

УДК 621.777.01

Исследование прессования полого алюминиевого профиля через одноканальную комбинированную матрицу

Долгий Кирилл Сергеевич

maindolgiykirill99@gmail.com

SPIN-код: 8422-1219

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В работе показано использование разработанной математической модели для оценки геометрических характеристик питателей на примере прессования полого алюминиевого профиля. Модель построена на основе результатов более чем 100 численных экспериментов, выполненных для одноканальных комплектов комбинированных матриц, и учитывает такие факторы, как площадь поперечного сечения питателей, их положение относительно центра матрицы и удаленность от профиля. Выполнен анализ распределения потоков металла, на основе которого разработан технологический процесс, обеспечивающий получение профиля без дефектов.

Ключевые слова: прессование, прессование алюминия, проектирование матрицы, полый профиль, питатель

Research on Extrusion of Hollow aluminum Profile through a Single-Cavity Porthole Die

Dolgii Kirill Sergeevich

maindolgiykirill99@gmail.com

SPIN-code: 8422-1219

BMSTU, Moscow, Russia

The study demonstrates the application of a developed mathematical model for evaluating the geometric characteristics of feeders in the extrusion of a hollow aluminum profile. The model is based on the results of more than 100 numerical simulations performed for single-cavity porthole die assemblies and takes into account factors such as the cross-sectional area of the portholes, their position relative to the die center, and their distance from the profile. An analysis of metal flow distribution was carried out, on the basis of which a technological process was developed to ensure defect-free profile production.

Keywords: extrusion, aluminum extrusion, die design, hollow profile, feeder

Введение. Алюминиевые профили широко применяются в строительстве, машиностроении, авиа- и судостроении, транспортной и энергетической отраслях благодаря сочетанию малого веса, высокой прочности и коррозионной стойкости. Рост требований к их геометрической точности, качеству поверхности и эксплуатационным характеристикам сопровождается усложнением конструкций, что ставит новые задачи перед технологией прессования. Одной из наиболее сложных является проектирование комбинированных матриц, используемых для получения полых профилей [1].

В таких матрицах поток металла разделяется в рассекателе на несколько частей, которые проходят через питатели и сходятся в единый поток в сварочной камере. Качество профиля напрямую зависит от равномерности распределения металла между потоками, однако обеспечить его исключительно расчетными методами трудно: характер течения металла определяется не только площадью поперечного сечения питателей, но и их расположением относительно центра матрицы и удаленностью от отверстия, формирующего профиль.

Современные программные комплексы (например, QForm Extrusion [2–4]) позволяют проводить численные эксперименты и подбирать конструкцию матрицы итерационным путем. Однако этот подход требует значительных временных и вычислительных затрат. В связи с этим актуальной задачей является разработка методики, позволяющей уже на этапе проектирования исключать заведомо плохие конструкции и ускорять процесс разработки оптимального технологического процесса.

Целью настоящего исследования является совершенствование процесса проектирования комбинированных матриц для прессования полых алюминиевых профилей за счет применения математической модели, учитывающей ключевые геометрические параметры питателей [5]. Модель построена по результатам более чем 100 численных экспериментов прессования полых алюминиевых профилей через одноканальные комбинированные матрицы. Главным преимуществом модели является возможность спрогнозировать неравномерность течения металла уже на стадии проектирования, без необходимости проводить численные эксперименты и опытные отпрессовки.

Научная новизна работы заключается в формализации влияния геометрических характеристик питателей (площади, положения в матрице, удаленности от профиля и др.) на процесс течения металла, что позволяет прогнозировать эффективность конструкции без проведения полного цикла численного моделирования.

Материалы и методы. На рис. 1 представлен эскиз исследованного в работе профиля. Данный профиль несимметричен, имеет две полости, а также четыре полки. Поскольку профиль полый, для его производства необходимо использовать комбинированную матрицу.

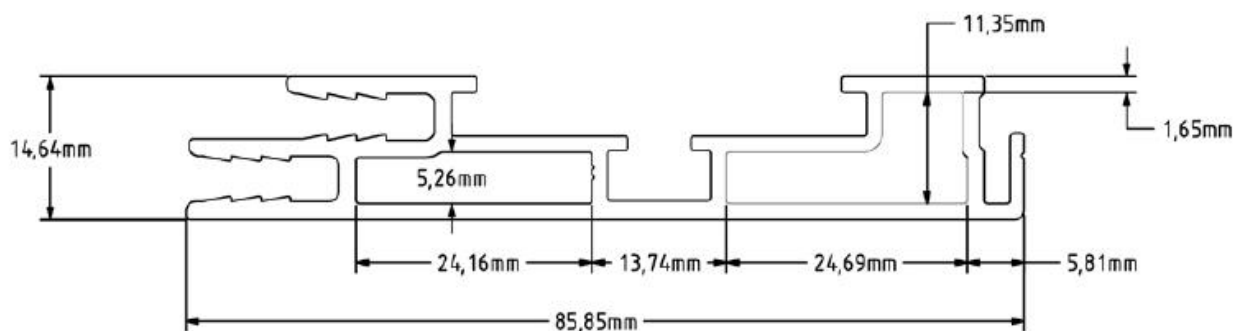


Рис. 1. Эскиз профиля

На рис. 2 изображен матричный комплект в плане сверху. На нем показаны питатели 1, оси перемычек 2, центр питателя 3 и выходное отверстие, формирующее контур профиля 4. Количество перемычек определяют количество питателей. Матрица для прессования исследуемого профиля имеет 4 перемычки и 4 питателей. Через каждый питатель проходит определенное количество металла, которое поступает в ограниченную зону на профиле.

На объем металла, протекающего через питатель, оказывают влияние такие его характеристики как площадь поперечного сечения, расстояние между центром питателя и центром матричного комплекта в плане, расстояние между центром питателя и центром участка профиля в плане, в который поступает металл из этого питателя, а также площадь этого участка профиля. Для учета этих параметров была разработана математическая модель, позволяющая оценить площадь питателя, не прибегая к длительному моделированию.

В табл. 1 представлены значения параметров питателей, описанных выше.

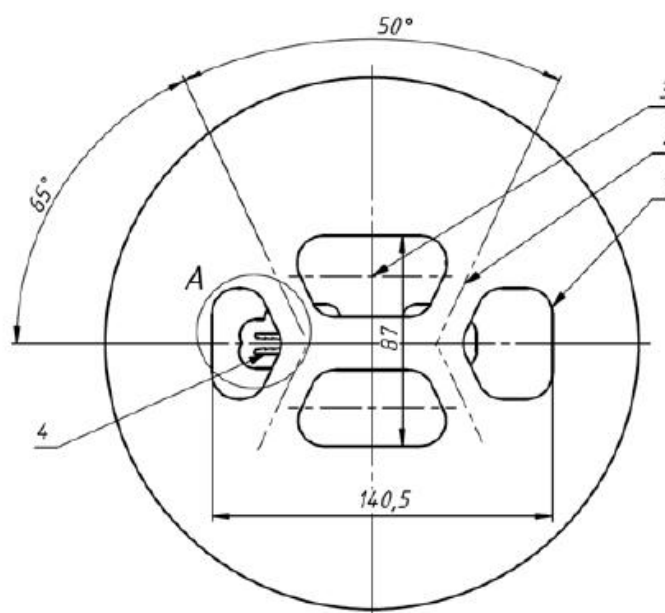


Рис. 2. Конструктивные элементы матрицы

Таблица 1

Параметры питателей

№	Периметр, мм	Площадь питаемой зоны, мм ²	Расстояние до питаемой зоны, мм	Расстояние до центра комплекта в плане, мм	Расстояние до центра питаемой зоны в плане, мм
1	164	148,3	23,6	28,5	8,1
2	121,7	82,1	14,4	53,3	38,95
3	158,9	108,5	24,3	27,3	4,2
4	138,7	54,6	25,1	57,6	32,6

В табл. 2 представлены значения фактических площадей комплекта и рассчитанных при помощи математической модели.

Таблица 2

Значения фактических и рассчитанных при помощи математической модели площадей комплекта

№ п/п	Площадь питателя фактическая (мм ²)	Площадь питателя расчетная (мм ²)	Абсолютное отклонение фактической от расчетной площади, мм ²	Относительное отклонение фактической от расчетной площади, %
1	1827,1	2042,1	215,0	11,8
2	1041,9	1166,5	124,6	12,0
3	1686,5	1734,6	48,1	2,9
4	1435,2	1426,5	–8,7	–0,6

Из данных табл. 2 видно, что относительное отклонение фактических площадей от расчетных не больше 15 %, из чего следует, что питатели обеспечивают равномерное течение профиля. Проведем математическое моделирование прессования через полученный матричный комплект для верификации результатов расчета (см. рис. 3).

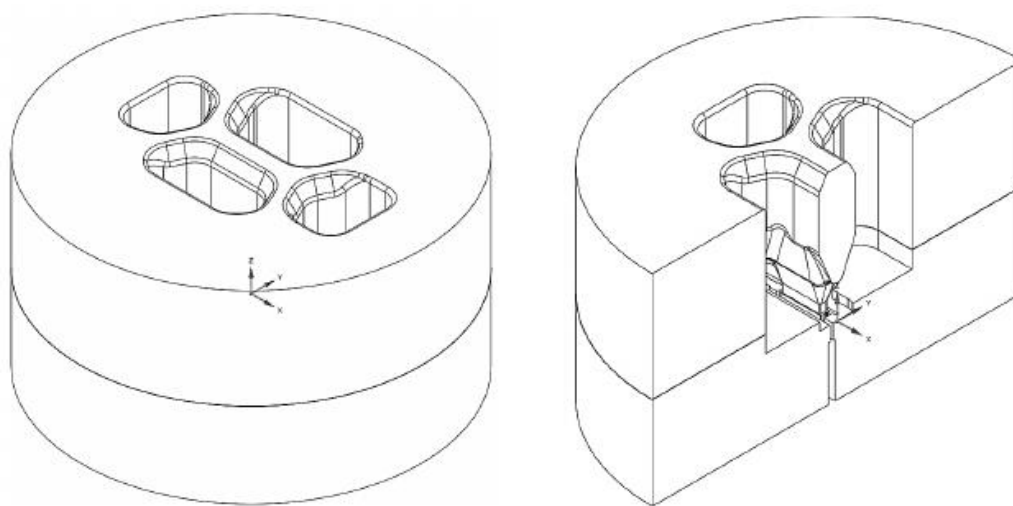


Рис. 3. Полученный матричный комплект

На рис. 4 показаны результаты моделирования прессования через полученную матрицу. Видно, что профиль истекает равномерно, во все участки профиля поступает достаточно металла, при этом боковые ребра также истекают равномерно. На рис. 5 показана статистика скоростей истечения металла, на которой показано, что абсолютный разброс скоростей истечения составил 35 мм/с, что при средней скорости истечения равной 346 мм/с соответствует производству годного профиля с равномерным истечением.

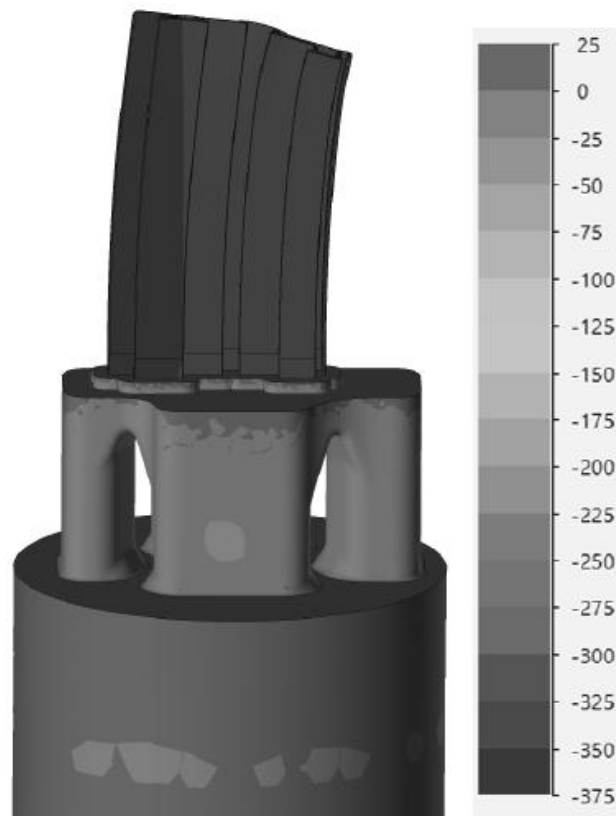


Рис. 4. Моделирование прессования через полученную матрицу

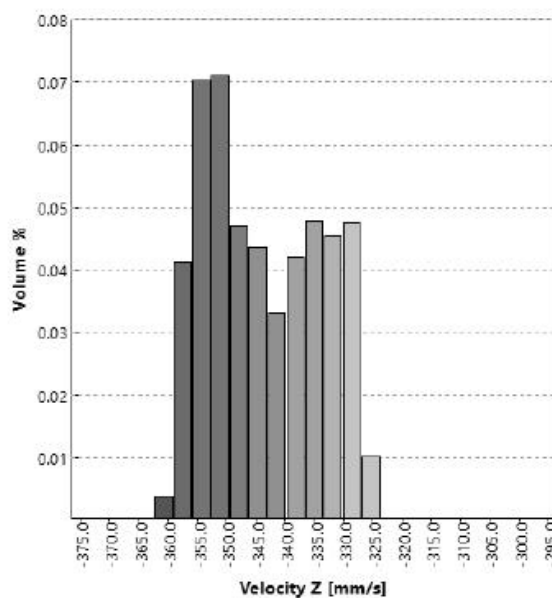


Рис. 5. Распределение скорости истечения профиля

Закключение. В статье был показан новый способ проектирования матричных комплектов с применением математической модели, позволяющей оценить годность питателей, не прибегая к длительному моделированию, а уже на этапе проектирования. Было показано, что при относительном отклонении фактических площадей питателей, от рассчитанной при помощи

модели в 12 %, получается годная матрица, позволяющая производить профиль без дефектов течения. Полученная математическая модель может применяться для проектирования других профилей и позволит увеличить скорость разработки технологических процессов за счет уменьшения времени моделирования прессования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Bauser M., Sauer G., Siegert K. *Extrusion*. Ohio, ASM International, 2006.
- [2] Стебунов С.А., Князькин И.С., Дюжев А.М. Автоматизированное проектирование матричной оснастки для прессования алюминиевых профилей с применением программ QExDD и QForm-Extrusion. *CAD/CAM/CAE Observer*, 2015, vol. 6, № 98, pp. 19–22.
- [3] Stebunov S. et al. Development and industrial verification of QForm-Extrusion program for simulation profile extrusion. *Proceeding of International Conference on Extrusion and Benchmark*, 2009, pp. 41–42.
- [4] Гладков Ю.А., Каневский С.С. Моделирование прессования алюминиевых профилей в новой версии программы Qform Extrusion VX: совместная деформационная задача. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*, 2016, № 11, с. 41–48. EDN: XIMOKR
- [5] Евсюков С.А., Долгий К.С., Дюжев А.М. К вопросу об определении расположения питателей при прессовании полых профилей. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2023, т. 21, № 1, с. 19–22.