

УДК 629:620.22(075.8)

© Гаврилова В.Г.¹, Помазков М.В.², Караваєва Н.Е.³**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КУЗОВОВ В ПРАКТИКЕ
АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ**

Выполнен анализ возможности применения «легких» материалов для изготовления кузовов автомобилей: алюминиевых, магниевых сплавов, термопластичных, композиционных волокнистых материалов, а также различных категорий высокопрочных сталей. Сформулированы основные тенденции транспортного материаловедения, показаны преимущества и недостатки рассматриваемых материалов в практике автомобилестроения, а также пути их совершенствования.

Ключевые слова: материалы для применения на транспорте, автомобильные высокопрочные стали.

Гаврилова В.Г., Помазков М.В., Караваєва Н.Е. Аналіз можливості застосування різних матеріалів для виготовлення деталей кузовів в практиці автомобілебудування. Виконаний аналіз можливості застосування «легких» матеріалів для виготовлення кузовів автомобілів: алюмінієвих, магнієвих сплавів, термопластичних, композиційних волокнистих матеріалів, а також різних категорій високоміцних сталей. Сформульовані основні тенденції транспортного матеріалознавства, показані переваги та недоліки розглянутих матеріалів у практиці автомобілебудування, а також шляхи їх удосконалювання.

Ключові слова: матеріали для використання на транспорті, автомобільні високоміцні сталі.

V.G. Gavrilova, M.V. Pomazkov, N.E. Karavaieva. Analysis of application of various materials for manufacturing parts of motor car bodies in automobile industry. The work presents an analysis of applying various steels for manufacturing motor-car bodies. There is a brief description of cold-rolled sheet steels RRST 1405 produced according to the standards DIN 1623 and DIN 1541; UST 1203, UST 1303 according to DIN 1624 and DIN 1606; ST 4, 08MnSiAlTi, 07MnNbAl and also a classification and a brief description of steels made according to USLAB: IF-steel with increased formability, thermo-strengthened BH-steel, dual phase (DP) steels, transformation induced plasticity (TRIP) steels, martensitic (Mart) steels, austenitic high-tensile steels – (TWIP) steels, high strength steels of new generation of AHSS type (advanced high-strength steels) and UHSS (ultra high-strength steels), high-strength steels and superplastic steels of new generation for lightweight constructions (TRIPLEX-steel), hot-rolled nano-structured steel NANOHITEN. It has been shown that the main tendency in modern approach to engineering and manufacturing sheet steel used in automotive industry is to increase strength while maintaining formability characteristics, reducing the coefficient of normal plastic anisotropy (Lankford value ratio), as well as increasing strengthening at deformation. The advantages and disadvantages of the materials used in the automotive industry have been shown, as well as ways of their improving. The work represents a compilation of several publications. The materials can be used for developing a training course «Materials to be used in transport» within the framework of the International Project on reforming curricula TEMPUS «MMATENG»: «Two-stage Training Program for Engineering Materials Curriculum Modernization».

Keywords: materials for use in transport, automotive high-strength steel.

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ инженер, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, natkakaravaeva@ya.ru

Постановка проблеми. Оценка возможности принятия альтернативного решения при выборе материалов для изготовления автомобильных кузовов является наиболее актуальной при решении проблемы минимизации противоречий между необходимостью снижения веса автомобиля и повышением его безопасности.

Анализ последних исследований и публикаций. Проблеме применения различных материалов с учетом основных принципов (экономичности, безопасности, ремонтпригодности) в автомобилестроении посвящено большое количество работ [1-15], однако, в литературе недостаточно обобщающего материала, в котором кратко, на основе комплексного подхода к основным тенденциям снижения веса автомобиля, в общем виде, были бы изложены преимущества и недостатки современных материалов, систематизированы данные об основных показателях их механических свойств, возможности листовых материалов, обладающих хорошей штампуемостью.

Цель статьи – дать общие понятия и сформулировать основные принципы выбора материалов для изготовления кузовов, систематизировать основные тенденции, направленные на снижения веса автомобилей, показать преимущества сталей, позволяющие минимизировать вес кузова за счет уменьшения толщины листового проката при высоких показателях прочности и способностью к вытяжке при штамповке. Приведенные в статье материалы использовать для разработки учебного курса «Материалы для применения на транспорте» в рамках Международного проекта по реформированию учебных программ TEMPUS «MMATENG»: «Модернизация учебных планов двухуровневой программы подготовки по инженерному материаловедению».

Изложение основного материала. Анализ литературных данных и мониторинговые исследования рынка автомобилестроения показывают, что в последнее время конкурентная борьба между производителями различных материалов за передел автомобильного рынка, а также повышенные требования к материалам для изготовления кузовов, приводят к формированию основных принципов:

- снижение массы кузова (чем ниже масса, тем меньше расход горючего и количество вредных выбросов) при повышении безопасности автомобиля;
- энергоемкость (способность поглощать энергию удара при столкновении);
- обеспечение коррозионной стойкости;
- повышенные прочностные свойства;
- технологичность (возможность изготавливать детали сложной формы с минимальным количеством операций);
- ремонтпригодность;
- высокая производительность производства при минимальных затратах.

В мировой практике при проектировании автомобилей сформировалась стойкая тенденция с учетом двух противоположных факторов: требования SAFE («Corporate Average Fuel Economy» – «средняя по отрасли топливная экономичность») направлены на снижение веса автомобилей [1], а стандарты безопасности исключают возможность уменьшения толщины стальных конструкций [2].

Изготовление кузова является сложным и дорогостоящим звеном в общем производстве автомобиля. Из этого следует, что выбор материала для изготовления кузова при производстве автомобиля является наиболее ответственным процессом. На рисунке 1 показан вклад узлов автомобиля в общий вес и увеличение веса.

Для изготовления кузова хорошо зарекомендовали себя такие материалы, как сталь, алюминий, а также различные виды пластика. Современное производство практикует использование положительных свойств каждого материала. Например, немецкие производители автомобилей широко практикуют создание гибридных конструкций, состоящих из деталей, изготовленных из алюминия, стали, пластика и магния. Такое сочетание делает кузов легким, но при этом очень прочным [4].

Детали из алюминия могут иметь любую форму. Кузов из алюминия легкий и достаточно прочный ($\sigma_b = 88\div 137$ МПа). Вторичная переработка алюминия является доступным и несложным процессом. Алюминий довольно устойчив к воздействию коррозии. Стоимость технологических процессов обработки ниже, чем у стали. Однако, стоимость алюминия, как материала, почти в 3 раза больше, чем стали. Затраты на изготовление листа, вследствие лучшей пластич-

ности алюминия, несколько меньше. В то же время масса листа меньше только на 30%, так как алюминий обладает меньшей прочностью и, в связи с этим, приходится применять лист большей толщины. Кроме того, кузов из алюминия практически не подлежит ремонту. Минусом является также то, что технология соединения деталей из алюминия более сложная, дорогостоящая, повышающая затраты на электроэнергию, требуется специальное оборудование [5].

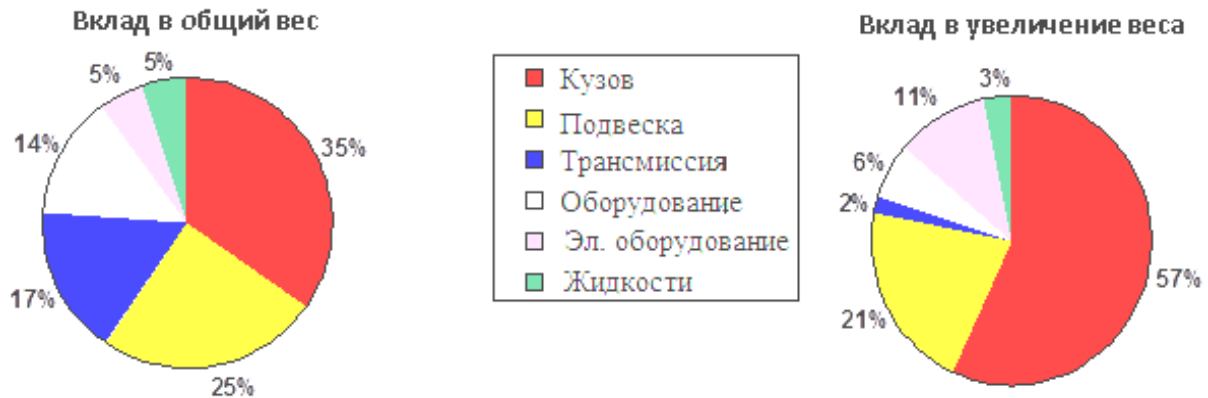


Рис. 1 – Вклад узлов автомобиля в общие вес и увеличение веса [3]

Магний является привлекательным материалом для автостроителей благодаря своей легкости. При этом детали из магниевых сплавов имеют большую, чем алюминий, пространственную стабильность. Также магний лучше поглощает вибрацию, чем алюминий или сталь. Важным достижением можно считать разработку коррозионноустойчивых (AZ91D и AZ91E) и высокопластичных сплавов (AM20 и AM50) ($\sigma_b = 370 \div 380$ МПа, $\delta = 20 \div 50\%$). Эти сплавы, полученные способом литья под давлением, значительно улучшают качество деталей и упрощают технологию изготовления. Из них изготавливают каркасы панелей приборов, каркасы сидений, детали рулевой колонки, крышки головок блока цилиндров, картеры коробок передач, впускные коллекторы. Однако для изготовления кузовов магниевые сплавы в последние годы не применяются из-за высокой стоимости [6].

В настоящее время у европейских автомобилей постоянно увеличивается доля пластмассовых деталей (по весу) в кузове и составляет примерно 7,8% общего веса.

Термопласты применяются, в основном, для изготовления бамперов и обшивки салона, поскольку не требуют больших затрат при использовании в производстве. Компания Chrysler использует для изготовления несущих частей кузовов легковых машин материал на основе ПЭТФ (полиэтилентерефталата, более известного как PET (polyethylene terephthalate) или лавсан), представляющий собой сложный термопластичный полиэфир терефталевой кислоты и этиленгликоля. Для сильно нагруженных деталей (рычаги, ручки) применяются термореактивные пластмассы (так называемые реактопласты) по стандартам DIN 7708, DIN 16911, DIN 16912 [7].

Преимуществами пластмасс являются малый вес, высокая прочность и жесткость, хорошие шумопоглощающие свойства, обусловливаемые высоким внутренним демпфированием, легкая сборка узлов, достигаемая благодаря возможности изготовления крупных деталей, отсутствие коррозии. Его не нужно красить: цветовой пигмент добавляется непосредственно в материал. По окончании срока службы кузов из термореактивных пластмасс можно без остатка переработать, он в 2-3 раза дешевле стального и легче его. Однако пластик реагирует на термические перепады, меняя степень своей жесткости, из него невозможно изготавливать детали, работающие под высокими нагрузками. При механическом повреждении или деформации пластиковые детали кузова ремонту не подлежат, а менять их и ставить производство на поток очень накладно. Для производства необходимы большие и дорогостоящие литьевые машины.

Композиционные материалы типа стекловолоконитов, карбоволоконитов, борволоконитов, органоволоконитов, а также углепластики, полученные путем синтеза различных соединений, также имеют ряд преимуществ перед остальными материалами: минимальный вес при высокой прочности кузова; относительно простое изготовление деталей сложной формы; превосходные

декоративные качества поверхности деталей, позволяющие отказаться от покраски (для карбона). Однако процесс изготовления композитных кузовов из них очень трудоемок, длителен и дорог, наиболее весомым недостатком является невозможность восстановления деталей после деформации при авариях. Все это способствует тому, что массово кузова автомобилей из композиционных материалов практически не выпускаются [8, 9].

Сталь используется для производства кузовов автомобилей давно, технология производства хорошо отработана. Применяемая для изготовления панелей кузовов и оперения автомобилей глубокой вытяжкой, в процессе штамповки или формовки другими способами на специальном оборудовании часто испытывает напряжения, близкие к пределу прочности, поэтому такая листовая сталь должна удовлетворять требованиям в отношении механических и технологических свойств, микроструктуры, чистоты поверхности, не иметь расслоений и быть однородной по толщине. Снижение веса стальных кузовов возможно при утонении листового проката повышенной прочности.

Кузов, изготовленный из стали, имеет высокую ремонтпригодность. Детали кузова из стали подлежат дальнейшей утилизации. Однако при всех плюсах кузовов из стали имеет самую большую массу. Также он ограничен сроком службы, подвергаясь коррозии.

Традиционно для деталей кузова автомобиля, применялась, в основном, низкоуглеродистая холоднокатаная сталь (ГОСТ 9045-70) с содержанием углерода не более 0,08% двух категорий: ОСВ – для штамповки деталей с особо сложной вытяжкой и СВ – со сложной вытяжкой: 08Ю и 08Фкп – нестареющие и 08кп – стареющие.

При использовании же горячекатаной полосовой автостали всегда применялись две основные концепции: 1 – нормализованные стали с высоким содержанием углерода и серы, микролегированные титаном; 2 – термомеханическая обработка стали с высоким содержанием титана для контроля формы сульфидов или микролегированной ниобием стали с низким содержанием серы.

В силу возрастающей популярности «легких» материалов, ряд мировых сталеплавильных компаний для усиления позиции металлургической промышленности на протяжении последних лет в автомобилестроении практикует разработку и применение высокопрочных сталей нового поколения [8].

Согласно международным программам Ultra Light Steel Auto Body (ULSAB) и Ultra Light Steel Auto Closure (ULSAC), определены пути значительного снижения веса автомобильного кузова при надежном обеспечении безопасности и комфортабельности при приемлемой цене конструкционно прочных запорных элементов (капоты, дверцы, крышки багажника, люки и задние дверцы), а также разработка легких и конструкционно прочных стальных подвесок [5].

Классификация автомобильных сталей согласно USLAB для проката толщиной 0,65-2,0 мм представлена на рисунке 2.

В последнее время уделяется значительное внимание применению высокопрочных сталей для изготовления панелей кузова [7-10]:

IF (Interstitial Free steels) -стали «повышенной штампуемости» ($\sigma_T = 480 \div 520$ МПа, $\sigma_B = 620 \div 670$ МПа, $\delta = 24\%$, $\psi = 70\%$) с низким содержанием углерода и азота, легированные марганцем, алюминием, фосфором, кремнием и бором [11].

«Термоупрочненная» *BH* (Bake harden able steels) -сталь ($\sigma_T = 280 \div 300$ МПа). Состав и технология производства указанных сталей разработаны с целью увеличения предела текучести в процессе низкотемпературной термообработки, в особенности при сушке лакокрасочного покрытия. ВН-стали могут таким образом обеспечивать повышенную прочность металла детали, при этом сохраняя хорошую формуемость. В сравнении с другими штампуемыми сталями, ВН-стали обеспечивают следующие преимущества:

- повышенное сопротивление к вмятинам готовых деталей с небольшой деформацией при формовке (капот, крыша, двери, крылья);
- существенный потенциал сокращения массы при эквивалентном сопротивлении вмятинам (уменьшение толщины компенсируется увеличенным пределом текучести вследствие процесса термообработки).

Двухфазные стали (Dual Phase (DP) стали) с ферритно-мартенситной (или ферритно-бейнитной) структурой, имеющие высокие прочностные свойства ($\sigma_B = 700 \div 1000$ МПа). «Мяг-

кий» феррит (до 80%) придает высокие пластические свойства DP-сталей в исходном состоянии. В процессе штамповки деформационные напряжения концентрируются в ферритной фазе, при этом достигается высокая степень деформационного упрочнения (в сочетании с высоким относительным удлинением), что гарантирует очень высокий предел прочности DP-сталей.

TRIP-стали (Transformation Induced Plasticity (TRIP) steels) (для автосталей $\sigma_b = 590\div 980$ МПа), микроструктура которых представляет собой ферритную матрицу с дисперсно-распределенными включениями прочной мартенситной и/или бейнитной составляющей. Уникальная, высокая пластичность данных сталей ($\delta = 50\text{-}60\%$) обусловлена наличием в структуре остаточного аустенита ($\geq 5\%$), который постепенно претерпевает мартенситное превращение при деформации металла, все более увеличивая степень деформационного упрочнения в процессе формовки. Прокат из TRIP-стали имеет очень высокую прочность, пластичность и высокое равномерное удлинение. В автомобильной промышленности применяют марки: TRIP 590, TRIP 690, TRIP 780 (цифры означают минимальный гарантированный уровень временного сопротивления в Н/мм²), для наиболее прочной стали относительное удлинение составляет не менее 23% для холоднокатаной и 20% для горячекатаной стали.

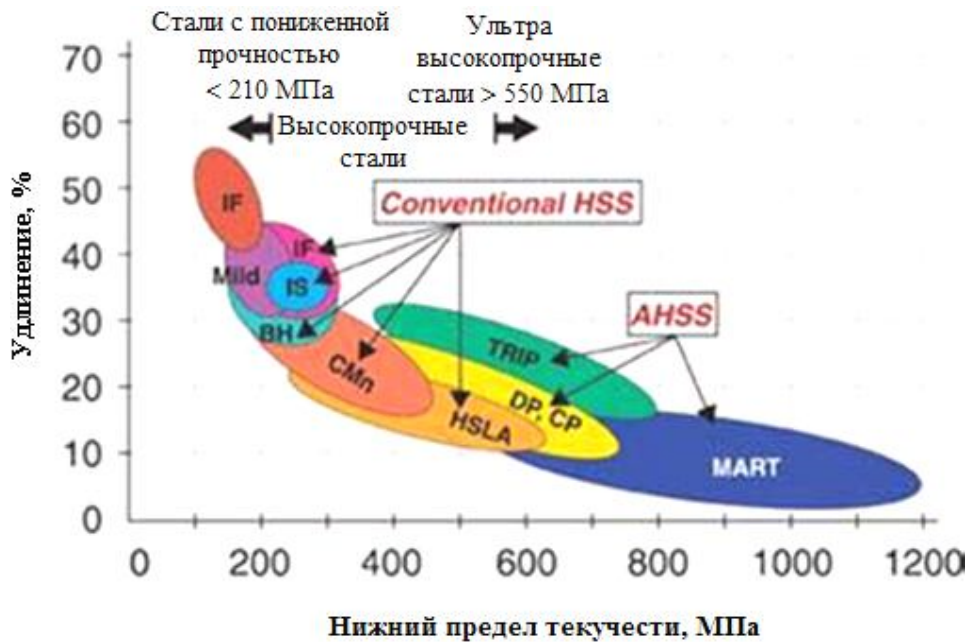


Рис. 2 – Классификация автомобильных сталей, согласно USLAB [5]: IF (Interstitial Free steels) – стали повышенной штампуемости; IS (Isotropic steels) – изотропные стали; CMn – углеродисто-марганцевые стали; BH (Bake harden able steels) – стали, упрочняемые сухой лакокрасочного покрытия; MILD – свариваемые стали; HSLA (High-strength low-alloy steels) – высокопрочные низколегированные стали; DP (Dual Phase steels) – двухфазные стали; TRIP (Transformation Induced Plasticity steels) – ТРИП-стали; CP (Complex Phase steels) – стали с комплексной фазовой структурой; Mart (Martensitic steels) – мартенситные стали; Conventional HSS (Conventional High Strength Steels) – «рядовые высокопрочные стали»; AHSS (Advanced High Strength Steels) – «усовершенствованные высокопрочные стали»

Применение TRIP-сталей предпочтительно для изготовления элементов безопасности и креплений бампера. Основной недостаток изделий из этих сталей – низкое качество поверхности.

Мартенситные стали (Martensitic (Mart) steels) обеспечивают предел прочности до 1300 МПа, как правило, их подвергают закалке с последующим отпуском для повышения пластичности и обеспечения высокой формуемости при очень высоких величинах деформации.

Высокопрочные *аустенитные стали* (Twinning Induced Plasticity – TWIP-стали) при $\sigma_{0,2} = 600$ МПа, обладают очень высокими пластическими свойствами (полное удлинение более 80%). Эти стали содержат до 30% Mn и до 9% алюминия. Уникальные свойства их обеспечиваются

двойникованием кристаллической решетки. Низкая энергия дефектов упаковки в сочетании с деформационным превращением ε - мартенсита позволяют эффективно упрочнять эти стали при гидропрессовании.

Широко применяют для изготовления кузовов *высокопрочные стали нового поколения типов AHSS* (advanced high-strength steels) и UHSS (ultra high-strength steels) с пределом текучести от 400 до 1200 МПа, применение которых требует не только значительных изменений методов проектирования конструкции деталей, но и технологии штамповки, освоения новых технологий изготовления деталей и узлов (гидроформовка, профилирование, лазерная сварка кузова и т.д.) [12].

Для кузовов автомобилей не серийного производства, в последнее время, применяют NANOHITEN и TRIPLEX-стали.

Высокопрочные и сверхпластичные стали нового поколения с пониженным удельным весом (TRIPLEX-стали) на основе четырехкомпонентной системы Fe-Mn-Al-C с содержанием алюминия до 12% при высоких показателях прочности и пластичности ($\sigma_b = 800\div 1000$ МПа, $\delta =$ до 70%) характеризуются превосходной способностью к глубокой вытяжке. Структура стали состоит из аустенитной матрицы Fe, объемных частиц феррита и нанодисперсных частиц к-карбидов Mn, Al. Достижимое посредством термической обработки управляемое и равномерное распределение к-карбидов приводит к прецизионному равномерному сдвигу кристаллической решетки. Это обуславливает чрезвычайно высокую формуемость. Этот механизм обозначается как SIP – effect (shear band induced plasticity). Благодаря значительному понижению плотности, высокой прочности, отличной формуемости, ударостойкости, TRIPLEX-стали можно применять при производстве ударостойких компонентов и конструкций рамы автомобиля [7, 8].

Наноструктурированная горячекатаная сталь NANOHITEN с пределом текучести 780 МПа и относительным удлинением 25% является разработкой компании JFE Steel. Основные металлургические идеи этой стали: получение микроструктуры с использованием феррита как матрицы; упрочнение выделениями карбидов размером несколько нанометров; чрезвычайно высокая термическая стабильность выделений; большое удлинение (до 25%), достигнутое дисперсионным твердением. Поскольку сталь «NANOHITEN» не содержит кремния, она хорошо поддается горячему цинкованию и используется в конструкциях кузова и элементах безопасности, а также для рычагов, кронштейнов, деталей шасси. Она может быть произведена в виде тонких горячекатаных листов и использоваться для горячего глубокого гальванизирования. Для данной стали характерно увеличение предела усталости, соответствующее повышению прочности (в отличие от стали с добавкой кремния). В связи с низким содержанием углерода сталь имеет хорошую свариваемость.

Один из вариантов практического ее применения – получение гаммы структур путем применения оборудования с широким интервалом технологических возможностей, например, схем охлаждения. Например, из низколегированной стали одного химического состава можно получить следующий набор структур: полигональный феррит + перлит (здесь может быть несколько классов прочности в зависимости от размера зерна феррита, определяемого режимом прокатки и последующего охлаждения) или ряд других микроструктурных комбинаций: феррит + бейнит; бейнит различных типов; бейнит + мартенсит (5%); феррит + мартенсит ($\leq 50\%$); мартенсит ($\geq 60\%$) + феррит и др. Временное сопротивление может меняться от 550-600 до 1000-1200 Н/мм², соотношение σ_t/σ_b от 0,60-0,65 до 0,85-0,90 и др. При этом выплавляется и разливается одна марка стали, упрощается технология выплавки и разлива. Путем изменения технологии прокатки получают различную металлопродукцию [8, 9, 13].

Несмотря на возросший уровень научных исследований новых сталей и разработку новейших технологий, в настоящее время в автомобильном машиностроении наиболее широко применяют следующие листовые стали:

- тонколистовая, холоднокатаная спокойная сталь марки RRST 1405 по DIN 1623 (стандарт на качество), DIN 1541 (стандарт на размеры) ($\sigma_b = 270\div 350$ МПа, $\delta \geq 36\%$) толщиной 0,6-0,9 мм, (используется для видовых (окрашиваемых) наружных панелей (крыша, капот, двери, боковины и т. д.));
- тонколистовая кипящая сталь марки UST 1203 или UST 1303, ($\sigma_b = 270\div 410$ МПа, $\delta \geq 28\div 32\%$) той же толщины (используется для невидовых (окрашиваемых), наружных

панелей, а также деталей пола (внутренний каркас, усилители, панели пола, поперечины и т. д.);

- горячекатаная стальная лента по DIN 1624 (стандарт на качество), DIN 1606 (стандарт на размеры) марки ST 4 ($\sigma_b = 280 \div 380$ МПа, $\delta \geq 38\%$) толщиной 1,5-2,5 мм и больше (используется для деталей, расположенных внизу кузова (усилители, опоры, фланцы и т. д.), особенно большой толщины) [14].

Имеются данные [15] о получении гарантированного предела текучести ($300 \div 690$ Н/мм²) и высокого сопротивления усталости автолистовых сталей 08ГСЮТ и 07ГБЮА, полученных методом термомеханической прокатки на непрерывном широкополосном стане при оптимизации их состава варьированием марганца и микролегирующих добавок.

Для деталей кузовов, работающих в коррозионно агрессивной среде, применяется оцинкованная листовая сталь, учитывая, что при изготовлении деталей такая сталь не допускает больших деформаций (изгиб, небольшая вытяжка). В особых случаях можно применять алюминированную листовую сталь. В этом случае обе поверхности подвергаются специальной обработке [8].

Подводя итоги анализа всех использованных в статье материалов, следует отметить, что основной тенденцией современного подхода к разработке и изготовлению автомобильных листовых сталей является повышение прочности при сохранении характеристик штампуемости, снижение величины коэффициента нормальной пластической анизотропии (коэффициента Ланкфорда), а также увеличение упрочняемости при деформации. В целом, основными мероприятиями по снижению веса автомобиля являются:

1. Применение легковесных материалов: пластмасс и их соединений, композиционных материалов, легких металлов: алюминия, магния, а также высокопрочных сталей, высокие прочностные свойства и хорошая штампуемость которых позволяет изготавливать более тонкий прокат.

2. Получение облегченных форм элементов кузовов: адаптированных заготовок, трубчатых структур, оптимальных форм с функциональными возможностями, применение новых подходов к структурообразованию.

3. Оптимизация производственных процессов: сокращение части процессов, применение вместо сварки альтернативных методов соединения с помощью клеев, пластырей, применение гидроформинга вместо штамповки и др.

Выводы

1. В работе выполнен обзорный анализ основных направлений в области транспортного материаловедения, который показал преимущества применения листовых высокопрочных автосталей (IF, BH, DP, TRIP, Mart, NANOHITEN, TRIPLEX – steels, а также RRST 1405, UST 1203, ST 4, 08ГСЮТ, 07ГБЮА и др.) со сложным комплексом свойств – высокой прочностью и хорошей штампуемостью по сравнению с цветными металлами и сплавами, термопластичными и композиционными материалами.

2. Показано, что основной современной тенденцией в автомобилестроении является снижение веса при сохранении высокой энергоемкости.

3. Выбор материалов для изготовления деталей кузовов определяется возможностями фирм-производителей и требованиями к конкретной марке автомобиля.

4. Результаты работы рекомендуется применять для разработки курса «Материалы для применения на транспорте» согласно Международному проекту по реформированию учебных программ TEMPUS «MMATENG» и других учебных дисциплин.

Список использованных источников:

1. Лобанов С. SAFE: новые стандарты экономичности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.offroadclub.ru/faq/ecology/cafe_novye_standarty_ekonomichnosti.html.
2. Стандарт EN ISO 12100 (DIN EN ISO 12100) Безопасность машин и механизмов CE [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.icqc.eu/ru/Deklaracija-zgodnosti-WE.php>.
3. Koglin K. Automotive Circle International / K. Koglin. – Bad Nauheim, 2005. – 256 p.
4. Современные тенденции металлургии в автомобилестроении [Электронный ресурс]. – Ре-

- жим доступа : <http://www.metaljournal.com.ua/new-tendensions-in-cars-production/>.
5. Резник Г. Законы диалектики в автомобильном секторе [Электронный ресурс] / Г. Резник. – М. : Металлы мира. – 2003. – № 5. – Режим доступа : <http://www.web-standart.net/magaz.php?aid=6032>.
 6. Михаленков К. Магний: широкие возможности в автомобилестроении / К. Михайленков // Автоцентр. – 2000. – № 3. – С. 28-32.
 7. Yamagata H. The science and technology of materials in automotive engines [Электронный ресурс] / H. Yamagata. – Cambridge : WOODHEAD PUBLISHING, 2005. – 386 p. – Режим доступа : <http://www.twirpx.com/file/416565/>.
 8. Основы проектирования, производства и материалы кузова современного автомобиля / С.М. Кудрявцев, Г.В. Пачурин, Д.В. Соловьев, В.А. Власов. – Н. Новгород : Издательство НГТУ, 2010. – 236 с.
 9. Davies G. Materials for Automobile Bodies [Электронный ресурс] / G. Davies. – Oxford : Linacre House, Jordan Hill, 2003. – 368 p. – Режим доступа : <http://bookre.org/reader?file=1358476>.
 10. Блек В. Улучшенные высокопрочные стали для автомобильной промышленности – от микро-структуры к наноструктуре / В. Блэк // Черные металлы. – 2014. – № 12. – С. 83-88.
 11. Bhattacharya D. Metallurgical Perspectives on Interstitial-free steels in the New Millennium Forum Book. International Forum for the Properties and Applications of IF Steels / D. Bhattacharya // Arcadia Ichigaya. – Tokio, Japan, May 12-14, 2003. – P. 29-38.
 12. Misawa T. Hydrogen Embrittlement and Electrochemical Corrosion of Cu-IF and Microalloyed HSLA Steels / T. Misawa, S. Komazaki // THERMEC' 2003. Material Science Forum. – 2003. – Vols. 426-432. – P. 1425-1432.
 13. Ландарь А. Кузовное материаловедение / А. Ландарь // Автоцентр. – 2006. – № 28. – С. 67-76.
 14. Применяемые при изготовлении кузова материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ustroistvo-avtomobilya.ru/kuzov/primenyaemye-pri-izgotovlenii-kuzova-materialy/>.
 15. Гушин А.Н. Эксплуатационные свойства деформированных малоуглеродистых листовых сталей [Электронный ресурс] / А.Н. Гушин, Г.В. Пачурин // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11-3. – С. 412-416. – Режим доступа : www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002402.

Bibliography:

1. Lobanov S. CAFE: new efficiency standards [Electronic resource]. – Access mode : http://www.offroadclub.ru/faq/ecology/cafe_novye_standarty_ekonomichnosti.html.
2. Standard EN ISO 12100 (DIN EN ISO 12100) Safety of machinery CE [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.icqc.eu/ru/Deklaracija-zgodnosci-WE.php>.
3. Koglin K. Automotive Circle International / K. Koglin. – Bad Nauheim, 2005. – 256 p.
4. Modern trends in the automotive industry [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.metaljournal.com.ua/new-tendensions-in-cars-production/>.
5. Reznik G. Laws of dialectics in the automotive sector [Electronic resource] / G. Resnick. – М. : Metally mira. – 2003. – № 5. – Access mode : <http://www.web-standart.net/magaz.php?aid=6032>.
6. Mikhalenikov K. Magnesium: ample opportunities in the automotive / K. Mikhaylenko // Autocentre. – 2000. – № 3. – P. 28-32. (Rus.)
7. Yamagata H. The science and technology of materials in automotive engines [Электронный ресурс] / H. Yamagata. – Cambridge : WOODHEAD PUBLISHING, 2005. – 386 p. – Режим доступа : <http://www.twirpx.com/file/416565/>.
8. Fundamentals of design, manufacturing and materials of the modern car body / S.M. Kudryavtsev, G.V. Pachurin, D.V. Solovyov, V.A. Vlasov. – Nizhniy Novgorod : Publishing NSTU, 2010. – 236 p. (Rus.)
9. Davies G. Materials for Automobile Bodies [Электронный ресурс] / G. Davies. – Oxford : Linacre House, Jordan Hill, 2003. – 368 p. – Режим доступа : <http://bookre.org/reader?file=1358476>.
10. Black B. Improved high-strength steels for the automotive industry – from microstructure to nanostructure / V.A. Black // Ferrous metals. – 2014. – № 12. – P. 83-88 (Rus.)

11. Bhattacharya D. Metallurgical Perspectives on Interstitial-free steels in the New Millennium Forum Book. International Forum for the Properties and Applications of IF Steels / D. Bhattacharya // Arcadia Ichigaya. – Tokio, Japan, May 12-14, 2003. – P. 29-38.
12. Misawa T. Hydrogen Embrittlement and Electrochemical Corrosion of Cu-IF and Microalloyed HSLA Steels / T. Misawa, S. Komazaki // THERMEC' 2003. Material Science Forum. – 2003. – Vols. 426-432. – P. 1425-1432.
13. Landar A. Vehicle body Materials / A. Landar // Autocentre. – 2006. – № 28. – P. 67-76. (Rus.)
14. Used in the manufacture of body materials [Electronic resource]. – Access mode : <http://ustroistvo-avtomobilya.ru/kuzov/primenyaemye-pri-izgotovlenii-kuzova-materialy/>.
15. Gushchin A.N. The performance properties of the deformed low carbon steel sheet [Electronic resource] / A.N. Gushchin, G.V. Pachurin // Basic Research. – 2013. – № 11-3. – P. 412-416. – Access mode : www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002402.

Рецензент: С.Л. Макуров
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 17.09.2015

УДК 669.017.07

© Рябикина М.А.¹, Мирошниченко В.И.², Ткаченко К.И.³,
Ткаченко Н.В.⁴

МЕЖАТОМНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕССЫ В ДВОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСТВОРАХ

Проведено расчетно-аналитическое исследование влияния примесных элементов в стали на прочность межатомной связи и вероятность образования комплексов, содержащих атомы легирующих и примесных элементов. Установлено, что энергия ионно-ковалентной связи атомов различных элементов находится в зависимости от электроотрицательности элементов. Разработанные положения могут служить теоретической базой для прогнозирования прочностных свойств сталей с различным содержанием легирующих и примесных элементов.

Ключевые слова: примесные элементы, электроотрицательность, межатомная связь.

Рябікіна М.А., Мірошніченко В.І., Ткаченко К.І., Ткаченко Н.В. Міжатомні взаємодії домішкових елементів та їх вплив на процеси в подвійних металевих розчинах. Проведено розрахунково-аналітичне дослідження впливу домішкових елементів в сталі на міцність міжатомного зв'язку і ймовірність утворення комплексів, що містять атоми легуючих і домішкових елементів. Встановлено, що енергія іонно-ковалентного зв'язку атомів різних елементів знаходиться в залежності від електронегативності елементів. Розроблені положення можуть служити теоретичною базою для прогнозування властивостей міцності сталей з різним вмістом легуючих і домішкових елементів.

Ключові слова: домішкові елементи, електронегативність, міжатомний зв'язок.

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, maryna.ryabikina@mail.ru

² ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, vimasktp@rambler.ru

³ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, kostyantynt@gmail.com

⁴ инженер, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, tkachenko.pstu@gmail.com