

**Черномас В. В., Лушников Н. Ю.**  
**V.V.Chernomas, N.Yu.Lushnikov**

**АНАЛИЗ СТРУКТУР МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ  
НА ЛИТЕЙНО-КОВОЧНОМ МОДУЛЕ**

**ANALYSIS OF THE STRUCTURES OF METAL ITEMS MANUFACTURED AT A  
FOUNDRY-FORGING MODULE**

**Черномас Вадим Владимирович** – доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией Института машиноведения и металлургии ДВО РАН (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

**Mr. Vadim V. Chernomas** – Doctor in Engineering, Associate Professor, Head of Laboratory at the Institute for Machine Engineering and Metallurgy of the Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (Komsomolsk-on-Amur).

**Лушников Никита Юрьевич** – аспирант Института машиноведения и металлургии ДВО РАН (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: raziel.soul@mail.ru.

**Mr. Nikita Yu. Lushnikov** – PhD Candidate, Institute for Machine Engineering and Metallurgy of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Komsomolsk-on-Amur); e-mail: raziel.soul@mail.ru.

**Аннотация.** В Институте машиноведения и металлургии ДВО РАН разработан и изготовлен литейно-ковочный модуль, позволяющий получать из расплавленного металла в непрерывном режиме деформированный профиль заданного поперечного сечения. В статье приводятся данные металлографических исследований образцов непрерывнолитых деформированных заготовок (НЛДЗ) из стали марки Ст3, а также их сравнение со структурами литых тест-образцов. Представлены результаты оценки размерно-геометрической точности образцов НЛДЗ.

**Summary.** At the Institute for Machine Engineering and Metallurgy of the Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, a Foundry-Forging Module was designed and manufactured that allows to continuously produce a deformed profile of the predetermined cross-section from molten metal. The paper presents data from metallographic research on samples of continuously cast deformed blanks made from St.3 steel, and also their comparison with structures found in cast test-pieces. Also the results of the assessment of dimension/geometrical accuracy of the samples of continuously cast deformed blanks are offered.

**Ключевые слова:** структура, непрерывнолитая деформируемая заготовка, литейно-ковочный модуль.

**Key words:** structure, concast deformed billet, foundry-forging module.

УДК 621.771:539.3

Для получения непрерывнолитых деформированных заготовок (НЛДЗ) из железоуглеродистых сплавов используются технология и комплекс оборудования для ее реализации, разработанные в Институте машиноведения и металлургии ДВО РАН [1]. Из большого объема проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать вывод, что устойчивость технологического процесса изготовления НЛДЗ с применением литейно-ковочного модуля (ЛКМ) зависит от следующих факторов: температуры ликвидуса и солидуса сплава; распределения температур в кристаллизаторе после его предварительного и рабочего прогревов; величины перегрева сплава над линией ликвидуса; параметров работы привода ЛКМ, определяющих требуемую производительность работы установки.

В качестве показателей качества полученных образцов НЛДЗ были выбраны данные микроструктурного анализа (величина хорды зерна, средний условный диаметр зерна, равномерность распределения зерна), поверхностная твердость, а также их размерно-геометрическая точность. Были получены данные для образцов, изготовленных из стали марки Ст3 ГОСТ 380-94. Их сравнивали с образцами заготовок, полученными методом литья в металлическую форму (кокиль). Теплофизические свойства материала, из которого изготовлены кристаллизатор и кокиль, начальное распределение температур кристаллизатора ЛКМ и кокиля, температура заливки расплава, условия теплоотвода в процессе формирования НЛДЗ

и тест-образцов, а также приведенная толщина образцов НЛДЗ и тест-образцов были аналогичны параметрам изготовления НЛДЗ.

При анализе макроструктуры образцов выявлено, что в структуре тест-образцов имеются крупные газовые поры размером до  $15 \times 3$  мм и шлаковые включения размером до  $3 \times 1,5$  мм. В макроструктуре образца НЛДЗ шлаковых включений и газовых пор не обнаружено.

Микроструктуру образцов исследовали в двух сечениях – продольном (осевом) и поперечном. В структуре тест-образцов присутствуют неметаллические включения серого цвета (сульфиды), рассредоточенные по всему объему образца. Размер включений в среднем составляет 170 мкм. Структура имеет ферритно-перлитное (Ф–П) строение с выраженной видманштеттовой структурой. В структуре имеется неоднородность по распределению ферритной и перлитной составляющих, что обусловлено ликвацией углерода.

В поперечном сечении тест-образца наблюдаются крупные зерна с Ф–П дендритным строением внутри зерна, которые оторочены ферритной составляющей. Видманштеттова структура представлена в виде игл, отходящих от сетки феррита по границам зерен (балл 2, шкала 4 ряд А, Б по ГОСТ 5640-68), и развивается до ярко выраженной видманштеттовой структуры (балл 4, шкала 4 ряд А, Б ГОСТ 5640-68), при этом вид видманштеттовой структуры соответствует процентному содержанию углерода в металле образца (см. рис. 1). Так как структура очень разнотельная, то размер зерна определялся методом измерения хорд под микроскопом по ГОСТ 5639-82. В результате проведенных измерений установлено, что в структуре присутствуют зерна с размером хорд от 0,0575 до 3,910 мм. В центральной области образца наибольшее количество зерен приходится на размерные группы 0,175 – 0,254 мм (G«1»), 0,254 – 0,368 мм (G«0») и 0,534 – 0,775 мм (G«-2»). Ближе к поверхности зерно укрупняется до 0,775 – 1,124 мм, что соответствует размерной группе G«-3». В поверхностной области образца имеется зона столбчатых кристаллов в виде зерен перлита вытянутой формы. Длина хорды зерна в направлении кристаллизации достигает 3,910 мм, в перпендикулярном направлении – 0,230 – 0,402 мм, а ширина ферритной межзеренной оторочки до 0,03 мм.



Рис. 1. Явно выраженная видманштеттова структура в тест-образце

В продольном сечении тест-образца присутствуют зерна с размером хорд от 0,0575 до 2,024 мм. При этом в центральной области образца наибольшее количество зерен приходится на размерную группу 0,254 – 0,368 мм (G «0»), затем идут группы 0,534 – 0,775 мм (G «-2»), 0,368 – 0,534 мм (G «-1»), 0,175 – 0,254 мм (G«1»). Ближе к поверхности зерно укрупняется до (G «-3») и крупнее, что соответствует размерной группе 0,775 – 1,124 мм. В поверхностной области образца имеется зона столбчатых кристаллов, длина хорды зерна в направлении кристаллизации достигает 2,024 мм.

Микроструктуры образцов НЛДЗ в продольном и поперечном сечениях практически не отличаются друг от друга. В образце НЛДЗ присутствуют неметаллические включения серого цвета (сульфиды), которые рассредоточены по всему объему металла и имеют вытянутую форму. Размер этих включений достигает до  $90 \times 2,3$  мкм. Структура образца НЛДЗ имеет более мелкое зерно и более однородную микроструктуру с равномерным распределением ферритных и перлитных составляющих по сравнению со структурой тест-образца (см.

рис. 2). Металл образца НЛДЗ в центральной области имеет Ф–П структуру с элементами видманшеттовой структуры. Микроструктура наружных слоев с обеих поверхностей на глубину примерно 4 мм (при общей толщине образца НЛДЗ – 18 мм) имеет мелкозернистую структуру, характерную для стали в состоянии после горячей деформации и последующего отжига. Размер зерна соответствует группе G«7–9» (шкала 1 по ГОСТ 5639-82) со средним условным диаметром зерна 0,0267 мм – для G«7», 0,0196 мм – для группы G«8» и 0,0138 мм – для группы G«9». Присутствуют участки с явными следами деформации, на которых просматривается даже полосчатость (балл 1 шкала 3, ряд Б по ГОСТ 5640-68).

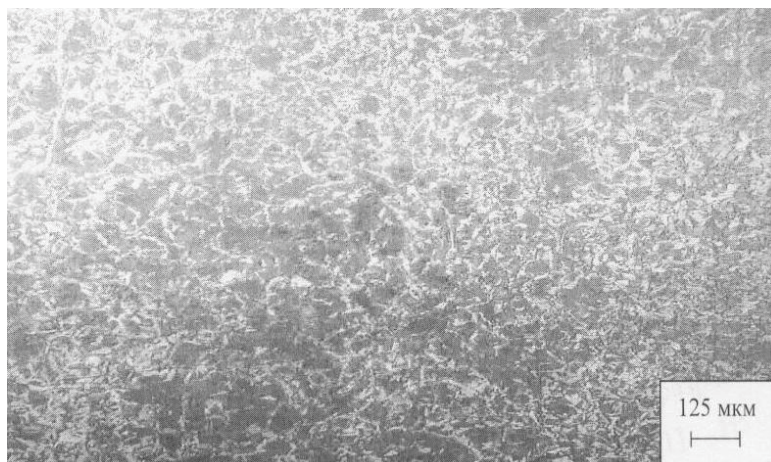


Рис. 2. Микроструктура образца НЛДЗ

При исследовании микротвердости образцов установлено, что числа микротвердости для образцов НЛДЗ изменяются по сравнению с тест-образцами: для ферритной составляющей – со 107 до 85,1, для перлитной составляющей – со 154 до 210 и для Ф–П составляющей – с 183 до 118. Микротвердость перлитной зоны в поверхностном слое образца НЛДЗ составила 257 – 362.

Таким образом, из анализа структур образцов видно, что размеры зерна образцов НЛДЗ значительно меньше, чем у тест-образцов. При этом зерно более равномерно распределено по сечению образца, что говорит о более высокой изотропности свойств НЛДЗ по сравнению с тест-образцами.

Размерно-геометрическую точность образцов НЛДЗ типа полосы, с размерами 60×18 мм, оценивали по отклонениям ее толщины от номинальных размеров оснастки. В качестве номинального размера оснастки был выбран размер калибрующей части подвижного кристаллизатора ЛКМ. Измерения производили вдоль осевой линии заготовки с шагом измерений в 20 мм. Количество точек измерений составляло не менее 20 по одному образцу. После статистической обработки результатов измерений среднее абсолютное отклонение от номинального размера составило 0,11 мм при доверительной вероятности 0,95. Это отклонение соответствует 3-му классу точности по ГОСТ 26645-85 и является характерным для заготовок аналогичного типоразмера, которые изготавливаются специальными способами литья (литье под давлением, жидкая штамповка).

### Заключение

Из анализа структур образцов выявлено, что размеры зерна образцов НЛДЗ значительно меньше, чем у тест-образцов. При этом зерно более равномерно распределено по сечению образца, что говорит о более высокой изотропности свойств НЛДЗ по сравнению с тест-образцами. Размерно-геометрическая точность образцов НЛДЗ соответствует точности заготовок аналогичного типоразмера, которые изготавливаются специальными способами литья.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Одинок, В. И. Теоретическое и экспериментальное исследование непрерывного процесса кристаллизации металла при одновременном его деформировании / В. И. Одинок, Б. И. Проскураков, В. В. Черномас. – М.: Наука, 2006 – 111 с.