

DOI 10.58351/2949-2041.2024.11.6.017

Семенов Иван Евгеньевич д.т.н., проф.,
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва

Золин Денис Павлович магистрант,
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СЛИТКА
НА ИСКАЖЕНИЕ ПРОФИЛЯ ПРИ ПРЯМОМ ПРЕССОВАНИИ
MODELING THE EFFECT OF INGOT TEMPERATURE
ON PROFILE DISTORTION DURING DIRECT PRESSING**

Аннотация: В статье рассматривается влияние на отклонение скорости истечения профиля т.е. искажение профиля на выходе из матрицы от температуры слитка при прямом прессовании крестообразного профиля из алюминиевого сплава.

Abstract: The article examines the effect on the deviation of the profile flow rate, i.e. the profile distortion at the die exit from the ingot temperature during direct pressing of a cross-shaped aluminum alloy profile.

Ключевые слова: прессование, профиль, температура слитка, отклонение от средней скорости, рабочий поясok матрицы.

Keywords: pressing, profile, ingot temperature, deviation from average velocity.

Целью работы является определение оптимальной температуры для получения качественного профиля с минимальными отклонениями его геометрии.

Прессование металла через матрицу является самым экономичным и технологически простым способом получения различного сортамента профилей и прутков из цветных металлов и сплавов. Прессованные даже в горячем состоянии профили имеют достаточно высокую точность и хорошее качество. По мере увеличения в производстве новых сплавов прогрессировала и совершенствовалась технология прессования.

Профили для авиационной промышленности производятся из сплавов, которые получают путем легирования алюминия с магнием, кремнием, цинком и другими элементами. Это позволяет достичь широкого диапазона механических свойств, таких как предел прочности в диапазоне от 80 до 650 МПа при относительном удлинении в диапазоне от 6 до 35 процентов.

Поставки для профилей из алюминиевого сплава АД31Т1 – закаленные и естественно состаренные.

Сечение проектируемого прутка представлено на рисунке 1.

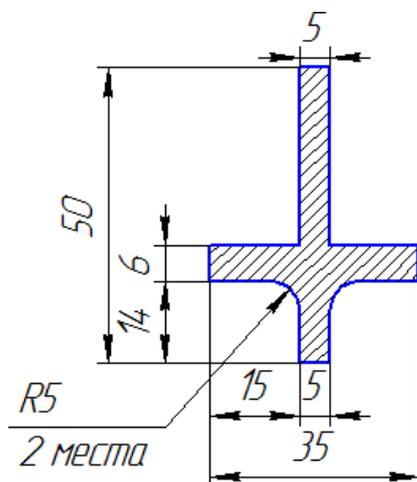


Рис. 1 – Сечение профиля



Государственный стандарт содержит специальные требования к допустимым отклонениям размеров профиля, которые зависят от его собственной длины [1]. Рекомендуемые предельные отклонения, мм:

- Согласно государственному стандарту, для профилей длиной до 2000 мм включительно требуется допустимое отклонение длины в пределах от 0 до +7. Также профили должны быть отрезаны под прямым углом, а косина реза не должна превышать 3 градуса;
- В диапазоне диаметра описанной окружности от 50 до 70 мм номинальная толщина полок и стенок профилей составляет 1,5;
- При точности ПР (предельные отклонения) толщины стенок и полок сплошных профилей со значениями толщины стенки от 3 до 6 мм, допустимое отклонение составляет $\pm 0,20$ мм;
- Обычно острые кромки профилей должны быть закруглены. Если радиус закругления острых кромок не указан на чертеже, рекомендуется использовать величину радиуса не более 0,5 мм для профилей с толщиной полки и стенки от 3,0 до 6,0;
- Профиль должен быть прямым. При любой точности, предельное отклонение от прямолинейности профиля не должно превышать 1,3 мм для профилей длиной от 1000 мм до 2000 мм включительно;
- При любой точности, скручивание профиля γ вдоль продольной оси не должно превышать 1,2 градуса для профилей длиной свыше 1000 до 2000 мм включительно, при ширине от 25 до 50 мм [5];

Выбор оптимальной технологии изготовления

Наиболее распространенным методом для получения сплошных профилей из алюминиевых сплавов является горячее прессование на горизонтальных гидравлических прессах. Процесс осуществляется без использования технологической смазки и включает прямое и обратное истечение металла в одно- и многоканальные матрицы [6].

Основные достоинства метода:

- профильность и форма поперечного сечения профилей могут быть сложными, и в таких случаях важно использовать матрицы с простой конструкцией, имеющие плоский торец. Это облегчает процесс изготовления профилей и обеспечивает легкость работы с различными формами и геометрией.
- высокие силы трения, возникающие при горячем прессовании, способствуют затормаживанию периферийных слоев заготовки в контейнере. Это явление способствует получению чистой поверхности изделий, так как контактные поверхности между заготовкой и контейнером более плотно соприкасаются и предотвращают возникновение дефектов на поверхности изделий.

Алюминиевые профили (и трубы) из сплавов типа АД31 прессуют, главным образом, методом прямого прессования. Этот метод предполагает выдавливание (экструзию) заготовки, находящейся в контейнере, через одно или несколько отверстий в неподвижной матрице под действием гидравлического усилия [2-5].

Технологический процесс производства профилей из металла состоит из нескольких элементов, которые определяют компоновку оборудования. Общая схема процесса включает следующие операции: приемку и складирование заготовок, нагрев, прессование, резку пресс-изделий, термообработку, правку и калибровку, отделку поверхности, контроль и складирование готовой продукции.

Для сплавов с низкой скоростью охлаждения при закалке применяют схему, когда закалка происходит в процессе прессования путем обдува профиля водно-воздушной смесью. Последовательность операций:

Нагрев → Прессование → Закалка в процессе (на столе пресса) → Правка растяжением → Резка на мерные длины → Искусственное старение → Контроль качества → Упаковка



Температурно-скоростной режим прессования

Скорость истечения $V_{ист}$, м/с, и температура нагрева заготовки T_3 , °C, – наиболее значимые технологические величины, определяющие качество изделия. Обе эти величины связаны между собой непосредственно. Увеличение скорости истечения профиля повышает температуру металла. Поэтому T_3 и $V_{ист}$ сводятся в один термин температурно-скоростной режим прессования. При подборе температурно-скоростного режима целью ставят:

- максимально уменьшить сопротивление деформации прессуемого металла для уменьшения силы прессования и нагрузок на рабочий инструмент, позволяющих прессовать с большими коэффициентами вытяжки;
- создать высокую пластичность материала, позволяющую прессовать при высокой скорости истечения;
- придерживаться температуры заготовки ниже критической, превышение критической температуры вызывает потерю пластичности и, следовательно, разрушение пресс-изделий;
- предоставить профили с требуемой структурой, наименьшей разнородностью и установленным уровнем механических свойств.

Температурный интервал определяется так, чтобы при максимальной температуре не было перегрева металла, а при минимальной – сила прессования была меньше предельного усилия пресса. Интервал температуры, приводящий к наилучшим требованиям прессования, выбирают, уменьшая наибольшую допустимую температуру равную разогреву от тепла деформации, учитывая охлаждения слитка при транспортировке в контейнер.

Общий процесс производства алюминиевых профилей включает следующие этапы: подготовка заготовок, нагрев, прессование, термическая обработка, правка, отделка и контроль.

В первом этапе нагрева заготовок, при определении температурного режима стремятся к нескольким целям:

- Во-первых, желательно снизить сопротивление деформации для уменьшения требуемых сил и нагрузок на инструмент.
- Во-вторых, важно обеспечить высокие скорости истечения при допустимых искажениях профиля.
- В-третьих, нужно поддерживать температуру ниже критической для сплава, чтобы избежать падения вязкости и сохранить целостность профиля.

Кроме того, следует учитывать оптимальные температурные условия работы прессового инструмента и достижение заданных свойств профилей.

Для сплава АД31 необходимо обеспечить достаточную температуру нагрева, чтобы растворить частицы β' -Mg₂Si во время прессования. Это позволяет достичь оптимальных механических свойств алюминиевых профилей при последующей закалке на прессе и искусственном старении.

Примем для наших расчетов 3 температуры нагрева $T_3 = 450, 475, 500^\circ\text{C}$ [6-7].

Используя программный комплекс “QForm” нами был проведен ряд расчетов различных моделей, с целью выбора наиболее оптимальной из них с минимальными искажениями профиля в процессе его истечения из матрицы.

В данном этапе исследования выбран рабочий поясок, представленный на рисунке 2. На рисунках 3-5 представлены результаты расчетов в виде отклонений геометрии профиля от горизонтали (отклонения от средней скорости истечения). На рисунке 3 – отклонения от средней скорости при температуре слитка 500°C . На рисунке 4 – отклонения от средней скорости при температуре слитка 475°C . На рисунке 5 – отклонения от средней скорости при температуре слитка 450°C .



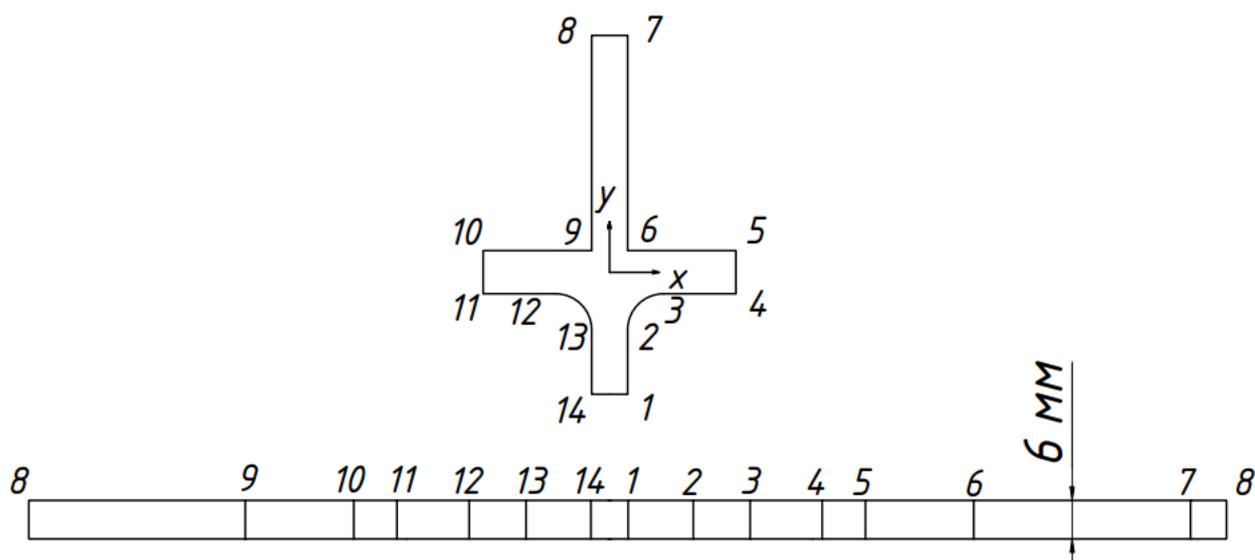


Рис. 2 Развертка набора поясков матрицы с равной высотой.

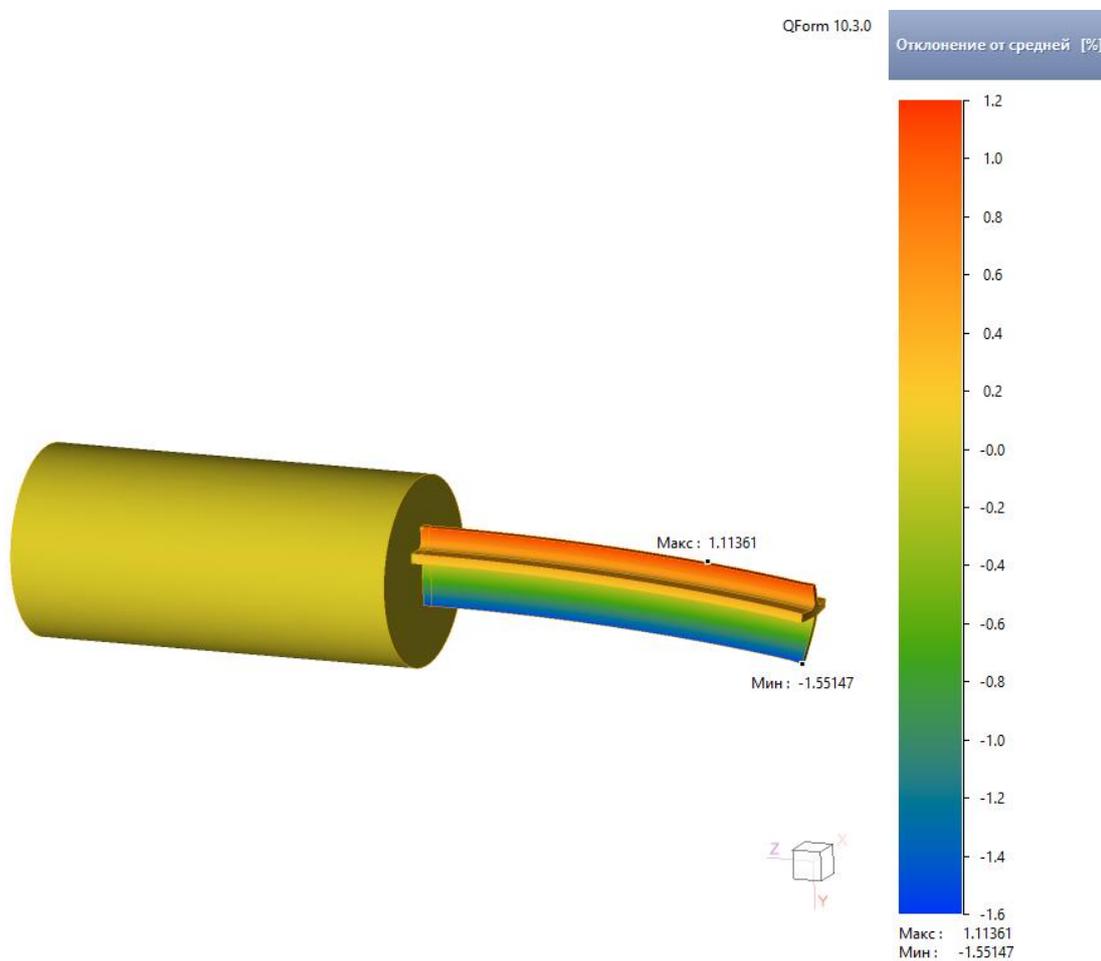


Рис. 3 Отклонения от средней скорости при температуре слитка 500 С.

Из рисунков 3-5 видно, что максимальные искажения профиля получают при максимальной температуре слитка, равной 500 градусов Цельсия, а минимальные искажения наблюдаются при минимальной температуре слитка, равной 450 градусов Цельсия. Однако даже при максимальной температуре искажения профиля вполне допустимы и могут быть полностью устранены при правке. Разница в скоростях профиля при максимальной температуре слитка, равной 500 градусов и при температуре слитка, равной 475 градусов практически не видна и составляет не более



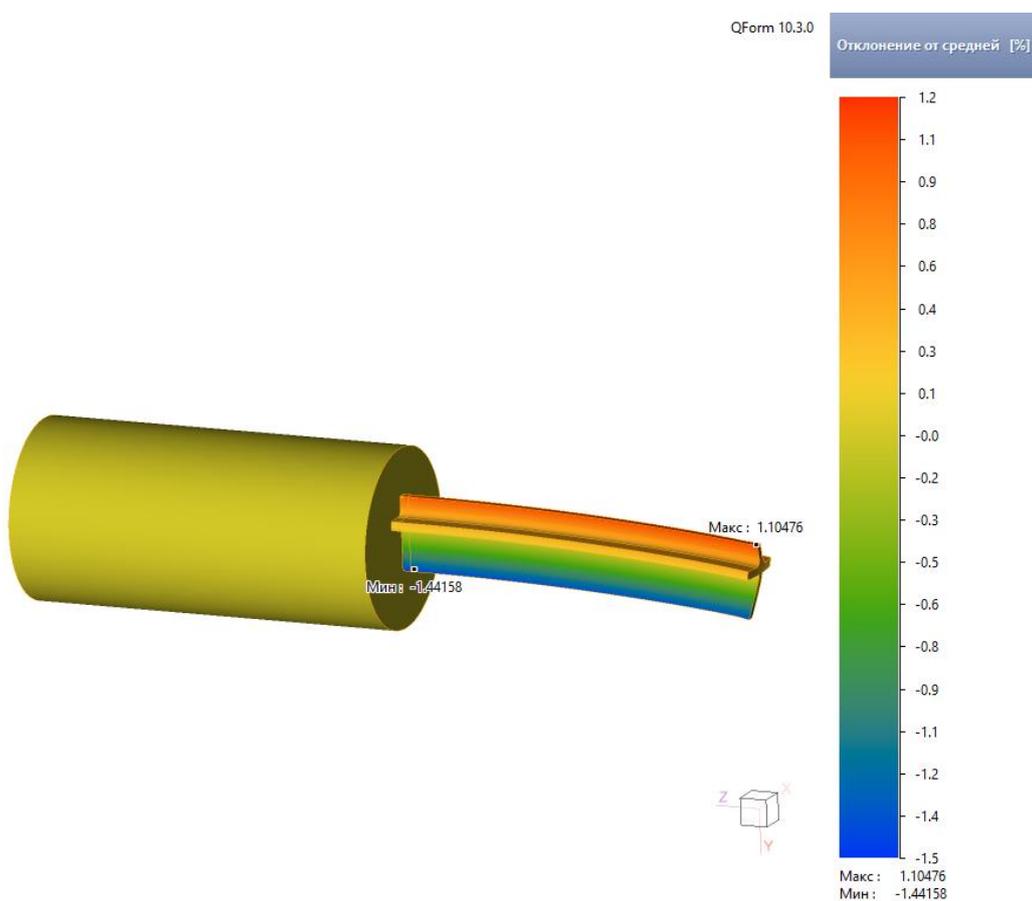


Рис. 4 Отклонения от средней скорости при температуре слитка 475 С.

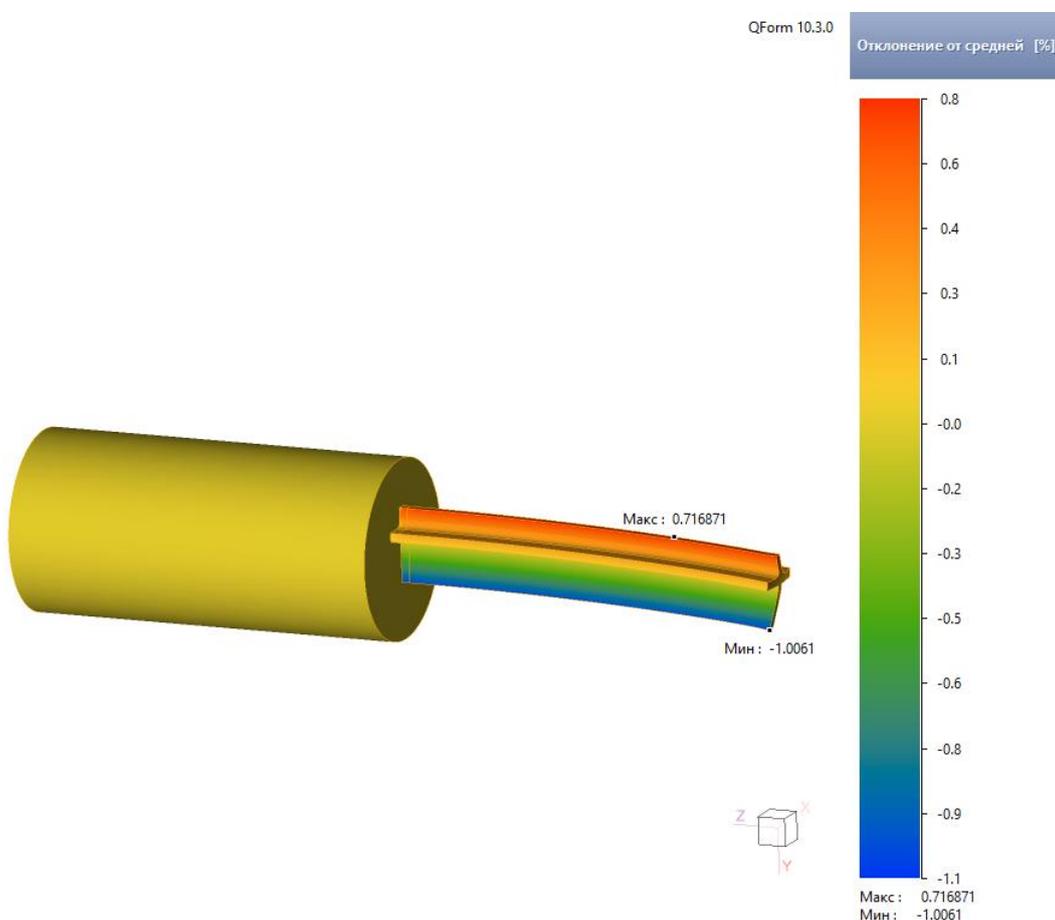


Рис. 5 Отклонения от средней скорости при температуре слитка 450 С.

3%. Однако, следует отметить, что снижение температуры существенно влияет на силу деформирования и соответственно увеличит энергозатраты.

Выводы: Предложена технология горячего прессования слитка из алюминиевого сплава АД31, для получения крестообразного профиля. Проведено моделирование процесса прессования при различных температурах нагрева слитков от 450 до 500 градусов Цельсия. Расчеты показали, что искажения профиля (отклонения от горизонтали) при температуре слитка 450 градусов Цельсия на 32,4% ниже, чем при температуре равной 475 градусов Цельсия и на 35,4% при температуре слитка 500 градусов. Изменяя температуру слитка, можно существенно снизить отклонения профиля по его длине.

Список литературы:

- 1 ГОСТ 22233-2001. Профили прессованные из алюминиевых сплавов для светопрозрачных ограждающих конструкций. – Взамен ГОСТ 22233-93, введ. 2002-07-01. – М.: МНТКС, 2001. – 27 с.
- 2 Данченко, В.Н. Производство профилей из алюминиевых сплавов: монография / В.Н. Данченко, А.А. Миленин, А.Н. Головкин. – Днепропетровск, 2001. – 448 с.
- 3 Жолобов В.В. Прессование металлов / В.В. Жолобов., Г.И. Зверев. – М.: Металлургиздат, 1959 г. – 550 с.
- 4 Каргин, В.Р. Технология прессования профилей из легких сплавов: метод. указания / В.Р. Каргин, Б.В. Каргин, Е.В. Арышенский. – Самара: Изд-во СГАУ, 2012. – 54 с.
- 5 Справочник по цветным металлам: алюминиевые деформируемые сплавы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://libmetal.ru/al/al%20defspl.html> (Дата обращения 16.01.2022).
- 6 Старостин, Ю. С. Элементы теории и технологии прессового и трубного производства / Ю. С. Старостин. – Куйбышев, 1975 г. – 95 с.
- 7 Термическая обработка: справочная и учебная информация по строительству, производству стройматериалов и машиностроению [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stroitelstvo-new.ru/pressovanie/termicheskaja-obrabotka.shtml> (Дата обращения 18.01.2022)

