

Г. В. Левченко /д. т. н./, Т. В. Балаханова /к. т. н./,
Е. Е. Нефедьева /к. т. н./
Институт черной металлургии
им. З. И. Некрасова НАН Украины

В. В. Мосьпан, Ю. Г. Антонов,
Г. А. Мединский
ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат
им. Ф. Э. Дзержинского»

Обеспечение качества железнодорожных осей, изготовленных из непрерывнолитых заготовок различного сечения

На ПАО «ДМКД» была опробована и внедрена технология производства железнодорожных осей из круглой непрерывнолитой заготовки производства ООО «МЗ Днепропетраль». Технология производства железнодорожных осей, используемая в условиях ПАО «ДМКД», позволяет получать железнодорожные оси высокого качества, удовлетворяющие требованиям всех стандартов по всем показателям. (Ил. 5. Табл. 3).

Ключевые слова: непрерывнолитая заготовка; макроструктура; разнородность; дендритная ликвация.

On PJSC «DMKD» the production technology of railway center shafts from round section of JSC «Dneprostal» production was tested and introduced. Production technology of railway shafts used in the conditions of PJSC «DMKD» allows to obtain railway shafts of high quality, which meet the requirements of all standards according to all indicators.

Key words: section; macrostructure; uneven-grained; dendritic segregation.

В связи с требованием нормативной документации о производстве железнодорожных осей из вакуумированной стали многие предприятия-изготовители столкнулись с проблемой отсутствия соответствующего оборудования в технологии сталелитейного процесса.

Поэтому на ПАО «ДМКД» была опробована и внедрена технология производства железнодорожных осей из круглой непрерывнолитой заготовки производства ООО «МЗ Днепропетраль».

Представляло интерес сравнительное исследование качества осевых заготовок и нормализованных черновых железнодорожных осей, изготовленных из непрерывнолитых заготовок (НЛЗ) Ø 470 мм, производства ООО «МЗ Днепропетраль», и из НЛЗ сечением 335×400 мм, производства ПАО «ДМКД». Образцы подбирались близкого химического состава, однако следует отметить, что осевая сталь производства ООО «МЗ Днепропетраль» прошла обработку в вакууматоре, также проводилось электромагнитное перемешивание стали.

Необходимо отметить, что в целом технология производства железнодорожных осей была идентична. Осевой металл после деформации также проходил обязательную противоблоксную обработку, несмотря на обработку стали в вакууматоре и относительно низкое содержание водорода. Данная обработка прежде всего необходима не столько для удаления водорода из заготовок, сколько для снятия внутренних напряжений, которые могли бы способствовать возникновению внутренних дефектов и снижению прозвучиваемости при ультразвуковом контроле готовых осей.

При проведении исследования анализировали изменение макроструктуры осевого металла, особенности формирования и изменение параметров дендритной и зеренной структуры в осевых заготовках и черновых нормализованных железнодорожных осях.

Химический состав, номера плавок исследуемого материала приведены в табл. 1.

Несмотря на то, что макроструктура как осевых заготовок, так и готовых осей всех плавок

Таблица 1

Химический состав исследуемого осевого металла

| Исходная НЛЗ, ее изготовитель | Плавочный химический состав | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|
| | C | Mn | Si | S | P | Cr | Ni | Cu | Al |
| НЛЗ Ø 470 мм, ООО МЗ «Днепропетраль» ¹ | 0,49 | 0,84 | 0,20 | 0,003 | 0,013 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,021 |
| НЛЗ 335×400 мм, ПАО «ДМКД» | 0,47 | 0,67 | 0,25 | 0,005 | 0,011 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,023 |

¹H, ppm 1,8–1,5–1,8.

СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

удовлетворительная и соответствует требованиям нормативно-технической документации, для каждой заготовки она имеет свои особенности (рис. 1).

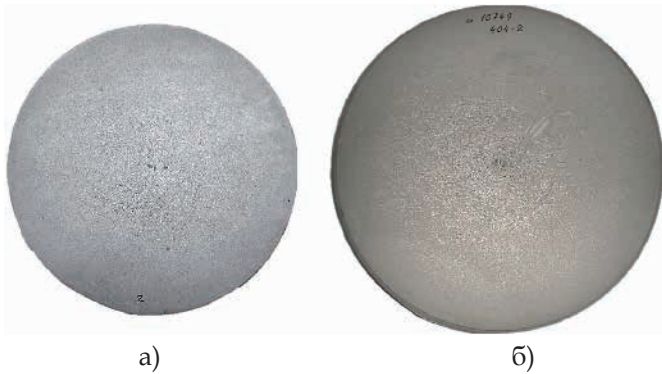


Рис. 1. Макроструктура исследуемых осевых заготовок, изготовленных из различного непрерывнолитого металла:

а - НЛЗ 335×400 мм, ПАО «ДМКД»;
б - НЛЗ Ø 470 мм, ООО МЗ «Днепросталь»

Так, темплеты осевых заготовок и готовых осей, полученных из непрерывнолитого металла производства ПАО «ДМКД», характеризуются наличием центральной пористости и осевой ликвации. В ряде случаев превышение балла именно по этим характеристикам, а также наличие ликвационных полос и трещин приводило к повышению отбраковки как при контроле макроструктуры, так и при прохождении ультразвукового контроля. Кроме этого периодически встречались и флокены. Эти дефекты не устранялись последующей деформационно-термической обработкой, и одной из причин образования дефектов центральной зоны в по-

луобработанных осях являлся высокий уровень осевой ликвации и пористости, наследуемых от исходных непрерывнолитых заготовок.

При оценке макроструктуры заготовок и осей, изготовленных из непрерывнолитых заготовок производства ООО «МЗ Днепросталь», подобных особенностей не зафиксировано. Структура темплета плотная, без видимых несплошностей и ликвационных полос. Однако статистически сравнивать полученные результаты некорректно, поскольку осевой металл, производства ООО «МЗ Днепросталь» представлен в нескольких плавках.

Микроструктура как осевых заготовок, так и нормализованных черновых осей, изготовленных из стали производства ООО «МЗ Днепросталь», характеризуется значительно меньшим размером зерна в сравнении с осевым металлом производства ПАО «ДМКД» (рис. 2). И хотя максимальный размер зерна, обнаруженный в осях из стали производства ООО «МЗ Днепросталь», не превышает 5-го номера как по ГОСТ 5639, так и по ASTM E112, наблюдается очень высокая разноразмерность. Для сравнения - в нормализованных осях, изготовленных из НЛЗ производства ПАО «ДМКД», максимальный размер зерна достигал 83 мкм, что соответствует номеру 3,5. Однако все же следует обратить внимание на разноразмерность в осях из круглой заготовки, при этом неоднородность распределения зерен полностью связана с дендритной ликвацией, что свидетельствует о недостаточной проработке металла. Коэффициент вариации составляет 0,58, при этом разница между максимальным и минимальным обнаруженными зернами перлита составляет 10 номеров (!) (рис. 3).

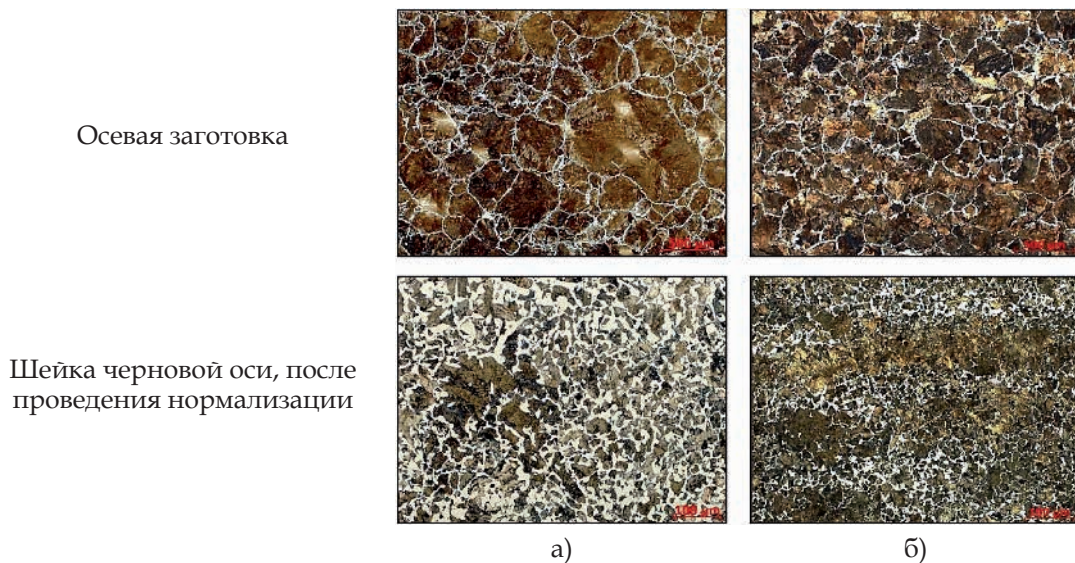


Рис. 2. Микроструктура исследуемых осевых заготовок и черновых нормализованных осей, изготовленных из различных непрерывнолитых заготовок:

а - НЛЗ 335×400 мм, ПАО «ДМКД»; б - НЛЗ Ø 470 мм, ООО МЗ «Днепросталь»; все 1/2 R

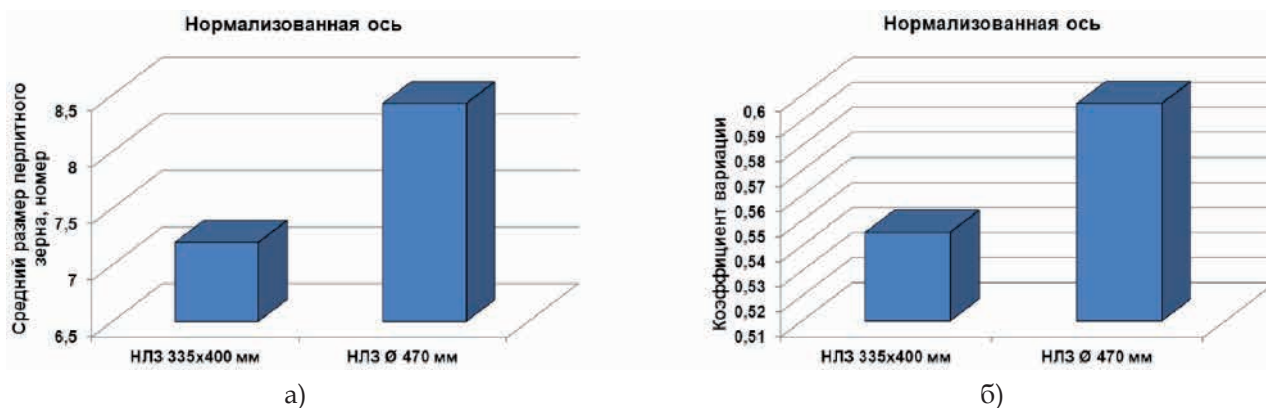


Рис. 3. Характеристики микроструктуры нормализованных черновых железнодорожных осей, все $\frac{1}{2} R$, в зависимости от исходной НЛЗ: а – средний размер перлитного зерна, б – его коэффициент вариации

При внедрении нового технологического решения изготовления металлопроката ответственного назначения, в частности железнодорожных осей, уделяется много внимания вопросу обеспечения сплошности внутреннего строения. Для этого нормируется степень проработки осевого металла, в нормативно-технической документации на данный вид продукции используется такой показатель, как степень укова. Дополнительно в данной работе для оценки проработки структуры проведен анализ изменения параметров дендритной ликвации на всех этапах производства железнодорожных осей.

Учитывая, что непрерывнолитой металл производства ООО МЗ «Днепросталь» подвергался интенсивному электромагнитному перемешиванию, вполне логичным является тот факт, что первичная дендритная структура металла круглой заготовки отличается более высокой плотностью, кроме этого зона столбчатой ликвации подроблена и менее протяженная в сравнении с непрерывнолитой заготовкой производства ПАО «ДМКД». Особенно заметно отличие дендритной структуры в поверхностных слоях непрерывнолитых заготовок: плотность элементов структуры металла производства ПАО «ДМКД» составила менее 100 мм^2 , в то время как в заготовках, изготовленных на ООО МЗ «Днепросталь», это значение составило $135,3 \text{ мм}^2$.

Значения степеней укова исследуемого осевого металла независимо от производителя исходной НЛЗ, близки и удовлетворяют требованиям нормативной документации (табл. 2).

Степень укова проката на различных этапах производства железнодорожных осей

| Исходная НЛЗ, ее изготовитель | Этапы производства | Место отбора проб | Степень укова |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------|
| НЛЗ Ø 470 мм, ООО МЗ «Днепросталь» | Трубозаготовочный стан | Осевая заготовка Ø 250 мм | 3,53 |
| | Осепрокатный стан 250 | Шейка оси Ø 180 мм | 6,82 |
| НЛЗ 335×400 мм, ПАО «ДМКД» | Трубозаготовочный стан | Осевая заготовка Ø 218 мм | 3,59 |
| | Осепрокатный стан 250 | Подступица оси Ø 180 мм | 5,27 |

Однако при анализе характера распределения первичной дендритной структуры на срединных слоях сечения обнаружена более низкая плотность элементов дендритной структуры как готовых осей, так и осевых заготовок, прокатанных из круглой НЛЗ, в сравнении с осями и заготовками, полученными из непрерывнолитого бляма (рис. 4 и 5).

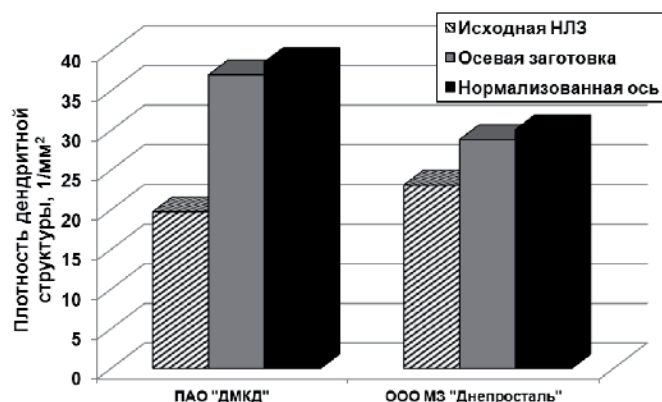


Рис. 4. Плотность элементов дендритной структуры в зависимости от производства исходной НЛЗ

Таким образом, неравномерность распределения ферритно-перлитной составляющей, существенная раззернистость структуры и низкая плотность элементов дендритного строения свидетельствуют о низкой проработке внутренних зон заготовки производства ООО МЗ «Днепросталь». Поэтому для снижения степени имеющихся дефектов макроструктуры оказывае-

Таблица 2

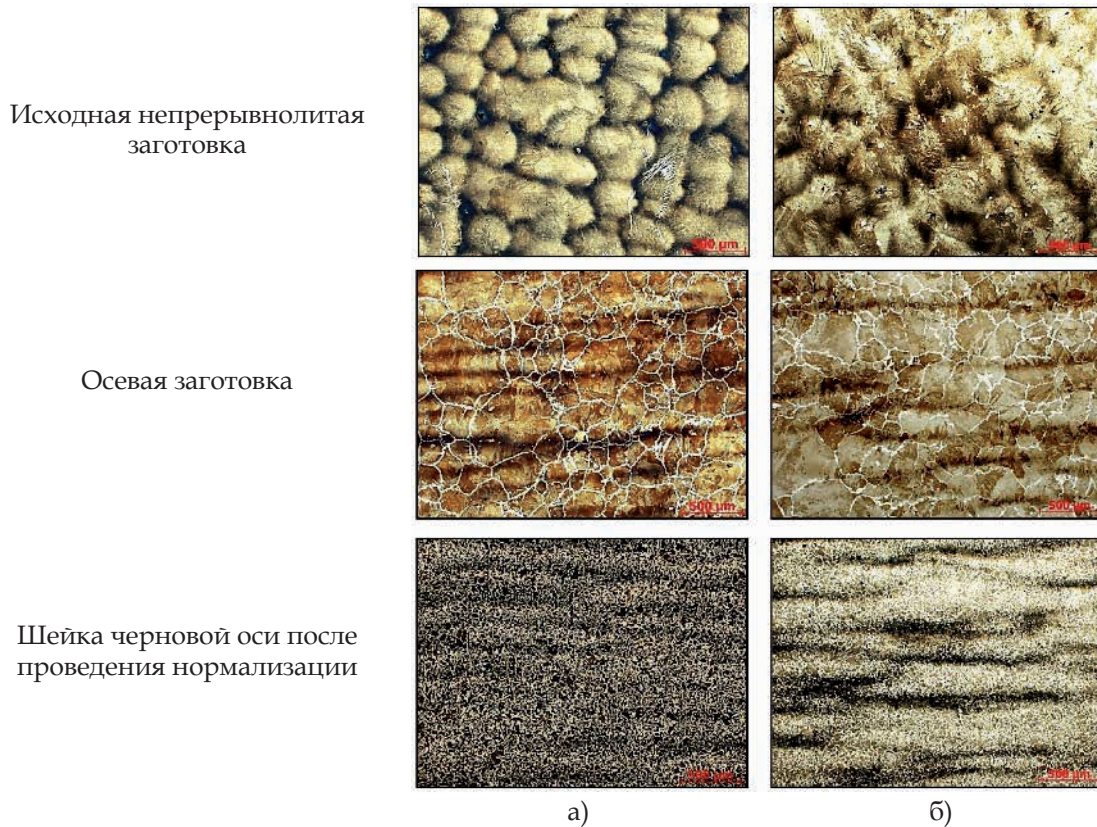


Рис. 5. Микроструктура исследуемых осевых заготовок и черновых нормализованных осей, изготовленных из различных непрерывнолитых заготовок:
 а - НЛЗ 335×400 мм, ПАО «ДМКД»; б - НЛЗ Ø 470 мм, ООО МЗ «Днепросталь»; все ½ R

мой деформации может оказаться недостаточной при изготовлении железнодорожных осей из круглой НЛЗ.

Также необходимо обратить внимание, что значения плотности элементов дендритной структуры обратно пропорциональны показателям разнородности нормализованных осей. В бывших ликвационных участках находятся огромные перлитные зерна, наблюдается неравномерность распределения ферритно-перлитных составляющих, связанная с дендритной ликвацией. Можно утверждать, что проведение противоблокной обработки при производстве осей из круглой НЛЗ более чем целесообразно, поскольку и высокий уровень разнородности и характер структурной неравномерности указывает на сохранение высокого уровня ликвации на фоне низкой проработки структуры. Проведение противоблокной обработки в колодцах замедленного охлаждения позволяет снизить уровень структурных и деформационных напряжений, тем самым повышая процент годного металла при прохождении ультразвукового контроля.

При производстве железнодорожных осей из непрерывнолитого бляма столь сильная разнородность не наблюдалась, при этом и плотность элементов дендритной структуры была

выше. Поскольку низкая проработка наблюдается уже в осевых заготовках, то, возможно, коррекция режимов обжатий при прокатке на ТЗС круглых НЛЗ может снизить разнородность готовых осей и повысить в целом как качество структуры, так и свойства готовых осей.

Анализ механических свойств железнодорожных осей показал соответствие всех черновых осей, представленных для исследований, всем требованиям как зарубежного стандарта (М 101), так и отечественного (ГОСТ 31334). Наибольшими прочностными свойствами обладают оси, изготовленные из круглой НЛЗ, что объясняется образованием в этих осях мелкозернистой структуры. Однако пластические свойства, хотя и соответствуют требованиям стандартов, являются достаточно низкими (табл. 3).

Выводы

1. Технология производства железнодорожных осей, используемая в условиях ПАО «ДМКД», позволяет получать железнодорожные оси высокого качества, удовлетворяющие требованиям всех стандартов по всем показателям.

2. Настоящее исследование показало, что наилучшими характеристиками структуры и свойств обладают черновые оси, изготовленные

Механические свойства черновых осей производства ПАО «ДМКД»

| Производитель и способ получения исходной заготовки | Место отбора | σ_T , Н/мм ² | σ_B , Н/мм ² | δ , % | φ , % | a_K , Дж/см ² |
|---|--------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|---------------|----------------------------|
| НЛЗ Ø 470 мм, ООО МЗ «Днепросталь» | Шейка | 442 | 737 | 27 | 48 | - |
| | Подступица | 425 | 745 | 26 | 48 | 55 |
| | Подступица | 420 | 730 | 20,5 | 47 | 54 |
| НЛЗ 335×400 мм, ПАО «ДМКД» | Подступица | 375 | 670 | 24,5 | 52 | 66 |
| | Подступица | 410 | 675 | 29 | 55 | 70 |
| <i>Требования нормативной документации</i> | | <i>Значения не менее</i> | | | | |
| М 101 | Шейка | 345 | 608 | 22 | 37 | - |
| ГОСТ 31334 | Шейка | 330 | 630 и более | 19 | - | Ср. 44 Мин. 34 |
| | Подступица | 325 | 650 и более | 18 | - | Ср. 34 Мин. 29 |

из НЛЗ Ø 470 мм, производства ООО МЗ «Днепросталь». Однако данный металл характеризуется наибольшей разнотернистостью (разница между минимальным и максимальным обнаруженными зернами перлита составляет до 10 номеров).

3. В ранее выполненных работах и в настоящем исследовании показано, что основной причиной отбраковки черновых осей, изготовленных из НЛЗ 335×400 мм производства ПАО «ДМКД», являются такие дефекты центральной зоны, как осевая ликвация и пори-

стость, наследуемые от исходных непрерывных заготовок. Снижение загазованности (обязательное вакуумирование) и строгое соблюдение технологии выплавки и разлива осевой стали, позволит ПАО «ДМКД» выпускать высококачественные железнодорожные оси с минимальным количеством отбраковки из стали, выпускаемой комбинатом.

Поступила 21.10.2015

METAL
JOURNAL

www.metaljournal.com.ua