

Г.В.Левченко, Т.В.Грицай

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ОСЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК РАЗЛИЧНОГО СЕЧЕНИЯ

В работе проведен детальный анализ макроструктуры, распределения неметаллических включений, особенностей формирования дендритной и зеренной структуры на основных этапах производства железнодорожных осей. Проведено сравнительное исследование качества железнодорожных осей из стали 45, изготовленных из непрерывнолитых заготовок различного сечения. Рассмотрены основные причины образования внутренних дефектов готовой металлопродукции. Показано, что повышению равномерности конечной ферритно-перлитной структуры могут способствовать изменения режимов заключительной термообработки и последующего охлаждения.

железнодорожная ось, сечение, внутренний дефект, макроструктура

Состояние вопроса. До сих пор особенности производства непрерывнолитых заготовок, их влияние на морфологию и кинетику образования первичной структуры недостаточно учитывались при разработке деформационно–термических режимов производства железнодорожных осей. Недостаточно изучено и практически не используется наследственное влияние особенностей механизма первичного структурообразования непрерывнолитой заготовки, и факторов их определяющих, на конечную структуру и комплекс свойств готовой металлопродукции [1].

Неравномерность распределения ферритных и перлитных участков, обусловленная химической неоднородностью, даже в случае удовлетворительных показателей металлографического анализа (средний размер зерен, балл неметаллических включений), как показано ранее [2,3], ухудшает механические свойства термообработанного проката, в частности, снижает пластические характеристики и ударную вязкость.

Улучшение проработки металла исходной заготовки или слитка по сечению, т.е. увеличение проникновения деформации к центральным участкам изделия, позволяет добиться существенного измельчения конечной структуры, повысить качество и комплекс свойств готовых железнодорожных осей [3–5].

Целью исследования являлось проведение сравнительного исследования качества железнодорожных осей из стали 45, изготовленных из непрерывнолитых заготовок различного сечения: 335x400 мм и 300x1000 мм.

Методика исследования. Количественной характеристикой прорабатываемости по сечению оси является степень укова, рассчитываемая как уменьшение площади поперечного сечения исходной заготовки до размеров поперечного сечения оси. Чем выше этот показатель, тем выше про-

работка металла [4]. Оценку макроструктуры непрерывнолитых заготовок проводили согласно требованиям ДСТУ 4061.

Для анализа первичной структуры образцы от квадратной заготовки отбирали перпендикулярно к горизонтальной грани от поверхностных, центральных (захватывая участки с осевой пористостью) и промежуточных слоев. От прямоугольной заготовки образцы были отобраны аналогично, однако, не только по вертикальной, но и по горизонтальной граням (рис.1). Далее все приведенные в тексте подробные фотографии дендритной и зеренной структур полностью соответствуют представленным схемам отбора образцов.

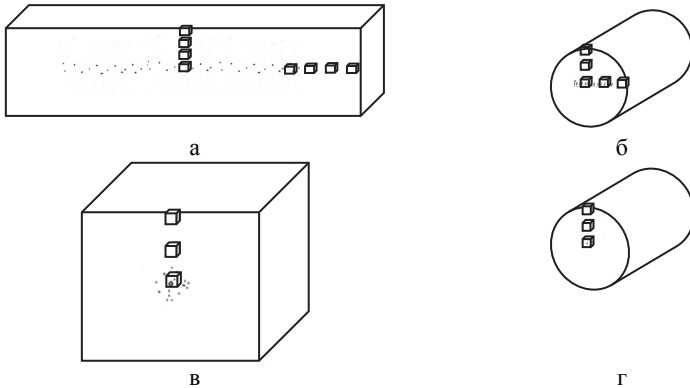


Рис 1. Схема отбора образцов от НЛЗ сечением 300x1000 мм (а) и 335x400 мм (в) и от изготовленных из них осевых заготовок и железнодорожной оси соответственно – (б) и (г)

Изложение основных результатов исследования. По основным показателям (центральная пористость, осевая химическая неоднородность, ликвационные полосы и трещины осевой зоны) макроструктура всех представленных образцов в основном соответствует требованиям, предъявляемым нормативной документации к заготовкам из непрерывнолитой осевой стали. Однако в некоторых темплетах заготовки сечением 335x400 мм наблюдается более высокая степень развития центральной пористости, отдельные поры достигают 5 мм в диаметре. Ликвационная зона в прямоугольной заготовке расположена параллельно широкой грани, рассредоточена и занимает не более 8 % от общей площади заготовки. Поры, наблюдаемые в ликвационной зоне сляба достигают 2 мм в диаметре. Также, следует отметить, что наиболее крупные несплошности расположены не строго по центру, а оттеснены к узким краям прямоугольной заготовки.

При исследовании первичной (дендритной) структуры выявлена следующая закономерность: в направлении от поверхности к центральным участкам всех исходных заготовок оси дендритов утолщаются, а межос-

ные участки сужаются. Плотность дендритной структуры с приближением к центральным участкам уменьшается. Обнаружена существенная разница в травимости образцов прямоугольной заготовки, т.е. различный уровень дендритной ликвации в участках, примыкающих к широкой и узкой граням заготовки, что является следствием неравномерной кристаллизации непрерывнолитого металла.

В поверхностных слоях заготовок наблюдается наличие строго ориентированных дендритов, направленных к центру. По мере приближения к центральным зонам, протяженность дендритных ветвей уменьшается, становится характерным пакетированное расположение дендритов. В районе осевой ликвации форма дендритов близка к равноосной. Однако размеры дендритных ветвей и ликвационных участков крайне неравномерные; в структуре присутствуют также пакеты ориентированных дендритов (рис.2,3).

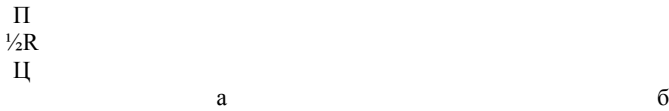


Рис.2. Дендритная структура НЛЗ 335x400 мм (а), и полученной из нее осевой заготовки (б), продольное направление, схема отбора соответствует рис. 1.

б**а**

а

Рис. 3. Дендритная структура НЛЗ 300х1000 мм (а), и полученной из нее осевой заготовки (б), продольное направление, схема отбора соответствует рис.1.

Деформация квадратной заготовки на трубозаготовочном стане приводит к измельчению структуры, несмотря на большее обжатие поверхностных слоев, деформация заготовки по всему сечению относительно равномерна. Все несплошности, неметаллические включения и элементы дендритной структуры, в продольном направлении вытягиваются, а в поперечном уменьшаются в размерах, не изменяя при этом своего направления и формы, таким образом, в поперечном сечении структура полностью соответствует первичной (рис.4).

Однако такое изменение дендритной структуры при деформации на блюминге и трубозаготовочном стане не характерно для прямоугольной заготовки. В процессе деформации течение металла по вертикальным и горизонтальным бывшим граням прямоугольной заготовки происходило крайне неравномерно, об этом свидетельствуют данные анализа изменения первичной (дендритной) структуры в продольном сечении образцов осевой заготовки. Деформация металла по горизонтальной стороне прямоугольной заготовки, намного превышает таковую по вертикальной стороне. О чем свидетельствует различная уплотненность элементов дендритной структуры. В направлении толщины исходной прямоугольной непрерывнолитой заготовки, а также в центральной зоне не произошло существенного деформирования металла по сравнению с поверхностными участками и в направлении ширины (см. рис.2).

НЛЗ 335x400 мм
Полуобработанная
ось, шейка

а

б

Рис.4. Изменение первичной (дендритной) структуры центральных участков исходной НЛЗ 335x400 и железнодорожной оси, образцы соответствуют поперечному (а) и продольному (б) направлению прокатки.

При исследовании дендритной структуры поперечных образцов ликвационной зоны осевой заготовки, обнаружено неравномерность деформирования различных по сечению слоев металла, в результате чего произошло вытягивание перпендикулярно осевой ликвации как дефектов (пор, несплошностей, пластичных неметаллических включений), так и элементов дендритной структуры (рис.5,6).

а

б

Рис.5. Дефекты (несплошности) центральной зоны осевых заготовок Ø230 мм (из НЛЗ 335x400 мм) – а и Ø218 мм (из НЛЗ 300x1000 мм) – б, поперечное сечение)

Непрерывнолитая
прямоугольная заго-

товка 300x1000 мм
Полуобработанная
ось, шейка

а

б

Рис.6. Изменение первичной (дендритной) структуры центральных участков исходной прямоугольной заготовки и железнодорожной оси, образцы соответствуют поперечному (а) и продольному (б) направлению прокатки.

Выявленные дефекты строения центральной зоны заготовки тесно связаны с дендритной ликвацией – все несплошности расположены в ликвационных участках, в участках без ликвации значительных дефектов не обнаружено. Наиболее проработанными участками по сечению осевых заготовок и черновых осей, полученных из всех непрерывнолитых заготовок, оказываются поверхностные слои, в которых плотность элементов дендритной структуры максимальна. По мере приближения к центральным слоям плотность дендритной структуры снижается, что свидетельствует о меньшей проработке осевых зон металла.

Поскольку выявлено наличие вокруг дефектов широкой ликвационной зоны, можно утверждать, что первопричиной обнаруженных несплошностей готовых осей являются осевая пористость и горячие трещины исходной прямоугольной заготовки. Однако нельзя исключить тот факт, что кристаллизационные поры в процессе деформации прямоугольной заготовки лишь послужили основой для дальнейшего разрыва металла в этих участках, из-за особенностей режима деформации, тем более что ликвационные полосы в силу своей природы отличаются меньшей пластичностью и более высокой хрупкостью, по сравнению с участками металла без ликвации [6,7].

Несмотря на достаточно ровную и плотную макроструктуру полуобработанных осей и полного удовлетворения требованиям к механическим свойствам стандарта ДСТУ ГОСТ 31334:2009 «Оси для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм», последующий анализ конечной ферритно–перлитной зеренной структуры выявил крайне неравномерное распределение фазовых и структурных составляющих, а также зеренную неоднородность вблизи зоны осевой ликвационной полосы в готовых осях, полученных из прямоугольной заготовки, по сравнению с осями, полученными из НЛЗ 335x400 мм. Опасность представляет отсутствие плавного перехода от одного структурного фона к другому. Зеренная неоднородность наблюдается и в осях, полученных из заготовки сечением 335x400 мм, однако радиально она расположена равномерно, а в оси, полученной из прямоугольной заготовки слишком очевидная разница и контраст в соотношении ферритных и перлитных составляющих по всей длине ликвационной полосы (рис.7). Кроме этого, межосные участки более насыщены легирующими элементами, чем бывшие осевые участки, поэтому и прочность их выше. Наиболее отчетливо анизотропия свойств сказывается на пластичности, относительном сужении и ударной вязкости

[8]. Как наблюдаем по данным табл.1, произошло некоторое снижение пластичности.

Величина отдельных зерен перлита в оси, полученной из НЛЗ сечением 300x1000 мм достигает 200 мкм (рис.7). Причиной образования подобной зеренной неравномерности послужили высокий уровень ликвации в центральной зоне исходной прямоугольной заготовки и низкая проработка металла в этом участке при последующей деформационной обработке.

По требованиям как отечественных, так и зарубежных стандартов, конечная структура железнодорожных осей должна быть равномерной, с величиной зерна не крупнее 5 номера. Поэтому исследуемая ось, даже в случае удовлетворительной макроструктуры, была бы отбракована при ультразвуковом и металлографическом контроле именно из-за наличия anomalно крупных зерен перлита. Кроме этого в образцах металла с неравномерным распределением фазовых составляющих часто наблюдается снижение значений ударной вязкости, относительного сужения и пластичности. Для устранения подобного рода дефектов необходимо снижение уровня ликвации исходной НЛЗ.

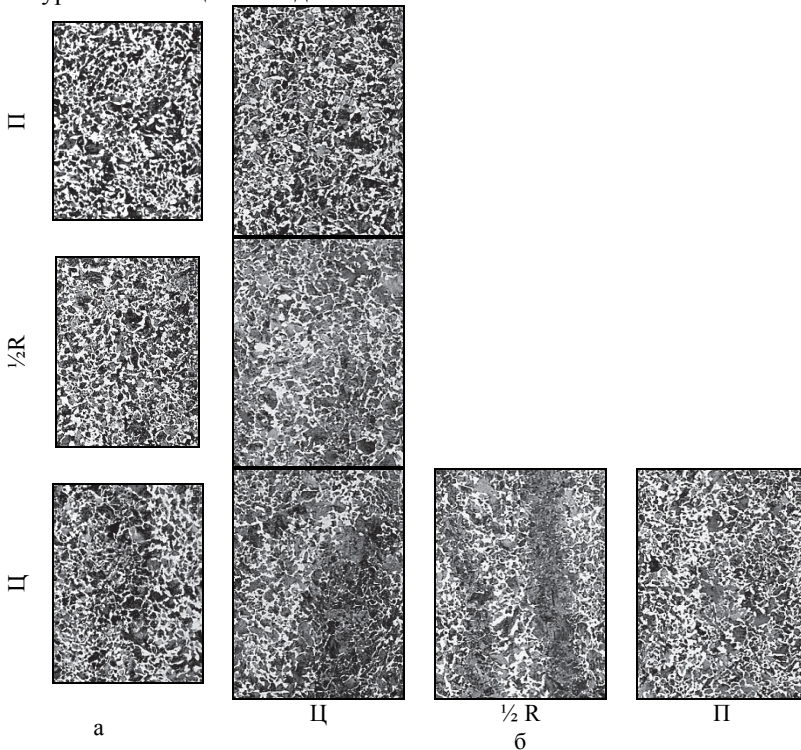


Рис.7. Зеренная структура полуобработанных железнодорожных осей, полученных из НЛЗ 335x400 мм (а) и НЛЗ 300x1000 (б), продольное сечение; схема отбора проб согласно рис.1.

Таблица 1. Механические свойства металла образцов шейки нормализованных черновых осей ($\frac{1}{2} R$) из непрерывнолитых заготовок

Исходная заготовка	$\sigma_{в}$, Н/мм ²	$\sigma_{т}$, Н/мм ²	δ , %	Ударная вязкость при 20 °С
				ак. ср., Дж/см ²
НЛЗ 335x400 мм	675	410	29	70
НЛЗ 300x1000 мм	690	390	26,0	68
Требования ДСТУ ГОСТ 31334:2009	650 и более	не менее		
		325	18	34

По данным [4,9] известно, что даже при наличии грубых несплошностей металлургического происхождения, их устранение происходит после деформации со степенью укова не менее 7. Самые жесткие требования как отечественной, так и зарубежной нормативной документации, регламентируют степень укова 3–5 единиц, а степень укова исследуемого металла прямоугольного сечения уже на стадии осевой заготовки составляла 7,2 (табл.2). Также необходимо отметить, что при деформации металла на стане 250 не произошло дополнительной проработки центральных слоев металла независимо от вида исходной непрерывнолитой заготовки. Поэтому существует вероятность дополнительного разрыхления сердцевинной оси при ее прокатке на осепрокатном стане.

Таблица 2. Степень укова проката на различных этапах производства железнодорожных осей

Этапы производства		Исходная НЛЗ 335x400 мм		Исходная НЛЗ 300x1000 мм	
		Размер заготовки, мм	Степень укова	Размер заготовки, мм	Степень укова
Блюминг		–	–	310x350	2,8
Трубозаготовочный стан		Ø 218	3,6	Ø 230	7,2
Осепрокатный стан 250	Шейка оси	Ø 180	3,8	Ø 180	11,8
	Подступица	Ø 212	5,3	Ø 212	8,5

Вывод. Таким образом, несмотря на высокую степень укова, заготовка большего сечения, проработана крайне неравномерно, в силу особенностей своей геометрии, что в дальнейшем привело к увеличению размеров уже имеющихся дефектов–несплошностей, формированию значительной разнородности (наличие зерен 4–5 и 8–9 номеров) и к некоторому снижению свойств.

Использование такого параметра оценки проработки как степень укова при выборе и применении нестандартных схем деформирования, не позволяет объективно охарактеризовать изменение структуры и улучшение проработки центральных и обогащенных ликватами слоев металла.

Снижение вероятности образования аномально крупных зерен аустенита при высокотемпературном нагреве внесет также корректировка режимов нагрева перед прокаткой на стане 250. Повышению равномерности конечной ферритно–перлитной структуры могут способствовать изменения режимов заключительной термообработки и последующего охлаждения.

1. *Кондратюк С.С.* Структуроутворення, спадковість і властивості литої сталі. – Київ.:Наукова думка. – 2010. – 176 с
2. *Качество* арматурного проката для анкерного крепления горных выработок / Г.В.Левченко., С.А.Воробей , Е.Г.Дёмина и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2005. – №5. – С. 29–33
3. *Влияние* деформированного состояния заготовок на однородность микроструктуры железнодорожных осей / Г.В.Левченко., С.А.Воробей , Е.Г.Дёмина и др.// *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2010. – № 3. – С. 70-75
4. *Лапотышкин Н.М.* Трещины в стальных слитках / Н.М.Лапотышкин, А. В. Лайтес. – М. : Металлургия, 1969. – 112 с.
5. *Школьник Л.М.* Повышение прочности осей железнодорожного подвижного состава. – М.: Транспорт, 1964. – 224 с.
6. *Левченко Г.В., Дёмина Е.Г., Кныш А.В.* Влияние содержание кремния на формирование структуры волокнистого композита в арматурном прокате // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2009. – № 1. – С. 83-87.
7. *Левченко Г.В., Дьоміна К.Г., Грушко П.Д.* Вплив вуглецю в низьколегованій сталі на співвідношення характеристик міцності та пластичності прокату // *Металознавство та обробка металів.* – 2005. – №3. – С. 16–23
8. *Голицов И.Н.* Дендритная ликвация в стали. – М.: Металлургия, 1953. – 206 с
9. *Режимы* деформации непрерывнолитой заготовки при производстве сортового проката из нерядовых сталей / *А.Н.Луценко, В.А. Монид, Э.А.Гарбер и др.*// *ОАО «Черметинформация».* Бюллетень «Черная металлургия». – №2 – 2004 – С. 59-62

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

Г.В.Левченко, Т.В.Грицай

Формування структури залізничних осей, виготовлених з безперервнолитих заготовок різного перерізу

В роботі проведено детальний аналіз макроструктури, розподілу неметалевих включень, особливостей формування дендритної та зеренної структури на основних етапах виробництва залізничних осей. Проведено порівняльне дослідження якості залізничних осей із сталі 45, виготовлених з безперервнолитих заготовок різного перерізу. Розглянуто основні причини утворення внутрішніх дефектів готової металопродукції. Показано, що підвищенню рівномірності кінцевої феритно-перлітної структури

можуть сприяти зміни режимів заключної термообробки і наступного охолодження.