддитивного производства и блоком обработки данных

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.2.4, должна осуществляться передача данных, полученных от блока умного станка для аддитивного производства, в элемент интерфейса CPCM в блоке обработки данных.

Примеры элементов данных приведены в 9.2.2.

10.2.2.6 Взаимодействие между блоком КФС и блоком МАПВ

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.2.3 и 6.2.10, должна осуществляться передача элементом выполнения в блоке МАПВ выходных данных элемента планирования элементу внутреннего контура в блоке КФС.

Данные могут быть сгруппированы по типам аномалий, описанным в 9.3.2.5.

10.2.2.7 Взаимодействие между блоком КФС и SFCS

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.4.2, должна осуществляться передача выходных данных SFCS (например, план распределения задач) в межконтурный элемент в блоке КФС.

С этой целью SFCS предоставляет, например, план распределения устройств для каждого устройства в SFDS и CPCM на основе текущего состояния системы цеха.

10.2.3 Внутреннее взаимодействие с CPCM

10.2.3.1 Общие положения

В настоящем подразделе рассматриваются внутренние взаимодействия данных в CPCM.

10.2.3.2 Взаимодействие между блоком умного станка для аддитивного производства и блоком КФС

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.2.4, должна осуществляться передача данных, полученных от датчиков и контроллеров в блоке умного станка для аддитивного производства, на элемент внутреннего цикла. Примеры данных приведены в 8.3.2.

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.2.2 и 6.2.10, в элементе внутреннего цикла должна осуществляться передача управляющих входных данных, генерируемых компонентом механизма регулировки, в блок умного станка для аддитивного производства.

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.2.3 и 6.2.10, в элементе внутреннего контура должна осуществляться передача преобразованных команд из CSSM в контроллер блока умного станка для аддитивного производства.

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.4.2, в межконтурном элементе должна осуществляться передача преобразованных команд из SFCS в контроллер блока умного станка для аддитивного производства.

10.3 Интерфейс CSSM

10.3.1 Общие положения

В настоящем подразделе рассматриваются внутренние и внешние взаимодействия данных в CSSM.

10.3.2 Внешнее взаимодействие с CSSM

10.3.2.1 Общие положения

В настоящем подразделе рассматриваются внешние взаимодействия данных в CSSM.

10.3.2.2 Взаимодействие между UIS и блоком обработки данных

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.5.2, 6.6.2 и 6.7.2, должна осуществляться передача данных от внешних объектов (например, программы обработки деталей и файла AMF) элементу интерфейса UIS в блоке обработки данных. Полученные данные отображаются и управляются в блоке цифрового потока через элемент слияния данных.

10.3.2.3 Взаимодействие между блоком внешнего интерфейса и UIS

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.5.2, 6.5.3, 6.6.2, 6.6.3, 6.7.2 и 6.7.3, через UIS должна осуществляться передача во внешние объекты:

- а) выходных данных функций мониторинга, анализа и планирования в блоке МАПВ;
- б) данных истории, хранящихся в элементе хранения данных;
- с) данных от преобразователя данных для элементов внешних объектов.

10.3.2.4 Взаимодействие между блоком внешнего интерфейса и SFCS

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.4.3 и 6.4.4, должна осуществляться передача в SFCS:

- а) выходных данных функций мониторинга, анализа и планирования в блоке МАПВ;
- б) данных истории, хранящихся в элементе хранения данных;
- с) данных от преобразователя данных для элементов внешних объектов.

10.3.2.5 Взаимодействие между блоком КФС и блоком МАПВ

Взаимодействие между блоком КФС и блоком МАПВ для CSSM осуществляется аналогично CPCM (см. 10.2.2.6).

10.3.2.6 Взаимодействие между блоком умного станка для аддитивного производства и блоком обработки данных

Взаимодействие между блоком умного станка для аддитивного производства и блоком обработки данных для CSSM осуществляется аналогично CPCM (см. 10.2.2.5).

10.3.3 Внутреннее взаимодействие с CSSM

10.3.3.1 Общие положения

В настоящем подразделе рассматриваются внутренние взаимодействия данных в CSSM.

10.3.3.2 Взаимодействие между блоком обработки данных и блоком внешнего интерфейса

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.4.3, 6.4.4, 6.5.2, 6.5.3, 6.6.2, 6.6.3, 6.7.2 и 6.7.3, для взаимодействия с UIS и SFCS должна осуществляться передача в элемент управления интерфейсом в блоке внешнего интерфейса:

- а) выходных данных преобразователя данных для элемента внешних объектов;
- б) данных истории элемента хранения данных.

10.3.3.3 Взаимодействие между блоком обработки данных и блоком цифрового потока

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.2.6, должна осуществляться передача результата слияния данных в элемент управления данными рабочего процесса аддитивного производства в блоке цифрового потока. Результатом слияния данных являются организованные данные, сопоставленные с моделью данных рабочего процесса аддитивного производства.

Должна осуществляться передача:

- а) данных за определенный промежуток времени в управлении данными рабочего процесса аддитивного производства;
- б) выходных данных механизма модели поведения в элемент хранения данных для управления историей.

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.2.6, должна осуществляться передача данных, управляемых элементом хранения данных, в механизм модели поведения в качестве входных данных для модели поведения, которой требуются данные истории.

10.3.3.4 Взаимодействие между блоком обработки данных и блоком МАПВ

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.2.7, 6.2.8, 6.2.9 и 6.2.10, должна осуществляться передача сохраненных данных в блок МАПВ для функций, требующих данных истории.

Должна осуществляться передача выходных данных блока МАПВ в элемент хранения данных для управления историей.

10.3.3.5 Взаимодействие между блоком цифрового потока и блоком МАПВ

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.2.7, 6.2.8, 6.2.9 и 6.2.10, должна осуществляться передача дополнительных данных из механизма модели поведения в блок МАПВ.

10.3.3.6 Взаимодействие между блоком МАПВ и блоком внешнего интерфейса

Для соответствия техническим требованиям, указанным в 6.4.3, 6.4.4, 6.5.2, 6.5.3, 6.6.2, 6.6.3, 6.7.2 и 6.7.3, должна осуществляться передача выходных данных блока МАПВ в элемент управления интерфейсом.

Приложение А
(справочное)

Требования заинтересованных сторон к SAMS

А.1 Общие положения

В настоящем приложении содержатся результаты предварительного исследования по сбору потребностей заинтересованных сторон и формализации их в виде требований в настоящем стандарте.

Заинтересованные стороны, рассматриваемые в настоящем стандарте, представляют тех, кто непосредственно участвует в разработке SAMS. Согласно определению в *ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207*, заинтересованная сторона — это физическое лицо или организация, имеющая право, долю, притязание или интерес в системе или в ее обладании характеристиками, которые отвечают их потребностям и ожиданиям.

Примечание — Согласно *ГОСТ Р 57100—2016* (подраздел 5.3), при описании архитектуры рекомендуется учитывать следующие заинтересованные стороны: пользователи, операторы, получатели, владельцы, поставщики, разработчики и люди, осуществляющие сопровождение системы.

А.2 Принцип формирования требований заинтересованных сторон к SAMS

Заинтересованные стороны SAMS подразделяют, как правило, на отрасль поставок и отрасль пользователей. К отрасли поставок относятся машиностроители, производители контроллеров и приводов, а также системные интеграторы. К отрасли пользователей относятся конструкторы-технологи, операторы станков аддитивного производства, механики и управляющие производством.

Для определения ключевых особенностей SAMS для Индустрии 4.0 проводят обширные интервью/семинары с экспертами, бенчмаркинг/обратное проектирование, комплексный анализ документов, включая отчеты о рынке, научные исследования и разработки в области аддитивного производства. Ключевые особенности разрабатывают и организуют с учетом рабочего процесса аддитивного производства, определенного в 3.1.5, и точки зрения общей архитектуры CPSMT, приведенной в *ПНСТ 854—2023*. На рисунке А.1 показан рабочий процесс аддитивного производства и связанные с ним заинтересованные стороны.



Рисунок А.1 — Рабочий процесс аддитивного производства и соответствующие заинтересованные стороны для определения ключевых особенностей SAMS

Несмотря на большой потенциал реализации парадигмы Индустрии 4.0, в основном из-за недостаточного опыта использования современных технологий, существуют ограничения в области аддитивного производства, которые можно рассматривать как источник требований к SAMS. Примеры ограничений включают тип материалов,

качество продукта, размер продукта, стоимость продукта, время выполнения заказа, включая проектирование, настройку материалов, сборку/печать, постобработку.

Примечание — Стандартом обработки данных в рамках рабочего процесса аддитивного производства является *ГОСТ Р ИСО/АСТМ 52950*.

С точки зрения работы процесса аддитивного производства в качестве ключевых требований, которым должна соответствовать интеллектуальная система аддитивного производства, определены следующие:

- устранение различных аномалий в домене аддитивного производства, возникающих в процессе сборки и проверки;
- непрерывная передача различных данных обо всем рабочем процессе аддитивного производства в цех и обратно для повышения производительности процесса;
- взаимодействие с различными устройствами цеха, системой офисов и умным станком для аддитивного производства;
- объединение концепции сочетания процессов субтрактивного и аддитивного производства в одном станке.

Приложение В
(справочное)

Концепция цифрового потока в аддитивном производстве

Ключевым преимуществом процесса аддитивного производства является короткий срок вывода на рынок и персонализированное производство. При производстве продукции производственный процесс необходимо обновлять в более коротком цикле в сочетании с деятельностью САх по сравнению с другими типами производства посредством активной обратной связи и прямой связи между различной информацией жизненного цикла. Цифровой поток является ключевым фактором достижения этих целей. Цифровой поток — это структура, которая обеспечивает интегрированное представление данных на протяжении всего жизненного цикла продукта, которые связаны между собой серией циклов обратной и прямой связи. Цифровой поток управляет записью жизненного цикла продукта или системы от его создания до удаления. Цепочка САх (CAD, CAPP, CAE, CAM, CNC, CMM) является ключевым фактором для этого.

Цифровой поток может быть реализован на протяжении всего жизненного цикла аддитивного производства, который представлен в рабочем процессе аддитивного производства, для акцента на управлении/обновлении жизненного цикла с точки зрения аддитивного производства.

Цифровой поток может принести как SAMS, так и предприятию следующее:

- комплексное представление данных жизненного цикла;
- сокращение времени выхода на рынок;
- совместимый и двунаправленный поток данных на всех этапах жизненного цикла;
- оптимизация работоспособности, технологичности изделия;
- включение обратной связи для мониторинга и управления жизненным циклом продукта, процесса и ресурсов.

Цифровой поток и блок цифрового потока, приведенные в 9.3, имеют общую точку зрения: они управляют и комплексно используют жизненный цикл продукта аддитивного производства.

С точки зрения CPSMT цифровой поток может:

- предоставлять информацию о жизненном цикле продуктов в основную систему CPSMT (CSSM, CPCM) для обеспечения возможности автономной работы с аномалиями;
- предоставлять информацию о жизненном цикле продукта в связанные с CPSMT системы (SFDS, SFCS, UIS) для обеспечения возможностей автономной координации с SFDS и автономного сотрудничества с SFCS;
- обновлять собственную информацию жизненного цикла путем получения информации с точки зрения эксплуатации, полученной из CSSM, CPCM, SFDS, SFCS, и двунаправленного потока данных между всеми фазами жизненного цикла. Возможности интерфейса с аспектом жизненного цикла, уровнем иерархии, человеком поддерживают эту функцию.

Приложение С (справочное)

Типы аномалий в аддитивном производстве

С.1 Общие положения

CPSMT — это интеллектуальная станочная система, поддерживающая интеллектуальное производство в цехах с помощью киберфизической схемы управления системой. Таким образом, CPSMT в основном фокусируется на этапе эксплуатации с точки зрения рабочего процесса аддитивного производства.

Одной из основных возможностей системы CPSMT является автономная работа с аномалиями.

Ключевым моментом для предотвращения аномалий и улучшения работы аддитивного производства с точки зрения схемы управления КФС является распознавание симптомов этих типов аномалий и их устранение в автономном режиме.

Типы аномалий, возникающих во время работы аддитивного производства, классифицируют следующим образом:

- аномалии корпуса умного станка для аддитивного производства;
- аномалии сырья/вспомогательного материала;
- аномалии заготовки;
- аномалии окружающей среды и безопасности.

С.2 Аномалии сырья/вспомогательного материала

Основной причиной аномалий в сырье/вспомогательном материале являются ненадлежащие изменения механических, химических, реологических, оптических и термических свойств.

Примеры

1 Оптические свойства: поглощение, отражение, пропускание.

2 Реологические свойства: поверхностное натяжение, вязкость плавления, угол смачивания, теплопроводность.

3 Химические свойства: энтальпия реакции, примеси.

4 Механические свойства: пластичность, плотность, прочность, остаточное напряжение, свойства упругости.

5 Металлургические свойства: окисление, осаждение, диапазон жидко-твердого состояния, диффузионное поведение.

6 Термические характеристики: скрытая теплота, тепловое расширение, теплоемкость, теплопроводность, температура плавления, фазовое превращение.

С.3 Аномалии заготовки

К аномалиям заготовки относятся:

- низкая геометрическая точность: фактический размер заготовки превышает спецификацию допуска;
- ненадлежащая шероховатость поверхности: неровности поверхности с относительно небольшим расстоянием, которые, как правило, включают в себя неровности, возникающие в результате используемого метода изготовления и/или других воздействий;
- деформация/искажение: отклонение от нормальной формы или конфигурации;
- пористость: отношение общего объема пор к видимому объему частиц или порошка;
- комкование: периодическое изменение размера и формы затвердевшей дорожки, вызванное капиллярной нестабильностью ванны расплава;
- нерасплавленный материал;
- недостаточное сцепление между слоями;
- растрескивание: разрушение поверхности под воздействием окружающей среды и нагрузки.

С.4 Аномалии окружающей среды и безопасности

К аномалиям окружающей среды и безопасности относятся:

- чрезмерное потребление энергии: количество затраченной энергии. Энергия — это электричество, топливо, пар, тепло, сжатый воздух и другие подобные среды. В настоящем стандарте энергия означает электрическую способность выполнять операцию аддитивного производства;
- неподходящее состояние внутренней атмосферы: условия окружающей среды, определяемые такими параметрами, как температура и относительная влажность;
- недостаточное повторное использование материалов: любая операция по восстановлению, при которой отходы перерабатываются в продукты, материалы или вещества, как для первоначальных, так и для других целей. Расход материала — это количество нанесенного материала;

- чрезмерные отходы: любой материал или предмет, который предназначен для выбрасывания или должен быть выброшен.

К аномалиям безопасности относятся:

- взрыв: физический и химический процесс резкого высвобождения энергии, приводящий к образованию коротких волн давления очень высокой интенсивности;

- утечка опасного материала: передача материала из системы локализации в окружающую среду через утечку или утечки.

Приложение D (справочное)

Примеры вариантов использования типовой архитектуры CPSMT для аддитивного производства

D.1 Общие положения

Большинство процессов аддитивного производства (участвующих в производстве) используют энергию для преобразования материала из одного состояния в другое. В некоторых процессах обработки пластика эта энергия появляется в результате химических реакций, в то время как в процессах трансформации металлов используются нагревательные устройства для плавления металла, который затем поступает в жидкую форму, которая затем затвердевает при охлаждении.

Примеры использования аддитивного производства в отношении ключевых факторов, способствующих Индустрии 4.0 и умному производству, включают:

- ремонт под восстановление;
- мелкие детали в сложной конструкции;
- детали, которые непрактичны или невозможны при обычной субтрактивной обработке;
- жизнеспособную альтернативу традиционным процессам.

В настоящем приложении описаны примеры вариантов использования основных модулей, основанных на эталонной архитектуре для аддитивного производства, в качестве эталона для систематической разработки архитектуры решения.

D.2 Умный мониторинг процессов аддитивного производства

D.2.1 Ситуация

Аддитивное производство схоже с любым другим процессом, и для него необходим мониторинг для гарантии работы в установленных пределах. В отличие от субтрактивной обработки, которая изменяет форму материала, аддитивное производство, как правило, меняет состояние материала, например с порошка на твердое или с жидкого на твердое. Мониторинг позволяет станку точно настраивать процесс для обеспечения оптимальных или близких к оптимальным условий.

Чтобы проиллюстрировать, как эталонная архитектура CPSMT может улучшить работу аддитивного производства, в настоящем разделе показан вариант использования CPSMT для аддитивного производства и описано, как это можно сделать с помощью внутреннего цикла и внутреннего контура.

Этот вариант использования касается разработки или модернизации установки для L-PBF.

D.2.2 Типовая архитектура для умного мониторинга

Как показано на рисунке D.1, в отделении каждого станка L-PBF на предприятии используются две камеры.

Первая камера используется для контроля технологического процесса в отделении и послойно контролирует производственное отделение на наличие нарушений. Система мониторинга документирует и выявляет аномалии, например неровности слоя порошка, неправильно расплавленный порошок, колебания интенсивности лазера, колебания атмосферы.

Вторая камера используется для контроля процесса расплава в ванне. Она контролирует процесс плавления и выдержки в режиме реального времени и проверяет отклонения соответствующих параметров процесса, например температуры или формы ванны расплава. Для этого необходимы высокоскоростные датчики с высоким разрешением.

На рисунке D.1 показано общее разворачивание варианта использования с точки зрения интерфейса типовой архитектуры CPSMT для аддитивного производства.

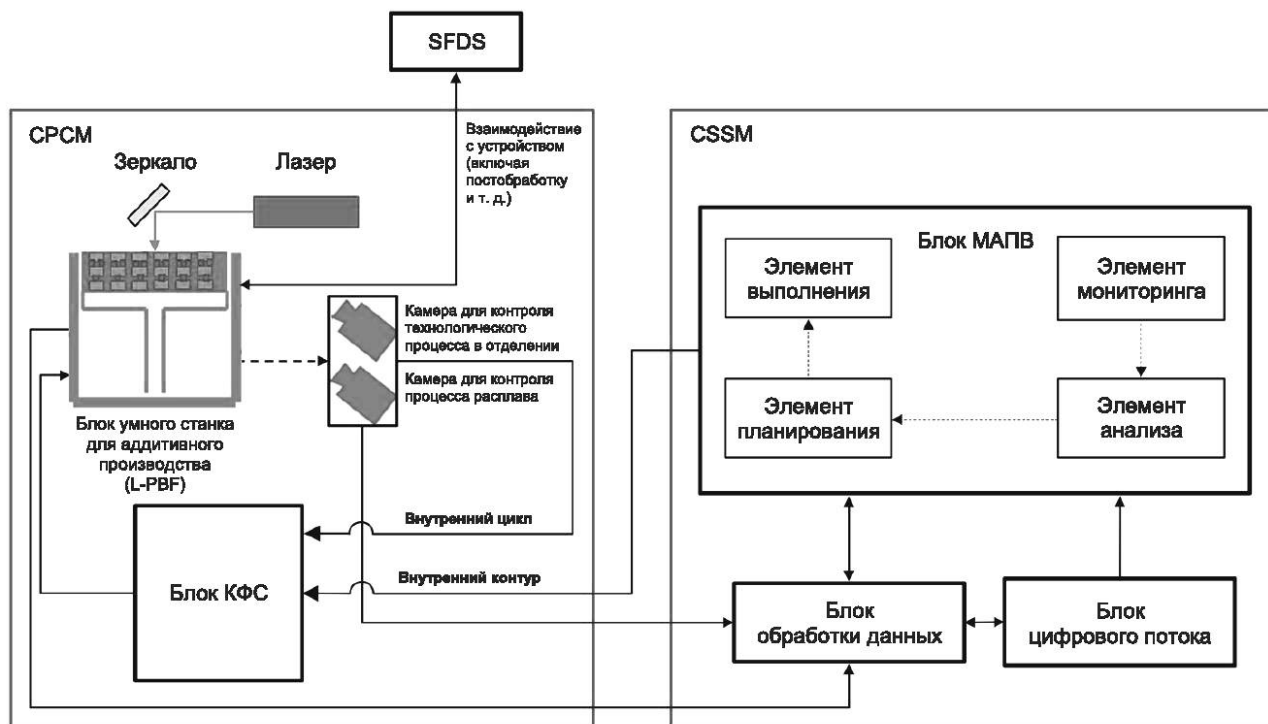


Рисунок D.1 — Типовая архитектура для умного мониторинга процессов аддитивного производства

Мониторинг (и сбор документации/данных) используется для следующих целей:

- контроль качества в режиме реального времени (уменьшение необходимости в дальнейшем обеспечении качества), улучшенная отслеживаемость (документирование соответствующих параметров производственного процесса), раннее предупреждение об аномалиях процесса и последующих результатах;
- сбор данных для анализа, результат которого используется для адаптивного управления/коррекции того же процесса при изготовлении следующих объектов, новых рекомендаций по проектированию деталей и обратной связи с производителями/поставщиками материалов и разработчиками/поставщиками станков.

Во внутреннем цикле в режиме жесткого реального времени контроль качества осуществляется внутри CPCM, чтобы обеспечить немедленную обратную связь и оптимизировать процесс сборки. Тепловая камера используется для обеспечения равномерного распределения тепла и соответствующего вторичного нагрева или охлаждения, в зависимости от необходимости. Вторая камера используется для проверки внешнего вида детали во время производства, чтобы при необходимости предпринять соответствующие корректирующие действия. Обе камеры связаны с краткосрочными действиями, которые выполняются независимо для каждого уровня.

Во внутреннем контуре CSSM должна сканировать данные датчиков и отслеживать их на предмет существенных событий или тенденций, которые можно назвать «признаками» данных датчиков. Затем эти признаки анализируются для выявления причин и тенденций, которым можно противодействовать, если они приводят к аномалиям. Запланированные корректирующие действия затем интерпретируются как выполняемые действия, которые передаются обратно в CPCM через внутренний контур, чтобы CPCM могла их применить по мере необходимости. Этот процесс можно рассматривать следующим образом: станок «обучается» изготовлению детали в процессе, вместо того чтобы полагаться на заранее определенные производственные стратегии, не связанные с характеристиками станка.

D.3 Умный ремонт

D.3.1 Общие положения

Прямое осаждение металла может быть применено для ремонта деталей. В данном сценарии можно выделить два подсценария. SFCS напрямую взаимодействует с CSSM для управления.

D.3.2 Первый сценарий

Предполагается, что было диагностировано, что существующий инструмент, используемый на другом станке, изношен. Затем SFCS инициирует ряд действий по удалению изношенного инструмента, возможно, предварительную обработку детали путем удаления изношенных элементов, затем добавляет материал с помощью аддитивного станка, а затем выполняет постобработку. Для этого SFCS должна спланировать серию действий, а затем опросить задействованные станки, чтобы спланировать действие.

Для ремонта используются станки для DED и гибридные станки, сочетающие DED с механической обработкой. Следовательно, аддитивный (или гибридный) станок должен отвечать на запрос планирования и предоставлять информацию о продолжительности времени, необходимом для процесса, и о том, когда этот процесс может быть выполнен станком. Запрос на планирование отправляется через прямую связь между SFCS и CSSM. План процесса предоставляется из аспектов жизненного цикла через UIS.

Эта задача подходит для модуля планирования CSSM, которому необходимо рассчитать необходимые данные управления процессом для ремонта. Необходимо знать как состояние ремонтируемой детали, так и исходное состояние, которое необходимо воссоздать. Деталь, подлежащая ремонту, как правило, должна подвергаться механической обработке для получения известной геометрической основы, на которую DED добавляет материал.

Данный сценарий может подразумевать обработку профилей, подлежащих замене, или удаление изношенных участков. В первую очередь в аддитивном процессе удаленный материал заменяется новым, а затем в субтрактивном процессе создается первоначально задуманная форма детали.

Гибридные станки наиболее подходят для выполнения ремонта, так как начальная субтрактивная обработка, аддитивный процесс и окончательная субтрактивная обработка выполняются на одном и том же физическом станке. Альтернативой является использование двух субтрактивных станков и отдельного аддитивного станка для выполнения ремонта.

SFCS должна оценить «предложения» от различных станков и принять решение о методе ремонта. Запрос на работу передается в модуль планирования CSSM для координации нового запроса на работу с существующей программой работы CPCM.

D.3.3 Второй сценарий

Второй сценарий основан на необходимости ремонта разобранных компонентов. Такие компоненты поступают с разными интервалами в зависимости от того, когда они станут доступны. Несмотря на то что для выявления общих тенденций рекомендуется использовать статистику, детальное планирование возможно выполнить только после прибытия компонента. Компонент необходимо осмотреть, чтобы определить его состояние. После этого составляется план процесса ремонта, и SFCS может проверить наличие доступного оборудования. В данном случае, как и в первом сценарии, используется связь CSSM-SFCS, чтобы CSSM могла составить график необходимых работ. Отличие от предыдущего подсценария заключается в том, что отремонтированные компоненты необходимо вставить в модель цепочки поставок продукции вместо вновь изготовленных компонентов.

В дополнение к прямому соединению CPCM-CSSM, показанному на рисунке D.1, SFCS также может вводить управляющую информацию напрямую, изменяя глобальные параметры сборки, используя межконтурное соединение (например, для улучшения восстановленных деталей на основе обратной связи от последующего производства и сборки). Примерами таких параметров могут быть угол подачи сопла или добавляемая толщина материала.

D.4 Умное пористое покрытие

D.4.1 Общие положения

Данный пример использования аддитивных процессов аналогичен их использованию при восстановлении, но вместо восстановления и очищения базовая деталь изготавливается заново в другом процессе. Аддитивное производство используется для добавления сложных добавок. Особая пористая структура может быть нанесена на металлическую поверхность с помощью процесса DED. Эта пористая поверхность дает новые функциональные возможности в различных областях применения. Как правило, ее используют для изготовления искусственных соединений, в которых не используются связующие вещества. Также ее допускается использовать для покрытия деталей оборудования для производства полупроводников, таких как части оборудования для физического осаждения из паровой фазы.

D.4.2 Блок КФС для контроля порошка в реальном времени

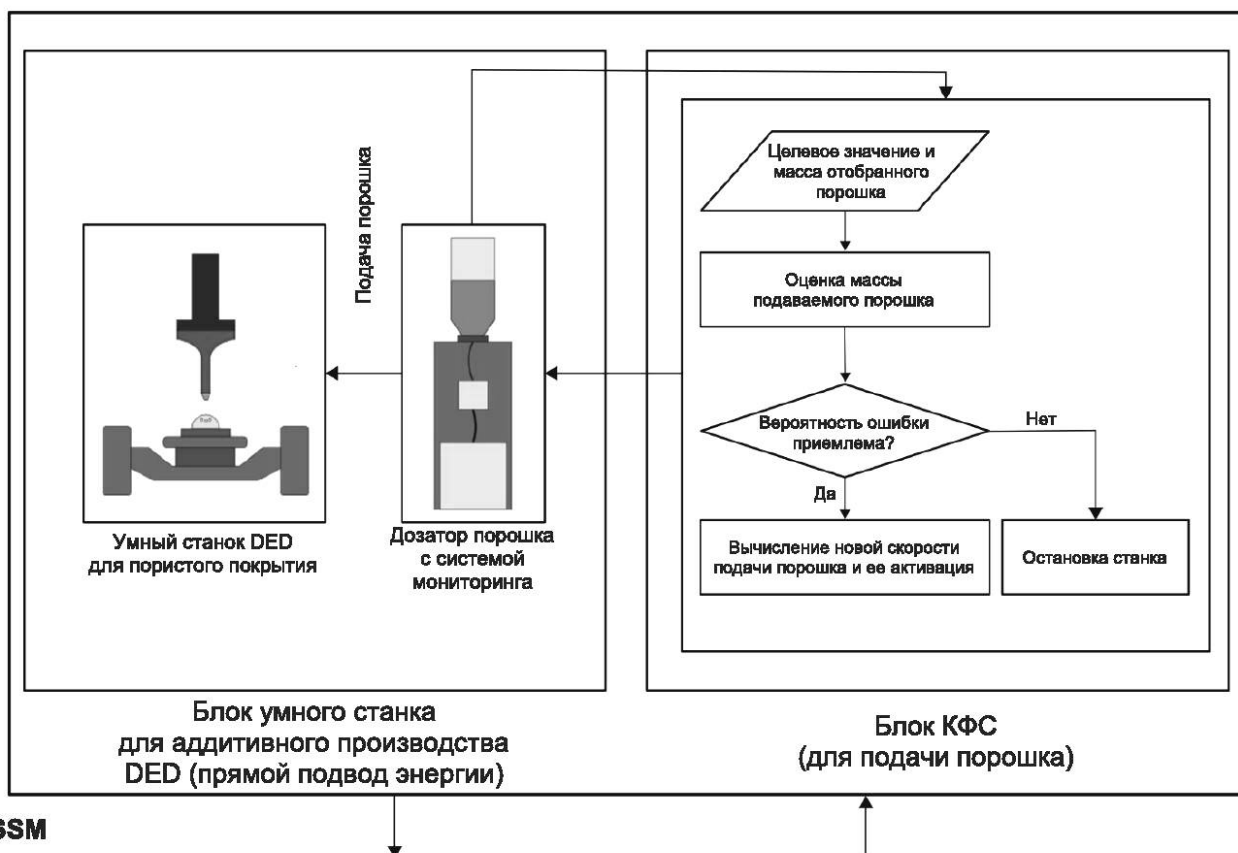
На рисунке D.2 показана система управления, которая возвращает значение количества металлического порошка, что является одной из наиболее важных переменных процесса DED в реальном времени, и процесс создания траектории инструмента, который гибко реагирует на информацию сканирования поверхности для покрытия.

Блок КФС осуществляет мониторинг и контроль количества подаваемого порошка. В пористых покрытиях DED количество порошка является одним из наиболее важных параметров, определяющих качество покрытия. Порошок проецируется в лазерный луч и осаждается в виде непрерывной капли материала, следующей за головкой. Если количество порошка увеличивается по сравнению с количеством подаваемого лазером тепла, может возникнуть проблема с адгезией к основному материалу. Также при изменении количества порошка могут быть нестабильными высота и ширина валика и может быть невозможен контроль размера пористых структур. Кроме того, поскольку толщину всего покрытия необходимо контролировать в единицах максимум в несколько десятков микрон, изменение количества порошка приводит к общему ухудшению качества.

В данном случае применяется метод выборки. Контроль качества в режиме реального времени сводит к минимуму контроль при постобработке и повышает общую эффективность производства. В обычной системе количество подаваемого порошка варьируется в зависимости от качества и остаточного количества порошка, и трудно

обеспечить единообразие общего качества. В данной структуре эта проблема решается через внутренний цикл КФС.

СРСМ



CSSM



Рисунок D.2 — Типовая архитектура для умного пористого покрытия

D.4.3 CSSM для планирования данных процесса и контроля качества

D.4.3.1 Общие положения

В данном примере CSSM работает в двух точках: «до процесса» и «во время процесса». Первый случай реализуется в обращении со всей заготовкой, а второй — слой за слоем.

D.4.3.2 Операция «до процесса»

Операция «до процесса» в CSSM состоит из следующих этапов:

а) получение данных сканирования поверхности и координат станка (элемент интерфейса CPCM в блоке обработки данных);

б) форматирование данных (элемент объединения данных в блоке обработки данных);

с) сохранение данных сканирования (элемент хранения данных в блоке обработки данных);

д) реконструкция трехмерной формы (модель поведения аддитивного производства в блоке цифрового потока);

е) создание новой траектории инструмента для нанесения покрытия (элемент планирования в блоке МАПВ);

ф) отправка в станок (элемент выполнения в блоке МАПВ и элемент внутреннего контура в блоке КФС).

На этапе а) происходит получение от CPCM данных сканирования поверхности, подлежащей покрытию. Сканирование осуществляется посредством цифрового индикатора, установленного в приборе. Измеренные значения считываются с цифрового индикатора, а текущие координаты станка считываются с контроллера ЧПУ.

На этапе б) облако точек форматируется в файл CSV путем объединения значений строкового типа, полученных от цифрового индикатора, и значений координат, полученных от контроллера ЧПУ.

На этапе с) полученная путем сканирования информация сохраняется и используется в качестве данных для отслеживания качества.

На этапе д) происходит восстановление информации о трехмерной сетке отсканированной модели с помощью отформатированной информации об облаке точек. Этот процесс выполняется в механизме модели поведения аддитивного производства.

На этапе е) на основе данных сканирования формируется оптимальная траектория нанесения покрытия. Сначала трехмерная поверхность реконструируется с использованием данных сканирования. На основе реконструированной поверхности определяется возможность нанесения покрытия и рассчитывается оптимизированная траектория нанесения покрытия. Сгенерированная траектория инструмента сохраняется в качестве переменной процесса (данные сканирования) и используется для оптимизации алгоритма создания траектории, данных обеспечения качества и данных отслеживания качества.

На этапе ф) сгенерированная траектория инструмента отправляется в CPCM.

D.4.3.3 Операция «во время процесса»

Операция «во время процесса» в CSSM состоит из следующих этапов:

а) получение данных сканирования поверхности и координат станка (элемент интерфейса CPCM в блоке обработки данных);

б) форматирование данных (элемент объединения данных в блоке обработки данных);

с) сохранение данных сканирования (элемент хранения данных в блоке обработки данных);

д) контроль качества покрытия (элемент мониторинга в блоке МАПВ);

е) анализ качества покрытия (элемент анализа в блоке МАПВ);

ф) план траектории инструмента (элемент планирования в блоке МАПВ);

г) отправка в станок (элемент выполнения в блоке МАПВ и элемент внутреннего контура в блоке КФС).

Этапы а), б) и с) аналогичны соответствующим этапам операции «до процесса».

На этапе д) на основе данных сканирования рассчитываются пористость, шероховатость и толщина покрытия пористой структуры.

На этапе е) в ходе диагностического процесса определяется, соответствует ли он стандартам качества. Прогнозируются факторы, которые вызовут проблемы, путем оценки пригодности толщины, шероховатости и пористости, а также анализа траектории движения инструмента в проблемных областях.

На этапе ф) на основе данных элемента анализа обновляются параметры и генерируется траектория инструмента для следующего слоя.

На этапе г) отредактированная траектория инструмента отправляется в CPCM.

Приложение ДА
(справочное)

**Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам,
использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте**

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного национального стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ Р ИСО/АСТМ 52950—2022	IDT	ISO/ASTM 52950:2021 «Аддитивное производство. Общие принципы. Обзор обработки данных»
ПНСТ 854—2023 (ИСО 23704-1:2022)	MOD	ISO 23704-1:2022 «Общие требования к киберфизическим системам управления умным станком (CPSMT). Часть 1. Обзор и основополагающие принципы»
ПНСТ 855—2023 (ИСО 23704-2:2022)	MOD	ISO 23704-2:2022 «Общие требования к киберфизическим системам управления умным станком (CPSMT). Часть 2. Типовая архитектура CPSMT для субтрактивного производства»
Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов: - IDT — идентичный стандарт; - MOD — модифицированный стандарт.		

Библиография

- [1] ИСО 17296-2:2015 Аддитивное производство. Общие принципы. Часть 2. Обзор категорий процесса и сырья (Additive manufacturing — General principles — Part 2: Overview of process categories and feedstock)
- [2] ИСО 14955-1:2017 Станочное оборудование. Оценка экологического воздействия станочного оборудования. Часть 1. Методология проектирования энергоэффективных станков (Machine tools — Environmental evaluation of machine tools — Part 1: Design methodology for energy-efficient machine tools)
- [3] ИСО/АСТМ 52903-2:2020 Аддитивное производство. Аддитивное производство пластиковых материалов на основе экструзии материала. Часть 2. Технологическое оборудование (Additive manufacturing — Material extrusion-based additive manufacturing of plastic materials — Part 2: Process equipment)

Ключевые слова: умное производство, киберфизическая система, киберфизическая система управления станком, типовая архитектура, аддитивное производство

Редактор *Е.В. Якубова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 20.12.2024. Подписано в печать 09.01.2025. Формат 60×84%. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,12. Уч.-изд. л. 4,10.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru