



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-17-24>
УДК 621.745

Поступила 07.10.2024
Received 07.10.2024

ВЛИЯНИЕ КОБАЛЬТА НА СВОЙСТВА ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

С. А. КУЛИКОВ, ОАО «Минский тракторный завод», г. Минск, Беларусь, ул. Долгобродская, 29.

E-mail: cyberlis@mail.ru

Ф. И. РУДНИЦКИЙ, Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65

Приведены результаты исследования влияния модифицирования кобальтовым порошком на механические свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и оловяно-свинцовистой бронзы. Показано, что при введении кобальтового порошка до 0,1% он равномерно распределяется в металлической матрице. Увеличение количества вводимой добавки позволило выявить, что кобальт преимущественно концентрируется в областях, кристаллизующихся последними. Введение кобальта позволило повысить временное сопротивление при растяжении высокопрочного чугуна и относительное удлинение бронзы. На другие механические свойства введение кобальтового порошка не влияет.

Ключевые слова. Кобальт, чугун, бронза, механические свойства.

Для цитирования. Куликов, С. А. Влияние кобальта на свойства литейных сплавов / С. А. Куликов, **Ф. И. Рудницкий** // Литье и металлургия. 2024. № 4. С. 17–24. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-17-24>.

INFLUENCE OF COBALT ON THE PROPERTIES OF CASTING ALLOYS

S. A. KULIKOV, OJSC "Minsk Tractor Works", Minsk, Belarus, 29, Dolgobrodskaya str.

E-mail: cyberlis@mail.ru

F. I. RUDNICKIJ, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.

The results of a study of the effect of modification with cobalt powder on the mechanical properties of high-strength nodular cast iron and tin-lead bronze are presented. It has been shown that when cobalt powder is introduced up to 0.1%, it is evenly distributed in the metal matrix. Increasing the amount of the introduced additive revealed that cobalt is predominantly concentrated in the areas that crystallize last. The introduction of cobalt made it possible to increase the tensile strength of high-strength cast iron and the relative elongation of bronze. The introduction of cobalt powder does not affect other mechanical properties.

Keywords. Cobalt, cast iron, bronze, mechanical properties.

For citation. Kulikov S. A., **Rudnickij F. I.** Influence of cobalt on the properties of casting alloys. Foundry production and metallurgy, 2024, no. 4, pp. 17–24. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-17-24>.

Введение

За последнее время литейное производство достигло некоторого предела, обусловленного возможностями современных технологий и материалов. Это объясняет стремление инженеров к поиску новых технологических приемов, в том числе использованию материалов, которые ранее считались малоприменимыми в какой-либо определенной области. Например, сплавы, легированные кобальтом, нашли широкое применение благодаря влиянию кобальта на свойства литых изделий при высоких температурах. Так, сплавы типа нимоник, предназначенные для лопаток турбин, содержат до 22% кобальта, быстрорежущие стали – до 8,5% [1]. Применяются также аморфные магнитомягкие сплавы, содержащие до 85% кобальта [2]. В то же время информация о применении кобальта в других сплавах, особенно в малых концентрациях, весьма ограничена [3, 4]. Поэтому исследование влияния малых добавок кобальта на свойства распространенных литейных сплавов обосновано как с научной, так и с прикладной точки зрения.

Методика проведения исследований

В качестве объектов исследований выбраны сплавы, широко применяемые в ОАО «Минский тракторный завод» при производстве отливок ответственного назначения: высокопрочный чугун с шаровидным графитом, а также бронза марки Бр05Ц5С5. Выбор обусловлен желанием охватить как железоуглеродистые, так и цветные сплавы. Исследование морфологии и элементного состава проводили на

сканирующем электронном микроскопе Mira фирмы Tescan (Чехия) с рентгеноспектральным анализатором фирмы Oxford Instruments Analytical (Великобритания). Высокопрочный чугун производили по устоявшейся технологии: расплав серого чугуна получали в дуговой сталеплавильной печи емкостью 6 т, далее в специальном ковше сендвич-процессом проводили модифицирование магнийсодержащим модификатором, после чего расплав высокопрочного чугуна выдавали в заливочный ковш емкостью 100 кг и проводили заливку литейных форм. Расплав бронзы получали в индукционной печи ИСТ-0,4, заливку литейных форм производили из ковшей емкостью 100 кг. Модифицирование кобальтом осуществляли путем внепечной обработки при выдаче расплава в разливочный ковш при заполнении его на 1/3 высоты под струю. Кобальт вводили в двуслойных пакетах из плотной бумаги. Стандартные пробы для исследования механических свойств чугуна отливали непосредственно вместе с отливками с единой ЛПС в ПГС-формах. Пробы бронзы заливали в кокиль. Испытания механических свойств выполняли согласно государственным стандартам. За результат испытаний принимали среднее арифметическое от трех образцов.

Результаты исследований и их обсуждение

Ранее в [5, 6] показано, что ультрадисперсные материалы могут эффективно применяться для повышения механических свойств отливок. Поэтому в данном исследовании в качестве добавки, содержащей кобальт, использовали дисперсный кобальтовый порошок (КП), морфология частиц которого представлена на рис. 1. Согласно результатам МРСА, химический состав порошка следующий: Co – 99,63 %, Si – 0,03, S – 0,11, Ca – 0,10, Fe – 0,13 %.

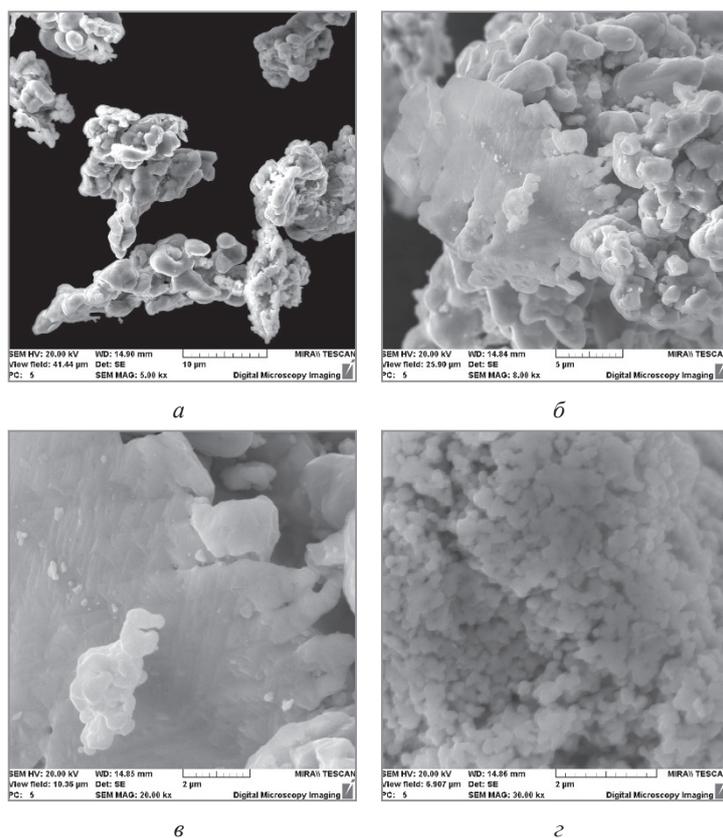


Рис. 1. Морфология поверхности кобальтового порошка

Как видно из рисунка, КП состоит из агломератов (рис. 1, *a*) ультрадисперсных частиц. В их структуре выявляются как достаточно крупные частицы (рис. 1, *б, в*), образованные, по-видимому, в результате процессов самоорганизации и релаксации (порошок использовали после длительного хранения), так и ультрадисперсные частицы (рис. 1, *г*).

Изменение механических свойств высокопрочного чугуна при введении КП приведено в табл. 1. Из таблицы следует, что модифицирование высокопрочного чугуна КП в пределах 0,05–0,10 мас. % несколько повышает временное сопротивление при растяжении и не влияет на другие свойства. Причем увеличение количества вводимой добавки незначительно влияет на увеличение временного сопротивления.

Таблица 1. Механические свойства высокопрочного чугуна при модифицировании КП

Количество введенного КП, мас. %	Условный предел текучести, Н/мм ²	Временное сопротивление при растяжении, Н/мм ²	Относительное удлинение, %	Твердость НВ
0	405	530	15,5	187
0,05	410	560	15,5	187
0,1	410	570	15,5	187

Результаты исследования образцов высокопрочного чугуна на электронном сканирующем микроскопе показаны на рис. 2.

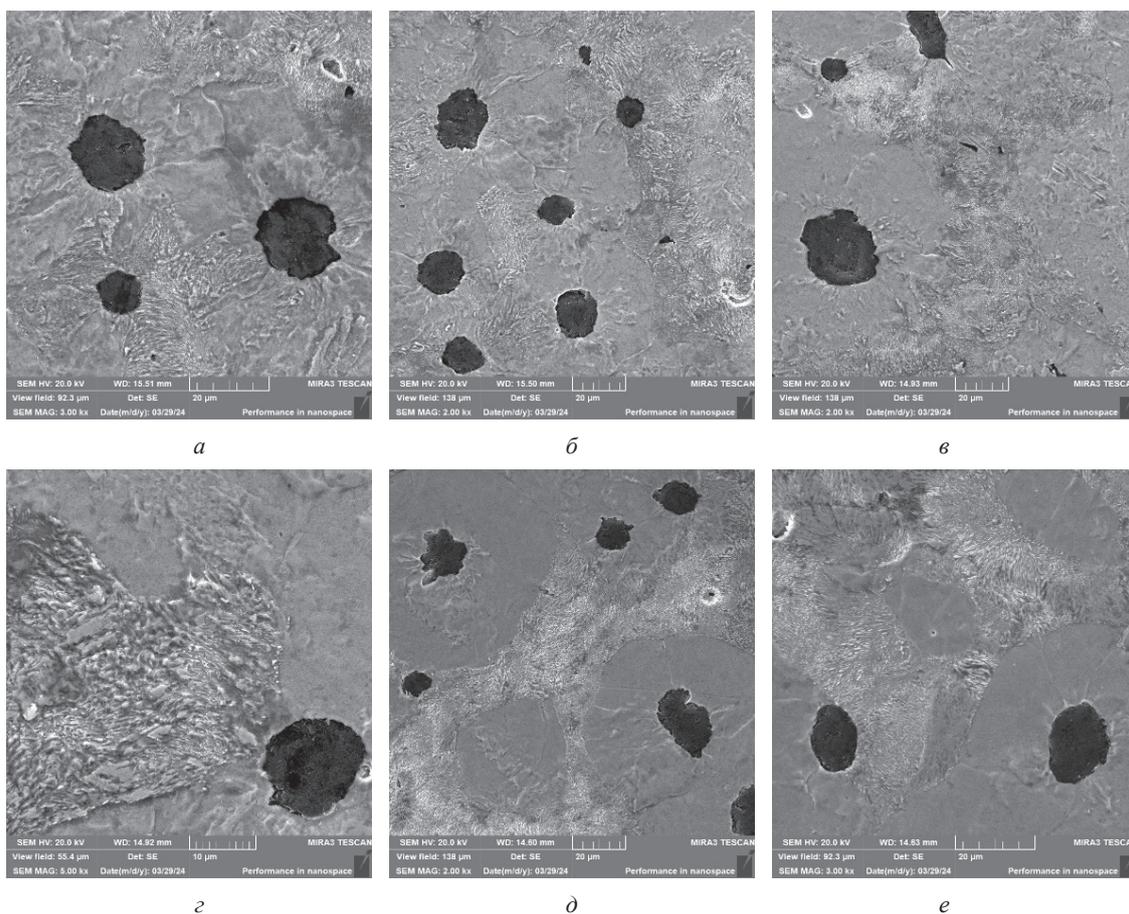


Рис. 2. Высокопрочный чугун, модифицированный КП:
а, б – немодифицированный образец; *в, г* – 0,05%; *д, е* – 0,1%

Из рисунка видно, что введение кобальта способствует уменьшению областей, занятых перлитом, и увеличению толщины ферритных оболочек. Это свидетельствует о способности кобальта повышать активность углерода.

На рис. 3 приведены результаты МРСА образцов высокопрочного чугуна. Из рисунка следует, что кобальт при введении до 0,1 мас. % не концентрируется в какой-либо определенной фазе, а равномерно распределяется в металлической матрице. В соответствии с диаграммой состояния Fe–Co при малых концентрациях отдельных фаз, содержащих кобальт, не образуется [7].

Таким образом, модифицирование высокопрочного чугуна порошком кобальта в количестве до 0,1 мас. % повышает временное сопротивление при растяжении до 8,5 %, не влияя на условный предел текучести и твердость.

Изменение механических свойств бронзы Бр05Ц5С5 при модифицировании порошком кобальта приведено в табл. 2. Как видно из таблицы, влияние кобальта на механические свойства бронзы и высокопрочного чугуна отличается. Временное сопротивление при растяжении и твердость бронзы не изменяются, в то время как относительное удлинение увеличивается с повышением содержания кобальта. Необходимо отметить, что усвоение кобальта при модифицировании бронзы превышало 98 %. Результаты исследования образцов бронзы на электронном сканирующем микроскопе приведены на рис. 4.

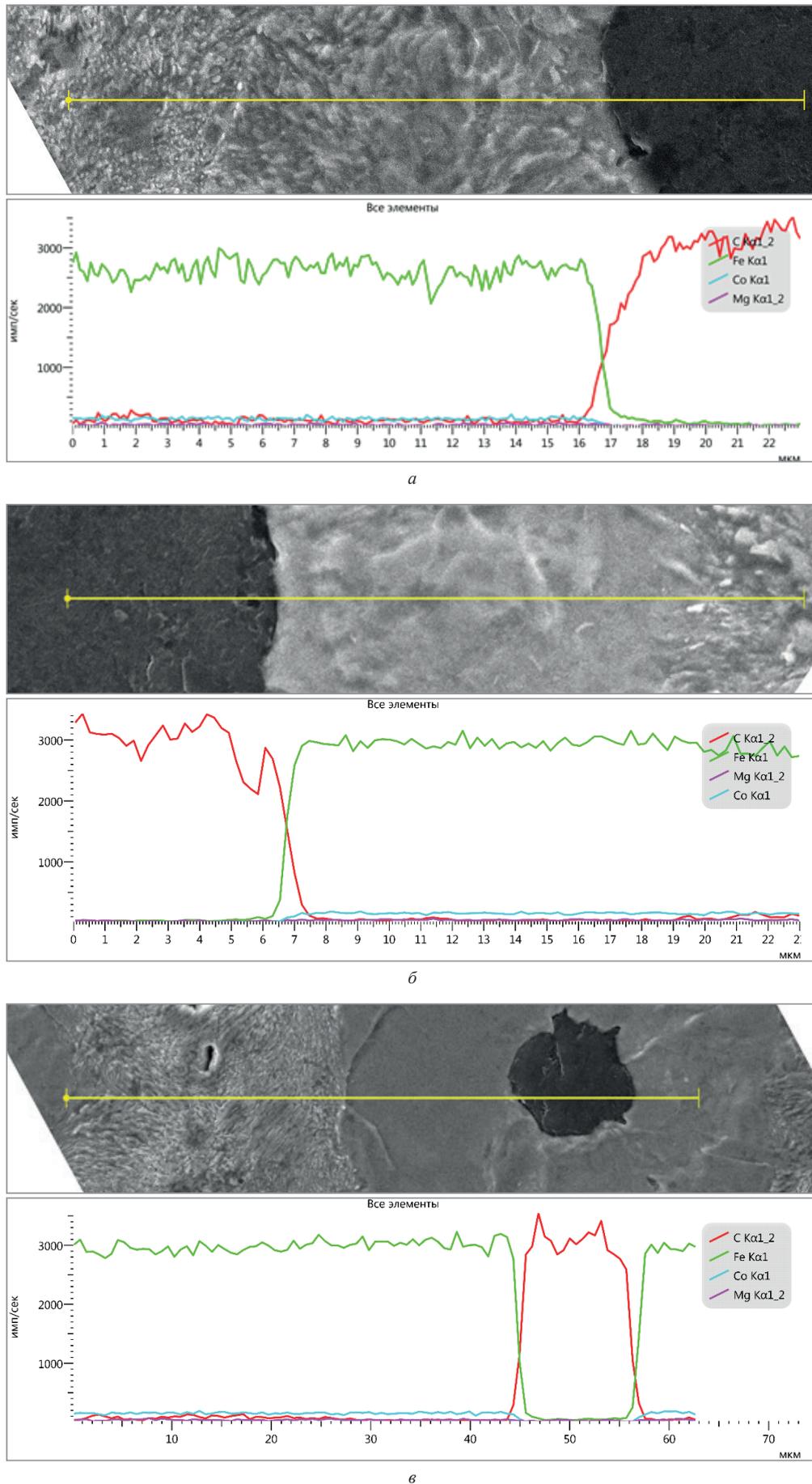


Рис. 3. МРСА высокопрочного чугуна, модифицированного кобальтом:
a – немодифицированный образец; *б* – 0,05%; *в* – 0,1%

Т а б л и ц а 2. Механические свойства бронзы БрО5Ц5С5

Количество введенного КП, мас. %	Временное сопротивление при растяжении, Н/мм ²	Относительное удлинение, %	Твердость НВ
0	313	43,7	72,5
0,05	314	46,7	72,5
0,1	314	47,7	72,5

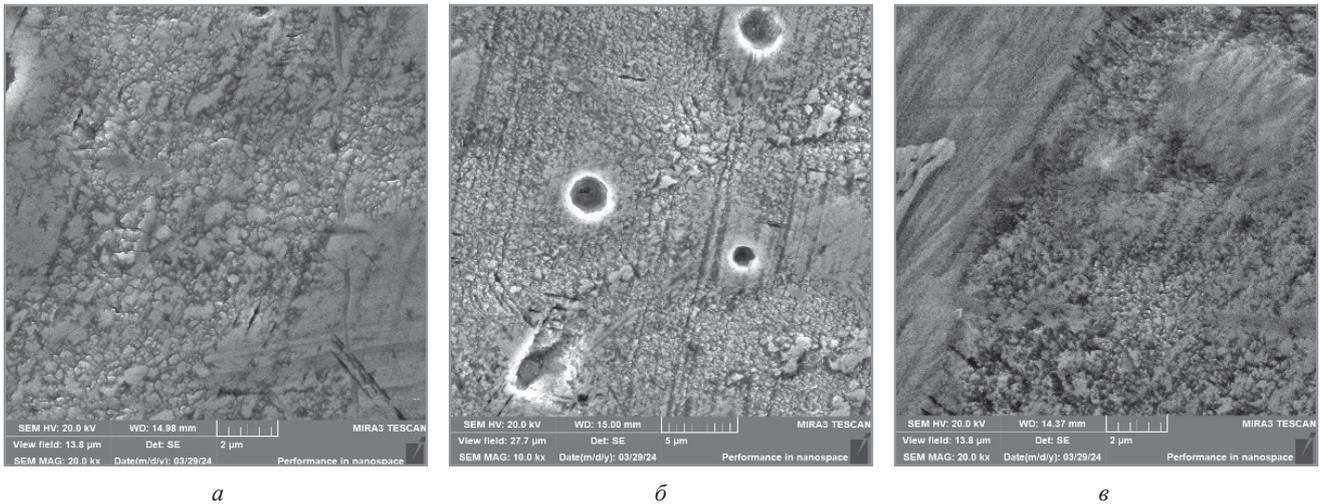
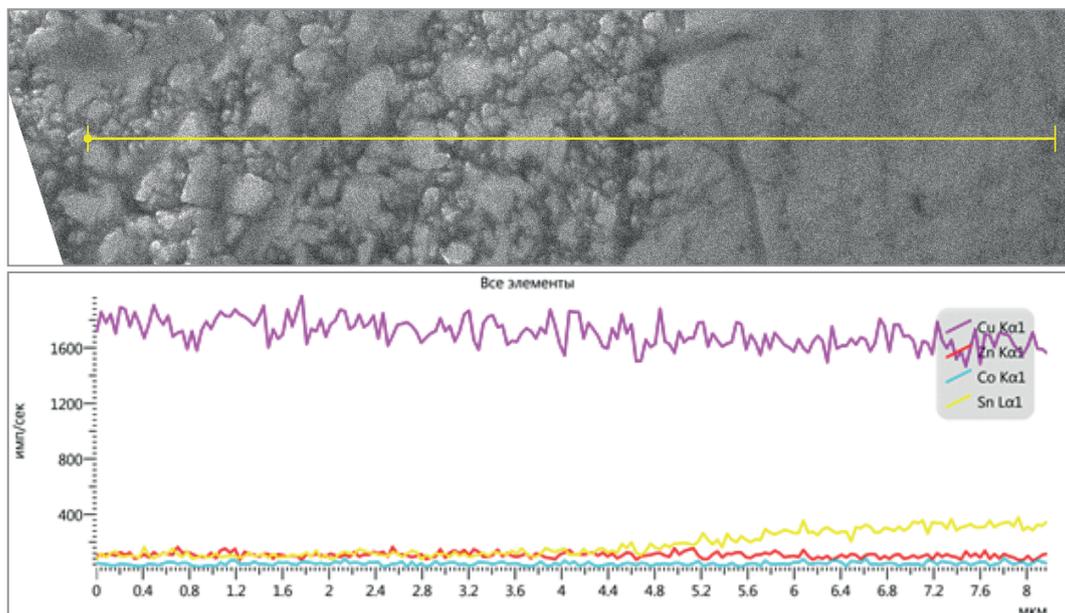


Рис. 4. Бронза БрО5Ц5С5, модифицированная КП:
 а – немодифицированный образец; б – 0,05%; в – 0,1 %

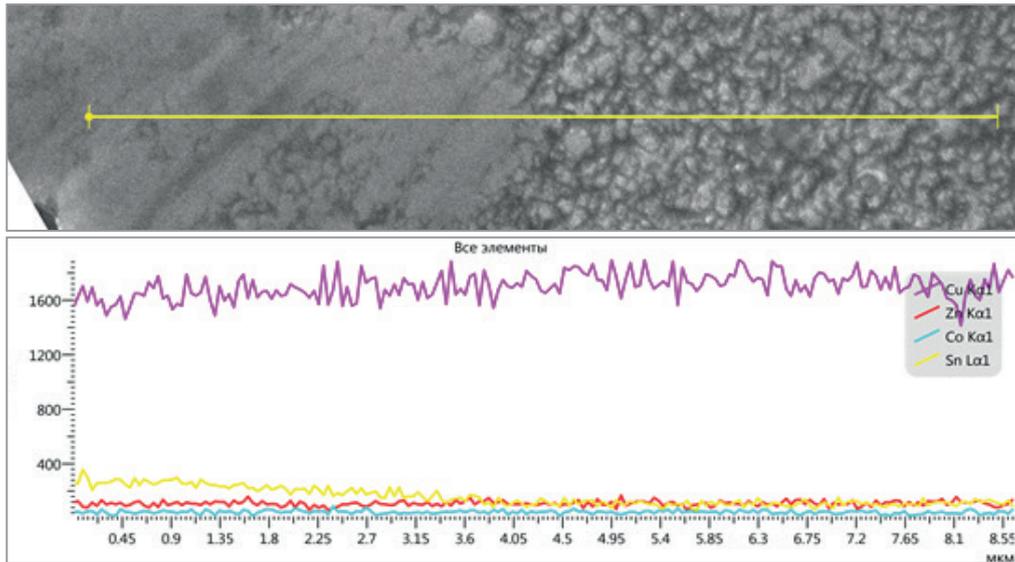
Модифицирование кобальтом не приводит к какому-либо значительному изменению строения α- и β-фаз, а также границ между ними (дефекты на образце рис. 4, б вызваны несовершенством процесса пробоподготовки). МРСА данных образцов также не выявил существенных отклонений концентрации (рис. 5).

Как и при модифицировании высокопрочного чугуна, МРСА бронзы, модифицированной КП, отличаются лишь величиной пиков, без выявления какой-либо определенной концентрации в α- и β-фазе. Для уточнения данного вопроса получена бронза БрО5Ц5С5 с содержанием кобальта после модифицирования 0,25%. МРСА модифицированного образца приведен на рис. 6.

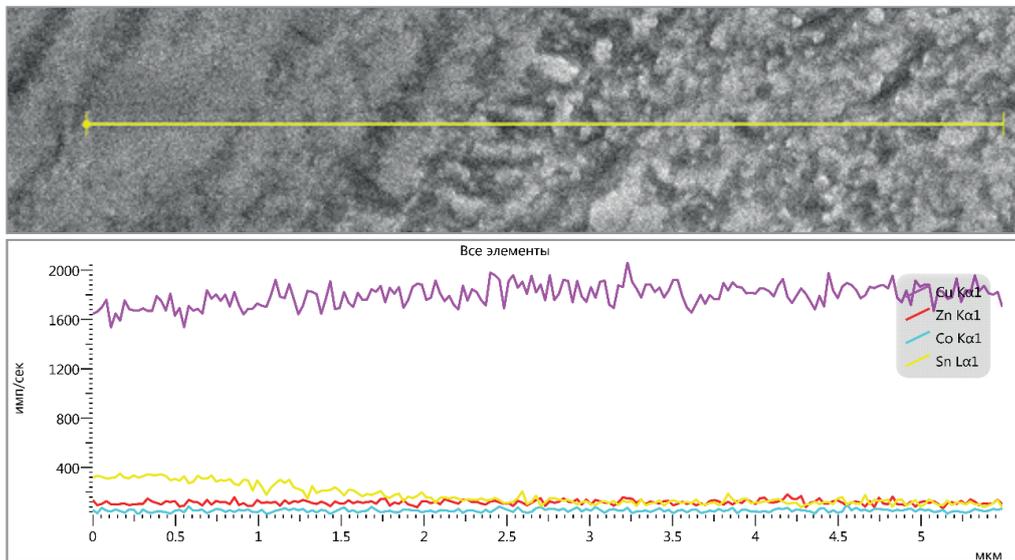
Кобальт концентрируется в той фазе, которая кристаллизуется последней. В бронзе БрО5Ц5С5 такой фазой является свинец, который вводится для улучшения обрабатываемости. В сочетании с кобальтом это, по-видимому, и приводит к увеличению значения относительного удлинения, не влияя на другие механические свойства.



а

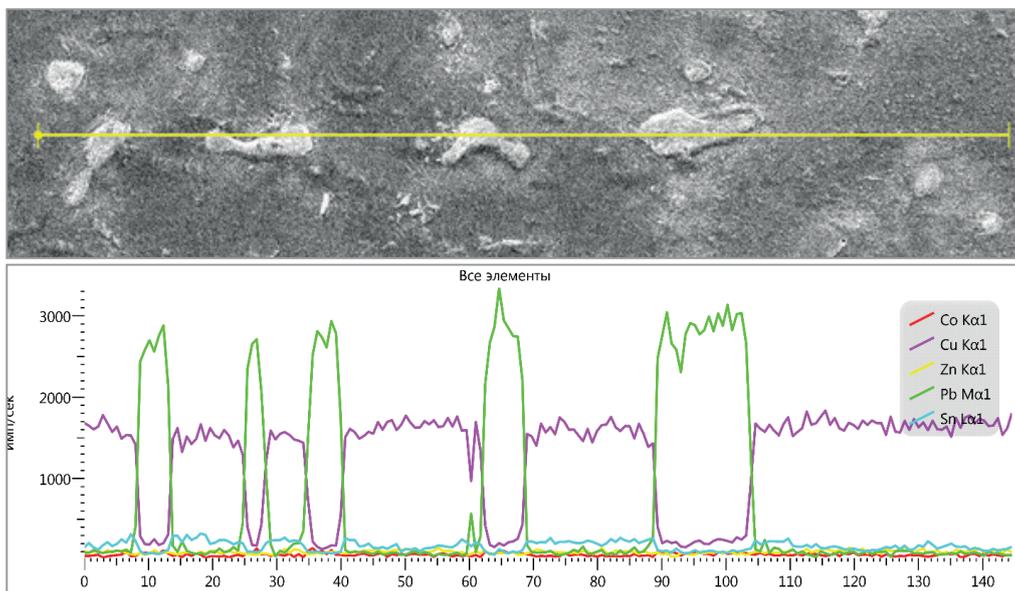


б



в

Рис. 5. МРСА бронзы БрО5Ц5С5, модифицированной кобальтом: а – немодифицированный образец; б – 0,05%; в – 0,1%



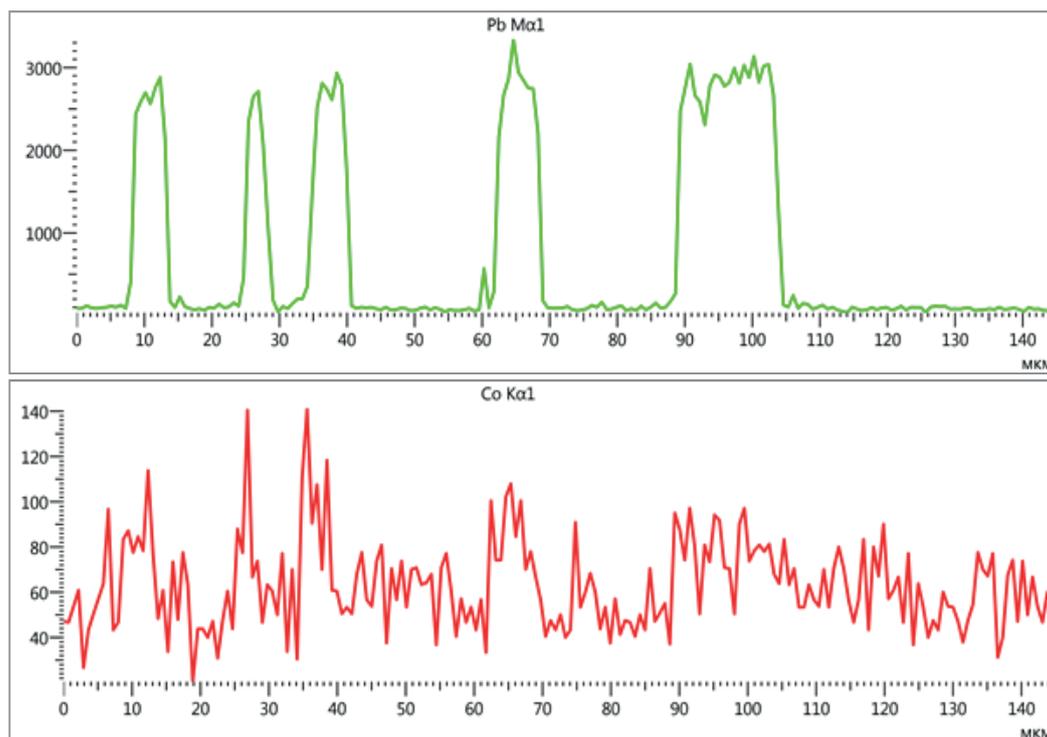


Рис. 6. МРСА бронзы БрО5Ц5С5 с содержанием кобальта после модифицирования 0,25 %

Выводы

1. При модифицировании высокопрочного чугуна КП до 0,1 мас. % кобальт не концентрируется в какой-либо определенной фазе, а равномерно распределяется в металлической матрице.
2. Модифицирование высокопрочного чугуна порошком кобальта в количестве до 0,1 мас. % повышает временное сопротивление при растяжении до 8,5 %, не влияя на условный предел текучести и твердость.
3. При модифицировании бронзы БрО5Ц5С5 КП до 0,1 мас. % кобальт также равномерно распределяется в металлической матрице, не влияя на вид α - и β -фазы, а также границы между ними.
4. При увеличении концентрации кобальта в составе бронзы БрО5Ц5С5 МРСА фиксирует пики данного элемента в областях, обогащенных свинцом.
5. Изменение механических свойств высокопрочного чугуна и бронзы БрО5Ц5С5 при модифицировании КП связано с тем, что кобальт оказывает благоприятное воздействие на фазы, кристаллизующиеся последними.
6. Модифицирование литейных сплавов дисперсными материалами позволяет повысить качество отливок в условиях, когда применение классических шихтовых материалов ограничено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев, А. П. *Металловедение: учебник для вузов* / А. П. Гуляев. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
2. Белов, К. П. *Магнитострикционные явления и их технические приложения* / К. П. Белов. – М., 1987. – 159 с.
3. Трофимов, Е. А. Анализ процессов взаимодействия между медным расплавом и сопряженными неметаллическими фазами в системе Cu-Co-O / Е. А. Трофимов, Г. Г. Михайлов // *Вестник ЮУрГУ*. – 2008. – № 24. – С. 3–15.
4. Maksymova, S. Influence of cobalt on the structure and technological properties of alloys of the Cu–Mn system / S. Maksymova, P. Kovalchuk, V. Voronov // *Metallofizika i Noveishie Tekhnol.* – 2019. – No. 10. – P. 1365–1003.
5. Рудницкий, Ф. И. Повышение качества моторных отливок модифицированием чугуна ультрадисперсными добавками / Ф. И. Рудницкий, С. А. Куликов, В. А. Шумигой // *Литейное производство*. – 2020. – № 2. – С. 2–5.
6. Особенности механизма кристаллизации серых чугунов в результате модифицирования дисперсными добавками с позиций термодинамики открытых неравновесных систем / Ф. И. Рудницкий [и др.] // *Металлургия: респ. межвед. сб. науч. тр.: в 2-х ч.* – Минск: БНТУ, 2020. – Вып. 41. Ч. 1. – С. 113–128.
7. *Двойные и многокомпонентные системы на основе меди* / под ред. С. В. Шухардина. – М.: Наука, 1979. – 248 с.

REFERENCES

1. Guljaev A. P. *Metallovedenie* [Metal Science]. Moscow, Metallurgija Publ., 1986, 544 p.

2. **Belov K.P.** *Magnitostriktionnye javlenija i ih tehicheskie prilozhenija* [Magnetostrictive Phenomena and Their Technical Applications]. Moscow, 1987, 159 p.
3. **Trofimov E.A., Mihajlov G.G.** Analiz processov vzaimodejstvija mezhdu mednym rasplavom i soprjazhennymi nemetallicheskim fazami v sisteme Cu-Co-O [Analysis of interaction processes between copper melt and conjugated non-metallic phases in the Cu-Co-O system]. *Vestnik JuUrGU = Bulletin of SUSU*, 2008, no. 4, pp.13–15.
4. **Maksymova S., Kovalchuk P., Voronov V.** Influence of cobalt on the structure and technological properties of alloys of the Cu–Mn system. *Metallofiz. i Noveishie Tekhnol.*, 2019, no. 10, pp. 1365–1003.
5. **Rudnickij F.I., Kulikov S.A., Shumigaj V.A.** Povyshenie kachestva motornyh otlivok modifitsirovaniem chuguna ul'tradispersnymi dobavkami [Improving the quality of motor castings by modifying cast iron with ultra-dispersed additives]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 2020, no. 2, pp. 2–5.
6. **Rudnickij F.I. [et al.]** Osobennosti mehanizma kristallizacii seryh chugunov v rezul'tate modifitsirovanija dispersnymi dobavkami s pozicij termodinamiki otkrytyh neravnovesnyh sistem [Features of the crystallization mechanism of gray cast irons as a result of modification with dispersed additives from the standpoint of thermodynamics of open nonequilibrium systems]. *Metallurgija: resp. mezhved. sb. nauch. tr. = Metallurgy: republican interdepartmental collection of scientific papers*. Minsk, BNTU Publ., 2020, vol. 41, part 1, pp.113–128.
7. **Shuhardin S.V. (ed.)** *Dvojnye i mnogokomponentnye sistemy na osnove medi* [Copper-based binary and multi-component systems]. Moscow, Nauka Publ., 1979, 248 p.