

Экономика, организация и менеджмент на предприятии

УДК 621.7.043

Перспективы использования технологий инкрементальной формовки в современном производстве

В.А. Кривошеин, А.А. Анцифиров, Ю.В. Майстров

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Prospects of the incremental forming technology in modern manufacturing

V.A. Krivoshein, A.A. Antsifirov, Yu.V. Maystrov

Bauman Moscow State Technical University, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation.



e-mail: krivosheinvitaly@gmail.com, aaleksei@inbox.ru, screamer.mail@gmail.com



Для освоения новых технологий обработки металлов давлением необходим подход с максимально эффективным использованием информационных технологий. Этот принцип заложен в системах с ЧПУ и может быть реализован в области обработки листового материала давлением. Основа успешного развития производства — быстрое реагирование на спрос. Исходя из этого, одним из важнейших факторов на производстве является его гибкость и возможность в кратчайшие сроки обеспечить потребности заказчика. В области обработки металлов давлением такой подход затруднен, так как для реализации новых технологий необходимо время для их освоения и производства штамповой оснастки, а также значительные капиталовложения на этапах подготовки производства. Рассмотрена технология инкрементальной штамповки листового материала использование которой позволяет оперативно реагировать на потребности рынка путем быстрого и качественного восполнение этих потребностей за счет значительного снижения трудоемкости подготовки производства и последующего изготовления деталей. Проведен анализ типовых схем деформирования и выявлены их преимущества и недостатки. Рассмотрена актуальность технологии инкрементальной формовки и ее область применения в отечественном машиностроении. Исследование показало, что технологии инкрементальной формовки широко изучаются за рубежом и успешно внедряются в заготовительном производстве. Реализация такого гибкого подхода к производству изделий особенно актуальна в области прототипирования и дизайна изделий, аэрокосмической промышленности и медицины и является важной задачей в современном конкурентном рынке металлопродукции.

Ключевые слова: инкрементальная формовка, листовая штамповка, прототипирование, дизайн.



New metal forming technologies can only be developed on the basis of information technologies. This principle is applied in CNC systems and can be implemented in sheet forming. The successful development of production is based on a rapid response to demand. Therefore, the

most important factors in the production are its flexibility and responsiveness to customer needs. In the area of metal forming, this approach is difficult to apply since the implementation of new technologies needs time to develop the stamping equipment and considerable investments on the preparatory stages of production. In this paper, the technology of incremental forming of sheet materials is considered. It makes it possible to quickly respond to market demands due to a significant reduction in complexity of pre-production and subsequent manufacturing stages. Typical deformation schemes are analyzed, and their strengths and weaknesses are discussed. The relevance of the incremental forming technology and the areas of its implementation in this country are considered. The research has shown that the incremental forming technology is widely studied abroad and successfully used at the stage of blank production. The application of this flexible approach to manufacturing parts is especially important for prototyping and designing products, in aerospace industry and medicine, and is an important task of the up-to-date competitive steel market.

Keywords: incremental forming, sheet-metal stamping, prototyping, design.

Основу экономики любой страны составляет производство, создание экономического продукта. Наиболее эффективно предприятия функционируют в условиях цивилизованного рынка. При рыночных отношениях основой успешного развития производства является спрос на его продукцию, а также наличие здоровой конкуренции развитой рыночной инфраструктуры, демонополизация экономики.

В отличие от информационных и подобных востребованных технологий современного рынка, не требующих значительных материальных вложений, в машиностроении для реализации и внедрения новых технологий необходимо время для их освоения при значительных капиталовложениях на этапах подготовки производства. Для технологий обработки металлов давлением, например, необходимо спроектировать и изготовить штамповую оснастку, экономическая целесообразность которой наиболее обоснована только в условиях серийного производства. Далее ставится вопрос о наличии подходящего прессового оборудования и средств механизации и автоматизации. Все это в совокупности приводит к замедлению выхода готовой продукции и, как следствие, к снижению конкурентоспособности предприятия.

Одним из путей выхода из сложившейся ситуации является максимальная степень интеграции информационных технологий в область обработки металлов давлением. Технологии инкрементальной формовки (формовки с локализацией очага пластической деформации) — одно из направлений в развитии гибких производств при обработке металлов давлением (ОМД). Последнее 10-летие они успешно исследуются и реализуются на предприятиях Японии, США, а также некоторых странах Европы.

Цель работы — обобщение опыта зарубежных исследователей в области инкрементальной

формовки и оценка применимости рассматриваемой технологии в отечественной промышленности.

Схемы деформирования. Инкрементальная формовка — новый процесс обработки листового материала, в котором заготовка локально деформируется пуансоном со сферическим торцом путем перемещения одного или нескольких инструментов вдоль заданного направления (рис. 1). Концевые части заготовки при этом жестко фиксируются между нижней плитой и прижимом. Кроме перемещения вдоль заданного пути для снижения влияния сил контактного трения пуансон вращается вокруг своей оси. Технология позволяет обрабатывать конструкционные, коррозионностойкие, высокопрочные и оцинкованные стали, цветные металлы, титан и другие материалы. Основное отличие от традиционных технологий состоит в том, что не требуется изготовление дорогостоящего формоизменяющего инструмента и использование мощного прессового оборудования, т.е. формоизменение выполняется не за счет заполнения полости путем совмещения нижней и верхней гравюр штампа, а за счет реализации перемещений инструмента

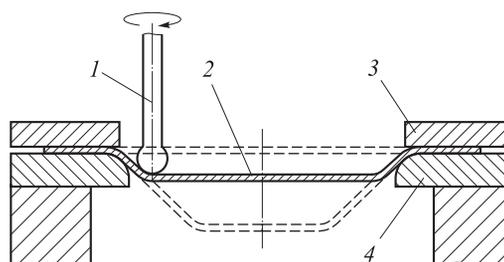


Рис. 1. Принципиальная схема инкрементальной формовки:

1 — пуансон; 2 — заготовка; 3 — прижим; 4 — нижняя плита

по заданному контуру по заранее рассчитанным траекториям.

Схожий подход к деформированию реализуется в ротационной вытяжке и других процессах, в которых также используется метод локализации очага пластической деформации, позволяющий эффективно интенсифицировать процессы [1–3] за счет чего исключается образование концентраций напряжений и микротрещин и увеличивается степень формоизменения, но отличается тем, что деформирование в инкрементальной формовке осуществляется только за счет перемещения инструмента при полной фиксации заготовки. Таким образом можно получать не только осесимметричные изделия, а изделия практически любой формы, в том числе с наличием внутренних углов и в широком диапазоне размеров. Также за счет контроля и управления изменением толщиной материала по сечению заготовки, которое достигается использованием различных стратегий движения инструмента, рационально применять технологию инкрементальной формовки для получения сферических заготовок, изготавливаемых преимущественно методом реверсивной формовки [4]. Хорошей аналогией данного процесса является технология 3D-принтера, в которой используется метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели. Эта технология нашла широкое применение в производстве как экономически целесообразная альтернатива традиционным методам получения изделий из пластмасс.

Для повышения точности получаемых изделий и расширения технологических возможностей используют различные схемы формоизменения [5]. Типовые схемы процесса инкрементальной формовки представлены на рис. 2.

Формовка по схеме, приведенной на рис. 2, а, выполняется одним пуансоном без дополнительных подпоров. За счет действия изгибающих моментов точность полученной заготовки невысокая и ее применение нерационально при значительных степенях формоизменения. Эти недостатки устранены при использовании различных видов подпоров (рис. 2, б–д), обеспечивающих жесткую конструкцию и исключаящих действие изгибающего момента, но требующих дополнительной оснастки. Схема, представленная на рис. 2, е, имеет преимущества всех перечисленных схем благодаря наличию контрпуансона, который перемещается совместно с основным пуансоном. Таким образом снижается влияние изгибающего момента и появляется возможность получения более сложных форм

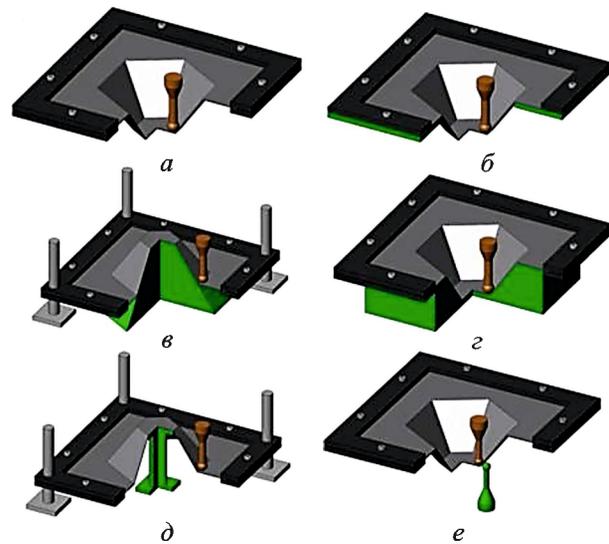


Рис. 2. Схемы инкрементальной формовки:

а — с одним пуансоном; б — с пуансоном и опорной плитой под заготовкой; в, г — с опорной матрицей; д — с нижним подпором; е — с контрпуансоном

изделия, в том числе и с внутренними углами. Однако для этого требуется специализированное оборудование.

Область применения. Технологии инкрементальной формовки наряду с целым рядом преимуществ на данном этапе развития имеют низкую производительность, что в некоторой степени ограничивает область их применения (рис. 3) [6].

Данная технология может стать незаменимым инструментом для прототипирования деталей, и как показывает зарубежный опыт, уже широко используется в автомобильной промышленности (рис. 4, а) [7], например, на заводе компании Ford. **Перспективно приме-**

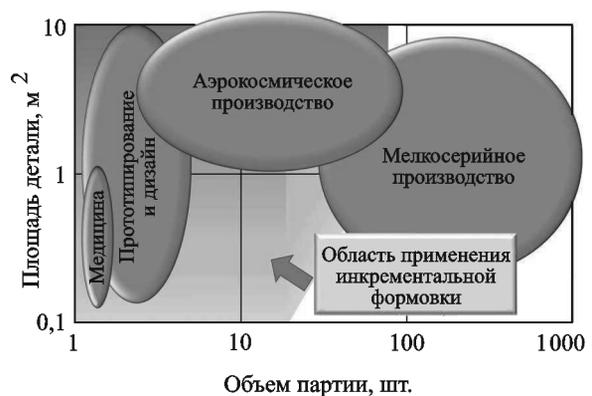


Рис. 3. Область применимости инкрементальной формовки

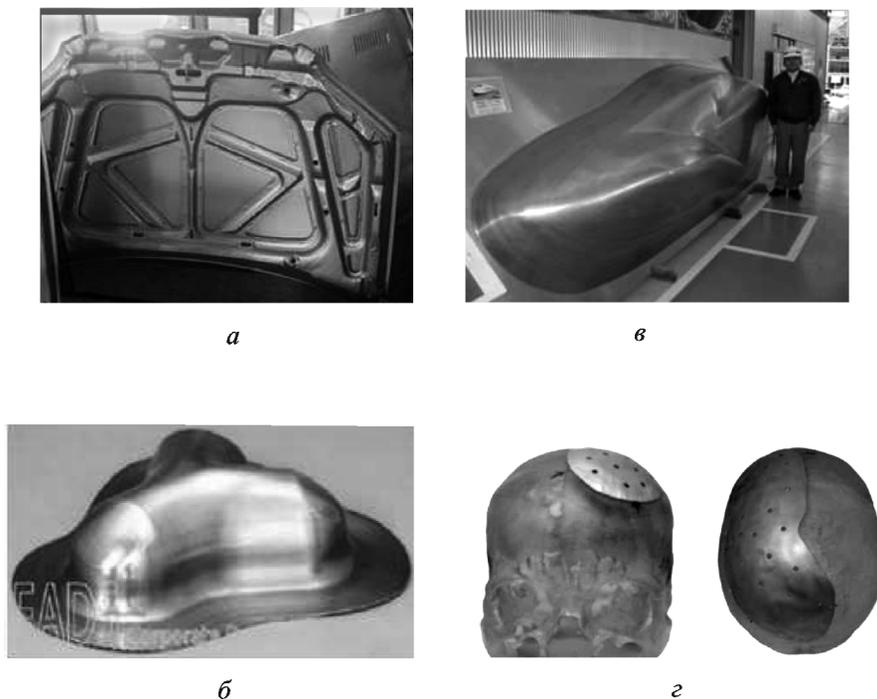


Рис. 4. Детали, полученные инкрементальной формовкой:

a — капот автомобиля (Amino KK, Japan); *б* — воздухопровод (EADS Company и RTWTH-IBF Institute) [7]; *в* — макет передней секции железнодорожного экспресса в Японии (Amino KK, Japan) [8]; *г* — черепная пластина [10]

ние технологий инкрементальной формовки в аэрокосмической и других видах промышленности (рис. 4, б), где наряду с малым объемом партии требуется изготавливать корпусные детали больших размеров (рис. 4, в) и, как следствие, использовать габаритную дорогостоящую штамповую оснастку наряду со специализированным прессовым оборудованием большой номинальной силы [8]. Инкрементальная формовка позволит практически свести к нулю затраты на изготовление штамповой оснастки, ограничиться универсальным набором инструментов и оборудованием.

Перспективно внедрение технологии инкрементальной формовки в медицине (рис. 4, г), в частности в области протезирования [9, 10], где требуется индивидуальный подход к каждому протезу, например, изготовление черепных, стоматологических или ортопедических пластин.

Преимущества инкрементальной формовки:

- использование САD-модели детали для получения требуемых размеров без применения штампового инструмента;
- повышение степени формоизменения и уменьшения деформирующих сил за счет локализации очага пластической деформации;
- возможность использования для формовки фрезерных ЧПУ;

- размеры детали ограничены только размером стола оборудования;

- не требуется сложная штамповая оснастка. Недостатки:

- низкая производительность в отличие от традиционных процессов;

- применяется только в мелкосерийном производстве;

- сложные алгоритмы движения инструмента, которые позволяют обеспечить высокую степень формоизменения и точность получаемой детали с учетом упругих деформаций.

Выводы

1. Технологии инкрементальной формовки находят все большее применение во всех областях промышленности благодаря своей универсальности, гибкости и скорости получения первых изделий партии.

2. Современное программное обеспечение позволяет на основе исходной 3D-модели правильно определить стратегию и режимы формообразования поверхности детали, провести предварительное моделирование выбранных режимов и реализовать их в производстве без использования дорогостоящей штамповой оснастки применяемой в традиционных технологиях.

Литература

- [1] Кривошеин В.А. Интенсификация процесса обжима посредством выбора геометрии поверхности контакта заготовки с матрицей. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2011, № 6, с. 15–18.
- [2] Кривошеин В.А. Теоретический расчет силы при обжиге в профилированной матрице. *Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана*, 2011, № 9. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/215636.html> (дата обращения 10 октября 2011).
- [3] Попов Е.А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н. *Технология и автоматизация листовой штамповки*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. 480 с.
- [4] Шитиков А.А. Моделирование предварительного перехода при пневмоформовке в состоянии сверхпластичности. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*, 2014, № 2, с. 34–40.
- [5] Allwood J.M., Braun D., Music O. The effect of partially cut-out blanks on geometric accuracy in incremental sheet forming. *Journal of Materials Processing Technology*, 2010, vol. 210, issue 11, pp. 1501–1510.
- [6] *Brief Introduction to Incremental Sheet Forming*. Available at: <http://cornet.efb.de/index.php?menuid=22> (дата обращения 23 июня 2014).
- [7] *Micromanufacturing.net: new manufacturing technologies to face the challenge of miniaturization*. Available at: http://www.micromanufacturing.net/didactico/Desarollo/microforming/4-incremental-sheet-metal-forming/4-4-applications/4-4-aplicaciones/view?set_language=en (дата обращения 23 июня 2014).
- [8] *Incremental Sheet Forming*. Available at: <http://www.lcmp.eng.cam.ac.uk/wellformed/incremental-sheet-forming> (дата обращения 23 июня 2014).
- [9] Douflou J. R., Verbert J., Belkassam B., Gu J., Sol H., Henrard C., Habraken A.M. Process window enhancement for single point incremental forming through multi-step toolpaths. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2008, vol. 57, issue 1, pp. 253–256.
- [10] Douflou J.R., Lauwers B., Verbert J., Gelaude F., Tunckol Y. Medical application of single point incremental forming: Cranial plate manufacturing. *2nd International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping, VRAP 2005*, Leiria, Portugal, 28 September 2005, pp. 161–166.

References

- [1] Krivoshein V.A. Intensifikatsiia protsessa obzhima posredstvom vybora geometrii poverkhnosti kontakta zagotovki s matritsei [Intensification of swaging by selecting shape of contact surface blank with die]. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii* [Production engineering procurement]. 2011, no. 6, pp. 15–18.
- [2] Krivoshein V.A. Teoreticheskii raschet sily pri obzhime v profilirovannoi matritse [Theoretical calculation of forces swaging profiled in the matrix]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU]. 2011, no. 9. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/215636.html> (accessed 10 October 2011).
- [3] Popov E.A., Kovalev V.G., Shubin I.N. *Tekhnologiya i avtomatizatsiya listovoi shtampovki* [Technology and automation of sheet metal forming]. Moscow, Bauman Press, 2000. 480 p.
- [4] Shitikov A.A. Modelirovanie predvaritel'nogo perekhoda pri pnevmoformovke v sostoianii sverkhplastichnosti [Simulation of the Preliminary Stage at Pneumofforming in Superplasticity State]. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem* [Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure]. 2014, no. 2, pp. 34–40.
- [5] Allwood J.M., Braun D., Music O. The effect of partially cut-out blanks on geometric accuracy in incremental sheet forming. *Journal of Materials Processing Technology*, 2010, vol. 210, issue 11, pp. 1501–1510.
- [6] *Brief Introduction to Incremental Sheet Forming*. Available at: <http://cornet.efb.de/index.php?menuid=22> (accessed 23 June 2014).
- [7] *Micromanufacturing.net: new manufacturing technologies to face the challenge of miniaturization*. Available at: http://www.micromanufacturing.net/didactico/Desarollo/microforming/4-incremental-sheet-metal-forming/4-4-applications/4-4-aplicaciones/view?set_language=en (accessed 23 June 2014).
- [8] *Incremental Sheet Forming*. Available at: <http://www.lcmp.eng.cam.ac.uk/wellformed/incremental-sheet-forming> (accessed 23 June 2014).

- [9] Douflou J. R., Verbert J., Belkassam B., Gu J., Sol H., Henrard C., Habraken A.M. Process window enhancement for single point incremental forming through multi-step toolpaths. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2008, vol. 57, issue 1, pp. 253–256.
- [10] Duflou J.R., Lauwers B., Verbert J., Gelaude F., Tunckol Y. Medical application of single point incremental forming: Cranial plate manufacturing. *2nd International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping*, VRAP 2005, Leiria, Portugal, 28 September 2005, pp. 161–166.

Статья поступила в редакцию 30.06.2014

Информация об авторах

КРИВОШЕИН Виталий Александрович (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: krivosheinvitaliy@gmail.com).

АНЦИФИРОВ Алексей Анатольевич (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: aaleksei@inbox.ru).

МАЙСТРОВ Юрий Владимирович (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки давлением». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: screamer.mail@gmail.com).

Information about the authors

KRIVOSHEIN Vitaliy Aleksandrovich (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Pressure-Processing Technology» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: krivosheinvitaliy@gmail.com).

ANTSIFIROV Aleksey Anatol'evich (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Pressure-Processing Technology» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: aaleksei@inbox.ru).

MAYSTROV Yuriy Vladimirovich (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Pressure-Processing Technology» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: screamer.mail@gmail.com).