

Скобло Т.С.,  
Романюк С.П.,  
Сидашенко А.И.,  
Белкин Е.Л.

Харьковский национальный техниче-  
ский университет сельского хозяй-  
ства имени Петра Василенко,  
г. Харьков, Украина  
E-mail: stamarasemenovna@mail.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПИСАНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

УДК 669.017.3

*Выполнены исследования степени структурной неоднородности металла ножей из сталей 65Г и 20Х13 до- и после эксплуатации при помощи оптико-математического метода. Проведен сравнительный анализ особенностей структурообразования в различных зонах (лезвия и основной части) режущего инструмента в процессе всего жизненного цикла. С помощью предложенного метода выявлены дефекты, влияющие на срок службы и надежность ножей.*

**Ключевые слова:** тонкостенный режущий инструмент, структура, неоднородность, дефекты, изображение

### Введение

Причиной преждевременного выхода из эксплуатации тонкостенного режущего инструмента в пищевой перерабатывающей промышленности является деформация режущей кромки и усталостная повреждаемость всего ножа [1]. Для прогнозирования надежности тонкостенных дисковых ножей необходимо исследовать не только макроскопическую картину повреждаемости, но и анализировать степень неоднородности структуры металла инструмента, выявить конкретные причины, приводящие к зарождению и развитию повреждаемости. В ранее выполненных исследованиях с помощью анализа изображений методами оптико-математического анализа была проведена только оценка фазового состава и структуры ножей [2].

Поэтому **целью работы** является использование нового математического подхода для оценки степени неоднородности различных структурных составляющих (феррита, карбида, аустенита или мартенсита) металла инструмента из сталей 65Г и 20Х13 до- и после эксплуатации.

На данный момент анализ изображений с электронного микроскопа, позволяет получить информацию о структуре стали, определить долю фаз, плотность распределения и осуществить классификацию фаз [3]. Существуют методы оценки, позволяющие определить величину зерна в структуре металла [4]. Разработаны методики исследования микроструктур гетерогенных сплавов с использованием оптико-математического анализа, описывающие степень неоднородности (изменчивости) в выявленных фазах [5, 6]. Они позволяют проводить анализ дисперсности структурных составляющих и оценивать локальную неоднородность по концентрации компонентов.

### Методы и результаты исследования

В данной работе исследования базируются на идеях, приведенных в работах [5, 6], но имеют некоторые дополнения. При обработке изображения рассматривали равномерную прямоугольную сетку точек (пикселей) размером  $3 \times 3$  и  $5 \times 5$ , на которой заданы значения функций (в данном случае это цвета или оттенки этих точек). Схема расположения точек вокруг средней –  $c_1$  по предложенным схемам  $3 \times 3$  пикселя и  $5 \times 5$  показана на рис. 1.

Степень неоднородности в каждой точке вычисляется как соотношение данного показателя относительно 9 или 25 точек соответственно.

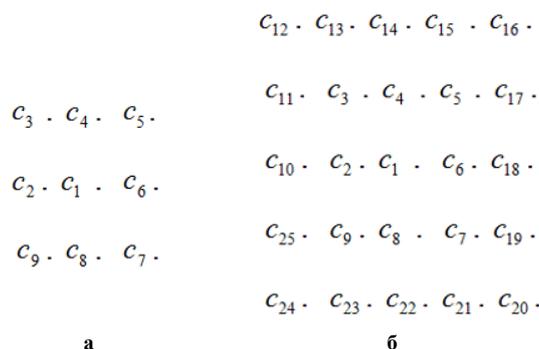


Рис. 1 - Схема нумерации точек вокруг – средней по схемам 3×3 (а) и 5×5 (б)

Построены гистограммы распределения цветов (всего 256), которые поделены на 16 интервалов, описывающих 3 группы фаз: с 1 по 9 – феррит, 10 – аустенит или мартенсит, 11-16 относится к карбидной составляющей [2]. Они показывают среднее количество выявленных фаз по площади исследуемых фотографий. Проведены исследования структуры металла режущего инструмента до- и после эксплуатации. Все анализируемые изображения получены на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6390LV при ускоряющих напряжениях 10kV и 20kV. В табл.1 представлены данные для нового режущего инструмента из стали 65Г по схеме 3×3 пикселя.

Таблица 1.

**Гистограммы распределения цвета для нового инструмента из стали 65Г**

Номера цветов																№ фото	Зона ножа
феррит									a*	карбиды							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
0,0	0,0	0,0	0,2	12,6	49,3	21,5	2,2	2,3	1,9	1,1	2,0	2,7	1,3	1,6	1,3	01	лезвие
0,0	0,0	0,1	7,1	14,9	24,8	12,9	5,5	10,1	15,8	3,1	1,9	1,2	0,5	0,7	1,3	02	
0,0	0,0	0,0	0,3	7,3	38,6	21,2	1,1	1,8	3,3	4,0	9,3	8,9	1,8	1,4	1,0	03	
0,0	0,0	0,0	0,3	15,0	53,5	23,2	1,3	1,7	1,5	1,0	1,3	0,4	0,1	0,1	0,7	04	
0,0	0,0	0,2	27,4	22,0	18,1	6,2	3,9	6,9	10,4	2,8	1,4	0,1	0,0	0,0	0,7	05	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	4,4	4,0	12,1	44,7	29,0	1,4	1,1	1,0	0,3	0,4	1,1	06	основание
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	8,7	45,3	42,1	2,3	0,4	0,1	0,0	0,0	0,7	07	
0,0	0,0	0,1	5,1	7,0	13,6	18,0	17,8	27,8	7,0	0,9	1,0	0,5	0,2	0,2	0,8	08	середина
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	13,3	38,2	44,0	3,5	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,6	09	
2,1	2,8	7,0	14,6	10,5	17,1	18,4	7,8	9,2	5,6	1,6	1,6	0,7	0,2	0,2	0,7	10	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	11,2	36,0	39,7	6,8	3,3	0,3	0,0	0,0	0,7	11	

a\* - аустенит

В результате проведенных исследований были получены показатели средней неоднородности (разброс по концентрации выявленных компонентов в каждой анализируемой фазе) для 16 интервалов цветов (табл.2). Оценена средняя неоднородность по всей анализируемой фотографии. Ее рассчитывали, как среднюю по всем цветам каждой фазы с учетом гистограммы их распределения.

При анализе изображений установлено, что степень увеличения фотографии, при которых были получены структуры, не влияет на показатели неоднородности различных

зон ножа. Увеличение анализируемого показателя (табл.2) свидетельствует о повышении степени неоднородности компонента цвета, а, значит, и компонента фазы структуры. Наиболее высокие значения средней неоднородности по всему изображению наблюдаются на фотографиях 01, 05, 07.

Таблица 2.

**Гистограммы неоднородности по схеме 3×3 пикселя для нового режущего инструмента из стали 65Г**

Номера цветов																№ фото	Средняя неоднородность по всему фото
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
0,0	0,0	0,11	0,16	0,33	0,63	0,36	0,33	0,46	0,49	0,31	0,44	0,51	0,33	0,44	0,63	01	0,50
0,11	0,12	0,17	0,29	0,38	0,53	0,44	0,34	0,46	0,66	0,27	0,35	0,45	0,28	0,38	0,70	02	0,47
0,00	0,00	0,11	0,16	0,33	0,60	0,40	0,33	0,47	0,48	0,36	0,51	0,56	0,29	0,40	0,64	03	0,50
0,0	0,0	0,11	0,13	0,37	0,61	0,37	0,34	0,47	0,51	0,32	0,46	0,34	0,18	0,20	0,73	04	0,50
0,11	0,12	0,20	0,38	0,31	0,30	0,52	0,36	0,48	0,60	0,29	0,26	0,31	0,13	0,14	0,73	05	0,39
0,0	0,0	0,0	0,11	0,19	0,66	0,28	0,29	0,54	0,42	0,19	0,35	0,38	0,24	0,33	0,66	06	0,46
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,11	0,14	0,34	0,56	0,58	0,20	0,14	0,21	0,12	0,12	0,73	07	0,54
0,11	0,13	0,21	0,44	0,33	0,53	0,50	0,37	0,55	0,25	0,29	0,38	0,29	0,18	0,25	0,67	08	0,46
0,0	0,0	0,0	0,11	0,33	0,43	0,25	0,44	0,51	0,14	0,16	0,22	0,15	0,12	0,14	0,74	09	0,44
0,36	0,25	0,33	0,37	0,25	0,34	0,37	0,24	0,31	0,31	0,21	0,27	0,27	0,19	0,22	0,71	010	0,32
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,11	0,21	0,36	0,52	0,57	0,27	0,27	0,23	0,14	0,12	0,74	011	0,49

При исследовании изображений структуры металла нового ножа по схеме 5×5 пикселей были получены следующие данные по средней степени неоднородности. Так, для 01 фото – 0,51; 02 – 0,49; 03 – 0,51; 04 – 0,51; 05 – 0,48; 06 – 0,45; 07 – 0,53; 08 – 0,47; 09 – 0,43; 010 – 0,27; 011- 0,46.

Проведено усреднение данных по различным областям инструмента. Для лезвия нового ножа из стали 65Г степень неоднородности по схеме 3×3 пикселя достигает 0,472 и 5×5 – 0,5. Для основной части инструмента (середина и основание, см.табл.2) данный показатель немного ниже и достигает 0,452 и 0,435 соответственно.

Из полученных данных следует, что чем больше площадь анализируемой области изображения, тем однородней структура. Поэтому анализ изображений по схеме 5×5 пикселей больше подходит для грубой, крупнозернистой структуры. Для мелкодисперсной же - оптимальный анализ следует производить по схеме 3×3 пикселя, так как позволяет выявить локально большее количество дефектов структуры.

Графическое изображение изменения степени неоднородности для нового ножа представлено на рис. 2. Неоднородности представлены непрерывным цветом от черного до красного. Самый черный цвет – минимальная степень неоднородности. Самый красный – максимальная.

Одновременно исследованы изображения структуры ножей уже после окончания срока службы. В табл.3 представлены гистограммы распределения цвета для режущего инструмента из стали 65Г после эксплуатации по схеме 3×3 пикселя.

В результате проведенных исследований получены показатели средней неоднородности с учетом гистограмм распределения цвета (см.табл.3) для режущего инструмента из стали 65Г после эксплуатации, которые представлены в табл.4.

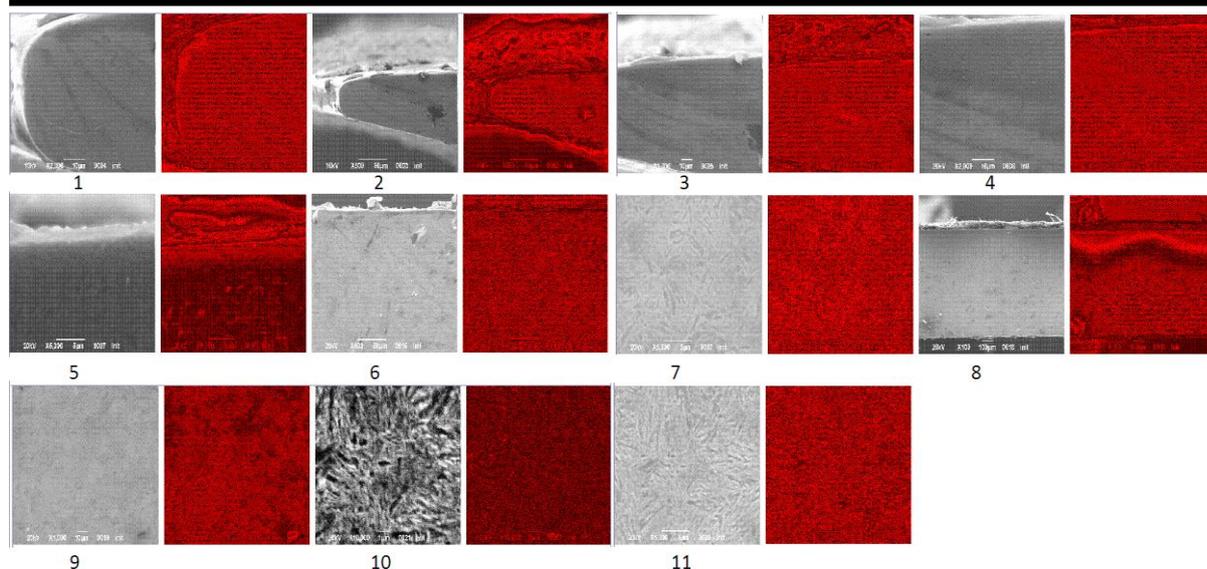


Рис.2. Изображение изменения степени неоднородности (см.табл.2) структуры металла режущего инструмента из стали 65Г до эксплуатации

Таблица 3.

Гистограммы распределения цвета по схеме 3×3 пикселя для ножей из стали 65Г после их эксплуатации

Номера цветов																№ фото	Зона ножа
феррит									a*	карбиды							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
0,0	0,0	0,2	3,2	9,7	33,9	39,0	5,7	3,0	1,2	0,5	0,6	0,5	0,3	0,4	1,7	012	лезвие
0,0	0,9	4,7	18,1	22,2	30,7	11,0	1,8	1,8	1,4	0,7	01,1	01,2	0,6	01,1	2,7	013	
4,3	3,1	6,0	9,5	6,0	9,9	11,5	6,0	8,7	8,5	3,8	5,0	4,4	01,9	2,7	8,7	014	
0,0	0,0	0,0	0,7	7,3	39,2	38,3	2,6	3,1	4,0	01,5	01,3	0,6	0,3	0,3	0,8	015	
0,0	0,0	0,1	11,2	28,0	37,0	10,9	01,3	1,4	1,8	1,0	1,3	1,5	0,8	0,9	2,9	016	
0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,7	5,0	9,8	26,0	35,9	11,2	8,4	1,6	0,1	0,1	0,8	017	основание
0,6	1,4	4,7	15,4	13,6	23,0	22,5	7,6	7,1	2,5	0,4	0,3	0,1	0,0	0,0	0,7	018	
0,1	0,1	0,3	1,3	3,2	13,0	34,4	18,1	19,3	7,4	1,1	0,7	0,1	0,0	0,0	0,7	019	середина
3,7	1,9	5,8	15,4	12,1	19,9	19,6	7,2	7,7	3,8	1,0	0,8	0,3	0,1	0,0	0,7	20	

a\* - аустенит

Таблица 4.

Гистограммы неоднородности по схеме 3×3 пикселя для режущего инструмента из стали 65Г после эксплуатации

Номера цветов																№ фото	Средняя неоднородность по всему фото
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
0,11	0,21	0,33	0,34	0,30	0,47	0,54	0,22	0,28	0,43	0,25	0,30	0,38	0,25	0,35	0,78	012	0,46
0,16	0,20	0,48	0,32	0,36	0,46	0,32	0,24	0,33	0,34	0,24	0,31	0,34	0,22	0,32	0,70	013	0,39
0,20	0,17	0,21	0,22	0,17	0,22	0,23	0,17	0,21	0,21	0,15	0,18	0,18	0,16	0,21	0,72	014	0,25
0,0	0,11	0,17	0,21	0,37	0,54	0,57	0,31	0,47	0,57	0,29	0,36	0,38	0,25	0,32	0,67	015	0,52
0,11	0,12	0,17	0,27	0,41	0,51	0,54	0,28	0,40	0,48	0,30	0,40	0,47	0,30	0,36	0,80	016	0,45
0,0	0,11	0,28	0,39	0,30	0,29	0,24	0,23	0,36	0,45	0,22	0,23	0,16	0,14	0,15	0,74	017	0,35
0,20	0,18	0,24	0,30	0,24	0,33	0,34	0,20	0,23	0,19	0,13	0,14	0,14	0,12	0,12	0,73	018	0,29
0,39	0,30	0,41	0,33	0,24	0,35	0,47	0,29	0,36	0,31	0,17	0,18	0,15	0,12	0,15	0,73	019	0,37
0,77	0,21	0,28	0,34	0,25	0,34	0,35	0,22	0,28	0,26	0,18	0,21	0,18	0,13	0,14	0,73	20	0,32

В результате анализа изображений структуры металла режущего инструмента из стали 65Г после эксплуатации по схеме 5×5 пикселей были получены следующие данные. Так, средняя степень неоднородности для фото 012 составила 0,44; 013 - 0,36; 014 - 0,19; 015 - 0,51; 016 - 0,47; 017 - 0,30; 018 - 0,24; 019 - 0,32; 20 - 0,27.

Проведено усреднение данных по различным областям инструмента. Для лезвия ножа из стали 65Г после эксплуатации степень неоднородности по схеме 3×3 пикселя достигает 0,414 и 5×5 – 0,394. Для основной части инструмента (середина и основание, см. табл.4) данный показатель составляет 0,332 и 0,282 соответственно.

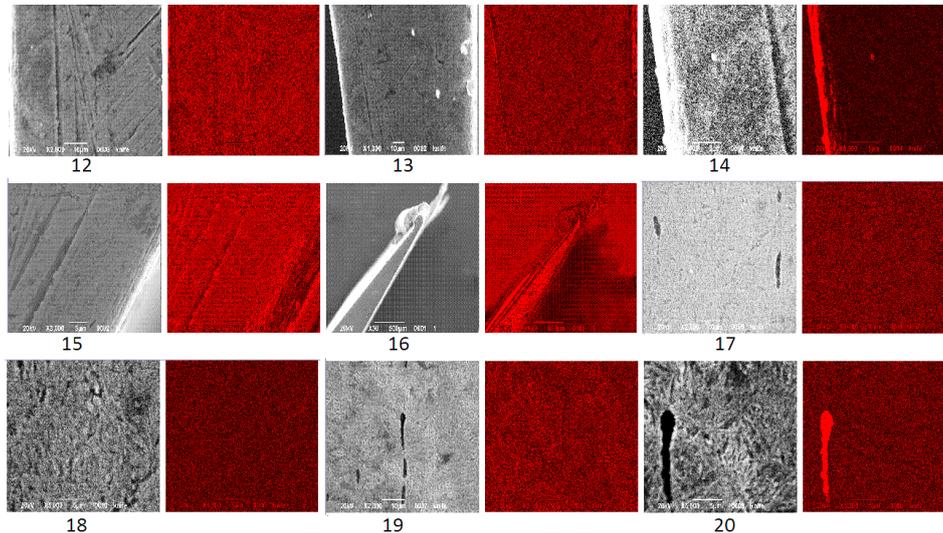


Рис.3. Изображение изменения степени неоднородности (см.табл.4) структуры металла режущего инструмента из стали 65Г после эксплуатации

В результате статистического анализа полученных данных (см.рис.2 и рис.3) установлено, что изображения с 01 по 011 (см.рис.2) светлее, чем фото 012-20 (см.рис.3). Это свидетельствует о более высокой степени неоднородности в режущем инструменте из стали 65Г до эксплуатации и некачественно проведенной термообработке и заточке ножа. В процессе эксплуатации происходит ликвация компонентов как внутри каждой фазы, так и во всей структуре, что способствует повышению ее однородности. Однако, из анализа данных табл.4. и рис.3 следует, что в процессе эксплуатации происходит одновременно и локальное изменение внутри определенных фаз, возникают пустоты и поры, в которых отмечается выделение диффундирующих компонентов с формированием максимальной степени неоднородности. Так, например, на изображении 20 (см.рис.3) выявлена локальная неоднородность в ферритной (0,77) и карбидной (0,73) фазах (табл.4). Поэтому, при проведении анализа изображений структуры необходимо комплексно анализировать и учитывать все полученные данные, как структурные изображения, так и цифровые показатели.

Для оценки склонности к повреждаемости провели сопоставление различных зон тонкостенного инструмента. Сопоставили соотношения неоднородности (изменчивости) формирования в фазах. Так в ферритной составляющей цвета 7 в лезвии к ее доле в основной части до эксплуатации составляет 47,22%, а после - 33,64%. В карбидной фазе цвета 11 такие изменения достигают 40,91% и 40,0% соответственно. Из анализа этих данных следует, что особое внимание следует уделять качественной подготовке тонкостенного инструмента к использованию в эксплуатации.

Проведены исследования изображений структуры инструмента из стали 20X13 после эксплуатации. В табл.5 и табл.6 приведены гистограммы распределения цвета и неоднородности для режущего инструмента из стали 20X13 после эксплуатации по схеме 3×3 пикселя. Графическое изображение полученных результатов представлено на рис.4.

Таблиця 5.

Гистограммы распределения цвета для ножей из стали 20X13 после эксплуатации

Номера цветов																№ фото	Зона ножа
феррит								м*	карбиды								
1	2	3	4	5	6	7	8		9	10	11	12	13	14	15	16	
0,0	0,0	0,0	0,1	1,5	14,1	55,3	14,2	6,8	2,7	1,0	1,2	1,0	0,5	0,6	1,0	21	лезвие
0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,3	16,6	23,6	38,5	14,7	1,6	1,4	0,8	0,2	0,3	0,8	22	
0,0	0,0	0,0	0,5	12,4	22,8	42,4	12,0	5,2	1,2	0,5	0,7	0,5	0,3	0,3	1,2	23	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,5	18,0	24,4	35,0	12,5	2,4	2,6	1,5	0,5	0,5	1,0	24	
0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	1,3	5,6	7,6	20,1	31,7	11,9	11,4	5,1	1,4	1,5	2,0	25	основание
0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,9	7,5	11,6	25,6	29,0	9,0	8,3	3,7	1,0	1,0	2,2	26	
0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	1,7	11,2	13,8	26,3	24,5	7,4	7,1	3,4	0,9	0,9	2,2	27	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,8	14,2	21,5	35,5	20,0	3,5	2,1	0,3	0,0	0,0	0,6	28	середина
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,9	8,7	35,7	41,7	6,4	3,6	0,9	0,1	0,1	0,7	29	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	10,9	23,9	41,3	18,8	2,2	1,3	0,3	0,0	0,0	0,7	30	

м\* - мартенсит

Таблиця 6.

Гистограммы неоднородности по схеме 3 × 3 пикселя для режущего инструмента из стали 20X13 после эксплуатации

Номера цветов																№ фото	Средняя неоднородность по всему фото
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
0,0	0,0	0,19	0,21	0,28	0,45	0,69	0,26	0,37	0,49	0,30	0,38	0,48	0,31	0,41	0,73	21	0,55
0,0	0,0	0,0	0,16	0,29	0,37	0,44	0,36	0,52	0,38	0,26	0,34	0,37	0,24	0,29	0,68	22	0,44
0,0	0,0	0,15	0,13	0,48	0,50	0,65	0,25	0,25	0,40	0,26	0,34	0,36	0,25	0,31	0,73	23	0,51
0,0	0,0	0,0	0,13	0,33	0,39	0,46	0,38	0,51	0,40	0,30	0,39	0,44	0,27	0,37	0,68	24	0,44
0,11	0,11	0,15	0,19	0,17	0,25	0,30	0,22	0,34	0,44	0,23	0,26	0,23	0,16	0,19	0,45	25	0,33
0,0	0,0	0,11	0,26	0,31	0,38	0,41	0,32	0,45	0,49	0,27	0,34	0,37	0,24	0,31	0,77	26	0,42
0,0	0,0	0,0	0,27	0,35	0,41	0,46	0,34	0,47	0,49	0,29	0,38	0,42	0,26	0,34	0,81	27	0,44
0,0	0,0	0,0	0,14	0,31	0,46	0,42	0,38	0,50	0,50	0,29	0,33	0,28	0,13	0,13	0,74	28	0,45
0,0	0,0	0,0	0,12	0,13	0,20	0,21	0,24	0,45	0,51	0,20	0,21	0,21	0,14	0,15	0,72	29	0,42
0,0	0,0	0,0	0,17	0,28	0,41	0,33	0,38	0,52	0,44	0,25	0,31	0,28	0,15	0,13	0,73	30	0,44

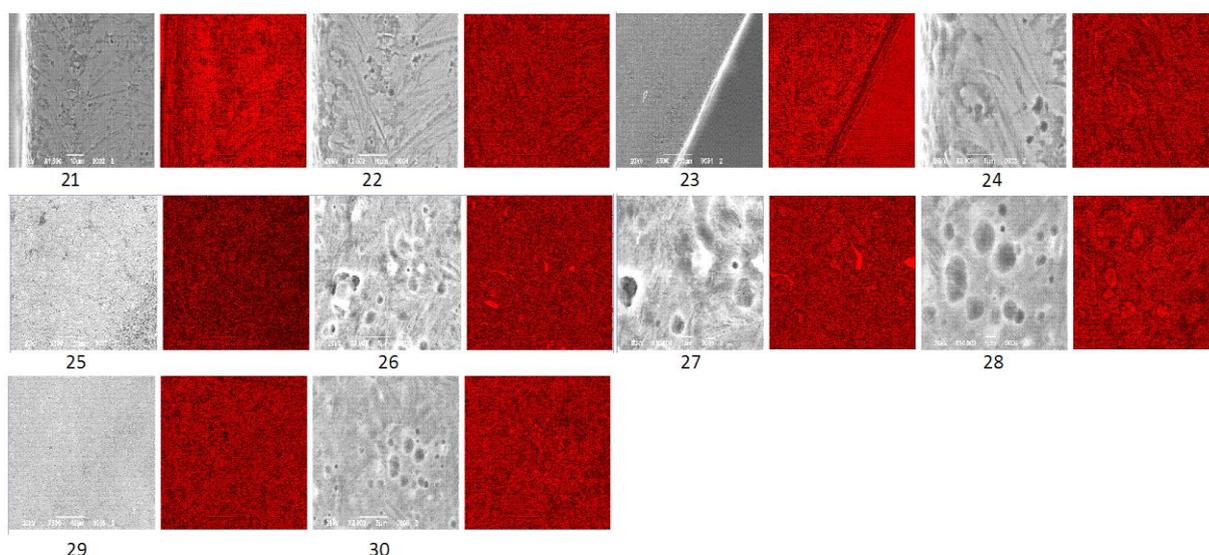


Рис.4. Изображение изменения степени неоднородности (см.табл.6) структуры металла режущего инструмента из стали 20X13 после эксплуатации

В результате анализа изображений структуры металла режущего инструмента из стали 20X13 после эксплуатации по схеме 5×5 пикселей получены следующие данные. Так, средняя степень неоднородности для фото 21 составила 0,54; 22 - 0,42; 23 - 0,49; 24 - 0,44; 25 - 0,26; 26 - 0,37; 27 - 0,41; 28 - 0,45; 29 - 0,38; 30 - 0,43.

Проведено усреднение данных по различным областям инструмента. Для лезвия ножа из стали 20X13 после эксплуатации степень неоднородности по схеме 3×3 пикселя достигает 0,485 и 5×5 – 0,472. Для основной части инструмента (середины и основания, см.табл.3) данный показатель составляет 0,417 и 0,383 соответственно.

Проведенные исследования показали, что в структуре ножа из стали 20X13 после эксплуатации, как и 65Г, присущи зоны с максимальной степенью неоднородности (см.рис.4).

Анализ изображений с помощью оптико-математического метода подтвердил ранее сделанные выводы [7] о наличии в структуре металла ножей дефектов кристаллического строения в виде пор (с выделением в них диффундирующего компонента с максимальной степенью неоднородности), приводящих к локальной деформации, формированию трещин и усталостному разрушению основной части инструмента.

### **Выводы**

При помощи оптико-математического метода проведен сравнительный анализ степени неоднородности различных структурных составляющих металла режущего инструмента. Данный метод позволил выявить дефекты кристаллического строения и определить степень неоднородности по концентрации компонентов внутри каждой фазы. Установлено, что в новом инструменте высокий уровень неоднородности по всей анализируемой поверхности свидетельствует о некачественно проведенной термообработке, а также заточке ножа. В процессе эксплуатации в структуре ножа, как из стали 65Г, так и 20X13, в областях склонных к усталостному разрушению (середине и основании), формируются зоны повреждаемости (пустоты и поры) с максимальной степенью неоднородности, которые влияют на надежность и срок службы инструмента в результате создания локальных напряженных участков.

### **Литература:**

1. Скобло Т.С. Статистический анализ износа режущего инструмента в перерабатывающей промышленности/Т.С. Скобло, С.П. Романюк //Хранение и переработка сельхозсырья. – Москва, 2013. – № 7. – С.46-48.
2. Скобло Т.С. Исследование особенностей структурных изменений режущего инструмента из сталей 65г и 20x13 с помощью математической статистики /Т.С.Скобло, Е.Л.Белкин, С.П.Романюк // Вісник ХНТУСГ: [«Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва»]. - Випуск 151. – Харків, 2014. - С.141-146.
3. Смитлз К.Дж. Металлы. - М.: Металлургия, 1980. - 447с.
4. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. ГОСТ 5639-82 (СТ СЭВ 1959-79). М.: «Издательство стандартов», 1983, 20 с.
5. Оценка степени неоднородности карбидов гетерогенных сплавов методом оптико-математического анализа при помощи изменчивости условных цветов / Т.С.Скобло, О.Ю. Ключко, Е.Л. Белкин [и др.] // Вісник ХНТУСГ. - Випуск 168, 2016. – С.174-186.
6. Исследование особенностей структурообразования в гетерогенных сплавах / Скобло Т.С., Ключко О.Ю., Белкин Е.Л., Сидашенко А.И., Кравчук А.П. // Промышленность в фокусе. - №3, 2016 – С.53-58.

7. Процессы, происходящие в тонкостенных ножах при их изготовлении и эксплуатации/ Т.С. Скобло, С.П. Романюк, А.И. Сидашенко, Е.Л. Белкин// Промышленность в фокусе. – Харьков, 2014. – №3. – С. 54-57.

### Summary

**Skoblo T.S., Romaniuk S.P., Sidashenko A.I., Belkin E.L.** Application of the optical-mathematical method for inhomogeneity description of the cutting tool structure

*The degree of structural inhomogeneity of the knives metal that made from «65Г» and «20Х13» steels before and after operation using the optical-mathematical method has been studied. A comparative analysis of the structure formation features in various zones (blade and main part) of the cutting tool in the course of the whole life cycle was carried out. With the help of the proposed method, defects that influence on the service life and reliability of the knives have been identified.*

**Key words:** thin-walled cutting tool, structure, heterogeneity, defects, image

### References

1. Skoblo T.S. Statisticheskiy analiz iznosa rezhushchego instrumenta v pererabatyivayushey promyshlennosti/T.S. Skoblo, S.P. Romanyuk //Hranenie i pererabotka selhozsyirya. – Moskva, 2013. – # 7. – S.46-48.
2. Skoblo T.S. Issledovanie osobennostey strukturnyih izmeneniy rezhushchego instrumenta iz staley 65g i 20h13 s pomoschy matematicheskoy statistiki /T.S.Skoblo, E.L.Belkin, S.P.Romanyuk // VIsnik HNTUSG: [«Problemi nadlynosti mashin ta zasobiv mehanizatsiYi silskogospodarskogo virobnitstva»]. - Vipusk 151. – Harkiv, 2014. - S.141-146.
3. Smitz K.Dzh. Metallyi. - M.: Metallurgiya, 1980. - 447s.
4. Stali i splavyi. Metodyi vviyavleniya i opredeleniya velichinyi zerna. GOST 5639-82 (ST SEV 1959-79). M.: «Izdatelstvo standartov», 1983, 20 s.
5. Otsenka stepeni neodnorodnosti karbidov geterogennyih splavov metodom optiko-matematicheskogo analiza pri pomoschi izmenchivosti uslovnnyih tsvetov / T.S.Skoblo, O.Yu. Klochko, E.L. Belkin [i dr.] // VIsnik HNTUSG. - Vipusk 168, 2016. – S.174-186.
6. Issledovanie osobennostey strukturoobrazovaniya v geterogennyih splavah / Skoblo T.S., Klochko O.Yu., Belkin E.L., Sidashenko A.I., Kravchuk A.P. // Promyshlennost v fokuse. - #3, 2016 – S.53-58.
7. Protsessyi, proishodyaschie v tonkostennyih nozhah pri ih izgotovlenii i ekspluatatsii/ T.S. Skoblo, S.P. Romanyuk, A.I. Sidashenko, E.L. Belkin// Promyshlennost v fokuse. – Harkov, 2014. – #3. – S. 54-57.