

Г.В.Левченко, Е.Е.Нефедьева

## ТРЕБОВАНИЯ СТАНДАРТОВ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ МАКРО – И МИКРОСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ОСЕЙ

В работе выполнен анализ требований отечественных и зарубежных стандартов предъявляемых к осям для подвижного состава железных дорог. Особое внимание в рассмотренных стандартах уделяется требованиям по микроструктуре стали. Показано, что для их обеспечения и повышения качества готовых осей необходимо улучшать проработку металла по сечению заготовки, а также оптимизировать параметры деформационно-термической обработки осей.

**оси для подвижного состава железных дорог, стандарт, деформационно-термическая обработка, микроструктура, ,**

**Состояние вопроса.** В связи с увеличением скорости движения пассажирских и грузовых поездов повышение прочности и надежности осей колесных пар представляет собой одну из наиболее важных задач, решение которой повышает безопасность железнодорожного транспорта.

Для потребителя основными показателями качества проката являются его конечные механические, технологические и эксплуатационные свойства, удовлетворяющие установленным требованиям. Качество готового проката в значительной степени зависит от исходного состояния слитка или непрерывнолитой заготовки (НЛЗ). Наличие несплошностей строения, имеющих кристаллизационное происхождение, характерно для непрерывнолитых заготовок. Эти опасные дефекты макроструктуры, а также неравномерность микроструктуры по сечению заготовки наследуются готовым прокатом и являются препятствием для получения качественной готовой продукции.

**Целью работы** является проведение анализа требований отечественных и зарубежных стандартов предъявляемых к осям для подвижного состава железных дорог.

**Изложение основных результатов исследования.** Во многих отечественных, зарубежных и международных стандартах на оси, которые являются основным элементом неподрессоренной массы тележки, отражены требования, предъявляемые к показателям, отвечающим за качество железнодорожных осей.

Отечественные, зарубежные и международные стандарты на железнодорожные оси отличаются. В работе [1] анализ требований к катаным и кованым осям показал, что оси для железнодорожного транспорта во всех странах изготавливают в основном из углеродистой спокойной стали обыкновенного качества, полученной мартеновским, кислородно-конверторным или электродуговым способом.

Требования к химическому составу применяемых сталей приведены в табл.1.

Таблица 1. Требования к химическому составу стали

Стандарты	Массовая доля элементов, %										Содержание элементов варьируется в зависимости от марки стали
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cu	Cr	Mo	V	
Отечественные: [2,3]	0,42 -	0,60 -	0,15 -	0,035	0,035	0,30	0,25	0,30	-	-	
	0,50	0,90	0,35								
Зарубежные: [4-11]	0,17 -0,9	0,15 -1,6	0,15 -0,5	0,025 -0,05	0,025 -0,04	0,15 -0,3	0,25 -0,3	0,2- 1,2	0,05 -0,4	0,05- 0,1	

В зависимости от условий эксплуатации подвижного состава для изготовления осей используют сталь с различным химическим составом и различными видами термической обработки. В частности, это отражено в стандартах МС ИСО 1005/3–1982 (Е), Англии – BS 5892-1983 и Ассоциации американских железных дорог – М 101-90. Стали группы А3, А4 стандартов [4,7] можно отнести к легированным сталям, которые подвергаются закалке и отпуску.

Механические свойства, являющиеся одними из ключевых показателей качества проката, зависят от химического состава стали и ее термической обработки. В табл.2, представлены требования отечественных стандартов [2,3] к механическим свойствам металла термически обработанных черновых осей.

Таблица 2. Механические свойства и ударная вязкость

Временное сопротивление при растяжении $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	Предел текучести $\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость при 20 <sup>0</sup> С КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
	не менее		среднее значение, не менее
Образцы из подступичной части			
580-610	300	20	49
620-640	310	19	39
650 и более	325	18	34
Образцы из шейки или технологического припуска			
600-620	310	20	54
630 и более	330	19	44
Примечание - Нормы по пределу текучести факультативны			

Требования зарубежных стандартов [4–11] к механическим свойствам осевой стали находятся в интервалах:

временное сопротивление разрыву  $\sigma_b=500–910$  Н/мм<sup>2</sup>;  
предел текучести  $\sigma_T=260–530$  Н/мм<sup>2</sup>;

относительное удлинение  $\delta=14-24\%$ ;

относительное сужение  $\psi=25-55\%$  [6,8,11];

ударная вязкость  $a_n^{+20}$  KCV=20–40 [4], KCU=20-50 [7–10] и в зависимости от вырезки образцов [5–11]: продольных KCU=50-80, поперечных KCU=20–40 Дж/см<sup>2</sup>.

Надежность осей в эксплуатации определяется достоверностью контроля в соответствии с требованиями нормативной документации. Основные методы испытаний и нормы контроля качества осей следующие. Механические свойства осей после термообработки определяют, по требованиям всех стандартов, на образцах для растяжения и на ударный изгиб, которые вырезают из середины радиуса шейки или припуска. В стандартах [2,3] предусмотрена вырезка проб из элемента черновой оси – шейки или технологического припуска, а также из подступичной части, которая является критерием укова при производстве черновых осей.

Требования по контролю качества макроструктуры металла, для катаной исходной заготовки или черновой оси изготовленной из слитка, наиболее полно отражены в стандартах [2,6]. Требования к макроструктуре металла определяются, как правило, заказчиком. Вместе с тем во всех стандартах присутствует одно общее требование к макроструктуре – она не должна иметь таких дефектов, как усадочные раковины, рыхлости, флокены, трещины, пористости, расслоения, чрезмерные ликвации, видимых невооруженным глазом (рис.1).

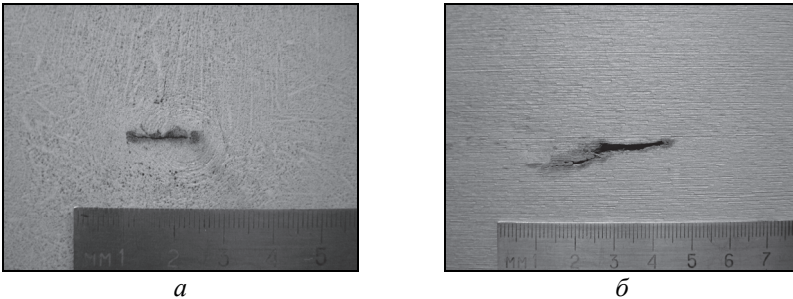


Рис.1. Примеры дефектов макроструктуры шейки оси: а - усадочная раковина; б – продольная трещина

В большинстве рассмотренных нами стандартов к микроструктуре металла предъявляются идентичные требования. Например, структура металла после термообработки должна быть не менее 5 баллов. В некоторые стандарты, например, [2,6], включены требования к однородности микроструктуры. Так, по ГОСТ 31334 микроструктура термообработанных черновых осей должна быть однородной перлитно-ферритной, величина зерна должна быть не крупнее номера 5.

Для контроля внутренних дефектов в черновой оси, во всех стандартах предусмотрен 100% неразрушающий контроль (УЗК), основное пре-

имущество которого заключается в возможности обнаруживать внутренние дефекты в осях. Ось, металл которой не прозвучивается, бракуется или подвергается повторной термической обработке и вновь проверяется ультразвуковым дефектоскопом.

На рис.2 представлены примеры критических дефектов в осях, вызывающие необходимость их отбраковки по УЗК. Наличие в подвижном составе осей с такой дефектной микроструктурой металла совершенно недопустимо по условиям прочности осей и безопасности движения.

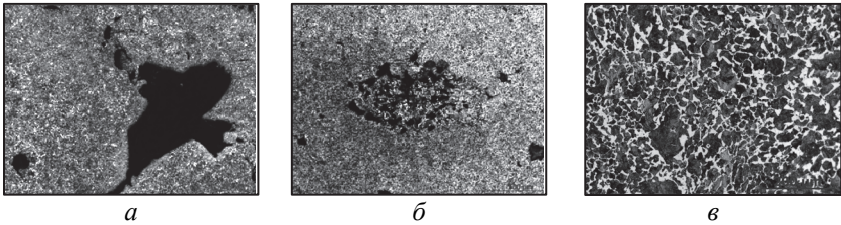


Рис.2. Примеры дефектов нормализованных осей не прошедших УЗК: а, б – поры; в - неравномерность микроструктуры (зерно крупнее 5 номера)

На Днепровском металлургическом комбинате (ДМК) производят канатные оси по отечественным и зарубежным стандартам [2,3,6]. Чтобы обеспечить жёсткие требования по равномерности структуры и величине зерна не крупнее 5 номера, оси подвергаются двум нормализациям. Если после таких операций показатели УЗК неудовлетворительные, то оси подвергают дополнительным термообработкам, что усложняет технологию и повышает расход энергии. УЗК не проходят и оси с наличием в центральных слоях макродефектов (пор, несплошностей строения и др.). Например, на ДМК отбраковка некоторых партий плавок, выявленных УЗК, может составлять более 10 %.

В 70-х годах прошлого столетия, был выполнен значительный объем исследований по изучению причин и механизмов образования внутренних дефектов при деформации проката больших сечений [12,13]. Рассмотрено влияние различных технологических факторов деформирования на образование внутренних дефектов и рекомендованы схемы деформирования, которые обеспечивают получение металла без внутренних дефектов. Однако указанные исследования проведены, в основном, для условий деформации малопластичных легированных сталей методомковки.

Ю.М.Чижиковим глубоко изученные вопросы формообразования и дефектообразования при деформации проката больших сечений [14], но очень поверхностно рассмотренные вопросы влияния деформации на макро- и микроструктуру проката.

В работе А.П.Чекмарева было рассмотрено влияние интенсификации режимов обжатий на блюминге на механические свойства и формирование зеренной структуры заготовки [15]. Однако, авторы не обратили вни-

вание на то, что интенсивность режимов обжатий слитков, оказывает влияние на качество термообработанного проката, в частности на равномерность получаемой зеренной структуры готовой оси.

В последние годы вопрос трансформации дендритной структуры изучали, в основном, относительно условий деформации проката из непрерывнолитого металла малых сечений [16–18].

Общим недостатком всех указанных работ является то, что в них не установлены закономерности наследственного формирования структуры стали в процессе деформации проката больших сечений и последующих его термических обработок.

В последнее время в Институте черной металлургии им. З.И. Некрасова выполнен ряд научно–исследовательских работ [19–23]. Результаты этих работ показали, что существует наследственное влияние особенностей ликвационных процессов и фазовых превращений, происходящих при кристаллизации стали, а также влияние температурно–деформационных параметров, на характер структурообразования в прокате. Показано, что формирование диспергированного структурного состояния металла, оказывает положительное влияние на комплекс прочностных и пластических свойств в прокате.

Для определения распространения деформации вглубь заготовки на практике используют разные методы. Например, для оценки степени проработки литой структуры часто применяют показатель продольной деформации (вытяжка  $\mu$ ), определяемый как отношение площадей поперечного сечения слитка и заготовки. В работе [24] для полной проработки литой структуры и получения качественного проката рекомендуется вытяжка более 10.

Вероятно, степень вытяжки позволяет прогнозировать изменение макроструктуры металла в результате деформации. Однако, этот показатель не учитывает изменение такого структурного критерия, как однородность. Который является одним из важных параметров оценки качества микроструктуры готового проката.

В работах [25,26] определены факторы, влияющие на глубину распространения деформации и закономерности формоизменения проката крупных сечений. Для оценки глубины распространения пластической деформации, т.е. глубины «проработки» деформируемого металла и его деформируемости в работе [27] были введены показатели

$$\bar{m} = \frac{h_{\text{деф}}}{h} \quad \text{и} \quad \delta = \frac{\sum \Delta h}{h_{\text{деф}}},$$

где  $h_{\text{деф}} = h'_{\text{деф}} + h''_{\text{деф}}$  – глубина проникания деформации от сжатия;  $h$  – высота раската, выходящего из калибра;  $\sum \Delta h$  – суммарное обжатие за  $n$  проходов без кантовок.

Но, все перечисленные методы являются трудоемкими и сложными в осуществлении на производстве.

**Заключение.** Из вышесказанного следует, что для улучшения макро- и микроструктуры железнодорожных осей необходимо решить такие задачи:

установить влияние напряженно–деформированного состояния металла при прокатке на трансформацию дендритной структуры;

разработать методику для определения степени проработки металла по сечению заготовки;

исследовать закономерности влияния проработки дендритной структуры по сечению заготовки на формирование конечной структуры с учетом влияния термической обработки металла.

1. *Требования национальных, зарубежных и международных стандартов к качеству железнодорожных осей.* А.Р.Пименов, В.В.Несвет, Д.П.Кукуй и др. *Металл и литье Украины*, №7–8, 2006 г. С.67–73
2. *ГОСТ 31334–2007 «Оси для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм».*
3. *ТУУ 27.1–23365425–639:2008 «Профили периодической винтовой прокатки из непрерывнолитой заготовки».*
4. *Международный стандарт (МС) ИСО 1005/–1982 (Е) «Материалы для железнодорожного подвижного состава. Часть 3. Оси для тягового и прицепного подвижного состава. Требования к качеству».*
5. *Международный железнодорожный европейский союз UIC 811–1 «Технические условия поставки осей для железнодорожного подвижного состава».*
6. *Ассоциация американских железных дорог – М101–90 «Оси из термообработанной и нетермообработанной углеродистой стали».*
7. *Британский стандарт – BS 5892. Часть 1. 1983. «Материал для железнодорожного подвижного состава. Оси для тягового и подвижного состава».*
8. *Индийский железнодорожный стандарт – IRS–R–16–95 «Стальные оси для пассажирских и грузовых вагонов».*
9. *Турция – TTS 093 «Технические условия на оси».*
10. *Польша PN71/K–91046 «Железнодорожный подвижной состав».*
11. *Италия UNI 6551–69 «Железнодорожный подвижной состав».*
12. *Дзугутов М.Я. Внутренние разрывы при обработке металлов давлением. – М.: Металлургиздат. – 1958. – 208 с.*
13. *Дзугутов М.Я. Напряжения и разрывы при обработке металлов давлением. – М.: Металлургия. – 1974. – 280 с*
14. *Чижигов Ю.М. Прокатываемость стали и сплавов. – М. – 1961. – 451 с.*
15. *Интенсификация режима обжаты на блюминге 1150.* А.П.Чекмарев, В.Л.Павлов, В.М.Клименко и др. // *Сталь*, 1955. – № 10. – с. 916–921
16. *Разливка с обжатием тонких слэбов на заводе фирмы Маннесманн-Рен-Верке в Дуйсбурге–Хукингене.* Г.Ю.Эренберг, Л.Паршат, Ф.П.Плешиутшниц и др. // *Черные металлы.* – 1988.–№ 9.– С. 3–11

17. *Агрегаты* по производству горячекатаной полосы из тонкой непрерывнолитой заготовки. Г.Флеминг, П.Каппес, В.Род, Л.Фогтман // *Черные металлы.* – 1988. – № 3. – С. 3–12
18. *Последние* достижения в освоении промышленного производства тонкой стальной полосы. П.Кемпбелл, В.Блейдж, Р.Махапатра, Р.Векслер // *Металлург.* – 2004. – № 10. – С. 39–43
19. *Влияние* условий кристаллизации на преемственную концентрационную микронеоднородность и механические свойства горячекатаного проката. Г.В.Левченко, К.Г.Демина, П.Д.Грушко и др. // *Металловедение и обработка металлов.* – 2005. – № 1. – С. 9–14.
20. *Методика* расчета величины зерна в горячекатаном прокате с учетом влияния степени разупрочнения металла за время пауз между деформациями. С.А.Воробей, Г.В.Левченко, С.М.Жучков и др. // *Тр. междунар. конф. «Металлургия и литейное производство 2007».* – Г. Жлобин: Беларусь. – 2007. – С. 147–150.
21. *Особенности* качества непрерывнолитых заготовок различного сечения. В.С.Лучкин, С.А.Воробей, Г.В.Левченко и др. // *Металл и литье Украины.* – 2005. – № 5. – С. 30–33.
22. *Анализ* влияния напряженно–деформированного состояния металла при прокатке в круглом калибре на образование поверхностных дефектов трубной заготовки. С.В.Ершов, Г.В.Левченко, Е.Е.Мостипан и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2008. – № 2. – С. 44–47
23. *Трансформация* дендритной структуры на всех этапах производства железно-дорожных осей. Г.В.Левченко, С.В.Ершов, Е.Г.Дёмина и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2008. – № 2. – С. 74–76.
24. *Правосудович В.В., Сокуренок В.П., Данченко В.Н.* Дефекты стальных слитков и проката. – М.: «Интернет Инжиниринг», 2006. – 382 с.
25. *Голубев Т.М.* Особенности деформации слитка на блюминге // *Труды ВНИТОМ.* Том 2. – М.: Металлургиздат, 1954. – С. 57–73.
26. *Александров П.А.* Противоречия в современном направлении конструирования блюмингов и пути разрешения их // *Сб. науч. трудов. Обработка металлов давлением.* Вып. 2. – М.: Металлургиздат, 1954.
27. *Клименко В.М.* К вопросу об определении деформируемости металла и распределения напряжений при прокатке крупных слитков // *Сб. науч. трудов. Прокатное производство.* Том 11. – Изд-во АН УССР, 1957. – С. 86–97.

*Статья рекомендована к печати  
проф., докт. техн. наук В.В.Парусовым*

### ***Г.В.Левченко, О.Є.Нефедьєва***

#### **Вимоги стандартів і шляхи поліпшення макро - і мікроструктури залізничних вісей**

Проаналізовано вимоги вітчизняних і зарубіжних стандартів до вісей для рухомого складу залізниць. Особлива увага в розглянутих стандартах приділяється вимогам до мікроструктури сталі. Показано, що для їх забезпечення і підвищення якості готових вісей необхідно покращувати проробку металу по перетину заготовки, а також оптимізувати параметри їх деформаційно–термічної обробки.