

УДК 631.372.620

Влияние конструкции лемеха и наплавочного армирования на твердость его носовой части**Influence of ploughshare design and welding reinforcement on the hardness of its nose part**

В. А. ДЕНИСОВ¹, д-р техн. наук
Н. Ю. КОЖУХОВА², канд. техн. наук
Г. В. ОРЕХОВА², канд. с.-х. наук
М. А. МИХАЛЬЧЕНКОВА², инж.

¹Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка, Москва, Россия, gosniti@list.ru

²Брянский государственный аграрный университет, с. Кокино, Брянская обл., Россия, spo@bgsha.com

V. A. DENISOV¹, DSc in Engineering
N. Yu. KOZHUKHOVA², PhD in Engineering
G. V. OREKHOVA², PhD in Agriculture
M. A. MIKHAL'CHENKOVA², Engineer

¹All-Russian Research Institute of Technology for Repair and Maintenance of Machine and Tractor Fleet, Moscow, Russia, gosniti@list.ru

²Bryansk State Agrarian University, Kokino, Bryansk region, Russia, spo@bgsha.com

Твердость рабочей поверхности лемехов имеет определяющее значение в их стойкости к абразивному изнашиванию. Знания о данном механическом свойстве особенно важны при изготовлении и упрочнении лемехов, поскольку их износ неравномерен. В связи с этим в задачи исследования входило изучение распределения твердости в наиболее нагруженной носовой части лемеха в зависимости от его конструкции и от наплавочного армирования как метода упрочнения. В качестве объектов исследования использовались лемеха после армирования и в состоянии поставки после снятия с эксплуатации. Армирование состояло в наплавке валиков в области носка перпендикулярно полевому обрезу с шагом 30–40 мм. Достоверность результатов обеспечивалась измерением четырех деталей по каждому объекту исследований. Суммарное количество опытных лемехов — 8 шт. Твердость измерялась мобильным твердомером. Результаты измерений фиксировались по шкале Роквелла (HRC) с последующим переводом в твердость по Бриггеллю (НВ). Показано, что для лемехов без упрочнения распределение твердости в изучаемой части носит неравномерный характер, который обусловлен неравномерностью процессов рекристаллизации из-за неодинаковых толщин стенок в отдельных объемах изделия. Значения твердости у лемехов в состоянии поставки относительно невысоки (максимум 230 НВ) и не могут обеспечить надежную абразивную износостойкость. Отмечается пониженное значение твердости (175 НВ) в заглубляющей части. Применение наплавочного армирования повышает твердость (в заглубляющей части до 200 НВ), что связано с проявлением термического упрочнения вследствие образования закалочных структур. Наличие следов армирующих валиков оказывает положительное влияние на увеличение твердости, что способствует росту сопротивляемости абразивному изнашиванию.

Ключевые слова: лемех; наплавочное армирование; носовая область; заглубляющая часть; твердость; абразивное изнашивание.

The hardness of working surface of ploughshares is very significant for their abrasive wear resistance. Knowing this mechanical property is especially important for manufacturing and hardening of ploughshares, since their wear is not uniform. In this regard, the research problems include studying of hardness distribution in the most loaded nose part of ploughshare, depending on its design and on welding reinforcement as a hardening method. Ploughshares after reinforcement and ploughshares in as-delivered condition after their taking out of service are submitted as objects of the research. Reinforcement included bead welding in the area of share point perpendicularly to the leading edge with the pitch of 30–40 mm. The validity of results was provided by measurement of four parts on each object of research. The total number of tested ploughshares was eight. Hardness was measured with a mobile hardness gage. Measurement results were recorded on Rockwell hardness scale (HRC) with subsequent conversion to Brinell hardness (HB). It is shown that for ploughshares without hardening, the hardness distribution in considered part has the non-uniform character, that is caused by the non-uniformity of processes of recrystallization because of unequal thickness of walls in separate volumes of a product. The hardness values of ploughshares in as-delivered condition are not high (230 HB maximum) and cannot provide the proper abrasive wear resistance. The lowered value of hardness (175 HB) is noted on the deepening part of a ploughshare. Application of welding reinforcement increases hardness (by 200 HB on the deepening part), that is connected with manifestation of heat hardening due to the formation of hardening structures. Traces of reinforcing beads make positive impact on the increase in hardness, which contributes to the growth of abrasive wear resistance.

Keywords: ploughshare; welding reinforcement; nose part; deepening part; hardness; abrasive wear.

Введение

Взаимодействие деталей рабочих органов сельхозмашин с почвой неизбежно приводит к их износу [1, 2], который отрицательно влияет на качественные показатели агротехнических работ и становится причиной предельного состояния. С учетом значительной рыночной цены и невысокого ресурса таких изделий возникает необходимость в проведении технологических мероприятий по увеличению стойкости к абразивному изнашиванию [3].

Один из распространенных методов упрочнения при изготовлении и реставрации ряда деталей почвообрабатывающих орудий — наплавочное армирование наиболее изнашиваемых локальных рабочих поверхностей [4, 5]. Однако при нанесении армирующих валиков происходят структурные преобразования стали, которые ведут к неравномерному изменению ее твердости на отдельных участках, что влияет на абразивную износостойкость детали в целом. Несмотря на наличие многочисленных работ по изучению армирования [3, 5, 6], исследование данного метода нельзя считать завершенным, особенно в свете накопленных знаний об изменении механических свойств от его воздействия.

Цель исследования

Наряду с армированием определенное влияние на твердость оказывают конструктивные особенности лемеха (наличие магазина — запаса металла с тыльной стороны носовой области), на что исследователи не обращали должного внимания. Кроме того, не изучено влияние следов валиков на изменение твердости после их истирания до уровня поверхности.

В связи с этим цель данной работы — определение влияния конструкции лемеха и наплавочного армирования на твердость упрочненного участка (носки) после эксплуатации.

Материалы и методы

Объекты исследования — лемеха в состоянии поставки и упрочненные армированием. Армирование состояло в наплавке валиков в области носки перпендикулярно полевому обрезу (направлению перемещения почвенной массы) с шагом 30–40 мм электродами для сварки углеродистых и низколегированных сталей [3].

Достоверность результатов обеспечивалась измерением четырех деталей по каждому объекту исследований. Суммарное количество опытных лемехов — 8 шт. Экспериментальными образцами служили лемеха в состоянии поставки, которые снимались с эксплуатации по причине потери размеров носки более 45 мм, и лемеха с нанесенными армирующими валиками после полного истирания последних, но с видимыми следами наплавки (отметим, что у упрочненных изделий износ заглубляющей части носки находился в пределах допустимых величин, тогда как у лемехов без армирования он достигал предельного состояния при одинаковой наработке).

Для проведения испытаний на твердость использовался переносной твердомер ТЭМП-4.4271-001 ПС, позволяющий проводить измерения непосредственно на изделиях. Выдерживалось расстояние между отпечатками не менее 3 мм во избежание влияния пластической деформации от последующих отпечатков на предыдущие. Результаты измерений фиксировались по шкале HRC с последующим переводом в твердость по Бринеллю (HB). Общее количество отпечатков для всех лемехов составило около 540 шт.

В зависимости от состояния детали (без упрочнения и армирования) разработаны две схемы расположения отпечатков. Первая — для измерения твердости лемехов заводского исполнения в зоне, которая предусматривает охват области вероятного образования лучевидного износа (рис. 1, а). Вторая схема для лемехов, локально упрочненных наплавочным армированием (рис. 1, б), учитывала наличие валиков, зон термического влияния, расстояние между валиками и охватывала долотообразную часть. Представленные схемы позволяют определить распределение твердости как в направлении, параллельном полевому обрезу, так и в направлении, перпендикулярном ему.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим эпюры твердости лемехов в состоянии поставки по сечениям 1, 2, 3 в соответствии со схемой на рис. 1, а. Анализ полученных результатов показал, что наибольшие значения твердости характерны для сечения 1 в диапазоне от 65 до 110 мм; для сечения 2 — от 65 до 130 мм; для сечения 3 — от 65 до 150 мм (рис. 2, заштрихованные участки). Указанные величины твердо-

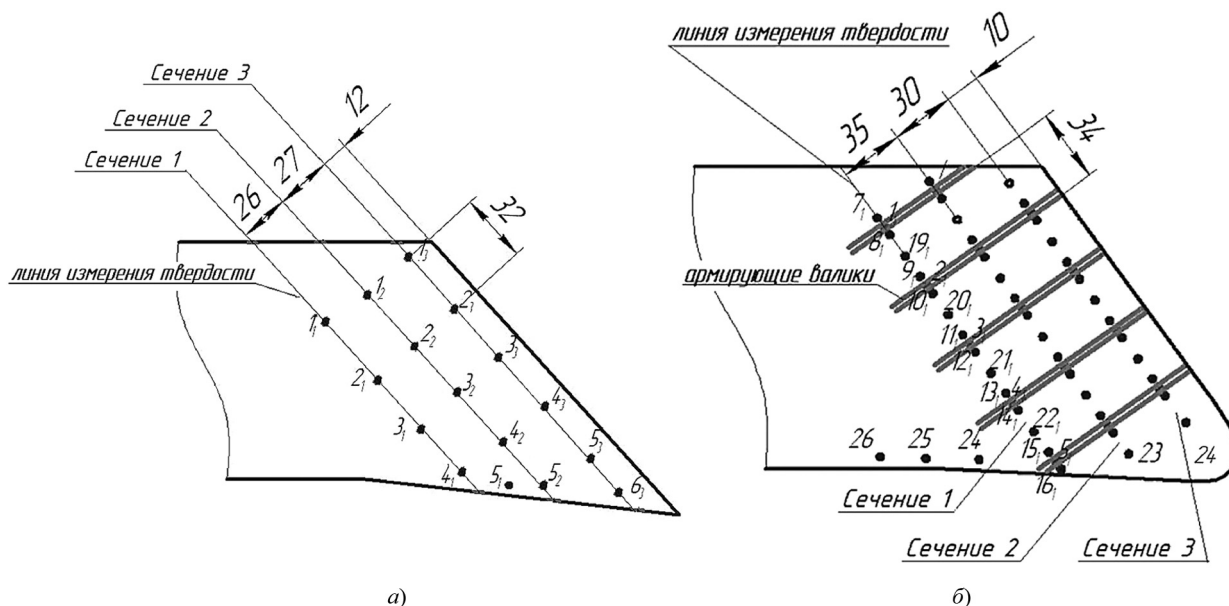


Рис. 1. Схемы измерения твердости (точками и номерами отмечены места отпечатков):

а — лемех в состоянии поставки; б — армированный лемех

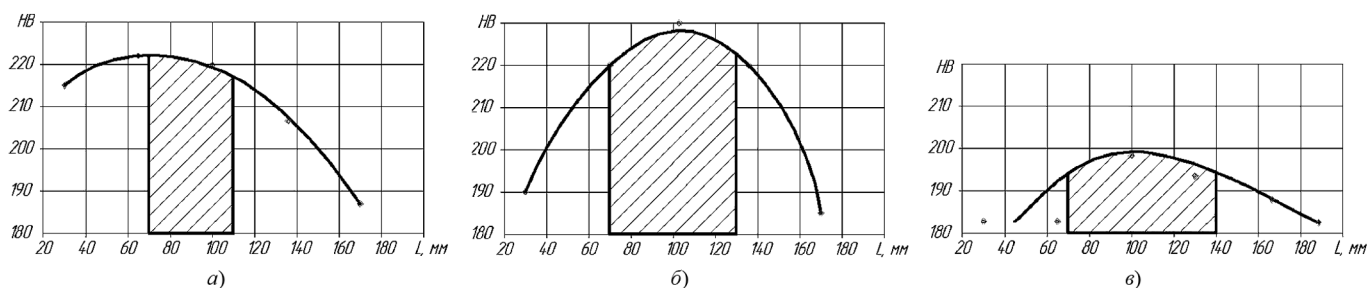


Рис. 2. Эпюры распределения твердости материала лемеха в состоянии поставки до его эксплуатации:

а — сечение 1; б — сечение 2; в — сечение 3

сти попадают в область расположения запаса металла (магазина) с тыльной стороны.

Максимальные значения твердости объясняются горячим пластическим деформированием при изготовлении лемеха. В этом случае одновременно происходят два процесса — упрочнение металла за счет пластической деформации и его разупрочнение вследствие рекристаллизации (производство лемехов осуществляется горячей штамповкой). Увеличение объема металла в области расположения магазина приводит к торможению структурных превращений при охлаждении, что нарушает условие превышения скорости рекристаллизации над скоростью наклепа либо ведет к выравниванию этих скоростей. Некоторое повышение степени наклепа на этом участке в сравнении с другими областями обуславливает увеличение твердости в указанной зоне, так как процесс рекристаллизации остается незавершенным.

В области, расположенной в непосредственной близости к верхнему обрезу (точки 1₁, 1₂, 1₃ на рис. 1, а), твердость находится в диапазоне значений, соответствующих твердости лемешной стали в нормализованном состоянии, и составляет примерно 180—200 НВ. Это

указывает на завершение структурных превращений, присущих рекристаллизации.

В то же время твердость в заглабляющей части составляет 175—180 НВ (точки 5₁, 5₂, 5₃ на рис. 1, а). Столь невысокие значения указывают на образование равновесных структур, соответствующих рекристаллизационному отжигу. Причем самая низкая твердость отмечается в точке 6₃ и равна 175 НВ, что недостаточно для существенного сопротивления этой области абразивному изнашиванию даже при наличии с тыльной стороны слоя сормайта. Нужно отметить, что измерение твердости в точке 6₃ после снятия лемеха с эксплуатации не представлялось возможным по причине истирания заглабляющей части.

Как следует из представленных эпюр, минимальные значения твердости присущи третьему сечению, расположенному ближе других к полевому обрезу (см. рис. 2, в). Для данной области наибольшее значение твердости не превышает 198 НВ, что фактически на 20 единиц ниже, чем в первом и втором сечениях (см. рис. 1, б; 2, а). Такое снижение отмечается и другими исследователями [7] и объясняется незначительными объемами металла, где

рекристаллизация может быть завершена (построение эпюр проводилось от верхнего обреза к лезвийной части, т.е. от точек 1_i к точкам 5_i).

В целом же наличествующие величины твердости нельзя считать удовлетворительными, и в этом заключается одна из причин низкого ресурса отечественных лемехов, интенсивного истирания заглубляющей части и образования лучевидного износа в носовой области.

Следующий этап исследования — выявление закономерностей распределения твердости для лемехов, упрочненных армированием. Как уже отмечалось, измерялась твердость области между валиками, зоны термического влияния и следов валиков (см. рис. 1, б; 3).

Максимальное значение твердости упрочненных лемехов в районах между валиками достигается в области расположения магазина (см. таблицу). Если повышенная твердость у лемехов без технологических воздействий в этой зоне объясняется торможением процессов рекристаллизации, то при наплавке и последующем остывании валиков на отмеченном участке скорость охлаждения несколько выше, чем в других областях, из-за большего объема металла. В свою очередь, увеличение скорости охлаждения приводит к росту вероятности образования некоторого количества закалочных структур.

Отметим факт прироста твердости у полевого обреза в сравнении с лемехами заводского исполнения. Следует полагать, что увеличение твердости происходит благодаря термическому влиянию при наплавке валиков. Данное обстоятельство оказывает положительное воздействие на сопротивление изнашиванию и подтверждается исследованиями [6]. В то же время в сечении 2 (см. рис. 1, б) имеет место снижение твердости (205 НВ) по сравнению с твердостью лемеха в состоянии поставки (230 НВ).

Наплавочное армирование положительно влияет на увеличение твердости в заглубляющей части. Так, в точках 16_i (i — цифры 1, 2, 3 по сечениям, см. рис. 1, б) и 23, 24 значения твердости равны 190—200 НВ, тогда как в точках 5_i (i — цифры 1, 2, 3, см. рис. 1, а) твердость составляет 180—188 НВ.

Полевые испытания армированных лемехов при подготовке данного материала показали их увеличенную абразивную стойкость в сравнении с неупрочненными деталями, которая выражается в отсутствии заметного износа заглубляющей части (рис. 3).

Изменение механических свойств исследуемых околошовных зон играет положительную роль в обеспечении износостойкости при абразивном изнашивании, поскольку они имеют повышенную твердость (точки 7_i , 8_i , ..., 16_i , см. рис. 1, б), которая достигает 280—300 НВ. Прирост твердости в этом случае связан с высокой скоростью кристаллизации, характерной для сварочных и наплавочных процессов, и образованием закалочных структурных составляющих.

Максимальные значения твердости $H_{B_{max}}$ в области между валиками

Сечение	1	2	3
$H_{B_{max}}$	220	205	218

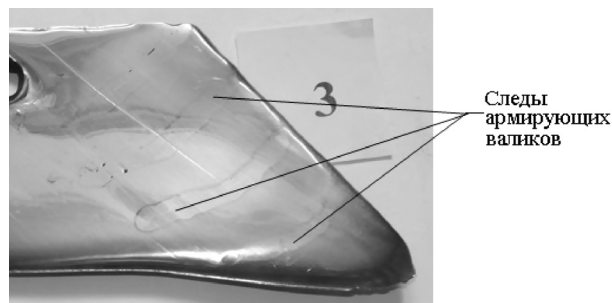


Рис. 3. Износ армирующих валиков с сохранением геометрии носка лемеха

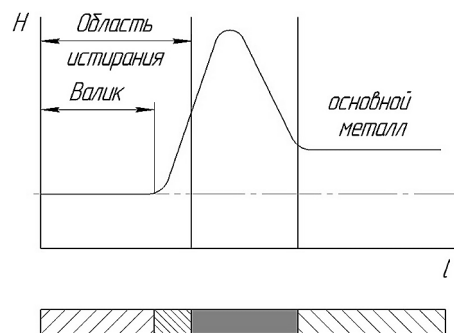


Рис. 4. Закономерность распределения твердости по высоте валика, классический вариант

Значительный интерес представляет изучение твердости следов валиков, так как их металл имеет сложное структурное содержание. Твердость следов валиков составляет 280—300 НВ и превышает максимальную твердость лемехов в заводском исполнении, равную 230 НВ (см. рис. 2, б).

Для пояснения увеличения твердости следов валиков обратимся к схеме распределения твердости в сварочном соединении в его классическом варианте (рис. 4). Поскольку при работе армированного лемеха происходит истирание наплавленного металла несколько ниже уровня исходной рабочей поверхности, то твердость измеряют непосредственно в зоне термического влияния, где она максимальна.

В этом случае наличие следов армирующих валиков повышенной твердости способствует торможению изнашивания, что служит дополнительным положительным фактором в повышении ресурса наряду с эффектом проскальзывания частиц по сферической поверхности валиков и наличием псевдосжиженного слоя между ними, снижающего количество контактов абразивных частиц с поверхностью трения лемеха [8].

Выводы

1. Значения твердости в различных точках долотообразной части лемехов в состоянии поставки относительно невысоки (максимум 230 НВ) и определяются степенью прохождения процессов рекристаллизации, зависящей от объема металла. Минимальная твердость (175 НВ) характерна для заглубляющей части. Такие ве-

личины твердости не могут обеспечить надлежащую абразивную износостойкость.

2. Наплавочное армирование повышает твердость межшовных пространств, околошовных областей (280—300 НВ) и заглубляющей части (200 НВ) благодаря образованию закалочных структур вследствие тепловых сварочных процессов, что играет положительную роль в обеспечении износостойкости при абразивном изнашивании.

3. Наличие следов армирующих валиков способствует торможению изнашивания ввиду их повышенной твердости (280—300 НВ).

Литература и источники

1. Михальченко А. М., Кожухова Н. Ю. Анализ дефектов восстановленных стрельчатых лап импортных посевных комплексов и их влияние на возможность повторного использования // Труды ГОСНИТИ. 2014, т. 114. С. 134—139.
2. Кожухова Н. Ю., Поджарая К. С., Михальченкова М. А. Износы лемехов плугов производства компании Vogel & Noot // Труды ГОСНИТИ. 2014, т. 114. С. 150—156.
3. Михальченко А. М., Будко С. И., Кожухова Н. Ю. Восстановление и упрочнение лемехов // Сельский механизатор. 2007, № 7. С. 40—41.
4. Михальченко А. М., Ковалев А. П., Осипенко В. В. Использование самоорганизации изнашивания для увеличения ресурса плужных лемехов // Ремонт, восстановление, модернизация. 2012, № 9. С. 35—38.
5. Михальченко А. М., Прудников С. Н., Ковалев А. П. Износостойкость отвалов плугов после восстановления и упрочнения наплавочным армированием // Ремонт, восстановление, модернизация. 2011, № 11. С. 41—45.
6. Михальченко А. М., Бутарева Е. В., Михальченкова М. А. Изнашивание локальноупрочненных деталей при свободном перемещении в абразивной среде (на примере плужного лемеха) // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014, № 3. С. 39—44.

7. Михальченко А. М., Тюрева А. А. Оптимизация технологии наплавочного армирования носка плужного лемеха // Ремонт, восстановление, модернизация. 2009, № 1. С. 23—27.

8. Комогорцев В. Ф., Михальченко А. М., Кожухова Н. Ю. и др. Комплексная оценка эффективности применения лемехов, модернизированных наплавочным армированием // Ремонт, восстановление, модернизация. 2011, № 8. С. 40—44.

References

1. Mikhail'chenkov A. M., Kozhukhova N. Yu. Analysis of flaws in restored A-hoes of foreign sowing units and their effect on the possibility of re-use. *Trudy GOSNITI*, 2014, vol. 114, pp. 134—139 (in Russ.).
2. Kozhukhova N. Yu., Podzharaya K. S., Mikhail'chenkova M. A. Wear of ploughshares produced by Vogel & Noot. *Trudy GOSNITI*, 2014, vol. 114, pp. 150—156 (in Russ.).
3. Mikhail'chenkov A. M., Budko S. I., Kozhukhova N. Yu. Restoration and hardening of ploughshares. *Sel'skiy mekhanizator*, 2007, no. 7, pp. 40—41 (in Russ.).
4. Mikhail'chenkov A. M., Kovalev A. P., Osipenko V. V. Using self-organization of wear to increase the service life of ploughshares. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya*, 2012, no. 9, pp. 35—38 (in Russ.).
5. Mikhail'chenkov A. M., Prudnikov S. N., Kovalev A. P. Wear resistance of mouldboards after restoration and hardening by welding reinforcement. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya*, 2011, no. 11, pp. 41—45 (in Russ.).
6. Mikhail'chenkov A. M., Butareva E. V., Mikhail'chenkova M. A. Wear of locally reinforced parts in free movement in the abrasive media (on the example of ploughshare). *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*, 2014, no. 3, pp. 39—44 (in Russ.).
7. Mikhail'chenkov A. M., Tyureva A. A. Optimization of technology of welding reinforcement of a plough point. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya*, 2009, no. 1, pp. 23—27 (in Russ.).
8. Komogortsev V. F., Mikhail'chenkov A. M., Kozhukhova N. Yu., Kovalev A. P. Integrated assessment of use efficiency of ploughshares modernized by welding reinforcement. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya*, 2011, no. 8, pp. 40—44 (in Russ.).