

УДК 621.43

**А.А. Дудников, И.А. Дудников, В.В. Дудник, А.И. Беловод, А.В. Горбенко**  
*Полтавская государственная аграрная академия*  
**ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА  
ОБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЕТАЛЕЙ**

*Исследовано влияние метода деформирования на прочностные характеристики поверхности деталей.*

*Ключевые слова:* дислокационные сетки, режим обработки, остаточные напряжения, микротвердость, пластическое деформирование, вибрационное упрочнение.

*Форм. 1. Рис. 4. Лит. 5*

**А.А. Дудніков, І.А. Дудніков, В.В. Дудник, А.І. Біловод, А.В. Горбенко**  
**ВПЛИВ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ОБРОБЛЮВАНИХ  
МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛЕЙ**

*Досліджено вплив методу деформування на міцнісні характеристики поверхні деталей.*

*Ключові слова:* дислокаційні сітки, режим обробки, залишкові напруження, микротвердість, пластичне деформування, вібраційне зміцнення.

**A.A. Dudnikov, I.A. Dudnikov, V.V. Dudnik, A.I. Belovod, A.V. Gorbenko**  
**RESEARCH INFLUENCE OF PLASTIC DEFORMATION ON PROPERTIES OF PROCESSED  
MATERIALS DETAILS**

*The influence of the deformation method on the strength characteristics of the surface of parts is investigated.*

*Key words:* dislocation grids, processing conditions, residual stresses, microhardness, plastic deformation, vibrational hardening.

**Постановка проблемы.** Актуальность работы обусловлена необходимостью выявления влияния методов нагружения обрабатывающего рабочего органа на свойства материала обрабатываемых деталей при их восстановлении. В результате пластического деформирования при обработке давлением материала деталей в их поверхностных слоях возникают деформации, которые вызывают в нем напряженное состояние.

Поскольку в процессе эксплуатации деталей происходит, как правило, разрушение поверхностного слоя, то в применяемых технологических процессах следует использовать поверхностное упрочнение, которое способствует повышению его качества. Повышение физико-механических характеристик обрабатываемого материала обеспечивает повышение эксплуатационных свойств деталей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В процессе обработки металлов давлением, последний может приобрести такое состояние, которое существенно оказывает влияние на величину и распределение деформаций и напряжений в результате формоизменения. Это вызывает изменение качества деформированного материала [1].

Качество поверхностного слоя является важным показателем процесса обработки материала деталей пластическим деформированием [2]. Поэтому надежность и долговечность сельскохозяйственной техники, как и ее конкурентоспособность, возможна только при обеспечении высоких показателей качества.

В технологии машиностроения для оценки качества поверхностного слоя используются такие показатели, как твердость, остаточные напряжения, шероховатость. Среди указанных показателей твердость является одной из основных характеристик состояния обрабатываемой поверхности, которая определяет ее эксплуатационные свойства, в первую очередь, износостойкость.

Для повышения износостойкости материала деталей используют нанесение покрытий, химико-термическую обработку. Для повышения контактной выносливости материала применяют поверхностное пластическое деформирование [ППД]. Согласно исследованиям И.В. Кудрявцева сопротивление усталости для некоторых деталей машин можно увеличить в 2-3 раза за счет повышения твердости упрочнением ППД [3].

На износостойкость деталей оказывают существенное влияние остаточные напряжения сжатия вследствие увеличения предела выносливости поверхностного слоя детали [4].

Одним из главных факторов, влияющих на характеристики трения и абразивного износа деталей машин, является микрогеометрия трущихся поверхностей [5]. Необходимо при обработке поверхностей деталей создавать микрогеометрию поверхности, позволяющую снизить износ.

Таким образом, способы упрочнения поверхностным пластическим деформированием играют важную роль для обеспечения качества поверхностного слоя и позволяют полностью реализовать свойства материалов деталей.

В последнее время находят применение ряд перспективных направлений по созданию упрочненного поверхностного слоя, обеспечивающих более высокую эксплуатационную износостойкость.

**Цель и задачи исследования.** В работе поставлена цель – обеспечение показателей качества упрочненного поверхностного слоя материала за счет применения обработки поверхностным пластическим деформированием. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучить влияние методов и режимов пластического деформирования на свойства материала деталей;

- оценить износостойкость деталей восстановленных разными методами.

**Изложение основного материала.** Для проведения экспериментальных исследований создана установка, позволяющая создавать воздействие обрабатывающего органа на обрабатываемую поверхность под действием импульсной (вибрационной) нагрузки.

Поскольку импульсно-вибрационная нагрузка осуществляет воздействие на обрабатываемый материал, то были установлены характер взаимодействий между конструктивными и технологическими параметрами, а также их влияние на качественные показатели поверхностного слоя деталей, работающих в абразивной среде.

Конструктивными параметрами обработки являются вибровозбудитель механических колебаний (импульсов), а также технологическая оснастка реализующая процесс обработки.

Технологическая оснастка включает оборудование, на котором устанавливается вибровозбудитель, реализующее движение рабочего инструмента. Вибровозбудитель с дебалансным регулируемым механизмом создает возмущающую силу в диапазоне от 9,4 до 24,5 кН. Перестановка дебалансов вибровозбудителя позволяет изменять амплитуду и возмущающую силу.

Передвижение вибрационного узла с рабочим обрабатывающим инструментом обеспечивается с помощью гидросистемы. Изменение скорости перемещения рабочего инструмента обеспечивается вариатором.

Поверхностное пластическое деформирование материала деталей (ППД) проводилось разными методами (обычное и вибрационное) и разных материалов (сталь 65Г, сталь 45, сталь Л-53).

Метод деформирования материала деталей оказывает существенное влияние на его структуру и состав, вызывающих изменение физико-механических свойств. Механические свойства исследуемых материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Механические свойства исследуемых сталей**

Марка стали	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_s$ , %	НВ
Сталь 65Г	420	710	10	285
Сталь Л-53	460	770	9	310
Сталь 45	360	610	16	220

Исследования микроструктуры проводили на образцах, изготовленных из указанных материалов деталей (лапы культиваторов, плужные лемехи) следующих вариантов:

1 – восстановленных приваркой угловых пластин и шин из стали 45 с наплавкой сормайтом и вибрационным упрочнением;

2 – новые детали из указанных сталей, подвергнутых вибрационному упрочнению;

3 – восстановленных приваркой угловых пластин (лапы) и шин (лемехи) из стали 45 с наплавкой сормайтом.

Данные измерений твердости по глубине поверхностного слоя культиваторных лап и плужных лемехов в зависимости от технологического процесса восстановления представлены на рис. 1 и рис. 2.

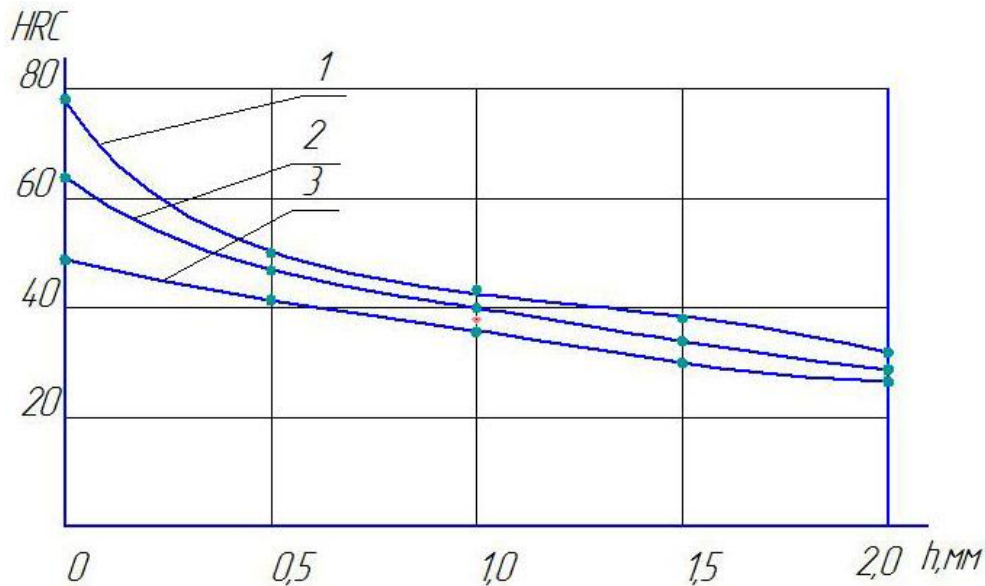


Рис. 1. - Изменение твердости по глубине материала культиваторной лапы: 1 – восстановленных приваркой угловой пластины из стали 45 с наплавкой сормайтотом и виброупрочнением; 2 – новых лап из стали 65Г, подвергнутых виброупрочнению; 3 – восстановленных приваркой угловой пластины из стали 45 и наплавкой сормайтотом.

Как видно из рис. 1 твердость материала на поверхности лезвия лапы составила в среднем: восстановленных привариванием угловых пластин из стали 45 с наплавкой сормайтотом и виброупрочнением 78 HRC; новых лап из стали 65Г, подвергнутых вибрационному упрочнению 64 HRC; восстановленных привариванием угловых пластин из стали 45 и наплавкой сормайтотом 50 HRC.

Твердость материала режущей части лап, восстановленных привариванием угловых пластин из стали 45 наплавкой сормайтотом и виброупрочнением в 1,5 раза больше твердости лап, восстановленных привариванием угловых пластин из 45 и наплавкой сормайтотом.

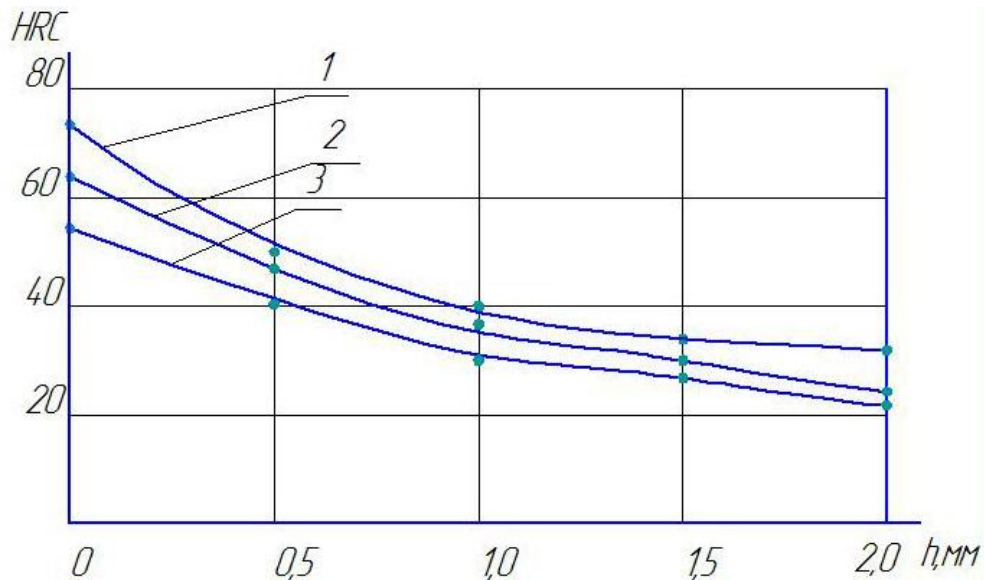


Рис. 2. - Изменение твердости по глубине плужных лемехов: 1 – восстановленных приваркой шин из стали 45 с наплавкой сормайтотом и вибрационным упрочнением; 2 – новых лемехов из стали Л-53, подвергнутых вибрационному упрочнению; 3 – новых лемехов из стали 65Г, упрочненных вибрационным деформированием.

Експериментально установлено, что твердость материала на поверхности лезвия в зависимости от метода восстановления в среднем составила: восстановленных приваркой шин из стали 45 с наплавкой сормайтотом и вибрационным упрочнением 72 HRC; новых лемехов из стали

Л-53, подвергнутых вибрационному упрочнению 66 HRC; новых из стали 65Г и упрочненных вибрационным деформированием 57 HRC.

Твердость материала режущей части лемехов, восстановленных приваркой шин из стали 45, наплавкой сормайтотом и вибрационным упрочнением в 1,26 раза выше, чем у лемехов из стали 65Г без упрочнения.

Было установлено, что после вибрационного упрочнения материала указанных деталей его структура более мелкозернистая и равномерная, что способствует накоплению остаточных деформаций.

Это вызывает активизацию дислокаций во всех зернах, прилегающих к поверхности. При вибрационном деформировании вследствие более активного дробления зерен протяжность их границ возрастает, что приводит к большему образованию зон дислокаций. Именно этим объясняется механизм упрочнения.

Важной составляющей характеристикой физикомеханических свойств поверхностного слоя является микротвердость  $H_{\mu}$ , которая является следствием упруго-пластических деформаций, вызванных действием ударных процессов, сопровождающих вибрационное нагружение поверхности обрабатываемых деталей.

На изменение значения микротвердости оказывают влияние, как правило, те же параметры, что на остаточные напряжения. Наиболее существенное влияние на микротвердость оказывают режим и продолжительность обработки материала деталей, а также состояние их материала и скорость деформирования.

Толщина наклепочного слоя определяется уравнением:

$$a = \sqrt{\frac{F}{\sigma_s}},$$

где  $F$  – усилие действующее на обрабатываемую поверхность;  $\sigma_s$  – предел твердости материала детали.

При исследовании процесса вибронаклепа и параметров, влияющих на изменение микротвердости поверхностного слоя, использовались широко распространенные методы и приборы (ПНТЗ-3 И ПНТ-5 на косом и прямом срезях).

Результаты исследований образцов из стали 65Г и Л-53 представлены на рис. 3 и рис. 4.

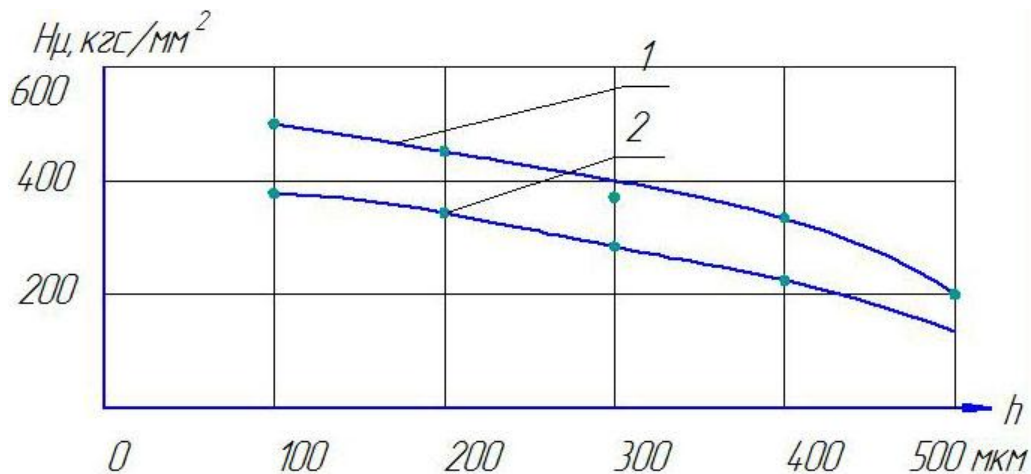


Рис. 3 - Изменение микротвердости  $H_{\mu}$  в поверхностном слое при обработке стали 65Г при  $A=0,75$  мм: 1 –  $t=30$  сек; 2 –  $t=20$  сек.

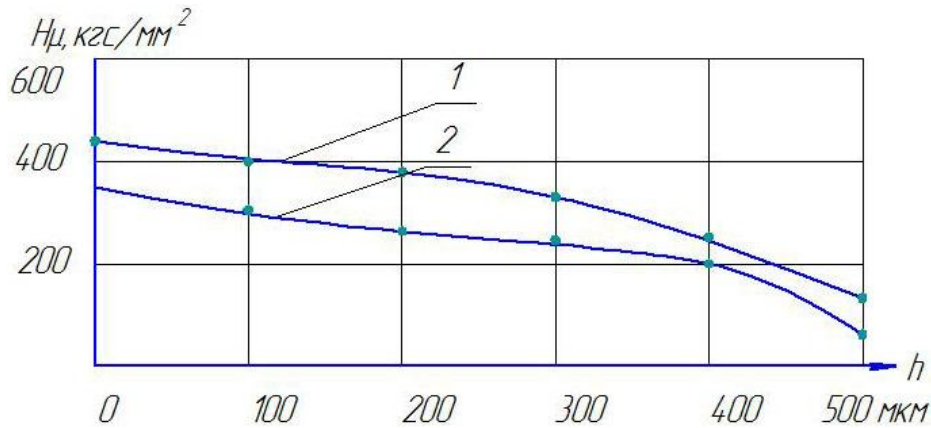


Рис. 4. Изменение микротвердости  $H_{\mu}$  в поверхностном слое при обработке стали Л-53 при  $A=0,5$  мм: 1 –  $t=30$  сек; 2 –  $t=20$  сек.

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшее значение микротвердости в поверхностном слое культиваторной лапы  $490 \text{ кгс/мм}^2$  имело место при амплитуде колебаний обрабатывающего инструмента  $A=0,75$  мм и времени обработки  $t=30$  сек. Наибольшая микротвердость плужного лемеха отмечалась при  $A=0,5$  мм и  $t=30$  сек.

Исследование напряжений, возникающих в материале режущих элементов при восстановлении культиваторных лап и плужных лемехов, проводили с использованием тензометрической аппаратуры.

Выявлено, что характер распределения остаточных напряжений по глубине материала при различных методах упрочнения идентичен.

При восстановлении культиваторных лап из стали 65Г приваркой угловых пластин из стали 45 с последующей наплавкой сормайт и вибрационным упрочнением остаточные сжимающие напряжения составили в среднем 300 МПа на глубине 70-100 мкм. На глубине 170-250 мкм они переходят в растягивающие напряжения и на глубине 280-400 мкм составили 450-490 МПа.

При восстановлении плужных лемехов приваркою шин из стали 45 с последующей наплавкой сормайт и вибрационным упрочнением на глубине 80-150 мкм сжимающие напряжения составили 310 МПа. На глубине 220-320 мкм они переходят в растягивающие и на глубине 400-470 мкм составили 460-470 МПа.

Исследованием установлено, что при вибрационном упрочнении режущих элементов культиваторных лап и плужных лемехов вследствие более мелкозернистой структуры в поверхностных слоях происходит накопление малых деформаций, вызывающих перестройку дислокационной структуры с образованием дислокационных сеток. По ним происходит сдвиг материала и осуществляется малая пластическая деформация, которая не вызывает разрушение деформируемого материала. Этим объясняется снижение остаточных растягивающих напряжений при вибрационном упрочнении культиваторных лап и плужных лемехов.

**Выводы.** В статье рассмотрены вопросы влияния пластического деформирования материала режущих элементов почвообрабатывающих машин на его физико-механические свойства и обоснованы преимущества вибрационного упрочнения при их восстановлении.

#### Список использованных источников

- 1.Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей пластическим деформированием / В.М. Смелянский. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
- 2.Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.
- 3.Кудрявцев И.В. Повышение прочности и долговечности крупных деталей машин поверхностным наклепом / И.В. Кудрявцев, В.И. Цейтлин, В.И. Волков. – М.: Машиностроение, 1970. – 314 с.
- 4.Дудніков І.А. Повышение долговечности восстановленных деталей пластическим деформированием / І.А. Дудніков, Т.Г. Лапенко, О.І. Біловод // Зб. наук. праць ТАДА. – Мелітополь: 2006. – С. 42-44.
- 5.Комбалов В.С. Влияние шероховатости твердых тел на трение и износ / В.С. Комбалов. – М.: Наука, 1984. – 110 с.

Стаття надійшла до редакції 03.04.2017