

СЕКЦИЯ I

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ. МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ И ИНСТРУМЕНТЫ

УДК 621.7/620.3

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАТРОННОГО СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ГИБРИДНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

С. А. Чижик¹, М. Л. Хейфец², Н. Л. Грецкий², В. В. Серебрянный³

*¹Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова
НАН Беларуси, г. Минск*

²Институт прикладной физики НАН Беларуси, г. Минск

³МГТУ «СТАНКИН», г. Москва, Российская Федерация

Совокупность средств производства или производящих машин, включающих технологические, транспортные, энергетические и информационные машины, получило название технологических комплексов. Такие станочные комплексы автономно функционируют и с использованием программного управления, в установленных пределах значений, обеспечивают требуемые характеристики качества изделий [1–3].

Комплексы технологического станочного оборудования прошли в своем развитии ряд этапов. По сравнению с универсальным станочным оборудованием современное компьютерно-управляемое производство, использующее компоненты искусственного интеллекта, позволяет повысить эффективность оборудования в десятки раз при обеспечении все более возрастающих требований к качеству продукции [4–6].

Тенденции развития комплексов технологического оборудования. Началом первого этапа развития технологических комплексов можно обозначить автоматизацию 1970-х гг. на основе числового программного управления (ЧПУ). В постиндустриальных странах уже с середины 1980-х гг. наметился переход от обрабатывающих центров к гибким производственным системам с элементами интеллектуального производства [7].

Развитие средств микроэлектроники явилось базой для создания мехатронных систем, которые включают как электромеханическую, так и электронно-управляющую части. Мехатронные системы обеспечивают синергетическое объединение узлов точной механики с электротехническими, электронными и компьютерными компонентами с целью проектирования и производства качественно новых комплексов машин с интеллектуальным управлением их функциями [8, 9].

Новые этапы развития гибкой автоматизации производственных систем связаны прежде всего с предельной концентрацией средств производства и управления, а также с сокращением сроков конструирования, проектирования, технологической подготовки и изготовления изделий. В результате мехатронные технологические комплексы объединяются в гибридное компактное интеллектуальное производство (CIM – Compact Intelligent Manufacture), базирующееся на сочетании различных ин-

тенсивных, в том числе и аддитивных технологий, прогрессивного технологического оборудования и интегрированной системы управления [10].

Современный уровень развития информационных технологий в промышленности обеспечил переход к использованию технологий создания, поддержки и применения единого информационного пространства во времени на всех этапах жизненного цикла продукции: от ее проектирования до эксплуатации и утилизации, т. е. к CALS-технологиям (Continuous Acquisition and Life-cycle Support). Единое информационное пространство позволяет интегрироваться разрозненным комплексам компактного производства в виртуальное предприятие, создаваемое из различных пространственно удаленных подразделений, которые обладают единой информационной ERP-системой (Enterprise Resource Planning) для использования в компьютерной поддержке этапов жизненного цикла продукции [11].

После пространственно-временной интеграции производственных процессов и жизненного цикла изделий следуют этапы, обеспечивающие компактность производства на основе технологий аддитивного производства (AM – Additive Manufacturing). Аддитивные технологии синтеза композиционного материала и формообразования изделия обеспечивают высокую эффективность за счет сокращения длительности и количества производственно-технологических этапов жизненного цикла изделий [12].

Анализ производства и адресной поставки кастомизированных изделий, с учетом внешней и внутренней логистики предприятий, можно дополнить прогнозом на ближайшее будущее, которое обусловлено новой парадигмой производства, связанной с промышленным интернетом вещей (IIoT – Industrial Internet of Things) и называемой «Индустрия 4.0».

В основе зарождающихся этапов новой эпохи лежит массовая компьютеризация и глобализация интернета. Дальнейшее развитие производства прогнозируют на базе машинного обучения (ML – Machine Learning) и искусственного интеллекта (AI – Artificial Intelligence). Сочетание робототехники и 3D-печати на основе машинного обучения с интернетом вещей в глобальной сети и искусственным интеллектом уже сегодня позволяют создавать полностью автоматизированные производства [5, 6].

Одновременно с эволюцией производственных технологий идет прогресс биомедицинских технологий, с которыми связывают «Индустрию 5.0». По прогнозам уже после 2025 г. носимая человеком электроника начнет замещаться имплантатами, а в 2030-х гг. 3D-принтеры приступят к печати новых органов, и к 2040-м гг. нанороботы начнут ремонтировать организм на клеточном уровне. Предполагают, что к 2035 г. люди могут стать «киборгами», напичканными множеством электронных имплантов, а к 2045 г. вся планета превратится в один «огромный компьютер», использующий весь людской интеллект [5, 6].

Структурные связи информационных технологий в аддитивном производстве. Рассматривая комплекс технологического станочного оборудования с позиций компьютеризации производственной деятельности, его модули, узлы и детали следует проектировать как устройства компьютерной периферии, построенные по той же архитектуре, что и ЭВМ.

Анализ процессов производства деталей без использования формообразующей оснастки (3D-печати), в зависимости от агрегатного состояния исходного материала, размерности потоков формообразующей среды и последовательности технологических операций [1, 5], позволяет в виде диаграммы структурных связей описывать совокупность методов прямого «выращивания» изделий.

Диаграмма структурных связей представляет собой направленный замкнутый

18 Секция I. Автоматизация технологических процессов обработки материалов

граф и описывает автомат с конечным числом состояний. Вершины графа изображают процессы создания изделий без формообразующей оснастки и представляют логические операции: трансляцию информации; движение потоков вещества и энергии; запуск и остановку автоматического цикла [13, 14].

Описание алгоритмами в соответствии с терминами логических операций процессов 3D-печати дает возможность по диаграмме структурных связей анализировать существующие и разрабатывать новые методы прямого «выращивания» изделий [1, 5].

Проведенный анализ методов прямого «выращивания» деталей машин показал особую перспективность разработки процессов послойного синтеза с управляемым формированием свойств материала потоками энергии.

Организация обратных связей при управлении технологическим оборудованием через степени свободы инструментов, частиц наносимого материала и удаляемого слоя, посредством дополнительных воздействий потоками энергии, позволяет управлять устойчивостью процессов формирования поверхностного слоя. Поэтому, с учетом контуров прямых и обратных связей в технологической системе, следует выбирать системы числового программного управления и проектировать комплекс технологического оборудования как мехатронную систему [1, 5].

Комплексный анализ проектирования обрабатывающего оборудования показал, что перспективы применения новых технологий, использующих искусственный интеллект, потоки энергии для интенсификации процессов обработки и модифицирования материалов, должны анализироваться на ранних стадиях проектирования. В этой связи предложено приступать к проектированию мехатронных систем станочных комплексов с анализа структурных связей информационных технологий в гибридном производстве, включающем как традиционные, так и аддитивные технологии, и использовать теплофизические и электрофизические критерии для изучения формирующихся связей в технологической системе.

Литература

1. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / А. М. Русецкий [и др.] ; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 239 с.
2. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А. М. Русецкий [и др.] ; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларус. навука, 2014. – 316 с.
3. Автоматизация и управление в технологических комплексах / А. М. Русецкий [и др.] ; под общ. ред. А. М. Русецкий (гл. ред.), П. А. Витязь (зам. гл. ред.), М. Л. Хейфец (зам. гл. ред.). – Минск : Беларус. навука, 2014. – 375 с.
4. Обеспечение качества изделий в технологических комплексах / С. А. Чижик [и др.] ; под общ. ред. М. Л. Хейфеца. – Минск : Беларус. навука, 2019. – 248 с.
5. Хейфец, М. Л. Проектирование мехатронных технологических комплексов для традиционного и аддитивного производства / М. Л. Хейфец // Доклады Нац. акад. наук Беларуси, 2020. – Т. 64, № 6. – С. 744–751.
6. Перспективные технологии машиностроительного производства / О. П. Голубев [и др.] ; под общ. ред. Ж. А. Мрочка и М. Л. Хейфеца. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2007. – 204 с.
7. Сироткин, О. Технологический облик России на рубеже XXI века / О. Сироткин // Экономист. – 1998. – № 4. – С. 3–9.
8. Мехатроника / Т. Исии [и др.] ; пер. с яп. С. А. Масленникова ; под ред. В. В. Василькова. – М. : Мир, 1988. – 314 с.
9. Bradley, D. A. Mechatronics – Electronics in Products and Processes / D. A. Bradley. – London : Chapman & Hall, 1993. – 376 p.
10. Delchambke, A. Computer-aided Assembly Planning / A. Delchambke. – London : Chapman & Hall, 1992. – 276 p.
11. Компьютеризированные интегрированные производства и CALS-технологии в машиностроении / Б. И. Черпаков [и др.] ; под ред. Б. И. Черпакова. – М. : ГУП «ВИМИ», 1999. – 512 с.

12. Gibson, I. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing / I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker. – N. Y. : Springer, 2015. – 498 p.
13. Нейман фон, Дж. Теория самовоспроизводящих автоматов / Дж. фон Нейман. – М. : Мир, 1971. – 342 с.
14. Винер, Н. Кибернетика или управление и связь в живом и машине / Н. Винер. – М. : Совет. радио, 1958. – 296 с.

УДК 621.762

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ АЛМАЗОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**П. А. Витязь¹, М. Л. Хейфец², В. Т. Сеньют¹, В. П. Афанасьев³,
Д. Ю. Колодяжный⁴**

¹*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск*

²*Институт прикладной физики НАН Беларуси, г. Минск*

³*Институт геологии и минералогии имени академика В. С. Соболева СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация*

⁴*МГТУ «СТАНКИН», г. Москва, Российская Федерация*

Изучение минералов, обнаруженных в кратере Попигайского месторождения, показало присутствие в них разнообразных углеродных, в том числе и алмазоподобных, а также других переходных структур, сформированных в результате столкновения метеорита с гранитогнейсовыми породами с высоким содержанием графита.

Для изучения процессов образования структур целесообразно на основе кристаллохимических представлений по диаграммам состояния рассматривать связь степеней свободы физико-химической системы с формирующимися фазами, определять рациональное число и структуру взаимосвязей степеней свободы [1]. Рассматривать образование структур и фаз по диаграммам – геометрическим образам соотношений состав–свойство системы – позволяет физико-химический анализ сложных систем [2]. Основными принципами анализа физико-химических диаграмм являются предложенные Н. С. Курнаковым принципы непрерывности и соответствия [3]. Согласно принципу соответствия, на диаграмме каждой фазе должен отвечать определенный геометрический образ, а в соответствии с принципом непрерывности этот образ должен быть непрерывным.

Цель работы – определить по диаграмме состояния физико-химической системы при образовании углеродных, в том числе алмазоподобных структур положения линий, описывающих фазовые переходы, их количество, возрастающее в результате формирования промежуточных фаз и переходных структур.

Анализ быстропротекающих процессов образования разнообразных структур и фаз при высоких давлениях и температурах формирования природных алмазов для их идентификации потребовал изучения топологической модели диаграммы состояния углерода [4], а также возможных путей ее трансформации с учетом диссипации поглощаемой энергии.

Формирование новых связей на графе рассматривалось поэтапно, в соответствии со вторым принципом Н. С. Курнакова: соответствия топологической модели физико-химической системе. Степени свободы системы $C = C_v + 1$ определялись через число связных кусков графа C_v . При этом следили за тем, чтобы добавление новых элементов (вершин, граней, ребер) не изменяло число степеней свободы.

Построение диаграммы состояния углерода (рис. 1), проводилось по топологи-