

## **ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ НА ПРИМЕРЕ ИНКРЕМЕНТНОЙ ФОРМОВКИ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ**

**В.В. МИРОНЕНКО, М.В. ЛАВРЕНТЬЕВА**  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет  
Иркутск, Россия

Роботизированные технологии в производстве беспилотных аппаратов представляют собой современный подход к автоматизации производственных процессов, который охватывает широкий спектр технических решений для эффективного создания беспилотных аппаратов. Они включают в себя использование роботов, автоматизированных систем и искусственного интеллекта для оптимизации производственных операций. Одним из ключевых инновационных методов, входящих в арсенал роботизированных технологий, является инкрементная формовка (Single Point Incremental Forming) [1,2,3]. Инкрементная формовка позволяет создавать сложные трехмерные детали с высокой точностью и гибкостью, что делает его привлекательным для применения в производстве беспилотных аппаратов. Связь между роботизированными технологиями и инкрементной формовкой заключается в том, что роботизированные системы могут быть использованы для автоматизации процесса инкрементной формовки. Роботы могут управлять инструментами точечной формовки с высокой точностью и скоростью, что повышает эффективность производства и качество создаваемых деталей. Таким образом, рассмотрение взаимодействия роботизированных технологий и инкрементной формовки становится ключевым аспектом доклада по теме "Применение роботизированных технологий в производстве беспилотных аппаратов на примере инкрементной формовки и цифровизации производства беспилотных аппаратов с применением машинного зрения".

Single Point Incremental Forming (SPIF) – это метод инкрементной формовки, при котором металлическая заготовка деформируется с помощью единственной точки контакта с инструментом. В процессе SPIF инструмент перемещается по поверхности заготовки, постепенно формируя желаемую геометрию детали путем накопления деформации [4,5].

Применение метода SPIF в производстве беспилотных аппаратов предоставляет ряд преимуществ [6,7]:

1. Гибкость процесса: возможность изготовления деталей с сложной геометрией без необходимости изготовления сложных пресс-форм.

2. Экономия времени и материала: процесс SPIF обеспечивает более эффективное использование материала и сокращает время подготовки к производству.

3. Высокая точность: метод SPIF позволяет достичь высокой точности в изготовлении деталей для беспилотных аппаратов.

Примеры успешного применения Single Point Incremental Forming в индустрии беспилотных аппаратов:

1. Изготовление корпусов дронов: Применение SPIF для создания легких и прочных корпусов дронов с оптимальной аэродинамикой.

2. Производство деталей автопилотов: Использование SPIF для изготовления деталей автопилотов с высокой точностью и минимальными затратами материала.

3. Создание крепежных элементов: Применение SPIF для производства крепежных элементов и кожухов, обеспечивающих надежность и легкость конструкции беспилотных аппаратов.

Роботизированные технологии, такие как инкрементная формовка и цифровизация с применением машинного зрения, играют ключевую роль в производстве беспилотных аппаратов. Основные преимущества использования этих технологий включают:

1. Гибкость и эффективность производства: возможность быстрого реагирования на изменения конструкции и производственных процессов.

2. Экономия времени и материалов: сокращение времени подготовки к производству и оптимизация использования материалов.

3. Высокая точность и качество изготовления: обеспечение высокой точности и надежности деталей для беспилотных аппаратов.

Будущее применения инкрементной формовки и цифровизации с машинным зрением в отрасли беспилотных аппаратов обещает быть перспективным и инновационным. Некоторые из перспектив включают:

1. Дальнейшее совершенствование процессов инкрементной формовки для увеличения производительности и точности изготовления.

2. Интеграция машинного зрения для автоматизации процессов контроля качества и улучшения точности изготовления деталей.

3. Развитие цифровизации производства для создания цифровых двойников беспилотных аппаратов и оптимизации производственных циклов.

Таким образом, дальнейшее развитие и применение инкрементной формовки и цифровизации с машинным зрением в отрасли беспилотных аппаратов открывает новые возможности для улучшения производственных процессов, повышения качества изделий и снижения затрат, что способствует развитию индустрии беспилотных аппаратов в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Effect of Step Size on the Formability of Al/Cu Bimetallic Sheets in Single Point Incremental Sheet Forming / K. Żaba, S. Puchlerska, Ł. Kuczek [et al.] // *Materials*. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – P. 367. – DOI 10.3390/ma16010367

2. Prediction of ductile damage and fracture in the single- and multi-stage incremental hole-flanging processes using a new damage accumulation law / S. E. Seyyedi, H. Gorji, M. J. Mirnia, M. Bakhshi-Jooybari // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2022. – Vol. 119, No. 7-8. – P. 4757-4780. – DOI 10.1007/s00170-021-08638-3.

3. Betaieb, E. Calibration of kinematic hardening parameters on sheet metal with a Computer Numerical Control machine / E. Betaieb, L. Duchêne, A. M. Habraken // *International Journal of Material Forming*. – 2022. – Vol. 15, No. 5. – P. 1-17. – DOI 10.1007/s12289-022-01714-3.

4. Bishnoi, P. Experimental Studies on Geometrical Accuracy During Single-Point Incremental Forming of Inconel 625 Superalloy / P. Bishnoi, P. Chandna // *Journal of Advanced Manufacturing Systems*. – 2022. – Vol. 21, No. 04. – P. 837-850. – DOI 10.1142/s0219686722500317.

5. Песин, А. М. Основы инкрементальной листовой формовки металлов и сплавов / А. М. Песин, Д. О. Пустовойтов. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – 145 с. – ISBN 978-5-9967-2449-9.

6. Кривошеин, В. А. Перспективы использования технологий инкрементальной формовки в современном производстве / В.А. Кривошеин, А.А. Анцифиров, Ю.В. Майстров // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. – 2014. – № 11(656). – С. 84-89.

7. Сухомлинов, Л.Г. Инкрементальная геометрически нелинейная безмоментная конечноэлементная модель пластического формоизменения листовых металлов под действием жестких инструментов / Л. Г. Сухомлинов, В. К. Петров // *Известия МГТУ МАМИ*. – 2009. – № 2(8). – С. 241-247.