

References

1. Bekes, J., Andonov, I.: Analysis and synthesis of machining objects and processes, ALFA, Bratislava, ISBN 60-080-86 (1986).
2. Gawronska, E. & Sczygio, N., 2010. Application of mixed time partitioning methods to raise the efficiency of solidification modeling, 12th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing, IEEE, 99-103.
3. Vychytil, J. & Holecek, M., 2010. The simple model of cell prestress maintained by cell incompressibility, Mathematics and computers in simulation, 80(6), 1337-1344.
4. Turisova, R. et al., 2012. Verification of the risk assessment model through an expert judgment, Quality innovation prosperity, 16(1), 37-48.
5. International standard, Data model for Computerized Numerical Controllers, ISO 14649-1, Part 10: General Process Data.
6. Monka, P. et al.: Multivariant process plans design in relation to the European market, DAAAM Symposium, Trnava, Slovakia, pp. 901-902 (2008).
7. Zetek, M., Zetkova, I.: Increasing of the cutting tool efficiency from tool steel by using fluidization method, 25th DAAAM Int. Symposium, Vienna, Vol. 100, pp. 912-917, (2015).
8. R. Cep et al.: Surface roughness after machining and influence of feed rate on process, Key Engineering Materials, Vol. 581, pp. 341-347, (2014).
9. Monkova, K. et al.: Newly developed software application for multiple access process planning, Advances in Mechanical Engineering, pp. 39071-39071, (2014).
10. Jurko, J. et al.: Verification of cutting zone machinability during the turning of a new austenitic stainless steel, Adv. Comp. Sci. Edu. Appl., 202/2, pp. 338-345, (2011).
11. Monkova K., Monka P., Ungureanu M., Ungureanu N., Gusak O., Edl M. Data flow for object manufacturing inside of information system for Industry 4.0, 3rd EAI International Conference on Management of Manufacturing Systems, (2018), doi.org/10.4108/eai.6-11-2018.2279585.

УДК 621.983

**Ю.А. Буренников, к.т.н., проф.,
О.М. Мироненко, инженер**

Винницкий национальный технический университет

МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ ИЗ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ (3D ВЫТЯЖКА)

В металлообработке распространены различные методы изготовления оболочковых деталей. Самые известные из них – это ковка, штамповка, литье, сварка и механообработка. На выбор оптимального метода влияют такие параметры, как тип детали, ее размер и назначение. Каждый из перечисленных методов изготовления деталей имеет свои особенности, обладает определенными преимуществами и недостатками. Сравним самые распространенные из них.

Литейная обработка – один из наиболее распространенных методов изготовления деталей. Данный метод требует изготовления формы, которую затем заполняют расплавленным металлом. Возможности этого метода несколько ограничены, стоимостью оснастки, для изготовления точных деталей, высокой разностенностью изделий, неоднородностью структуры металла, невозможностью изготовления тонкостенных

оболочек. Несмотря на эти недостатки, литье отлично подходит для создания сложных отливок – например, полых, которые трудно производить путем механической обработки.

Обработка резанием – основной метод изготовления деталей машин, использующий несколько видов заготовок: прокат, отливки и штамповки. В процессе резания, формирование новых поверхностей происходит за счет отделения верхних слоев материала. При обработке металла снимают некоторую его часть – припуск. За счёт повышения точности исходных заготовок объем металла, уходящего в отходы, заметно уменьшается. Формирование оболочковых деталей затруднено в связи с большими силами возникающими в процессе обработки которые деформируют обрабатываемую деталь.

Формирование поверхностей оболочковых деталей из простых поверхностей, сваривая их между собой, формируются более сложные объемные поверхности. Такая обработка подходит для изготовления большинства деталей, состоящих из простых поверхностей, в виде плоскостей. Но целесообразность использования сварки, в сложных оболочковых деталях, зависит от конструктивных особенностей.

Стоит учитывать и трудоёмкость сварки. Если нет возможности выполнить сборочно-сварочные операции, а готовые детали затем надо обрабатывать дополнительно, необходимо искать другие методы изготовления деталей.

Обработка давлением – самый широко используемый метод изготовления оболочковых деталей.[5] В него входит огромное количество технологий и способов обработки. За счет хороших показателей пластичности, металлу может быть придана любая форма. Структура материала при этом не нарушается. Поэтому на обработку металлов давлением есть стабильный спрос. Обработка давлением идеально подходит, если необходимо максимально снизить стоимость производства. Детали при этом изготавливают в большом количестве и в минимальные сроки. Недостаток данного метода – более высокий процент брака по сравнению с другими технологиями. Обрабатываемая заготовка также может потрескаться и расколоться.

Наиболее близкий по своей сути есть метод формирования детали оболочковой формы методом ротационной вытяжки. [3]

Ротационная вытяжка - это процесс локального циклического деформирования плоской или полый заготовки вращающейся вокруг оси шпинделя инструментом в виде одного или нескольких роликов.

Выполненные исследования показали, что скорость подачи, частота вращения шпинделей, мощность, жесткость и тяговые усилия современных токарных станков с ЧПУ в основном удовлетворяют требованиям, предъявляемым к таким технологиям.

При числовом управлении такими станками задается информация как о скорости вращения заготовки, скорость подачи и ускорение перемещения, так и о траектории движения рабочих инструментов. Благодаря этому при разработке программы можно добиться максимального использования пластических свойств материала и создания благоприятных условий деформирования. Эти параметры можно изменять, в любой момент на каждом переходе, добиваясь заданной шероховатости поверхности, высокой точности и высокой производительности обработки. Программа может быть длительной, что дает возможность полностью обрабатывать оболочки сложной формы. Вытяжку можно вести как на оправке, форма которой совпадает с конечной формой детали, так и на простой оправке, добиваясь соблюдения нужной формы изделия путем назначения необходимых режимов обработки.

Подготовка программ для ротационной вытяжки (РВ) на станках с ЧПУ трудоемкая и сложная, поэтому актуальны проблемы разработки прогрессивной технологии и способов автоматизации подготовки программ.

Преимущества и недостатки ротационной вытяжки имеют место и в объемной (3D) вытяжке. Пластическое формование оболочковых деталей вытяжкой - это процесс локального циклического деформирования плоской заготовки инструментом в виде

одного или нескольких шаровидных опор. Инструменты при пластическом формования оболочковых деталей вытяжкой зачастую не привязаны к геометрии деталей, поэтому данный способ имеет высокую формообразующую гибкость не только в сфере серийного производства, но и при изготовлении ограниченного количества деталей, изготовлении единичных прототипов и является реальной альтернативой обычной листовой штамповке.

Основные преимущества пластического формования оболочковых деталей вытяжкой по сравнению со штамповкой, заключаются в следующем: универсальность и широкие технологические возможности процесса; простота и низкая стоимость оснастки и инструмента; возможность обработки резанием и пластическим деформированием на одном станке; высокая концентрация операций и возможность окончательного изготовления изделий сложной формы на одном рабочем месте. Стоимость оснастки для объемной вытяжки составляет 5-10% от стоимости инструментальных штампов, а вес по сравнению с весом штампов - около 15-20%, а иногда и меньше. Благодаря ее внедрению сроки подготовки производства уменьшаются в 5-10 раз. Детали, изготовленные методом пластического формования оболочковых деталей вытяжкой на станках с ЧПУ полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к изделиям, полученных штамповкой.

Для обеспечения производства деталей, в виде оболочки, необходимы следующие компоненты.

1. Разработать технологии объемной формовки изделия из тонколистового материала.

2. Разработать программное обеспечение системы автоматического проектирования траектории движения инструмента с учетом сил, деформаций, устойчивости формы, в кодах M, G (ЧПУ) для обработки детали в 3D пространстве.

3. Разработать оборудование для объемной формовки изделий, путем пластического деформирования, из тонколистового материала

Рассмотрим состояние этих компонентов для технологии и ее взаимосвязи с разработкой программы изготовления детали данным методом.

Подготовка программ для 3D вытяжки на станках с ЧПУ трудоемкая и сложная, поэтому актуальны проблемы разработки прогрессивной технологии и способов автоматизации подготовки программ. Для автоматического программирования работы станков с ЧПУ нами использованы графические САП AutoCAD T-FLEX, КОМПАС- 3D, SolidWorks, а для программирования в MG кодах использованы системы ArtCam, T-FLEX, SolidWorks, разработанные для фрезерных станков.

Технологическая подготовка программ[1]. Подготовка управляющей программы для станков с ЧПУ состоит из трех стадий: технологической, математической и программирования. Технологическая подготовка программ для 3D вытяжки полых деталей на фрезерных станках с ЧПУ существенно отличается от технологической подготовки для фрезерных станков других видов. Это объясняется в первую очередь тем, что растет сложность технологических задач. Управляющие программы разрабатываются или на ЭВМ с использованием систем автоматического программирования (САП), или ручным способом. Подготовку исходных данных выполняет технолог-программист, знакомый с основами 3D вытяжки и с языком программирования конкретной системы САП. Готовая система САП для обработки деталей 3D вытяжки авторам не известна. Поэтому нами для реализации процесса использованы упомянутые выше САП с элементами ручного программирования. Такое программирование проводится в определенной последовательности: изучение существующих методов изготовления деталей на применяемых для вытяжки давяльных станках, разработка технологической документации и управляющей программы; проверка и корректировка программы. Ознакомление с существующими методами изготовления деталей на токарно - давяльных и фрезерных станках с ЧПУ в первую очередь преследует цель максимального использования известных технологических приемов и существующего оснащения и инструмента. При

этом изучают маршрут технологического процесса обработки детали, анализируют изменение формы заготовки на каждом переходе, а также после каждой операции, планируемой на станках с ЧПУ. Определяют способы базирования, методы вытяжки отдельных элементов промежуточных заготовок, специальные технологические приемы, используемые при вытяжке. Разрабатывают подробно операции технологического процесса полной обработки детали. Устанавливают режимы обработки отдельных участков детали, используя имеющийся технологический опыт, элементы теории 3D вытяжки, общие положения обработки металлов давлением с учетом технологических возможностей станка с ЧПУ. Содержание процесса записывается в операционно-технологическую карту, к которой прилагается эскиз обрабатываемой на данной операции детали. На основе операционно-технологической карты и схемы движения давящих и х инструментов разрабатывается расчетно-технологическая карта (РТК), по которой составляется карта программирования, которая является исходным документом для разработки управляющей программы. Разработана управляющая программа проходит ряд проверок и при необходимости корректируется. Выбор траекторий движения давящего инструмента и расчет величины 3D вытяжки является комплексной технико-экономической задачей, решение которой заключается в выборе и комбинации движений обеспечивающих минимум затрат на изготовление детали при заданных технических ограничениях.[4] Для проектирования схемы движения давящих инструментов необходимо построить траектории рабочего и вспомогательного перемещений при обработке всех поверхностей. Наибольшую сложность представляет построение траектории движения инструмента при многопереходной обработке. При этом траекторию рассчитывают графо-аналитическими методами с учетом известных рекомендаций. Количество переходов и режимы 3D вытяжки любой детали определяют на основе оценки деформированности материала заготовки и устойчивости формоизменения. [2]

На основе анализа полученных результатов строятся траектории с учетом определенных на стадии проектирования допустимых степеней деформации и деформирующих усилий на каждом переходе для каждого участка сложной детали при принятом методе обработки. При выборе исходного положения "ноль инструмента" нужно исходить из того, чтобы самая длинная траектория не выходила за установленные пределы. Определение оптимальных траекторий движения давящего инструмента и режимов вытяжки, обеспечивающие минимальную себестоимость обработки, зависит от формы, размеров и материала заготовки, допустимой степени утонения, особенности станка с ЧПУ, принятого критерия оптимизации, числа оптимизированных параметров и др. В РТК и на других схемах, построенных для станков с ЧПУ, движение давящего инструмента изображается как траектория перемещения центра кривизны рабочей поверхности инструмента. Схему движений и деталь вычерчивают при помощи САП AutoCAD SolidWorks ArtCAM КОМПАС-3D. Направление движения указывают стрелками. При большом числе инструментов и значительном числе опорных точек следует вычерчивать схему движения для каждого инструмента в отдельности. Во избежание ошибок рекомендуется сочетать вычерчивание схемы движения инструментов с составлением РТК. Где РТК дает всю информацию для расчета и кодирования траекторий движения инструмента. Расчет, кодирование и запись программ движения инструментов при 3D вытяжке выполняют теми же методами, которые применяют при токарной обработке на станках с ЧПУ.

При технологической подготовке операций объемной вытяжки деталей на станках с ЧПУ недостаточно изготовить управляющие программы для осуществления определенных траекторий движения давящего инструмента[1]. Прежде всего необходимо обеспечить стабильность процесса, устойчивость процесса вытяжки заготовки. Предотвратить гофрообразование и избыточное утонение, обеспечить заданную точность, высокую производительность обработки деталей в автоматическом режиме работы станка. Это

достигается путем технически обоснованного выбора модели станка с ЧПУ, допустимых степеней деформации, величин подач, геометрических параметров оборудования и инструмента. Станок с ЧПУ выбирают из условия обеспечения необходимых усилий деформирования и производительности обработки при заданных размерах заготовки и механических свойствах материала. При выборе станка учитывают его технологические возможности, обеспечения полной загрузки и отпускную цену.

При осуществлении 3D вытяжки происходит следующая последовательность действий. Для обеспечения необходимой формы изделия моделируется 3D модель. По 3D модели моделируется с помощью метода конечных элементов обработка в виде траекторий движения инструментов в 6 степенном пространстве. На подвижном столе закрепляется заготовка из стального тонкого листа зацементированием по периферии листа. Давильные инструменты в виде стержня с наконечником шаровидной формы давят на лист с двух сторон перемещаясь в трехмерном пространстве по известным траекториям, последовательно выдавливая требуемую форму изделия.

Выводы

Метод изготовления деталей последовательным выдавливанием формы при точечным приложением силы к оболочке, с перемещением точки приложения инструмента по траектории заданной системой ЧПУ позволит увеличить диапазон выпускаемых изделий. Метод отличается затратами малой энергии при формировании изделия большого объема. Последовательно деформируя малые объемы оболочки добиваемся изменение формы плоской заготовки в виде листа в большем объеме требуемого изделия таким образом обеспечивая экономию энергетических затрат. Новый метод изготовления таких деталей с помощью объемной формовки оболочковых деталей сложной формы на 6 координатных станках с ЧПУ даст возможность индивидуально изготавливать оболочку предварительно созданную с помощью САПР модели и сформировать оболочку с помощью деформации ее без штампов в шести координатном пространстве (имеется ввиду 3 декартовых координаты и 3 полярных).

Для обеспечения оптимальной траектории движения инструмента необходимо моделировать процесс изготовления детали. Эта возможность обеспечивается современным уровнем развития вычислительной техники которая позволяет обработку больших массивов данных за короткий промежуток времени.

Список литературы

1. Сивак І.О. Розподіл внутрішніх силових факторів в перерізі циліндричної заготовки при локальному навантаженні/ І.О. Сивак, О.М.Мироненко, Є.І.Шевчук, Вісник Хмельницького національного університету.-2013.-№1 –С.32 -36.
2. Шевчук Є.І. Виготовлення осесиметричних деталей складної форми на верстатах з ЧПК, методом ротаційної витяжки. /К.І.Шевчук, І.О. Сивак, О.М.Мироненко Вісник Хмельницького національного університету.-2016.-№1 –С.160 -164.
3. Могильный Н.И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках. /Могильный Н.И – М.:Машиностроение,1983,-190 с.
- 4.Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении/ В.А. Огородников -К.: УМК ВО,1989,-152 с.
5. Огородников В.А.Энергия Деформации. Разрушение: (задачи автотехнической экспертизы)/ В.А. Огородников, И.О.Кисилев, И.О. Сивак. –Винница. УНИВЕРСУМ-Вінниця, - 204 с.