

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ НА СТАЛИ 110Г13Л

*Эгамбердиев Илхом Пулатович, д-р техн.,
доцент НГГИ.*

*Шарафутдинов Улугбек Зиятович, д-р техн.
наук, зам. начальника инновационного центра
НГМК.*

*Улугов Голибжон Давлатович, ведущий
инженер инновационного центра ПО НМЗ,
НГМК.*

Аннотация. Изучение структуры и свойств современных сталей для литых деталей горного оборудования показало, что для их изготовления перспективными остаются высокомарганцовистые аустенитные стали 110Г13Л (сталь Гадфильда). Целью данной работы является анализ технологии производства литых футеровок для рудо-размольного оборудования из этой марки стали. Результаты фактографии, макро- и микроструктурного анализа структуры сплава, проведенные на ПО «НМЗ» показали, что пористость и пустоты формируется в центральной части отливки, а микропористость – по всему сечению отливка, в том числе и в тонких сечениях. Это позволит скорректировать технологию получения отливки из стали 110Г13Л. Микроструктурный анализ, проведенный специалистами ПО НМЗ, показал, что в литом состоянии для стали 110Г13Л, желательной является структура стали, представляющая собой дендритное строение зерен аустенита, в теле и по границам зерен которых расположены избыточные карбиды. Модифицирование способствует уменьшению величины зерна аустенита. Термическая обработка способствует снятию литейных напряжений и получению однородной аустенитной структуры, растворяя избыточные карбиды. Наиболее желательной структурой после термической обработки является аустенитная структура, с мартенситом на поверхности отливка, образующиеся из-за высокой скорости охлаждения.

Ключевые слова: футеровки мельниц, футеровки дробилок, горнорудное оборудование, сталь, литейное производство, химический состав, механические свойства, карбиды, структура, модифицирование, термическая обработка.

Annotation. The study of the structure and properties of modern steels for cast parts of mining equipment has shown that high-manganese austenitic steels 110G13L (Gadfield steel) remain promising for their manufacture. The purpose of this work is to analyze the technology of production of cast linings for ore-grinding equipment made of this steel grade. The results of factography, macro- and microstructural analysis of the alloy structure carried out at NMZ software showed that porosity and voids are formed in the central part of the casting, and microporosity is formed throughout the casting section, including in thin sections. This will allow us to adjust the technology for obtaining castings from 110G13L steel. Microstructural analysis conducted by NMZ specialists showed that in the cast state for 110G13L steel, the steel structure is desirable, which is the dendritic structure of austenite grains, in the body and along the grain boundaries of which excess carbides are located. Modification helps to reduce the grain size of austenite. Heat treatment helps to relieve casting stresses and obtain a homogeneous austenitic structure by dissolving excess carbides. The most desirable structure after heat treatment is an austenitic structure, with martensite on the casting surface formed due to the high cooling rate.

Keywords: mill linings, crusher linings, mining equipment, steel, foundry, chemical composition, mechanical properties, carbides, structure, modification, heat treatment.

ВВЕДЕНИЕ



С развитием горнодобывающей промышленности в Республике Узбекистан, в 60-е годы был построен Навоийский ремонтно-механический завод (ныне Производственное объединение «Навоийский машиностроительный завод»). Освоение отливок из высокомарганцовистой износостойкой стали 110Г13Л на этом заводе началось сразу после его пуска, так как износостойкие стали уже прочно себя зарекомендовали в этой отрасли. На сегодняшний день из них изготавливают футеровки рудоразмельных мельниц, гусеничные траки, зубья ковшей экскаваторов, коронок зубьев в т.ч. футеровки чаши и конусов для дробилок МР - 1000 , весом 6,4 и 7,3 тонн соответственно [6, 9, 10]. На сегодняшний день объем выпуска отливок из стали 110Г13Л на заводе составляет более 250 тонн в год.

Выход из строя перечисленных выше узлов и механизмов, вызванный их поломкой или быстрым износом, является основным фактором, определяющим межремонтный срок службы оборудования, и ведет к сокращению объемов добычи руды, снижает производительность и эффективность производства.

Детали, работающие в условиях ударно-абразивного износа, традиционно изготавливаются из стали 110Г13Л. Это обусловлено эксплуатационными свойствами данной стали, в частности, высокой стойкостью ударно-абразивному износу.

Химический состав и механические свойства стали 110Г13Л регламентирован ГОСТ 977-78 (см табл.1). Однако широкие пределы концентраций углерода, кремния и марганца при прочих равных условиях не гарантируют постоянства механических и эксплуатационных свойств даже для деталей одного и того же назначения. Незначительные отклонение химических элементов (C, Si, S) от требований ГОСТ 977-78 и незначительные изменение условий плавки стали 110Г13Л приводит к несоответствию механических свойств сплава требованиям нормативно-технических документов [1, 2, 9, 10].

На сегодняшний день, существуют различные способы повышения качества стали 110Г13Л. Одним из перспективных способов является модифицирование сплава. Модифицирование позволяет качественно изменить технологию получения отливок. Однако, широкому распространению модифицирования в практику литейного производства препятствует нестабильность достигаемого эффекта, обусловленная чувствительностью процесса к условиям плавки, заливки и равномерному распределению модификаторов в объеме расплава [3, 4, 9, 10]. Создание и применение ультрадисперсных (размерами фракций до 1000 нм) и нанодисперсных (размерами фракций до 100 нм) модификаторов позволит обеспечить изменения в строении жидких расплавов, повышающее свойства отливок.

На ПО «Навоийский машиностроительный завод» были исследованы микроструктуры образцов из стали 110Г13Л, полученных по существующей технологии и после введения модификатора типа «МС» выпускаемой по ТУ 1760-001-64101572-2011.

Анализ результатов металлографических исследований показал, что модифицирование расплава стали 110Г13Л позволило снизить количества неметаллических включений, улучшить однородность структуры, измельчить размеры зерна аустенита, снизить количество газовых раковин, что, в свою очередь, привело к повышению плотности отливок. Это улучшает эксплуатационные характеристики отливок - равномерность распределения нагрузок, уменьшение вероятности трещинообразования при ударных нагрузках, образование газовых пор, тем самым снижает количество сколов на отливках [4, 5, 7, 8].

Цель данной работы является анализ технологии производства литых футеровок для дробилки МР – 1000.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены с использованием оборудования «ТЕХНОПАРКА» Навоийского Государственного горного института и ЦЗЛ ПО НМЗ.

Модели, формы, плавки и выбивка экспериментальных отливок футеровок дробилки МР – 1000 производились в литейном цеху ПО НМЗ с использованием следующих оборудований: смеситель 1504М; машина литейная формовочная пневматическая встряхивающая с перекидным столом модели 234МК; трехфазная дуговая печь ДСП-6 и выбивная решетка модели 31215.

Для определения химического состава стали использовали оптико-эмиссионный спектрометр СPECTROMAX (пр-во Германия).

Определение твердости производится на твердомере ТШ-2М (ТОЧПРИБОР, Россия).

Исследование микроструктуры стали произвели с помощью металлографического микроскопа ММР-4 (ЛОМО, Россия).

Механические свойства определяли на разрывной машине Р-50 (Россия) с усилием 500 кН.

Для проведения экспериментов была взята сталь 110Г13Л, химический состав которой приведен в таблице 1.

Таблица 1.

Химический состав стали 110Г13Л

Элементы	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu
Экспериментальная плавка № 295	1,10	0,45	12,08	0,038	0,113	0,47	0,17	0,03	0,08
по ГОСТ 977-88	0,90-1,50	0,30-1,00	11,50-15,00	≤ 0,050	≤ 0,120	≤ 1,00	≤ 1,00	-	-

Результаты исследований макро- и микроструктуры представлены на рис. 1, 2.

Микроструктура стали 110Г13Л в литом состоянии представляет собой крупнозернистый аустенит и карбиды расположенные в теле и по границам зерен аустенита (рис1а).

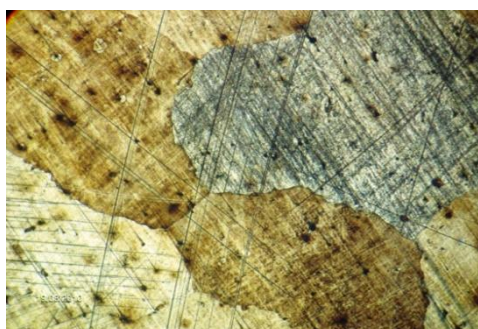
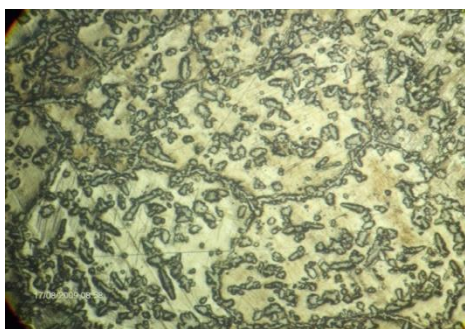


Рис. 1. Микрофотография образца из стали 110Г13Л до (а) и после (б) термической обработки, x100

При закалке карбиды расположенные в теле и по границам зёрен аустенита растворены полностью. После закалки микроструктура стали представляет собой крупнозернистый аустенит (рис 1б).

Изучение поверхности изломов образцов-свидетелей отлитые вместе с футеровками, проводили с помощью микроскопа МБ-8. Макроструктуры образцов до (в литом состоянии) и после закалки приведены на рис. 2.



Рис. 2. Вид излома литого образца-свидетеля (а) и образца -свидетеля после термической обработки (б).

На рис 2а, наблюдается неравномерная структура литого образца, излом литого образца хрупко-вязкий. После термической обработки зерно аустенита измельчена (рис2б), величина вязкой составляющей больше, чем в литом состоянии, менее блестящие кристаллы свидетельствуют о большей вязкости сплава.

Механические свойства стали 110Г13Л в литом состоянии и после термической обработки определяли на разрывной машине Р-50 с усилием 500 кН. Результаты исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3

Механические свойства образцов

Механические свойства	σ , МПа	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %	Твердость, НВ
Литое состояние стали	301	436	0,02	0,06	231-246
После термической обработки	352	650	36	38	187-193, 205
Справочные данные из марочника сталей	350-380	650-830	34-50	34-43	186-229

Твердость по Бринеллю на литом состоянии НВ 231-246, после термической обработки (аустенизации) НВ 187- 193 . На поверхности образца, из-за высокой скорости охлаждения, наблюдается мартенситные участки с твердостью НВ 250.

Проведенные исследований структуры и свойств показывают, что данная сталь может быть использована для изготовления футеровок, работающего на ударно-абразивный износ. Однако, в процессе работы футеровок, участились случаи преждевременного их разрушения (см. рис. 3). Для установления причин поломки



проведены макроструктурный и микроструктурный анализы излома футеровки.

Рис. 3. Поверхность разрушения футеровки.

Макроструктурный анализ излома футеровки показал, что по всей поверхности отливка наблюдаются микропоры,

пористость и пустоты (литейные раковины) присутствует и в центральной части отливка, см. рис.3. Визуальный осмотр излома проведен с применением увеличительного стекла $\times 6$ и $\times 10$ кратное.

Образцы из сломанной части футеровки для проведения металлографических исследований вырезаны на отрезном станке МЕСАТОМЕ Т330 (пр-во Франция), с применением охлаждающей жидкости. Подготовка микрошлифа произведена на шлифовально-полировальном станке НЕРИС (пр-ва Латвия).

На рис. 4 приведена схема вырезки образцов для исследования микроструктуры. Пористость и пустоты наблюдается в центральной части отливки, а микропористость - по всему сечению отливки. На поверхности футеровки невооруженным глазом видны скопление газовых пор.

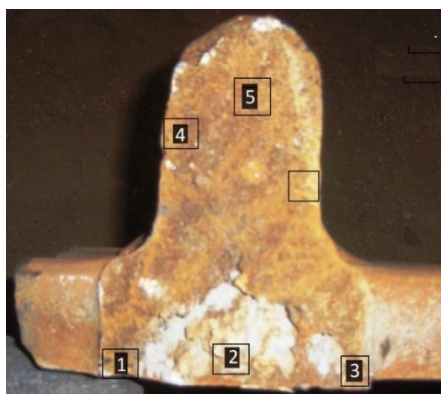


Рис. 4. Схема вырезки образцов для металлографических исследований.

Из предоставленных микрофотографии образца №1 видно, что по всей поверхности образца наблюдаются микропоры, пористость и пустоты (литейные раковины) присутствует и в центральной части отливки, см. рис.5. На поверхности образца №2 вдоль границ зерен аустенита наблюдается закись марганца.

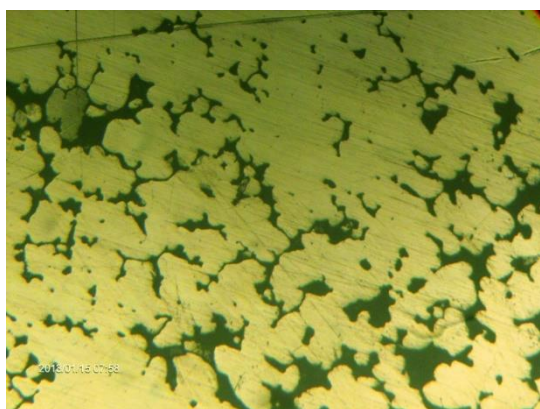
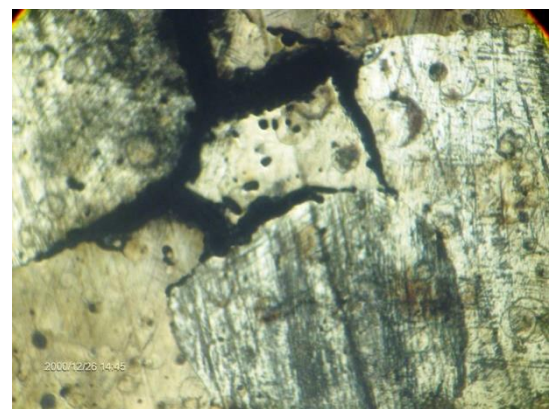


Рис. 5. Микрофотографии образца №1 до (а) и после (б) травления, увеличение $\times 50$ и $\times 100$.



- Таким образом, анализ причин, вызвавшие разрушение футеровки, показал:
- Поверхность излома неоднородная и на поверхности излома невооруженным глазом наблюдается скопление неметаллических включений. По всей поверхности излома наблюдается газопоры.
 - В микроструктуре отмечено наличие неметаллических включений, очевидно связанное с некачественной шихтой или с недостаточным раскислением металла при выплавке.

В мировой практике, для повышения качества стали широкое применение находят методы внепечной обработки модифицированием с помощью модификаторов в виде порошков. Отмечается положительное влияние модифицирования на макроструктуру, величину зерна и снижение количества неметаллических включений и на их форму [5, 6, 9, 10]. Учитывая вышесказанное, для промышленного испытания и изучения влияния модификатора на структуру стали 110Г13Л, было изготовлено экспериментальный комплект футеровок конуса и чаши весом 6,4 и 7,2 тонн



соответственно, для дробилки МР - 1000. Были проведены сравнительные исследование микроструктуры отливок полученных по существующей технологии ПО «НМЗ» (пл. Б103) и после введения модификатора типа «МС» по ТУ 1760-001-64101572-2011 (пл. Б106).

Химический состав экспериментальных отливок приведен в табл. 4.

Одним из перспективных способов, позволяющих повысить качество отливок, является модифицирование их ультрадисперсными (размер фракции до 1000 нм) и нанодисперсными (размер фракции до 100 нм) материалами в порошкообразном состоянии. Это направление позволяет качественно изменить саму технологию модифицирования.

Таблица 4.

Химический состав экспериментальной плавки

Элемент	Химический состав опытных футеровок, %		
	пл. Б106 (Конус)	пл. Б103	по ГОСТ 977-88
C	0,95	0,95	0,90-1,50
Si	0,48	0,35	0,30-1,00
Mn	13,21	12,71	11,50-15,00
P	0,069	0,047	Не более 0,050
S	0,023	0,019	Не более 0,120
Cr	1,64	1,04	Не более 1,00
Ni	0,21	0,22	Не более 1,00
Mo	0,03	0,03	-
Cu	0,20	0,14	-

Введение модификатора проведено загрузением модификатора на дно ковша, перемещение осуществляли за счет энергии падающей струи расплавленного металла. Заливку провели при температуре 1430 +/- 10 °С

После модифицирования стали 110Г13Л отбирали пробы для исследования макро- и микроструктуры и для испытания их на механические свойства.

Для исследования микроструктуры модифицированных сплавов, микрошлифы изготавливали на шлифовально-полировальном станке «НЕРИС» (Каунас, Латвия). Для выявления структуры применяли 4% -ный спиртовой раствор азотной кислоты.

Структура стали 110Г13Л в литом состоянии представляет собой дендритное строение зерен аустенита, с расположением избыточных карбидов (Mn,Fe)C в теле и по границам зерен аустенита.(рис. 6 а, б).

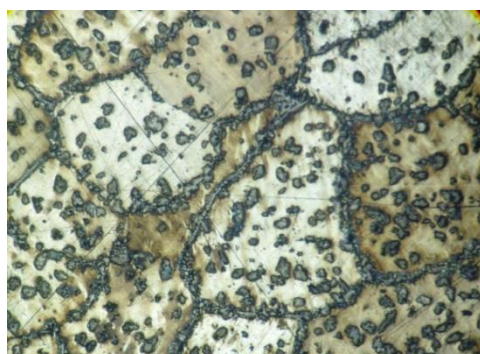
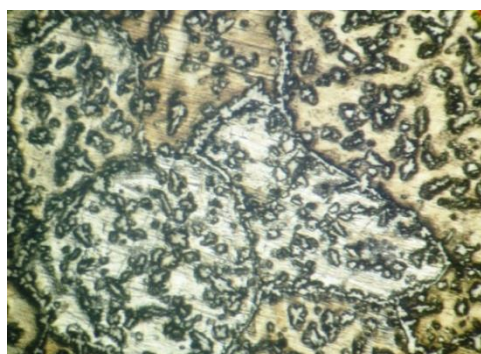


Рис. 6. Микроструктура литой отливки из стали 110Г13Л без модификатора (а) и с модификатором МС (б), увеличение x100.

На приведенных микрофотографиях видно, что модифицирование способствовало уменьшению величины зерна аустенита.

Карбиды в теле зерна и по границам зерен аустенита нейтрализованы последующей термической обработкой (закалкой). Микрофотографии образцов-свидетелей, прошедших термообработку представлены на рис. 7.

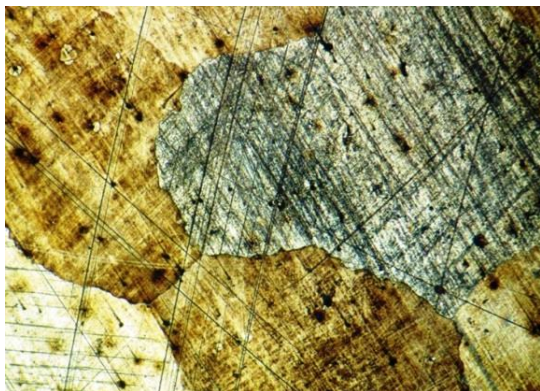


Рис. 7. Микрофотографии не модифицированного (а) и модифицированного (б) образца-свидетеля, прошедших термообработку, увеличение x100.

В результате исследования образцов без использования модификатора микроструктура образцов представляла собой аустенит величиной «-1» балла (по ГОСТ 5939-78) с неметаллическими включениями по границам и в теле зерна (рис 6а). Также при разрезе образцов наблюдаются газовые поры, избыточные карбиды, которые снижают прочность и вязкость стали. Микроструктура модифицированных образцов представляла собой аустенит, величиной зерна 3 балла по ГОСТ 5639-78, и незначительные неметаллические включения по границам и в теле зерна аустенита, см. рис 6б.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования и опытно-промышленных испытаний микроструктуры образцов высокомарганцевистой стали выявило влияние модификатора на микроструктуру образцов по сравнению с плавками, полученными по существующей технологии, а именно: модифицирование расплава стали 110Г13Л позволило значительно улучшить однородность структуры стали, уменьшить размеры зерна аустенита, количества газовых пор, количества и размеры неметаллических включений, что в свою очередь способствует повышению ее плотности и приводит к улучшению ее эксплуатационных свойств - улучшает равномерность распределения нагрузок, уменьшает трещинообразование, образование пор и сколов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bannister, A.C. Structural integrity assessment procedures for european industry. Sintap. Sub-task 2.3: yield stress/tensile stress ratio: results of experimental programme/A.C. Bannister, 1999. Режим доступа:

http://www.eurofitnet.org/sintap_BRITISH_STEEL_BS-25.pdf.

2. Bringas, E. John Handbook of Comparative World Steel Standards / E. John Bringas // Bringas, E. John, editor. - 2nd. p.cm - (ASTM data series; DS 67A).



3. Development of Steelmaking Processes for Producing Various High-Quality Steel Grades at Yawata Works / Shintaro Kusunoki, Ryoji Nishihara, Katsuhiko Kato, Hitoshi Sakagami, Shinichi Fukunaga, Naoki Hirashima // Nippon steel technical report, No. 104, August 2013, pp. 109-116.
4. Egamberdiev I.P., Atakulov L., Muminov R.O., Ashurov Kh.Kh. Research of Vibration Processes of Bearing Units of Mining Equipment // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – Volume 9, No.5, September - October 2020. – pp.7789-7793 (Scopus Base, DOI: 10.30534/ijatcse/2020/125952020).
5. Egamberdiev I.P. Spectral analysis of the oscillatory process of support assemblies on drilling machines // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – National Institute of Science Communication and Information Resources– India, 2018. –Vol. 5. – Issue 5. – pp. 5958-5962.
6. Karimov N.K., Egamberdiyev I.P., Yaxshiyev Sh.N. Recommendations for improving the system of maintenance and repair of mining equipment // Сборник материалов II международной конференции на тему: «Комплексное

- инновационное развитие Зарафшанского региона: достижения, проблемы и перспективы». – Навои, 27-28 ноября 2019 г. – С. 551-556.
7. Медведев, В.И. Исследование, разработка и внедрение технологии изготовления отливок из комплексно-легированных сталей для быстроизнашивающихся сменных деталей горно-обогатительного оборудования / Медведев, Валерий Иванович: дис. ... канд. техн. наук - 05.16.04. - Брянск, 1999. - 149 с.
8. Сердитов, А.Е. Литые хладо- и износостойкие стали для горнодобывающей техники: дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / Сердитов Антон Евгеньевич; [Место защиты: С.-Петерб. политехн. ун-т]. - Санкт-Петербург, 2008. - 141 с.
9. Специальные стали и сплавы / А.А. Ковалева, Е.С. Лопатина, В.И. Аникина, Т.Р. Гильманшина. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. - 168 с.
10. Эгамбердиев И.П., Рузибаев А.Н., Туйбойов О.В., Жумаев А.А. Методика проведения производственных испытаний зубьев ковша экскаватора на карьере «МУРУНТАУ» // «Новый университет», Россия, Йошкар-ола, 2015. – №43. – С. 22-25.