
НОВЫЕ ЛИТЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 669.15.194:658.5: 629.11.012.3

В. А. Локтионов-Ремизовский, канд. техн. наук, ведущ. науч. сотр., e-mail: loktionov@ptima.kiev.ua

Н. В. Кирьякова, гл. технолог

Н. Н. Грибов, гл. технолог

С. Я. Шипицын д-р техн. наук, зав. отделом

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

СТАНДАРТНЫЕ И НОВЫЕ КОЛЕСНЫЕ СТАЛИ

Проведен сравнительный анализ химического состава и уровня механических свойств стандартных колесных сталей и новых колесных сталей, разработанных во ФТИМС НАН Украины. Разработанные стали имеют повышенный уровень ударной вязкости и имеют прочностные характеристики на уровне стандартных сталей. Такой уровень свойств новых сталей обеспечивает повышение надежности и долговечности колес.

Ключевые слова: стандарт, сталь, колеса, состав, свойства.

Надежность работы ходовой части вагонов (колеса) и железнодорожного полотна, в частности рельсов, должна гарантировать безаварийность работы железнодорожного транспорта. Основная причина выхода из строя деталей, узлов и транспорта в целом обусловлена изнашиванием отдельных деталей в узлах и механизмах. Увеличение скоростей и грузоподъемности железнодорожного транспорта есть следствие экономической целесообразности. Проблемой надежности и долговечности железнодорожного транспорта занимаются ведущие научные организации во всех передовых странах мира.

На основе огромного количества исследований и практических наработок составы колесных сталей регламентированы нормативными документами – межгосударственными и международными стандартами.

Ресурс отечественных цельнокатаных железнодорожных колес недостаточен, несмотря на ряд технических и организационных решений [1, 2]. Стойкость цельнокатаных колес к эксплуатационным повреждениям во многом определяется качеством колесных сталей и уровнем технологий изготовления колес. Цельнокатаные колеса имеют значительные резервы повышения работоспособности и, прежде всего, за счет повышения качества сталей и совершенствования важнейших показателей – их химического состава, структуры и механических свойств.

В данной работе проведен сопоставительный анализ химического состава и

Новые литые материалы

уровня механических свойств сталей для цельнокатаных железнодорожных колес, регламентированных межгосударственным стандартом (Украина, Россия, Казахстан, Белоруссия и другие страны СНГ) и международным стандартом (Европа, Америка, Канада, Япония и другие страны мирового сообщества).

В настоящее время требования к цельнокатаным колесам, которые изготавливают на предприятиях Украины, регламентирует межгосударственный стандарт ГОСТ 10791-2011 «Колеса цельнокатаные». С 1994 г. действует международный стандарт ИСО 1005-94 «Подвижной состав железных дорог», раздел 4.6 которого «Безбандажные колеса для подвижного состава» устанавливает требования к химическому составу и механическим свойствам колес. В табл. 1 приведены сводные данные требований к химическому составу сталей, регламентированных ГОСТ 10791-2011 и международным стандартом ИСО 1005-94.

Стандарт ИСО 1005-94 регламентирует химический состав и свойства 24 марок

Таблица 1
Химический состав стали колес (ГОСТ 10791-2011, ИСО 1005-1994)

Номер группы	Марка стали	Массовая доля элементов, %						Примечание
		C	Mn	Si	V	S _≤	P<	
–	1	0,44–0,52	0,80–1,20	0,40–0,65	0,08–0,15	0,020	0,030	ГОСТ 10791-2011
–	2	0,55–0,63	0,50–0,90	0,22–0,45	0,10	0,025	0,030	То же
–	T	0,62–0,70	0,50–1,00	0,22–0,65	0,15	0,005–0,025	0,030	» »
–	Л	0,48–0,54	0,80–1,20	0,45–0,65	0,08–0,15	0,020	0,030	» »
1	C44GW-NA C44GW-NB C44GW-TA C44GW-TB	0,46	0,90	0,40	0,05	0,04	0,04	ИСО 1005-1994
2	C48GW-NA C48GW-NB C48GW-TA C48GW-TB	0,50	0,90	0,40	0,05	0,04	0,04	То же
3	C51GW-NA C51GW-NB C51GW-TA C51GW-TB	0,54	0,90	0,40	0,05	0,04	0,04	» »
4	C55GW-NA C55GW-NB C55GW-TA C55GW-TB	0,58	0,90	0,40	0,05	0,04	0,04	» »
5	C64GW-NA C64GW-NB C64GW-TA C64GW-TB	0,67	0,90	0,40	0,05	0,04	0,04	» »
6	C74GW-NA C74GW-NB C74GW-TA C74GW-TB	0,77	0,90	0,40	0,05	0,04	0,04	» »

колесных сталей. Содержание легирующих элементов в сталях стандартом ИСО 1005-94 регламентируется только по верхнему пределу. Уровень механических свойств сталей в колесах обеспечивается термической обработкой. По химическому составу все марки сталей объединены в 6 групп.

ГОСТ 10791-2011 устанавливает 4 марки сталей: 1, 2, Т и Л. Содержание легирующих элементов ГОСТ 10791-2011 устанавливает в пределах минимума и максимума. Марка стали 1 по химическому составу соответствует 1-й и 2-й группам марок сталей по стандарту ИСО 1005-94: C44GW-NA; C44GW-NB; C44GW-TA; C44GW-TB; C48GW-NA; C48GW-NB; C48GW-TA; C48GW-TB.

Химический состав марки стали 2 соответствует 3-й и 4-й группам сталей стандарта ИСО 1005-94: C51GW-NA; C51GW-NB; C51GW-TA; C51GW-TB; C55GW-NA; C55GW-NB; C55GW-TA; C55GW-TB.

Химический состав марки стали Т соответствует 5-й группе сталей по стандарту ИСО 1005-94: C64GW-NA; C64GW-NB; C64GW-TA; C64GW-TB.

Химический состав марки стали Л соответствует 2-й и 3-й группам сталей стандарта ИСО 1005-94: C48GW-NA; C48GW-NB; C48GW-TA; C48GW-TB; C51GW-NA; C51GW-NB; C51GW-TA; C51GW-TB.

На рис. 1 приведены диаграммы сопоставления химического состава колесных сталей согласно требований анализируемых стандартов. При построении диаграмм использовали допустимые стандартами максимальные значения содержания элементов в сталях.

Диаграмма содержания углерода показывает, что содержание углерода, в зависимости от марки стали, согласно требований ГОСТ 10791-2011, составляет от 0,52 до 0,70 %.

Международный стандарт ИСО 1005-94 допускает более низкое значение верхнего предела содержания углерода в 1–4 группах сталей по сравнению со сталями согласно ГОСТ 10791-2011. Только в сталях 5-й группы, согласно требований ИСО 1005-94, регламентируется верхний предел содержания углерода несколько выше, чем в сталях по ГОСТ 10791-2011, до 0,78 %.

ГОСТ 10791-2011 регламентирует в отечественных марках сталей содержание марганца, в зависимости от марки стали, в пределах от 0,85 до 1,2 %. Стандарт ИСО 1005-94 устанавливает содержания марганца для всех марок сталей не выше 0,85 %.

Содержание кремния установлено ГОСТ 10791-2011, в зависимости от марки стали, от 0,45 до 0,65 %; Международный стандарт устанавливает содержание кремния во всех колесных сталях не выше 0,4 %.

Ванадий регламентирован ГОСТ 10791-2011, в зависимости от марки стали, в пределах от 0,08 до 0,15 %. Стандартом ИСО 1005-94 уменьшено содержание ванадия до 0,05 %.

Стандарты ГОСТ и ИСО устанавливают содержания серы и фосфора в колесных сталях в пределах от 0,02 до 0,04 и от 0,03 до 0,04 %, соответственно, что практически составляет один уровень.

Базовой системой легирования колесных сталей по стандартам ГОСТ 10791-2011 и ИСО 1005-94 является комплекс: углерод, кремний, марганец и ванадий.

В табл. 2 приведены значения уровней механических свойств колесных сталей, регламентированных стандартами ИСО 1005-94 и ГОСТ 10791-2011.

Согласно требований ИСО 1005-94, колесные стали объединены в 6 групп. В каждой группе есть марки сталей категории А и В. Стали категории А обязательно проходят испытания на прочности при растяжении и при ударном изгибе. Колеса из данных сталей применяют в железнодорожных системах с преимущественно интенсивным или высокоскоростным пассажирским движением.

Марки сталей категории В испытывают на твердость по Бринелю. Колеса из сталей категории В применяют в железнодорожных системах с преимущественно грузовым движением. В зависимости от вида термообработки колеса обозначаются буквой *N* (нормализация или нормализация + отпуск) или *T* (закалка + отпуск).

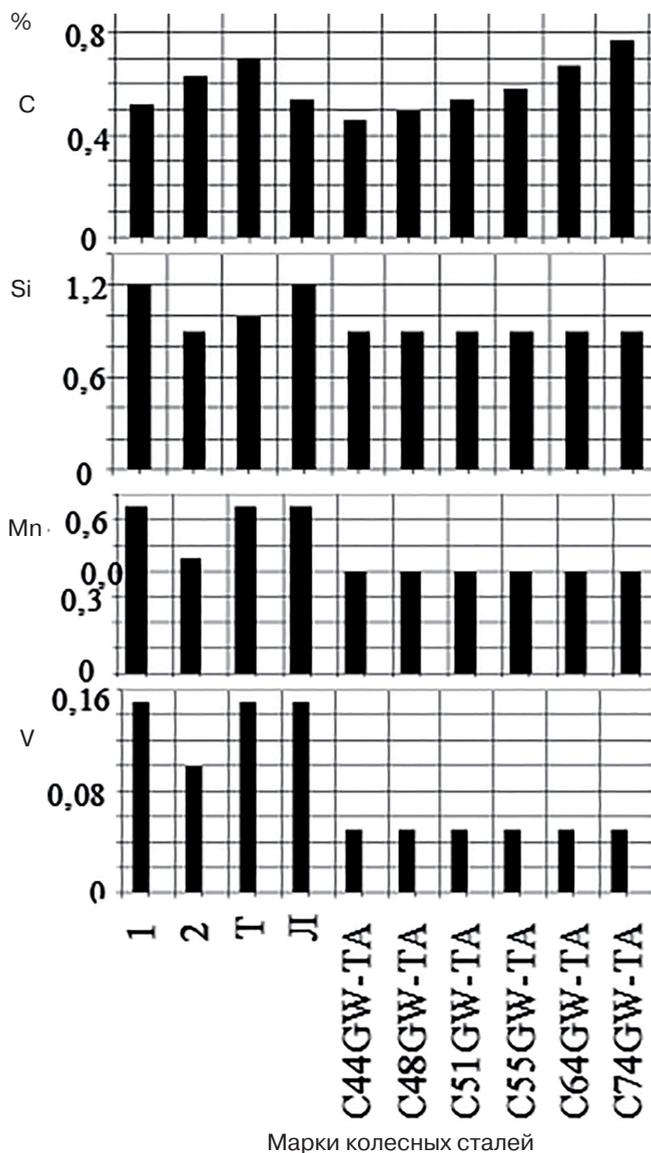


Рис. 1. Содержание легирующих элементов в сталях марок 1, 2, Т, Л (ГОСТ 10791-2011) и C44GW, C48GW, C51GW, C55GW, C64GW, C74GW (ИСО 1005-1994), %мас.

Временное сопротивление при растяжении стали в ободе колеса, после термообработки (закалка + отпуск), для сталей марок 1 и 2 (ГОСТ 10791-2011) соответствует либо превышает значение этой характеристики для всех марок сталей по ИСО 1005-9 после закалки, которые содержат углерод на одном уровне.

Следует отметить, что увеличение содержания углерода в колесных сталях закономерно приводит к увеличению временного сопротивления при растяжении. В стали марки C74GW-TA самое высокое содержание углерода и, соответственно, самое высокое значение указанного свойства.

Относительное удлинение стали на образце, вырезанном из обода колеса в сталях марок 1 и Л (после закалки + отпуск), ниже соответствующих по химическому составу международных марок после закалки, кроме удлинения сталей марок C64GW-TA и C74GW-TA. Относительное удлинение в сталях марок 2 и Т ниже, а в стали марки Т соответствует марке C74GW-TA. Относительное удлинение стали в ободе колеса находится в обратной пропорции к содержанию углерода в стали.

Таблица 2

**Механические свойства стали колес (ГОСТ 10791-2011,
ИСО 1005-1994)**

Марка стали	Временное сопротивление обода, Н/мм	Относительное удлинение обода, %	Относительное сужение обода, %	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²			Твердость обода на глубине 30 мм, НВ
				обода	диска		
					при +20 °С	при +20 °С	
				не менее			
1	880–1080	12	21	30	30	20	248
2	910–1110	8	14	20	20	15	255
T	1020	9	16	18	18	15	320
Л	930	12	21	30	30	20	280–320
C44GW-NA	600–720	18	–	15	–	–	–
C44GW-NB	–	–	–	–	–	–	166–217
C44GW-TA	770–890	15–16*	–	15	–	–	–
C44GW-TB	–	–	–	–	–	–	197–277
C48GW-NA	630–750	17	–	14	–	–	–
C48GW-NB	–	–	–	–	–	–	174–223
C48GW-TA	820–940	14–16	–	15	–	–	–
C48GW-TB	–	–	–	–	–	–	235–285
C51GW-NA	660–800	15	–	12	–	–	–
C51GW-NB	–	–	–	–	–	–	187–241
C51GW-TA	860–980	13–16	–	15	–	–	–
C51GW-TB	–	–	–	–	–	–	248–302
C55GW-NA	700–840	14	–	10	–	–	–
C55GW-NB	–	–	–	–	–	–	197–255
C55GW-TA	900–1050	12–14	–	12	–	–	–
C55GW-TB	–	–	–	–	–	–	255–311
C64GW-NA	800–940	11–12	–	10	–	–	–
C64GW-NB	–	–	–	–	–	–	223–285
C64GW-TA	940–1140	11	–	10	–	–	–
C64GW-TB	–	–	–	–	–	–	277–341
C74GW-NA	830–1000	9	–	8	–	–	–
C74GW-NB	–	–	–	–	–	–	235–311
C74GW-TA	1040–1240	9–10	–	8	–	–	–
C7 4GW-TB	–	–	–	–	–	–	293–363

Ударная вязкость сталей марок 1, 2, T и Л в ободе колеса после закалки и отпуска значительно превышает соответствующие показатели международных марок после такого же режима термообработки. Ударная вязкость стали в ободе колеса обратно пропорциональна содержанию углерода в стали. Ударная вязкость при отрицательных температурах стандартом ИСО не регламентируется.

Твердость сталей марок 1, 2, T и Л в ободе колеса после закалки и отпуска равна либо близка к нижнему пределу соответствующих по химическому составу международных марок сталей после такого же режима термообработки. Твердость сталей в ободе колеса находится в прямой зависимости от содержания углерода в стали.

Для каждой марки колесной стали ГОСТ 10791-2011 регламентирует конкрет-

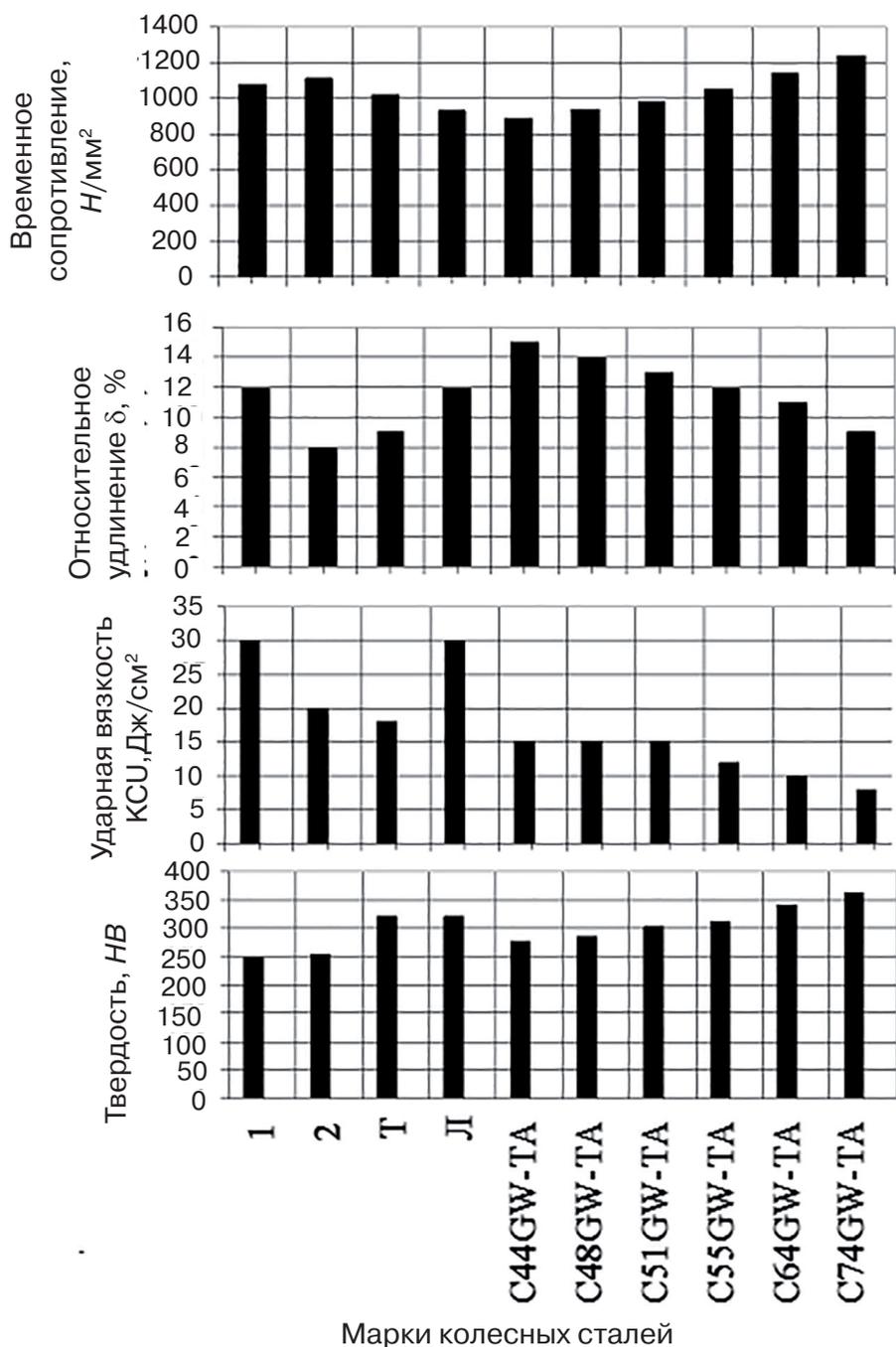


Рис. 2. Механические свойства сталей марок 1, 2, Т, Л (ГОСТ 10791-2011) и C44GW-TA, C48GW-TA, C51GW-TA, C55GW-TA, C64GW-TA, C74GW-TA (ISO 1005-1994)

ный химический состав. В зависимости от условий эксплуатации применяют режим термической обработки, что и обеспечивает требуемый уровень механических характеристик стали и качество колеса. Свойства колеса для конкретных условий эксплуатации обеспечиваются изменением химического состава стали по всем элементам и термической обработкой колеса.

Стандарт ISO 1005-94 предусматривает изменение химического состава колесных сталей только по группам. Изменений химического состава сталей по маркам

Таблица 3

Химический состав опытных сталей для колес

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	C	Mn	Si	V	Cr	Al	S	P
АФ1	0,55	0,56	0,21	0,14	0,42	0,015	0,02	0,023
КАФ	0,64	1,30	0,7	0,15	0,42	0,011	0,02	0,021
АФ2	0,55	0,81	0,67	0,17	0,37	0,014	0,03	0,025

внутри группы стандарт не допускает. Изменения механических характеристик сталей применительно к марке достигают преимущественно термической обработкой.

Уровень прочности при растяжении и относительное удлинение, регламентируемые ГОСТ 10791-2011, находятся внутри диапазона значений этих характеристик установленного требованиями ИСО 1005-94. Максимальное значение прочности при растяжении колесной стали по требованиям ИСО 1005-94 более 1200 Н/мм², а по требованиям ГОСТ 10791-2011 допускается на уровне чуть меньше 1100 Н/мм². ИСО 1005-94 требует максимальное значение относительного удлинения стали почти 15 %, а ГОСТ 10791-2011 требует максимальное значение удлинения 12 %. Минимальное значение относительного удлинения оба стандарта допускают на уровне не менее 8 %.

Требования стандарта ГОСТ 10791-2011 по уровню ударной вязкости колесной стали выше, чем требования стандарта ИСО 1005-94, и допустимый диапазон уровней ударной вязкости составляет 18–30 и 8–15 Дж/см², соответственно.

Специалистами ФТИМС НАН Украины разработаны новые марки среднеуглеродистых сталей для железнодорожных колес. В основу разработки новых колесных сталей положен принцип дисперсионного нитридного упрочнения стали за счет контролируемого распада пересыщенного твердого раствора на основе железа при термической обработке стали [2–7]. Базовая система легирования колесных сталей принята та же, что и регламентирована ГОСТ 10791-2011 и ИСО 1005-94, и дополнена хромом и алюминием и азотом. В табл. 3 приведен химический состав трех марок опытных сталей с дисперсионным нитридным упрочнением для железнодорожных колес.

На рис. 3 представлено сопоставление химического состава стандартных и разработанных марок сталей. Разработанные марки сталей содержат углерод в пределах от 0,55 до 0,64 %, что несколько ниже содержания углерода в стандартных сталях.

Рекомендованное содержание марганца и кремния имеет несколько расширенный диапазон – от 0,56 до 1,3 % для марганца и от 0,21 до 0,7 % для кремния.

Содержание ванадия в разработанных сталях находится в пределах от 0,1 до 0,17 %, что выше содержания ванадия в стандартных марках сталей.

Механические свойства разработанных марок сталей представлены на рис. 4. Временное сопротивление при растяжении разработанных сталей соответствует средним значениям прочности стандартных сталей – 900–1000 Н/мм². Относительное удлинение разработанных сталей составляет 15–18 %, что выше уровня удлинения стандартных сталей. Ударная вязкость разработанных сталей составляет 80–140 Дж/см², что существенно превышает значения ударной вязкости стандартных сталей. Твердость по Бринелю разработанных сталей соответствует верхним значениям твердости стандартных сталей – 325–380 НВ.

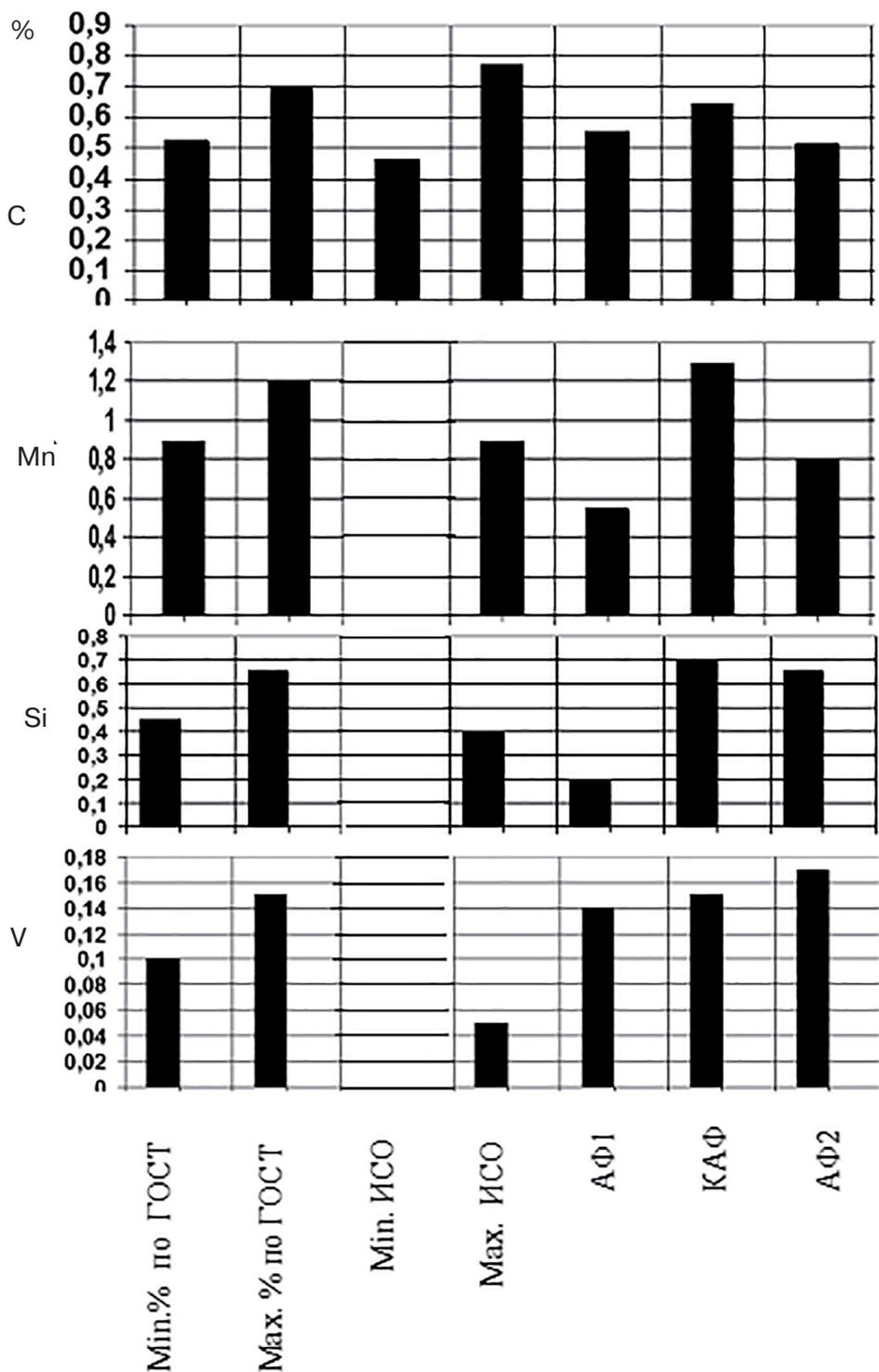


Рис. 3. Пределы содержания легирующих в стандартных сталях согласно ГОСТ 10791-2011, ИСО 1005-1994 и в опытных сталях АФ1, КАФ, АФ2

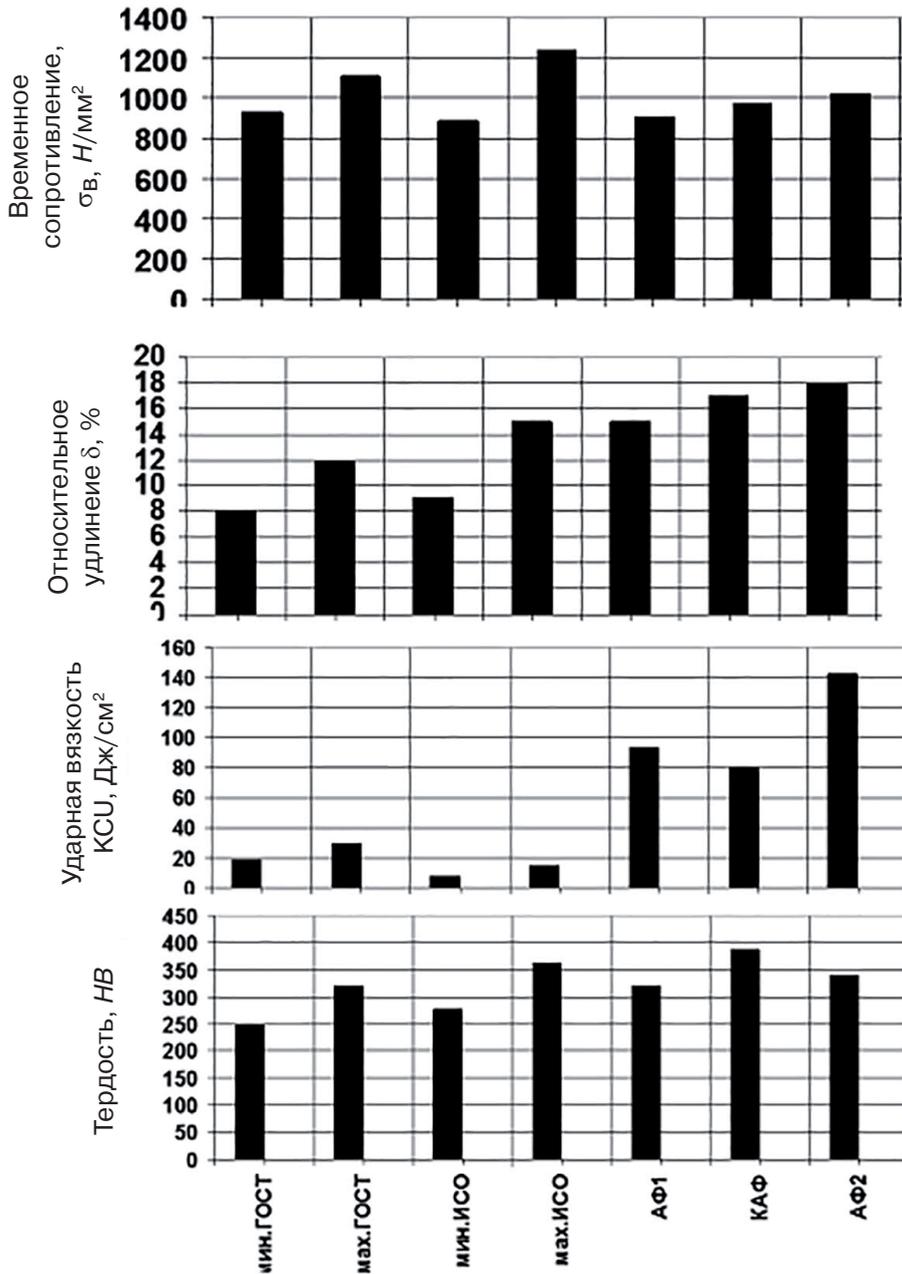


Рис. 4. Предельные значения механических свойств стандартных сталей согласно ГОСТ 10791-2011, ИСО 1005-1994 и свойства опытных сталей АФ1, КАФ, АФ2

Выводы

• Результаты сопоставительного анализа химического состава и механических свойств стандартных и разработанных марок сталей позволяют утверждать, что дисперсионное нитридное упрочнение существенно повышает ударную вязкость колесных сталей, сохраняя значения прочности и пластичности на уровне стандартных сталей.

- Расширенный диапазон допустимого содержания легирующих элементов в разработанных колесных сталях повышает технологичность сталей при выплавке.
- Достигнутый уровень и сочетание механических свойств разработанных колесных сталей обеспечивает повышение надежности и долговечности железнодорожных колес.

Список литературы

1. Кассиди Ф. Д. Легированные металлы могут продлить жизнь колес // Железнодорожный транспорт Украины. – 2002. – № 5. – С. 69–70.
2. Бабаскин Ю. З., Кирчу И. Ф. Перспективы производства высокопрочных конструкционных сталей для различных отраслей промышленности // Металл и литье Украины. – 1995. – № 6. – С. 9–11.
3. Шипицын С. Я., Бабаскин Ю. З., Кирчу И. Ф. Применение сталей с карбонитридным упрочнением – это коренное повышение надежности и долговечности железнодорожных путей и подвижного состава // Металл и литье Украины. – 2004. – № 1. – С. 39–43.
4. Шипицын С. Я., Золотарь Н. Я. Перераспределение азота и ванадия при аустенизации стали с нитридным упрочнением для железнодорожных колес // Металлознавство та обробка металів – 2014. – № 2. – С. 8–13.
5. Шипицын С. Я., Золотарь Н. Я. Высокоуглеродистые стали с дисперсионным нитридным упрочнением, для транспортного и других видов машиностроения // Металл и литье Украины. – 2014. – № 9. – С. 16–21.
6. Шипицын С. Я., Золотарь Н. Я. Влияние нитридного упрочнения на фазовые превращения при формировании структуры высокоуглеродистой стали при охлаждении после аустенизации // Металлознавство та обробка металів. – М. – 2014. – № 3. – С. 3–10.
7. Пат. 201411103. Україна, МПК 2015.01. Сталь / Шипицын С. Я., Бабаскин Ю. З. Затверджено 16.01.2015.

Поступила 26.09.2018

References

1. Cassidy, F. D. (2002) Alloyed metals can prolong the life of the wheels. Railway transport of Ukraine, no. 5, pp. 69–70 [in Russian].
2. Babaskin, Yu. Z., Kirchu I. F. (1995) Prospects for the production of high-strength structural steels for various industries. Metal and casting of Ukraine, no. 6, pp. 9–11 [in Russian].
3. Shipitsyn, S. Ya., Babaskin, Yu. Z., Kirchu, I. F. (2004) The use of steels with carbonitride hardening is a fundamental increase in the reliability and durability of railways and rolling stock. Metal and casting of Ukraine, no. 1, pp. 39–43 [in Russian].
4. Shipitsyn, S. Ya., Zolotar, N. Ya. (2014) Redistribution of nitrogen and vanadium in the austenization of steel with nitride hardening for railway wheels. MoM, no. 2, pp. 8–13 [in Russian].
5. Shipitsyn, S. Ya., Zolotar N. Ya. (2014) High-carbon steels with dispersive nitride hardening, for transport and other types of engineering. Metal and casting of Ukraine, no. 9, pp. 16–21 [in Russian].
6. Shipitsyn, S. Ya., Zolotar, N. Ya. (2014) Effect of nitride hardening on phase transformations during the formation of the structure of high-carbon steel upon cooling after austenization. MoM, no. 3, pp. 3–10 [in Russian].
7. Pat. 201411103. Ukraine, МПК 2015.01. Steel / Shipitsyn S. Ya., Babaskin Y. Z., Strongified on 01/16/2015.

Received 26.09.2018

В. А. Локтіонов-Ремізовський, канд. техн. наук, провідн. наук. співр.,
e-mail: loktionov@ptima.kiev.ua

Н. В. Кір'якова, гол. технолог

М. М. Грибов, гол. технолог

С. Я. Шипицин, д-р техн. наук, зав. відділом

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

СТАНДАРТНІ ТА НОВІ КОЛІСНІ СТАЛІ

Проведено порівняльний аналіз хімічного складу та рівня механічних властивостей стандартних колісних сталей та нових колісних сталей, розроблених у ФТІМС НАН України. Розроблені сталі мають підвищений рівень ударної в'язкості та володіють характеристиками міцності на рівні стандартних сталей. Такий рівень властивостей нових сталей забезпечує підвищення надійності та довговічності коліс.

Ключові слова: стандарт, сталь, колеса, склад, властивості.

V. A. Loktionov-Remizovsky, *Candidate of Engineering Sciences, Leader Researcher, e-mail: loktionov@ptima.kiev.ua*

N. V. Kiryakova, *Chief Technologist*

N. N. Gribov, *Chief Technologist*

S. Ya. Shypitsyn, *Doctor of Engineering Sciences, Head of Department*

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys NAS of Ukraine, Kiev

STANDARD AND NEW WHEELED STEEL

A comparative analysis of the chemical composition and the level of mechanical properties of standard wheel steels and new wheel steels developed at the PTIMA NAS of Ukraine is carried out. New developed steels have an increased level of impact strength and have strength characteristics at the level of standard steels. This level of properties of the developed steels ensures the reliability and longevity of the wheels.

Keywords: standard, steel, wheels, composition, properties.