

УДК 620.79.14

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРООБРАБОТКИ НА УПРОЧНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СТАЛИ 10****Скобло Т.С., д.т.н., проф., Власовец В.М., д.т.н., проф.,****Науменко А.О., к.т.н., доц.,***(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко)***Дудников И.А., к.т.н., проф.***(Полтавская государственная аграрная академия)*

*С увеличением степени пластической деформации вибрационной обработки стали 10 происходит измельчение зерна на 35%, упрочнение феррита на 29% с формированием рельефа – полос скольжения и субзеренной структуры. Цементит в составе перлитной смеси дробится, что сопровождается диффузией углерода.*

**Введение.** Важнейшим направлением развития аграрного сектора Украины является повышение эффективности использования сельскохозяйственных орудий на различных типах почв, в частности дисков копачей.

Использование изделий европейских производителей – предприятий “HUARD” (Франция), “RABEWERK” и “LEMKEN” (Германия), “OVERUM” (Швеция), “KVERNELAND” (Норвегия), “PARAPLAW” (Великобритания), а также филиалов ряда компаний США и Канады является дорогостоящим и часто нерациональным. При производстве таких изделий используют среднеуглеродистые стали микролегированные бором, титаном и алюминием для получения более однородных и мелкозернистых структур после термической обработки, позволяющими получить твердость упрочнённого слоя в пределах 54–57 HRC.

Для дисков копачей, изготавливаемых на предприятиях СНГ и Украины, также характерно использование среднеуглеродистых низколегированных сталей марок Ст.40X, 45, Л53, 65Г, 40Г2, 55С2 и ряда других. Изделия подвергаются закалке и отпуску. Твердость такой упрочнённой поверхности ниже, чем у зарубежных аналогов и находится в пределах 39,5–48 HRC. Инструмент после упрочняющей обработки эффективно использовать на супесчаных и песчаных почвах с гравелистыми частицами, которые способствуют интенсивному износу. В то же время для глинистых почв и чернозёмов такой высокой износостойкости поверхности не требуется. Повышение твердости рабочей поверхности можно обеспечить использованием производимых в Украине сталей с различным содержанием углерода после нормализации с последующей упрочняющей обработкой за счёт пластической деформации. Однако ряд вопросов, посвященных влиянию виброобработки на поведение структурных составляющих изучен недостаточно. В частности недостаточно

исследовано поведение ферритной и перлитной составляющих для таких сталей. Наиболее эффективным для таких исследований является использование модельных образцов из стали с феррито-перлитной структурой, в частности стали 10. Поэтому работы, направленные на исследование влияния вибрационной обработки на упрочнение различных структурных составляющих сталей являются актуальными и позволяют установить кинетику и механизм упрочнения, выявить резервы существенного снижения стоимости рабочих органов почвообрабатывающих машин и повышения их долговечности за счет упрочнения рабочего слоя.

**Цель работы** – оценить влияния вибрационной обработки на упрочнение структурных составляющих феррито-перлитной стали.

**Методика проведения исследований.** 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 режущую кромку. Перед вибрационной обработкой диск подвергли пескоструйной обработке по общепринятым режимам.

Для исследования влияния степени упрочнения виброобработкой на феррит при минимальной доле перлита исследовали образцы из стали 10. 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 (рис. 1). Выполнили оценку возможности упрочнения такой стали виброобработкой. внутренней поверхности цилиндрического образца.

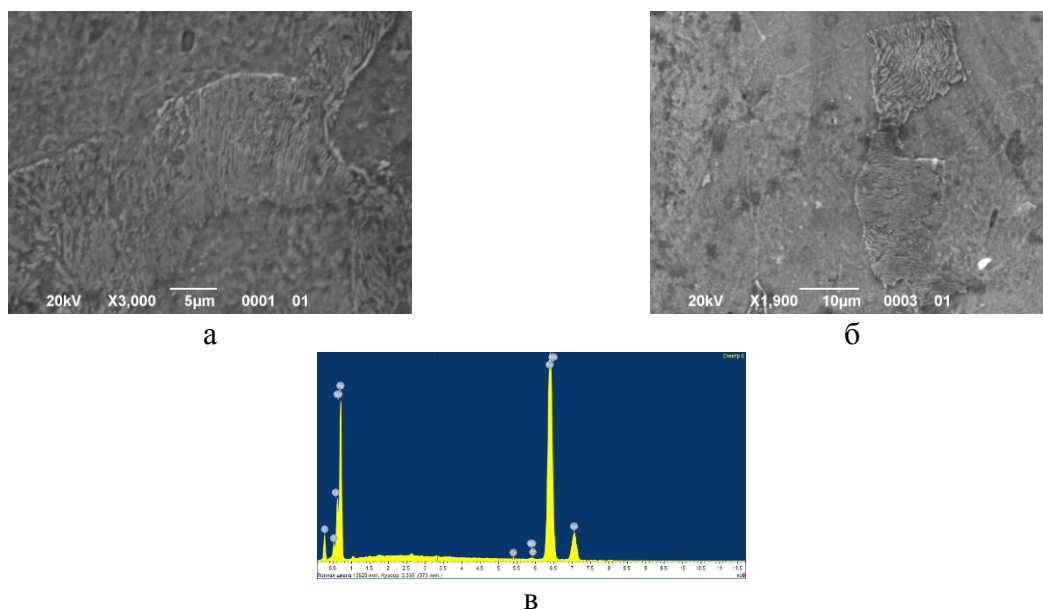


Рис. 1 - Микроструктура стали 10 во вторичных (а) и отражённых (б) электронах; распределение компонентов в исходном образце (в). Травление 4%-ным раствором  $\text{HNO}_3$  в этиловом спирте



**Результаты исследований и их обсуждение.** Упрочняющая обработка приводит к изменению в травимости металла 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте (рис. 2), выявлению деформационных полос и рельефа в феррите (рис.3), дроблению карбидной составляющей перлита. Протяженность зоны упрочнения для стали 10 составила 550 мкм.

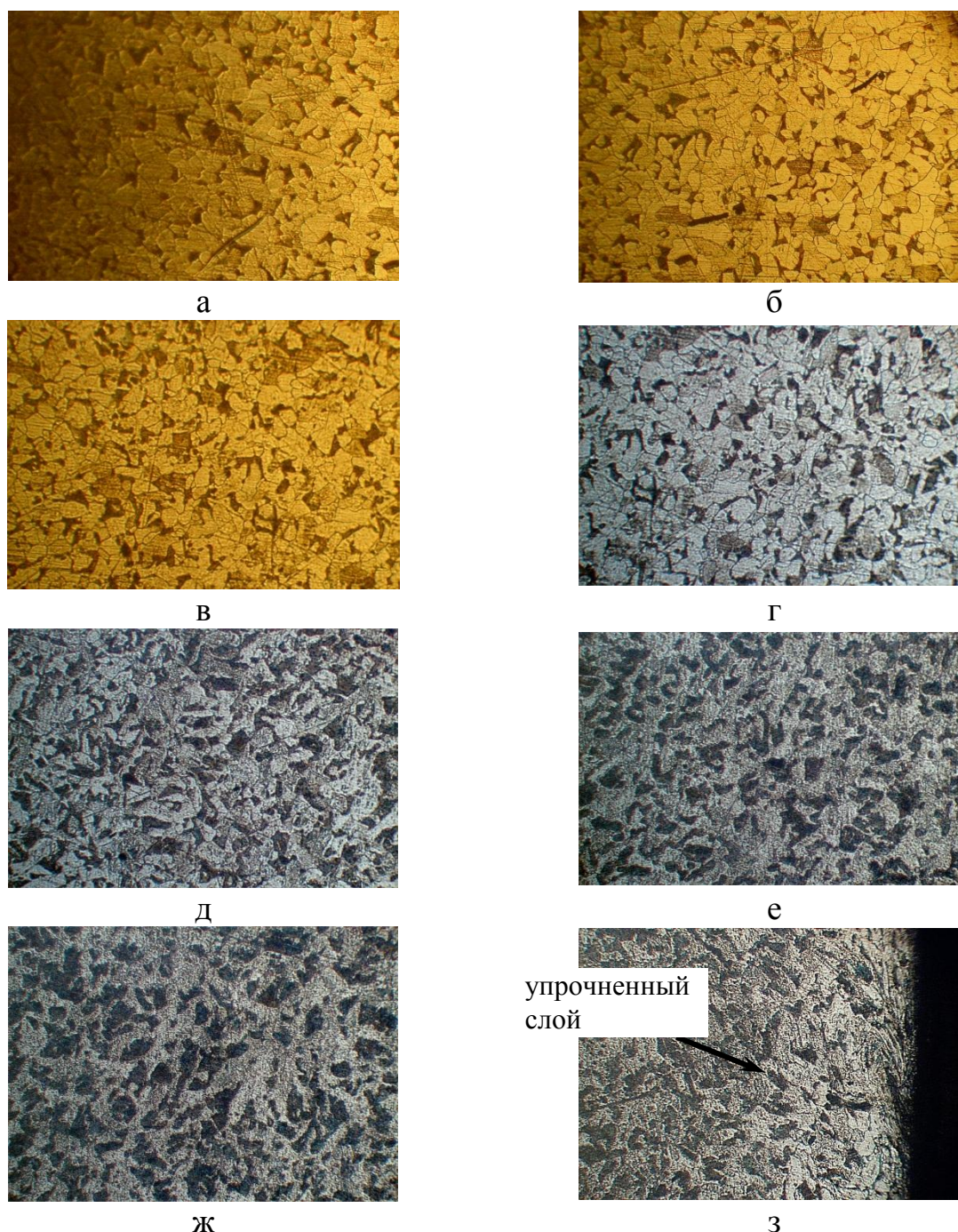


Рис.2 - Структура металла по сечению образца из стали 10 от внешней стороны цилиндра до упрочненной внутренней на глубине ( $\times 100$ ): а – внешняя неупрочненная структура (исходная), б – 2,5 мм, в – 5 мм, г – 7,5 мм, д – 10 мм, е – 12,5 мм, ж – 15 мм, з – зона упрочнения. Травлено 4%-ным раствором  $\text{HNO}_3$  в этиловом спирте



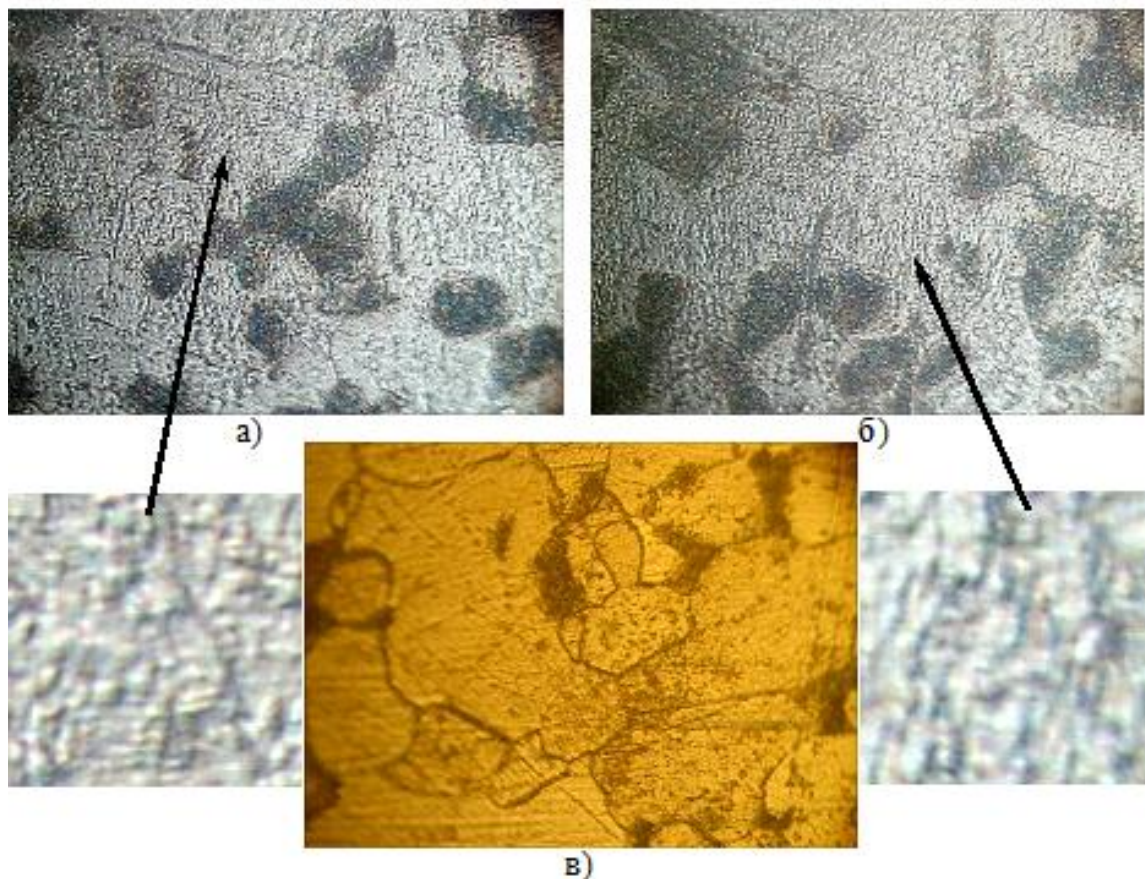
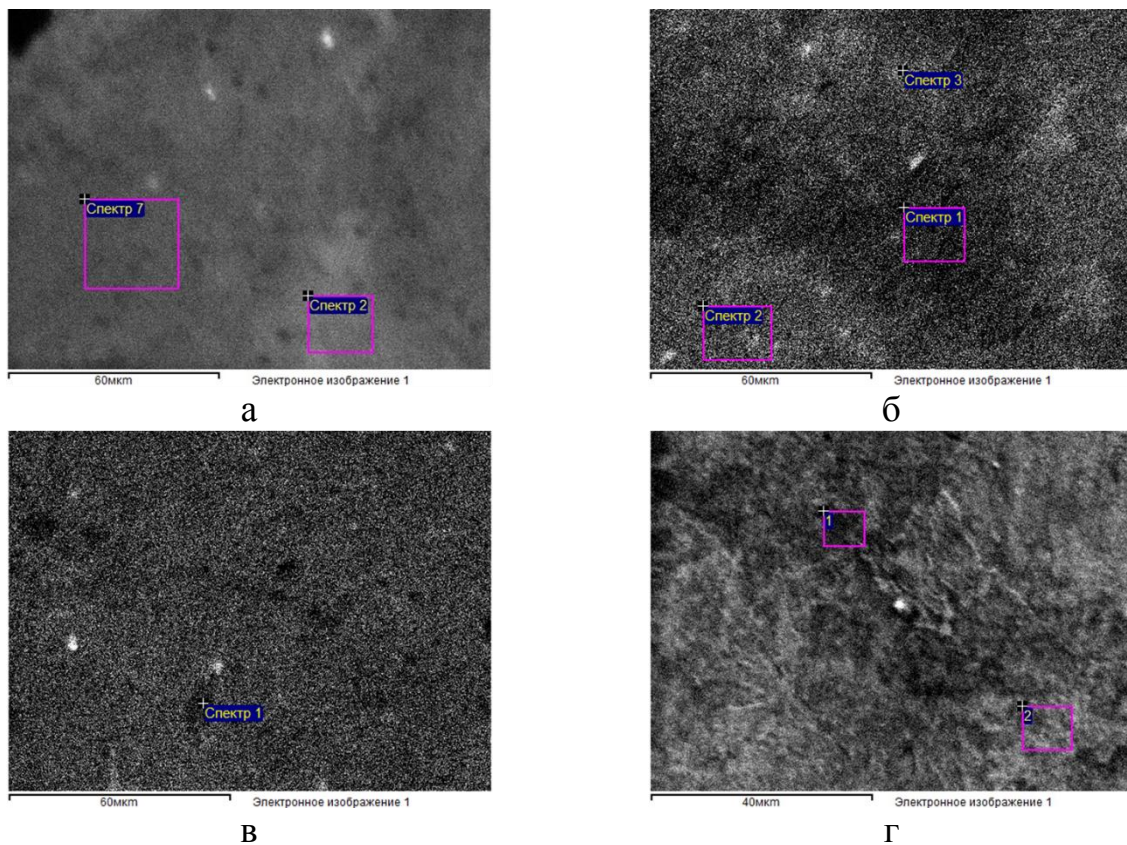


Рис.3 Структура поверхностного слоя образца из стали 10 упрочненного виброобработкой ( $\times 1000$ ): а – 35 мкм, б – 50 мкм, в – 500 мкм. Травлено 4%-ным раствором  $\text{HNO}_3$  в этиловом спирте

При этом в отдельных зернах феррита формируется субзеренная структура, границы которой формируют дислокационные сетки в зоне до 35 мкм (см.рис. 3 а). На глубине 50 мкм число субзеренных границ существенно уменьшается и появляются дислокационные стенки (см.рис. 3 б). С увеличением глубины от поверхности упрочнения до 500 мкм дислокационная структура, декорированная выделениями углерода выявляется лишь в отдельных ферритных зернах и не характеризуется какой-либо упорядоченностью. Для не упрочнённого металла характерно повышенное содержание углерода в перлитной смеси до 0,07–0,08% и сложных включениях окислов до 0,1–0,14% (рис. 4). В феррите содержится до 0,06% С (учитывая локальность анализа  $5 \times 5$  мкм в зону могут попадать и фрагменты перлитной смеси, находящиеся под видимой зоной фазы). Границы зёрен отчётливо видны после травления (рис. 5). По их границам отмечено выделение сложных окислов. Перлит тонко дифференцирован. Компоненты в стали распределены неравномерно. Содержание кремния колеблется от нуля до 0,83%, а марганца до 0,96%.

Непосредственно на упрочненной поверхности четко видны в феррите деформационные полосы интенсивное дробление перлитных зерен (см. рис. 2 з).



Зона контроля	Спектр <sup>1</sup>	Содержание элементов, %					Структурная составляющая
		C <sup>2</sup>	O	Si	Mn	Cr	
а)	2	0,07	-	-	0,10	0,17	перлитная смесь
	7	0,06	-	-	0,39	-	феррит
б)	1	0,10	2,04	0,83	0,96	-	сложные окислы и ликвация марганца у границы зерна
	2	0,07	-	-	-	-	перлитная смесь
	3	0,06	-	-	-	-	феррит
в)	1	0,12	-	0,28	-	-	граница зерна
г)	1	0,14	2,34	-	0,36		сложные окислы и повышенная концентрация марганца на границе зерна
	2	0,08	-	-	0,4		перлитная смесь
интегрально по участку 100×100 мкм		0,10	1,7	-	0,45	0,05	среднее содержание

Примечание. 1 – размер локального участка, анализируемого зондом 5×5 мкм. 2 – содержание углерода по данным микрорентгеноструктурного анализа приведено к базовой концентрации элемента в металле

Рис. 4 Микроструктура не упрочнённого металла (а-г) с зонами локального контроля микрорентгеноспектральным методом и содержание элементов (д) на глубине: а – 80 мкм; б – 60 мкм; в – 50 мкм; г – 40 мкм. Травление 4%-ным раствором HNO<sub>3</sub>



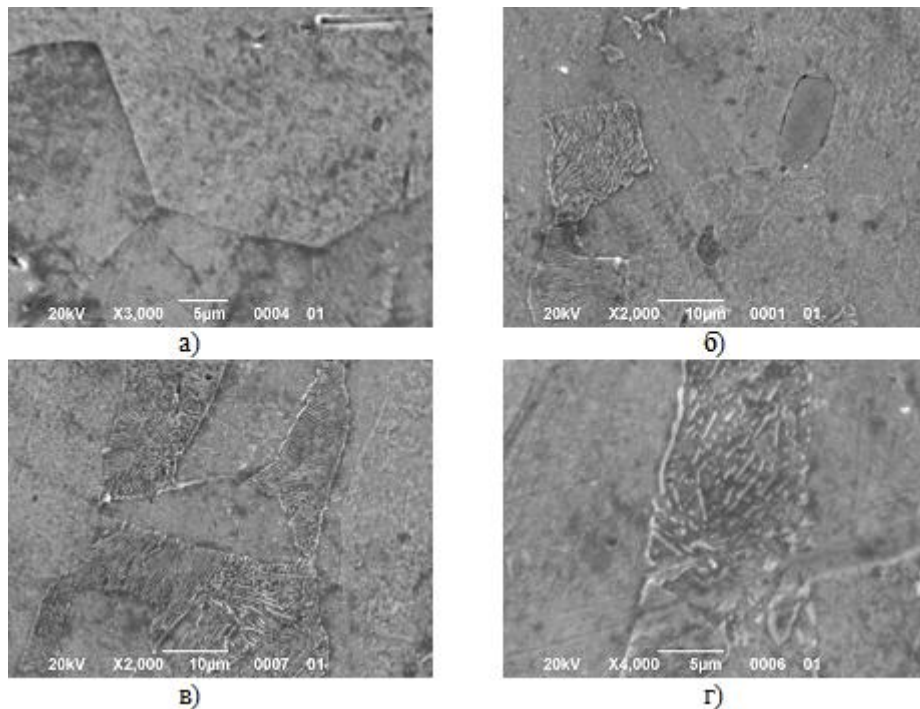


Рис. 5 Микроструктура исходного металла: а – четко видны границы зерен; б – карбид марганца и сложные окислы на границе зерна; в, г – тонко дифференцированный перлит

Обработка измельчает зерно на 35% с 38,28 мкм до 24,89 мкм (рис. 6-7). Если перед упрочнением средний балл зерна составлял 5–7, то после обработки достиг 6–8 балла. Микротвердость феррита до упрочнения -  $H_{50}=138-148$ , а перлитной смеси  $H_{50}=190-221$ . Виброобработка увеличивает микротвердость феррита на 29% до  $H_{50}=138-148$ , но не упрочняет перлитную смесь, а в ряде случаев из-за дробления и диффузии углерода разупрочняет её до  $H_{50}=190-208$ . После виброобработки наблюдается резкое повышение содержания окислов в поверхностном слое вследствие дефектной структуры металла. В целом для обработанного металла характерно понижение концентрации углерода в раздробленном перлите, его перераспределение в ферритную составляющую происходит по плоскостям скольжения. Для деформированного металла характерна также пониженная травимость границ зерен, что также связано с диффузией углерода, концентрация которого в этой зоне также снижается.

Из анализа (см.рис. 4 а) видно, что на глубине 80 мкм, где деформация практически отсутствует, концентрация углерода в перлите и феррите довольно близкая (0,07 и 0,06% соответственно), но в перлите выявлено 0,17% Cr, а в феррите – повышенная концентрация марганца (0,39%). Вблизи границ зерен и субзерен отмечается повышенная концентрация углерода (достигает 0,10-0,14%) и марганца до 0,96%, что выше среднего содержания компонентов в металле (интегральный анализ – см. таб.рис.4 д)

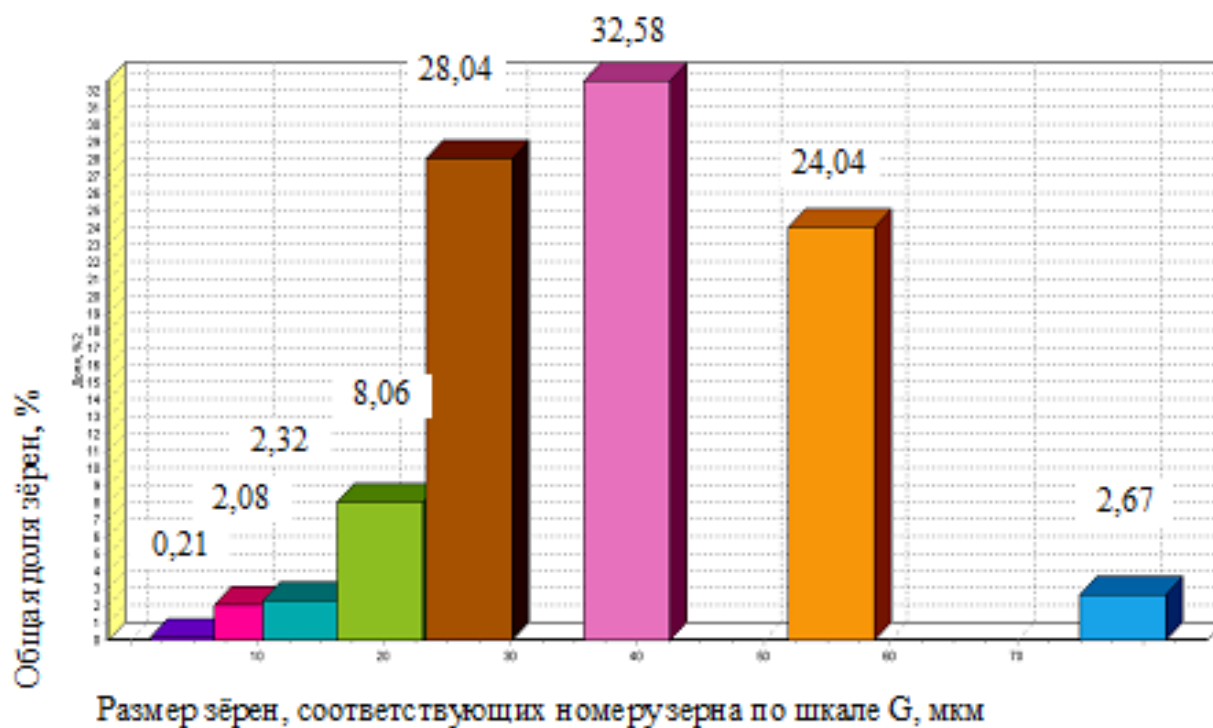


Рис. 6 Величина зерна образца из стали 10 в исходном слое на глубине 5 мм

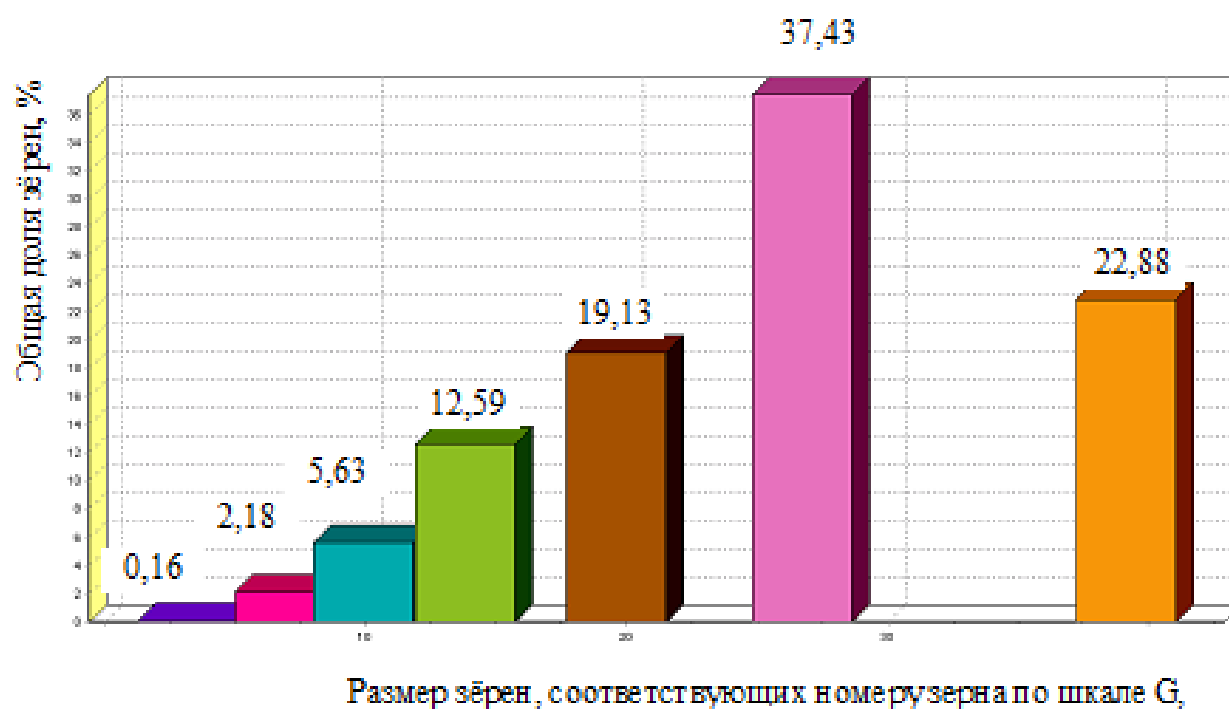
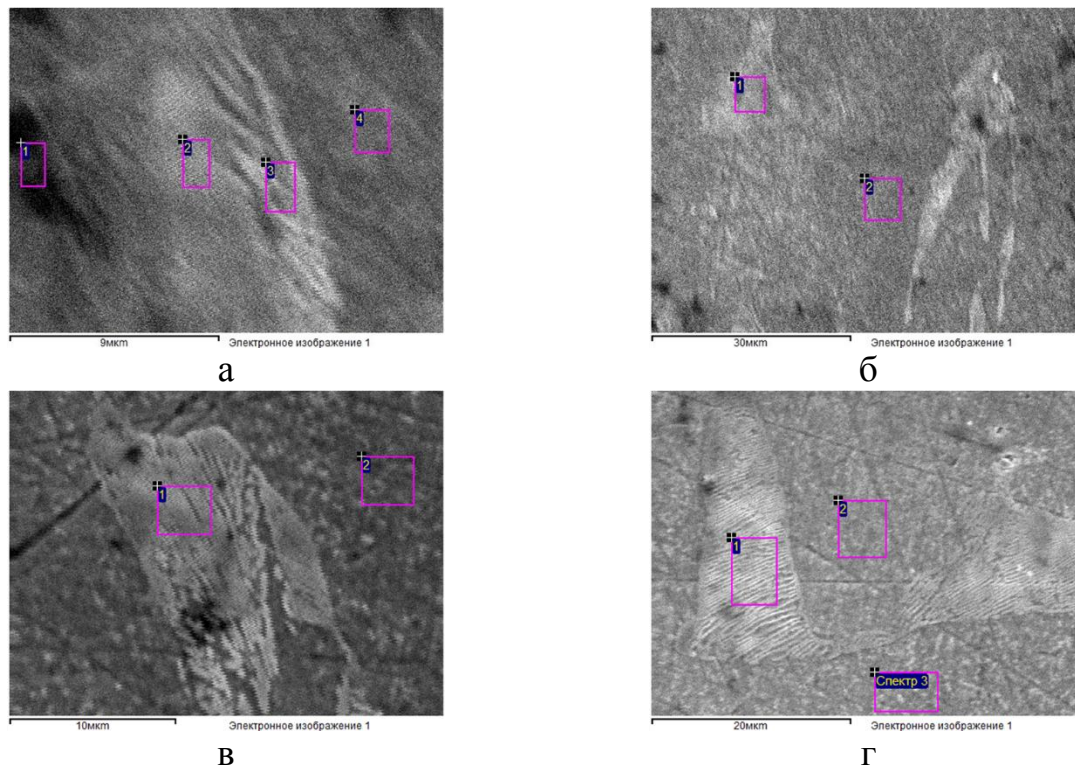


Рис. 7 Величина зерна образца из стали 10 в упрочнённом слое на глубине 100-200 мкм от поверхности



Зона контроля	Спектр <sup>1</sup>	Содержание элементов, %					Структурная составляющая
		C <sup>2</sup>	O	Si	Mn	Cr	
а)	1	0,11	0,93	-	0,38	-	тонко дифференцированная деформированная перлитная смесь
	2	0,10	-	-	-	-	деформированная перлитная смесь
	3	0,09	-	0,33	0,49	-	раздробленная перлитная смесь
	4	0,07	0,50	-	0,21	-	феррит
б)	1	0,09	0,43	-	0,26	-	раздробленная перлитная смесь
	2	0,06	0,29	-	0,28	-	феррит
в)	1	0,08	0,50	0,07	0,35	0,08	раздробленная перлитная смесь
	2	0,06	0,13	0,06	0,51	0,10	феррит
г)	1	0,07	0,83	0,03	0,33	0,09	раздробленная перлитная смесь
	2	0,05	0,37	-	0,27	0,24	феррит
	3	0,06	0,31	0,02	0,22	0,07	феррит рядом с перлитной смесью
интегрально по участку 100×100 мкм		0,06	н.д.	0,03	0,42	0,06	среднее содержание

Примечание. 1 – размер локального участка, анализируемого зондом 5×5 мкм. 2 – содержание углерода приведено к базовой концентрации элемента в металле

Рис. 8 Микроструктура упрочнённого виброобработкой металла (а-г) с зонами локального контроля микрорентгеноспектральным методом и содержание элементов (д) на глубине: а – 100 мкм; б – 200 мкм; в – 300 мкм; г – 400 мкм. Травление 4%-ным раствором HNO<sub>3</sub>

Статистическим анализом на различном расстоянии от поверхности установлено, что даже на глубине 200-400 мкм в отдельных зернах перлита и феррита проявляются различные изменения. Так, например, перлит деформируется, пластины вытягиваются, дробятся и уплотняются (рис. 8). Это



также сопровождается, хотя и в меньшей мере, концентрационными изменениями в распределении компонентов. В феррите доля углерода изменяется от 0,08 до 0,07%, что в среднем, соответствует интегральному уровню исследуемого образца. Различная степень повреждаемости перлита при деформации более существенно отражается на колебаниях изменения этого компонента (колебания составляют более 17%). Концентрационная неоднородность характерна и для кислорода, хрома, марганца и кремния (см.рис. 8 д).

**Выводы.** С увеличением степени 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 смеси дробится, что сопровождается диффузией углерода. Вибрационная обработка сопровождается повышенной склонностью к окислению деформированных зон в поверхностном слое вследствие развития дефектной повреждаемости металла. В результате обработки происходит перераспределение углерода, выравнивание его концентрации между структурными составляющими.

### Список литературы:

1. Сидашенко А. И., Власовец В.М., Заец В.Н. / Оценка неметаллических включений в стали эвтектоидного состава/ Материалы международной научно-практической конференции, БГАТУ: «Современные проблемы освоения новой техник, технологий, организации технического сервиса в АПК » Минск, 4-6 июня 2014г в 2ч. – Минск: БГАТУ, 2014г. – С.361-368.

### Анотація

#### Дослідження впливу віброобробки на зміцнення структурних складових Сталі 10

Скобло Т.С., Власовець В.М., Науменко А.О., Дудніков І.А.

*Зі збільшенням ступеня пластичної деформації при вібраційній обробці сталі 10 відбувається подрібнення зерна на 35%, зміцнення фериту на 29% з формуванням рельєфу - смуг ковзання і субзеренної структури. Цементит у складі перлітної суміші подрібнюється, що супроводжується дифузією вуглецю.*

### Abstract

#### Study of treatment on strengthening vibrating structural components were 10

Skoblo T.S., Vlasovets V.M., Naumenko S.A., Dudnikov I.A.

*With increasing degree of plastic deformation in vibration processing steel grinding grain is 10 to 35%, strengthening ferrite to 29% with the formation of relief - slip bands and substructure. Pearlitic cementite consisting of a mixture of crushed, accompanied by the diffusion of carbon.*