

**И.Г. Узлов**

## **ВЫСОКОПРОЧНАЯ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИЯ ДЛЯ ВАГОНОСТРОЕНИЯ**

Рассмотрены научные, технические и организационные мероприятия для повышения свойств металлопродукции и эффективное ее использование в металлопотребляющих отраслях.

### **Постановка задачи.**

Удельная металлоемкость производимых в Украине, России и др. странах СНГ машин, транспортных средств, металлоконструкций в 1,5–2 раза превышает аналогичные изделия зарубежного производства. Вследствие этого расход топлива и энергии на единицу полезной работы у отечественной техники в 1,3–1,7 раза выше, чем у зарубежной.

Все это обусловило необходимость принятия в СССР необходимых научно–технических и организационных мер, направленных на коренное повышение свойств металлопродукции и эффективное ее использование в металлопотребляющих отраслях. В 70–годы производство стали в СССР достигло уровня 150 млн. тонн в год, что для страны стало неподъемной задачей как по сырьевым, так и по трудовым затратам. По этим вопросам в 1976 году в г.Челябинске Совет Министров СССР провел межотраслевую конференцию с участием ведущих специалистов металлургии, строительства, машиностроения, транспорта и др. металлопотребляющих отраслей. По итогам конференции была принята Государственная программа «Металлоемкость».

### **Современное состояние вопроса.**

В общей массе конструкционных материалов, используемых в основных металлопотребляющих отраслях (машиностроение, строительство, транспорт и др.), доля черных металлов составляет 90–95%. Производимый стальной металлопрокат из углеродистых и низколегированных сталей в подавляющем большинстве поставляется в горячекатаном состоянии, имея при этом низкие показатели прочности, вязких и пластических свойств. С учетом этого важнейшими задачами повышения качества и служебных характеристик металлопроката и изделий из него является коренное повышение уровня свойств готовой металлопродукции (и, в первую очередь, ее прочностных характеристик) на металлургических предприятиях, а также создание новых конструкторских решений и прогрессивных технологий применения высокопрочного стального проката в строительстве, машиностроении, на транспорте и других металлопотребляющих отраслях.

В мировой практике используются два основных пути повышения комплекса свойств стали и изделий из нее:

- а) производство металлопродукции из легированных сталей;

б) применение процессов термического упрочнения.

Оценивая эффективность применения этих способов, следует учитывать материальные и энергетические возможности нашего государства. Украина, в частности, не располагает достаточными ресурсами таких дефицитных легирующих элементов, как хром, никель, ванадий, молибден, ниобий, широко используемых для получения высокопрочных сталей.

Примером эффективного промышленного использования высокопрочного металлопроката в машиностроении и строительстве могут служить данные табл.1.

Таблица. 1. Примеры эффективного применения термоупрочненного проката вместо горячекатаного

Наименование изделий	Свойства термоупрочненного проката	Эффективность применения
Стрела автокрана КС–2561Д, грузоподъемностью 6,3 т Балашихинского завода	$\sigma_T = 600 \text{ Н/мм}^2$	Экономия металла 30% (340 кг вместо 480 кг).
Лонжероны и рама автомобиля МАЗ	$\sigma_T = 650 \text{ Н/мм}^2$	Повышение циклической прочности в 3–4 раза. Снижение массы на 12%
Ковш экскаватора Э–302А	$\sigma_T = 600 \text{ Н/мм}^2$	Экономия металла 40%.
Опоры технологических трубопроводов (серия 3015–1/77, ип ПУ)	$\sigma_T = 390 \text{ Н/мм}^2$	Экономия металла 18–20%
Покрытие одноэтажных промзданий из прокатных профилей типа «Москва»	$\sigma_T = 390 \text{ Н/мм}^2$	Повышение несущей способности на 15%. Обеспечение работы при $-65^\circ\text{C}$
Подстропильные фермы пролетом 12 м (расчет ДИСИ, изготовление завода им. Бабушкина)	$\sigma_T = 470\text{--}780 \text{ Н/мм}^2$	Повышение несущей способности в 1,35–2,05 раза
Анкерно–угловые опоры воздушных линий электропередач ВЛ.	$\sigma_T = 500 \text{ Н/мм}^2$	Экономия металла 30%. Обеспечение работы при $-40^\circ\text{C}$

Следует добавить еще одно очень важное обстоятельство. Применение легирующих элементов для изготовления проката массового назначения технически и экономически оправдано лишь в случае использования этого материала в термически упрочненном состоянии, поскольку только в этом случае более полно используются потенциальные возможности

легирующих элементов – повышаются на 30–40 процентов прочностные свойства, существенно понижается температура хрупкого разрушения, уменьшается склонность к старению (см. табл.2).

Таблица.2. Свойства стального проката в горячекатаном и термоупрочненном состоянии

Марка стали	Состояние проката	Вид обработки	Класс прочности	Механические свойства			
				$\sigma_t$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup> (-40°С)
10Г2С1	Г.К.	—	295	295	430	21	29
14Г2	Г.К.	—	325	325	450	21	39
17Г1С1	Г.К.	—	325	325	450	21	39
10Г2С1	Г.К.	Т.У.	390	390	510	19	44
14Г2	Г.К.	Т.У.	390	390	510	19	44
17Г1С1	Г.К.	Т.У.	375	375	510	20	39

### Изложение основных материалов исследования.

Оценивая возможности обеспечения высокого комплекса свойств конструкционных сталей, необходимо учитывать качество выплавляемой стали, из которой изготавливается прокат. К сожалению в Украине используются в очень малых масштабах на металлургических предприятиях современные средства внепечной обработки выплавляемой стали (вакуумирование, осуществление в агрегатах печь–ковш процессов раскисления и модифицирования и др. операций), позволяющих коренным образом очистить сталь от вредных примесей и повысить стабильность ее химического состава.

Одной из наиболее металлоемких отраслей народного хозяйства является железнодорожный транспорт и, в первую очередь, его подвижной состав. Поэтому задача коренного улучшения качества металлопродукции, железнодорожного назначения, является весьма актуальной.

Вместе с этим планомерно осуществляемые на железнодорожном транспорте меры по повышению рентабельности его грузовых и пассажирских перевозок обусловили увеличение грузоподъемности грузовых вагонов (повышение их осевой нагрузки до 25т) и скорости движения поездов (до 120 км/час), что в значительной мере повышает динамические нагрузки на эти элементы вагонов и вследствие этого выдвигает серьезные требования к качеству металла для их изготовления. Эти обстоятельства существенно усугубляются широким внедрением железобетонных шпал, рельсов высокой прочности и тяжелых типов, что привело к существенному росту жесткости железнодорожного пути.

Все эти и другие составляющие увеличили динамические воздействия

на колесную пару, являющуюся неадресованным элементом вагона и воспринимающую на себя непосредственно все динамические нагрузки, и в связи с этим значительно ухудшили напряженное состояние элементов колесной пары.

Ресурс железнодорожных колес зависит от многих показателей, определяющих их служебные характеристики (рис.1). Это химический состав стали, уровень прочностных и вязких свойств, напряженное состояние колеса, тепловое воздействие на его поверхность катания, контактно-усталостные разрушения и др. Однако важнейшим техническим и экономическим показателем является износостойкость контактирующей поверхности колеса. Износ колеса определяется, главным образом, истиранием поверхностей трения, образованием на них контактно-усталостных разрушений, трещиностойкостью при тепловых воздействиях.

Износостойкость колеса в значительной мере зависит и от уровня прочностных свойств железнодорожных рельсов, контактирующих с ним в процессе эксплуатации. В 60-е годы во ВНИИЖТ соотношение твердостей поверхности катания колеса и рельса было определено равным 1,2:1,0. В последующий период на металлургических предприятиях, производящих рельсы, были разработаны и внедрены новые технологии их термического упрочнения, что изменило данное соотношение до 0,8:1,0. Это существенным образом повысило износостойкость рельсов и в то же время отрицательно сказалось на сроках службы колеса. На железных дорогах Украины и России резкое снижение износостойкости колес стало весьма ощутимым в последние 10–15 лет. В результате значительно ухудшилась работа подвижного состава.

С целью оптимизации уровня стойкости колес и рельсов для повышения износостойкости обеих контактирующих поверхностей «Укрзалізницею» в 1995 году совместно с научными организациями и ВУЗами была разработана научно-техническая программа «Колесо-рельс». Согласно этой программе, в ИЧМ НАНУ совместно с УкрНИИМ и ДТУЖТ были проведены экспериментальные исследования влияния химического состава и режимов термической обработки рельсовой и колесной стали на износостойкость, контактную усталость и вязкость разрушения железнодорожных колес и рельсов. Изучены закономерности взаимного износа этих изделий в широком диапазоне содержания углерода в колесном и рельсовом металле (соответственно 0,53...0,63% и 0,74...0,76%). Значения твердости «колесных» и «рельсовых» образцов при этом изменялись в пределах НВ 250...400 и НВ 350...450 соответственно. Испытуемые стали имели различную структурное состояние – продукты отпуска мартенсита и различной степени дисперсности продукты диффузионного распада аустенита с пластинчатым цементитом.

В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований было установлено, что для обеспечения максимального ресурса колеса (в зависимости от его напряженного состояния и конструктив-

ной прочности) твердость обода должна иметь значения около 350 НВ. Это соответствует отношению твердости колеса и рельса около 0,9...1,0. В этом случае происходит повышение не только характеристик прочности и износостойкости, но и вязкости разрушения. Показано также, что для повышения прочности железнодорожных колес необходимо отдавать предпочтение термической обработке перед повышением содержания углерода в колесной стали. Это соотношение твердостей колеса и рельса обеспечило минимальный суммарный износ обоих контактирующих изделий (рис.2).

В 2002г. на ОАО НТЗ была специально изготовлена опытно-промышленная партия высокопрочных колес из стали, микролегированной ванадием. В табл.3 приведены результаты приемо-сдаточных испытаний трех плавок-партий и, для сравнения, требования ныне действующего стандарта ГОСТ 10791-89 и новых ТУ.

Комплекс полученных свойств этих колес был сопоставлен с требованиями отечественного, Международных и национальных зарубежных стандартов (табл.4):

- стандарта ААRМ 107/208-84, класс В (0,57...0,67%, твердость НВ 277...341, пластические и вязкие свойства не регламентированы);
- стандарта DIN EN 13262-98, класс ER 9 (<0,6%С, твердость НВ > 255, относительное удлинение  $\delta \geq 12\%$ );
- стандарта ISO 1005-6: 1994 класс CG – T-B ( $\leq 0,8\%C$ , НВ 293...363, пластические и вязкие свойства не регламентированы).

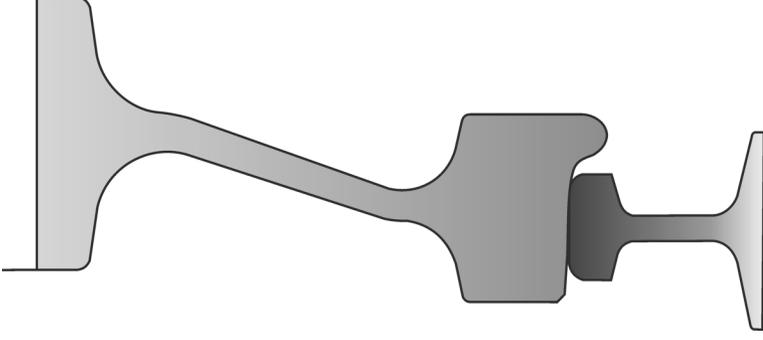
Выполненный анализ позволил обнаружить, что показатели новой продукции явно превышают требования указанных стандартов. Состав стали, микролегированной малыми добавками ванадия, и примененные прогрессивные режимы термического упрочнения колес обеспечили достижение высоких значений твердости, которые хорошо сочетаются с высокими значениями пластических и вязких характеристик.

Высокопрочные колеса опытно-промышленной партии были установлены под груженные вагоны большой грузоподъемности в опытном составе «Укрзалізниці», эксплуатационные испытания которого приведены на участке Кривой Рог – Кошица. Испытания проводились в течение около 2,5 лет и были наработаны заданные «Укрзалізницею» 200 тыс. км.

В результате установлено повышение срока службы высокопрочных колес на 31-38%. Совместным решением «Укрзалізниці» и НТЗ принято решение начиная с 2005 года, начать их промышленное производство. Институтом черной металлургии совместно с Кременчугским сталелитейным заводом по программе «Укрзалізниці» выполнен большой комплекс научно-исследовательских и опытно-промышленных разработок, направленных на создание высокоизносостойких чугунов для изготовления деталей тележек вагонов взамен стальных

Составляющиеэксплуатационных нагрузок:

- масса вагона
- конструкция тележки
- конструкция пути
- климатические условия
- скорость движения
- осевая нагрузка
- динамические воздействия
- профиль катания колеса
- профиль рельса
- тепловые воздействия на профиль катания
- напряженное состояние колеса
- давление в контакте
- характер проскальзывания
- смазка
- коэффициент трения
- виды износа
- поверхностные дефекты

Технологическиесоставляющие производства:Состав стали:

- химический состав
- газонасыщенность
- эндогенные включения
- экзогенные включения
- структурное состояние

Деформационно-термическая обработкаСвойства обода:

- микроструктура
- механические характеристики
- ударная вязкость
- вязкость разрушения K<sub>1C</sub>
- твердость
- износостойкость
- контактно-усталостная прочность

Свойства диска:

- микроструктура
- механические характеристики
- ударная вязкость
- усталостная прочность

Остаточные напряжения колесаСвойства контактирующего рельса:

- химический состав
- структурное состояние
- твердость
- износостойкость

Рис. 1. Ресурс железнодорожного колеса

Формирование в чугунах шарообразного графита разрешает при изотермической закалке получать отливки, которые при одинаковом со сталью высоком уровне пластичности, в несколько раз превышают соответствующие характеристики временного сопротивления и твердости:  $\sigma_B=1000\text{--}1500$  МПа, твердость 300–400 НВ, в зависимости от температуры аустемперинга.

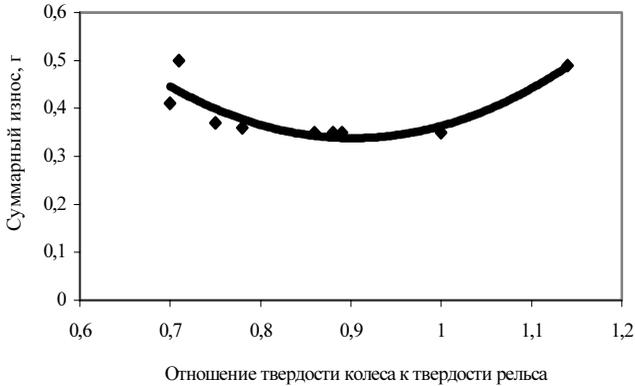


Рис.2. Влияние отношения твердости колеса к твердости рельса на их суммарный износ.

Эти положения позволяют сделать вывод о том, что чугуны с шаровидным графитом после изотермической за-

калки благодаря уникальному сочетанию их механических свойств и износостойкости (повышение сопротивления износу более чем в 2 раза), могут быть применены для производства элементов тележек грузовых и пассажирских вагонов, деталей автосцепки, а также замены ковкого чугуна при изготовлении рукавов тормозной системы вагонов.

Большой интерес для железнодорожного транспорта, вагоно- и локомотивостроения может представлять разрабатываемая ИЧМ на протяжении многих лет проблема повышения комплекса свойств листового и фасонного стального проката путем термомеханического упрочнения. Например, получаемый по такой технологии на комбинате «Азовсталь» толстолистовой прокат из низколегированных сталей с уровнем прочности  $\sigma_T > 460$  Н/мм<sup>2</sup> и гарантированной ударной вязкостью при отрицательных температурах ( $\sigma_{H-60} \geq 34$  Дж/см<sup>2</sup>) может существенно снизить вес вагонов и особенно цистерн. Есть возможность производить листовый прокат повышенной прочности из стали типа «Кортен» из отечественных сырьевых материалов и обеспечить необходимую устойчивость против атмосферной коррозии (возможные производители: завод «Днепроспецсталь» и комбинат «Запорожсталь»). В результате термического упрочнения фасонного проката повышается уровень его прочности в 1,2–1,5 раза при сохранении на высоком уровне пластических характеристик. Значения ударной вязкости находятся в прямой зависимости от степени упрочнения – чем выше степень упрочнения, тем в большей степени растет ударная вязкость. Такая уникальная зависимость является следствием полученной структурной неоднородности стали (её слоистости). Этот прокат, по-видимому, можно рассматривать как естественный композит.

Таблица 3. Химический состав колесной стали и свойства высокопрочных колес

№ плавки, № колеса	Химический состав стали, мас. %		Твердость, НВ (гл. 30 мм)	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение ( $\delta_5$ ), %	Относительное сужение ( $\psi$ ), %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
	С	Мп					
Пл. 31501 Кол. 126128	0,64	0,73	0,11	1190	9,7	18,0	26,0
Пл. 21426 Кол. 126273	0,64	0,79	0,11	1170	10,5	23,0	27,0
Пл. 32501 Кол. 126413	0,63	0,72	0,094	1190	9,0	21,0	33,0
Пл. 32501 Кол. 126430	0,63	0,72	0,094	1190	9,7	21,5	34,0
Пл. 31501 Кол. 126129	0,64	0,73	0,11	971 (диск)	10,9 (диск)	20,4 (диск)	35,7 (обод)
ТУ У 27.1-4- 508-2001	0,58-0,67 +0,03 - 0,02	0,50-0,90 +0,05 -0,04	0,08-0,15	Не менее			Факультативно 16,0
				320	1130	8,0	
ГОСТ 10791- 89 марка 2	0,55-0,65	0,50-0,90	-	Не менее			20,0
				255	930-1130	8,0	

В последние годы Украина расширяет свое участие в создании Международных транспортных коридоров (Азия – Европа), вступила в конвенцию о Международных железнодорожных перевозках. Это поставило вопрос о проведении Международной гармонизации отечественных технических норм и, в частности, гармонизации НТД на металлопродукцию для железнодорожного транспорта, в том числе и для вагоностроения.

«Укрзалізницею» (совещание у зам. генерального директора А.Д.Лашко 06 июля 2005 года) были сформулированы требования создания металлопродукции для вагонов нового поколения (с повышенной до 25т осевой нагрузки взамен применяемой сегодня 22,5т, увеличенной скоростью их движения от 75 до 120 км/час). Новая металлопродукция для грузовых вагонов должна отвечать следующим требованиям:

1. Максимально снизить ее легированность – она должна быть недорогой и не иметь в своем составе значительных количеств дефицитных для Украины легирующих элементов: никеля, хрома, молибдена, ванадия и ниобия.

2. Обеспечить повышенный уровень прочности –  $\sigma_T$  выше 450 Н/мм<sup>2</sup>, что позволит облегчить его собственный вес.

3. Металлопродукция должна обеспечивать высокие показатели усталостной прочности (зарождение и развитие усталостной трещины) как при нормальных температурах, так и при отрицательных (вплоть до 60<sup>0</sup>С).

4. Металлопрокат должен быть хорошо свариваемым.

5. Он должен иметь высокие антикоррозионные свойства.

#### **Выводы и перспективы дальнейших поисков**

На этом основании были сформулированы требования к металлопродукции для вагонов нового поколения:

- разработать и организовать промышленное производство листового и профильного проката, применяемых для изготовления кузова, он должен обладать повышенными прочностными, вязкими и коррозионными свойствами, быть хорошо свариваемым;
- в конструкциях хребтовой балки, боковой и торцевой стен использовать горячекатаные или термоупрочнение профили из стали класса прочности не менее 375–390;
- использовать листовый прокат для обшивки стен из сталей с карбонитридным упрочнением класса прочности не менее 450;
- применить высокопрочные колеса с уровнем твердости не менее 320 НВ с упрочнением его диска дробью, что обеспечивает повышение их конструктивной прочности и увеличение срока службы колесной пары с 10 до 15 лет;
- освоить промышленное производство в Украине износостойких элементов на оборудовании фирмы «А.Стаки» для грузовых тележек (из высокопрочных чугунов): фрикционные клинья, упругокатковые

скользуны и др.;

- выполнить комплекс работ по производству стального литья элементов тележек (надрессорная балка, боковые рамы, автосцепка), повышенной прочности с применением их упрочнения путем карбонитридного легирования.

К решению этих задач будут привлечены конструкторские и технологические подразделения вагоностроительных заводов, научные организации (в том числе и ИЧМ НАНУ) и ВУЗы Украины. В 2006 году «Укрзалізниця» проведет рассмотрение предложений этих организаций и предприятий для создания комплексной межотраслевой программы по созданию грузовых вагонов нового поколения.

*Статья рекомендована к печати чл.-корр.НАН Украины  
В.И.Большаковым*