

Потенциал повышения качества рельсов. Совершенствование технологии механико-термической обработки

Т. С. Лебедева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
lebedeva_ts@spbstu.ru

Аннотация. Проблема повышения скорости железнодорожного транспорта накладывает определённые требования к качеству рельсов. В настоящее время стоит основная задача перед промышленностью Российской Федерации выпуск рельсов для высокоскоростных магистралей отечественного производства, взамен используемых импортных. Улучшение качественных характеристик рельсов связывают с рядом возможных трансформаций. Следует отметить что ряд таких изменений практически исчерпал себя. К таким возможностям относятся: изменение сечения в сторону увеличения массы рельсов, повышение содержания углерода и легирования стали.

Ключевые слова: рельс; высокоскоростная магистраль; импортозамещение; технология производства; металловедение; качество; легирование; бейнит; перлит

I. ВВЕДЕНИЕ

Основу научных изысканий в настоящее время составляет совершенствование технологии производства и обработки рельсов включающих комплекс мероприятий по выплавки, внепечной обработки, разливки и термообработки металла, которые призваны оптимизировать химический состав стали и обеспечить оптимальную структуру на выходе [1].

Контакт колеса с рельсами создает высокие напряжения как в рельсах, так и в колесах, что может привести к различным повреждениям, таким как пластическая деформация, износ и контактная усталость при качении. Очень важно использовать высококачественные стали, устойчивые к этим повреждениям. Механические свойства и разрушение стали определяются различными микроструктурными особенностями, такими как размер зерна, фазовая доля, а также каково пространственное распределение и морфология этих фаз в микроструктуре.

Трибомеханические особенности не дают возможности унифицировать рельсовую сталь, так как для определенных участков будет подходить та или иная сталь.

II. ИСТОРИЯ СКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

В начале 1990-х годов в мире появились высокоскоростные железные дороги, отечественным рельсопрокатчикам в то время было не до инноваций. До 2013 года Россия не имела технологии дифференцированной закалки стометровых рельсов. Их основной покупатель ОАО «Российские железные дороги» (РЖД) для обновленных участков высокоскоростного движения вынужден был закупать рельсы японского и австрийского производства. В 2013

году РЖД закупила 950 тыс. тонн рельсов, из них 20% было выпущено за рубежом.

В 2014 году на Челябинском меткомбинате («Мечел») запустили универсальный рельсобалочный стан мощностью 1,1 млн тонн продукции в год, из которых на рельсы приходится до 400 тыс. тонн в год (рис. 1). А на входящем в Evraz Западно-Сибирском меткомбинате (ЗСМК) завершили реконструкцию рельсопрокатного стана мощностью 950 тыс. тонн рельсов, включая 450 тыс. тонн стометровых рельсов.

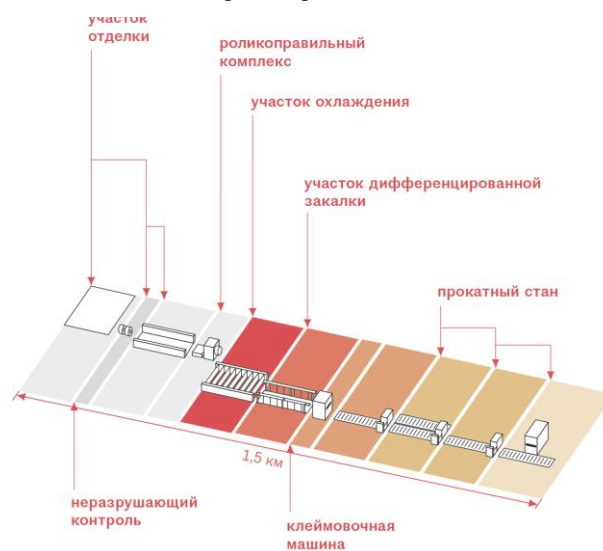


Рис. 1. Общая схема производства стометровых рельсов

РЖД ежегодно наращивает закупки продукции – например, с 628,4 тыс. тонн в 2015 году они увеличились до 1056 тыс. тонн в 2017-м. (рис. 2).

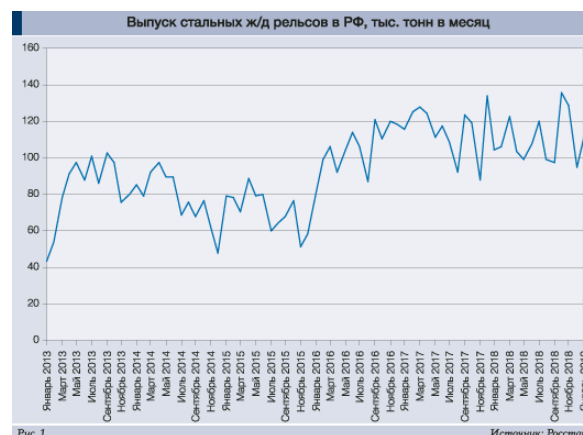


Рис. 2. Дефицит на железных дорогах

III. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2015 году были осуществлены безрезультатные, на тот момент поставки отечественных рельсов длиной 100 м типа Р65 (рис. 3) категории ДТ350 в количестве 4500 км пути. ОАО «ВНИИЖТ» были специально для такого производства разработаны технические условия ТУ 0921-231-01124323-2014 «Рельсы железнодорожный широкой колеи. Общие технические условия». Была разработана и опробирована партия рельсов ДТ350Ш с высотой головки рельсов на 4 мм больше, с ресурсом до 1,5 млн т.

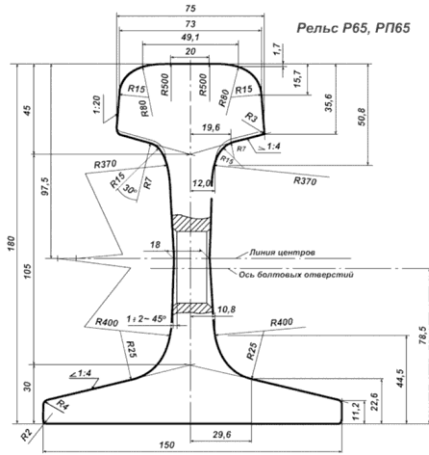


Рис. 3. Рельс типа Р65

Ключевыми экономическими показателями от применения длинных рельсов являются:

- сокращение расхода металла за счёт уменьшения стыковок;
- уменьшение динамического воздействия на путь в зоне стыков;
- уменьшение износа рельсов и ходовых частей подвижного состава;
- сокращение выхода из строя рельсов по стыковым дефектам;
- уменьшение сопротивления движению поездов и снижение шумового воздействия на окружающую среду;
- сокращение издержек по содержанию и ремонту пути и подвижного состава;
- увеличение срока службы рельсов 100 метровой длины на 20 %;
- уменьшение трудозатрат и средств на текущее содержание 1 км пути на 25–30 %; увеличение скоростей движения [2] (рис. 4).

Наименование сертификационных показателей	Категория рельсов	
	ДТ350 (сталь Э76ХФ)	Т1 (сталь Э76Ф)
Твердость в шейке и подошве, НВ	менее 352 и 363	менее 388
Ударная вязкость, Дж/см	15	25
Содержание кислорода, %	менее 0,002	менее 0,004
Содержание алюминия, %	менее 0,004 %	менее 0,020
Содержание хрома, %	0,20–0,80 %	менее 0,20 %
Работоспособность (вероятность безотказной работы), %	100	80

Рис. 4. Сравнение основных показателей новых длинномерных 100-метровых рельсов ДТ-350 и прежних 25-метровых рельсов Т1

Основной причиной неудач, связанных с выпуском в РФ рельсов для высокоскоростного движения является

решение о применении низколегированных средне- и высокоуглеродистых сталей перлитной структуры, с содержанием углерода 0,71–0,82 %. При высокой статической прочности они показывают себя плохо со стороны динамики, вязкости, термостойкости, усталостной прочности, кроме того, под воздействием трибомеханических явлений в системе рельс-колесо, склонны к образованию аустенитных слоев, а это ведёт, в свою очередь к разрушениям тела, головки рельса, волнообразным деформациям (рис. 5).

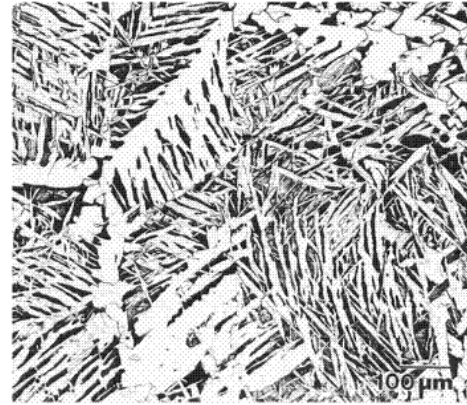


Рис. 5. Перлитная структура стали

Также следует максимально уменьшать количество нежелательных включений, пока НТП не решил эту проблему и нет технологии, позволяющей убрать вредные примеси, такие как:

- Азот – от 0,03 до 0,07%, нейтрализует легирующий эффект. Из-за него в толще профиля образуются нитриды, которые не поддаются термоупрочнению, а значит снижают механические свойства готовых элементов ВСП (рис. 6).

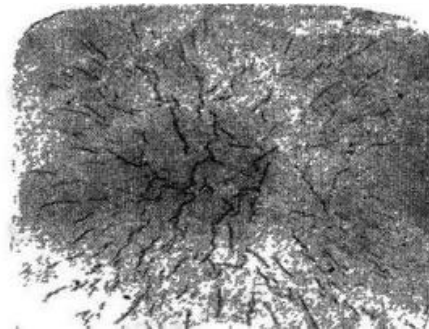


Рис. 6. Флокены в стали

- Сера – до 0,045% не дают сплаву быть податливым при горячей обработке под давлением. В результате после проката может получиться изделие, склонное к образованию трещин, и его придется сразу же отбраковать (рис. 7).

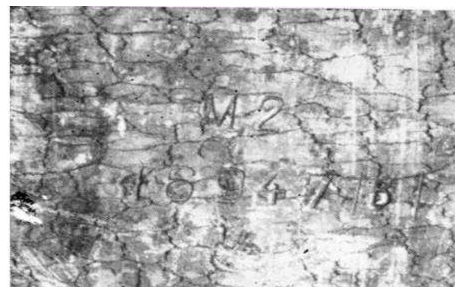


Рис. 7. Сера в стали

- Фосфор – до 0,035, повышает хрупкость металлоконструкции. С ним быстро накапливается усталость, что приводит к скорым расслоениям и разломам [3] (рис. 8).

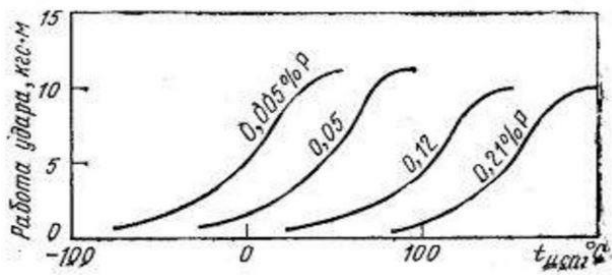


Рис. 8. Фосфор в стали

За рубежом активно используются бейнитные низкоуглеродистые рельсовые стали. Промышленно три бейнитных марки известны как В360, В1400 plus и Cr-Vainitic вместе с обычно используемым перлитным сортом R350HT.

Рельсовые пути из этих сталей легко свариваются и могут иметь очень высокие параметры прочности, деформации, устойчивы к растрескиванию в динамических и статических условиях. Всегда есть возможность спроектировать их химический состав, сделав поверхностную часть головки, по которой катятся колеса, с возможностью самообслуживания.

Самообслуживание протектора головки рельса в процессе эксплуатации, в данном случае, это последовательное удаление микротрещин и других дефектов, известных под разными наименованиями, например, как приседание, проверка головы, белые пятна, гофрированный износ и т. д., абразивным истиранием уже во время сцепления колес вагона с рельсами. Поэтому такие рельсы не нуждаются в специальной периодической шлифовке для устранения этих дефектов, поскольку поверхность остается практически неизменной.

Химический состав этих сталей, представлен на рис. 9. Бейнитные стали имеют меньше углерода по сравнению с перлитным сортом. В360 имеет самое низкое содержание углерода ($\approx 0,27\%$ масс.) и высокая концентрация Si. Бейнитные стали 1400 (В1400) и хромобейнитные (CrB) стали имеют равное содержание углерода ($\approx 0,36$ мас.%) с разной концентрацией других легирующих элементов.

Steel Grade	C	Cr	Mn	Si	V	Mo	S	Cu	Al	P	Ni	N
B360	0.269	0.51	1.547	1.36	0.033	0.148	-	-	-	-	-	0.006
B1400	0.363	1.146	0.934	0.694	0.095	0.713	0.0009	0.242	-	-	0.223	0.008
CrB	0.367	2.722	0.726	0.595	0.109	0.3	0.0008	0.05	0.0069	0.0059	0.059	0.009
R350HT	0.72	0.11	1.1	0.5	-	-	-	-	0.004	0.02	-	-

Рис. 9. Химический состав сталей

Механические свойства этих сталей представлены на рис. 10–16.

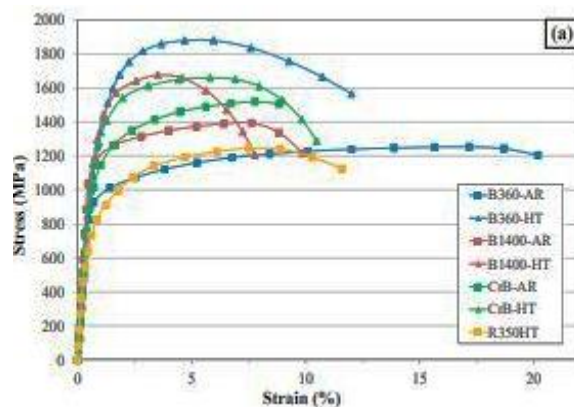


Рис. 10. Кривые напряжения-деформации

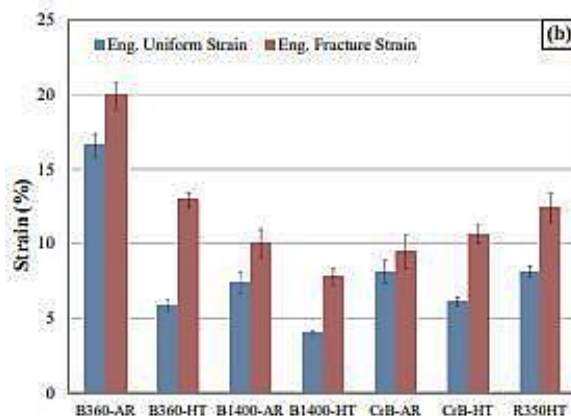


Рис. 11. Равномерная деформация, деформация разрушения

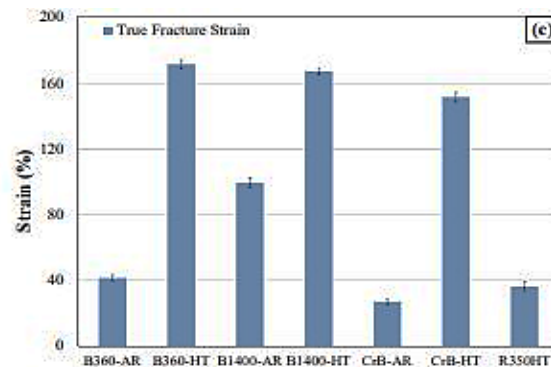


Рис. 12. Деформация полного разрушения

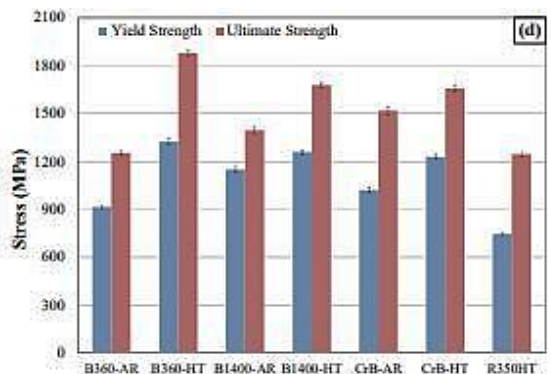


Рис. 13. Текучесть и предел прочности

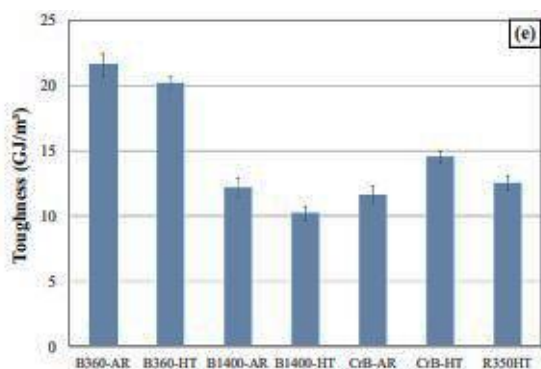


Рис. 14. Вязкость

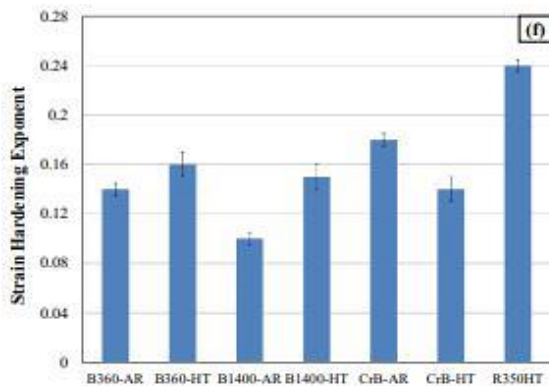


Рис. 15. Показатель деформационного упрочнения

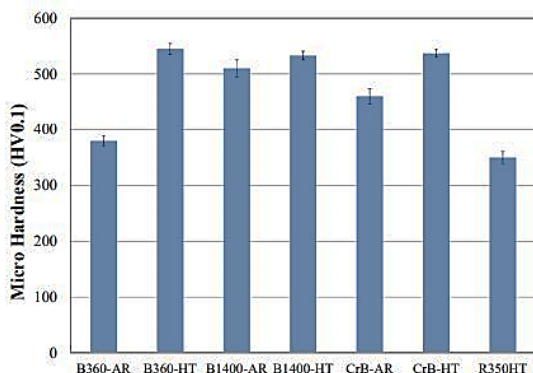


Рис. 16. Твердость

Результаты показывают, что безкарбидная бейнитная сталь (B360) после изотермической термообработки обеспечивает лучшие механические характеристики среди этих сталей из-за очень мелкой, безкарбидной бейнитной микроструктуры, состоящей из бейнитного феррита и планки из остаточного аустенита.

IV. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- Все три бейнитные стали (независимо от термообработки) работают лучше, чем перлитная сталь R350HT в отношении прочности на разрыв, пластичности и твердости.
- За счет использования низкой температуры бейнитного превращения и предоставления для этого достаточно времени почти достигается полное бейнитное превращение. В результате более мелкая бейнитная микроструктура с блочным остаточным аустенитом меньшего размера (по сравнению со сталью в состоянии поставки), почти нет мартенсита. Это изменение

микроструктуры приводит к лучшим механическим свойствам.

- Для марок B1400-HT и CrB-HT изотермическая термообработка приводит к уменьшению размера карбидов (по сравнению со сталью в состоянии поставки), которые расположены близко друг к другу (в основном внутри бейнитной решетки). Это приводит к более высокому пределу текучести термообработанных марок по сравнению с сравниваемыми условиями.
- Твердость бейнитных сталей повышается при термообработке за счет получения большой фракции нижнего бейнита, который мельче, прочнее и тверже верхнего бейнита.
- Самая высокая прочность, пластичность и ударная вязкость среди всех сталей у B360-HT. Эти улучшенные свойства связаны с отсутствием карбидов и мартенсита, и формированием тонкой бейнитной микроструктуры, состоящей из планок бейнитного феррита, тонкой пленки остаточный аустенита.

Так как ситуация с полной заменой железнодорожных плетей сейчас представляется маловероятной, стоит обратить свой взор на один из не менее перспективных способов улучшения качества рельсовой стали, которым является разработка и улучшении режимов термообработки которая обеспечивает глубину и прочность закалённого слоя, а тем самым определяет высокие показатели эксплуатационных свойств металла. Сегодня на заводах РФ чаще всего используют три варианта возможной термообработки: объемная закалка в масло с последующим отпуском, поверхностная закалка с индукционным нагревом и поверхностная закалка с объемным печным нагревом. Постоянно ведутся работы по совершенствованию термомеханической технологии обработки [4].

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автором совместно с коллегами разработана технология упрочняющей термообработки рельсов P65 которая позволила достичь уровня свойств, требуемых по ГОСТ Р 51685 – 2000. Основным направлением научных изысканий в настоящий момент является применение данной технологии для рельсов высокоскоростных магистралей с целью определить возможности улучшения свойств поверхности и возможность обработки рельсов методом «на месте».

VI. ПЕРСПЕКТИВЫ

Новая технология программной механико-термической обработки [5] позволит, по мнению авторов, отсрочить вопросы дорогостоящей переналадки металлоемких производств и решение вопроса состава металла бейнитного ряда.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает благодарности за предоставленные возможности Радкевичу М.М., Кузьминой С.Н., Шуру Е.А., Соложенкину С.В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Лебедева Т.С., Яковлев А.А., Ливинцова М.Г. Смешанные методы бережливого производства в приложении к процессам промышленных предприятий // Кластеризация цифровой экономики: Глобальные вызовы. Сборник трудов национальной

- научно-практической конференции с зарубежным участием. В 2-х томах. / Под ред. Д.Г. Родионова, А.В. Бабкина. 2020. С. 564-570.
- [2] Шипицин С.Я., Осташ О.П., Кулик В.В., Кирчу И.Ф., Новицкий В.Г. Новая сталь для железнодорожных колес с повышенным ресурсом // *Металлургия машиностроения*. 2020. № 2. С. 12-13.
- [3] Троцан А.И., Каверинский В.В., Белов Б.Ф., Бродецкий И.Л., Иценко А.И. Математическое моделирование поведения кислорода и серы в стали при обработке марганцем, кремнием, алюминием и кальцием // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2014. № 5 (1373). С. 62-67.
- [4] Алисин В.В., Покидько Б.В., Рошин М.Н., Силова Т.В., Юдкин В.Ф. Триботехнические испытания смазочных материалов для лубрикации системы "колесо-рельс" высокоскоростного железнодорожного транспорта // *Трибология - Машиностроению. Труды XI Международной научно-технической конференции*. Институт машиноведения им. А.А. Благонравова. 2016. С. 9-11.
- [5] Радкевич М.М. Формирование структуры сталей при программной механико-термической обработке // *Современное машиностроение. Наука и образование*. 2014. № 4. С. 1199-1204.