

СОВРЕМЕННАЯ БАЗА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ И АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Канд. техн. наук **Грушников В.А.**

(Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук. ВИНТИ РАН)

MODERN BASE OF CONSTRUCTION MATERIALS FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY AND MOTOR TRANSPORT

V.A. Grushnikov, Ph.D. (Tech.)

(All-Russian Institute of Scientific and Technical Information. VINITI of RAS)

Автомобили, автомобильный транспорт, конструкционные материалы, свойства, технологии обработки и применения.

Cars, road transport, construction materials, properties, processing technologies and applications.

Использование тех или иных материалов в конструкциях автомобильного подвижного состава не только определяет его прочностные и потребительские свойства, но и является ключевым аспектом оптимизации эксплуатационных параметров, комфортабельности и экологической безопасности, так как масса автомобиля, не в последнюю очередь связана не только с динамичностью (разгон, максимальная скорость) и экономичностью (потребление топлива), но и с выбросами в атмосферу вредных веществ.

The use of certain materials in the structures of automobile rolling stock not only determines its strength and consumer properties, but is also a key aspect of optimizing operational parameters, comfort and environmental safety, since the mass of a car is not least associated not only with dynamism (acceleration, maximum speed) and economy (fuel consumption), but also with emissions of harmful substances into the atmosphere.

Повышение конкурентоспособности подвижного состава автомобильного транспорта (ПСАТ) по результативности его эксплуатации закладывается еще при проектировании и изготовлении, и, наряду с конструктивно-технологической оптимизацией, в немалой степени определяется выбором материалов его компонентов. Бесспорно, в автомобилях разного назначения и типоразмера по относительной доле присутствия была преобладающей и продолжает лидировать сталь разных марок, а значит и технологических и прочностных свойств. Но в явном тренде облегчения конструкций все большее значение автомобилестроителями и эксплуатационщиками придается считающимися альтернативными материалам. И они играют в конструкциях ПСАТ все большую роль.

К таким материалам, в первую очередь, принадлежат сплавы, главным образом, цветных металлов, полимерные, в том числе армированные, композиционные и другие нетрадиционные для автомобилестроения материалы.

Транснациональной компанией Constellium со штаб-квартирой в Амстердаме, например, рассмотрена [1] возможность расширения областей эффективного применения алюминиевого проката, экструдированных изделий и конструкций из легких сплавов как в легковых автомобилях премиум-сегмента, так и в небольших коммерческих автомобилях: микроавтобусах и развозных фургонах, а также в автобусах большой вместимости и магистральных грузовых автопоездах. По сравнению с обычной сталью легкие сплавы на основе алюминия позволяют снизить снаряженную массу любого из этих ПСАТ до 40% и выбросы вредных веществ с отработавшими газами примерно на 0,08 г/км на каждый килограмм сниженной массы конструкции.



Рис. 1. Разные материалы экстерьера коммерческого автомобиля

Доступные в настоящее время материалы для серийного производства с применением аддитивных технологий еще не были специально разработаны для автомобильной промышленности. Подходят только несколько сплавов, особенно для использования в зонах, где возможны ударные воздействия аварийных столкновений. На этом фоне производственно-технологическая Edag из Фульды (Германия) вместе с партнерами по совместной пилотной разработке проекта CustoMat_3D исследовала [2] механические прочностные и деформационные, теплопроводные, адгезионные, сварочные и коррозионностойкие характеристики и связанные с ними возможности использования нового типа алюминиевого сплава марки AlSi10Mg в автомо-

биях - главным образом в их кузовах. Результаты натурных лабораторных и виртуальных компьютерных испытаний и экспериментов продемонстрировали перспективность его применения, в особенности в прочностных литых конструкциях, позволяющих значительно снизить материалоемкость и трудозатраты в реализациях аддитивных технологий.

При проектировании автомобилей будущего все больше учитывается воздействие на окружающую среду по всей цепочке создания стоимости. При рассмотрении всего жизненного цикла решения облегченной конструкции должны быть экологически и экономически целесообразными. Для адекватной и обоснованной оценки по этим критериям как обычных, так и так называемых экологически чистых алюминиевых материалов объединенным коллективом временного исследовательского проекта сотрудников норвежской нефтегазовой и металлургической компании Norsk Hydro ASA, консалтинговой компании fka, Института автомобильного транспорта Университета Аахена и производственно-технологической компании Hydro Aluminium Rolled Products из Бонна (оба - Германия) разработана [3] методика комплексного анализа экологической безопасности жизненного цикла обычных с приводом в составе традиционных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и аккумуляторных легковых и грузовых электромобилей со стальными и алюминиевыми материалами кузовов.

Этот анализ проведен по энергопотреблению, виду использованной энергии при изготовлении в Европе, Германии, в частности, Китае и в среднем во всем мире, а также возможности рециклирования при вторичной и последующей переработке алюминия и сплавов на его основе с целью получения обобщенного показателя экологичности, экономичности и представительности комплексного показателя E2P, наиболее объективно характеризующего потенциал глобального потепления в процессах получения и переработки алюминия. Установлено, что во всем мире изготавливаемый и как первичный, без последующей рециклируемости, используемый алюминий, в среднем, создает так называемый углекислотный или упрощенно – углеродный след в эквиваленте 18 кг CO₂ на 1 кг готового продукта, в Китае - 20 кг CO₂/кг Al.

В среднем по Европе этот показатель составляет 6,7 кг CO₂/кг Al, в Германии - по используемому, а не производимому алюминию - 8,6 кг CO₂/кг Al. Оценки экологической декларации продукции с сертификацией на соответствие международному экологическому стандарту ISO 14025, что на 75% получаемый в процессе вторичной переработки рециклированием алюминиевый сплав Circa компании Hydro обладает одним из самых малых удельных выбросов CO в мире - 2,3 CO₂/кг Al, а более трудоемкий в изготовлении низкоуглеродистый алюминий марки Reduxa Hydro - за счет использования возобновляемых источников электроэнергии из воды методом гидроэнергетики, ветра и солнца - 4 кг CO₂/кг Al, что значительно меньше, чем в среднем в мире при первичной добыче и выплавке.

Аддитивные производственные технологии и новый мир развития аддитивной инженерии делают конструкции автомобильного кузова более жесткими и легкими. Благодаря такому генеративному и бионическому подходу к проектированию, реализованному с помощью программной платформы консалтингово-технологической

компании ELISE из Бремена (Германия), южнокорейской автомобилестроительной компании Hyundai удалось [4] снизить массу узла средней стойки кузова на 47%, повысить ее противоаварийную устойчивость на 20% и сократить время разработки на 80%.

Первый результат из этого набора преимуществ, которые еще предстоит реализовывать в наиболее перспективной сфере производства грузового ПСАТ, достигнут созданием интегральной бионической гибко-жесткой энергопоглощающей структуры со специфическими свойствами легковесной звездообразной структуры червя *Asterolampra grevillei*, сверхпрочной на изгиб структуры морских диатомовых водорослей *Roperia*, энергопоглощающей - центральных диатомовых водорослей *Thalassiosira* и прочной на разрыв и сжатие - самого крупного рода морских планктонных диатомовых водорослей *Chaetoceros*, созданной комбинацией программными возможностями САПР. Второй продемонстрирован регистрациями итогов испытаний на боковое столкновение по стандартной методике Euro NCAP с последующим конечно-элементным анализом средствами модифицированного программно-вычислительного пакета AEMBD, проведенных в Техническом центре европейского отделения Hyundai в немецком Руссельгейме (Германия). Третий фактически зафиксирован при проектировании узла средней стойки кузова легкового автомобиля.

Но эти и подобные им интеллектуальные технологии могут и уже эффективно реализовываются не только на металлических конструкционных материалах. Нагреваемые текстильные поверхности - яркий пример прогресса, который принесут современные так называемые умные волокна [5]. Они улучшают управление температурой в салоне, повышают комфорт, снижают массу компонентов салона и/или кабины ПСАТ и сохраняют здоровье его пользователей. Умный текстиль также предлагает возможность интеграции новых функций. Ввиду роста амбициозных требований по экологической безопасности все большее значение приобретают концепции приводов с низким уровнем выбросов вредных веществ и парниковых газов.

Электромобильность позволяет электрифицировать и в то же время управлять агрегатами привода. Это же относится к регулированию температуры, обогреву и охлаждению салона автомобиля. В прошлом для обогрева салона автомобиля посредством конвекции использовалось только отработанное тепло дизельных и бензиновых ДВС, но современные поколения автомобилей уже используют различные дополнительные обогреватели. Они необходимы, потому что чистого отработанного тепла ДВС уже недостаточно для комфортного обогрева салона. Около 90% современных легковых и грузовых автомобилей с дизельными ДВС оснащены дополнительными отопителями, позволяющими использовать отработанное тепло ДВС, вентилятором подаваемое с нагретым воздухом в салон и/или кабину автомобиля для обеспечения комфортного микроклимата.

В то же время внимание и ожидание потребителей все больше нацелены на его улучшение с более высоким уровнем комфорта в эргономике в салоне и/или кабине ПСАТ. Они заключаются, с одной стороны, в быстром нагреве салона, а с другой стороны, в целенаправленном снижении расхода теплого воздуха без ощущения сквозняка. Одна из возможностей решить

технологические проблемы и удовлетворить потребности пассажиров в комфорте лучше, чем раньше, - это нагретые текстильные поверхности в особо важных точках интерьера. У них есть два основных преимущества по сравнению с обычными методами обогрева: при подключении к электрической системе автомобильного ПСАТ текстильные поверхности нагрева имеют относительно высокую скорость нагрева и практически сразу выделяют лучистое тепло. Скорость потока вентиляции снижается.

Лучистое тепло значительно увеличивает комфорт в салоне. Таким образом обогреваемые текстильные поверхности вносят эффективный вклад в физиологический комфорт и хорошее самочувствие водителей и пассажиров ПСАТ. Текстильные поверхности нагрева на основе электропроводящей пряжи могут быть интегрированы в существующие поверхности интерьера без изменения массы, ощущения или внешнего вида и этим также вносят заметный вклад в облегчение конструкции. Преимущества лучистого тепла заключаются, с одной стороны, в том, что лучи сначала нагревают твердые тела, которые затем выделяют тепло в воздух, а с другой стороны, человеческое тело воспринимает это тепло как приятное.

Поскольку однородное распределение тепла приводит к более равномерному нагреванию крови, также отсутствует перенос крови при разных температурах в организме. Более равномерный прогрев тела улучшает работу всех внутренних органов и мозга. Кроме того, однородный нагрев мышц, связок и суставов делает все человеческое тело более подвижным как во время вождения, так и при выходе из автомобиля после прибытия в пункт назначения. Равномерно нагретые мышцы спины способствуют общему расслаблению тела и тем самым облегчают поездку на дальние расстояния. Ноги меньше застывают из-за равномерного разогрева мышц спины и таза, так как уменьшается напряжение, связанное со сквозняком.

Это же касается функции плечевого пояса и шейного отдела позвоночника. Обогрев текстильных поверхностей может использоваться для сидений, центральных подлокотников и консолей, подголовников, ниш для ног, ковриков, облицовки стоек, потолков, приборных панелей и многих других применений в салоне и кабине ПСАТ. Обогреваемая фольга также находится в разработке. Развитие лучистого отопления в основном направлено на достижение минимально возможного расстояния между нагревательным элементом и излучающей поверхностью. Накладные нагревательные элементы, такие как те, которые используются для подлокотников в дверях или для центральной консоли, часто вышиваются на несущем материале, а затем ламинируются с помощью промежуточной ткани и поверхностного слоя. Этот процесс относительно сложен, поэтому все большее значение приобретают проводящие углеродные волокна, нагреваемые нетканые материалы и проводящие текстильные нити.

Пластмасса давно уже и заслуженно пользуется популярностью у производителей ПСАТ всех назначений и типоразмеров как доступный и простой в обработке материал, в то время как потребители продукции массового производства видят в ней источник мусора в виде гор пластика. Биопластики могут стать решением этой проблемы. Специализируясь в этом современном экологическом тренде, итальянская производственно-

технологическая компания Röchling Automotive разработала [6] биополимер Röchling BioBoom и оптимизировала его для использования в автомобильном производстве. В отличие от уже широко распространенных, главным образом в отделке салона и кабины, ПСАТ таких традиционных, изготавливаемых из ископаемого углеводородного сырья, как полиэфираламиды, полиамиды, акрилонитрил-бутадиен-стиролы и их поликарбонаты, инновационная пластмасса - биополимер Röchling BioBoom класса полилактидов PLA - биоразлагаемый, биосовместимый, термопластичный, алифатический полиэфир, мономером которого является молочная кислота, на 87% меньше выделяет в процессе эмиссии углекислого газа.

Сырьем для производства служат ежегодно возобновляемые ресурсы, такие как кукуруза и сахарный тростник или любая биомасса, содержащая растительные жиры и масла, производных сахара, включая крахмал, целлюлозу и молочную кислоту. Именно она в последовательных процессах дистилляции с образованием лактида и полимеризации превращается в PLA. Наиболее существенно преимущества этого биополимера проявляются при хранении в форме гранул: материал марки RA PLA GF30, например, в таком виде выделяет всего 0,5 г CO₂/г при модуле упругости 7380 МПа и плотности 1,43 г/см³, тогда как полиамид PA6 GF30 с 7500 МПа и 1,37 г/см³ - 9,1 г CO₂/г.

Сотрудниками исследовательского подразделения автомобилестроительного концерна Ford (Германия) в партнерстве с консалтингово-технологическими компаниями Gestamp, GRM Consulting и Университетом Уорика (все - Великобритания) на примере проектирования, изготовления и испытания компонентов из волоконных композиционных материалов несущей конструкции подвески задних колес ПСАТ оценен [7] потенциал концепции облегченного автомобильного шасси, вообще, и ходовой части и несущего кузова, в частности, для успешной реализации в массовом производстве. Цели значительного снижения собственной массы планируется достигнуть использованием стальных и композиционных компонентов конструкций с усилиями изгибных нагрузжений в высоком диапазоне 7,7...8,1 кН.



Рис. 2. Полимерные материалы в салоне автобуса

В полной мере реализовать все преимущества специфических свойств тех или иных конструкционных материалов позволяют адекватные реализации цифровых возможностей современных информационных технологий прогнозирования поведения тех или иных автомобильных компонентов, конструкций и полнокомплектных ПСАТ при действии разного рода нагрузок. Этот процесс виртуальной разработки не заменяет классический прототипный, но продолжает дополнять, сопровождать и, все чаще, замещать его. Надежные виртуальные методы и все более тесная интеграция моделирования и испытаний в реальных условиях имеют решающее значение при растущей сложности современных ПСАТ для сокращения циклов разработки и расширения использования испытательных стендов.

Захватившая, практически, все сферы человеческой деятельности цифровизация, как показал уже имеющийся опыт, пока еще недостаточно оценена по своему потенциалу в автомобилестроении. На фоне стремительно протекающих процессов четвертой промышленной революции постоянным представителем немецкого отделения транснациональной информационно-технологической корпорации IBM при немецком автомобилестроительном концерне Volkswagen (Германия), в частности, оцениваются [8] прошедшие и прогнозируемые изменения в автомобильном производственном процессе и на автомобильном транспорте. Уже сегодня в современно оснащенных КТС присутствуют более 100 электронных устройств управления и более 20 км их электрокабельных коммуникаций для реализации многочисленных функций цифровых информационных технологий.

Задачей поставщиков автокомпонентов и конечных автопроизводителей сейчас является адаптация их характеристик и потребительских свойств, соответственно, к оперативному и максимально точному их выполнению, в том числе в отсутствии предотвращаемых рисков столкновений. На повестке дня стоит задача объединения этих устройств в технологический комплекс, обеспечивающий быстрое и понятное считывание и трансляцию регистрируемой полезной информации и технологичную замену всего комплекса или отдельных модулей.

Цифровые информационные технологии позволяют в виртуальных компьютерных экспериментах спрогнозировать и оценить реальность автомобиля-робота. По сравнению с наиболее стабильной тенденцией электроавтомобильности, вторая - автоматизации автомобильного роботизированного подвижного состава до сих пор не является [9] такой уж бесспорной. По данным постоянного представителя немецкой автокомпонентной концерна ZF (Германия), уже сегодня бортовой процессор современного высокоинтеллектуального автомобиля, начиная с четвертой ступени автоматизации, выполняет до 600 млрд/с расчетных операций, а Tesla - даже больше. Повышенной энергоэффективности и автономности хода добились производители из компании Mover (Германия) для своего городского миниавтомобиля e.GO и французской EasyMile - для EZ10.

И хотя перспективность и, практическая, безальтернативность в недалеком будущем беспилотного и электрического ПСАТ уже все больше становится реальной, проблем с его производством и эксплуатацией не убавляется. Взять, хотя бы, их материальную базу. В них, в особенности - в электрифицированном и на чистой

электротяге ПСАТ - электромобилях большая доля использования просто редких конструкционных материалов, таких, например, как редкоземельные металлы ограниченного доступа.

Известно, что для производства электромобилей с аккумуляторными батареями и электрифицированного ПСАТ на водородных, главным образом, топливных элементах требуется сырье, которое ранее, практически, мало использовалось, поскольку не реализовывалось или в меньшей степени было актуальным для автомобильной промышленности. По поручению государственного агентства e-mobil BW Германии, проектно-исследовательско-консалтинговая фирма Sphera (Германия) изучила значительно увеличивающийся потенциальный спрос и будущую доступность критически важного сырья и разработала рекомендации для оптимизации конструктивно-технологических мероприятий в этой сфере человеческой деятельности.

По результатам реализации изыскательского проекта «Материалы для инновационных автомобильных технологий - вызовы и варианты решений» выявлен [10] перечень этих критических конструкционных материалов: литий, кобальт, никель, платина, редкоземельные металлы и медь, страны в которых они залегают в недрах Земли и добываются, и ежегодная потребность в них на перспективу.

По литию лидерами по запасам и доле добычи являются Австралия с 43%, Чили с 33%, Аргентина с 11% и Китай с 6%, по кобальту - Конго (59%), Китай (7%), Канада (5%), Австралия (5%), по никелю - Филиппины (20%), Россия (13%), Канада (11%), Австралия (11%), по платине - ЮАР (73%), Россия (13%), Зимбабве (6%), Канада (3%), по редкоземельным металлам - Китай (84%), Австралия (7%), США (5%), Россия (2%) и по меди - Чили (32%), Китай (9%), Перу (9%), США (8%). А ежегодное потребление этих конструкционных материалов по базисному 2013 г. (при его текущем росте на 25%) составляет по литию 175 кт, по кобальту - 263 кт, по никелю - 774 кт, по платине - 275...640 т, по неодиму - 9,1 кт, по диспрозию - 1,8 кт и по меди - 0,75...1,7 Мт.

Это означает, что полный переход на производство и эксплуатацию электрического ПСАТ одномоментно не только не целесообразен, но просто невозможен, и что этот процесс займет неопределенное время, необходимое для добычи и создания требующегося запаса этих редких ископаемых материалов, а также поисков и нахождения их замены. А пока будет происходить использование как альтернативных, так и традиционных конструктивных материалов.

Несмотря на расширение использования альтернативных материалов, основой конструкции автомобилей с традиционным приводом, электрифицированных и электромобилей легкового и грузового спектров эксплуатационного назначения продолжает и будет оставаться сталь. А спрос на потребление стали, даже в электромобилях, как ожидается [11], останется стабильным или даже увеличится. Это заключение сделано по результатам исследования, проведенного сотрудниками научно-исследовательского института Хандельсблатта по поручению австрийской компании Voestalpine. Будущее принадлежит инновационным высоко- и сверхвысокопрочным маркам стали, одновременно легким и прочным, технологичным в обработке и экономичным.

Подтверждением правильности этого вывода является то, что, хотя, электромобиль BMW i3 был в основном сделан из углепластика, новая его модель i5 в 2021 г. будет в гораздо большей степени состоять из стали и легких сплавов. Кроме того, Tesla в своей третьей модели поддерживает идею преимущества стали по сравнению с алюминием и титаном. На эту прогнозируемую тенденцию европейская металлургическая промышленность реагирует поставкой облегченной ковкой стали, технологичной в обработке, структурно однородной и хорошей совместимостью с другими материалами, увеличивающейся в структуре выпуска на 18...30%. По данным Всемирной федерации стали Worldsteel в ближайшей перспективе масса автомобиля, в том числе с электроприводом, может снизиться на 25...39%, что позволяет за весь срок его службы снизить выбросы парниковых газов от 3 до 4,5 т.

Однако, имеются присутствующие в открытой печати примеры использования в конструкциях грузовых автомобилей нетрадиционных металлических сплавов, чисто полимерных и армированных термопластов и терморективных. Из-за неизменного приоритета безопасности пользователей, обеспечиваемого системой пассивной безопасности кузова автомобиля из прочных материалов, до сих пор используется комбинация алюминия и стали. Как показывают исследования, новейшие марки стали в три-четыре раза прочнее, чем обычные стали, и поэтому идеально подходят для областей, связанных с безопасностью. Изделия из стали в электродвигателе и приводе также являются приоритетными. Так называемая неориентированная электротехническая сталь используется в электродвигателях - для чистого электромобиля - в массовом выражении от 40 до 100 кг. Таким образом, спрос на этот магнитомягкий материал в одной только Европе может возрасти до более 1 млн т/г.

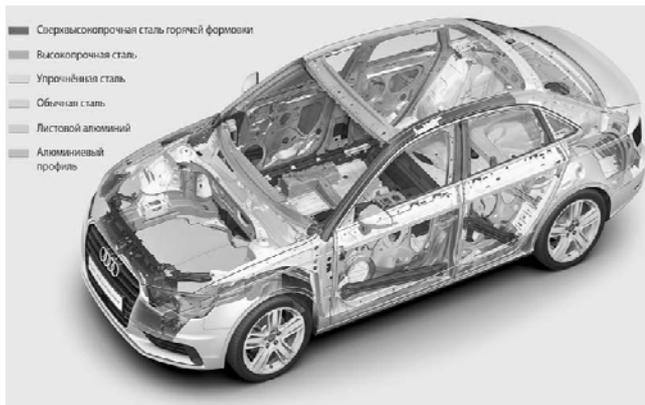


Рис. 3. Сталь в кузове легкового автомобиля

Сталь предпочтительнее и в системе защиты от ударных механических повреждений аккумуляторов батареи электропитания. Поскольку весь аккумуляторный модуль может составлять до 40% массы электромобиля, для него очень важен выбор материала. В отличие от алюминиевых, титановых и волокнистых композитов, сталь обладает тем преимуществом, что она особенно устойчива к деформации в случае аварий. Кроме того, сталь обладает особыми преимуществами по сравнению с алюминием или углеродом, поскольку ее можно производить с меньшими затратами энергии, а затем подвергать дальнейшей обработке и окончательной

переработке без потери качества. К 2025 г. в странах Евросоюза уже может быть продано более 14 млн электромобилей, что, играет важнейшую роль в востребованности стали, продолжающей доминировать в ассортименте конструкционных материалов из-за своей экономической эффективности, устойчивости и безопасности. Прослеживается тенденция ориентации на электропривод и грузовых ПСАТ.

Из-за особых свойств нержавеющей стали, она все чаще используется в корпусах тяговых аккумуляторных батарей электрифицированных ПСАТ, в особенности – электромобилей. Благодаря сочетанию инновационных концепций и целенаправленного использования преимущественных потенциалов свойств аустенитных нержавеющей сталей можно оптимизировать не только безопасность при столкновении, но и термодинамический менеджмент аккумуляторных батарей.

Для легкого энергоблока, особенно в электромобилях, специалист по нержавеющей стали Outokumpu - финская компания, один из ведущих производителей нержавеющей стали в мире, с предприятиями в 30 странах мира, разработал [12] сверхпрочный специальный материал. Он обеспечивает технологичность и прочность распределенных по нескольким блокам или сосредоточенных в общем модуле хорошо защищенных аккумуляторов энергоемкой батареи, снижающих центр масс электромобилей.

Наряду с основным материалом несущих автомобильных конструкций, каким была и продолжает оставаться сталь разных марок и в разных сочетаниях с другими материалами, все большую долю в них завоевывают ранее считавшиеся альтернативными, а теперь становящиеся уже конкурентными усовершенствованные по своим свойствам и технологичности получения и формования алюминиевые, титановые, другие сплавы цветных металлов и разнокомпонентные полимерные материалы.

Приведенная в данном обзорном материале информация свидетельствует о многовекторности исследований и разработок, направленных на совершенствование как материальной базы современного и перспективного автомобилестроения, так на поиски технологий их обработки с целью производства и эксплуатации дружелюбных к окружающей среде и обитающим в ее структуре живым существам ПСАТ, во многом определяющих экологическую нагрузку техногенных структур современной цивилизации. База конструкционных материалов будет и дальше пополняться, совершенствоваться с переменным перевесом ее составляющих по мере улучшения их свойств в стремлении нахождения оптимальной структуры и состава.

Литература

1. Automobiltechn. Z.- 2019.- Т. 121, № 3.- С. 68-71.
2. Riebes H. Aluminiumlegierungen im Leichtbau von kleinen Nutzfahrzeugen und Großraumkombis// ATZ Prod.- 2019, № 1.- С. 44-46.
3. Caba S. Aluminiumlegierung für die additive Fertigung im Automobilbau// ATZ: Automobiltechnische Zeitschrift.- 2020, Том 122, № 11.- С. 58, 59, 61.
4. Seidel K., Thirunavukkarasu D., Tjetta S., Vieregge K. Nachhaltigkeitsanalyse CO2-emissionsarmer Aluminiumwerkstoffe// ATZ: Automobiltechnische Zeitschrift.- 2020, Том 122, № 11.- С. 62-63, 66.

5. Leidenfrost D., Moarefi B. Generative-Engineering-Ansatz für einen B-Säulen-Karosserieknoten// ATZ: Automobiltechnische Zeitschrift.- 2020, Том 122, № 11.- С. 68 - 70.
6. Kirek R. Intelligente Wärme im Automobil// Industrie-Anzeiger.- 2020, Том 142, № 20.- С. 30, 32-33.
7. Ballilari F., Chini F. Biopolymere – Nachhaltigkeit für die automobilen Wertschöpfungskette// ATZ: Automobiltechnische Zeitschrift.- 2020, Том 122, № 11. - С. 36, 38-39.
8. Gerhards T., Zandbergen P., Ranks A. Leichtbau-Fahrwerkskonzept mit Potenzial für die Großserie// ATZ: Automobiltechn. Z.- 2019.- Т. 121, № 3.- С. 28-33.
9. Luo J., Xu P., Pan N., Jiang P., Li X., Zhang H. Non-landing vehicle-mounted electro-optical theodolite deformation measurement method using inertial sensors// Meas. Sci. and Technol. [Электронный ресурс].- 2019.- Т. 30, № 5.- С. 55-103.
10. Hendrich A., Reuter B. Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe für Elektrofahrzeuge// ATZ: Automobiltechn. - 2020.- Том 122, № 4.- С. 54-57.
11. Roboterautos – Tabubruch einer Branche// ATZ: Automobiltechn. Z. – 2019.- Т. 121, № 6.- С. 8-13.
12. Stahl spielt auch in Zukunft eine zentrale Rolle in der Elektromobilität// Stahl und Eisen.- 2019.- Т. 139, № 4.- С. 72-73.

Сведения об авторе:

Грушников Виктор Александрович, старший научный сотрудник в Отделе научной информации по машиностроению Всероссийского института научной и технической информации Российской академии наук.

Адрес: 125190 Москва, ул. Усиевича, 20.

E-Mail: mach@viniti.ru.