
НАДЕЖНОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ, ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МАШИН И КОНСТРУКЦИЙ

УДК 621.791.922

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ “ИЗНОСОСТОЙКАЯ НАПЛАВКА–ОСНОВНОЙ МЕТАЛЛ” НА ПРИМЕРЕ ЛЕЗВИЯ ЛЕМЕХА “ЛЕМКЕН”

© 2024 г. **А. М. Михальченков¹, И. Н. Кравченко^{2, *}, С. М. Сычёв¹, И. В. Козарез¹,
А. К. Аноприенко², О. В. Бармина², С. А. Феськов¹**

*¹Брянский государственный аграрный университет,
Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, Россия*

²Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва, Россия

**e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru*

Поступила в редакцию 19.02.2024 г.

После доработки 14.03.2024 г.

Принята к публикации 19.04.2024 г.

Представлены материалы о симметричном влиянии тепловых полей на обратную от наплавки сторону, выражающемся в одинаковой форме эпюр распределения твердости. Введение условных критериев оценки свойств зоны термического влияния позволило косвенно оценить ее напряженное состояние. Получены числовые значения твердости отдельных участков наплавленного образца.

Ключевые слова: абразивостойкая наплавка, зона термического влияния, остаточные напряжения, физико-механические свойства, эпюра твердости

DOI: 10.31857/S0235711924040057, **EDN:** OZHGTN

Проблема обеспечения высокого ресурса деталей почвообрабатывающих машин, эксплуатирующихся в условиях абразивного изнашивания, даже при наличии современных упрочняющих технологий, не теряет своей значимости [1–5]. При этом особое место в плане повышения стойкости к абразивному изнашиванию занимают подрезающие элементы плугов (цельнометаллические лемеха и ножи составных лемехов) в силу их высокой нагруженности со стороны почвенной среды [6–10]. Классическим методом повышения износостойкости лезвийной части этих деталей является наплавка тыльной стороны абразивостойким сплавом [11–13]. Такая технология применяется при изготовлении лемехов как отечественного, так и зарубежного производства [14–16]. Большинство зарубежных компаний, как правило, избегает подобного вида упрочнения, предпочитая проводить термоупрочняющую обработку всей детали. Между тем известная компания “ЛЕМКЕН” (ведущий международный производитель почвообрабатывающей техники) считает целесообразным, наряду с термоупрочнением, дополнительно проводить наплавку тыльной стороны лезвийной области абразивостойким материалом (рис. 1а). При этом лемеха данного производителя отличаются повышенным ресурсом [17–19]. Однако даже сравнительно высокий ресурс не исключает необходимость проведения научно-исследовательских и прикладных работ, направленных на повышение долговечности подобных изделий путем их восстановления с одновременным упрочнением.

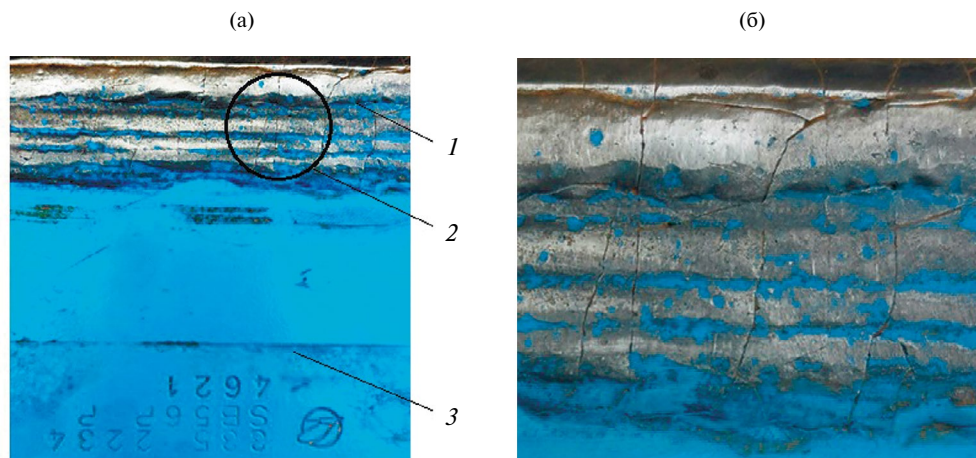


Рис. 1. Фрагменты ножа: (а) — тыльная сторона с абразивостойкой наплавкой; (б) — трещины в наплавленном металле; 1 — наплавленный слой; 2 — трещины; 3 — металл ножа.

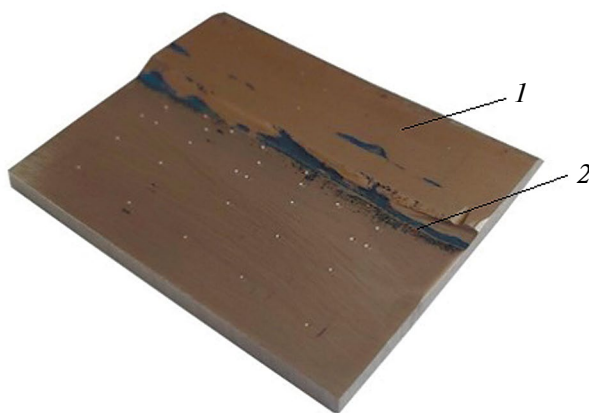


Рис. 2. Натурный образец для испытаний: 1 — наплавленная область; 2 — основной металл.

В свою очередь разработка технологий реставрации требует знаний физико-механических свойств как основного и наплавленного металлов, так и участков зоны термического влияния, которые в большинстве случаев оцениваются пробой на твердость [20, 21]. К сожалению, такие сведения в известных источниках отсутствуют по причине закрытости технологической информации.

Целью исследования является изучение и анализ распределения твердости по поверхности сечения “наплавленный металл—основной металл” ножа составного лемеха “LEMKEN”.

Методика исследований. Для проведения эксперимента использовались образцы габаритами 50×50 мм, вырезанные из ножей составных плугов производства компании “LEMKEN” (рис. 2) наплавленных с тыльной стороны. После проведения механической обработки, при подготовке поверхностей к исследованиям, их толщина составляла: в области наплавки 6 мм; в области основного металла — 4 мм. Вырезание элементов производилось с обильным охлаждением для исключения влияния теплоты резания на изменение свойств опытных образцов.

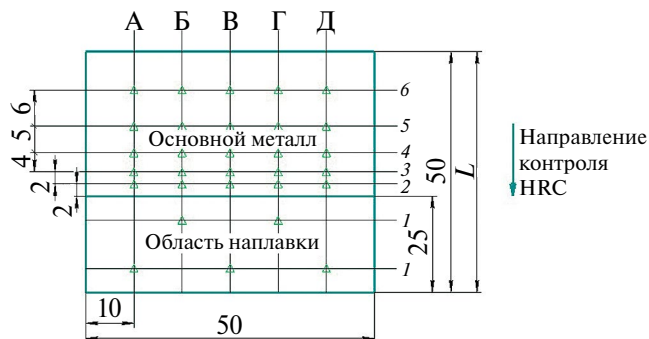


Рис. 3. Схема контроля твердости.

Твердость определяли по Роквеллу (HRC) в соответствии со схемой (рис. 3). Выбор метода измерения диктовался наличием термоупрочняющей обработки и наплавленного противобразивного слоя высокой твердости. Стрелкой показан вектор измерения твердости. Для полноты картины влияния процесса наплавки на характер изменения HRC в сечении области наплавки она контролировалась с двух сторон образца.

Каждая точка при построении эпюры распределения HRC по длине L образца является средним значением из шести измерений.

Результаты экспериментов и обсуждение. Исходя из конфигураций эпюр распределения HRC в сечении на обеих сторонах образца “наплавленный металл—основной металл” прослеживаются пять четко выраженных участков (рис. 4, 5): I — наплавленный металл (МВ); II — зона сплавления (ЗС); III — околошовная зона (ОШЗ); IV — зона термического влияния (ЗТВ); V — основной металл (ОМ).

Для анализа характера изменения “HRC— L ” введем ряд оценочных параметров:

- *абсолютные*: HRC_{ni} и HRC_{pi} — твердость отдельных участков, измеренная с наплавленной и рабочей сторон соответственно (H_i и P_i — указывают сторону, на которой оценивается параметр; H_i — наплавленная, P_i — рабочая); l_{ni} и l_{pi} — длина отдельных участков;

- *условные*: Δ_{ni} и Δ_{pi} — отношение твердости области металла валиков HRC_{mb} к минимальной твердости зоны сплавления HRC_{zc} (параметр характеризует степень падения твердости); скорость изменения HRC (v_i) в зоне термического влияния наплавленной и рабочей сторон. При этом символ/показывает, к какой зоне наплавленной области относится числовое значение параметра.

В отношении v_i нужно дать некоторые пояснения. Параметры v_{ni} и v_{pi} отражают скорость падения HRC при переходе от металла валика к зоне сплавления. В свою очередь, v'_{ni} и v'_{pi} характеризуют скорость нарастания твердости при переходе от зоны сплавления к основному металлу.

Скорость падения твердости в ЗТВ может служить косвенной характеристикой напряженного состояния и фазовых превращений, происходящих в ней. Этот параметр определяется отношением разности между HRC_{mb} металла валика и минимальным значением HRC_{zc} зоны сплавления ($m_i = HRC_{mb} - HRC_{zc}$) к длине части ЗС (k_n, k_p), где происходит изменения твердости.

Скорость нарастания твердости в ЗТВ также может служить таким параметром. Он определяется как отношение разности между HRC_{om} и минимальной HRC_{zc} к расстоянию (k'_n, k'_p) от минимального HRC_{zc} до границы зоны термического влияния с металлом валика.

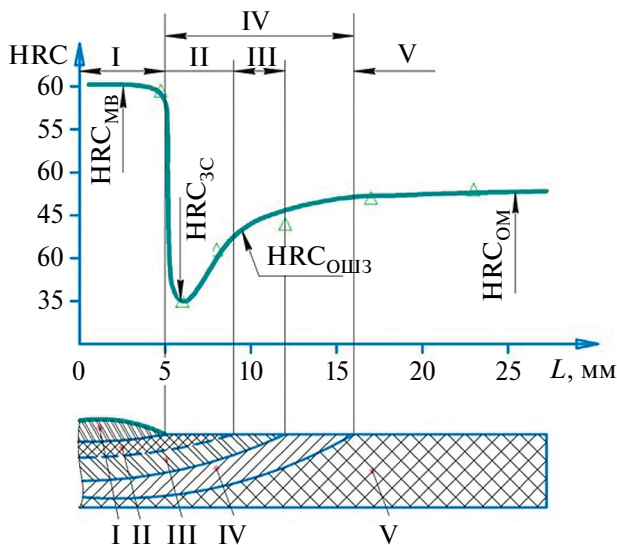


Рис. 4. Эпюра распределения твердости тыльной стороны (с наплавкой).

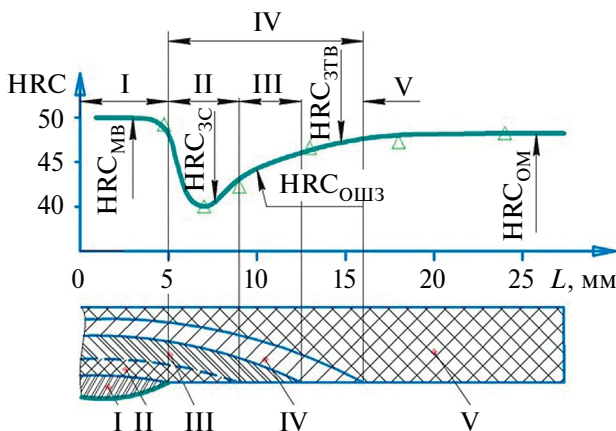


Рис. 5. Эпюра распределения твердости рабочей стороны (без наплавки).

По данным измерений $k_n = 2$ мм; $k_p = 2$ мм; $k'_n = 10$ мм; $k'_p = 9$ мм. Полученные данные сведены в табл. 1 и 2.

Рассмотрим эпюру твердости стороны детали с абразивостойкой наплавкой (рис. 4, табл. 1).

Твердость наплавленного металла составляет 60HRC, что указывает на высокую абразивостойкость [22, 23]. При этом образующийся в зоне сплавления сплав имеет твердость от 35 до 42 HRC. Столь резкое снижение HRC обусловлено, по-видимому, не только структурными и фазовыми превращениями, но и наличием растягивающих напряжений σ_p достаточно высокого уровня, приводящих к деформации металла на этом участке. Присутствие σ_p значительной величины подтверждается наличием трещин в наплавленном металле (рис. 16). Образование и развитие микротрещин в этом случае

Таблица 1. Абсолютные оценочные показатели

Участок	HRC _{ни}	HRC _{pi}	$l_{ни}$, мм	l_{pi} , мм
I–MB	60	50	—	—
II – 3С	35–42	40–44	4.2	4.6
III – ОШЗ	42–46	44–46	3.0	2.7
IV – 3ТВ	—	—	11.5	11.9
V – ОМ	48	47	—	—

Таблица 2. Относительные оценочные показатели

Участок	$\Delta_{ни}$	Δ_{pi}	v_n	v_p	v'_n	v'_p
Зона сплавления	1.7	1.2	12.5	6.6	1.3	0.8

возможно и на структурном уровне. Последующий рост HRC (околошовная зона) связан с понижением степени переохлаждения металла данного участка и как следствие, уменьшением уровня растягивающих напряжений (кристаллизация и затвердевание металла происходит с относительно невысокой скоростью). Кроме того, происходит формирование структуры близкой к структуре основного металла. Твердость основного металла (48HRC) соответствует твердости ножа лемеха в исходном состоянии.

Необходимо особо отметить, что тепловые процессы и фазовые превращения, имеющие место при проведении наплавки, оказывают влияние и на противоположную сторону ножа, где наплавленный металл отсутствует, что является нехарактерным явлением для данного технологического воздействия (рис. 5, табл. 1). Такое влияние выражается неравномерным распределением твердости в сечении образца. При этом конфигурация эпюры “HRC– L ” схожа с формой эпюры, построенной для стороны с наличием наплавки (рис. 4 и 5). Следует полагать, что влияние тепловых полей, в этом случае, фактически симметрично распространяется на обратную от наплавки сторону. Между тем, исходя из числовых значений твердостей, это воздействие существенно меньше.

Так, HRC в области наплавленного металла составляет 50 единиц, что несколько выше твердости основного металла (HRC47). По-видимому, в этом случае сказывается фактор термоупрочнения, хотя и незначительно. Зона сплавления характеризуется некоторым увеличением показателей твердости по сравнению с аналогичным участком наплавленной части – 40–44 HRC против 35–42 HRC. Металл околошовной зоны имеет такую же твердость, что и металл ОШЗ наплавленной стороны, указывая тем самым на подобие температурных воздействий для обеих сторон (табл. 1).

Как следует из полученных значений, твердость основного металла одинакова на обеих сторонах. Различие в одну единицу укладывается в допускаемую ошибку измерений.

Измерение ($l_{ни}$ и l_{pi}) изучаемых зон области наплавки позволяют констатировать, что их числовые значения примерно одинаковы для обеих сторон. Это еще раз подтверждает выдвинутое предположение о симметричном распределении температурных полей в поперечном сечении опытных образцов при проведении наплавки.

Таким образом, температурное воздействие при наплавке оказывает заметное влияние на механические свойства металла стороны, обратной от стороны с твердой наплавкой. При этом характер такого воздействия в сечении для обеих сторон, в большой степени, одинаков.

Рассмотрение абсолютных показателей, хотя и позволяет сделать определенные выводы, но не дает полной оценки явлений, происходящих в ЗТВ. Поэтому был проведен анализ эпюр “HRC–L” с использованием вновь введенных условных параметров (табл. 2), а также еще раз отмечено, что все расчеты условных показателей проводятся относительно минимального значения твердости в зоне сплавления.

В соответствии с данными, приведенными в табл. 2, степень падения твердости в зоне сплавления со стороны с наплавкой Δ_{HRC} составляет 1.7 и превышает аналогичный параметр со стороны без наплавки в 1.4 раза. Это дает основание сделать предположение о более высоком уровне остаточных напряжений в зоне термического влияния наплавленной области.

Однако сделанное выше предположение требует подтверждения, т.к. на степень напряженного состояния локальных участков при сварке и наплавке существенное влияние будет оказывать ширина данных участков. Для того чтобы учесть ее влияние и был введен параметр, характеризующий скорость падения твердости и нарастания HRC в зоне термического влияния v_i .

Результаты анализа табл. 2 показывают, что v_i в зоне сплавления области наплавки фактически в 2 раза превышают такую же характеристику обратной стороны. Данное обстоятельство подтверждает, высказанное ранее мнение о достаточно высоком уровне остаточных напряжений в области наплавки и сравнительно не высоком их уровне на обратной стороне.

В свою очередь, скорость нарастания твердости области наплавки в десять раз меньше скорости ее падения (табл. 2). В то же время v_i больше v_p в 8 раз. Это указывает на сравнительно невысокую скорость прохождения металлургических процессов при остывании опытных образцов, которая обеспечивает снижение уровня σ_p .

Выводы. 1. Температурное воздействие при наплавке оказывает большое влияние на физико-механические свойства металла стороны, обратной от стороны с твердой наплавкой. При этом характер такого воздействия в сечении для обеих сторон в большой степени одинаков. **2.** Эпюры твердости наплавленной стороны и стороны без наплавки по своей форме идентичны, однако отличаются величиной твердости. Кроме того, эти эпюры имеют зоны, характерные для большинства видов наплавки. **3.** Введены критерии, характеризующие степень падения твердости и скорости ее изменения в зонетермического влияния, а также показано, что уровень остаточных напряжений наплавленной области значительно выше такого же уровня на обратной стороне.

Финансирование. Данная работа финансировалась за счет средств бюджета в рамках FFGU-2024-0024 по результатам исследований, выполненных с использованием оборудования ЦКП ИМАШ РАН. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградов В. В.* Достоинства и недостатки современных способов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин // Образование, наука и производство. 2015. № 2 (11). С. 39.
2. *Аулов В. Ф., Лялякин В. П., Ишков А. В. и др.* Разработка технологии упрочнения рабочих органов сельхозмашин с большим износом // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 123. С. 164.
3. *Константинов В. М., Ткаченко Г. А., Щербаков В. Г.* Комплексное обеспечение долговечности корпуса почвообрабатывающего плуга поверхностным и объемным упрочнением быстрознашиваемых деталей: Монография. Перспективные материалы и технологии. Т. 2. Витебск: УО ВГТУ, 2017. С. 324.
4. *Стребков С. В., Слободюк А. П., Бондарев А. В., Сахнов А. В.* Упрочнение стрелчатых культиваторных лап электроискровым легированием // Вестник АПК Ставрополя. 2019. № 1 (33). С. 21.

5. Катаев Ю. В., Соломашкин А. А., Герасимов В. С. Способ организации технического обслуживания и ремонта деталей сельскохозяйственной техники // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24. № 5. С. 67.
6. Коротков В. А. Исследование износостойкости твердых наплавочных материалов в производственных условиях // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2013. № 1. С. 45.
7. Дудников А. А., Беловод А. И., Пасюта А. Г. и др. Технологические способы повышения долговечности и ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин // *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. Т. 5. № 1 (25). С. 4.
8. Сидоров С. А., Миронов Д. А., Зволнский В. Н. Результаты научно-практических исследований повышения технического уровня рабочих органов плугов общего назначения // *Технический сервис машин*. 2018. Т. 131. С. 114.
9. Новиков В. С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин. М.: ИНФРА-М, 2019. 155 с.
10. Бердиев Д. М., Юсупов А. А. Повышение износостойкости стальных изделий методом нестандартных режимов термической обработки // *Литье и металлургия*. 2021. № 2. С. 100.
11. Бабицкий Л. Ф., Москалевич В. Ю., Мищук С. А. Методика исследований бионически обоснованной упрочняющей наплавки культиваторных лап и ножей почвообрабатывающих орудий // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2015. № 2 (165). С. 54.
12. Михальченков А. М., Локтев А. А., Михальченкова М. А. Влияние технологии двухслойной наплавки низкоуглеродистыми электродами на интенсивность изнашивания и ресурс восстановленных плужных лемехов // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2017. № 7 (151). С. 296.
13. Михальченков А. М., Синяя Н. В., Случевский А. М., Кожухова Н. Ю. Износы правого ножа скоростного плуга ПСКУ и технологические мероприятия по увеличению его долговечности // *Технический сервис машин*. 2021. № 3 (144). С. 122.
14. Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П., Сидоров С. А. и др. Использование биметаллических сталей для повышения ресурса рабочих органов сельскохозяйственных машин // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2013. № 2. С. 80.
15. Новиков А. А., Широков М. Н., Смирнов М. В. Термическое упрочнение лемехов плужных корпусов зарубежного производства // *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения*. 2017. № 1 (16). С. 122.
16. Лобачевский Я. П., Миронов Д. А., Миронова А. В. Основные направления повышения ресурса быстроизнашиваемых рабочих органов сельскохозяйственных машин // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. № 17 (1). С. 41.
17. Аристанов М. Г., Шахов В. А., Аверкиев А. А., Кващенко В. И. Повышение долговечности лемехов плугов фирмы Lemken // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2012. № 2 (34). С. 57.
18. Соловьев С. А., Шахов В. А., Аристанов М. Г. Технология восстановления плуга фирмы Lemken // *Труды ГОСНИТИ*. 2013. Т. 113. С. 245.
19. Лискин И. В., Миронов Д. А., Панов А. И. Повышение долговечности плужных лемехов с износостойкими покрытиями // *Вестник ФГОУ ВПО "МГАУ им. В. П. Горячкина"*. 2019. № 1 (89). С. 39.
20. Тюрева А. А., Козарез И. В., Дьяченко А. В. Твердость лемехов компании Vogel & Noot // *Вестник Брянской ГСХА*. 2016. № 3 (55). С. 60.
21. Денисов В. А., Кожухова Н. Ю., Орехова Г. В., Михальченкова М. А. Влияние конструкции лемеха и наплавочного армирования на твердость его носовой части // *Тракторы и сельхозмашины*. 2016. № 7. С. 36.
22. Костылева Л. В., Ганич Д. С., Моторин В. А., Новиков А. Е. Микроструктура и абразивная износостойкость тяжело нагруженных деталей чизельных плугов из высокопрочного чугуна // *Черные металлы*. 2019. № 3 (1047). С. 37.
23. Миронов Д. А., Сидоров С. А., Лискин И. В. Прочностные и ресурсные характеристики почворежущих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. № 3. С. 39.