

УДК 669.141.245:669.018.262

Ивлев С.А.

**ЭНЕРГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛЕЙ
ТИПА IF В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ**

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

Россия, Москва, Большая Семеновская 38, 107023

UDC 669.141.245:669.018.262

Ivlev S.A.

**ENERGO-ECOLOGICAL ASPECTS OF THE USE OF STEELS OF THE
TYPE "IF" IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY**

Moscow state engineering University (MAMI)

Russia, Moscow, Bolshaya Semenovskaya 38, 107023

Аннотация. В работе проведен энерго-экологический анализ существующих технологий производства автолистовых сталей в условиях кислородно-конвертерного производства. Показано, что благодаря более высоким прочностным свойствам стали типа IF удастся уменьшить массу автомобиля, что позволяет существенно сократить расход бензина и количество вредных веществ, образующиеся при его сгорании.

Ключевые слова: сталь, конвертер, автомобиль, энергоемкость.

Annotation. In work the energy-ecological analysis of the existing production technologies steels for the car body of oxygen-converter manufacture. It is shown that, owing to high strength steel properties like IF possible to reduce the weight of the vehicle, which can significantly reduce fuel consumption and the amount of harmful substances formed during its burning.

Key words: steel, Converter, car, energy intensity.

Введение. Воздействие отраслей общественного хозяйства на окружающую среду обусловлено тем, что в процессе производственной

деятельности наряду с полезной продукцией образуются и различного рода отходы, попадающие в атмосферу, водоемы, почву и загрязняющие их. Считается, чем больше образуется отходов, тем менее эффективным является производство и тем больше ресурсов используется впустую.

С другой стороны, по существующим оценкам, перерасход металла в России, в том числе за счет утяжеления изделий, составляет в среднем 15 млн т. Одним из путей уменьшения массы готовых изделий из стали является повышение качества металла. То же относится и к автомобилестроению. Масса отечественных автомобилей на 20 – 25 % больше, чем в других развитых странах [1]. Соответственно выше расход металла и потребляемого для его производства сырья. Кроме того, увеличение массы автомобиля приводит к большему потреблению бензина и увеличению выбросов продуктов его сгорания.

В отечественном автомобилестроении основным материалом для изготовления кузовных деталей является низкоуглеродистая, стабилизированная алюминием сталь 08Ю. За рубежом для тех же целей в основном используют конструкционные материалы следующего поколения – высокопластичные стали типа IF, отличающиеся от 08Ю меньшим содержанием примесей и более высоким уровнем пластичности (IF-стали (Interstitial Free Steels) – стали без примесей, образующих в железе твердые растворы внедрения). Связанное с этим усложнение технологии на этапе металлургического производства ведет, в свою очередь, к увеличению расхода энергии, топлива, материалов, что сказывается на количестве и составе выбросов в окружающую среду. С другой стороны, при уменьшении массы кузова автомобиля следует ожидать уменьшения расхода топлива, а значит и образующихся при его сжигании выбросов.

Одним из способов определения экологичности производства является оценка его энергоемкости, расчет которой, как правило, завершается на стадии технологических процессов. Более объективную характеристику удастся получить, дополнительно включив в оценку также и период эксплуатации, а в

ряде случаев и утилизации отработавших свой срок изделий.

В настоящей работе на основе концепции сквозной энергоёмкости выполнен анализ использования в автомобилестроении сталей разных поколений. В качестве примеров рассмотрены автолистовые стали марки 08Ю и стали типа IF (в качестве примера взята сталь марки 01ЮТ, выплавляемая на ряде металлургических комбинатов России). Оценку энергоёмкости их производства проводили применительно к условиям современного кислородно-конвертерного цеха металлургического комбината (ОАО «Северсталь»). Энергоёмкость эксплуатации автомобилей, определяли на основе расхода топлива на протяжении всего их жизненного цикла.

Понятие энергоёмкости и её структура. Энергоёмкость – один из основных показателей любого энергетического и технологического процесса. Интерес к этому показателю связан с неуклонным ростом цен на энергоресурсы, дефицитом ряда видов топлива и энергоносителей, в связи с чем возникает необходимость выбора варианта их замещения. Наряду с этим эффективностью использования энергии определяются также все глобальные и локальные техногенные воздействия на здоровье человека и окружающую среду [2].

Под энергоёмкостью продукции понимают величину потребления энергии и топлива на основные и вспомогательные технологические процессы, направленные на изготовление продукции, выполнение работ на базе заданной технологической схемы.

Полная энергоёмкость продукции – величина расхода энергии и (или) топлива на изготовление продукции, включая расход на добычу, транспортирование, переработку полезных ископаемых и производство сырья, материалов, деталей с учётом коэффициента использования сырья и материалов.

При этом руководствуются концепцией о существовании трех основных форм энергии, которые обязательно должны быть учтены при расчёте суммарной энергоёмкости продукции [3]:

- первичная энергия в виде химической энергии ископаемых топлив с учётом затрат на добычу, подготовку, обогащение и транспортировку;

- производная энергия – энергия произведённых энергоносителей (электроэнергия, пар, сжатый воздух, кислород, аргон и др.) с учётом затрат на их получение;

- скрытая или овеществлённая энергия, израсходованная в предшествующих технологиях и содержащаяся в скрытом виде в исходных материалах, оборудовании и капитальных вложениях.

В совокупности все три формы потребления энергии, отнесённые к конкретному продукту, образуют его полную энергоёмкость. Расчет энергоёмкости выполняют путем суммирования величин энергоёмкости всех материалов, веществ, видов топлива и энергии, используемых для производства единицы продукции и полученных путем умножения удельного расхода данного материала на его энергетический эквивалент.

Технология производства автолистовых сталей. Требования к химическому составу стали 08Ю и стали типа IF представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав стали 08Ю (ГОСТ 9045-80)

Содержание основных элементов (не более), масс. %									
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	N	Al
0,07	0,01	0,20-0,35	0,020	0,025	0,06	0,03	0,06	0,006	0,02-0,07

Таблица 2

Типичный состав стали типа IF

Содержание основных элементов (не более), масс.%						
C	Mn	Si	P	S	Al	N
0,005	0,10-0,20	0,010-0,030	0,008-0,015	0,005-0,010	0,02-0,05	0,004-0,005

Производство стали марки 08Ю в настоящее время не вызывает сложностей. Для получения содержания углерода на указанном уровне достаточно технологических возможностей, которыми обладает кислородный конвертер. Для доводки стали по химическому составу и подготовки плавки к

разливке из всего арсенала технических средств применяют, как правило, обработку металла на установке ковш-печь. Достижение значительно более низких концентраций углерода, кремния, серы, фосфора и азота, присущих сталям типа IF, при всей схожести обоих технологических процессов требует более строгого контроля исходных материалов, усложнения технологии выплавки и внеагрегатной обработки стали, внедрения новых агрегатов.

Для обеспечения низких концентраций цветных металлов в качестве одного из компонентов металлошихты используют металлизированные окатыши, губчатое железо, синтиком – композиционный материал, в состав которого входят чугуны и железорудные окатыши. Ультранизкое содержание углерода и азота позволяет получить установка вакуумирования стали (процесс вакуум-кислородного обезуглероживания). Для снижения содержания серы до требуемого уровня экономически и технологически целесообразно проводить десульфурацию чугуна перед сливом его в конвертер, а перед разливкой, дополнительно к этому, обрабатывать жидкую сталь десульфураторами в сталеразливочном ковше.

Технологическая схема производства низкоуглеродистых сталей в кислородно-конвертерном цехе представлена на рис. 1.

Материальные и энергетические расходные показатели кислородно-конвертерной плавки. С целью сравнения материало- и энергоемкости производства стали марки 08Ю и стали типа IF в условиях кислородно-конвертерного цеха в соответствии с принятыми методиками рассчитали материальный и тепловой балансы выплавки данных марок сталей. В расчетах использовали данные, полученные из технологических паспортов промышленных плавок, проведенных на Череповецком металлургическом комбинате ОАО «Северсталь» (Россия) по трем вариантам технологии: 1) сталь 08Ю; 2) сталь 01ЮТ (сталь типа IF); 3) сталь 01ЮТ с заменой металлического лома синтикомом.

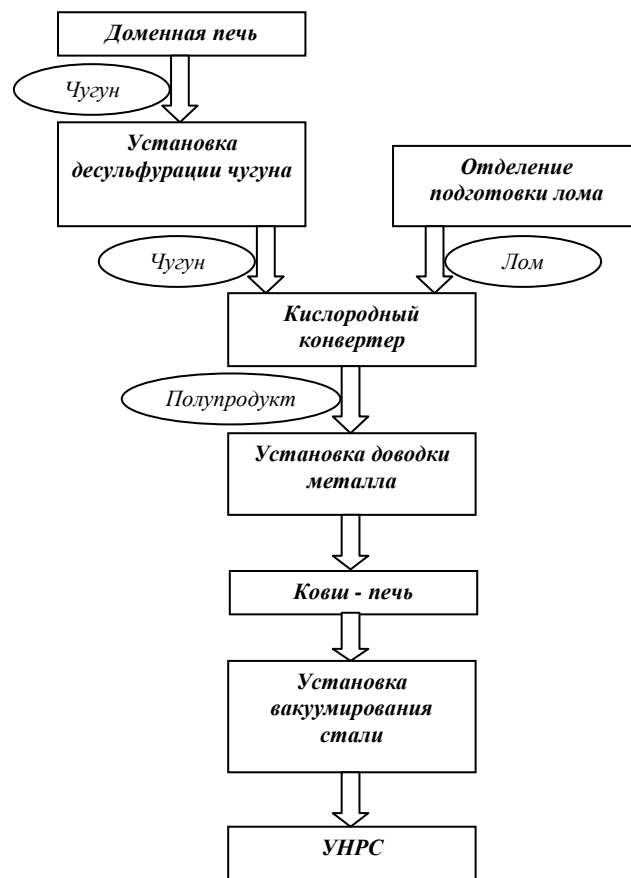


Рис. 1 Технологическая схема производства низкоуглеродистых сталей в кислородно-конвертерном цехе

Изученные варианты технологии характеризовались следующими исходными данными:

Вариант 1. Состав металлошихты: чугун 78 масс.%, лом 22 масс.%. Температура чугуна 1401 °С, температура полупродукта 1697 °С.

Вариант 2. Состав металлошихты: чугун 80 масс. %; лом 20 масс. %. Температура чугуна 1401 °С, температура полупродукта 1655 °С.

Вариант 3. Состав металлошихты: чугун 78 масс. %; синтиком марки СК15 22 масс. %. Температура чугуна 1315 °С, температура полупродукта 1655 °С. Химический состав синтикома приведен в табл. 3.

Таблица 3

Состав синтикома СК15

FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _{общ}	SiO ₂	CaO	C	Si	Mn	P	S
-----	--------------------------------	-------------------	------------------	-----	---	----	----	---	---

0,29	13,57	90,35	0,8	0,025	3,83	0,72	0,031	0,032	0,014
------	-------	-------	-----	-------	------	------	-------	-------	-------

Результаты расчетов представлены в табл. 4. Они однозначно подтвердили ранее изложенный тезис о том, что усложнение технологии при производстве низкоуглеродистой автолистовой стали ведет к увеличению материало- и энергоемкости процесса, а значит и конечной продукции.

Таблица 4

Удельная потребность в материальных и энергетических ресурсах

Вариант технологии	Потребность в ресурсах (на 1 т стали)	
	материальных, т	энергетических, ГДж
1	1,19	1,797
2	1,22	1,890
3	1,27	1,932

Расчет полной энергоемкости производства низкоуглеродистых сталей. Выполненные расчеты теплового баланса кислородно-конвертерной плавки позволяют оценить энергоемкость собственно процесса переработки исходных материалов, без учета их энергоемкости. Для расчета полной энергоемкости производства низкоуглеродистых сталей на всей технологической цепочке по методике, изложенной выше, использовали все учитываемые технико-экономические показатели, представленные в табл. 5-7. Там же полученные удельные затраты энергии разделены на прямые и косвенные. Прямые затраты относятся к сырью и основным материалам, косвенные – к добавочным и вспомогательным материалам.

Таблица 5

Результаты расчета полной энергоемкости стали 08Ю (вариант 1)

	Расход		Энергетический эквивалент, ГДж/т	Энергоемкость, ГДж/т
	на плавку	на 1 т стали		
Чугун, т	295	0,843	25,54	21,527
Лом, т	84	0,240	2	0,480
Кокс, т	0,373	0,001	40,25	0,043
Известь, т	16,158	0,046	5,72	0,264
Долмит, т	4,054	0,012	0,62	0,007
ФОМ, т	2,04	0,006	14,41	0,084

Кислород, тыс. м ³	14,95	0,043	6,39	0,273
Al, т	0,988	0,003	230	0,649
Ar, м ³	17,153	0,049	35,58	1,744
Mn95, т	0,232	0,0007	112,3	0,074
FeNb, т	0,25	0,0007	112,3	0,080
FeTi, т	0,18	0,0005	119,33	0,061
Эл. энергия		0,041	11,25	0,461
Огнеупоры		0,004	25	0,107
Итого:				25,854

Прямые затраты 3,344 ГДж/т. Косвенные затраты 22,511 ГДж/т.

Таблица 6

Результаты расчета полной энергоемкости стали 01ЮТ (вариант 2)

	Расход		Энергетический эквивалент, ГДж/т	Энергоемкость, ГДж/т
	на плавку	на 1 т стали		
Чугун, т	300	0,857	25,54	21,8914
Лом, т	79,8	0,228	2	0,4560
Кокс, т	0,691	0,002	40,25	0,0795
Известь, т	17,319	0,049	5,72	0,2830
Долмит, т	1,029	0,003	0,62	0,0018
ФОМ, т	5,531	0,016	14,41	0,2277
Кислород, тыс. м ³	22,21	0,063	6,39	0,4055
Al, т	0,836	0,002	230	0,5494
Ar, м ³	27,302	0,078	35,58	2,7754
Mn95, т	0,169	0,0005	112,3	0,0542
FeTi, т	0,17	0,0005	119,33	0,0578
FeNb, т	0,25	0,0007	112,3	0,0802
Эл. энергия		0,0410	11,25	0,4613
Огнеупоры		0,0043	25	0,1065
Итого:				27,4299

Прямые затраты 4,542 ГДж/т. Косвенные затраты 22,888 ГДж/т.

Таблица 7

Результаты расчета полной энергоемкости стали 01ЮТ (вариант 3)

	Расход		Энергетический эквивалент, ГДж/т	Энергоемкость, ГДж/т
	на плавку	на 1 т стали		
Чугун, т	300	0,8571	25,54	21,891
Синтиком СК15, т	80	0,2286	24,259	5,545
Кокс, т	0,691	0,0020	40,25	0,079
Известь, т	24,231	0,0692	5,72	0,396
Долмит, т	1,029	0,0029	0,62	0,002
ФОМ, т	5,531	0,0158	14,41	0,228
Кислород, тыс. м ³	20,010	0,0572	6,39	0,365
Al, т	0,836	0,0024	230	0,549
Ar, м ³	27,302	0,0780	35,58	2,775

Mn95, т	0,169	0,0005	112,3	0,054
FeTi, т	0,17	0,0005	119,33	0,058
FeNb, т	0,25	0,0007	112,3	0,080
Эл. энергия		0,0410	11,25	0,461
Огнеупоры		0,0043	25	0,107
Итого:				32,592

Прямые затраты 4,615 ГДж/т. Косвенные затраты 27,977 ГДж/т.

По данным [4], при прокатке слэбов расходуется количество теплоты эквивалентное 104 кг углерода на 1 т проката. При расчете сквозной энергоемкости производства автолистовой стали в первом приближении приняли, что расход энергии при обработке давлением сталей данной группы не зависит от марочного состава. Оценка энергоемкости прокатного производства составила 5,14 ГДж/т.

Последующие технологические операции, как то термическую обработку (отжиг), нанесение цинкового покрытия и др., в расчете не учитывали, полагая, как и в случае производства проката, что энергетические затраты на каждом из этих участков не зависят от марки стали.

Таким образом, энергоемкость автолистовой стали на производственном этапе, рассчитанная как сумма значений энергоемкости всех веществ, материалов и видов топлива и энергии, участвующих в производственном процессе, а также технологических процессов выплавки и прокатки, оказалась равной:

- для стали марки 08Ю (вариант 1) 32,79 ГДж/т;
- для стали марки 01ЮТ (вариант 2) 34,46 ГДж/т;
- для стали марки 01ЮТ (вариант 3) 39,64 ГДж/т.

Энергоемкость автолистовых сталей в период эксплуатации автомобилей. За последние 50 лет качественные характеристики сталей массового производства увеличились в 1,5 – 2,9 раза, что позволило уменьшить толщину листа с 0,7 – 0,9 мм до 0,4 – 0,5 мм, т.е. на 40 – 50 %. В результате, по данным [5], масса среднего автомобиля с 1975 по 1995 г. уменьшилась более чем вдвое. В XXI веке применение новых технологий в сталеплавильном

производстве позволит значительно повысить качество стали и снизить ее расход в автомобиле еще на 20 – 30 % . Экологический аспект снижения массы автотранспорта заключается в уменьшении количества вредных выбросов в связи с изменением расхода автомобильного топлива.

В общем виде, на величину расхода бензина влияют различные параметры: масса автомобиля; мощность и объем двигателя; скорость движения автомобиля; качество дорожного полотна и условия дорожного движения; техническое состояние автомобиля. Однако, как было установлено, при прочих равных условиях, весьма заметное влияние оказывает масса транспортного средства и мощность его двигателя.

С целью исследования данной проблемы составили выборку из 12 марок автомобилей отечественной и зарубежной автомобильной промышленности, кузова которых изготавливают из стали 08Ю и ее аналогов. В табл. 8 представлены некоторые технические характеристики автомобилей, вошедших в данную выборку.

Имеющаяся информация позволила установить зависимость расхода топлива от наиболее важных технических параметров автомобиля (рис. 2)

Таблица 8

Технические характеристики автомобилей отечественного и зарубежного производства [6]

Марка автомобиля	Снаряженная масса, М, кг	Расход топлива, л/100 км	Мощность двигателя, Р, кВт	М/Р,кВт
Лада 21053	1060	8,5	52,5	20,2
Лада 114	985	7,6	59,5	16,6
Лада 115	1000	7,6	59,5	16,8
Лада Приора	1060	8,5	75	14,1
Рено Лагуна	1071	6,3	103	10,4
Рено Лагуна	1088	7,2	125	8,7
Рено Сценик	1263	6,9	98,5	12,8
Альфа Ромео 147	1355	8,4	88	15,4
GEELY ОТАКА	1360	8,2	88	15,5
Ситроен С2	1365	8,2	88	15,5
Хонда Civic	2181	12,1	88	24,8

Kia CEED	2260	13	88	25,7
----------	------	----	----	------

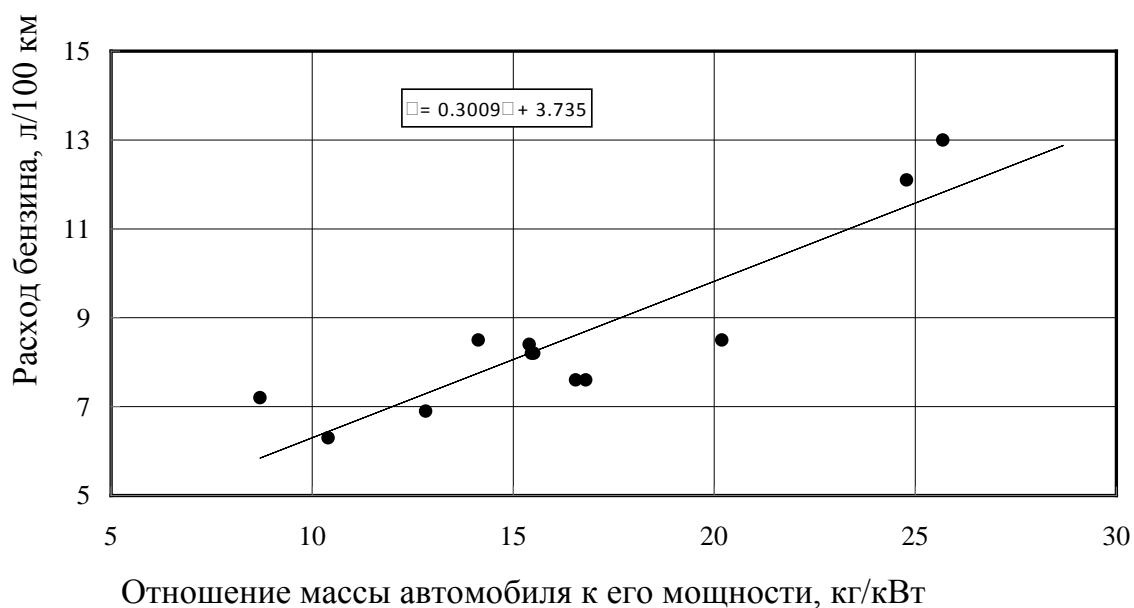


Рис. 2 Зависимость расхода бензина (γ) при движении в смешанном цикле от отношения массы автомобиля к мощности его двигателя (ϕ)

На основании данных о среднем расходе бензина на 100 км пути и составе продуктов его сгорания [7] рассчитали количество выбросов, образующихся при движении автомобилей (табл. 9).

Таблица 9

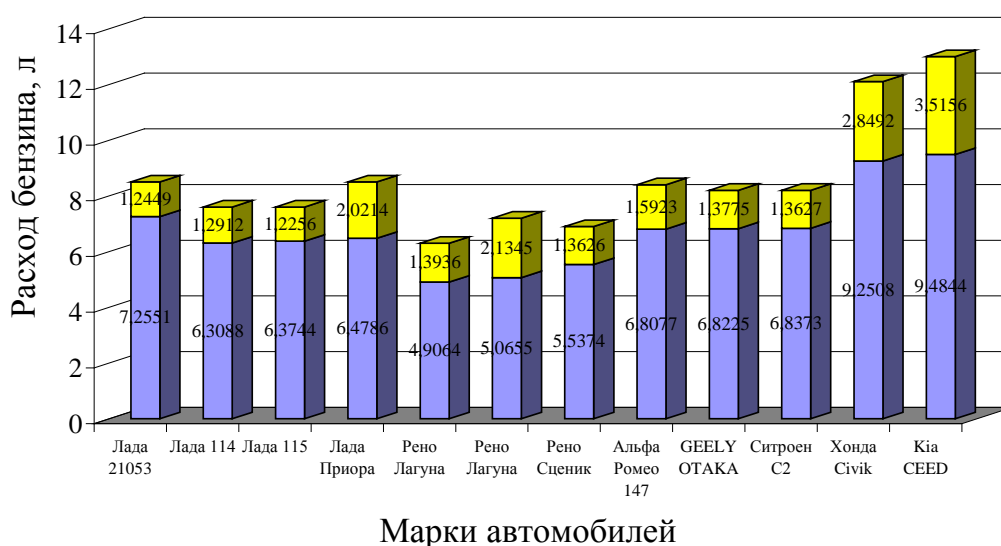
Количество выбросов на 100 км при сжигании топлива при движении в смешанном цикле

Марка автомобиля	CO, кг	Несгоревшие углеводороды, кг	NO ₂ , кг	Сажа, кг	SO ₂ , кг	Бенз(а)пирен кг · 10 ⁻⁶
Лада 21053	2,618	0,476	0,149	0,004	0,012	1,37
Лада 114	2,341	0,426	0,133	0,003	0,011	1,22
Лада 115	2,341	0,426	0,133	0,003	0,011	1,22
Лада Приора	2,618	0,476	0,149	0,004	0,012	1,37
Рено Лагуна	1,940	0,353	0,110	0,003	0,009	1,01
Рено Лагуна	2,218	0,403	0,126	0,003	0,010	1,16
Рено Сценик	2,125	0,386	0,121	0,003	0,010	1,11
Альфа Ромео 147	2,588	0,470	0,147	0,004	0,012	1,35
GEELY ОТАКА	2,526	0,459	0,144	0,003	0,011	1,32
Ситроен С2	2,526	0,459	0,144	0,003	0,011	1,32
Хонда Civic	3,7268	0,678	0,212	0,005	0,017	1,95

Kia CEED	4,004	0,728	0,2275	0,00546	0,0182	2,093
----------	-------	-------	--------	---------	--------	-------

Применение при изготовлении кузова вместо стали 08Ю сталей нового поколения (IF-сталей), характеризующихся не только высокими показателями пластичности, но прочности (ВН-эффект), позволит уменьшить толщину автолиста с 0,7 - 0,9 мм до 0,4 - 0,5 мм. Приняв, что масса кузова составляет около 30 % от массы автомобиля, определили, что благодаря применению IF-сталей удастся снизить общую массу в среднем на 13,5 %. Также, в соответствии с уравнением, полученным на рис. 2, произойдет уменьшение расхода бензина (рис. 3). Соответственно снизится и количество выбросов в окружающую среду.

Энергоемкость кузова автомобиля из стали 08Ю массой 401,2 кг при толщине листа 0,7 – 0,9 мм составляет 13,16 ГДж. Вследствие уменьшения толщины листа при использовании стали типа IF до 0,4 – 0,5 мм масса кузова достигнет значения 220,66 кг, а его энергоемкость сократится до 7,60 ГДж. Это позволяет сделать вывод, что на производство стали 08Ю для кузова одного автомобиля затрачивается больше энергии, чем на производство IF-стали.



■ Возможный расход бензина ■ Величина снижения расхода бензина

Рис. 3 Возможное снижение расхода бензина для автомобилей разных марок

Исходя из того, что средний жизненный цикл автомобиля составляет 12 – 14 лет [8] рассчитали, какое количество энергии будет израсходовано с момента сборки автомобиля до его утилизации (без учета времени, прошедшего до его продажи). В расчете были приняты следующие допущения: 1) жизненный цикл автомобиля составляет 13 лет; 2) в среднем в год автомобиль проезжает 30000 км; 3) по мере эксплуатации автомобиля расход бензина не изменяется; 4) энергоемкость бензина составляет 43,961 МДж/л.

Результаты расчета представлены в табл. 10.

Таблица 10

Результаты расчета суммарной энергоемкости

Стадии расчета	Материал кузова автомобиля	
	сталь 08Ю	сталь типа IF
Количество бензина, потребляемое за весь жизненный цикл автомобиля, л	256260	211821
Энергоемкость израсходованного бензина, ГДж	7858	6492
Суммарная энергоемкость, ГДж	7871	6500

Под термином «суммарная энергоемкость» следует понимать сумму энергоемкостей производства стали на кузов одного автомобиля и потребляемого в течение всего срока его эксплуатации бензина.

Из приведенных результатов расчета видно, что затраты энергии на производство и эксплуатацию автомобиля с кузовом из IF-стали при прочих равных условиях на 1370 ГДж меньше чем затраты энергии, связанные с производством и эксплуатацией автомобиля с кузовом из стали 08Ю.

Заключение. В связи с требованиями сокращения расхода горючего и дальнейшего уменьшения выброса вредных веществ, а также в связи со стремлением к ресурсосбережению при производстве непосредственно автолистовой стали, в автомобилестроении все большее значение приобретает применение облегченных конструкций. Однако успешное изготовление облегченных кузовов из стали будет возможно только при одновременном применении современных марок стали, прогрессивных технологий и новых принципов конструирования.

Причиной усовершенствования технологии металлургических процессов является необходимость удовлетворять постоянно растущие требования к металлопродукции, в том числе к ее качеству. В свою очередь, получение высококачественного листа приводит к значительному снижению удельного расхода как материальных, так и энергетических ресурсов на его производство.

В представленной работе проведен энерго-экологический анализ существующих технологий производства автолистовых сталей в условиях кислородно-конвертерного производства, а также технологии выплавки стали 01ЮТ с использованием синтикама в шихте. Расчеты показали, что усложнение технологии связано с увеличением материало-и энергоемкости продукции. Однако, вследствие более высоких прочностных свойств стали типа IF, энергозатраты на изготовление из нее кузова автомобиля существенно меньше. При сокращении расхода стали на изготовление кузова снижается масса автомобиля, что позволяет существенно уменьшить энергоемкость и материалоемкость производства стали в расчете на кузов одного автомобиля, а также расход бензина и выбросы, образующиеся при его сгорании в процессе эксплуатации транспортного средства.

Представленные результаты следует рассматривать как оценочные, так как они относятся к ограниченной выборке автомобилей, получены с недостаточно строгими допущениями и лишь качественно показывают возможную тенденцию.

Литература:

1. Симонян Л. М., Кочетов А. И. Экологически чистая металлургия. - М.: «Учеба», 2005.
2. Николаев А.В. Системный анализ энергоматериальной структуры производства стали // Сталь. - 1993. - №11.
3. Лисиенко В.Г., Щёлоков Я.М. Методология и информационное обеспечение сквозного энергетического анализа. - Екатеринбург: -, 2001.

4. Лузгин В.П., Махт О.А. Энергоёмкость и проблема «устойчивого развития» объекта на примере чёрной металлургии // Электromеталлургия. - 2006. - №9.

5. Налча Г.И., Саблин Д.В. Техничко-экономические аспекты обустройства черной металлургии России и СНГ. - М.: Интел универсал, 2003.

6. За рулем. - 2007. - №11.

7. www.fileland.ru

8. www.avtojournal.ru

Дата отправки: 08.12.13.

© Ивлев С.А.