

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

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

Н. В. Кирьякова, гл. технолог

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины (Киев, Украина)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОСТАВОВ, СВОЙСТВ И МАРКИРОВКИ СТАНДАРТНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ

Выполнен сопоставительный анализ химических составов, механических свойств и маркировки рельсовых сталей, установленных стандартами Украины, Европейского союза и Российской Федерации. Установлены базовые комплексы легирования и схемы дополнительного легирования рельсовых сталей стандартов разных стран. Стандарт Украины отображает в маркировке рельсовых сталей тип плавильной печи, в которой выплавляют сталь. Стандарт Украины проводит маркировку рельсов с учетом уровня свойств стали и устанавливает четыре категории рельсов, которые можно изготавливать из 18 марок рельсовых сталей. Уровень свойств стали в рельсах достигается их термической обработкой. По стандартам Европейского союза и Российской Федерации тип рельсов определяется маркой стали. Базовые комплексы легирования по стандартам Украины, Евросоюза и РФ подобны. По стандартам Евросоюза и РФ схемы дополнительного легирования включают хром, ванадий и азот. Стандарт Украины не использует хром, ванадий и азот, но использует титан в двух марках сталей. Стандарты Европейского союза и Российской Федерации регламентируют по 7 марок рельсовых сталей. Уровень свойств рельсовых сталей по стандартам Украины, Европейского союза и Российской Федерации находится практически на одном уровне. Стандарты Европейского союза и Российской Федерации предусматривают уровень предела текучести рельсовых сталей выше, чем требования стандарта Украины. Установлено, что без соответствующей адаптации стандартов между собой не могут проводиться взаимные замещения рельсов, изготовленных в разных странах.

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

Надежность работы железнодорожного транспорта, в первую очередь, обеспечивается надежностью работы пары колесо-рельса. При рассмотрении надежности эксплуатации пары колесо-рельса учитывают сохранение целостности и геометрических параметров элементов пары. Гарантии сохранения целостности элементов пары колесо-рельса актуальны, учитывая высокий уровень статических и динамических нагрузках и тенденцию к повышению нагрузок при эксплуатации железнодорожного транспорта. Также актуально снижение темпа изменения геометрии элементов пары трения вследствие изнашивания в процессе эксплуатации.

В настоящей работе поставлена задача провести сопоставительный анализ химических составов и механических свойств стандартных рельсовых сталей, регламентированных стандартами Украины, Европейского союза и Российской Федерации. Сопоставительный анализ химических составов и механических свойств стандартных колесных сталей, регламентированных стандартами Украины, Европейского союза и Российской Федерации, приведен в публикации [1].

Надежность и целостность железнодорожных рельсов обеспечивается химическим составом сталей и состоянием структуры (их соответствие требованиям стандартов). Соответствие химического состава, состояние структуры сталей, а следовательно, и свойств сталей в рельсе требованиям стандарта обеспечивается уровнями и стабильностью значений параметров технологического процесса изготовления рельсов.

Сопоставительный анализ химических составов и свойств рельсовых сталей

провели, используя действующие стандарты Украины: ДСТУ 4344–2004 [2], Европейского союза – стандарт pr EN 13674-1:2002 [3] и Российской Федерации – ГОСТ Р 51685–2013 [4].

Третья часть мирового производства железнодорожных рельсов обеспечивается странами Европейского Союза. Лидерами являются Австрия, Германия, Англия, Нидерланды, Италия.

На рис. 1 и 2 приведены химические составы стандартных рельсовых сталей, регламентированных ДСТУ 4344– 2004, стандартом pr EN 13674-1:2002 и ГОСТ Р 51685–2013.

ДСТУ 4344–2004 регламентирует 18 марок рельсовых сталей, в том числе и марки по признаку использованного типа плавильного агрегата при выплавке стали.

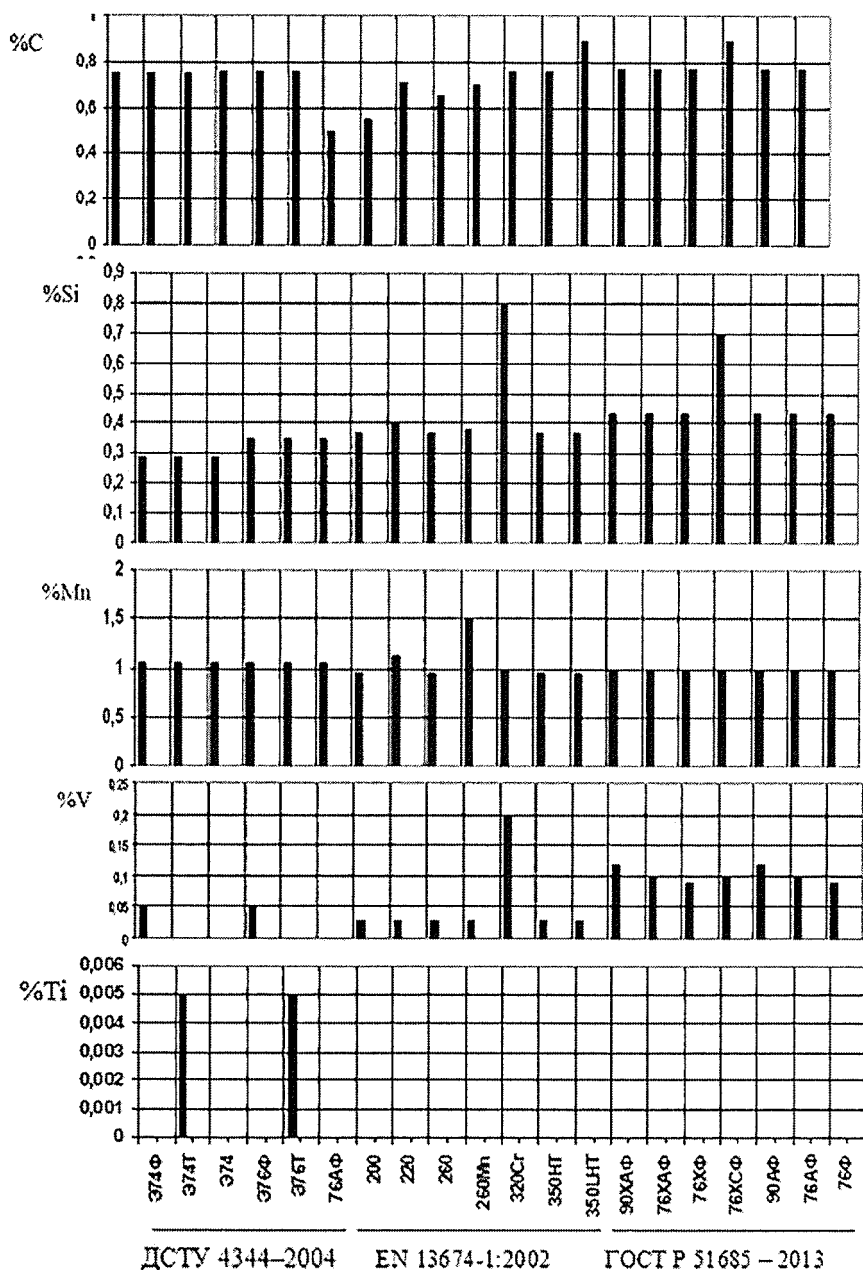


Рис. 1. Содержание углерода, кремния, марганца, ванадия, титана (в %мас.)

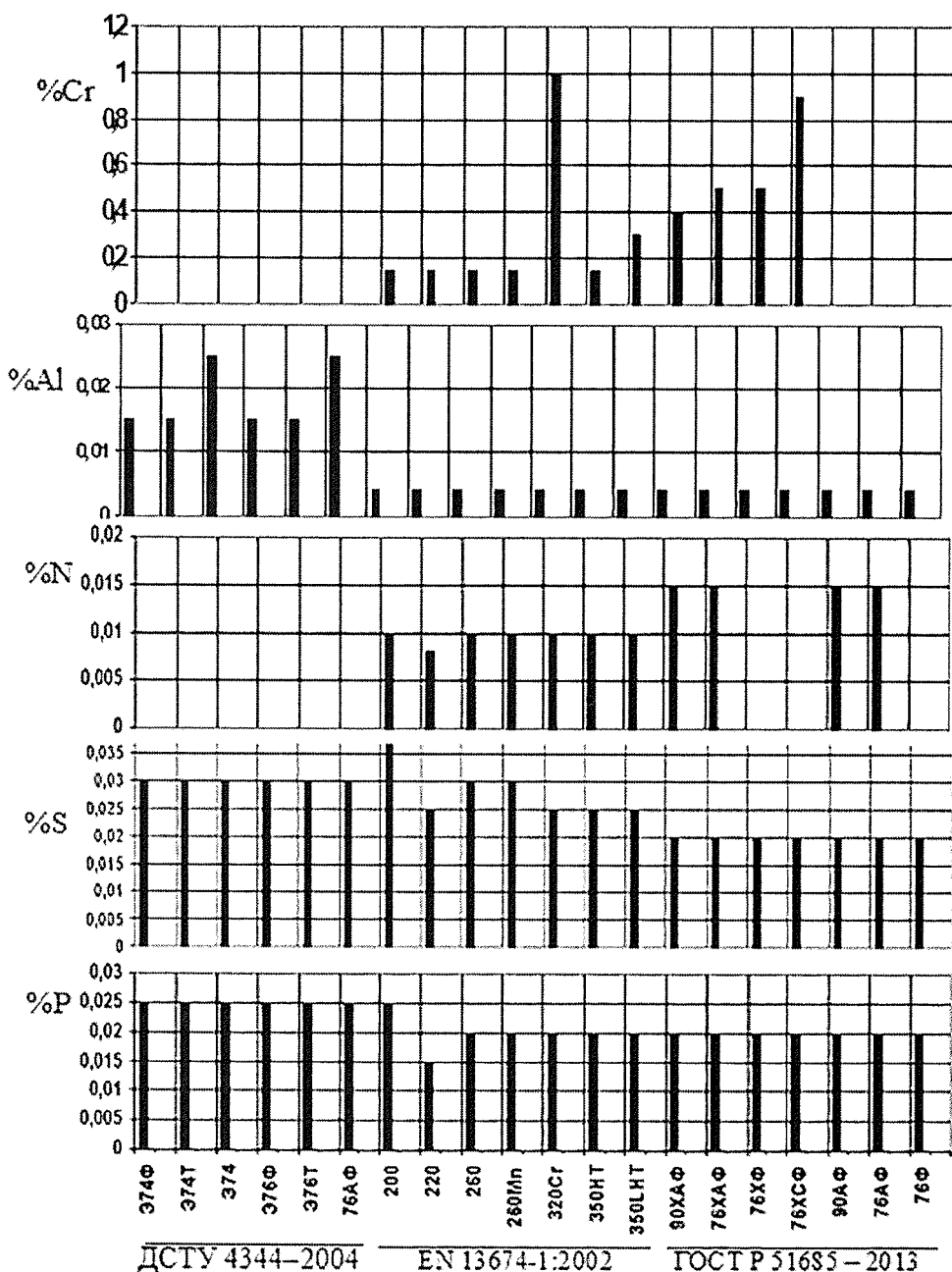


Рис. 2. Содержание хрома, алюминия, азота, фосфора, серы (в %мас.)

На рис. 1–3 приведены составы 6-ти рельсовых электросталей (Э74Ф, Э74Т, Э74, Э76Ф, Э76Т, Э76), регламентированных ДСТУ 4344–2004. Сопоставительный анализ рельсовых сталей, регламентированных по ДСТУ 4344–2004, по признаку химического состава позволяет установить, что фактически базовым комплексом легирования является С, Si, Mn и Al. Содержание углерода, кремния и марганца поэлементно находится на одном уровне для всех 18-ти марок сталей. Содержание алюминия одинаковое для 12-марок сталей. В сталях марок Э74 и Э76 содержание алюминия поднято в 1,7 раза по отношению к базовому уровню. Две марки сталей (Э74Ф и Э76Ф) сформированы на базовом комплексе легирования с добавлением ванадия и две марки (Э74Т и Э76Т) с добавлением титана. Разброс содержания ванадия допускается от 0,03 до 0,07 %, более чем двукратно. Разброс содержа-

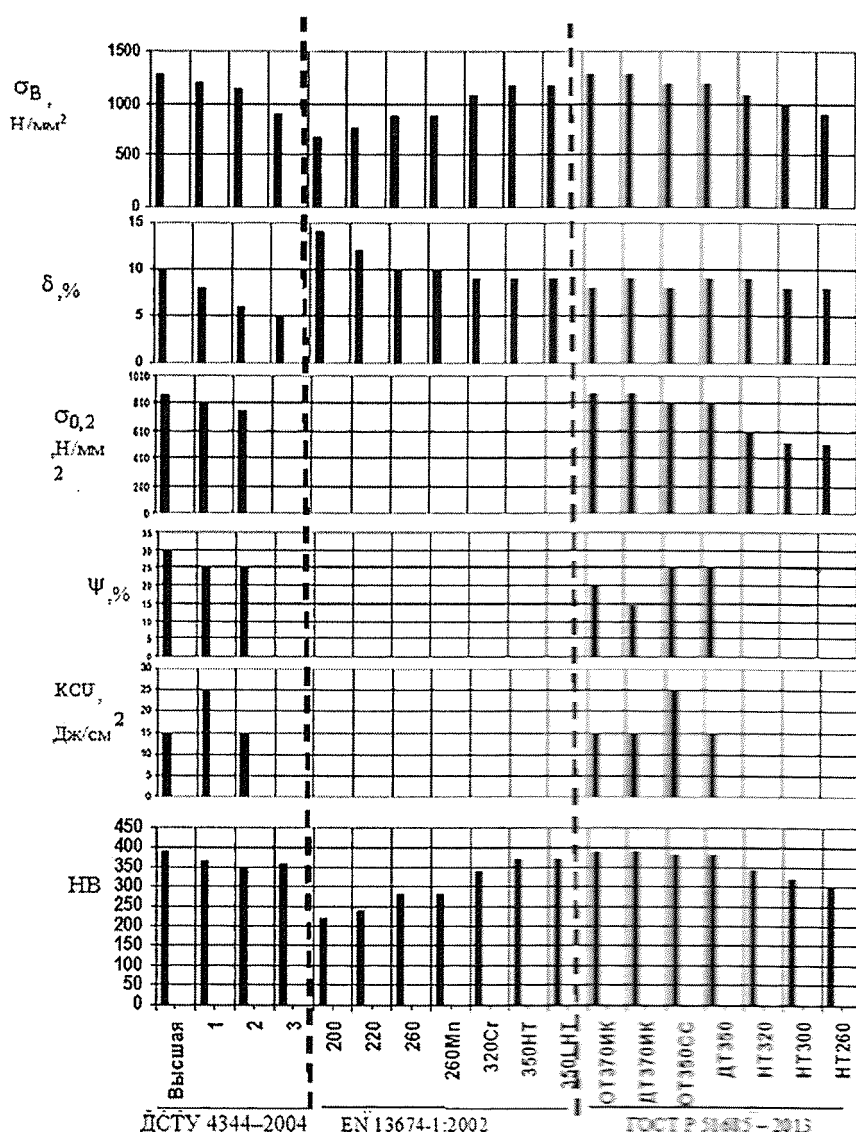


Рис. 3. Механические свойства стандартных рельсовых сталей

ния титана допускается от 0,0025 до 0,007 %, что более чем трехкратная разница. Стандарт формирует 18 марок сталей с учетом типа плавильного агрегата. В стандарт введено 6 марок мартеновских сталей (М), 6 марок кислородно-конвертерных сталей (К) и 6 марок электросталей (Э). По среднему значению содержания основных химических элементов марки сталей с маркировками «М», «К» и «Э» не отличаются друг от друга в пределах базовой марки. Учитывая реальное состояние вопроса по выбору, возможности приобретения и подготовке шихтовых материалов, степени и точности контроля их химического состава, уровень и допустимый разброс содержания легирующих элементов в сталях разных марок, очевидно, что при определении марки стали в рельсе, по признаку химического состава, могут возникать ситуации, когда сталь каждой последующей плавки может быть отнесена к другой марке стали либо соответствовать нескольким маркам сталей.

Стандарт pr EN 13674-1:2002 регламентирует 7 марок рельсовых сталей. Химический состав данных рельсовых сталей сформирован на комплексное легирования С, Si, Mn, Cr, V, Al и N. В сравнении с базовым комплексом легирования рельсовых сталей

стандарта ДСТУ 4344–2004, в комплекс легирования стандартом pr EN 13674-1:2002 дополнительно введены Cr, V и N. Титан, как легирующий элемент, в сталях стандарта pr EN 13674-1:2002 не применяют. В стандарте отсутствует маркировка стали в связи с типом плавильного агрегата. Все элементы указанного комплекса легирования присутствуют во всех марках сталей стандарта pr EN 13674-1:2002 практически на одном уровне, кроме углерода. Среднее значение содержания углерода изменяется от 0,5 % в стали марки 200 до 0,77 % в стали 350LHT. Фактически, основным элементом, преимущественно изменяющим уровень свойств рельсовых сталей по стандарту pr EN 13674-1:2002, является углерод. Исключением является сталь 320 Cr, в которой содержание кремния поднято до 0,8 против 0,35 % характерное для всех остальных сталей, содержание ванадия поднято до 0,2 % против 0,35 % для остальных сталей и содержание хрома поднято до 1,0 % против 0,15 % в остальных сталях. В стали марки 260Mn содержание марганца поднято до 1,5 против 1,0 %, характерного для всех остальных марок сталей.

Стандарт ГОСТ Р 51685–2013 регламентирует 7 марок рельсовых сталей. Базовым легирующим комплексом используют С на уровне 0,8 %, Si – 0,4 %, Mn – 1,0 %, V – 0,1 %, N – 0,015 % и Al – 0,004 %. Титан, как легирующий элемент, в рельсовых сталях стандарта ГОСТ Р 51685–2013, как и в сталях стандарта pr EN 13674-1:2002, не применяют. Следует отметить сталь 76ХСФ, в которой повышено содержание хрома до 0,9 % и кремния до 0,7 %. В сталях марок 76ХФ, 76ХСФ и 76Ф легирование азотом не предусмотрено. Наиболее высокое содержание фосфора и серы допускается стандартом ДСТУ 4344–2004 и составляет 0,03 и 0,025 %, соответственно. Стандартом pr EN 13674-1:2002 содержание фосфора в рельсовых сталях регламентируется практически на уровне или чуть ниже, чем в ДСТУ 4344–2004, и составляет от 0,025 до 0,03 %.

Допустимое содержание серы по регламенту стандартов pr EN 13674-1:2002 и ГОСТ Р 51685–2013 допускается не более 0,02, что ниже допустимого содержания серы по регламенту стандарта ДСТУ 4344–2004. Только для стали марки 220 регламентируется содержание серы не более 0,015 %. Для стали марки 200 допускается подъем содержания серы до 0,025 %. Только стандарт pr EN 13674-1:2002 устанавливает содержание кислорода ($\max 20 \times 10^{-4} \%$ (ppm)) и водорода ($\max 2,5\text{--}3,0 \times 10^{-4} \%$ (ppm)) в рельсовой стали.

Перечень контрольных механических свойств и уровни их предельных значений приведены на рис. 3.

Стандарт ДСТУ 4344–2004 регламентирует уровень механических свойств сталей в рельсах в связи с их категорией без видимой привязки к химическому составу сталей. Механические свойства сталей установлены для четырех категорий рельсов (высшая, 1, 2 и 3). Контрольными показателями определены предел прочности и предел текучести при растяжении, сужение, удлинение, ударная вязкость и твердость по Бринеллю.

Стандарт pr EN 13674-1:2002 определяет контрольные показатели свойств для 7-ми марок сталей. Марки сталей соответствуют регламенту марок сталей по химическому составу. Контрольными показателями определены предел прочности при растяжении, относительное удлинение и твердость по Бринеллю. Можно отметить определенную корреляцию уровня механических свойств стали в рельсе с их химическим составом, в частности, с уровнем содержания углерода. Стандартом pr EN 13674-1:2002 не предусмотрен контрольный показатель «ударная вязкость» рельсовых сталей.

Стандарт ГОСТ Р 51685–2013, аналогично стандарту ДСТУ 4344–2004, регламентирует шесть контрольных показателей свойств рельсовых сталей, однако не для марок сталей, а сталей в рельсах 7-ми категорий. В регламенте стандарта ГОСТ Р 51685–2013 корреляция уровней свойств и химического состава сталей практически не наблюдается.

Максимальное и минимальное значения предела прочности при растяжении

сталей, в приведенных выше стандартах, примерно равны и составляют 1300 и 700 МПа, соответственно.

Требования по уровню предела текучести в стандартах pr EN 13674-1:2002 и ГОСТ Р 51685 – 2013 несколько выше, чем требования по данному показателю, указанные в стандарте ДСТУ 4344–2004, что хорошо коррелирует с требованиями стандартов по содержанию серы и фосфора в рельсовых сталях.

Уровень пластических характеристик ДСТУ 4344–2004 устанавливает несколько ниже, чем pr EN 13674-1:2002 и ГОСТ Р 51685–2013.

Ударную вязкость рельсовых сталей определяют при комнатной температуре. ГОСТ Р 51685–2013 устанавливает уровень ударной вязкости для рельсов категории ОТ350НН и ДТ350НН, дифференцированно термоупрочненных с повторного нагрева, не менее 25 Дж/см при температуре минус 60 °С.

Выводы

- Актуальную на сегодняшний день адаптацию стандартов Украины к полю стандартов Европы провести проблематично именно по причине различных принципов маркировки рельсовых сталей и маркировки рельсов.

- Несоответствие маркировки рельсовых сталей по признаку химического состава и маркировка рельсов из разных марок сталей по признаку «категория» обуславливает проблемы при возврате изношенных рельсов в качестве исходного сырья на металлургический передел для выплавки рельсовых сталей.

- Регламенты механических свойств стандартных рельсовых сталей в стандартах ДСТУ 4344 – 2004, pr EN 13674-1:2002 и ГОСТ Р 51685–2013 построены на разных принципах.

- При разработке новых марок рельсовых сталей следует провести детальный анализ причин, по которым стандарт Европы предусматривает приоритет маркировки рельсовых сталей по химическому составу без регламента маркировки рельсов из разных сталей по признаку «категория» или типу плавильного агрегата.

- Целесообразно изучить вопрос прекращения использования титана как легирующего элемента в рельсовых сталях стандарта ДСТУ 4344 – 2004.

- Актуальным является вопрос разработки и постановки на производство отечественной рельсовой стали, легированной азотом.

- Изменения материалов пары трения колесо-рельса без соответствующей адаптации стандартов приведет к непрогнозируемому повышению интенсивности изнашивания элементов пары трения, а следовательно к снижению ресурса работы пары.

Список литературы

1. Локтионов-Ремизовский В. А., Кирьякова Н. В., Грибов Н. Н., Шипицин С. Я. Стандартные и новые колесные стали // Процессы литья. – 2019. – № 1. – С. 50–60.
2. Стандарт Украины ДСТУ 4344 – 2004. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия.
3. Стандарт Европы pr EN 13674-1:2002. Railway applications – Track – Rail – Part.
4. Стандарт РФ ГОСТ Р 51685 – 2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия.

Поступила 12.08.2019

References

1. Loktionov-Remizovsky, V.A., Kiryakova, N.V., Gribov, N.N., Shipitsin, S.Ya. (2019) Standard and new wheel steels. Casting processes, no. 1, pp. 50–60 [in Russian].
2. Standard of Ukraine DSTU 4344 - 2004. Railway rails. General technical conditions.
3. Europe standard pr EN 13674-1: 2002. Railway applications – Track – Rail – Part.
4. Standard of the Russian Federation GOST R 51685 – 2013. Railway rails. General technical conditions.

Received 12.08.2019

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

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

Н. В. Кір'якова, гол. технолог

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДУ, ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА МАРКУВАННЯ СТАНДАРТНИХ РЕЙКОВИХ СТАЛЕЙ

Виконано порівняльний аналіз хімічних складів, механічних властивостей і маркування рейкових сталей, встановлених стандартами України, Європейського союзу і Російської Федерації. Встановлено базові комплекси легування і схеми додаткового легування рейкових сталей стандартів різних країн. Стандарт України відображає в маркуванні рейкових сталей тип плавильної печі, в якій виплавляють сталь. Стандарт України проводить маркування рейок з урахуванням рівня властивостей сталі і встановлює чотири категорії рейок, які можна виготовляти з 18 марок рейкових сталей. Рівень властивостей сталі в рейках досягається термічною обробкою рейок. За стандартами Європейського союзу і Російської Федерації тип рейок визначається маркою сталі. Базові комплекси легування за стандартами України, Євросоюзу та РФ подібні. За стандартами Євросоюзу і РФ, схеми додаткового легування включають хром, ванадій і азот. Стандарт України не використовує хром, ванадій і азот, але використовує титан у двох марках сталей. Стандарти Європейського союзу і Російської Федерації регламентують по 7 марок рейкових сталей. Рівень властивостей рейкових сталей по стандартам України, Європейського союзу і Російської Федерації знаходиться практично на одному рівні. Стандарти Європейського союзу і Російської Федерації передбачають рівень межі текучості рейкових сталей вище, ніж вимоги стандарту України. Встановлено, що без відповідної адаптації стандартів між собою не можуть проводитися взаємні заміщення рейок, виготовлених у різних країнах.

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

V. A. Loktionov-Remizovsky, Doctor of Engineering Sciences, Leading Researcher,
e-mail: loktionov@ptima.kiev.ua

S. Ya. Shipitsyn, Doctor of Engineering Sciences, Head of Department

N. V. Kiryakova, Chief Technologist

Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS Kyiv of Ukraine (Kiev, Ukraine)

SOME FEATURES OF COMPOSITIONS, PROPERTIES AND MARKING STANDARD RAIL STEELS

A comparative analysis of the chemical compositions, mechanical properties and marking of rail steels established by the standards of Ukraine, the European Union and the Russian Federation is carried out. The basic alloying complexes and schemes for additional alloying of rail steels of the standards of different countries are established. The Ukrainian standard displays in the marking of rail steels the type of melting furnace in which steel is smelted. The Ukrainian standard marks rails based on the level of steel properties and establishes four categories of rails. Four categories of rails can be made from 18 grades of rail steels. The level of steel properties in rails is achieved by heat treatment of rails. According to the standards of the European Union and the Russian Federation, the type of rails is determined by the grade of steel. The basic alloying complexes are similar according to the standards of Ukraine, the European Union and the Russian Federation. According to the standards of the European Union and the Russian Federation, additional alloying schemes include chromium, vanadium and nitrogen. The Ukrainian standard does not use chromium, vanadium and nitrogen, but uses titanium in two steel grades. The standards of the European Union and the Russian Federation regulate 7 grades of rail steels. The level of properties of rail steels according to the standards of Ukraine, the European Union and the Russian Federation is almost at the same level. The standards of the European Union and the Russian Federation provide a level of yield strength of rail steels higher than the requirements of the standard of Ukraine. It was established that without appropriate adaptation of the standards among themselves, mutual replacements of rails manufactured in different countries cannot be carried out.

Keywords: standard, rail, steel composition, properties.