

Скобло Т.С.,
Науменко А.О.,
Власовец В.М.

Харьковский национальный техниче-
ский университет сельского хозяй-
ства имени П.Василенко

**ОПТИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ВИБРАЦИОННОЙ
ОБРАБОТКИ НА ФЕРРИТНУЮ
СОСТАВЛЯЮЩУЮ РАБОЧЕГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

УДК 679.18:536.7-531.3.07

В работе проведена оценка влияния упрочняющей вибрационной обработки на ферритную составляющую рабочего слоя деталей сельскохозяйственных машин с использованием специально разработанного оптико-математического метода исследований.

Ключевые слова: упрочнение феррита, долговечность, циклическая нагрузка, диски копа-чей

В условиях интеграции сельскохозяйственного производства Украины в общемировой рынок возрастают требования к качеству используемой сельскохозяйственной техники и повышению её долговечности [1]. В этой связи низкая долговечность изделий отечественных производителей в сравнении с зарубежными приобретает особую актуальность для фермерских хозяйств и средних сельскохозяйственных предприятий, которые в отличие от крупных агрохолдингов не могут обеспечить закупки дорогостоящей импортной техники. Проблемой обеспечения надежности за счет повышения гамма-процентного ресурса деталей сельскохозяйственной техники занимались Белецкий Д.М., Бойцов Б.В., Гоберман В.А. [2-3]. Вопросами оптимизации ресурса за счет изменения конструктивной прочности Грошев Л.Н, Касьянов В.Е., Коновалов Л.В. [4]. Однако, данные исследования охватывали преимущественно стадию изготовления, но не эксплуатации. Показано [5-6], что для повышения долговечности деталей целесообразно использовать различные способы упрочнения, в том числе вибрационной обработкой. Несмотря на то, что вопросам влияния различных фаз на эксплуатационную стойкость деталей в условиях циклических нагрузок посвящен ряд работ [7-10], однако их влияние для вибрационной обработки, изучено недостаточно.

Выполненными ранее исследованиями [11] установлено, что циклическая механическая обработка обеспечивает повышение эксплуатационной стойкости деталей сельскохозяйственных машин, изготовленных из различных материалов.

В качестве модели для исследований была выбрана сталь 10, поскольку особый интерес представляет материал, содержащий максимальную долю ферритной составляющей при существенно меньшей доле карбидной фазы в перлите.

Целью работы является исследование особенностей структурообразования ферритной составляющей рабочего слоя деталей сельскохозяйственных машин после вибрационной обработки оптико-математическим методом.

В задачи исследований входило: уточнение методики качественного и количественного анализа структуры, циклически упрочненного слоя с использованием оптико-математического метода; выявление особенностей формирования фаз и их поведения при циклической деформации; определение степени деформации по глубине.

Материалы и методы исследования.

Для упрочнения применяли вибрационную обработку на специально изготовленном стенде с частотой деформации 10–35 Гц (700–2000 циклов в минуту), амплитудой 0,25–0,75 мм с удельным давлением 1,42 МПа в течении 20–30 с. Конструкция стенда предусматривала установку двух дисков – упрочняемого и создающего вибрацию на ре-

жущую кромку. Перед вибрационной обработкой диск подвергали пескоструйной обработке по общепринятым режимам.

Для исследования влияния степени упрочнения виброобработкой на феррит при минимальной доле перлита использовали образцы из стали 10 (рис. 1). Сталь, согласно ГОСТ 1050, содержит, %: 0,07–0,14 С, 0,05–0,17 Si, 0,35–0,65 Mn, до 0,15 Cr, остальное железо. Исследованные образцы принадлежали одной плавке и содержали, %: 0,10 С, 0,05 Si, 0,45 Mn, 0,05 Cr. Оценку степени упрочнения такой стали виброобработкой производили на поверхности цилиндрического образца, в том числе оценивая размер зерен (рис. 2).

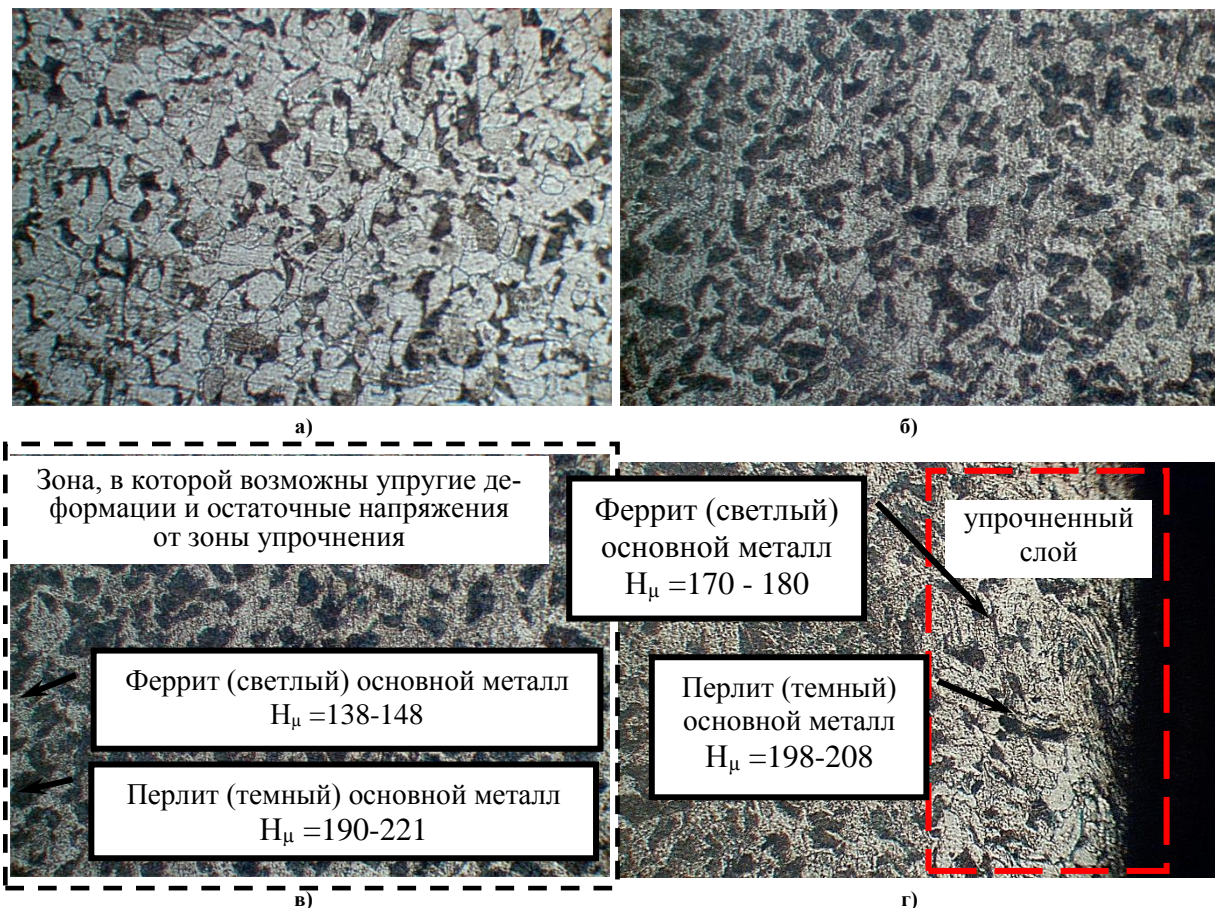


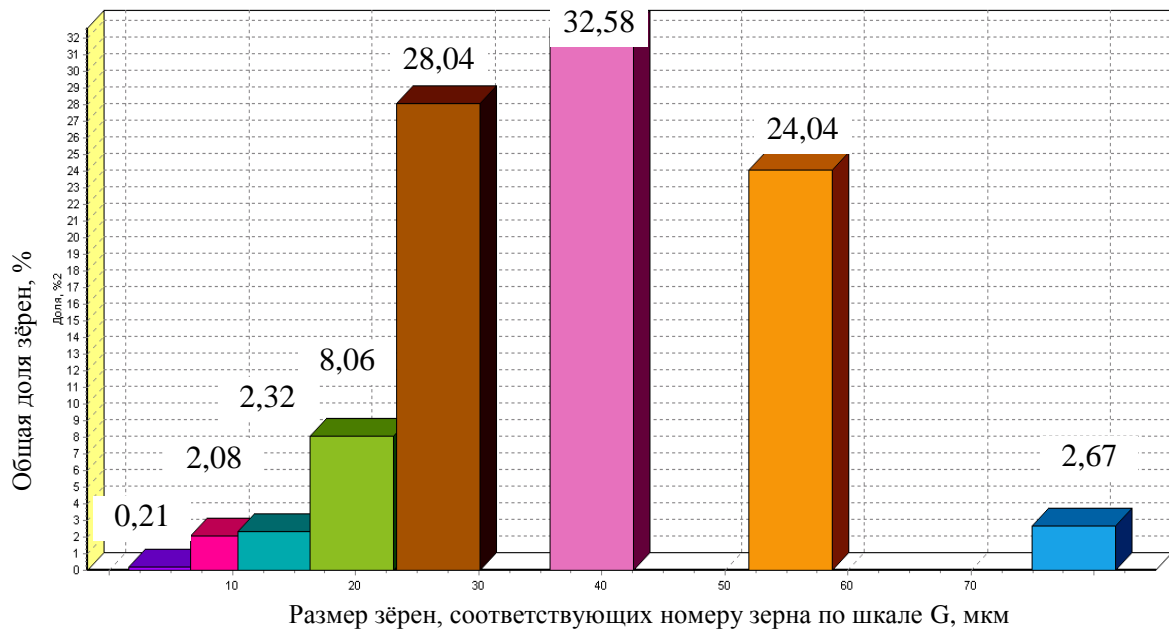
Рис.1 Структура металла по сечению образца из стали 10 от внешней стороны цилиндра до упрочненной – внутренней на различной глубине ($\times 100$): а – 7,5 мм, б – 12,5 мм, в – 15 мм, г – зона упрочнения протяженностью 550 мкм. Травлено 4%-ным раствором HNO_3 в этиловом спирте

Результаты исследований и их обсуждение.

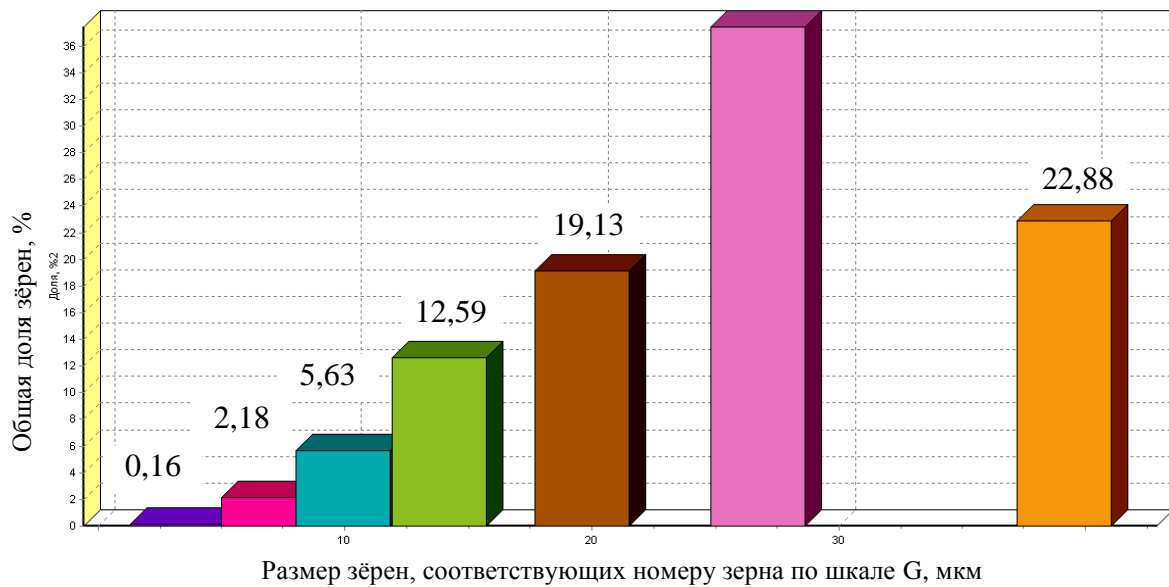
Для исследования упрочненного слоя оптико–математическим методом зоны по степени упрочнения разбили на 8 изображений (рис.3). Каждую зону рассматривали, как отдельную фотографию. Для каждой зоны производили расчет гистограмм распределения цветов, описанных в методике функций и других расчетов по разработанным программам.

Для оценки микроструктур стандартные 256 цветов разбивали на 16 групп (табл. 1).

Сравнение наиболее упрочненного слоя (зона 1) ферритной структуры с зоной 7 показывает, что в нем содержится значительная доля деформированной фазы, где дефекты декорированы углеродом (в 5 раз выше, чем без обработки).



а) 37,43



б)

Рис. 2 Величина зерна образца из стали 10 в исходном слое на глубине 5 мм (а) и упрочнённом слое на глубине 100-200 мкм от поверхности (б)

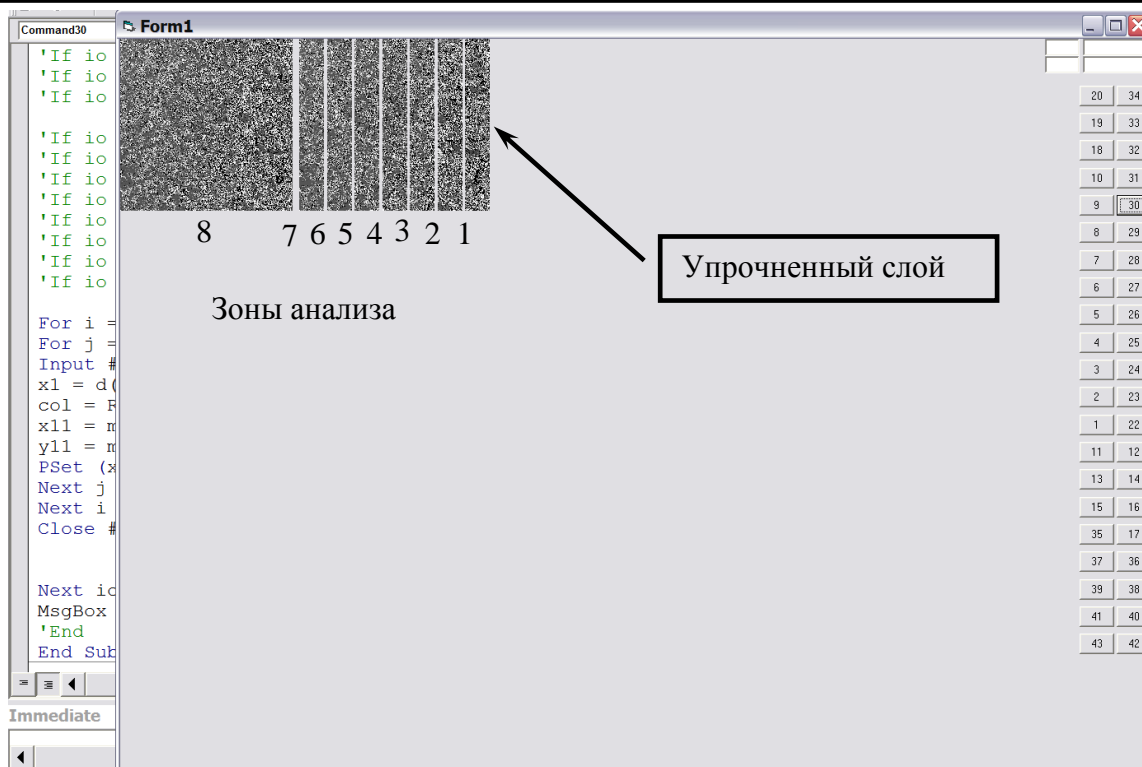


Рис. 3 Схема разбиения упрочненного слоя на 8 зон при оптико-математическом исследовании микроструктуры стали 10

Таблица 1.

Интервалы цветов

Номер анализируемой зоны	Диапазон гистограммы цветов для каждой зоны															
	Недеформированный феррит, %		Слабдеформированный феррит, %							Деформированный феррит, декорированный углеродом, %				Карбидная смесь в составе перлита, %		
	0-7	8-24	25-41	42-58	59-75	76-92	93-109	110-126	127-143	144-160	161-177	178-194	195-211	212-228	229-245	246-255
Номер цвета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	10,6	0,2	0	0	6,3	44,7	0	0	0	9,5	16,8	0,9	0	0	2,2	8,8
2	14,3	0,2	0	0	6,5	38,6	0	0	0	8,3	16,5	1,0	0	0	4,8	9,7
3	15,1	0,1	0	0	7,9	38,5	0	0	0	7,8	14,7	0,9	0	0	6,0	9,1
4	20,2	0,1	0	0	7,9	31,8	0	0	0	6,5	14,0	0,7	0	0	8,6	10,2
5	24,4	0,1	0	0	7,0	27,2	0	0	0	5,4	12,8	0,5	0	0	12,6	10,2
6	28,6	0,1	0	0	6,6	21,5	0	0	0	4,5	10,8	0,5	0	0	16,9	10,6
7	30,9	0,1	0	0	6,3	19,7	0	0	0	4,5	12,9	0,6	0	0	11,1	13,8
max	30,90	0,20	0,00	0,00	7,90	44,70	0,00	0,00	0,00	9,50	16,80	1,00	0,00	0,00	16,90	13,80
mid	20,59	0,13	0,00	0,00	6,93	31,71	0,00	0,00	0,00	6,64	14,07	0,73	0,00	0,00	8,89	10,34
min	10,60	0,10	0,00	0,00	6,30	19,70	0,00	0,00	0,00	4,50	10,80	0,50	0,00	0,00	2,20	8,80
Неупрочненная зона																
8	40,2	0,1	0	0	0,8	1,7	0	0	0	0,8	3,0	0	0	0	38,3	15,1

На рис. 4, а показано исходное изображение до обработки оптико-математическим методом.

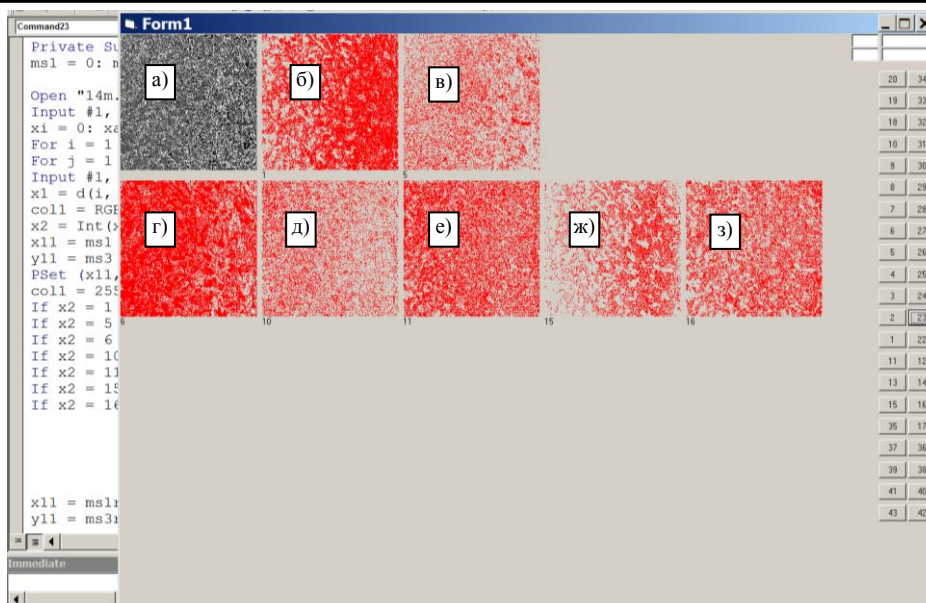


Рис. 4. Гистограмма распределения цветов в исследованных зонах упрочненного слоя: а – исходное изображение (№1-16, градация цветов 0-255); б – недеформированный феррит (№1, градация цветов 8–24); в – деформированный феррит (№5, градация цветов 59–75); г – деформированный феррит (№6, градация цветов 76–92); д – деформированный феррит декорированный углеродом (№10, градация цветов 144–160); е – деформированный феррит декорированный углеродом (№11, градация цветов 161–177); ж – карбидная смесь в составе перлита (№15, градация цветов 229–245); з – карбидная смесь в составе перлита (№16, градация цветов 246–255)

Зоны недеформированного феррита (см.рис. 4 б) и карбидной смеси в составе перлита (см.рис. 2 ж-з) проявляются в большей мере в зоне 7 по месту без упрочняющего воздействия. В то же время доля деформированного феррита повышена в зоне 6 (повышение составляет более чем в 2 раза).

На графиках рис. 5 показаны гистограммы распределения фаз по анализируемым зонам.

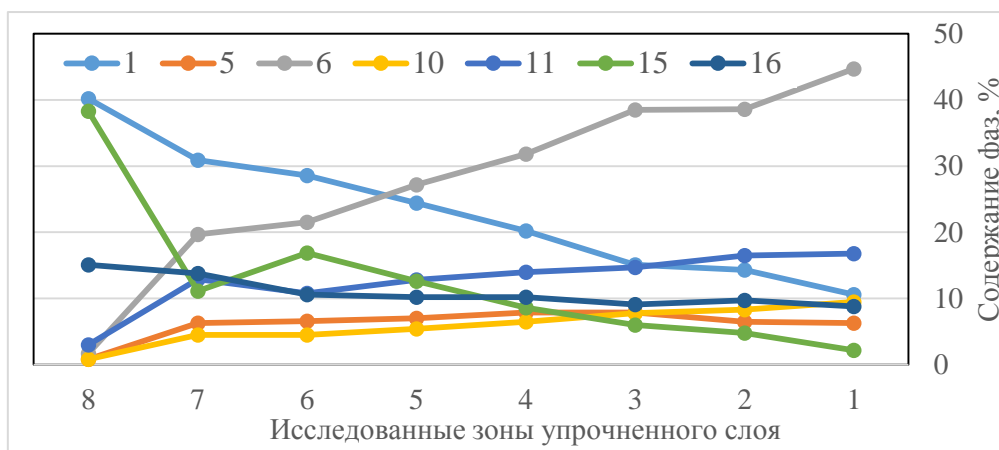


Рис. 5 Изменение фаз (цветов) по сечению упрочненного слоя

Выявлена горизонтальная площадка в зонах 2 – 3 на расстоянии 150-180 мкм по глубине упрочненного слоя. Она присутствует у функций, которые будут рассмотрены ниже. В ранее выполненных исследованиях [12] было показано, что такая циклическая пластическая деформация в этой зоне способствует дроблению зерна, формирует в феррите упорядоченную дислокационную структуру (дислокационные сетки и полосы). Можно предположить, что при воздействии циклической деформации, соответствующей 12,5–15,2кН, в малоуглеродистой пластичной стали возможно развитие процессов разрушения карбидной фазы и диффузии углерода. При этом переход не связан с перестройкой кристаллической решетки, а определяется появлением дефектов в феррите.

Оценкой гистограмм установлено, что по слоям упрочнения существенно изменяются процентное содержание цвета 1 и 6 (это феррит с различной степенью упрочнения). Суммарное содержание этих цветов изменяется в пределах 8%. Для деформированного феррита, декорированного углеродом (10-й столбец) максимальное содержание характерно для упрочненной поверхности (изменение составляет 42%). Для карбидной смеси в составе перлита с цветами 11 и 16 изменение в содержании составляет практически 60%. Между всеми описанными процентными содержаниями фаз (табл. 2) существуют регрессионные зависимости. Сравнение последней 7-й строки с гистограммой цветов образца Ст. 10 (зона 8) показывает, что упрочненный слой также заметно отличается. Во-первых, из-за того, что в нем в 24 раза больше слабо деформированного феррита, декорированного углеродом, во-вторых, как следует из табл. 2, суммарное процентное содержание феррита существенно больше, чем в исходном, а карбидной смеси существенно меньше.

Строение карбидной смеси в составе перлита исходного металла и упрочненного отличаются между собой по 15-му и 16-му цветам. Видимо, механизм изменения карбидов при вибронагружениях существенно отличается от исходного проката. Причем энергетическая насыщенность этих слоев практически совпадает.

С приближением к наиболее упрочненной зоне суммарное содержание карбидной смеси уменьшается (рис. 6), а суммарное содержание феррита различной степени упрочнения и декорированного углеродом увеличивается. При этом ферритная составляющая насыщается углеродом за счет уменьшения доли карбидной фазы на 10% в упрочненном слое.

Таблица 2

Суммарное содержание фаз в упрочненном слое

Номер анализируемой зоны	Фазы в упрочненной зоне, %		
	недеформированный и слабо деформированный феррит	деформированный феррит, декорированный углеродом	карбидная смесь в составе перлита
1	61,8	27,2	11
2	59,6	25,8	14,5
3	61,6	23,4	15,1
4	60	21,2	18,8
5	58,7	18,7	22,8
6	56,8	15,8	27,5
7	57	18	24,9
max	61,8	27,2	27,5
mid	59,4	21,4	19,2
min	56,8	15,8	11
Неупрочненная зона			
8	42,8	1,1	53,4

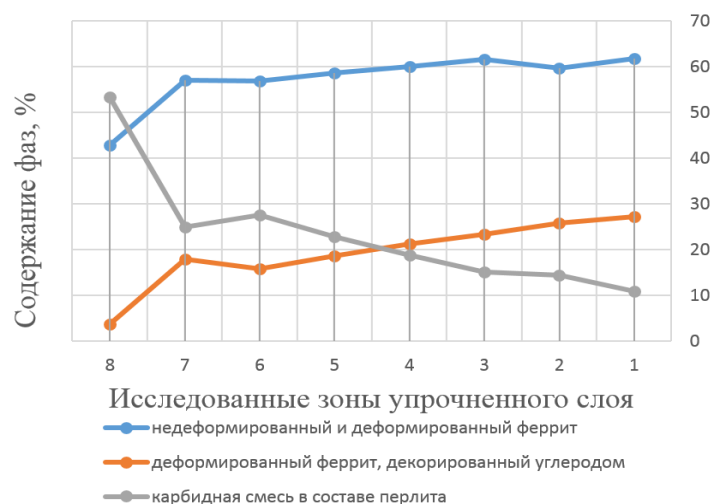


Рис. 6 Изменение фазового состава по сечению упрочненного слоя

Некоторое представление о распределении цветов по полю фотографии упрочненного слоя приведено на рис. 7.

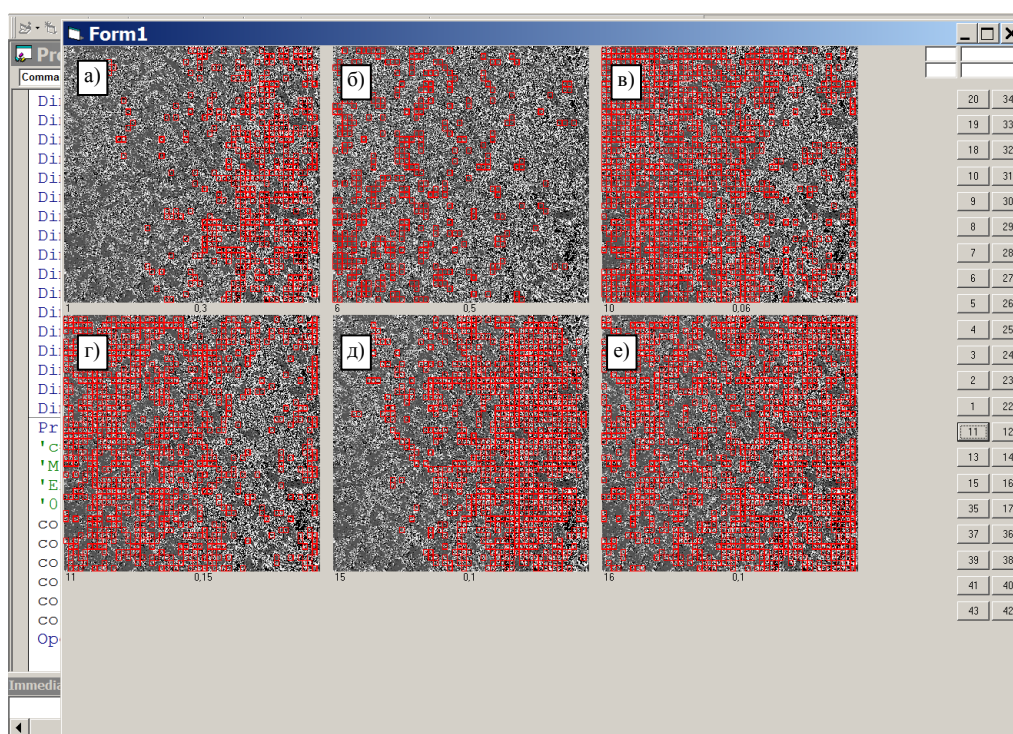


Рис. 7. Гистограмма распределения наиболее интенсивно меняющихся цветов в исследованных зонах упрочненного слоя: а – недеформированный феррит (№1, градация цветов 8–24); б – деформированный феррит (№6, градация цветов 76–92); в – деформированный феррит декорированный углеродом (№10, градация цветов 144–160); г – деформированный феррит декорированный углеродом (№11, градация цветов 161–177); д – карбидная смесь в составе перлита (№15, градация цветов 229–245); е – карбидная смесь в составе перлита (№16, градация цветов 246–255)

Проявляется неочевидная картина, так как значительная доля цвета 1 смещена в сторону наиболее упрочненной зоны. Цвет 5, наоборот, в сторону менее упрочненной. Деформированный феррит, декорированный углеродом (цвет 10) смещен в сторону менее упрочненной части, а цвета 11 и 16 распределены равномерно, цвет 15 смещен в сторону наиболее упрочненной части.

Рассчитаны коэффициенты регрессии зависимости процента содержания деформированного феррита, декорированного углеродом (цвет номер 10) от содержания каждого из цветов (табл. 3).

Корреляционные зависимости, отражающие содержание цвета фаз

Номер цвета	Уравнение регрессии ¹	Значимость	Коэффициент корреляции
1	$Y = 46,37 - 3,88 \times X_1$	43,2	0,99
2	$Y = 0,02 + 0,2 \times X_2$	2,63	0,79
5	$Y = 6,8 + 0,02 \times X_5$	1,03	0,054
6	$Y = 0,057 + 4,77 \times X_6$	59,97	0,99
11	$Y = 7,24 + 1,03 \times X_{11}$	8,86	0,94
12	$Y = 0,10 + 0,1 \times X_{12}$	5,59	0,91
15	$Y = 24,98 - 2,42 \times X_{15}$	8,58	0,94
16	$Y = 14,58 - 0,64 \times X_{16}$	2,33	0,76

Примечание. Y – доля содержания фазы, %, X_i – доля цвета, %. Значение индекса i соответствует номеру цвета

Коэффициенты корреляции наиболее высокие для 1-го, 6-го, 11-го, 12-го и 15-го цветов. Для 5-го цвета практически нет связи с 10-м. Но это определяется тем, что у цвета номер 5 практически не отмечается его изменение содержания по зонам. По данным ранее выполненных исследований в цвет 2 входит составляющая, представляющая точечный графит. Коэффициент корреляции 0,76 у цвета номер 16 может свидетельствовать о том, что карбидная фаза близка к Fe₃C. Для 7-й зоны характерны те же свойства, что и для 6-ой. В этом случае и отмечается уменьшение коэффициента при процентном содержании цвета, что характеризует уменьшение тесноты связи.

Рассмотрим средние значения функций в 7 анализируемых зонах (табл. 4) и представим их графически (рис. 8).

Таблица 4

Средние нейтральности для исследованных зон

Номер анализируемой зоны	Средние нейтральности						
	Основной лапласиан	Лапласиан под углом 90° к основному	3-ий лапласиан	4-ый лапласиан	Дивергенция	Усреднено по строкам	Усреднено по столбцам
1	0,773	0,779	0,678	0,643	0,767	0,688	0,632
2	0,781	0,779	0,673	0,633	0,805	0,618	0,573
3	0,782	0,782	0,673	0,630	0,809	0,600	0,553
4	0,784	0,781	0,666	0,621	0,836	0,531	0,485
5	0,803	0,795	0,668	0,629	0,835	0,487	0,445
6	0,815	0,811	0,672	0,630	0,842	0,452	0,398
7	0,810	0,808	0,670	0,630	0,834	0,450	0,388

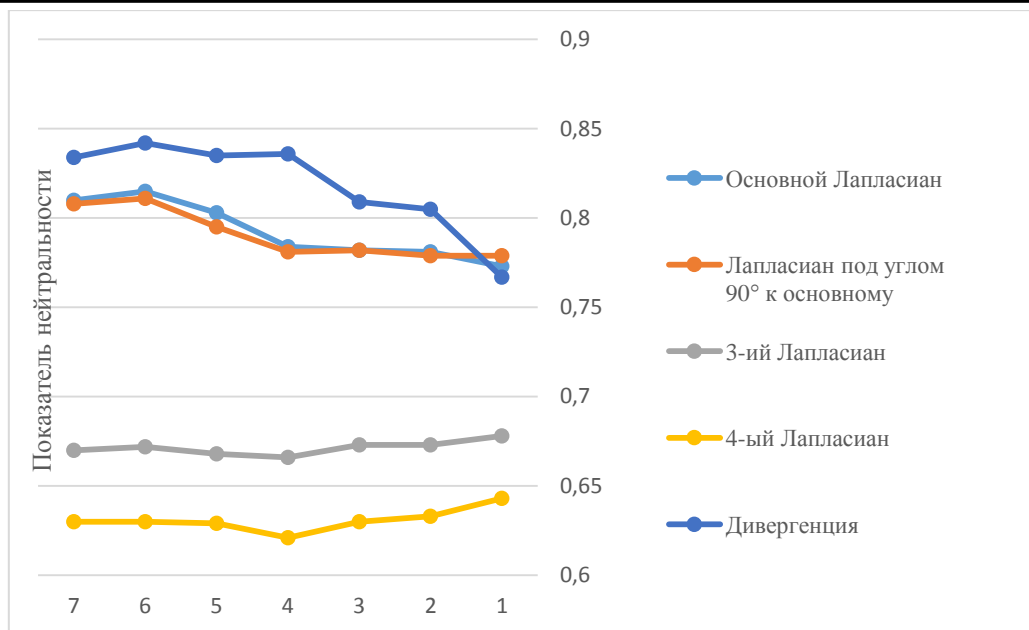


Рис. 8 Зависимости изменения показателей нейтральности

У зависимостей основного лапласиана и под углом 90° есть слабо выраженная площадка в зоне 2–3. Вторые 2 нейтральности почти постоянны.

Исходя из расчетов, нейтральность может определяться изменением коэрцитивной силы или диффузии. Для наклепанного слоя диффузия выражена слабо.

На рис. 9 представлена средняя неоднородность по 7 зонам упрочненного образца.

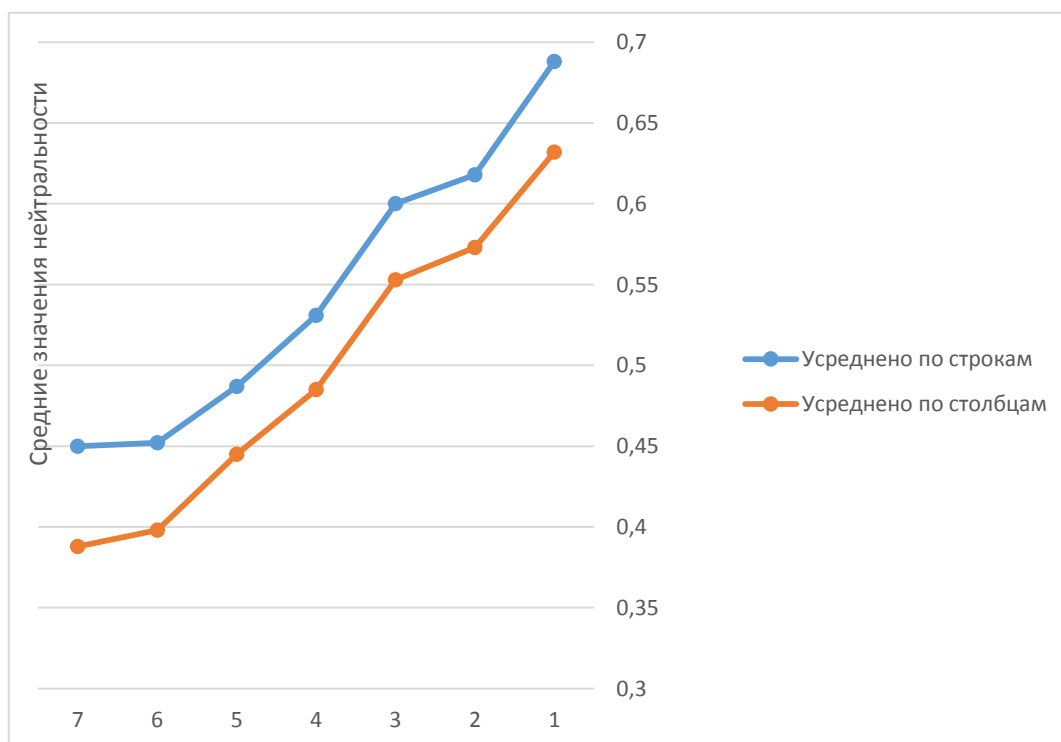


Рис. 9 Изменение степени неоднородности по сечению образца

По мере приближения к наиболее упрочненной зоне однородность значительно падает. В зоне упрочнения нарастает диффузия с образованием большого сочетания цветов. Проявляется образование площадки между вторым и третьим слоями.

Рассмотрим средние значения факторов, приведенных в табл. 4 и зависимости изменения этих параметров в 7-ми зонах.

Таблица 5

Средние значения факторов исследованных зон

Номер анализируемой зоны	Средние нейтральности						
	Средне-квадратичное отклонение	Обобщенный градиент	Основной лапласиан	лапласиан под углом 90° к основному	3-ий лапласиан	4-ый лапласиан	Дивергенция
1	114,9	59,6	62,1	208,9	351,9	671,4	113,5
2	116,9	68,1	72,7	244,5	410,0	784,6	132,5
3	114,3	68,9	73,9	247,6	415,6	793,5	134,5
4	113,6	76,8	84,2	282,0	469,8	898,1	152,9
5	114,6	83,5	91,3	311,4	514,1	987,2	166,8
6	116,4	90,2	98,5	339,1	555,0	1068,7	180,6
7	112,2	89,0	96,8	333,3	547,1	1051,2	177,7

На графике рис.6 представлены средние показания абсолютной величины лапласиана и абсолютной величины дивергенции. По мере приближения к самой упрочненной зоне эти показатели снижаются в полтора раза. Также формируется ровная площадка между зонами 2 и 3, а также 6 и 7. На графике средняя абсолютная величина 3-го лапласиана (синяя линия) и средняя абсолютная величина 4-го лапласиана (красная линия). По мере приближения к самой упрочненной зоне эти величины снижаются не меньше, чем в полтора раза.

Наличие ровных площадок свидетельствует о том, что эти зоны характеризуются наибольшей стабильностью фазового состава, который определяет свойства.

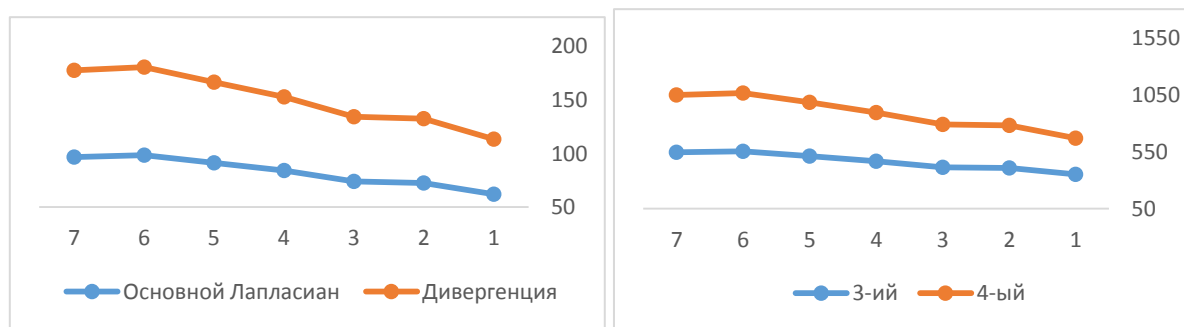


Рис.10 Зависимости средних абсолютных величин Лапласиана, дивергенции (а) и 3-го, 4-го Лапласианов

Выводы

С увеличением степени циклической деформационной обработки стали 10 происходит измельчение зерна на 35%, упрочнение феррита на 29% с формированием рельефа – полос скольжения и субзеренной структуры. Цементит в составе перлитной составляющей дробится, что сопровождается диффузией углерода. Вибрационная обработка сопровождается повышенной склонностью металла к окислению деформированных зон в поверхностном слое вследствие развития дефектной повреждаемости фаз металла. В результате обработки происходит перераспределение углерода, выравнивание его концентрации между зонами структурных составляющих. Наибольшее упрочнение характерно

для ферритной составляющей и, практически отсутствует в перлите.

Литература

1. Агафонов Н.И. Эффективные использования сельскогосподарської техніки. – М.: Знання, 1997 – № 4. – 63 с.
2. Гринченко А.С. Механическая надежность мобильных машин: Оценка, моделирование, контроль / Віровець АП" Апостроф, 2012 – 259с.
3. Skoblo T.S., Vlasovets V.M., Moroz V.V. Structure and distribution of components in the working layer upon reconditioning of parts by electric-arc metallization / Metal science and heat treatment, Kluwer Academic Publishers-Plenum Publishers T.43, 497-500
4. Туренко А.Н., Полянский А.С., Лузан С.А. Интегрирование технологи газотермического напыления покрытий и метода электроискрового легирования // Автомобильный транспорт : сб. научн. трудов. – 2011. – Вып. 28. – С. 109-113.
5. Skoblo T.S., Vlasovets V.M. The structure and distribution of the components in the working layer upon parts arc spraying metallizing reconditioning / TS Skoblo, VM Vlasovets // Metallovedenie i Termicheskaya Obrabotka Metallov 2001. - 12, 26-29
6. Скобло Т.С., Коломиец В.В., Власовец В.М., Ридный В.Ф., Ридный Р.В. Оценка износостойкости покрытий среднеуглеродистых сталей, улучшенных микролегированием и деформационным упрочнением: сборник // Вісник СевНТУ. - Севастополь : СевНТУ, 2011. - Вип. 120: Механіка, енергетика, екологія. - С. 83-86
7. Skoblo T.S., Vlasovets V. M. Specific features of the formation of structures in 60KH2N4GMF precipitation-hardening steel // Materials Science. Vol. 47. No. 5. March. 2012 P. 644-650
8. Власовец В.М. Влияние температуры отжига на состав и количество карбидной фазы в доэвтектоидной стали типа 60X2H4GMФ // Металознавство та термічна обробка металів. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 2. - С.76-82.
9. Скобло Т.С., Науменко А.О., В.М. Власовець В.М., Белкін Є.Л. Розробка математичної моделі деформаційних навантажень при віброобробці робочих органів сільськогосподарської техніки / ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ XVI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ " Сучасні проблеми землеробської механіки". – 2015 р., стор 134 – 145.
10. Терентьев В.Ф. Стадийность процесса усталостного разрушения металлических материалов // Металлы. –1996. – № 6. – С. 14-20.
11. Науменко А.О. Исследование влияния виброобработки на упрочнение структурных составляющих Стали 10/ Скобло Т.С., Власовец В.М., Науменко А.О., Дудников И.А. // Вісник ХНТУСГ “ Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві”. – Харків, 2015. – вип. 158. – с.279–287.;

Summary

Scoblo T.S., Naumenko A.O., Vlasovets V.M. Optical-mathematical studies of vibrating processing reinforcing influence on ferrite component of the working layer parts of agricultural machinery

This article presents the effect of reinforcing the vibration treatment on the ferrite component of the working layer of parts of agricultural machinery using a specially designed optical and mathematical methods.

Key words: hardening of the ferrite, durability, cyclic loading

References

1. Agafonov N.I. Efektivne vikoristannya sllskogospodarskoYi tehnIki. – M.: Znannya, 1997 –# 4. – 63 s.
2. Grinchenko A.S. Mehanicheskaya nadezhnost mobilnyih mashin:Otsenka, modelirovanie, kontrol / VIrovets AP" Apostrof, 2012 – 259s.
3. Skoblo T.S., Vlasovets V.M., Moroz V.V. Structure and distribution of components in the working layer upon reconditioning of parts by electric-arc metallization / Metal science and heat treatment, Kluwer Academic Publishers-Plenum Publishers T.43, 497-500
4. Turenko A.N., Polyanskiy A.S., Luzan S.A. Integrirovaniye tehnologi gazotermicheskogo napyileniya pokritiy i metoda elektroiskrovogo legirovaniya / // Avtomobilnyiy transport : sb. nauchn. trudov. – 2011. – Vyip. 28. – S. 109-113.
5. Skoblo T.S., Vlasovets V.M. The structure and distribution of the components in the working layer upon parts arc spraying metallizing reconditioning / TS Skoblo, VM Vlasovets // Metallovedenie i Termicheskaya Obrabotka Metallov 2001. - 12, 26-29
6. Skoblo T.S., Kolomiets V.V., Vlasovets V.M., Ridnyiy V.F., Ridnyiy R.V.. Otsenka iznosostoykosti pokrytiy sredneuglerodistyih staley, uluchshennyih mikrolegirovaniem i deformatsionnyim uprochneniem: sbornik // VIsnik SevNTU. - Sevastopol : SevNTU, 2011. - Vip. 120: Mehanika, energetika, ekologiya. - S. 83-86
7. Skoblo T.S., Vlasovets V. M. Specific features of the formation of structures in 60KH2N4GMF precipitation-hardening steel // Materials Science. Vol. 47. No. 5. March. 2012 R. 644-650
8. Vlasovets V.M. Vliyanie temperatury otzhiga na sostav i kolichestvo karbidnoy fazyi v doevtektoidnoy stali tipa 60H2N4GMF // Metalloznnavstvo ta termIchna obrobka metalliv. – DnIpropetrovsk, 2010. – Vip. 2. - S.76-82.
9. Skoblo T.S., Naumenko A.O., V.M. Vlasovets V.M., Belkin E.L. Rozrobka matematichnoyi modeli deformatsiynih navantazhen pri vIbroobrobtsI robochih organIv sllskogospodarskoYi tehnIki / ZBIRNIK TEZ DOPOVIDEY XVI MIZhNARODNOYi NAUKOVOYi KONFERENTsIYi " SuchasI problemi zemlerobskoYi mehanIki". – 2015 r., stor 134 – 145.
10. Vlasovets V.M., Efremenko V.G., Zaets V.N. Razrabotka metodiki avtomatizirovannogo podscheta kolichestva nemetallicheskih vklyucheniy v stali pri otsenke kachestva izdeliy / // VIsnik HNTUSG “Problemi nadlynosti mashin ta zasobIv mehanIzatsIYi sllskogospodarskogo virobnitstva”. – HarkIv, 2014. – vip. 151. – s.266–274.
11. Terentev V.F. Stadiynost protsessa ustalostnogo razrusheniya metallicheskih materialov // Metallyi. –1996. – # 6. – S. 14-20.
12. Skoblo T.S., Naumenko A.O., V.M. Vlasovets V.M. Yssledovanye vlyianyia vybroobrotky na uprochnenye strukturnikh sostavliaiushchykh Staly 10. Vestnik HNTUSH. Vyip # 158 2015g – S279-287.