



Научная статья  
2.6.17 - Материаловедение (технические науки)  
УДК 620.19

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.019



## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ТОНКИХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 20ГЛ, ПОЛУЧЕННЫХ ЛИТЬЕМ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Амантай Ерболатович Ерболатов <sup>1</sup>, Михаил Алексеевич Гурьев <sup>2</sup>,  
Сергей Геннадьевич Иванов <sup>3</sup>, Артур Игоревич Аугсткалн <sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> amantayerbolatov98@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5519-0257>

<sup>2</sup> gurievma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9191-1787>

<sup>3</sup> serg225582@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5965-0249>

<sup>4</sup> augstkaln-a@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7659-3987>

**Аннотация.** Работа посвящена изучению ликвации углерода в стальных литых образцах толщиной 8 мм, полученных специальным методом литья по газифицируемым моделям (ЛГМ). В ходе работы были получены стальные отливки толщиной 8 мм. Микроструктуру отливок изучали как до термической обработки, так и после ТО (отжига). Исследования показали, что в процессе заливки металлом во время деструкции пенополистирола происходит интенсивное науглераживание стали не только в поверхностной зоне, но и по всему сечению образцов. Традиционная термическая обработка стальных отливок (отжиг) не оказывает значительного влияния на перераспределение углерода в объеме отливки, то есть не снижает ликвацию углерода по сечению образца.

**Ключевые слова:** сталь, отливка, литье по газифицируемым моделям, микроструктура, ликвация, углерод.

**Благодарности:** Исследования выполнены в Центре коллективного пользования АлтГТУ.

---

**Для цитирования:** Особенности структуры тонких образцов из стали 20ГЛ, полученных литьем по газифицируемым моделям / А. Е. Ерболатов [и др.]. // Ползуновский вестник. 2022. № 2. С. 139 - 144. doi: 10.25712/ ASTU.2072-8921.2022.02.019. EDN: <https://elibrary.ru/lbskmm>.

---

Original article

## FEATURES OF THE STRUCTURE OF THIN 20GL STEEL SAMPLES OBTAINED BY CASTING GASIFIED PATTERNS TECHNOLOGY

Amantai E. Erbolatov<sup>1</sup>, Mikhail A. Guryev<sup>2</sup>, Sergey G. Ivanov<sup>3</sup>,  
Artur I. Augstkaln<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4.</sup> Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> amantayerbolatov98@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5519-0257>

<sup>2</sup> gurievma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9191-1787>

<sup>3</sup> serg225582@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5965-0249>

<sup>4</sup> augstkaln-a@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7659-3987>

**Abstract.** *The work is devoted to the study of carbon liquation in cast steel samples with a thickness of 8 mm obtained by a special method of casting according to gasified models (LGM). In the course of the work, steel castings with a thickness of 8 mm were obtained. The microstructure of castings was studied both before heat treatment and after TO (annealing). Studies have shown that in the process of pouring metal during the destruction of expanded polystyrene, intensive carburization of steel occurs not only in the surface area, but also throughout the cross-section of the samples. Traditional heat treatment of steel castings (annealing) does not have a significant effect on the redistribution of carbon in the volume of the casting, that is, it does not reduce the carbon liquation along the sample cross-section.*

**Keywords:** steel, casting, casting according to gasified models, microstructure, liquation, carbon.

**Acknowledgements:** *The studies were carried out at the Center for Collective Use of AltSTU.*

**For citation:** Erbolatov, A. E., Guryev, M. A., Ivanov, S. G. & Augstkaln, A. I. (2022). Features of the structure of thin 20GL steel samples obtained by casting gasified patterns technology. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 3-7. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.019.

### ВВЕДЕНИЕ

Литьё по газифицируемым моделям (ЛГМ) является в настоящий момент одним из востребованных и эффективных специальных способов получения литья разной сложности и конфигурации. В последние два десятилетия в России данный вид литья приобретает все большую популярность [1–3]. Однако и проблем, связанных с удалением газов и твердых частиц углерода в процессе деструкции пенополистирольной модели, также достаточно.

Настоящие исследования посвящены изучению проблемы неравномерного распределения углерода по сечению стального литого образца, то есть ярко выраженной ликвацией углерода в стальных отливках, полученных методом литья по газифицируемым моделям.

### МЕТОДЫ

В настоящей работе для получения модели заготовки использовали пенополистирол повышенной активности марки Н-4S с

содержанием пентана 7,02 % и диаметром гранул в исходном состоянии 0,3–0,6 мм. Насыпная плотность после предварительного вспенивания 20 гр/дм<sup>3</sup>. Размеры образцов: 100x100 мм, толщина 8 мм.

Спекание модели заготовки проводили в пресс-форме в автоклаве ГК-100-3 при температуре 120–125 °С, по времени 1 мин 5 и при давлении 0,22 МПа. После тщательной сушки в потоке теплого воздуха (45–50 °С) модели проходили контроль качества поверхности и устанавливались при помощи пайки на модели литниковой системы (в форме куста), изготовленной из того же материала и такой же плотности, что и сама модель образца. Далее на куст с моделями наносилось обливанием антипригарное покрытие «Ставролан ЛФ» и все это просушивалось в течение 16 часов при температуре 45–50 °С. Затем куст с моделями формовали в песчаную форму и перед заливкой расплавом подключали к вакууму с разрежением в 0,04 МПа. Заливка формы расплавом происходила при температуре 1580–1560 °С из поворотного ковша со скоростью 2,3 кг/с.

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ТОНКИХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 20ГЛ, ПОЛУЧЕННЫХ ЛИТЬЕМ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Готовые отливки извлекали из формы через 15 мин после заливки. Химический состав расплава стали перед заливкой представлен в таблице 1 (экспресс-пробы).

В работе использовалась индукционная плавильная печь с набивным тиглем емкостью 500 кг с нейтральной футеровкой. Химический анализ стали определялся с помощью эмиссионного спектрометра «АРГОН-5СФ». После получения образцов одна их часть была исследована без проведения отжига, то есть в исходном состоянии, а другая – после термообработки.

Полученные образцы вырезались из верхней части отливки на расстоянии 10 мм

от края на прецизионном отрезном станке «MICRACUT-201». Отрезанные темплеты запрессовывали в эпоксидный компаунд на металлографическом прессе «METAPRESS», затем производили шлифование и полирование на автоматическом шлифовально-полировальном станке «DIGIPREP» (рисунок 1) по методикам, описанным в работах [4–6]. Для изучения макро- и микроструктуры образцов использовался программно-аппаратный комплекс «Thixomet PRO» и металлографический микроскоп Carl Zeiss Axio Observer Z1m [7–8]. Измерения микротвердости для идентификации фаз осуществляли на универсальном твердомере МН-6.

Таблица 1 – Химический экспресс-анализ сплава перед сливом в форму

Table 1 - Chemical express analysis of the alloy before pouring into the mold

Химический элемент	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	Al
Доля содержания, %	0,12	0,97	0,35	0,003	0,013	0,050	0,056	0,051	0,001



Рисунок 1 – Подготовленные образцы

Figure 1 - Prepared samples

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенные исследования макро- и микроструктуры образцов показали, что в процессе заливки металлом во время деформации пенополистирола происходит интенсивное науглераживание стали не только в поверхностной зоне, но и по всему сечению образцов, что хорошо видно на рисунках 2, 3 а.



Рисунок 2 – Макро- и микроструктура образцов после отжига

Figure 2 - Macro- and microstructure of samples after annealing

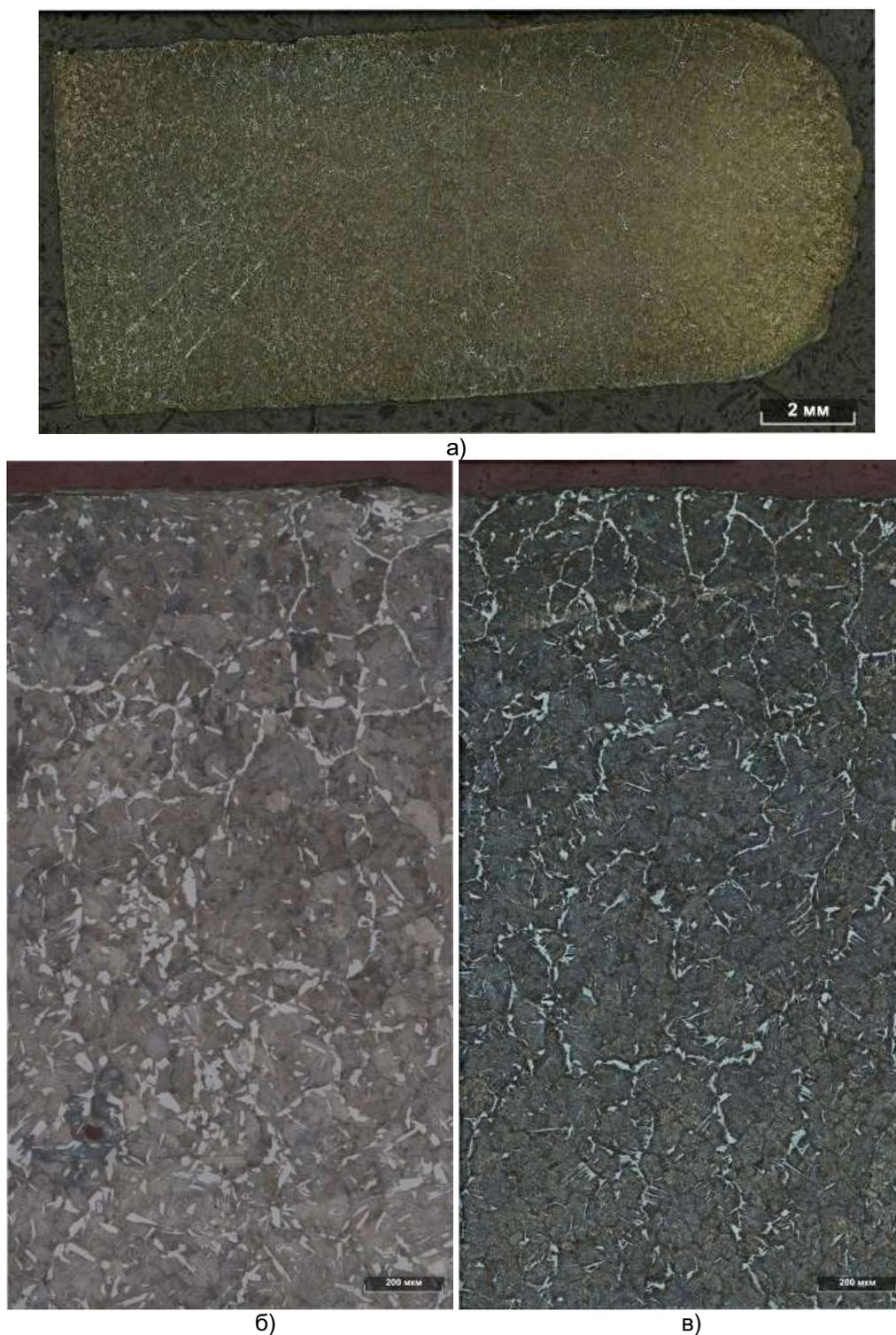


Рисунок 3 – Макро- и микроструктура образцов: а – без термической обработки; б – край образца после отжига; в – край образца без термической обработки

Figure 3 - Macro- and microstructure of samples: a - without heat treatment, b - the edge of the sample after annealing, c - the edge of the sample without heat treatment

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ТОНКИХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 20ГЛ, ПОЛУЧЕННЫХ ЛИТЬЕМ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

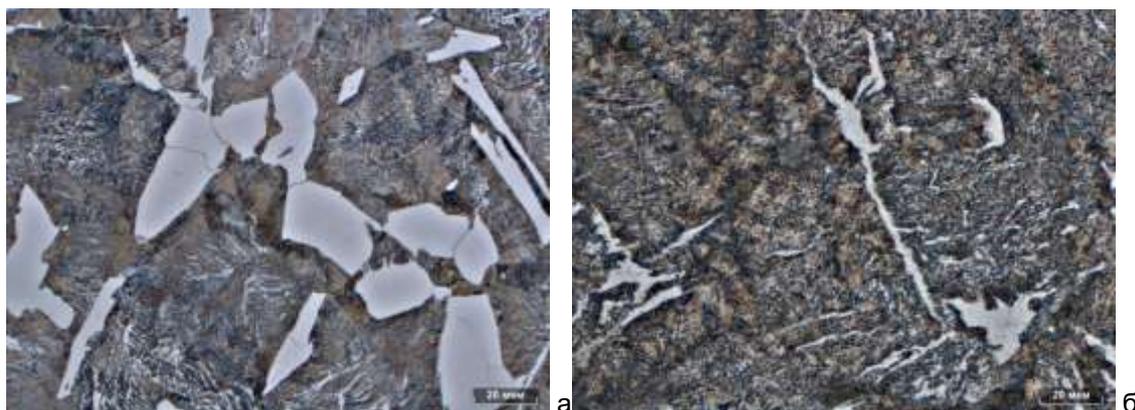


Рисунок 4 – Микроструктура сердцевины образцов: а – образец после отжига; б – без термической обработки

Figure 4 - Microstructure of the core of the samples: a - sample after annealing, b - without heat treatment

Как видно, структура образца без отжига практически полностью состоит из перлита (рисунок 3, а). Отожженный образец имеет более равновесную структуру, состоящую из зерен феррита и перлита (рисунок 3, б), при этом на нем хорошо видна область, состоящая из перлита на глубину 1,0–1,2 мм от поверхности. В образце без отжига такая структура не просматривается (рисунок 3, в).

На рисунке 4 представлена микроструктура образцов в их средней части.

Исследования показали, что микроструктура образца без термообработки представлена крупнозернистой видманштеттовой структурой (рисунок 4, б). Сердцевина образца после традиционной термообработки имеет наименьшее количество углерода по сечению и состоит из феррита и перлита в соотношении 50 : 50 (рисунок 4, а).

### ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что при получении отливок методом литья по газифицируемым моделям использование пенополистирола повышенной активности марки Н-4S ведет к резкому увеличению содержания углерода по всему сечению тонких стальных отливок с 0,12 до 0,8 % углерода.

Традиционная термическая обработка стальных отливок (отжиг) не оказывает значительного влияния на перераспределение углерода в объеме отливки, то есть не снижает ликвацию углерода по сечению образца.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуляк В.С. Литье по газифицируемым моделям. СПб. : Изд-во НПО «Профессионал», 2007. 408 с.
2. Озеров В.А., Шуляк В.С., Плотников Г.А. Литье по моделям из пенополистирола. М., «Машиностроение», 1970. 183 с.
3. Шуляк В.С. О состоянии и развитии производства отливок литьем по газифицируемым моделям в России // Сб. трудов 1-й Международной научно-практической конференции «Литье по газифицируемым моделям». СПб. 2007. С. 28–32.
4. Особенности методики подготовки образцов для автоматического анализа карбидной фазы стали X12Ф1 после цементации в вакууме с применением программного комплекса "Thixomet Pro" / С.Г. Иванов [и др.] // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 165–168. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.031.
5. Методика пробоподготовки образцов высоколегированных сталей для автоматического анализа карбидной фазы / С.Г. Иванов [и др.]. // Ползуновский вестник. 2020. № 3. С. 102–105. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.018.
6. Kazakov A.A., Ryaboshuk S.V., Lyubochko D.A., Chigintsev L.S. Research on the Origin of Nonmetallic Inclusions in High-Strength Low-Alloy Steel Using Automated Feature Analysis // *Microscopy and Microanalysis*. 2015. V. 21. № 3. P. 1755–1756.
7. Kazakov A.A., Kiselev D. Industrial Application of Thixomet // *Metallography, Microstructure, and Analysis*. 2016. 5. P. 294–301.
8. Kazakov A.A., Kiselev D. Industrial application of thixomet image analyzer for quantitative description of steel and alloys microstructure // *Microscopy and Microanalysis*. 2015. V. 21. № 3. P. 457.
9. Гурьев М.А. Повышение износостойкости деталей машин и инструмента поверхностным легированием при производстве литых изделий : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Барнаул, 2010. 17 с.

10. Технология упрочнения стальных изделий в процессе литья / М.А. Гурьев [и др.] // Литейщик России. 2013. № 6. С. 36–38.

### **Информация об авторах**

*А. Е. Ерболатов – магистрант кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

*М. А. Гурьев – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

*С. Г. Иванов – доктор технических наук, заведующий лабораторией микроскопии, заведующий кафедрой «Машиностроительные технологии и оборудование» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

*А. И. Аугсткалн – аспирант Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.*

5. Ivanov, S.G., Guryev, A.M., Zemlyakov, S.A. & Guryev, M.A. (2020). Method of sample preparation of samples of high-alloy steels for automatic analysis of the carbide phase. *Polzunovsky vestnik*, (3), 102-105. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.018.

6. Kazakov, A.A., Ryaboshuk, S.V., Lyubochko, D.A. & Chigintsev, L.S. (2015). Research on the Origin of Nonmetallic Inclusions in High-Strength Low-Alloy Steel Using Automated Feature Analysis. *Microscopy and Microanalysis*, (3), 1755-1756.

7. Kazakov, A.A. & Kiselev, D. (2016). Industrial Application of Thixomet. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, (5), 294-301.

8. Kazakov, A.A., & Kiselev, D. (2015). Industrial application of thixomet image analyzer for quantitative description of steel and alloys microstructure. *Microscopy and Microanalysis*, (3), 457.

9. Guryev, M.A. (2010). Increasing the wear resistance of machine parts and tools by surface alloying in the production of cast products: abstract of the Dissertation of the Faculty of Technical Sciences. Barnaul. (In Russ.).

10. Guryev, M.A., Filchakov, D.S., Ivanov, S.G., Guryev, A.M. & Deev, V.B. (2013). Technology of hardening of steel products in the casting process. *Foundry of Russia*, (6), 36-38. (In Russ.).

### **REFERENCES**

1. Shulyak, V.S. (2007). Casting by gasified models. St. Petersburg: Publishing house of NPO "Professional". (In Russ.).

2. Ozerov, V.A., Shulyak, V.S. & Plotnikov, G.A. (1970). Casting according to models from expanded polystyrene. M., "Machine building". (In Russ.).

3. Shulyak, V.S. On the state and development of the production of castings by gasified models in Russia. Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference "Casting by gasified models". SPb. 2007. (In Russ.).

4. Ivanov, S.G., Guryev, A.M., Zemlyakov, S.A., Guryev, M.A. & Romanenko, V.V. (2020). Features of the method of sample preparation for automatic analysis of the carbide phase of steel X12F1 after cementation in vacuum using the software package "Thixomet Pro". *Polzunovsky vestnik*, (2), 165-168. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.031.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 28.03.2022; одобрена после рецензирования 06.05.2022; принята к публикации 17.05.2022.*

*The article was received by the editorial board on 28 Mar 22; approved after reviewing on 6 May 22; accepted for publication on 17 May 22.*

### **Information about the authors**

*A. E. Erbolatov - master student of the Department «Mechanical Engineering Technologies and Equipment» of the Polzunov Altai State Technical University.*

*M. A. Guryev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Mechanical Engineering Technologies and Equipment» of the Polzunov Altai State Technical University.*

*S. G. Ivanov - Doctor of Technical Sciences, Acting head of department «Mechanical Engineering Technologies and Equipment», leading researcher of the Polzunov Altai State Technical University.*

*A. I. Augstkaln - post-graduate student of the Polzunov Altai State Technical University.*