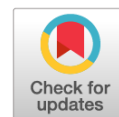


DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-627233>

Оригинальное исследование



Применение технологии экструзии в разработке высоковольтных аккумуляторных батарей электрических транспортных средств

И.П. Дегтярёв, Р.Х. Курмаев

Государственный научный центр «НАМИ», Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Создание автомобилестроения не стоит на одном месте. Каждый день инженеры работают над усовершенствованием их конструкции в целом. В современном мире необходимо учитывать огромное количество аспектов при создании различных транспортных средств, в том числе электрических. Огромное внимание уделяется проблеме снижения массы электромобилей и электромотоциклов.

Цель работы — внедрение технологии экструзии при изготовлении каркасов тяговых аккумуляторных батарей для снижения массогабаритных показателей электрических транспортных средств категории L.

Материалы и методы. Использование алюминиевых сплавов для изготовления силовых конструкции тяговых аккумуляторных батарей посредством технологии экструзии.

Результаты. По результатам имитации нагрузок в среде ANSYS планируется дальнейшее практическое подтверждение данной технологии на электрическом транспортном средстве категории L.

Заключение. Данная технология, помимо решения проблем, связанных с массогабаритными показателями, поможет решить экономическую проблему и прийти к экономии технологического времени и средств, потраченных на производство деталей тяговой аккумуляторной батареи аналогичным способом — фрезерованием.

Ключевые слова: экструзия; алюминий; электромотоцикл; тяговая аккумуляторная батарея; масса; напряжение; сила; матрица; температура.

Как цитировать:

Дегтярёв И.П., Курмаев Р.Х. Применение технологии экструзии в разработке высоковольтных аккумуляторных батарей электрических транспортных средств // Известия МГТУ «МАМИ». 2024. Т. 18, № 2. С. 149–155. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-627233>

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-627233>

Original Study Article

Use of extrusion technology in the development of high-voltage batteries of electric vehicles

Ivan P. Degtyarev, Rinat Kh. Kurmaev

Central Scientific and Research Automobile and Automotive Engines Institute NAMI, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The automotive industry evolves constantly. Every day, engineers work to improve the vehicles' design. In the modern world, it is necessary to take into account a huge number of aspects when creating various means of transport, including electric ones. Great attention is paid to the problem of reducing the mass of electric vehicles and electric motorcycles.

AIM: The introduction of extrusion technology in manufacturing of traction battery frames to reduce the mass-dimensional characteristics of the category L electric vehicles.

METHODS: The use of aluminum alloys in manufacturing of power structures of traction batteries through the extrusion technology.

RESULTS: Using the results of the load simulation in the ANSYS software, the further practical approval of using this technology for the category L electric vehicle is planned.

CONCLUSION: In addition to solving the problems associated with the mass-dimensional indicators, this technology is able to help to solve the economic problem and to approach to save technological time and money spent on the production of traction battery parts with a similar technological process (milling).

Keywords: extrusion; aluminum; electric motorcycle; traction battery; mass; voltage; force; matrix; temperature.

To cite this article:

Degtyarev IP, Kurmaev RK. Use of extrusion technology in the development of high-voltage batteries of electric vehicles. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2024;18(2):149–155. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-627233>

Received: 02.02.2024

Accepted: 25.08.2024

Published online: 12.09.2024

ВВЕДЕНИЕ

Развитие автомобильной промышленности в условиях современной реальности ставит перед инженерами важные задачи, направленные в первую очередь на увеличение энергоэффективности создания и использования автотранспортного средства.

Одним из основных путей, направленных на достижение поставленной цели, является уменьшение массогабаритных показателей автомобилей, электромобилей и электромоторциклов. В настоящее время огромное внимание уделяется проблемам экологии в мире и, как следствие, разработчики вовлечены всё больше в создание электрических автотранспортных средств.

Главным образом, большее влияние на массогабаритные показатели электрического транспортного средства оказывает её тяговая аккумуляторная батарея (ТАБ), которая составляет 30–40% от её общей массы.

Одним из методов, направленных на снижение массы тяговой аккумуляторной батареи, является применение процесса экструзии при технологическом производстве деталей каркаса тяговой аккумуляторной батареи.

ЭКСТРУЗИЯ КАК МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСА ТАБ

Оптимизация деталей, приводящая к последующему их облегчению, создаёт проблему, связанную с технологией производства. Сложная геометрия конструкции

отрицательно сказывается на технологическом времени обработки детали, поэтому необходимо применять более сложные инструменты для обработки, а в некоторых случаях по результатам топологической оптимизации и вовсе невозможно изготовить деталь.

Применение технологии экструзии при изготовлении решает задачу производства оптимизированной конструкции.

Экструзия — это процесс протягивания заготовки через отверстия матрицы металла, нагретого до пластичного состояния (рис. 1) [8].

Благодаря использованию профильных дорнов в отверстиях матрицы изготавливаются изделия различной формы, выбираемой в зависимости от функционального назначения детали. В результате получаются необходимые по прочности и жёсткости профили с перегородками, показанными на рис. 2 (a–e).

В результате применения программированного перемещения дорнов относительно матрицы получают

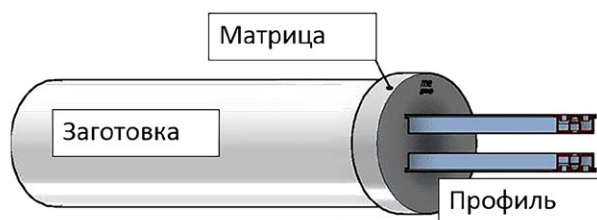


Рис. 1. Экструзия алюминиевого сплава.

Fig. 1. The aluminum alloy extrusion.

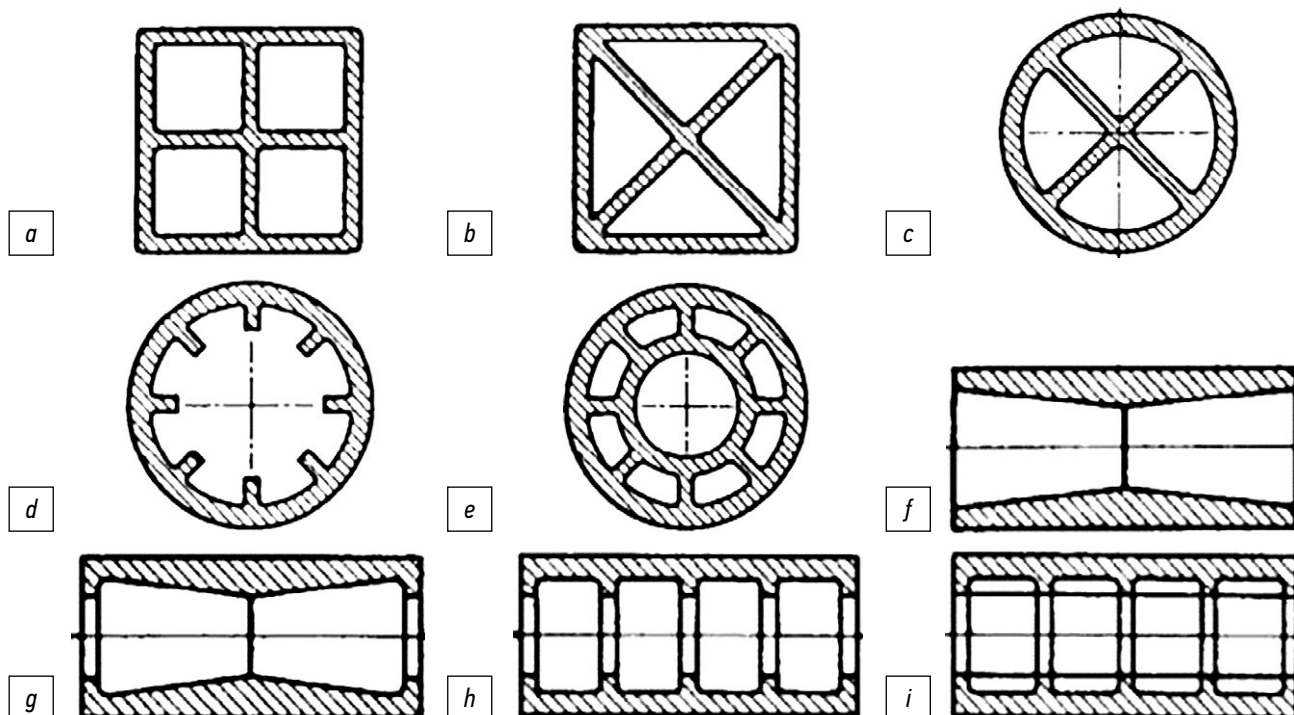


Рис. 2. Сечения экструдированного профиля.

Fig. 2. Cross-sections of the extruded profiles.

профили с изменённым сечением по всей длине изделия рис. 2 (f–i).

Последовательность действий условного процесса экструзии имеет следующий вид. Алюминиевые слитки являются материалом при изготовлении профилей. Обычно они выглядят, как цилиндрические стержни длиной до 7 м (рис. 3). Эти заготовки могут иметь большой спектр диаметров, средний шаг составляет 25,4 мм, а стержни имеют диаметр от 152 до 228 мм и являются самыми распространёнными заготовками.

В контейнер пресса помещают часть заготовки. Профили заблаговременно нарезают из цилиндрической заготовки, длиной в диапазоне от 400 до 1000 мм (рис. 4). Процесс подачи отрезанной заготовки в печь нагрева цилиндрических стержней показан на рис. 4 [1, 2].

Чистый алюминий переходит в фазу плавления при температуре около 660 °С. Содержание примесей и легирующих элементов снижают температуру плавления алюминиевых сплавов. Температура заготовок обычно составляет 400–480 °С на этапе загрузки в матрицу [7]. Химический состав сплава, сложность профиля и другие физико-механические параметры влияют на температуру нагрева стержня. Заготовка, разогретая непосредственно перед экструзией, визуально не отличается от обычной. Далее подготавливается определённая матрица для прессы заданного профиля (рис. 5).

Стержень без усилия устанавливается пресс-штемплем в контейнер с учётом того, что его диаметр на 4 мм больше диаметра заготовки. Далее пресс-штемпель давит в торец стержня с таким усилием, которое

позволит материалу заготовки заполнить весь объём контейнера. Давление в контейнере возрастает по мере продвижения пресс-штемпеля, тем самым алюминий выходит через отверстия матрицы в виде профиля с заданным поперечным сечением (рис. 6).

В задней части контейнера остаётся всего 10% заготовки по завершению экструзии. В результате перемещения контейнера назад часть стержня извлекается из контейнера и отрезается. Данная часть заготовки называется пресс-остатком, что в свою очередь является продуктом для переплавки [3, 4].

Ввиду облегчения конструкции каркаса ТАБ после топологической оптимизации возможно применение набора экструдированных профилей вместо фрезерованных деталей. Рассмотрим в сравнении применение экструдированных профилей вместо фрезерованной плиты на боковине каркаса ТАБ электрического транспортного средства категории L.

Ниже на рис. 7 и 8 представлено сравнение 2-х типов конструкций плит боковых ТАБ электрического транспортного средства категории L по результатам топологической оптимизации одинаковыми пределами по прочности (σ_T).

При одинаковых габаритных показателях масса фрезерованной плиты составляет 1,79 кг, а масса плиты, сваренной из экструдированного профиля, составляет 1,56 кг, что подтверждает преимущество применения технологии экструзии при изготовлении деталей и узлов.

На рис. 9 и 10 приведены в сравнении максимальные напряжения, возникающие в плитах при одинаковых входных параметрах: $\sigma_T=350$ МПа, условная нагрузка $F=300$ Н.



Рис. 3. Нарезка слитков цилиндрических стержней на заготовки.
Fig. 3. Blank cutting of ingots of cylindrical rods.



Рис. 4. Разогрев заготовки перед её экструзией.
Fig. 4. Heating of a blank before the extrusion of it.

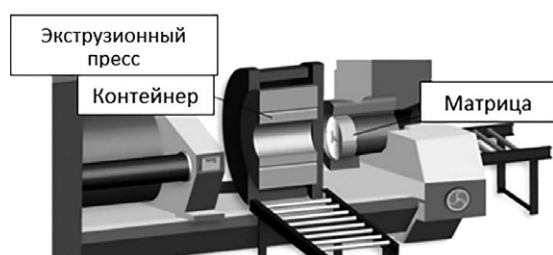


Рис. 5. Установка матричного комплекта.
Fig. 5. Mounting the matrices set.

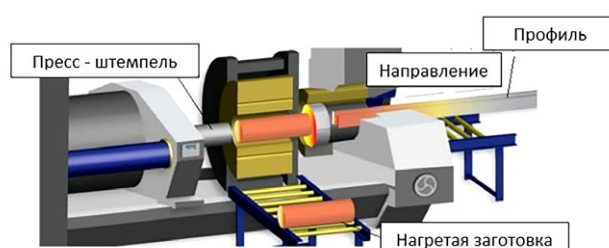


Рис. 6. Установка заготовки в контейнер и прессование (экструзия) профиля.
Fig. 6. Setting up the blank in the container and profile pressing (extrusion).

Также на рис. 9 и 10 представлены напряжения в наиболее критичных узлах деталей с различной технологией производства. Как можно заметить, при одинаковой нагрузке критические напряжения в фрезерованной детали в 2,5 раза выше, чем в узле, изготовленном из экструдированного профиля.

Исходя из проведённого теоретического эксперимента можно сделать вывод, что применение технологии экструзии в изготовлении деталей и узлов для каркаса ТАБ электрического транспортного средства приводит к сокращению технологического времени и увеличению прочности конструкции при одинаковых геометрических параметрах и массе. Следовательно, при применении экструдированных деталей существует возможность дополнительного уменьшения массы конструкции, что положительно влияет на энергоэффективность транспортного средства в целом [5, 6].

Основным недостатком экструдированных деталей является неизменность поперечного сечения по всей длине. Данный фактор накладывает некие ограничения на их применяемость, так как в конструкции необходимы отверстия (простые, резьбовые) для сборки узла и фиксации.

Для решения данной проблемы разработано решение с применением сквозных или глухих втулок, которые устанавливаются в экструдированный профиль и закрепляются в нем посредством сварки в инертном газе. На рис. 11 представлено решение по использованию втулок в экструдированном профиле.

Данная технология позволяет использовать экструдированный алюминиевый профиль в качестве силового каркаса тяговой аккумуляторной батареи категории L.

ВЫВОД

Применение технологического процесса при изготовлении деталей и узлов каркаса тяговой аккумуляторной батареи с использованием экструдированного алюминиевого профиля позволит снижать массу деталей в пределах 10% в сравнении с фрезерованными деталями.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. И.П. Дегтярёв — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи, редактирование текста рукописи, создание изображений; Р.Х. Курмаев — экспертная оценка, утверждение финальной версии. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

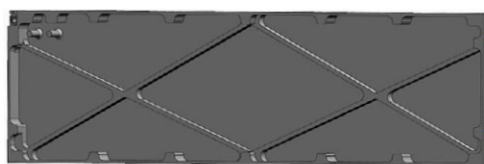


Рис. 7. Фрезерованная плита из алюминиевого сплава D16T $\sigma_t = 345$ МПа.

Fig. 7. The milled plate made of the D16T aluminum alloy ($\sigma_t = 345$ MPa).



Рис. 8. Плита, сваренная из экструдированного профиля 6066 $\sigma_t = 360$ МПа.

Fig. 8. The plate welded with the extruded profile made of the 6066 aluminum alloy ($\sigma_t = 360$ MPa).

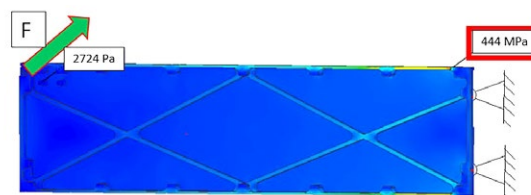


Рис. 9. Напряжения во фрезерованной плите из алюминиевого сплава D16T.

Fig. 9. Stresses in the milled plate made of the D16T aluminum alloy.

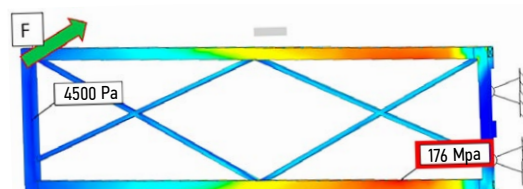


Рис. 10. Напряжения в плите, сваренной из экструдированного алюминиевого профиля 6066.

Fig. 10. Stresses in the plate welded with the extruded profile made of the 6066 aluminum alloy.

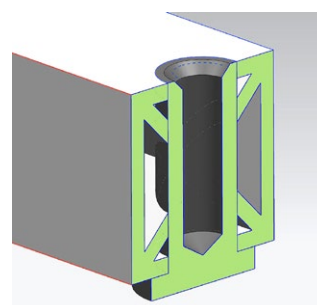


Рис. 11. Применение втулки в экструдированном профиле.

Fig. 11. Use of a bushing in the extruded profile.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. I.P. Degtyarev — search for publications, writing and editing the text of the manuscript, creating images;

R.Kh. Kurmaev — expert opinion, approval of the final version. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агбалян С.Г., Закарян А.А., Еремян П.Л., Оганесян С.А. Исследование процесса горячей экструзии армированных высокопрочных литейных алюминиевых сплавов и особенности формирования их структуры и свойств // Вестник национального политехнического университета Армении. Металлургия, материаловедение, недропользование. 2018. С. 32–43.
2. Третьякова В.С., Шаяхметов У.Ш., Хайдаршин Э.А., Юмобаев Ю.С. В кн.: современные технологии композиционных материалов. Материалы II научно-практической молодежной конференции с международным участием. Уфа: БашГУ, 2016. С. 272–274.
3. Русин Н.М., Курбатова К.А. Структура и механические свойства порошковых брикетов из алюминия, подвергнутых накопительной экструзии // Перспективные материалы. 2011. № 12. С. 285–289.
4. Галиев Ф.Ф., Сайков И.В., Бербенцев В.Д., и др. Получение интерметаллидов никеля и алюминия при экструзии реакционных порошковых смесей. В кн.: физика конденсированного состояния

и ее приложения. Сборник трудов III Международной научно-практической конференции. Стерлитамак, 2020. Уфа: БашГУ, 2020. С. 389–391.

5. Kolbasov A., Karpukhin K., Sheptunov D., et al. Analytical study of the power parameters of electric traction drive for modern vehicles // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 178. P. 200–209.

6. Kurmaev R.Kh., Terenchenko A.S., Karpukhin K.E., et al. Maintaining the required temperature of high-voltage batteries in electric cars and hybrid vehicles // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35. N. 9. P. 666–669.

7. Extrusion of aluminium [internet] Дата обращения: 10.02.2024. Режим доступа: <https://aluminium-guide.com/just-about-aluminum-extrusion/>

8. Типы экструзии для изготовления пластиковых изделий [internet] Дата обращения: 10.02.2024. Режим доступа: <https://polymernagrev.ru/nagrev-v-proizvodstve/typy-ekstruzii-dlya-izgotovleniya-plastikovyykh-izdeliy/>

REFERENCES

1. Agbalyan SG, Zakaryan AA, Eremyan PL, Oganessian SA. Issledovanie protsessa goryachey ekstruzii armirovannykh vysokoprochnykh liteynykh alyuminiyevykh splavov i osobennosti formirovaniya ikh struktury i svoystv. *Vestnik natsionalnogo politekhnicheskogo universiteta Armenii. Metallurgiya, materialovedenie, nedropolzovanie*. 2018;32–43.
2. Tretyakova VS, Shayakhmetov USH, Khaydarshin EA, Yumobaev YuS. Tekhnologiya ekstruzii trubchatykh izdeliy iz massy na osnove oksida alyuminiya. In: *sovremennye tekhnologii kompozitsionnykh materialov. Materialy II nauchno-prakticheskoy molodezhnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Ufa: BashGU, 2016;272–274.
3. Rusin NM, Kurbatova KA. Struktura i mekhanicheskie svoystva poroshkovykh briketov iz alyuminiya, podvergnutykh nakopitelnoy ekstruzii. *Perspektivnye materialy*. 2011;12:285–289.
4. Galiev FF, Saykov IV, Berbentsev VD, et al. Poluchenie intermetallidov nikelya i alyuminiya pri ekstruzii reaktсионnykh poroshkovykh smesey. In: *fizika kondensirovannogo sostoyaniya*

i ee prilozheniya. *Sbornik trudov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Sterlitamak*, 2020. Ufa: BashGU; 2020;389–391.

5. Kolbasov A, Karpukhin K, Sheptunov D, et al. Analytical study of the power parameters of electric traction drive for modern vehicles. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021;178:200–209.

6. Kurmaev RKH, Terenchenko AS, Karpukhin KE, et al. Maintaining the required temperature of high-voltage batteries in electric cars and hybrid vehicles. *Russian Engineering Research*. 2015;35(9):666–669.

7. Extrusion of aluminium [internet] Accessed: 10.02.2024. Available from: <https://aluminium-guide.com/just-about-aluminum-extrusion/>

8. Types of extrusion for the production of plastic products [internet] Accessed: 10.02.2024. Available from: <https://polymernagrev.ru/nagrev-v-proizvodstve/typy-ekstruzii-dlya-izgotovleniya-plastikovyykh-izdeliy/>

ОБ АВТОРАХ

*** Дегтярёв Иван Петрович,**
ведущий инженер-конструктор центра «Информационные
и интеллектуальные системы»;
адрес: Российская Федерация, 125438, Москва,
ул. Автомоторная, д. 2;
ORCID: 0000-0001-5378-6578;
eLibrary SPIN: 1595-2704;
e-mail: Ivan.degtyarev@nami.ru

Курмаев Ринат Ханяфиевич,
доцент, канд. техн. наук,
директор научно-образовательного центра;
ORCID: 0000-0001-7064-0466;
eLibrary SPIN: 6483-2444;
e-mail: rinat.kurmaev@nami.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

*** Ivan P. Degtyarev,**
Chief Design Engineer of the Information
and Intelligent Systems Center;
address: 2 Automotornaya street, 125438 Moscow,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0001-5378-6578;
eLibrary SPIN: 1595-2704;
e-mail: Ivan.degtyarev@nami.ru

Rinat Kh. Kurmaev,
Associate Professor, Cand. Sci. (Engineering);
Director of the Research and Education Center;
ORCID: 0000-0001-7064-0466;
eLibrary SPIN: 6483-2444;
e-mail: rinat.kurmaev@nami.ru