

Анализ способов воздействия на расплав с целью обеспечения гомогенной структуры слитка

¹*ДОСПАЕВ Мурат Мантенович, д.т.н., главный научный сотрудник, manten.mur@mail.ru,

²ФИГУРИНЕНЕ Ирина Владиславовна, PhD, ассоциированный профессор,

Figurinenene@qmu.kz,

¹Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, ул. Ермакова, 63, Караганда, Казахстан,

²НАО «Карагандинский медицинский университет», ул. Гоголя, 40, Караганда, Казахстан,

*автор-корреспондент.

Аннотация. В работе приведены результаты информационного анализа работ, посвященных исследованию влияния различных методов воздействия в период первичной кристаллизации на структуру и свойства сплава. В качестве основных и наиболее эффективных факторов воздействия были определены введение наномодификаторов различной природы и обработка расплава магнитным полем. В результате воздействия этих факторов прочностные свойства сплавов возрастают примерно на 20%. Воздействие других изученных факторов (ультразвуковое воздействие, вибрация и др.) является не столь эффективными. На основании проведенного информационного анализа рекомендуется использовать введение наномодификаторов и обработку магнитным полем для гомогенизации структуры, устранения ликвации, измельчения зерна и, как следствие, для повышения прочностных свойств.

Ключевые слова: гомогенная структура, воздействие, наномодифицирование, магнитное поле, свойства.

Введение

Одним из актуальных трендов в современном металловедении является исследование и разработка способов управления структурами в период первичной кристаллизации. Зависимость формирования и перекристаллизации конечной структуры слитка после термообработки от исходной структуры определяется не только созданием структуры с учетом металлургического качества металла (отсутствие ликвации, пористости, неметаллических включений), но и с учетом металлографического качества (размер и ориентация зерен, распределением фаз внедрения в объеме зерен и др.).

Современным направлением в области совершенствования качества литых заготовок из сложнолегированных сталей является возможность управлять структурой в период первичной кристаллизации при применении разных способов обработки, например, модифицирования, вибрации, ультразвука и пр. [13]. Достаточно распространенными способами управления структурой являются направленная кристаллизация, управление

скоростью охлаждения, введение модификаторов в совокупности с применением дополнительного воздействия на структуру. Все эти меры обеспечивают образование гомогенизированной мелкозернистой структуры, что гарантирует высокие эксплуатационные свойства.

Известно, что дендритная и зональная ликвации являются одними из главных скрытых дефектов литья при получении отливок из сложнолегированных сталей. Ликвация зачастую выявляется только в условиях эксплуатации или, в лучшем случае, на этапе конечного контроля [1]. Управление формированием структуры в период первичной кристаллизации дает возможность избежать такого вида дефекта, и, соответственно, снизит его процент и увеличит выход годного.

Основной проблемой обеспечения гомогенной структуры в слитках из сложнолегированной стали – это большой интервал между ликвидусом и солидусом, обусловленный наличием различных легирующих элементов [2]. Широкий интервал между

ликвидусом и солидусом способствует неравномерной кристаллизации, возникновению рыхлости в структуре, что ведет к возникновению повышенной пористости и неоднородности зерен. По результатам исследований [3-8] определено, что использование комплексного способа воздействия в период первичной кристаллизации может обеспечить однородную структуру с весьма мелкими зернами, что, в свою очередь, гарантирует достаточно высокие механические и эксплуатационные свойства.

Информационный анализ

В трудах [5,6] показана математическая модель, с помощью которой возможно рассчитывать основные параметры кристаллизации, такие как критический радиус зародыша кристаллизации и число зародышей в единице объема расплава. Эти параметры были успешно рассчитаны при выплавке литейных алюминиевых сплавов, которые обрабатывались с использованием внешних воздействий в период плавки и при заливке в литейные формы. С использованием данной математической модели можно определять эффективность конкретных способов обработки расплавов.

Авторы [7] приводят в обобщенном виде основы теоретического положения влияния модифицирующего физического воздействия, например, вибрации, ультразвука, электромагнитного перемешивания, термовременной обработки на кристаллизацию слитка. Определено, что на процесс кристаллизации и структурообразования значительно влияют режимы физического воздействия в период плавки и заливки.

Работы [7-9] посвящены исследованию влияния вибраций на формирование структуры слитка. Определено, что при воздействии низкочастотных вибраций происходит измельчение дендритной структуры, устраняются транскристаллизации и вследствие этого благоприятствует формированию вторичной структуры, а это, в свою очередь, повышает количественные показатели эксплуатационных свойств отливки. Многие исследования посвящены определению влияния ультразвуковых воздействий в процессе кристаллизации и формирования первичной структуры.

Классической работой по изучению влияния ультразвуковых волн на кинетику кристаллизации можно считать монографию [10], в которой впервые обосновано полезное воздействие ультразвуковых волн в процессе кристаллизации и формирования первичной структуры. Все дальнейшие исследования в этом направлении отмечают положительное воздействие ультразвука

в процессе кристаллизации и наполнены практическими рекомендациями по использованию ультразвука для различных конкретных случаев.

Следует указать, что современные исследователи уделяют большое влияние оценке воздействия инокуляторов на процесс кристаллизации [11-15]. Надо отметить, что способ применения инокуляторов различной природы применяется достаточно давно. В современных исследованиях рассматриваются воздействия на структуру отливок инокуляторов новых составов, размеров, способов введения. В источнике [10] к ультразвуковому и магнитному воздействию на процесс формирования слитка рассматривается также влияние инокуляторов – холодильников. Авторы предлагают вводить инокуляторы фракцией 1-60 мм, которая определяется природой инокулятора и размерами слитка.

В работе [11] рассматривается влияние инокуляторов тугоплавких металлов, добавляемых в расплав в виде нанопорошков. Использование нанопорошков приводит к уменьшению дисперсности структуры, уменьшению пористости слитка, отсутствию видманштеттовых или крупноигльчатых феррито-перлитных структур.

На рисунке 1 в качестве примера приведены структуры стали до и после воздействия наномодификатором. Сравнение структур наглядно демонстрирует измельчение зерна, как следствие, следует ожидать повышение прочностных свойств.

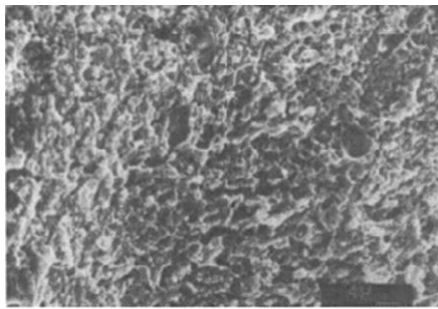
На рисунке 2 приведена сравнительная диаграмма, построенная по результатам информационного анализа 100 источников, посвященных исследованию влияния различных факторов на изменение структуры и связанных с этим улучшением свойств.

В качестве параметров сравнения принимаются:

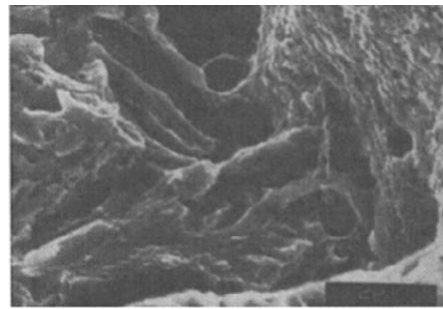
- процент исследований, связанных с тем или иным фактором воздействия;
- процент положительного увеличения прочностных свойств, обусловленный тем или иным воздействием.

Как видно из диаграммы, наибольшее число исследований в этом направлении связано с введением наномодификаторов и воздействием на расплав магнитным полем. Эти же факторы обеспечивают наиболее эффективное воздействие на свойства сплава.

К другим методам воздействия относятся направленная кристаллизация, термовременные фазовые трансформации, обработка лазером и др. Некоторые из этих методов обеспечивают достаточно высокое повышение свойств, но являются довольно «экзотичными» и не получили широкого распро-



а



б

а – после модифицирования; б – до модифицирования [15]

Рисунок 1 – Влияние наномодификатора на структуру стали 5XNM

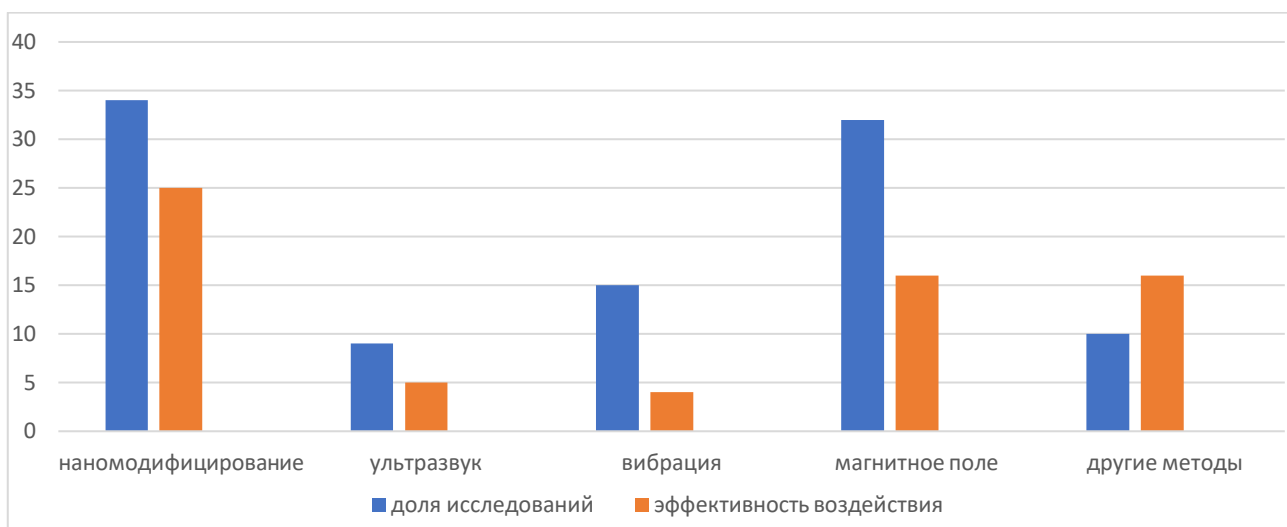


Рисунок 2 – Сравнительная диаграмма распространенности факторов воздействия на структуру и их эффективность

странения.

Выводы

Таким образом, на основании проведенного анализа в качестве эффективных мер воздействия на структуру и связанных с этим улучшением свойств, можно рекомендовать наномодифицирование и обработку магнитным полем. Введение наномодификаторов-инокуляторов различной природы по-

зволяет улучшить структуру, повысить металлургическое качество стали и улучшить прочностные свойства, в среднем, на 20%.

Данные исследования проведены в рамках реализации гранта Комитета науки МНВО РК BR24993020 «Разработка и внедрение технологии изготовления сложнолегированных сталей с гомогенной структурой за счет синергии воздействий на расплав».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zadiranov A.N., Kats A.M. Teoreticheskiye osnovy kristallizatsii metallov i splavov. – M.: MGIU. 2008. – 194 p.
2. A. Strondl, S. Milenkovic, A. Schneider, U. Klement, G. Frommeyer. Effect of Processing on Microstructure and Physical Properties of Three Nickel-Based Superalloys with Different Hardening Mechanisms // *Advanced engineering materials*, 2012, vypusk 14, no. 7, pp. 427-438. DOI: 10.1002/adem.201100349
3. Ye.B. Chabina, B.S. Lomberg, Ye.V. Filonova, S.V. Ovsepyan, M.M. Bakradze. Izmeneniye strukturno-fazovogo sostoyaniya zharoprochnogo deformiruyemogo nikelovogo splava pri legirovanii tantalom i reniyem // «Elektronnyy zhurnal «Trudy VIAM», 2015, no. 9, dx.doi.org/10.18577/2307-6046-2015-09-3-3, ISSN 2307-6046
4. A. Roger Rodrigues, O. Balancin, J. Gallego, C.L. Fazolo de Assis, H. Matsumoto, F. Brandão de Oliveira, S. Regina da Silva Moreira, O. Villar da Silva Neto. Surface Integrity Analysis when Milling Ultrafine-grained Steels // *Materials Research*, 2012, vypusk (tom) 15 (1), pp. 125-130. DOI: 10.1590/S1516-14392011005000094.
5. Deyev V.B., Selyanin I.F., Mochalov S.P., Tsetsorina S.A., Oznobikhina N.V. Matematicheskoye modelirovaniye protsessa kristallizatsii metallicheskih rasplavov posle obrabotki vneshnimi vozdeystviyami // *Zagotovitel'nyye proizvodstva v mashinostroyenii*, 2009, № 10, pp. 3-5.
6. Deyev V.B., Prihod'ko A.G., Ponomareva K.V. i dr. Opredeleniye parametrov kristallizatsii liteynykh splavov, poluchennykh po resursosberegayushchim tekhnologiyam s ispol'zovaniyem fizicheskogo vozdeystviya // *Trudy KHKH Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Metallurgiya: tekhnologii, innovatsii, kachestvo» (15-16 noyabrya 2017 g.)* – Novokuznetsk, Rossiya, ch. 1. – Pp. 165-171.
7. Sposob gomogenizatsii rasplavov putem tsiklicheskih fazovykh preobrazovaniy i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya Avtory: Anisimov O.V., Shtankin YU.V. Patent na izobreteniyе RUS 2393941 20.03.2009.
8. Selyanin I.F., Deyev V.B., Belov N.A., Prihod'ko O.G., Ponomareva K.V. Fizicheskiye modifitsiruyushchiye vozdeystviya i ikh vliyaniye na kristallizatsiyu liteynykh splavov // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tsvetnaya metallurgiya*, 2015, № 3, pp. 56-59.
9. Nuradinov A.S. Taranov Ye.D., Korovko YU.S. Vliyaniye nizkochastotnoy vibratsionnoy obrabotki na strukturu i svoystva uglerodistoy stali // *Protsessy lit'ya*, 2009, № 2, pp. 46-49.
10. A.P. Kapustin The effect of ultrasound on the kinetic of Crystallization // print Sptinger, 1963.
11. Grigorenko G.M., Kostin V.A. Golovko V.V. i dr. Vliyaniye nanoporoshkovykh inokulyatorov na strukturu i svoystva litogo metalla vysokoprochnykh nizkolegированных staley // *Obshchiye voprosy metallurgii*, 2015, № 2, pp. 32-41.
12. Petrova V.F. Issledovaniye vliyaniya inokulyatorov na strukturnyye parametry litogo metalla i sluzhebnyye svoystva kovanykh izdeliy tyazhelogo mashinostroyeniya Diss., 2006g. Volgograd.
13. J.N. Harvey, G.A. Noble Inoculation of cast irons // 55th Indian Foundry Congress, 2007.
14. T. Scaland Inoculation, solifidication stydiel // *Modern Casting*, 2001, № 6, pp. 158-160.
15. Rudnitskiy F.I., Stasyulevich V.L., Traymak N.S. // Issledovaniye vliyaniya modifitsirovaniya na strukturu, fazovyy sostav i svoystva stali 5KHNM v litom sostoyanii // *Lit'ye i metallurgiya* 2006, № 4, pp. 104-112.

Құйманың біртекті құрылымын қамтамасыз ету мақсатында балқымаға әсер ету әдістерін талдау

¹***ДОСПАЕВ Мұрат Мантенович**, т.ғ.д., бас ғылыми қызметкер, manten.mur@mail.ru,

²**ФИГУРИНЕНЕ Ирина Владиславовна**, PhD, қауымдастырылған профессор, Figurinene@qmu.kz,

¹Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Ермаков көшесі, 63, Қарағанды, Қазақстан,

²«Қарағанды медицина университеті» КеАҚ, Гоголь көшесі, 40, Қарағанды, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Жұмыста бастапқы кристалдану кезеңінде әртүрлі әсер ету әдістерінің қорытпаның құрылымы мен қасиеттеріне әсерін зерттеуге арналған жұмыстардың ақпараттық талдау нәтижелері берілген. Әсер етудің негізгі және тиімді факторлары ретінде әртүрлі табиғаттағы наномодификаторларды енгізу және балқыманы магнит өрісімен өңдеу анықталды. Осы факторлардың әсерінен қорытпалардың беріктік қасиеттері шамамен 20%-ға артады. Басқа зерттелген факторлардың әсері (ультрадыбыстық әсер, діріл және т.б.) соншалықты тиімді емес. Жүргізілген ақпараттық талдау негізінде құрылымды біртектілеу, ликвиацияны жою, дәнді тазарту және соның нәтижесінде беріктік қасиеттерін арттыру үшін наномодификаторларды және магнит өрісін өңдеуді енгізуді қолдану ұсынылады.

Кілт сөздер: біртекті құрылым, әсер ету, наномодификация, магнит өрісі, қасиеттері.

Analysis of Methods of Influencing the Melt in Order to Ensure A Homogeneous Structure of The Ingot

¹***DOSPAEV Murat**, Dr. of Tech. Sci., Chief Researcher, manten.mur@mail.ru,

²**FIGURINENE Irina**, PhD, Associate Professor, Figurinene@qmu.kz,

¹Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Ermekov Street, 63, Karaganda, Kazakhstan,

²NPJSC «Medical University of Karaganda», Gogol Street, 40, Karaganda, Kazakhstan,

*corresponding author.

Abstract. The paper presents the results of information analysis of works devoted to the study of the influence of various methods of action during the primary crystallization on the structure and properties of the alloy. The introduction of nanomodifiers of various nature and the treatment of the melt with a magnetic field were determined as the main and most effective factors of action. As a result of the action of these factors, the strength properties of the alloys increase by about 20%. The action of other studied factors (ultrasonic action, vibration, etc.) is not so effective. Based on the conducted information analysis, it is recommended to use the introduction of nanomodifiers and magnetic field treatment to homogenize the structure, eliminate liquation, refine the grain and, as a result, to increase the strength properties.

Keywords: homogeneous structure, action, nanomodification, magnetic field, properties.

REFERENCES

1. Zadiranov A.N., Kats A.M. *Teoreticheskiye osnovy kristallizatsii metallov i splavov.* – M.: MGIU. 2008. – 194 p.
2. A.Strondl, S.Milenkovic, A.Schneider, U.Klement, G.Frommeyer. Effect of Processing on Microstructure and Physical Properties of Three Nickel-Based Superalloys with Different Hardening Mechanisms // *Advanced engineering materials*, 2012, vypusk 14, no. 7, pp. 427-438. DOI: 10.1002/adem.201100349
3. Ye.B. Chabina, B.S. Lomberg, Ye.V. Filonova, S.V. Ovsepyan, M.M. Bakradze. *Izmeneniye strukturno-fazovogo sostoyaniya zharoprochnogo deformiruyemogo nikelovogo splava pri legirovanii tantalom i reniyem* // «Elektronnyy zhurnal «Trudy VIAM», 2015, no. 9, dx.doi.org/10.18577/2307-6046-2015-09-3-3, ISSN 2307-6046
4. A. Roger Rodrigues, O. Balancin, J. Gallego, C.L. Fazolo de Assis, H. Matsumoto, F. Brandão de Oliveira, S. Regina da Silva Moreira, O. Villar da Silva Neto. Surface Integrity Analysis when Milling Ultrafine-grained Steels // *Materials Research*, 2012, vypusk (tom) 15 (1), pp. 125-130. DOI: 10.1590/S1516-14392011005000094.
5. Deyev V.B., Selyanin I.F., Mochalov S.P., Tsetsorina S.A., Oznobikhina N.V. *Matematicheskoye modelirovaniye protsessa kristallizatsii metallicheskih rasplavov posle obrabotki vneshnimi vozdeystviyami* // *Zagotovitel'nyye proizvodstva v mashinostroyenii*, 2009, № 10, pp. 3-5.
6. Deyev V.B., Prihod'ko A.G., Ponomareva K.V. i dr. *Opredeleniye parametrov kristallizatsii liteynykh splavov, poluchennykh po resursosberegayushchim tekhnologiyam s ispol'zovaniyem fizicheskogo vozdeystviya* // *Trudy KHKH Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Metallurgiya: tekhnologii, innovatsii, kachestvo» (15-16 noyabrya 2017 g.)* – Novokuznetsk, Rossiya, ch. 1. – Pp. 165-171.
7. *Sposob gomogenizatsii rasplavov putem tsiklicheskih fazovykh preobrazovaniy i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya* Avtory: Anisimov O.V., Shtankin YU.V. Patent na izobreteniyе RUS 2393941 20.03.2009.
8. Selyanin I.F., Deyev V.B., Belov N.A., Prihod'ko O.G., Ponomareva K.V. *Fizicheskiye modifitsiruyushchiye vozdeystviya i ikh vliyaniye na kristallizatsiyu liteynykh splavov* // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tsvetnaya metallurgiya*, 2015, № 3, pp. 56-59.
9. Nuradinov A.S. Taranov Ye.D., Korovko YU.S. *Vliyaniye nizkochastotnoy vibratsionnoy obrabotki na strukturu i svoystva uglerodistoy stali* // *Protsessy lit'ya*, 2009, № 2, pp. 46-49.
10. A.P. Kapustin *The effect of ultrasound on the kinetic of Crystallization* // print Sptinger, 1963.
11. Grigorenko G.M., Kostin V.A. Golovko V.V. i dr. *Vliyaniye nanoporoshkovykh inokulyatorov na strukturu i svoystva litogo metalla vysokoprochnykh nizkolegированных staley* // *Obshchiye voprosy metallurgii*, 2015, № 2, pp. 32-41.
12. Petrova V.F. *Issledovaniye vliyaniya inokulyatorov na strukturnyye parametry litogo metalla i sluzhebnyye svoystva kovanykh izdeliy tyazhelogo mashinostroyeniya* Diss., 2006g. Volgograd.
13. J.N. Harvey, G.A. Noble *Inoculation of cast irons* // 55th Indian Foundry Congress, 2007.
14. T. Scaland *Inoculation, solifidication stydiel* // *Modern Casting*, 2001, № 6, pp. 158-160.
15. Rudnitskiy F.I., Stasyulevich V.L., Traymak N.S. // *Issledovaniye vliyaniya modifitsirovaniya na strukturu, fazovyy sostav i svoystva stali 5KHNM v litom sostoyanii* // *Lit'ye i metallurgiya* 2006, № 4, pp. 104-112.