

УДК 621.777.01

Методика автоматизированного проектирования матричной оснастки для прессования алюминиевых сплавов

Князькин И. С.^{1,*}, Дюжев А. М.¹,
Власов А. В.², Гладков Ю. А.^{1,2},
Лишний А. И.¹

[*ivanknjazkin@gmail.com](mailto:ivanknjazkin@gmail.com)

¹ООО "КванторФорм", Москва, Россия
²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В работе представляется методика автоматизированного проектирования матричной оснастки для прессования алюминиевых профилей, разработанная и реализующаяся в составе системы QForm Extrusion Die Designer (QExDD). Она заключается в автоматическом создании параметрической модели начального варианта конструкции оснастки и последующем цикле корректировок конструктивных элементов оснастки в связке с САЕ-системой QForm-Extrusion, ориентированной на моделирование процессов прессования алюминиевых сплавов. В зависимости от величины невязки обобщённых выходных данных моделирования процесса, эта корректировка может заключаться в калибровке поясков, изменении контура и параметров форкамеры или изменении конструкции питателей.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, прессование, матричная оснастка

Введение

Прессование сплавов на основе алюминия является одним из распространённых технологических процессов. Появление высокотехнологичных обрабатывающих центров позволило расширить возможности и повысить требования к форме и качеству поверхностей матричной оснастки, привело к значительному увеличению номенклатуры прессованных изделий сложной формы, сократило объём ручной работы при изготовлении оснастки. Однако повышение сложности формы поверхностей отразилось на требованиях к квалификации инженера-конструктора ([1]).

При разработке матричного комплекта проектировщик решает многочисленные вопросы выбора конструкции инструментов и назначения их размерных параметров. При этом решения принимаются на основе опыта проектирования, собственных представлений о течении металла в полостях создаваемых инструментов, а также специализированных методик проектирования элементов оснастки, разработанных предприятием. В основе

этих методик лежат теоретические и практические исследования процесса прессования, однако они не могут обеспечить высокое качество изделия по следующим причинам: намеренное упрощение получаемых контуров элементов вследствие ориентированности методики на ручную работу инженера; затруднённый обмен сведениями о подходах к проектированию между различными производителями оснастки ввиду закрытого характера части разработок; вынужденное упрощение геометрии комплекта при исследованиях, лежащих в основе методики. Кроме того, используемые методики проектирования ориентированы на применение исключительно в плоскости чертежа, не учитывая особенностей объёмного течения металла в полостях матричного комплекта. Некоторые из методик реализованы в виде плагинов к системе AutoCAD (DIE-DESIGN, INPRESS) ([2, 3]).

Увеличение вычислительной мощности персональных компьютеров в последнее десятилетие дало толчок к появлению специализированных программных комплексов, предназначенных для моделирования процессов прессования (QForm-Extrusion [4], Altair HyperXtrude [5] и др.) [6, 7]. Вместе с тем, появились и разработки по автоматизации объёмного проектирования матричной оснастки, служащие уже не только для получения моделей, используемых для изготовления, но и пригодных для проведения моделирования прессования, например, ExtrusionPower [8]. Поскольку программная реализация методик проектирования в этих системах не отвечала требованиям пользователей, компания ООО «КванторФорм» занялась разработкой собственной системы автоматизированного проектирования оснастки для прессования QForm Extrusion Die Designer (QExDD) [9, 10, 11, 12]. Текущая версия программы используется предприятиями России и Великобритании.

Основным предназначением программы QExDD является получение качественных моделей матричной оснастки. Это обеспечивается CAD-ядром системы прямого трёхмерного моделирования SpaceClaim, используемой QExDD. Основой QForm Extrusion Die Designer является идея проектирования матричной оснастки для прессования с помощью параметризации объёмных элементов комплекта на основе плоских контуров и необходимого количества числовых параметров. Работа в QExDD разделяется на четыре основных этапа:

- подготовка опорной геометрии (базирование),
- параметризация элементов матричной оснастки,
- сведение и доводка геометрии получаемых моделей,
- подготовка к использованию в моделировании процесса прессования в QForm-Extrusion.

Полная параметризация позволила перейти к следующему этапу развития системы – автоматизированному назначению базовых контуров. Для оценки результатов этой автоматизации может использоваться система моделирования прессования QForm-Extrusion интеграция которой с QExDD делает процесс проектирования полностью автоматическим. При этом нельзя применять стандартные подходы к проектированию с

применением CAD-CAE, поскольку длительность процесса моделирования прессования сильно ограничивает допустимое число итераций проектирования. Это определяет необходимость разработки специализированных алгоритмов и методик, позволяющих сократить требуемое число итераций проектирования.

В сотрудничестве со специалистами ООО «Сатурн» (Россия, г. Набережные Челны) была разработана методика автоматизированного проектирования матричной оснастки, учитывающая особенности процесса прессования.

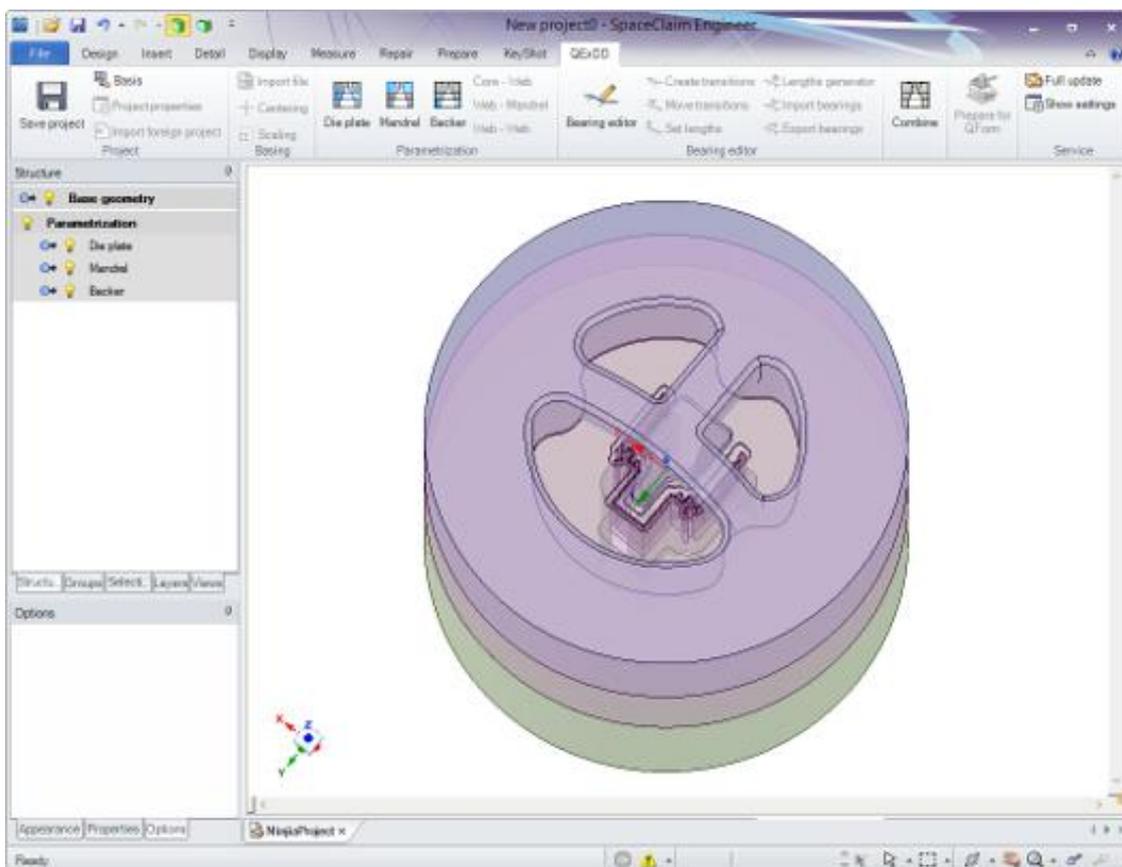


Рисунок 1. Интерфейс системы QExDD

Автоматизированное проектирование в связке CAD-CAE

Добиться требуемых параметров качества проектируемой оснастки без проведения компьютерного моделирования процесса прессования затруднительно. В настоящее время итерации «проектирование-проверка» проводятся вручную, что повышает требования к самому проектировщику, который при этом должен быть опытным пользователем используемой системы: на основе анализа результатов моделирования он должен произвести корректировку модели комплекта (возможные стратегии этой корректировки предлагаются в [13] и [14]). Этот итерационный процесс также является обязательной частью создаваемой автоматизированной системы, но результаты моделирования оцениваются уже программным алгоритмом.



Рисунок 2. Схема процесса автоматизированного проектирования в связке CAD-CAE

Предлагаемый процесс автоматизированного проектирования, основанный на применении связки QExDD в качестве параметризатора (CAD) с расчётной программой QForm-Extrusion (CAE), представлен на рис. 3.

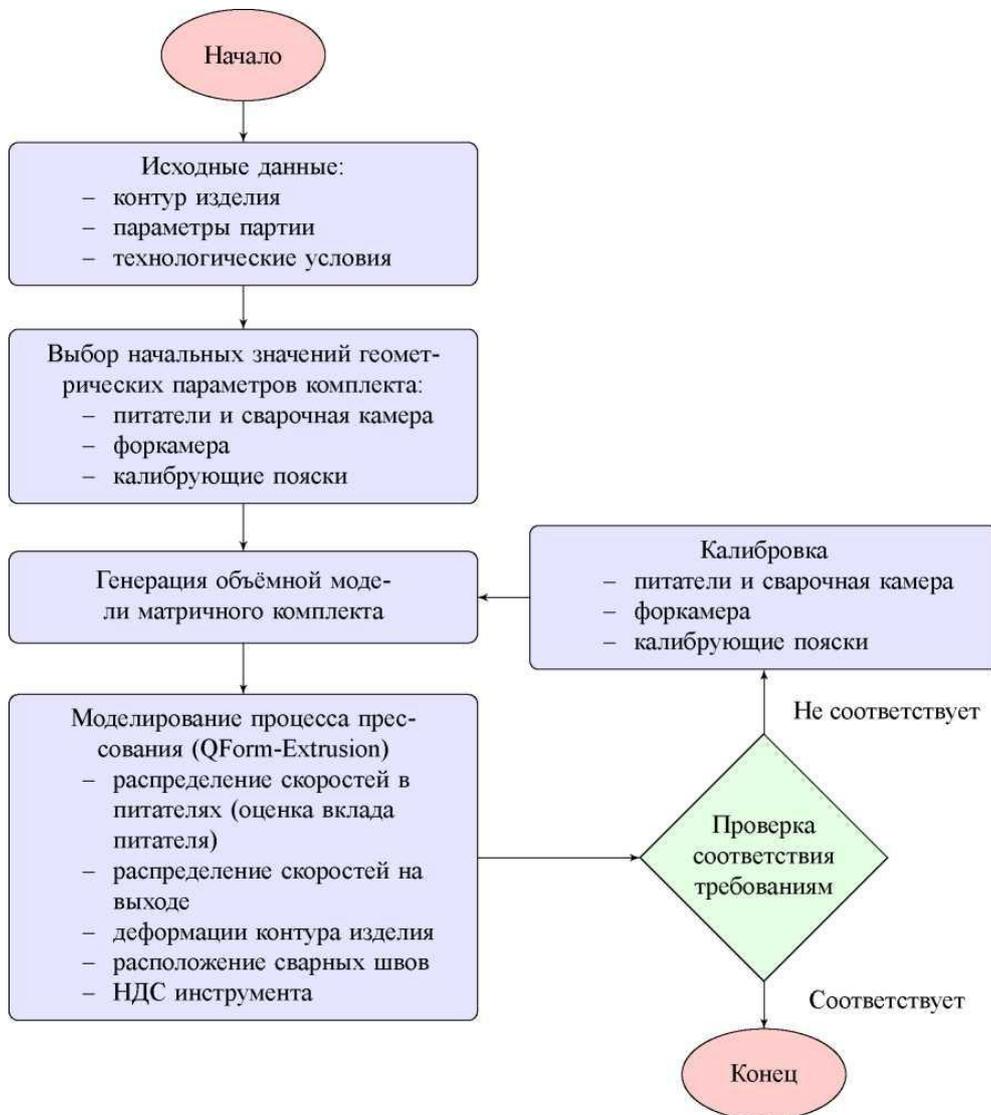


Рисунок 3. Функциональная блок-схема автоматизированного процесса проектирования матричной оснастки в связке CAD-CAE

Очевидны преимущества подхода к проектированию в автоматических циклах, однако на сегодняшний день полная его реализация невозможна, поскольку отсутствует система моделирования, допускающая внешний доступ сторонних программ. Для реализации автоматизированного расчёта необходимо иметь возможность автоматически подготавливать исходные данные для расчёта, проводить моделирование, а затем получать данные о полях скоростей, деформации инструмента и т. п. Существующие программы позволяют экспортировать большую часть результатов моделирования. Таким образом, порядок работы в итерационном цикле устанавливается следующим:

- автоматизированная подготовка объемной модели матричной оснастки,
- ручная постановка задачи в расчётной программе,
- экспорт результатов моделирования,
- автоматическая корректировка модели комплекта, при необходимости.

При таком подходе проектировщик по-прежнему выполняет рутинные действия, связанные с постановкой задачи моделирования, но с него снимается необходимость ручной калибровки. Предложенный подход является одним из этапов разработки схемы автоматического проектирования.

Синтез начальных параметров при автоматизированном проектировании оснастки

Одним из элементов предложенного процесса проектирования (см. рис. 2.) является выбор начальных значений геометрических параметров комплекта. Этот синтез должен проводиться до первого проверочного моделирования процесса прессования. Для конструктора оснастки это означает необходимость принятия важных конструктивных решений на основе априорных знаний о процессе. Разрабатывая методику проектирования оснастки, необходимо понимать, что она должна покрывать всю многовариантность решений, обеспечивая лучший результат, при этом используя лишь априорные знания (во всяком случае, полноценное моделирование процесса на этом этапе принципиально не должно использоваться).

Синтез начальных параметров — важный элемент процесса проектирования. От его результатов напрямую зависит число последующих итераций моделирования прессования, поэтому нельзя ограничиться произвольными простыми начальными параметрами, вынося при этом задачу получения качественного матричного комплекта в итерационный цикл.

Предложен подход к созданию методики автоматизированного проектирования (см. рис. 4), основанный на обобщённой последовательности действий инженера-конструктора на этапе начального проектирования оснастки.

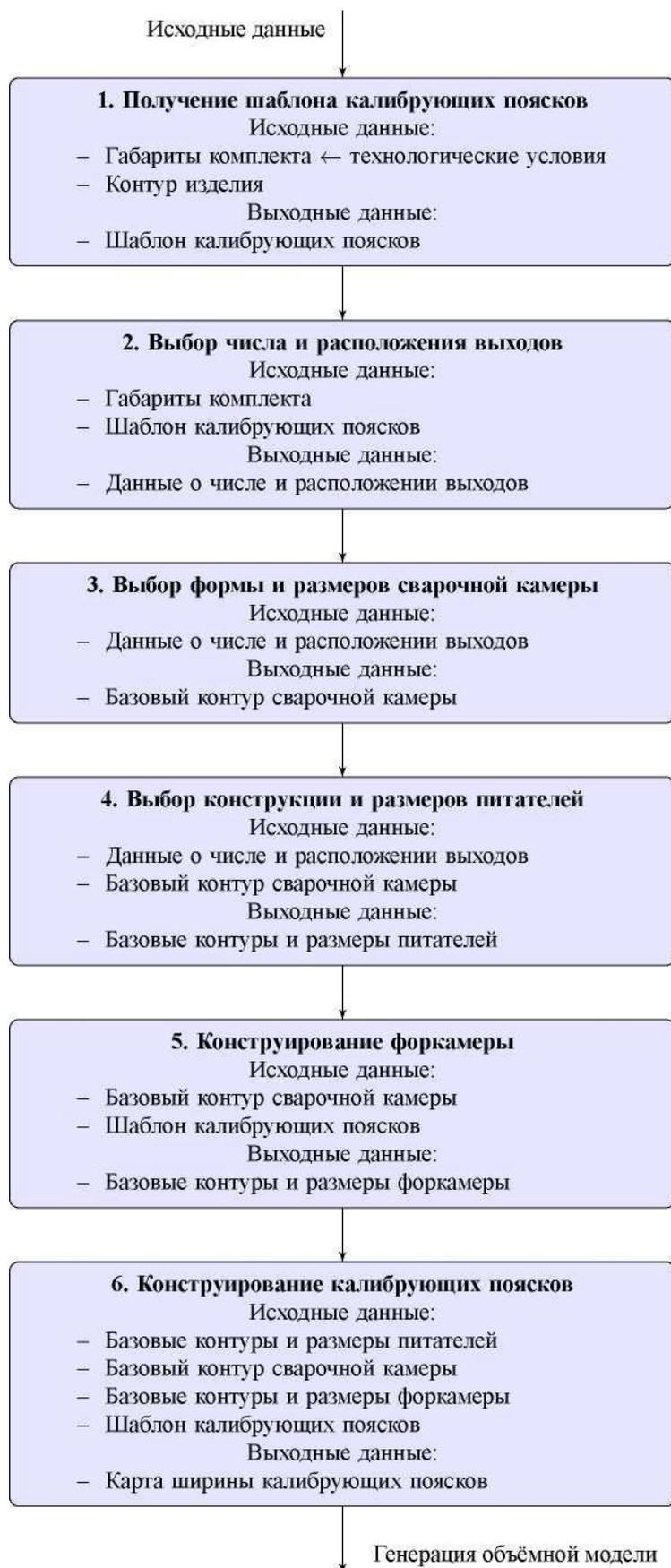


Рисунок 4. Этапы синтеза начальных параметров

Последовательность этапов процесса определяется преемственностью промежуточных результатов проектирования и степенью влияния на течение металла. Отдельное место в этом процессе занимает этап назначения формы калибрующих поясков. Идеологически то, что этот шаг является последним, объясняется возможностью тонкого управления течением металла с помощью поясков, нивелируя недостаточно качественную форму каналов и даже неточности расположения профиля относительно самого матричного комплекта.

Выделяющееся положение этапа проектирования калибрующих поясков дает повод к разработке, в первую очередь, методики проектирования поясковой зоны матричного комплекта, а затем - в обратном порядке - форкамеры, питателей и т.д. Это даёт возможность применять алгоритмы уже на стадии разработки, не ожидая полной готовности всей цепочки алгоритмов разрабатываемой методики.

Применение методики

На стадии предварительного проектирования на основе исходных данных и предыдущего опыта создаётся параметрическая модель основных элементов конструкции оснастки (питателей, форкамеры, калибрующих поясков). Используемые для этого алгоритмы принимают в качестве входных только геометрические данные, в частности, контур изделия. Полученная объемная модель оснастки передается в QForm-Extrusion для проведения расчёта процесса. Далее производится итерационное проектирование в зависимости от величины невязки обобщенных выходных данных моделирования процесса, состоящее в калибровке поясков, изменении контура и параметров форкамеры или изменении конструкции питателей. Результатом проектирования является параметрическая модель матричной оснастки, готовая к изготовлению и последующей опрессовке. Таким образом, в выбранной схеме выделяется две группы геометрических алгоритмов: основные, базирующиеся только на геометрии проектируемого комплекта, и калибрующие, базирующиеся на основе данных моделирования процесса прессования.

В современной версии системы QExDD (июль 2015 г.) реализованы два из трёх алгоритмов первой группы:

– Калибрующие пояски

Алгоритм построения карты поясков предполагает дискретное назначение функции ширины калибрующих поясков вдоль каждого из рабочих контуров. В качестве параметров этой функции выступают локальные геометрические (ширина профиля, расстояние до питающего канала, форма прилегающей части форкамеры и др.) и общие технологические параметры (прессуемый материал, температура прессования). Качество работы алгоритма обеспечивается калибровкой весовых коэффициентов этой функции в процессе предварительного обучения алгоритма на специальной выборке матричных комплектов.

– Форкамера

При выборе подхода к проектированию форкамеры было принято решение посекционной разработки контура форкамеры я в три стадии:

- разделение выходного контура на зоны перехода толщины профиля,
- получение функции отступа контура форкамеры от контура поясков для каждой из этих зон,

- нормирование полученных функций отступа с условием соблюдения граничных условий на стыках зон.

Коэффициенты функции отступа форкамеры вдоль пояска получают опосредованно, через пересчёт результатов проведения полного факторного математического эксперимента по определению зависимости скоростей течения на выходе от параметров форкамеры и калибрующего контура, основанный на условии постоянства скорости течения на выходе.

– Питатели и сварочная камера

Для предварительного создания питателей предлагается подход на основе оценки результативности параметрических шаблонов входных контуров питателей, выбираемых из подготовленной базы шаблонов с учётом технологических требований и ограничений, являющихся исходными данными для этого этапа проектирования. База составляется полуавтоматическим образом на основе ранее подготовленных матричных комплектов.

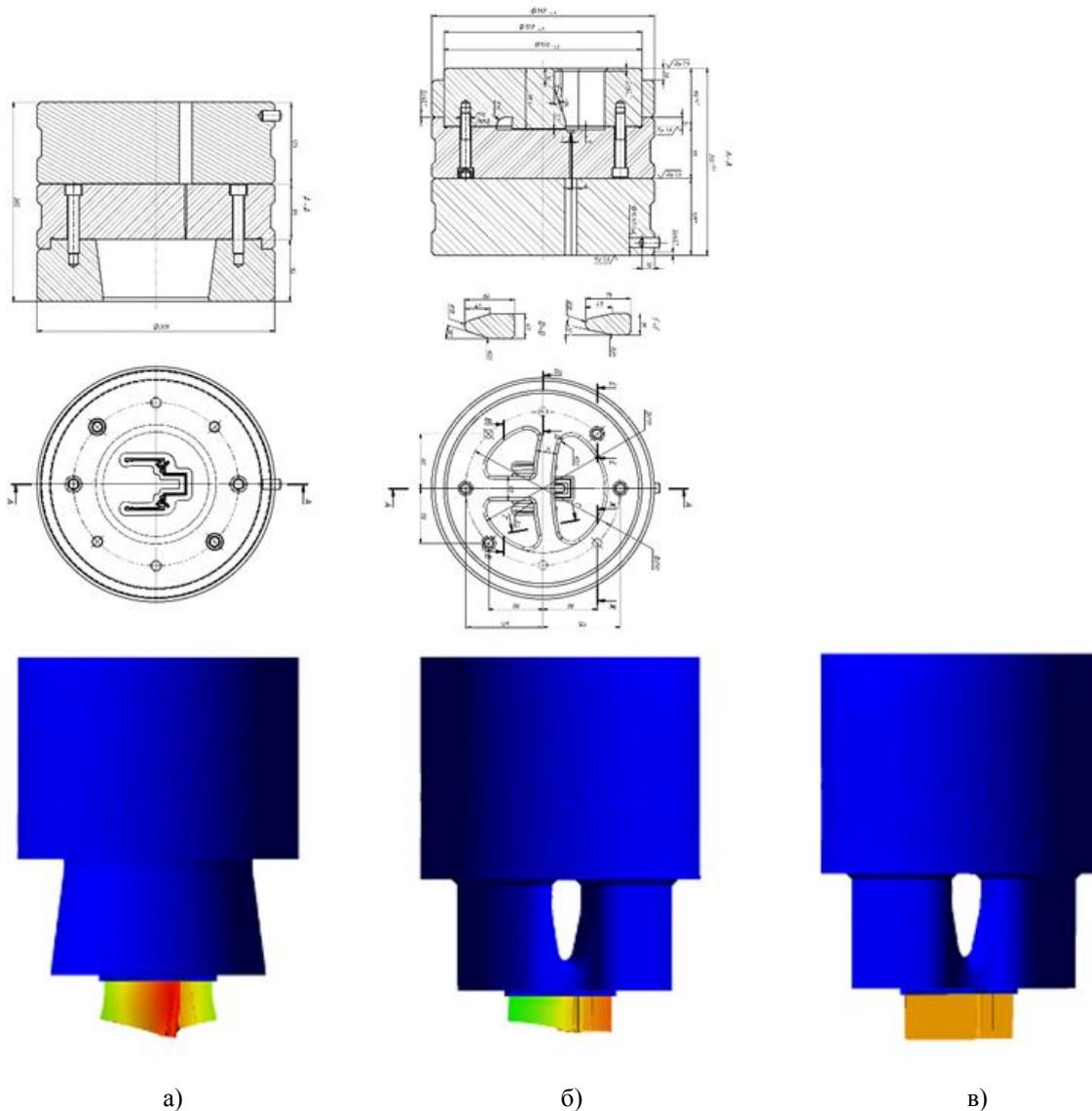


Рис. 5. Варианты оптимизации конструкции матричной оснастки: а) - результат традиционного начального проектирования; б) - результат применения алгоритмов начальной стадии; в) - результат применения алгоритмов стадии калибровки.

Заключение

Предложен подход к автоматическому проектированию оснастки в связке CAD-CAE. В составе разрабатываемой системы QExDD реализован первый вариант методики, заключающийся в автоматизированном получении базовых контуров элементов матричного комплекта для последующей параметризации.

Список литературы

1. Баузер М., Зауер Г., Зигерт К. Прессование. Справочное руководство: пер. с нем. / ред. М. Баузер, Г. Зауер, К. Зигерт. М.: АЛЮСИЛ МВиТ, 2009. С. 918; Рис. 651.
2. Довженко Н. Н., Сидельников С. Б., Васина Г. И. Система автоматизированного проектирования технологии прессования металлов. Научное методическое обеспечение: монография. Красноярск: Красноярская гос. академия цветных металлов и золота, 2000. 196 с.
3. Прудковский Б. А., Игуменов А. А., Зорихин В. Н. Автоматизированная система проектирования и изготовления матриц для алюминиевых сплавов // Технология лёгких сплавов. 1986. № 12. С. 72-75.
4. QForm-Extrusion – моделирование прессования профилей // QuantorForm: сайт компании. Режим доступа: <http://qform3d.ru/products/qfextrusion> (дата обращения 01.07.2015).
5. Altair HyperXtrude: Virtually Develop & Visualize Extrusion Die Designs // Altair: company website. Available at: http://www.altairhyperworks.com/HWTemp1Product.aspx?product_id=15, accessed 01.07.2015.
6. Libura W., Rekas A. Numerical Modelling in Designing Aluminium Extrusion // In: Aluminium alloys: new trends in fabrication and applications / ed. by Zaki Ahmad. InTech, 2012. P. 137-157. DOI: [10.5772/51239](https://doi.org/10.5772/51239)
7. Stebunov S., Biba N., Lishny A., Jiao L. Practical implementation of numerical modeling to optimization of extrusion die design for production of complex shape profiles // Aluminium Extrusion and Finishing. 2013. No. 4. P. 20-24.
8. Extrusion Power: Новая технология дизайна матриц для алюминиевой экструзии // MIP: сайт компании. Режим доступа: <http://www.mip-group.com/extrusionpower.com/russian/index.htm> (дата обращения 01.07.2015).
9. Дюжев А.М., Князькин И.С., Лишний А.И., Соловьёв Д.А., Стебунов Д.А. Программа для автоматизированного поэлементного параметрического проектирования матричной оснастки для прессования профилей QForm Extrusion Die Designer (QExDD): свидетельство РОСПАТЕНТА о гос. регистрации progr. для ЭВМ № 2015613466, Российская Федерация. 2015.

10. QExDD // QuantorForm: сайт компании. Режим доступа: <http://qform3d.ru/products/qexdd> (дата обращения 01.07.2015).
11. Дюжев А.М., Гладков Ю.А. Разработка системы автоматизированного проектирования технологической оснастки для прессования сплавов на основе алюминия // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2014: Машиностроительные технологии». М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. Режим доступа: <http://studvesna.ru/?go=articles&id=1112> (дата обращения 01.07.2015).
12. Дюжев А.М., Князькин И.С. Автоматизированное проектирование матричной оснастки для прессования алюминиевых сплавов // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии» (Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 7-10 апреля 2015 г.): матер. М.: ООО «КванторФорм», 2015. Режим доступа: <http://studvesna.ru?go=articles&id=1414> (дата обращения 01.07.2015).
13. Biba N., Stebunov S., Vlasov A. Application of QForm Program for Improvement of the Die Design and Profile Extrusion Technology // In: Proceedings of the Ninth International Aluminum Extrusion Technology Seminar & Exposition, Orlando, USA, 2008.
14. Selvaggio A., Segatori A., Guzel A., Donati L., Tomesani L., Tekkaya A.E. Extrusion Benchmark 2011: Evaluation of Different Design Strategies on Process Conditions, Die Deflection and Seam Weld Quality in Hollow Profiles // In: Progress in Extrusion Technology and Simulation of Light Metal Alloys. Trans Tech Publications Limited, 2012. P. 1-10.

Automated Design Technique of Al-Alloys Extrusion Die Set

I.S. Kniazkin^{1,*}, A.M. Duzhev¹, A.V. Vlasov²,
Yu.A. Gladkov^{1,2}, A.I. Lishniy¹

[*ivanknjazkin@gmail.com](mailto:ivanknjazkin@gmail.com)

¹Ltd. "QuantorForm", Moscow, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: automated designing, extrusion, Al-alloys, aluminium, QExDD

CAD-designers of aluminum extrusion die set have to make many decisions on tooling type, construction etc. by experience, their own metal flow sense and special methods of tooling design produced by manufacturer. There was created some software products for designing the planar die set. In addition, metal flow simulation programs using three-dimensional die set models as initial data were developed.

However, it is a difficult task to create a high-quality solid die set model from scratch shortly. This led to three-dimensional die set parametrization systems development. QForm Extrusion Die Designer is one of them. Based on QExDD the automated design technique of die set elements is proposed. It takes into consideration the volumetric metal flow factor and design experience. In addition, it is aimed at CAD-CAE connection with QForm-Extrusion program.

The proposed technique consists of two stages: preliminary designing and correction cycle. The first stage is to prepare profile contour and choose the first die set construction version. The algorithms implemented at this stage use only geometrical data, particularly profile contour. A received three-dimensional die set model is transferred to the second stage for iterative construction modification based on extrusion simulation results. As a result of automated design process there is the die set parametrical model that is ready for production and further extrusion test.

The first version of the proposed technique is implemented using the QExDD software program and is now under tests in companies of Russia and UK.

References

1. Bauser M., Sauer G., Siegert K., eds. *Extrusion*. ASM International, 2006. 592 p.
2. Dovzhenko N. N., Sidel'nikov S. B., Vasina G. I. *Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniya tekhnologii pressovaniya metallov. Nauchnoe metodicheskoe obespechenie* [Computer-aided design technology of metal extrusion. Scientific and methodological support]. Krasnoyarsk, Krasnoyarsk State Academy of Non-Ferrous Metals and Gold Publ., 2000. 196 p. (in Russian).
3. Prudkovskii B. A., Igumenov A. A., Zorikhin V. N. Automated system for designing and manufacturing dies for aluminium alloys. *Tekhnologiya legkikh splavov*, 1986, no. 12, pp. 72-75. (in Russian).
4. QForm-Extrusion – aluminum and magnesium extrusion simulation. QuantorForm: company website. Available at: <http://qform3d.ru/products/qfextrusion> , accessed 01.07.2015. (in Russian).
5. Altair HyperXtrude: Virtually Develop & Visualize Extrusion Die Designs. Altair: company website. Available at: http://www.altairhyperworks.com/HWTemp1Product.aspx?product_id=15, accessed 01.07.2015.
6. Libura W., Rekas A. Numerical Modelling in Designing Aluminium Extrusion. In: Zaki Ahmad, ed. *Aluminium alloys: new trends in fabrication and applications*. InTech, 2012, pp. 137-157. DOI: [10.5772/51239](https://doi.org/10.5772/51239)
7. Stebunov S., Biba N., Lishny A., Jiao L. Practical implementation of numerical modeling to optimization of extrusion die design for production of complex shape profiles. *Aluminium Extrusion and Finishing*, 2013, no. 4, pp. 20-24.
8. Extrusion Power: New software technology for the design of aluminium extrusion dies. MIP: company website. Available at: <http://www.extrusionpower.com/> , accessed 01.07.2015.
9. Dyuzhev A.M., Knyaz'kin I.S., Lishnii A.I., Solov'ev D.A., Stebunov D.A. *Programma dlya avtomatizirovannogo poelementnogo parametricheskogo proektirovaniya matrichnoi osnastki dlya pressovaniya profilei QForm Extrusion Die Designer (QExDD)* [Software for automated elementwise parametric design of die tooling for profiles extrusion QForm Extrusion Die Designer (QExDD)]. Certificate RF of state registration of computer program, no 2015613466, 2015. (in Russian).
10. QExDD. QuantorForm: company website. Available at: <http://qform3d.ru/products/qexdd> , accessed 01.07.2015. (in Russian).
11. Dyuzhev A.M., Gladkov Yu.A. Development of CAD systems of production tooling for aluminum-based alloys extrusion. *Trudy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Studencheskaya vesna 2014: Mashinostroitel'nye tekhnologii"* [Proc. of the All-Russian Scientific and Technical Conference "Student Scientific Spring: Engineering Technology"].

Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014. Available at:

<http://studvesna.ru/?go=articles&id=1112> , accessed 01.07.2015. (in Russian).

12. Dyuzhev A.M., Knyaz'kin I.S. Computer-aided design of aluminum alloys extrusion die tooling. *Vserossiiskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Studentcheskaya nauchnaya vesna: Mashinostroitel'nye tekhnologii": mater.* [Proc. of the All-Russian Scientific and Technical Conference "Student Scientific Spring: Engineering Technology"]. Moscow, Bauman MSTU, 7-10 April 2015. Moscow, QuantorForm Ltd. Publ., 2015. Available at: <http://studvesna.ru?go=articles&id=1414> , accessed 01.07.2015. (in Russian).
13. Biba N., Stebunov S., Vlasov A. Application of QForm Program for Improvement of the Die Design and Profile Extrusion Technology. In: *Proceedings of the Ninth International Aluminum Extrusion Technology Seminar & Exposition*, Orlando, USA, 2008.
14. Selvaggio A., Segatori A., Guzel A., Donati L., Tomesani L., Tekkaya A.E. Extrusion Benchmark 2011: Evaluation of Different Design Strategies on Process Conditions, Die Deflection and Seam Weld Quality in Hollow Profiles. In: *Progress in Extrusion Technology and Simulation of Light Metal Alloys*. Trans Tech Publications Limited, 2012, pp. 1-10.