

Скобло Т.С.
Сидашенко А.И.
Гончаренко А.А.
Марков А.В.
Спольник А.И.
Телятников В.В.
Харьковский национальный техниче-
ский университет сельского хозяйства
им. П. Василенко
alex-goncharenko@i.ua

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОСОБЕННОСТЕЙ
СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ВВОДЕ
УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОРОШКОВЫХ
КОМПОЗИЦИЙ В ПОКРЫТИЕ

УДК 621.791.927

В ХНТУСГ им. П. Василенко выполняются исследования по возможности использовании детонационной шихты от утилизации боеприпасов для модифицирования восстанавливаемого рабочего слоя при износе деталей в эксплуатации.

Ключевые слова: детонационная шихта, модифицирование, износ, наноалмазы, шунгит, микроструктура, карбидная фаза, фазовый состав.

Введение. Поскольку одной из составляющих детонационной не магнитной составляющей шихты являются алмазы и незначительная доля железа и меди, то считаем целесообразным изучить влияние углеродсодержащих фаз на структурообразование при кристаллизации наплавленного слоя в процессе восстановления деталей. Это и явилось основной целью работы. Провели сопоставительный анализ модифицирования углеродсодержащими добавками – наноалмазами производства фирмы «Синта» и природным продуктом – шунгитом. При этом исследователи не только влияние наноалмазов, но и более крупной фракции алмазов. Именно такие порошки можно извлечь из детонационной шихты.

Такая шихта является как и искусственные наноалмазы продуктом детонации. Поэтому, на первом этапе, исследовали влияние модифицирования углеродсодержащими добавками на структурообразование при восстановлении рабочего слоя наплавкой с использованием алмазов мелкой (нано-) и более крупной фракций, а также шунгита (природного фуллерена).

Основная часть. Для оценки структурообразования использована методика оптико-математической оценки формирования структур, которая подробно изложена в работе [1]. Следует акцентировать внимание на том, что номера в табл. 1 соответствуют 1-9 ферриту с различной долей углерода, 10-аустениту, а 11-15 и 16 карбидным фазам Fe_xC_y и Fe_3C соответственно. При этом порядковые номера от 1 до 10 соответствуют следующим способам модифицирования: 1, 2, 10 – шунгитом; 3, 6, 8 – мелким алмазом (нано-); 7, 9 – крупным алмазом; 4,5 – без ввода добавок.

Для анализа были отобраны 10 фотографий микроструктур, которые соответствовали наплавке без ввода модифицирующей присадки, с добавкой шунгита и наноалмазов разных фракций (мелкой и крупной) [2]. Это позволит обосновать использование детонационной шихты и в дальнейшем сформулировать требования к технологии ее подготовки для наиболее эффективного применения.

Результаты оценки типа, формируемых фаз, состоящих из 16 цветов приведены в табл. 1.

		Содержание фаз разных цветов (оттенков), %															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Общая фотография																	
1.	40.1	0.6	0.1	0.0	0.0	04.8	00.8	00.0	00.0	01.8	18.8	00.1	00.0	00.0	11.9	21.0	
2.	30.2	1.4	0.1	0.0	0.3	05.1	00.8	00.0	00.0	01.5	24.2	00.2	00.0	00.0	09.7	26.5	
3.	17.3	3.1	0.2	0.0	1.0	11.5	03.5	00.1	00.0	07.6	30.2	03.6	00.0	01.1	10.1	10.6	
4.	18.3	1.5	0.0	0.0	0.8	06.4	01.3	00.0	00.0	06.8	31.9	01.6	00.0	01.1	11.6	18.7	
5.	15.5	1.3	0.0	0.0	0.2	04.8	00.9	00.0	00.0	09.0	36.1	02.2	00.0	01.8	10.1	18.3	
6.	04.6	0.3	0.8	2.3	6.0	10.6	12.0	11.2	09.9	09.2	08.8	07.4	05.5	03.8	02.5	05.2	
7.	00.0	0.0	0.0	0.0	0.0	00.1	02.5	19.2	32.7	18.6	12.6	04.7	02.9	01.9	01.4	03.3	
8.	00.0	0.0	0.0	0.0	0.0	00.2	01.8	05.3	07.5	11.6	19.4	26.8	12.8	06.5	03.8	04.3	
9.	00.0	0.0	0.0	0.0	0.0	00.0	00.3	00.9	04.0	10.1	19.0	27.6	15.9	09.3	05.9	06.8	
10.	00.0	0.0	0.0	2.6	3.3	02.5	04.6	09.7	13.0	24.2	30.7	07.6	01.0	00.1	00.0	00.8	
Левая часть																	
1.	35.3	1.2	0.1	0.0	0.0	06.2	01.3	00.0	00.0	01.5	25.6	00.1	00.0	00.0	07.5	21.1	
2.	25.7	2.1	0.1	0.0	0.4	06.9	01.2	00.0	00.0	02.2	32.3	00.2	00.0	00.0	06.6	22.2	
3.	13.3	2.1	0.3	0.0	0.2	12.6	05.2	00.2	00.0	06.2	37.1	05.0	00.0	00.5	07.1	10.2	
4.	16.4	0.3	0.0	0.0	0.0	03.5	01.3	00.0	00.0	04.5	36.9	01.2	00.0	00.5	09.7	25.7	
5.	13.6	0.2	0.0	0.0	0.0	08.2	00.8	00.0	00.0	06.7	37.5	00.4	00.0	00.1	04.4	28.0	
6.	09.3	0.5	1.5	3.3	5.2	06.9	08.2	08.6	07.8	07.7	08.8	08.9	07.1	05.0	03.4	07.9	
7.	00.0	0.0	0.0	0.0	0.0	00.1	03.6	20.2	19.5	21.0	19.4	05.8	03.1	01.8	01.2	04.3	
8.	00.0	0.0	0.0	0.0	0.0	00.0	00.0	00.1	00.4	01.5	16.3	40.3	19.2	09.5	05.7	06.9	
9.	00.0	0.0	0.0	0.0	0.0	00.0	00.0	00.2	00.4	00.9	11.0	36.1	20.8	12.1	08.0	10.5	
10.	00.0	0.0	0.0	5.1	6.3	01.0	00.4	00.7	03.4	24.3	46.2	10.5	01.0	00.1	00.0	01.1	
Правая часть																	
1.	44.8	0.1	0.0	0.0	0.0	03.4	00.3	00.0	00.0	02.1	12.1	00.1	00.0	00.0	16.3	20.9	
2.	34.3	0.7	0.0	0.0	0.3	03.4	00.4	00.0	00.0	00.9	17.1	00.2	00.0	00.0	12.4	30.3	
3.	21.3	4.1	0.0	0.0	1.7	10.5	01.8	00.1	00.0	09.0	23.4	02.2	00.0	01.7	13.2	11.0	
4.	20.4	2.9	0.0	0.0	1.6	09.5	01.3	00.0	00.0	09.4	26.4	02.1	00.0	01.8	13.8	10.8	
5.	16.5	1.9	0.0	0.0	0.2	02.9	00.9	00.0	00.0	10.2	35.3	03.1	00.0	02.7	13.2	13.0	
6.	00.0	0.0	0.1	1.3	6.8	14.3	15.8	13.8	12.0	10.8	08.7	05.9	03.9	02.5	01.7	02.4	
7.	00.0	0.0	0.0	0.0	0.0	00.0	01.4	18.3	45.8	16.2	05.9	03.7	02.8	02.1	01.5	02.3	
8.	00.0	0.0	0.0	0.0	0.0	00.4	03.5	10.4	14.7	21.7	22.5	13.2	06.3	03.6	02.0	01.7	
9.	00.0	0.0	0.0	0.0	0.0	00.1	00.5	01.6	07.7	19.3	27.1	19.2	11.0	06.5	03.9	03.2	
10.	00.0	0.0	0.0	0.0	0.3	04.0	08.8	18.6	22.5	24.1	15.3	04.8	00.9	00.1	00.0	00.6	

Учитывая тот факт, что фотографии микроструктур состоят из зоны наплавки и основного металла, то осуществляли количественную оценку фазового состава по двум вариантам: первый – всего изображения, второй – левой его части (соответствует зонам наплавки и переходной) и правой (основной металл изделия). При этом, анализировали пять фотографий микроструктур (№1-5) при увеличениях x100 и такое же количество микроструктур электронного изображения (№6-10) при увеличениях x500. Последние характеризуют большую локальность исследуемой структуры.

Сопоставляя обобщенные данные по соотношению фазового состава (табл. 2), можно заключить, что наибольшие отклонения характерны для наплавленного металла без модифицирования углеродсодержащими добавками [3], то есть, такие покрытия характеризуются более крупным зерном во всех исследуемых зонах и значительной неоднородностью в распределении компонентов.

Суммирование содержания цветов по фазам, %							
1	Общая фотография		Левая часть		Правая часть		5
	2		3		4		
	Fe	A Karb	Fe	A Karb	Fe	A Karb	
1	46.4	01.8 51.8	44.1	01.5 54.3	48.6	02.1 49.4	шунгит
2	37.9	01.5 60.6	36.4	02.2 61.3	39.1	00.9 60.0	шунгит
3	36.7	07.6 55.6	33.9	06.2 59.9	39.5	09.0 51.5	алмаз мелкий
4	28.3	06.8 64.9	21.5	04.5 74.0	35.7	09.4 54.9	наплавка
5	22.7	09.0 68.5	22.8	06.7 70.4	22.4	10.2 67.3	наплавка
6	57.7	09.2 33.2	51.3	07.7 41.1	64.1	10.8 25.1	алмаз мелкий
7	54.5	18.6 26.8	43.4	21.0 35.6	65.5	16.2 18.3	алмаз крупный
8	14.8	11.6 73.6	00.5	01.5 97.9	29.0	21.7 49.3	алмаз мелкий
9	05.2	10.1 84.5	00.6	00.9 98.5	09.9	19.3 70.9	алмаз крупный
10	35.7	24.2 40.2	16.9	24.3 58.9	54.2	24.1 21.7	шунгит

При этом, во всех рассмотренных случаях максимальные значения соответствуют карбидной фазе. Ее доля изменяется в широких пределах.

На оптических фотографиях микроструктур с оценкой всего изображения доля ферритной составляющей изменяется от 22,7 – 28,3% до 36,7-46,4%. Первые значения соответствуют наплавке без добавок углеродсодержащих, а вторые - с введением шунгита и наноалмазов. Можно заметить некоторую неоднородность формирования этой фазы и при модифицировании шунгитом. Разброс показаний достигает 20%, суммарная доля ферритной составляющей несколько ниже в наплавленном слое и это характерно для всех вариантов, как с добавками углеродсодержащих фаз, так и без них.

Доля аустенитной составляющей практически для всех исследованных вариантов близка к среднему значению исходного металла, хотя наблюдается некоторая тенденция его снижения в зоне наплавки, что может быть достигнуто за счет измельчения зерна и изменения температурных условий кристаллизации при вводе добавок.

Наиболее низкая доля карбидной фазы отмечается при вводе модифицирующих присадок по сравнению с наплавкой без них. Однако, количество этой фазы существенно больше (на 18%) без использования модифицирования, что необходимо будет учитывать при эксплуатации изделий.

Несколько иная картина по распределению фаз характерна для электронных изображений микроструктур (см. №6-10, табл. 2).

Из-за локальности структуры сканированием оптико-математическим методом выявить какие-либо существенные закономерности сложно. Однако, тенденции влияния модифицирующих присадок можно проследить. Так, например, при агрегатировании наноалмазов, их доля в отдельных зонах наплавки достигает 73,6-98,5%. Причем максимальные значения соответствуют сугубо локальным зонам, в которых минимизируются выделения остальных фазовых составляющих (см. №6-10, табл. 2). Ввод мелкого порошка наноалмазов значительно уменьшает долю остаточного аустенита до 1,5-7,7%, а более крупные его включения, как и шунгит, составляет от 0,9 до 24,3%. Исходя из неоднородного распределения карбидной фазы, аустенита отмечаются и изменения локальной доли феррита в зоне наплавки (снижается, в среднем, на 4%).

Для оценки соотношения фаз использовали методику построения гистограмм, что позволило провести сравнение структур в различных зонах (наплавки, переходной и основного металла).

Полученные гистограммы цветов приведены на рис. 1 и 2.

Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів
 Technical service of agriculture, forestry and transport systems

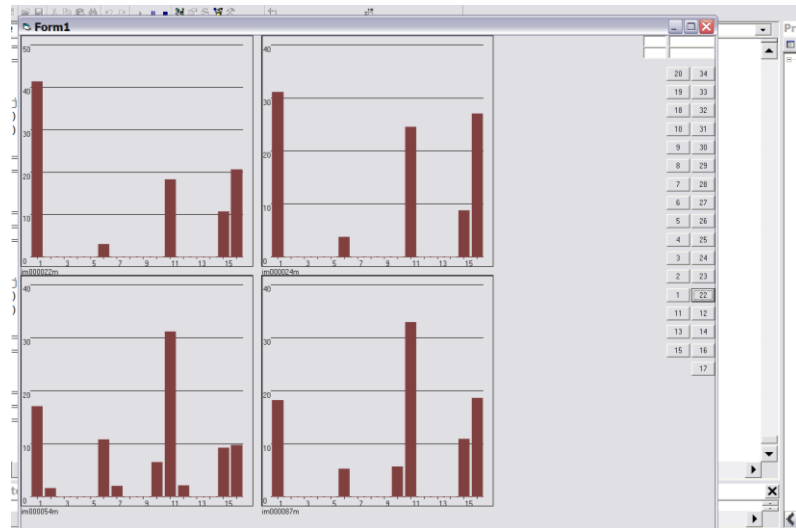
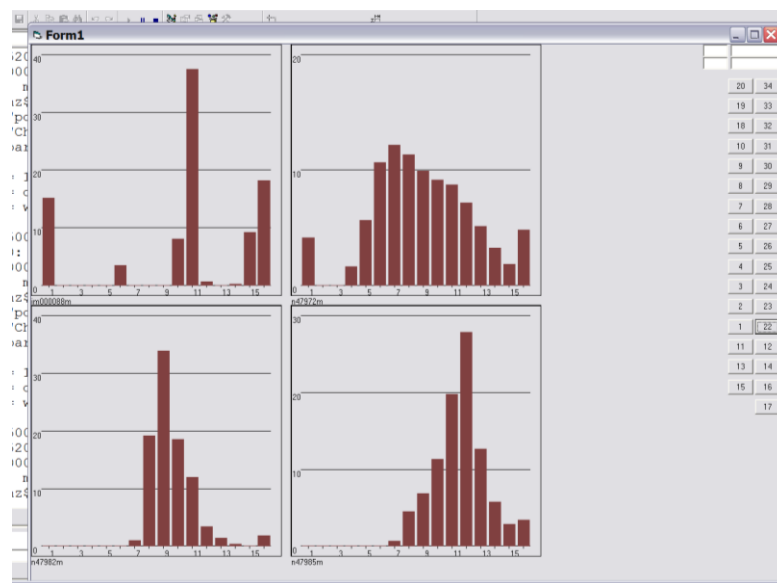


Рис. 1 Гистограммы распределения цветов на общих фотографиях без модифицирования



а б

А

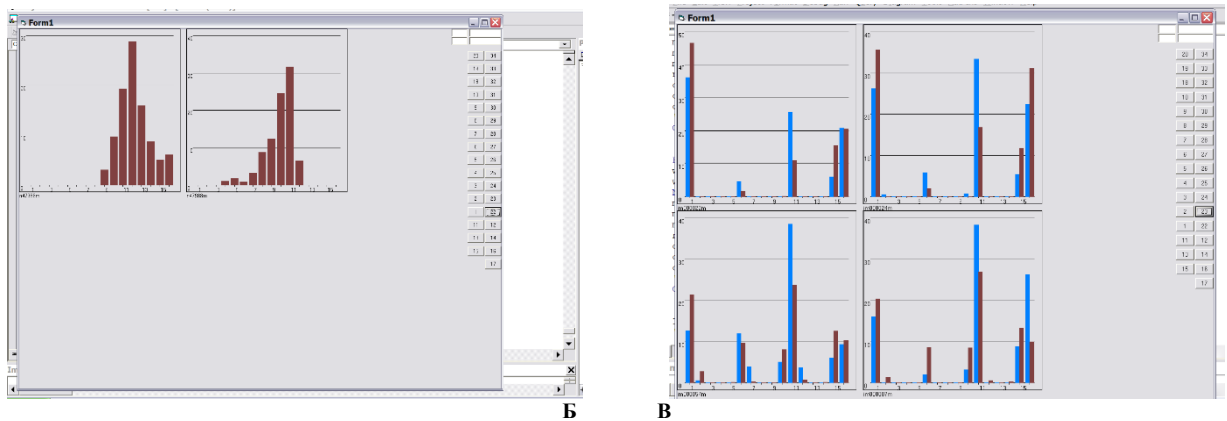
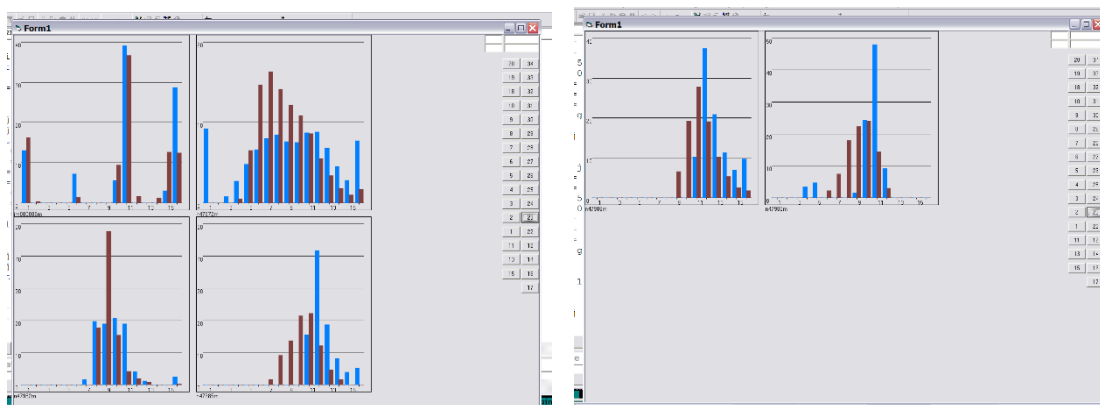


Рис. 2 Гистограммы распределения цветов при вводе наноалмазов: (а- левая часть; б- правая часть) А



Г Д
 Продолжение рис. 2

При сравнении приведенных гистограмм (рис. 1 и 2(А-Д)) видно, что при оценке фазового состава по всей фотографии число фаз при введении шунгита (рис. 1, рис. 2(А,Б)) отличается отсутствием аустенита (цвет 10) от наплавки без ввода модификатора, а при введении наноалмазов (рис. 2, Г) появляются новые типы феррита (цвета 2,7) и карбида (цвет 12).

Усредненный анализ фотографий №3 (см. рис. 2 и табл. 1), характеризующих общий вид, при введении наноалмазов (мелкой фракции) показал, что в этом случае феррит менее насыщен углеродом (цвета №3,4,5). При этом, феррит насыщен этим компонентом- №8 и 9 в структуре отсутствуют, а доля цвета аустенита достигает 76%.

Наиболее высокая доля карбидной фазы имеют цвета №11(FeC), №15(Fe_xC_y) и №16(Fe₃C), что соответствует 30,2%; 10,1% и 10,63%.

При сравнении структур наплавленного слоя и основного металла видны существенные отличия не только в типе, но и доле фазовых составляющих (сравнение гистограмм левой части см. рис. 2 и табл.1).

Для ввода более крупного порошка шунгита также характерно, что цвета №3,4,5,8,9 практически отсутствуют. При этом доля аустенита в них изменяется от 1,5 до 1,8%.

Также отсутствуют карбиды цветов №12-14, хотя при модифицировании крупными фракциями алмазов и при наплавке без их добавок, их доля достигает от 1,6% до 3,6%.

Наибольшая неоднородность по типу формируемых фаз характерна для электронных изображений микроструктур (рис. 3-6).

На рис 3-6 приведены фотографии микроструктур, по которым оценивали соотношение фаз при модифицировании углеродсодержащими присадками.

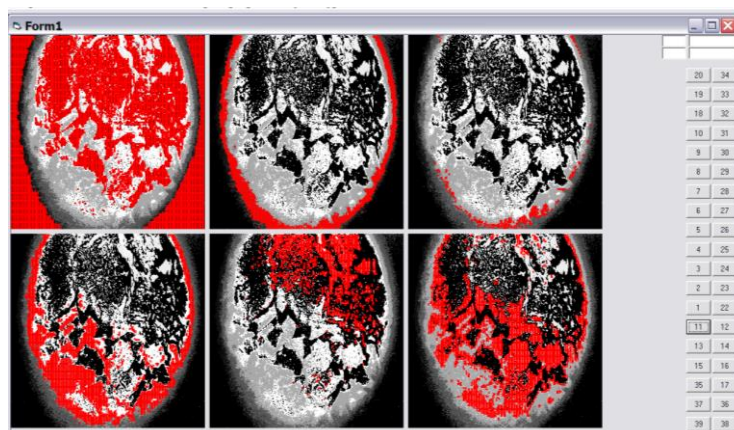


Рис. 3 Оценка цветов на микрофотографии при модифицировании шунгитом, x100

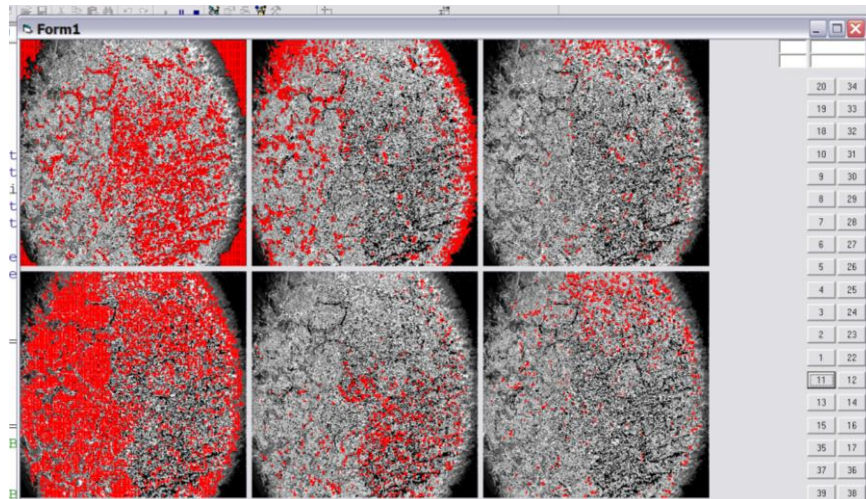


Рис. 4 Оценка цветов на микрофотографии при модифицировании наноалмазами, x100

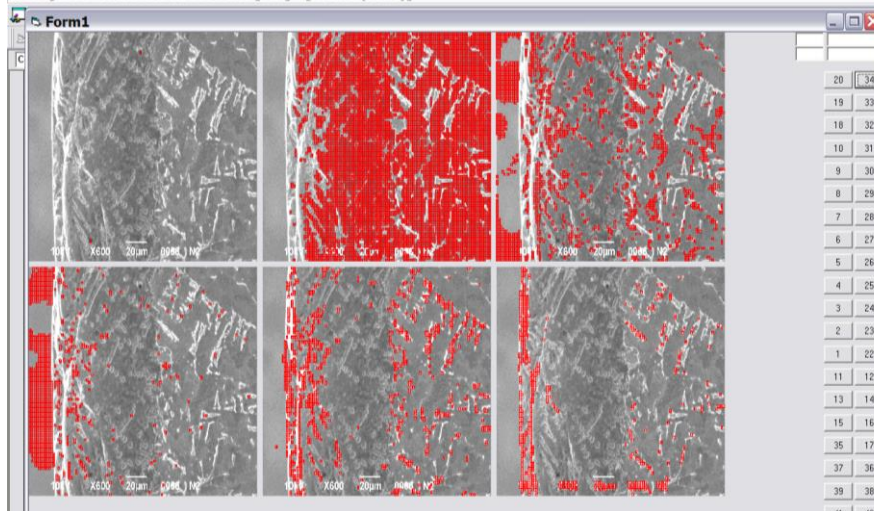


Рис. 5 Оценка цветов на микрофотографии при вводе крупных алмазов, x100

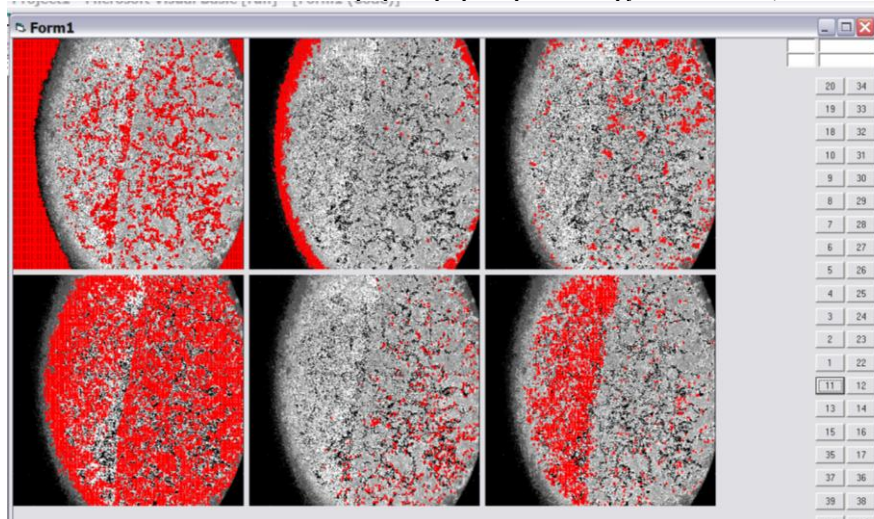


Рис. 6 Оценка цветов при наплавке без ввода модифицирующих присадок, x100

Из выполненного анализа можно заключить следующее: введение модифицирующих добавок, изменяет условия кристаллизации при наплавке за счет температурных параметров процесса и создания дополнительных центров кристаллизации; представляется возможным корректировать уменьшение доли остаточного аустенита и карбидной фазы при введении углеродосодержащих модифицирующих присадок.

Выводы. Исследованиями оптико-математическим методом структурообразования при введении модифицирующих присадок и без них выполнена оценка фазового состава покрытий.

Установлено, что модифицирующие присадки наноалмазов и шунгита изменяют долю и количество фаз, формируемых при кристаллизации. Это связано с тем, что введение дополнительных центров кристаллизации в виде порошков углеродсодержащих фаз уменьшают долю аустенитной составляющей, способствуют кристаллизации феррита с более высокой концентрацией углерода, появляется новый тип карбидов Fe_xC_y . Кроме того, модифицирование способствует перераспределению фаз с разным содержанием углерода.

Сопоставительные исследования фазового состава различных зон, предложенным методом позволили четко установить процентное содержание фаз отличающегося состава при вводе модифицирующих присадок. Это подтверждается гистограммами цветов, полученных при оценке структуры оптико-математическим методом.

Литература

1. Скобло Т.С. Применение компьютерного анализа металлографических изображений при исследовании структуры высокохромистого чугуна /Т.С. Скобло, О.Ю. Ключко, Е.Л. Белкин// “Заводская лаборатория. Диагностика материалов”. 2012 №6 (78)-С. 35-42.
2. Гончаренко А.А. Новая технология модифицирования при восстановлении изделия / Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Гончаренко А.А., Марков А.В., Михайличенко А.С.// Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенко. Випуск 158/ Харьков, 2015. – С.3-8.
3. Гончаренко А.А. Влияние модифицирования углерод- и медьсодержащими добавками вторичного сырья при восстановлении деталей электродуговой наплавкой / Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Власовец В.М., Гончаренко А.А., Марков А.В. //Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенко. Випуск 146/ Харьков, 2014. – С.227-231.

Skoblo T.S., Sidashenko A.I., Goncharenko A.A., Markov A.V., Spolnik A.I., Telyatnikov V.V. **Theoretical estimation of features of structure when entering carbon powder coating compositions in**

In HNTUSKH them. P. Vasilenko carried out a study on the possibility of using the detonation of the charge from the disposal of ammunition for the modification of the restored working layer when worn parts in operation.

Key words: detonation charge, modification, wear, nanodiamonds , shungite , microstructure, carbide phase , phase composition.

References

1. Skoblo T.S. The use of computer analysis of metallographic images in the study of the structure of high chrome cast iron /T.S. Skoblo, O.J. Klochko, E.L. Belkin // "Factory laboratory. Diagnosis of materials. " 2012 №6 (78) -P. 35-42.
2. Goncharenko A.A. The new modification of the technology in the reduction of the product / Skoblo T.S., Sidashenko A.I., Goncharenko A.A., Markov A.V., Mihaylichenko A.S. // News HNTUSG IM .. P.Vasilenko. Key infrastructure 158 / Kharkiv, 2015. - P.3-8.
3. Goncharenko A.A. Influence of modification of carbon and copper-containing additives recycled parts when restoring electric welding / Skoblo T.S., Sidashenko A.I., Vlasovets V.M., Goncharenko A.A., Markov A.V. // News HNTUSG IM .. P.Vasilenko. Key infrastructure 146 / Kharkiv, 2014. - P.227-231.