

SPIF: ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОСТИЖЕНИЙ

Мироненко В.В.¹, Ремшев Е.Ю.², Олехвер А.И.²

¹*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск;*

²*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург*

Ключевые слова: перспективы развития SPIF, вызовы и проблемы SPIF, принципы работы и применение SPIF, инновации в области SPIF, потенциальные применения SPIF, технологические достижения SPIF.

Аннотация. Изучение технологии SPIF для повышения гибкости и экономической эффективности является ключевой темой статьи, в которой рассматривается применение ЧПУ и роботов, улучшение производственной эффективности и качества продукции. Моделирование процессов формовки с целью оптимизации, а также использование инкрементальной формовки с технологией SPIF для сокращения затрат и стандартов допустимой деформации в фокусе внимания исследования. Анализ параметров влияния на деформацию материалов подчеркивает значимость технологии SPIF, открывающей новые перспективы для промышленности в сфере оптимизации производственных процессов и повышения точности с применением передовых технологий*.

SPIF: AN OVERVIEW OF RESEARCH AND TECHNOLOGICAL ADVANCES

Mironenko V.V.¹, Remshev E.Yu.², Olehver A.I.²

¹*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk;*

²*Baltic State Technical University "VOENMECH" named after. D.F. Ustinova,
Saint-Petersburg*

Keywords: development prospects of SPIF, challenges and problems of SPIF, operating principles and applications of SPIF, innovations in the field of SPIF, potential applications of SPIF, technological achievements of SPIF.

Abstract. Exploring SPIF technology to improve flexibility and cost-effectiveness is the key topic of the article, which examines the application of CNC and robots, improving production efficiency and product quality. Modeling of forming processes for optimization, as well as the use of incremental forming with SPIF technology to reduce costs and deformation standards are the focus of the study. Analysis of the parameters influencing the deformation of materials highlights the significance of SPIF technology, which opens up new prospects for industry in the field of optimizing production processes and increasing precision using advanced technologies.

Недавно в различных странах активно начали изучать относительно новую технологию обработки листовых материалов, известную как инкрементальная формовка одним инструментом или SPIF. Она отличается от традиционных технологий листовой штамповки рядом особенностей, что объясняет ее растущую популярность [1-3]. Важной особенностью технологии SPIF является то, что она не требует создания специальной штамповочной оснастки, которая задает форму и размеры детали.

Эта технология основана на локальной деформации заготовки инструментом, который называется пуансон и имеет гораздо меньший размер,

чем сама заготовка. В процессе инкрементальной формовки одним инструментом пуансон перемещается по поверхности заготовки, оказывая давление и формируя деталь постепенно в малых шагах. Такой подход позволяет достичь высокой гибкости и точности в формировании сложных деталей, а также снизить затраты и время на создание специальных пресс-форм.

Кроме того, технология SPIF имеет еще ряд преимуществ. Например, она позволяет изготавливать детали из различных материалов, включая алюминий, сталь, титан и т.д. Также нет необходимости в использовании большого количества дополнительного оборудования, что делает эту технологию более доступной для малых и средних предприятий.

Таким образом, инкрементальная формовка одним инструментом представляет собой перспективную и эффективную технологию для обработки листовых материалов, которая обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами. Ее развитие и применение в различных отраслях промышленности могут привести к снижению затрат и повышению качества производства.

Для реализации технологии SPIF можно использовать как станки с ЧПУ, так и промышленные роботы. Особенность этой технологии заключается в том, что геометрия детали определяется специальной программой, которая задает траекторию движения инструмента [4]. Деформирование материала по технологии SPIF обладает определенными особенностями, благодаря которым можно достичь большей величины относительной деформации ϵ по сравнению с традиционными технологиями листовой штамповки. При этом нет необходимости применять нагрев или формовку в несколько операций с межоперационным отжигом заготовки [5].

Все эти преимущества делают технологию SPIF очень перспективной для использования в промышленности. Однако, перед тем как применять эту технологию, необходимо изучить особенности деформирования конкретных материалов, из которых изготавливаются детали. Это позволит оптимизировать процесс и достичь более точных результатов.

В статье Сухомлинова Л.Г. и Петрова В.К. [7] представлен метод конечно-элементного моделирования, помогающий понять особенности этого процесса. Результаты исследования показывают, что предельная относительная деформация ϵ , достигаемая без разрыва заготовки, зависит от множества факторов, включая свойства материала, геометрию детали и условия выполнения формовки.

Диаметр инструмента, размер пятна контакта, скорость движения инструмента, величина деформирования за один проход – все эти параметры играют решающую роль в процессе формовки. Особое внимание уделено работе Кривошеина В.А. и Рукавичко Е. [8], которые также исследовали влияние различных факторов на процесс инкрементальной формовки. Результаты их исследований позволяют глубже понять механику деформации материала и оптимизировать процесс формовки для достижения желаемых результатов.

Важным аспектом исследования являлась проверка траектории движения инструмента при инкрементальной формовке в программном комплексе Wolfram

Mathematica, проведенная А.А. Анцифировым. Помимо этого, он также осуществил моделирование процесса формовки полусферического изделия в программном комплексе Abaqus. Интересно, что по результатам данного моделирования было выявлено максимальное утонение, составившее 65%.

Тем не менее, главные максимальные и минимальные деформации на FLD-диаграмме оказались за пределами кривой предельных деформаций, что представляет собой важный аспект для исследования. Кроме того, стоит отметить, что авторам не удалось выполнить теоретический расчет распределения толщины по полусфере. Этот факт поднимает важный вопрос о методах и точности расчетов в подобного рода исследованиях.

Для более полного понимания процесса формовки и влияния различных параметров на результаты исследования требуется провести дополнительные эксперименты и уточнения. Возможно, новые подходы и методики позволят получить более точные и предсказуемые результаты, что повысит значимость данного исследования в области формовки полусферических изделий.

Возможны различные подходы к реализации технологии инкрементальной формовки. Так, в статье Аюшеева Т.В., Булычева Р.Н. [9] рассмотрено моделирование процессов инкрементальной формовки в различных вариантах, в том числе без поддержки одним инструментом (технология SPIF). Кроме того, авторы предложили метод построения спиральной траектории движения инструмента с заданной высотой гребешка для инкрементальной формовки листового металла на оборудовании с ЧПУ.

Инновационные исследования в области инкрементальной формовки, проводимые в МГТУ им. Н.Э. Баумана, под руководством Кривошеина В.А., Анцифорова А.А. и Майстрова Ю.В., открывают новые возможности для промышленности [10]. Они предполагают, что внедрение технологии SPIF позволит существенно сократить затраты на изготовление штамповой оснастки, обходясь универсальным инструментарием и оборудованием.

Помимо этого, для традиционных технологий листовой штамповки существуют стандарты, устанавливающие предельные допустимые уровни деформации материала. Например, для алюминиевого сплава АД1-М максимально допустимая относительная деформация составляет 25% [11, 12].

Идя в ногу с последними открытиями в области инженерии материалов, исследователи МГТУ уверены, что использование SPIF имеет потенциал не только экономической выгоды, но и способно значительно повысить эффективность процесса производства. Это позволит более гибко подходить к созданию сложных изделий и минимизировать издержки на производство.

Сначала стоит отметить, что инкрементальная формовка является эффективным методом. Она предполагает локальное деформирование материала заготовки с относительной деформацией, достигающей 100% и более. Этот процесс происходит со скоростью 100-150 мм/с, что значительно медленнее, чем при использовании традиционных технологий вытяжки.

Благодаря инкрементальной формовке, возможно получать детали с высокой точностью и меньшими вероятными дефектами. Она способствует равномерному распределению деформаций, что снижает риск появления

микротрещин и других нежелательных дефектов. Такой подход к формовке заметно повышает качество конечного изделия.

В результате, инкрементальная формовка представляет собой современное и перспективное направление в области производства деталей. Ее преимущества включают не только улучшенное качество изделий, но и сокращение времени и затрат на производственный процесс.

Новые возможности в области деформации материалов открывают перед индустрией перспективы для использования инновационных технологий. Важно отметить, что сочетание различных параметров оказывает значительное влияние на предельную величину относительной деформации в процессе формовки металлов. Это включает в себя толщину материала, диаметр инструмента, скорость движения инструмента, а также величину деформации за один проход.

Исследования зарубежных ученых указывают на потенциал достижения относительной деформации на уровне 60-110% для различных алюминиевых сплавов при использовании определенных технологий. Один из вариантов, такой как технология инкрементальной формовки одним инструментом без поддержки (SPIF), выделяется как наиболее простой в реализации среди имеющихся методов.

По мнению специалистов, SPIF имеет потенциально широкие возможности для применения в промышленности благодаря своей простоте и эффективности. Этот метод открывает новые перспективы для усовершенствования процессов деформации материалов и расширения границ возможных технологических решений в данной области.

Модернизация производства включает в себя поиск новых способов изготовления деталей. Для успешной разработки технологий инкрементальной формовки конкретных изделий необходимо учитывать следующие аспекты:

1. Исследование допустимых пределов деформации материалов, используемых в процессе производства.

2. Определение соответствующих параметров процесса и режимов для обеспечения качественного конечного продукта.

Эти шаги позволят повысить эффективность производства и обеспечить высокое качество изготавливаемых деталей. Эксперименты и исследования в этой области помогут оптимизировать процесс изготовления и сделать его более точным и эффективным. Современные технологии позволяют добиться высокой точности формовки и создать изделия с минимальным количеством дефектов.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (НИР «Исследование и прогнозирование градиентных полей прочности и пластических характеристик металлов в процессах холодной обработки давлением при сложном нагружении», FZWF-2024-0006).

Список литературы

1. Dobecki M., Poche A., Reimers W. Spatially Resolved Forming Mechanisms Detection in Single Point Incremental Forming Using Synchrotron Based Texture Analysis // Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science. 2021, vol. 52, pp. 2746-2759. DOI: 10.1007/s11661-021-06261-1.

2. Do V. C., Xiao-Xiao, Ahn D. Ch., Kim Y. S. Formability and effect of hole bridge in the single point incremental forming // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2017, vol. 18, no. 3, pp. 453-460. DOI: 10.1007/s12541-017-0054-z.
3. Oleksik V., Pascu A., Deac C. Experimental study on the surface quality of the medical implants obtained by single point incremental forming // International Journal of Material Forming. 2010, vol. 3, no. 1, pp. 935-938. DOI: 10.1007/s12289-010-0922-x.
4. Dufloy J., Tunçkol Y., Szekeres A., Vanherck P. Experimental study on force measurements for single point incremental forming // Journal of Materials Processing Technology. 2007, vol. 189, no. 1-3, pp. 65-72. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2007.01.005.
5. Бадиян Е.Е., Тонкопряд А.Г., Солхдост Ш.З. Характер развития локальной пластической деформации в тройных стыках зерен в процессе деформирования поликристаллических образцов алюминия // Эволюция дефектных структур в металлах и сплавах: I Международный семинар, Барнаул, 08-12 сентября 1992 года. – Барнаул: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-исследовательский центр "Системы управления", 1992. – С. 199-200.
6. Dakhli M., Boulila A., Manach P. Y., Tourki Z. Optimization of processing parameters and surface roughness of metallic sheets plastically deformed by incremental forming process // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019, vol. 102, no. 1, pp. 977-990. DOI: 10.1007/s00170-018-03265-x.
7. Сухомлинов Л.Г., Петров В.К. Инкрементальная геометрически нелинейная безмоментная конечноэлементная модель пластического формоизменения листовых металлов под действием жестких инструментов // Известия МГТУ МАМИ. – 2009. – № 2(8). – С. 241-247.
8. Кривошеин В.А., Рукавичко Е.А., Анцифиров А.А. Разработка технологии получения полусферических изделий методом инкрементальной формовки // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – Т. 9, № 3. – С. 67.
9. Аюшеев Т.В., Булычев Р.Н. Создание спиральной траектории инструмента с заданной высотой гребешка для инкрементальной формовки листового металла // Динамика систем, механизмов и машин. – 2018. – Т. 6, № 2. – С. 249-255. – DOI: 10.25206/2310-9793-2018-6-2-249-255.
10. Кривошеин В.А., Анцифиров А.А., Майстров Ю.В. Перспективы использования технологий инкрементальной формовки в современном производстве // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2014. – № 11(656). – С. 84-89.
11. ГОСТ 21631-2019 Межгосударственный стандарт. Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия.
12. Авиационные материалы: Справочник в 9-ти т. / Под. общ. ред. Р.Е. Шалина. – 6-е изд. перераб. и доп. – М.: ОНТИ ВИАМ, 1986. – Т. 4. – Ч. II. – Алюминиевые и бериллиевые сплавы. – 132 с.

Сведения об авторах:

- Мироненко Владимир Витальевич* – к.т.н., доцент института информационных технологий и анализа данных, сотрудник лаборатории сетевых систем и ИТ-инфраструктуры;
- Ремшев Евгений Юрьевич* – к.т.н., доцент кафедры «Высокоэнергетические устройства автоматических систем»;
- Олехвер Алексей Иванович* – к.т.н., доцент кафедры «Высокоэнергетические устройства автоматических систем».