



УДК 621.74:669.13

Поступила 26.06.2017

## СТРУКТУРА И ТВЕРДОСТЬ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ИЗНОСОСТОЙКИХ ЧУГУНОВ

### STRUCTURE AND HARDNESS OF CASTINGS MADE FROM WEAR-RESISTANT CAST IRON

*Е. И. МАРУКОВИЧ, В. М. ИЛЬЮШЕНКО, П. Ю. ДУВАЛОВ, А. И. КАЛЕНТИОНОК, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Бялыницкого-Бирули, 11.*

*E-mail: lct@tut.by,*

*К. Э. БАРАНОВСКИЙ, ГП «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», г. Минск, Беларусь, Я. Коласа, 24*

*E. I. MARUKOVICH, V. M. ILYUSHENKO, P. Yu. DUVALAU, A. I. KALENTSIONAK, Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, Mogilev, Belarus, 11, Bialynitskogo-Biruli str.*

*E-mail: info@itm.by.*

*K. E. BARANOUSKI, Scientific and Tehnological Park of the BNTU «Politechnic», Minsk, Belarus, 24, Ja. Kolasa str.*

*Исследовано влияние способов литья и геометрических параметров деталей из хромистых чугунов на твердость их внутренних слоев. Разработана методика исследований и проведены эксперименты. Определено соответствие деталей из хромистых чугунов техническим требованиям по твердости. Проведен микроструктурный анализ по сечению деталей.*

*Influence of ways of casting and influence of geometrical parameters of details made from chromic cast irons on hardness of their inner layers are investigated. The technique of researches is developed and experiments are made. Compliance of details from chromic cast irons to performance specification by hardness is determined. The microstructure analysis on the section of details is carried out.*

**Ключевые слова.** *Износостойкий хромистый чугун, металлические и комбинированные литейные формы, твердость, аустенит, перлит, карбиды хрома, транскристаллизация.*

**Keywords.** *Wear resistant chromium cast iron, metal and composite molds, hardness, austenite, perlite, chrome carbides, transcris-tallization.*

#### Введение

Износостойкость белого чугуна при абразивном воздействии зависит от его механических свойств и свойств отдельных структурных составляющих. Основные структурные составляющие белого чугуна располагаются по возрастанию микротвердости в следующем порядке: эвтектоид (перлит, сорбит, троостит), аустенит, мартенсит, цементит, легированный цементит; карбиды хрома, вольфрама, ванадия и других элементов; бориды.

Известно, что чугуны типа ИЧХ18ВМ имеют наиболее высокую износостойкость, когда структура матрицы мартенсит или мартенсит с некоторым количеством метастабильного остаточного аустенита. Распад метастабильного аустенита зависит от скорости кристаллизации, которая, в свою очередь, определяется способами литья. Наибольшая скорость кристаллизации обеспечивается при литье в металлические формы [1].

#### Методика исследования и проведения экспериментов

Были проведены исследования по влиянию способов литья и геометрических параметров деталей, отлитых из чугуна ИЧХ18ВМ, на твердость внутренних слоев отливок. В качестве объектов исследования выбраны защитные детали центробежных мельниц – подкладные листы и отбойные плиты. По тех-

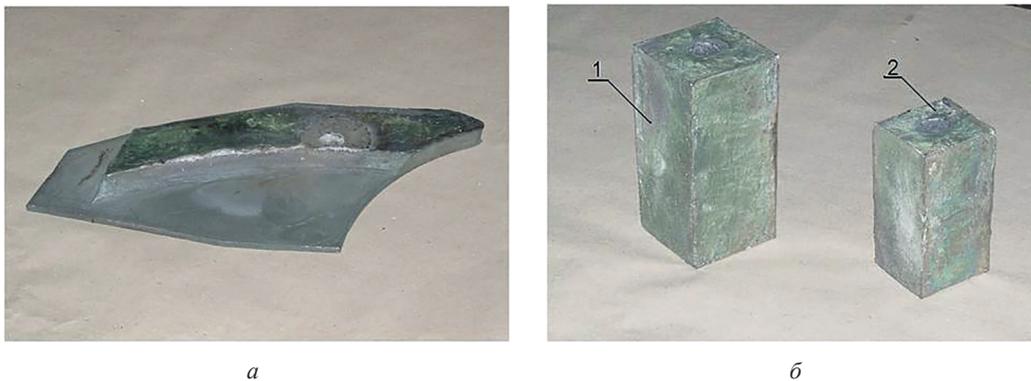


Рис. 1. Подкладной лист УЗ-1,25.01.00.002 (а) и отбойные плиты (б): 1 – плита УПМ-1,25; 2 – плита УПМ-1,0

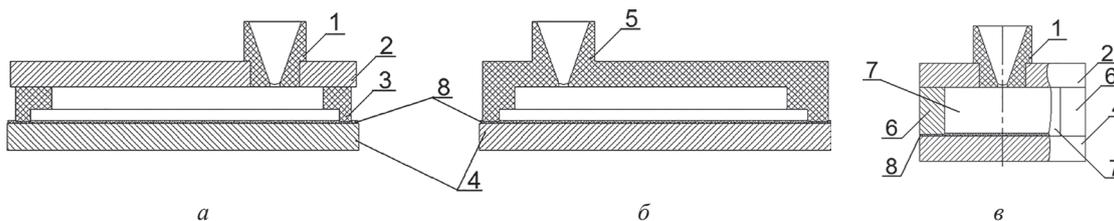


Рис. 2. Металлическая (а), комбинированная (б) формы для литья подкладных листов и кокиль (в) для литья отбойных плит: 1 – литниковая чаша из ХТС; 2, 4, 6, 7 – металлические части форм; 3 – периметр из ХТС; 5 – верхняя часть комбинированной формы из ХТС; 8 – термостойкая ткань

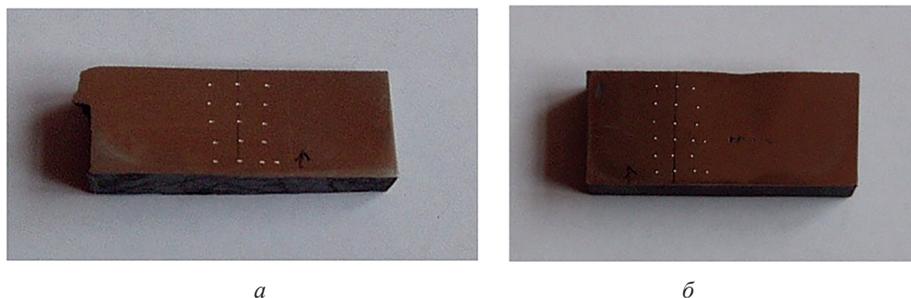


Рис. 3. Образец для измерения твердости, вырезанный из подкладного листа УЗ-1,25, полученного в металлической (а) и комбинированной (б) формах

ническим требованиям эти детали должны иметь твердость 58–61 HRC. Подкладной лист УЗ-1,25.01.00.002 (рис. 1, а) представляет собой плоскую деталь переменного сечения, у которой толщина более чем в 10 раз меньше длины. Толщина рабочей части листа составляет 25 мм, а в остальной части – 10 мм.

Отбойная плита УПМ-1,25.001 – это по форме брус с квадратным основанием 85×85 мм, длиной 180 мм (рис. 1, б, поз. 1), а плита УПМ-1,0.001 – с основанием 70×70 мм, длиной 140 мм (рис. 1, б, поз. 2).

Для проведения исследований твердости по толщине были отлиты два листа. Один лист получен в металлической форме (днище и верх – металлические плиты, боковой периметр – ХТС) (рис. 2, а), а второй – в комбинированной форме (днище – металлическая плита, боковые поверхности и верх – ХТС) (рис. 2, б). Заполнение формы расплавом проводили через верхнюю плиту в районе утолщения листа через специальную литниково-питающую чашу из ХТС. Отбойные плиты отливали в металлических формах (рис. 2, в).

Для измерения твердости по толщине подкладных листов и отбойных плит вырезали образцы из тех частей деталей, наиболее подверженных износу во время работы. Из листов вырезали полоски длиной 90 мм (поперечный размер утолщения на листе), шириной 20 мм и высотой 25 мм (толщина рабочей части листа) (рис. 3). Для облегчения процесса изготовления образцов из отбойных плит последние вырезали из центральной части отработавших свой ресурс деталей (рис. 4). Затем образцы шлифовали для получения параллельности плоскостей измерений. Твердость измеряли на приборе ТК-14-250 по методу Роквелла.

Первое измерение проводили на расстоянии 3 мм от низа образца и далее с шагом 5 мм до верха образца. На каждом шаге делали три измерения по горизонтали на расстоянии не менее 3 мм друг от друга. Результаты измерений твердости по сечению подкладных листов приведены в табл. 1.

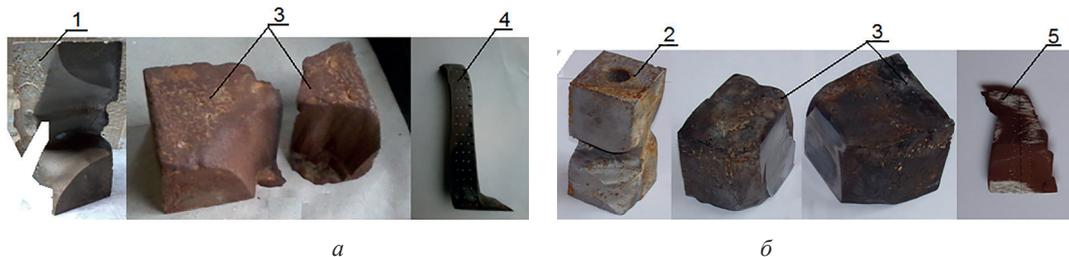


Рис. 4. Стадии изготовления образцов для измерения твердости центральной части отбойной плиты УПМ-1,25.001 (а) и отбойной плиты УПМ-1,0.001 (б): 1 – изношенная плита УПМ-1,25.001; 2 – изношенная плита УПМ-1,0.001; 3 – плиты после вырезки образца; 4 – образец из плиты УПМ-1,25.001; 5 – образец из плиты УПМ-1,0.001

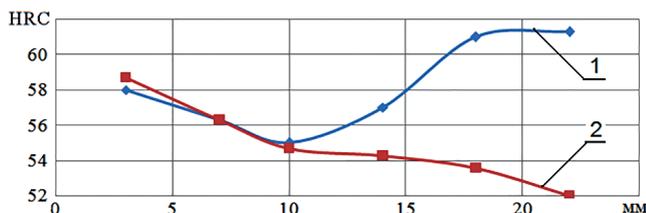


Рис. 5. Характер изменения твердости по толщине подкладного листа УЗ-1,25.01.00.002: 1 – заливка в кокиль; 2 – заливка в комбинированную форму

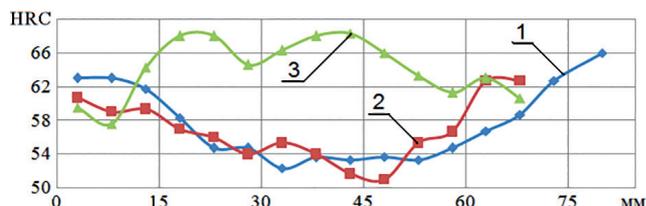


Рис. 6. Характер изменения твердости по толщине отбойных плит: 1 – плита УПМ-1,25.001; 2 – УПМ-1,0.001; 3 – УПМ-1,0.001 после ТО

Таблица 1. Твердость по сечению подкладных листов, отлитых в кокиль и комбинированную форму

	Твердость HRC			
	измерение 1	измерение 2	измерение 3	среднее значение
<i>Твердость по сечению подкладного листа, отлитого в кокиль</i>				
3	58	59	57	58,0
7	56	56	57	56,3
10	54	55	56	55,0
14	57	58	56	57,0
18	60	62	61	61,0
22	63	61	60	61,3
<i>Твердость по сечению подкладного листа, отлитого в комбинированную форму</i>				
3	58	59	59	58,7
7	57	56	56	56,3
10	55	55	54	54,7
14	54	55	54	54,3
18	53	54	54	53,6
22	52	53	51	52,0

Изменение твердости подкладных листов показано на рис. 5.

Твердость слоев на протяжении 10 мм от низа отливки вверх у обоих листов одинакова (рис. 5). Разность твердостей на этом расстоянии составляет около 3 ед. HRC. Далее начинают сказываться разные условия теплообмена между расплавом и материалом верхних частей форм. Это приводит к тому, что при литье в металлическую форму происходит рост твердости кверху отливки, а при литье в комбинированную форму – к ее падению. При этом максимальная разница твердости при литье в металлическую форму составляет около 10% при средней твердости по сечению листа 58 HRC. При литье в комбинированную форму максимальный перепад достигает 11% при средней твердости по сечению 55 HRC. Следует отметить, что листы, отлитые в комбинированную форму, не удовлетворяют техническим требованиям по твердости (58–62 HRC) по всей толщине поперечного сечения (рис. 5, кривая 2). Листы, отлитые в металлическую форму, имеют твердость верхнего слоя толщиной 10 мм 58 HRC и более. Далее по сечению до низа отливки твердость составляет 55–58 HRC.

Результаты измерения твердости по сечению отбойных плит представлены в табл. 2.

Изменение твердости по сечению отбойных плит показано на рис. 6.

В отбойной плите УПМ-1,25.001 толщиной 85 мм (рис. 6, кривая 1), которая отлита в металлической форме (дно защищено от пригара термостойкой тканью, боковые стенки и крышка покрашены антипригарной краской), наибольшую твердость, приблизительно одинаковую 58–63 HRC, имеют присте-

ночные слои толщиной около 18 мм. Остальной объем, примерно половина объема плиты, имеет среднюю твердость порядка 54 HRC.

Таблица 2. Твердость по сечению отбойных плит УПМ-1,25.001, УПМ-1,0.001 и УПМ-1,0.001 после закалки

	Твердость HRC			
	измерение 1	измерение 2	измерение 3	среднее значение
<i>Твердость по сечению плиты УПМ-1,25.001</i>				
3	60	64	65	63,0
8	61	63	65	63,0
13	60	61	64	61,7
18	58	58	59	58,3
23	55	55	54	54,7
28	55	54	55	54,7
33	52	55	53	53,3
38	53	54	54	53,6
43	52	53	55	53,3
48	53	55	53	53,7
53	53	53	54	53,3
58	53	55	56	54,7
63	53	57	57	56,7
68	58	59	59	58,7
73	62	63	63	62,7
80	65	66	67	66
<i>Твердость по сечению плиты УПМ-1,0.001</i>				
3	61	61	60	60,7
8	58	59	60	59,0
13	60	59	59	59,3
18	56	59	56	57,0
23	58	54	56	56,0
28	54	55	53	54,0
33	55	55	56	55,3
38	54	54	54	54,0
43	51	50	54	51,7
48	50	52	51	51,0
53	54	56	56	55,3
58	54	58	58	56,7
63	62	63	63	62,7
68	61	63	64	62,7
<i>Твердость по сечению плиты УПМ-1,0.001 после закалки</i>				
3	59	58	61	59,3
8	58	58	57	57,6
13	64	64	65	64,3
18	68	68	68	68,0
23	68	69	67	68,0
28	65	64	65	64,6
33	66	67	66	66,3
38	69	67	68	68,0
43	68	70	67	68,3
48	65	67	66	66,0
53	64	63	63	63,3
58	61	63	60	61,3
63	62	64	63	63,0
68	61	60	61	60,6

Подобное распределение твердости наблюдается и у плиты УПМ-1,0.001 толщиной 70 мм (рис. 6, кривая 2). После термической обработки плиты УПМ-1,0.001 (закалка от температуры 980 °С на воздухе и отпуск при 200 °С) твердость ее увеличилась в среднем до 65 HRC практически по всему сечению.

### Микроструктурный анализ по сечению деталей

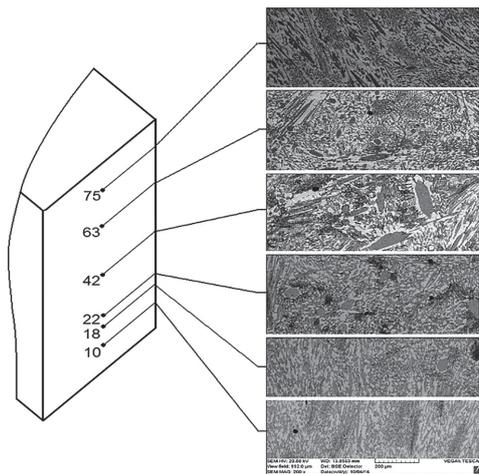


Рис. 7. Микроструктура в поперечном сечении отбойной плиты УПМ-1,25.001

Исследование структуры проводили с использованием сканирующего электронного микроскопа Vega II LMU. На рис. 7 представлена микроструктура поперечного сечения плиты УПМ-1,25.001 на разном расстоянии от ее низа.

Структура на расстоянии 10 мм от низа плиты имеет очень мелкие и вытянутые карбиды, толщина более крупных карбидов – 10–15 мкм, а более мелких – 4–6 мкм. Наблюдается сильно выраженная транскристаллитная структура, ориентированная к центру отливки. На расстоянии 18 мм размеры карбидов увеличились в 1,2 раза и более крупные стали толщиной 12–18 мкм, а более мелкие – 6–7 мкм. На этом расстоянии прекратилась транскристаллизация. На расстоянии 22 мм – структура равноосная, равнонаправленная, размер карбидов увеличился: крупные стали менее длинными толщиной до 35–40 мкм, а мелкие – 7–15 мкм. В середине отливки на расстоянии 42 мм размеры карбидов еще более увеличились: крупные из них стали до 50 мкм, а основная масса 15–25 мкм и они стали еще более округлыми и равноосными. На расстоянии 63 мм структура подобна структуре на расстоянии 22 мм, а на расстоянии 75 мм – подобна структуре на расстоянии 10 мм от низа отливки.

При рассмотрении структурного строения поперечного сечения отбойной плиты с помощью цифрового металлографического микроскопа Альтами МЕТ1М с увеличением 200 видно, что ближе к центру образца появляются травящиеся участки перлита (рис. 8). Небольшое количество его появляется на расстоянии 22 мм от низа и верха образца (рис. 8, б, г). В центре образца количество перлита увеличивается почти до 50% от видимой площади металлической матрицы (рис. 8, в).

Таким образом, полученные результаты металлографических исследований показывают, что в средней части отливок из чугуна ИЧХ18ВМ толщиной более 50 мм кристаллизуются в 2,0–2,5 раза более крупные карбиды и появляются продукты распада метастабильного аустенита. Эти факторы и приводят к снижению твердости центральных областей деталей. Твердость деталей типа отбойных плит можно значительно повысить и сделать более равномерной по всему объему введением в технологический про-

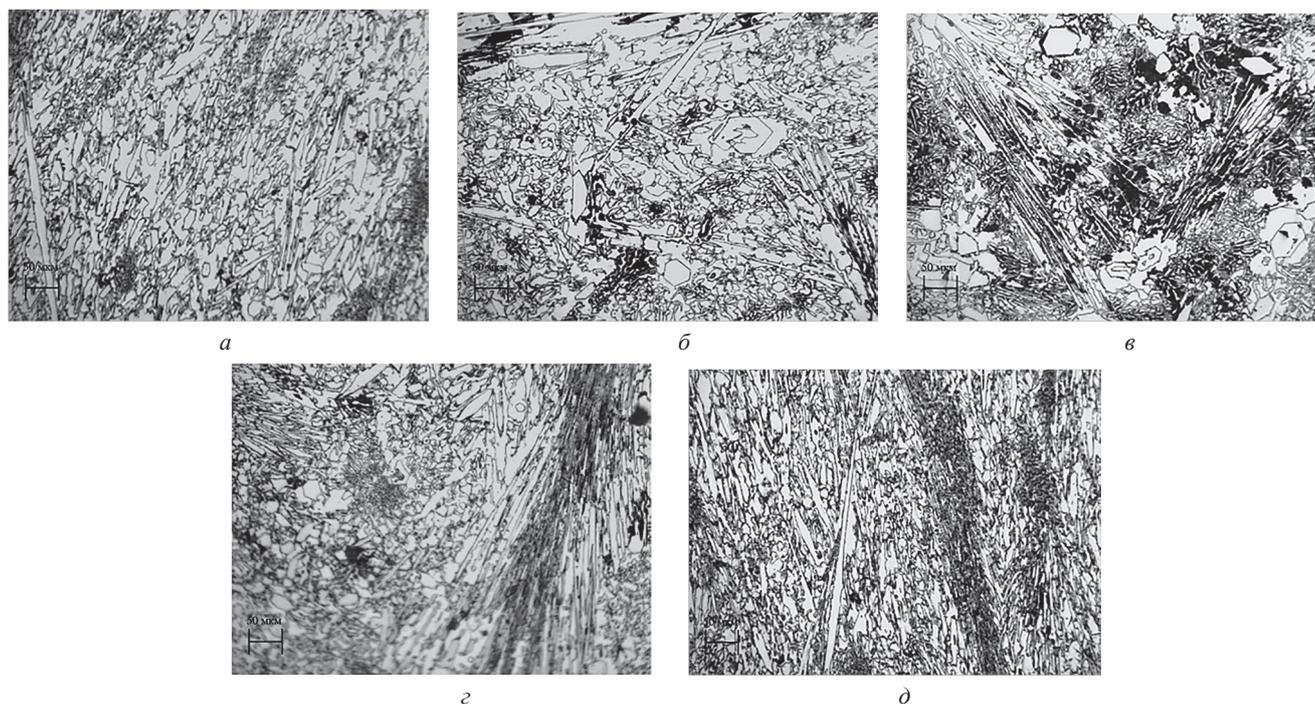


Рис. 8. Структурное строение по толщине центральной части плиты УПМ-1,25.001: а – на расстоянии 12 мм от верха плиты; б – на расстоянии 22 мм от верха плиты; в – в середине поперечного сечения плиты; г – на расстоянии 22 мм от низа плиты; д – на расстоянии 12 мм от низа плиты

цесс дополнительной операции – термической обработки. Поскольку проведение термической обработки требует дополнительных материальных затрат, необходимо проведение натуральных испытаний в производственных условиях с целью получения объективных данных для расчета экономической целесообразности ее применения.

#### Литература

1. Цыпин И. И. Белые износостойкие чугуны / И. И. Цыпин. М.: Metallurgiya, 1983. 176 с.

#### References

1. **Tsypin I. I.** *Belye iznosostykie chuguny* [White wear-resistant cast irons]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1983. 176 p.