

## ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОТВЁРДОСТИ МНОГОСЛОЙНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА

*И.В. Чуманов, М.А. Матвеева, И.А. Тараканова*

*Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Златоусте,  
г. Златоуст*

Применение электрошлаковой технологии для получения металлических материалов весьма вариативно и позволяет различными способами воздействовать на структуру получаемой отливки. Один из способов – получение многослойной заготовки. По предлагаемой нами технологии формирования слоёв нового состава осуществлялось дачей, с заданной периодичностью в жидкометаллическую ванну углеродосодержащего материала конкретной массы. С целью определения изменений, вызванных введением добавок, проведён ряд механических испытаний, в частности – определение микротвёрдости полученного материала. Измерение микротвёрдости при металлографических исследованиях позволяет получить результаты, недостижимые при макроскопических механических испытаниях. Например, выявить картину изменения значения твёрдости в многослойной металлической композиции.

Определение микротвёрдости многослойной металлической композиции проводилось на платформе ООО «Тиксомет» (Санкт-Петербург). На микротвердомере Buehler Micromet 6040 с моторизацией и оснащённый программным обеспечением Thixomet, с использованием четырёхгранной алмазной пирамидки при нагрузке 200 гс. Исследование проводилось в соответствии с ГОСТ Р ИСО 6507-1:2007.

Анализ полученных данных позволяет констатировать: микротвёрдость материала, с большим количеством присадки выше, чем с меньшей массой присадки-науглероживателя; на поперечных образцах микротвёрдость выше, чем на продольных; образцы, подвергнутые более глубокой степени деформации и термической обработке по режиму «отжиг» и «отжиг + закалка», показывают значения микротвёрдости почти в 2 раза выше. Также, стоит отметить, что глубокая степень деформации приводит к размытию в структуре материала слоёв и обозначает максимальную степень деформации материала, при котором сохраняется многослойная структура.

*Ключевые слова:* электрошлаковый переплав, слоистая структура, микроструктура, микротвёрдость.

Электрошлаковый переплав весьма вариативен и позволяет решить задачу получения многослойных заготовок с высокой сплошностью соединения слоёв для последующего передела на листовую продукцию [1].

По предлагаемой в работе [2] технологии, формирование слоёв нового состава осуществлялось подачей с заданной периодичностью в жидкометаллическую ванну углеродосодержащего материала конкретной массы. С целью определения изменений, вызванных введением добавок, проведён ряд механических испытаний, исследования микро- и микроструктуры [3, 4]. Для более полного выявления динамики изменения свойств материала был проведён ряд испытаний по определению микротвёрдости полученного материала.

Метод измерения микротвёрдости при металлографических исследованиях во многих случаях позволяет получить результаты, недостижимые при макроскопических механических испытаниях, например, выявить картину изменения значения твёрдости в многослойной металлической композиции. Благодаря малым размерам отпечатка можно измерять микротвёрдость отдельных фаз или даже отдельных зёрен. Измерение микротвёрдости относится к микромеханическим испытаниям, ко-

торые были разработаны для металлографических исследований свойств отдельных структурных составляющих сплавов.

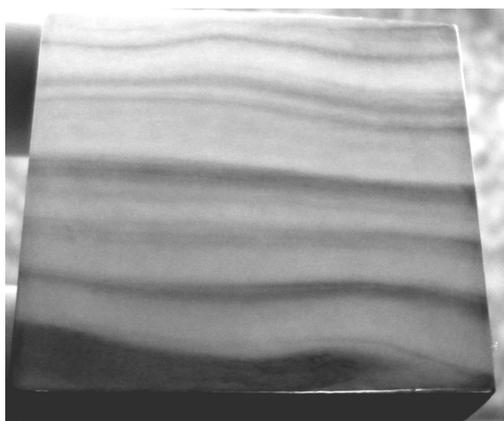
Измерение микротвёрдости осуществлялось традиционно, путём вдавливания алмазной пирамидки под нагрузкой менее 2 Н (200 гс) [5]. Выбор участка для испытания микротвёрдости и определение размеров отпечатка производится под микроскопом, затем по специальным таблицам пересчитывается на так называемое число твёрдости – отношение нагрузки к площади поверхности отпечатка. Прибор для определения микротвёрдости обеспечивает возможность выбора участка микроструктуры, где будет произведено вдавливание.

Испытаниям на микротвёрдость подвергался материал, полученный при электрошлаковом переплаве стали марки 30X13 с введением в плавильное пространство по ходу переплава присадки-науглераживателя. Усреднённый химический состав полученной многослойной композиции: С – 0,6...1,3 %, Si – 0,5 %, Cr – 10,54 %, Mn – 0,25 %, S – 0,024 %, P – 0,039 % (мас.). Данные по технологии получения, маркировке образцов и полученным механическим свойствам многослойного металлического материала приведены в табл. 1.

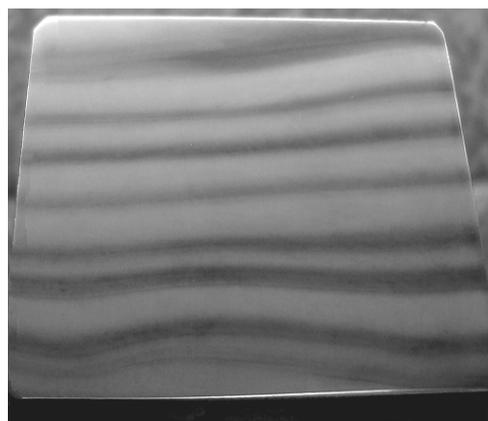
Таблица 1

Маркировка, режимы деформации и термической обработки  
образцов многослойной металлической композиции

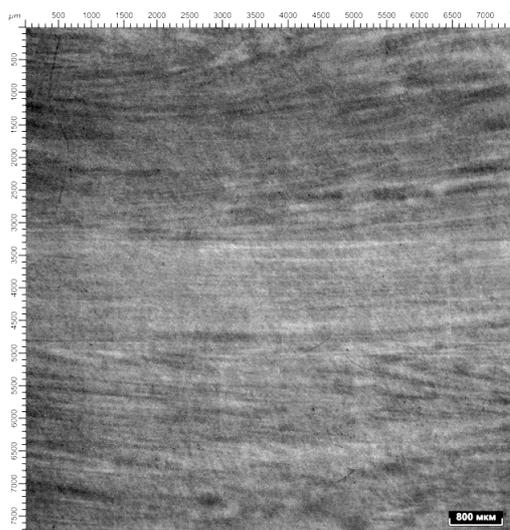
№ плавки	Порция присадки, г	№ образца	Режим деформации	Режим термической обработки	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	HRC	HB
1	150	1 Продольный	Ковка на размер 35×35	Отпуск 250 °С	521	762	50	495
		2 Поперечный						
		5 Продольный	Ковка с квадрата 35×35 на 15×15	Отжиг 950 °С	738	836	53	524
		6 Поперечный						
		7 Продольный	Ковка с квадрата 35×35 на 15×15	Отжиг 950 °С, охлаждение с печью; закалка 1050 °С, охлаждение в масле, отпуск при 400 °С	1011	1043	62	625
		8 Поперечный						
2	200	3 Продольный	Ковка на размер 35×35	Отпуск 250 °С	1259	1287	65	677
		4 Поперечный						



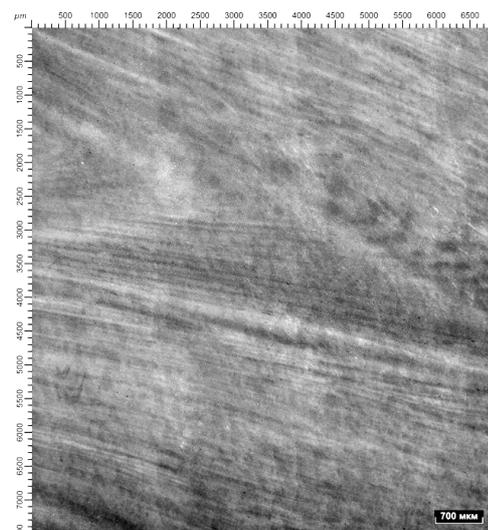
а)



б)



в)



г)

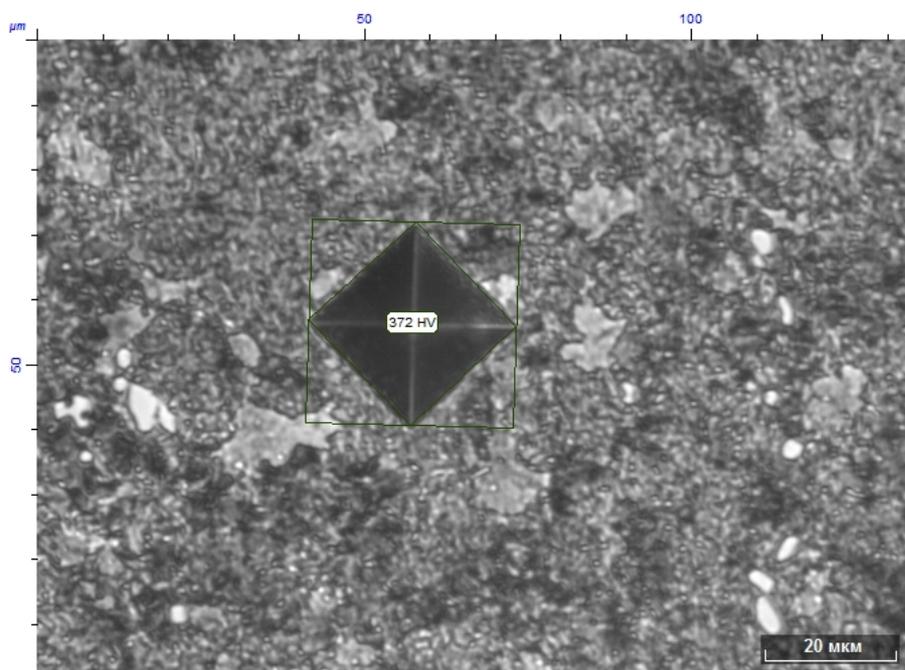
Рис. 1. Макроструктура: а – образец 1, б – образец 3, в – образец 5, г – образец 7

## Металлургия чёрных, цветных и редких металлов

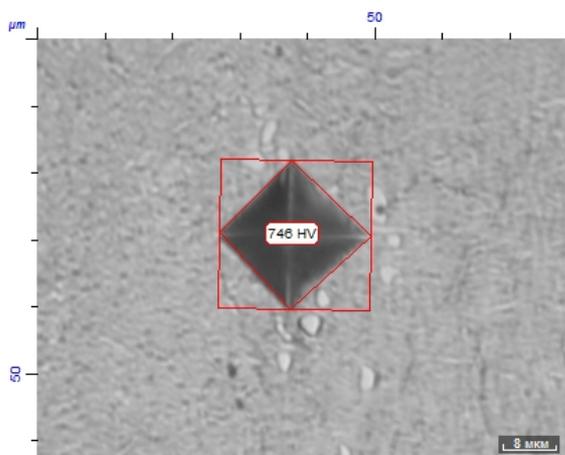
Определение микротвёрдости многослойной металлической композиции проводилось на платформе ООО «Тиксомет» (Санкт-Петербург). Структурные составляющие металлического композиционного материала вытравливались 5%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Макроструктура исследуемых образцов приведена на рис. 1. В макроструктуре образцов видна выраженная структурная неоднородность в виде полосчатости. Для проведения испытаний использовался микротвердомер Buehler Micromet 6040, оснащённый моторизацией и программным обеспечением Thixomet. В качестве индентора применялась четырёхгранная алмазная пирамидка, нагрузка 200 гс. Исследование проводилось в соответствии с ГОСТ Р ИСО 6507-1:2007. Отпечатки микро-

твёрдости приведены на рис. 2. Также измерена микротвёрдость карбидной фазы – карбида хрома при нагрузке 20 гс, она составляет 1278 HV. Данные о результатах испытания микротвёрдости представлены в табл. 2, из которых можно сделать следующие выводы.

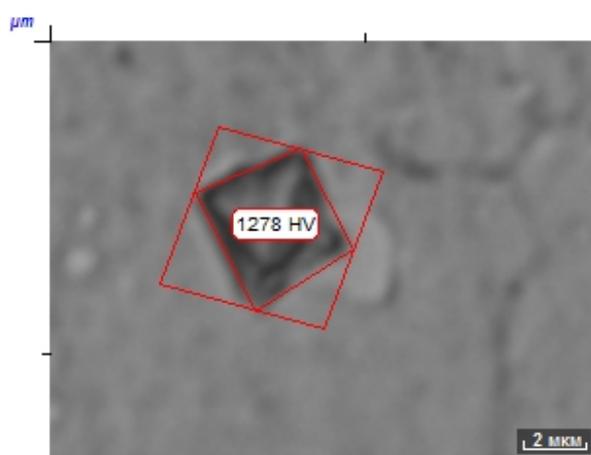
Микротвёрдость материала с большим количеством присадки выше, чем с меньшей массой присадки-науглероживателя, что логично объясняется большим количеством карбидной фазы. На поперечных образцах микротвёрдость выше, чем на продольных. Причина этого в особенностях режима деформации – происходила осадка слитка по высоте и, соответственно, большее уплотнение происходило в этом направлении. Образцы, подвергнутые более глубокой степени деформации и тер-



а)



б)



в)

Рис. 2. Отпечатки микротвёрдости: а – образец 4, б – образец 8, в – карбид хрома

Таблица 2

Микротвёрдость многослойного металлического материала

№ отпечатка	HV (200 гс)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	352	375	357	361	693	751	746	757
2	357	375	362	365	741	745	739	726
3	361	376	357	365	703	727	733	746
4	357	375	359	356	706	722	749	732
5	366	365	355	357	738	745	753	743
6	374	368	354	377	722	729	727	744
7	363	370	371	372	737	756	570	746
8	383	370	363	374	731	730	767	736
9	373	384	355	374	732	692	729	743
10	375	407	352	375	717	726	722	749
11	383	403	360	363	714	737	725	739
12	374	396	354	374	738	749	727	731
13	376	409	341	375	728	727	734	728
14	376	409	344	374	718	731	751	735
15	376	372	346	368	721	741	739	741
16	378	376	351	366	–	–	–	–
17	364	385	347	366	–	–	–	–
18	379	371	358	368	–	–	–	–
19	375	377	355	374	–	–	–	–
20	370	377	349	402	–	–	–	–
21	371	378	354	394	–	–	–	–
22	368	385	345	399	–	–	–	–
23	385	373	348	403	–	–	–	–
24	378	377	365	398	–	–	–	–
25	385	388	350	391	–	–	–	–
26	394	384	363	362	–	–	–	–
27	385	390	356	363	–	–	–	–
28	397	393	364	363	–	–	–	–
29	410	403	361	362	–	–	–	–
30	397	381	367	369	–	–	–	–
31	395	381	370	368	–	–	–	–
32	374	387	359	369	–	–	–	–
33	381	379	357	365	–	–	–	–
34	379	377	357	368	–	–	–	–
35	381	374	363	366	–	–	–	–
Среднее значение	377	383	356	373	723	734	724	739
Стандартное отклонение	12,4	12	7,37	12,7	16,1	17,4	52,8	7,55
Доверительный интервал (95 %)	4,19	4,05	2,49	4,31	9,27	10,1	31,8	4,55
Относительная точность (%)	1,11	1,06	0,7	1,16	1,28	1,37	4,4	0,62

мической обработке по режиму «отжиг» и «отжиг + закалка», показывают результаты значения микротвёрдости почти в 2 раза выше. Более глубокая степень деформации (квадрат 15×15) приводит к размытию в структуре материала слоёв. Перепады значений твёрдости в образцах 5–8 (~7 %), а в образцах 1–4 (~15 %). А это значит, степень деформации на образцах 5–8, приводит к размытию многослойной структуры и является уже нежелательной.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования № 11.1470.2014/К, а также поддержана Минобрнауки по соглашению № 14.574.21.0122.

**Литература**

1. Производство металлических слоистых композиционных материалов / А.Г. Кобелев, В.И. Лысак, В.Н. Чернышев и др. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 496 с.

2. Пат. № 2163269. Способ получения многослойных слитков электрошлаковым переплавом / В.И. Чуманов, В.Е. Роцин, И.В. Чуманов, Ю.Г. Кадочников. – 2001, Бюл. № 8.

3. Чуманов, И. В. Особенности жидкофазного получения слоистого материала / И.В. Чуманов, В.И. Чуманов, М.А. Матвеева // *Металлургия машиностроения*. – 2012. – № 2. – С. 11–14.

4. Чуманов, И.В. Исследование структуры и механических свойств многослойного металлического материала, полученного методом электрошлакового переплава / И.В. Чуманов, В.И. Чуманов, М.А. Матвеева // *Электromеталлургия*. – 2014. – № 3. – С. 29–33.

5. ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007. *Металлы и сплавы. Измерение твёрдости по Виккерсу*.

**Чуманов Илья Валерьевич**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой общей металлургии, Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Златоусте, г. Златоуст; chiv71@susu.ac.ru.

**Матвеева Мария Андреевна**, аспирант кафедры общей металлургии, Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Златоусте, г. Златоуст; 26mist26@mail.ru.

**Тараканова Ирина Андреевна**, магистрант кафедры общей металлургии, Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Златоусте, г. Златоуст; tarak-irina@yandex.ru.

*Поступила в редакцию 23 января 2015 г.*

---

## MEASUREMENT OF MICROHARDNESS OF MULTILAYER METAL MATERIAL OBTAINED BY ELECTROSLAG REMELTING

*I.V. Chumanov, South Ural State University, Zlatoust Branch, Zlatoust, Russian Federation, chiv71@susu.ac.ru,*

*M.A. Matveeva, South Ural State University, Zlatoust Branch, Zlatoust, Russian Federation, 26mist26@mail.ru,*

*I.A. Tarakanova, South Ural State University, Zlatoust Branch, Zlatoust, Russian Federation, tarak-irina@yandex.ru*

Application of electroslag technology for metallic materials is highly variable and allows to influence the structure of the resulting casting in a variety of ways. One of such methods is obtaining a multilayer preform. According to our proposed technology formation of layers of new composition was carried out by supplying of carbonaceous material of given weight to the liquid metal bath at specified intervals. In order to determine the changes caused by the introduction of additives, a series of mechanical tests were carried out, and in particular, the microhardness of the resulting material was determined. Microhardness measurement in metallographic studies yields results that are not possible to achieve with macroscopic mechanical tests. For example, the pattern of change of hardness values in a multi-layer metal composition can be identified.

Determination of microhardness of multilayer metal composition was performed with a “Thixomet” platform (St. Petersburg). Hardness was measured with Buehler Micromet 6040 microhardness tester equipped with motorization and Thixomet software, using a four-sided diamond pyramid under a load of 200 gf. The study was conducted in accordance with ISO 6507-1 : 2007.

Analysis of the data allows to conclude that microhardness of the material with a great amount of additives is higher than of those with a smaller amount of carburizers; microhardness is higher on transverse specimens than longitudinal ones; samples subjected to a deeper degree of deformation and to heat treatment (annealing or annealing + tempering) have microhardness almost two times higher. It is also worth mentioning that great degree of deformation leads to a smearing of the material layers in the structure, and defines the maximum degree of deformation of the material that preserves the multilayer structure.

*Keywords: electroslag remelting; layered structure; microstructure; microhardness.*

### References

1. Kobelev A.G., Lysak V.I., Chernyshev V.N., Bykov A.A. *Proizvodstvo metallicheskih sloistyx kompozitsionnykh materialov* [Production of Metal Laminated Composite Materials]. Moscow, Internet Engineering Publ., 2002.

2. Chumanov V.I., Roshchin V.E., Chumanov I.V., Kadochnikov Yu.G. *Sposob polucheniya mnogosloynnykh slitkov elektroshlakovym pereplavom* [Method for Producing a Multilayer Electroslag Remelting Ingots]. Pat. RF no. 2163269, 2001.

3. Chumanov I.V., Chumanov V.I., Matveeva M.A. [Features of the Liquid-Phase Production of a Laminated Material]. *Metallurgiya mashinostroeniya*, 2012, no. 2, pp. 11–14. (in Russ.)

4. Chumanov I.V., Chumanov V.I., Matveeva M.A. [Investigation of the Structure and Mechanical Properties of the Multilayer Metal Material Obtained by Electroslag Remelting]. *Elektrometallurgiya*, 2014, no. 3, pp. 29–33. (in Russ.)

5. *GOST R ISO 6507-1-2007. Metally i splavy. Izmerenie tverdosti po Vickersu*. [State Standard 6507-1-2007. Metals and Alloys. Measurement of Vickers Hardness.]

*Received 23 January 2015*

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Чуманов, И.В. Измерение микротвёрдости многослойного металлического материала, полученного методом электрошлакового переплава / И.В. Чуманов, М.А. Матвеева, И.А. Тараканова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 84–89.

**FOR CITATION**

Chumanov I.V., Matveeva M.A., Tarakanova I.A. Measurement of Microhardness of Multilayer Metal Material Obtained by Electroslag Remelting. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 84–89. (in Russ.)