

Влияние волнового деформационного упрочнения на коррозионную стойкость сварных соединений конструкционных сталей сельскохозяйственной техники

С.В. Баринов¹, Н.А. Григорьева¹, Д.М. Шестопапов¹

¹ Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых, Владимир, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Коррозионное разрушение конструкционных сталей, особенно в сварных соединениях сельскохозяйственной техники, приводит к значительным экономическим потерям (3–5% ВВП). Помимо основных традиционных методов защиты от коррозии (окраска, цинкование), значимое воздействие на коррозионную стойкость оказывает технология изготовления (упрочнения) деталей. Влияние поверхностного пластического деформирования (ППД) на коррозионную стойкость остается недостаточно изученным, особенно для сварных швов сталей агропромышленного комплекса.

Цель работы — установить количественные закономерности влияния параметров волнового деформационного упрочнения на коррозионную стойкость, микроструктуру и микротвёрдость конструкционных сталей (09Г2С, 30ХГСА, 40Х, 45, 10ХСНД) и их сварных соединений для разработки оптимальных режимов обработки.

Методы. Исследованы пять марок конструкционных сталей сельскохозяйственного назначения (09Г2С, 30ХГСА, 40Х, 45, 10ХСНД) и их сварные соединения. Образцы подвергались волновому деформационному упрочнению с варьированием параметров обработки. Коррозионную стойкость оценивали по потере массы после испытаний в соляном тумане. Микроструктуру (размер зерна, дефекты) анализировали оптической микроскопией.

Результаты. Экспериментальные исследования выявили зависимость влияния волнового деформационного упрочнения на коррозионную стойкость в зависимости от марки стали. Для легированных сталей (30ХГСА, 40Х, 10ХСНД, 09Г2С) волновое деформационное упрочнение может, как повышать, так и снижать стойкость в зависимости от условий обработки и типа образца (основной металл или сварное соединение). Максимальное улучшение коррозионной стойкости достигало 42%. Напротив, для углеродистой стали 45 применение волнового деформационного упрочнения приводило к снижению коррозионной стойкости на 26–35%.

Заключение. Волновое деформационное упрочнение эффективно повышает коррозионную стойкость легированных сталей (до 42%), но требует индивидуального подбора режимов обработки (включая коэффициент перекрытия) для каждого материала и типа соединения. Применение волнового деформационного упрочнения к углеродистой стали 45 не рекомендуется из-за снижения коррозионной стойкости.

Ключевые слова: волновое деформационное упрочнение; коррозионная стойкость; сварные соединения; конструкционные стали; сельхозмашины; коэффициент перекрытия.

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Баринов С.В., Григорьева Н.А., Шестопапов Д.М. Влияние волнового деформационного упрочнения на коррозионную стойкость сварных соединений конструкционных сталей сельскохозяйственной техники // Тракторы и сельхозмашины. 2025. Т. 92, № 5. С. **x-y**. DOI: 10.17816/0321-4443-686590 EDN: FAYOQO

The Influence of Wave Strain Hardening on the Corrosion Resistance of Welded Joints of Structural Steels in Agricultural Machinery

Sergey V. Barinov¹, Natalia A. Grigorieva¹, Danila M. Shestopalov¹

¹ Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov, Vladimir, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Corrosion damage to structural steels, especially in welded joints of agricultural machinery, leads to significant economic losses (3-5% of GDP). In addition to the main conventional methods of corrosion protection (painting, galvanizing), the technology of manufacturing (hardening) of parts has a significant impact on corrosion resistance. The effect of surface plastic deformation (SPD) on corrosion resistance remains insufficiently studied, especially for welded joints of steels of the agricultural industry.

AIM: Definition of quantitative patterns of the influence of wave strain hardening (WSH) parameters on the corrosion resistance, microstructure and microhardness of structural steels (09G2S, 30KhGSA, 40Kh, 45, 10HSND) and their welded joints for the development of optimal processing conditions.

MATERIALS AND METHODS: Five grades of agriculture-purposed structural steels (09G2S, 30KhGSA, 40Kh, 45, 10KhSND) and their welded joints were studied. The samples were subjected to wave strain hardening (WSH) with variable processing parameters. Corrosion resistance was assessed by weight loss after salt fog tests. The microstructure (grain size, defects) was analyzed using optical microscopy.

RESULTS: Experimental studies have revealed the dependence of the effect of wave strain hardening on corrosion resistance depending on the steel grade. For alloy steels (30KhGSA, 40Kh, 10HSND, 09G2S), WSH can both increase and decrease resistance depending on the processing conditions and the type of sample (base metal or welded joint). The maximum improvement in corrosion resistance reached 42%. On the contrary, for carbon steel 45, the use of WSH led to a decrease in corrosion resistance by 26–35%.

CONCLUSION: WSH effectively increases the corrosion resistance of alloy steels (up to 42%), but requires individual selection of processing modes (including the overlap coefficient) for each material and type of joint. The use of WSH on carbon steel 45 is not recommended due to a decrease in corrosion resistance.

Keywords: wave strain hardening; corrosion resistance; welded joints; structural steels; agricultural machinery; overlap coefficient.

TO CITE THIS ARTICLE:

Barinov SV, Grigorieva NA, Shestopalov DM. The Influence of Wave Strain Hardening on the Corrosion Resistance of Welded Joints of Structural Steels in Agricultural Machinery. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2025;92(5):x-y. DOI: [10.17816/0321-4443-686590](https://doi.org/10.17816/0321-4443-686590) EDN: FAYOQO

ВВЕДЕНИЕ

Коррозионное разрушение конструкционных сталей является одной из основных причин снижения ресурса и преждевременного выхода из строя критически важных узлов сельскохозяйственной техники, таких как рамы, оси, элементы подвески, рабочие органы почвообрабатывающих орудий (плуги, бороны) и сварные соединения кузовов комбайнов [1, 2]. Эксплуатация в условиях агрессивных сред (почвенные электролиты, удобрения, высокая влажность) приводит к значительным экономическим потерям, оцениваемым в 3–5% ВВП стран с развитым агропромышленным комплексом (АПК) [2]. Особую уязвимость демонстрируют зоны сварных соединений, где формируется неоднородная микроструктура (крупное зерно, остаточные напряжения, выделения карбидов), снижающая коррозионную стойкость на 30–50% по сравнению с основным металлом [3, 4]. Помимо основных традиционных методов защиты от коррозии (окраска, цинкование), влияние на коррозионную стойкость оказывает так же технология изготовления (упрочнения) деталей, в частности, методы поверхностного пластического деформирования (ППД). Например, дробеструйная обработка или накатка, применяемые для упрочнения поверхностного слоя, демонстрируют неоднозначное влияние на коррозионное поведение: умеренная деформация может улучшить стойкость за счёт создания нанокристаллической структуры и сжимающих напряжений, тогда как избыточная — провоцирует образование дефектов, активирующих коррозию [5, 6]. Существующие исследования часто не учитывают специфику сварных швов и редко оптимизируют параметры обработки под конкретные марки сталей, используемые в АПК (09Г2С, 30ХГСА, 40Х, 45, 10ХСНД) [7].

Анализ литературных данных [5, 6, 8–10] выявил отсутствие системного подхода к применению волнового деформационного упрочнения (ВДУ) для повышения коррозионной стойкости именно сварных соединений конструкционных сталей сельхозназначения. ВДУ характеризуется передачей энергии деформации через волновод с воздействием на обкатываемый материал пролонгированными импульсами, обладает уникальными преимуществами: формирует глубокий (до 15 мм) упрочнённый слой с высокими (–1000 МПа) сжимающими напряжениями, создает ультрамелкозернистую структуру поверхности [8, 9]. Однако комплексное исследование взаимосвязи между режимами ВДУ, микроструктурными изменениями (размер зерна, угол поворота, фазовая трансформация) и коррозионной стойкостью для широкого спектра сталей и их сварных швов до сих пор не проводилось. Не определены оптимальные диапазоны степени деформации, гарантирующие улучшение коррозионных характеристик без риска их ухудшения при превышении критического уровня наклепа. Это ограничивает внедрение перспективной технологии ВДУ в производство и ремонт сельхозмашин.

Разработка научно обоснованных рекомендаций по параметрам ВДУ (коэффициент перекрытия K , степень деформации) для конкретных марок сталей и их сварных соединений позволит существенно (на 20–40% по данным предварительных экспериментов) повысить коррозионную стойкость и, как следствие, долговечность ответственных узлов сельскохозяйственной техники, работающих в условиях интенсивного коррозионно-механического износа. Это соответствует стратегическим задачам импортозамещения и повышения конкурентоспособности отечественного сельхозмашиностроения.

Целью настоящего исследования является установление количественных закономерностей влияния параметров волнового деформационного упрочнения (коэффициент перекрытия $K=0,3$ и $K=0,6$) на коррозионную стойкость, микроструктуру и микротвердость широко применяемых конструкционных сталей (09Г2С, 30ХГСА, 40Х, 45, 10ХСНД) и их сварных соединений, а также разработка на этой основе практических рекомендаций по оптимизации режимов ВДУ для повышения эксплуатационной надёжности деталей и узлов сельскохозяйственной техники.

МЕТОДЫ

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе изучены пять марок конструкционных сталей, широко применяемых в производстве ответственных узлов сельскохозяйственной техники: низколегированная сталь 09Г2С (для рам комбайнов и прицепов), хромкремнистые стали 30ХГСА и 40Х (зубчатые передачи, оси), углеродистая сталь 45 (крепёжные элементы), а также низкоуглеродистая сталь 10ХСНД (сварные конструкции плугов). Химический состав

THEORY, DESIGN, TESTING

материалов соответствовал сертификатам производителей: 09Г2С (0,09–0,15% С, 1,3–1,7% Мп); 30ХГСА (0,28–0,34% С, 0,8–1,1% Cr); 40Х (0,36–0,44% С, 0,8–1,1% Cr); 45 (0,42–0,50% С); 10ХСНД (0,10% С, 0,8% Cr, 0,5% Ni) (ГОСТ 4543-2016).

ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ

Из листового проката толщиной 10 мм были вырезаны прямоугольные пластины размером 75×80 мм. Для исследования сварных соединений образцы попарно сваривали встык полуавтоматической сваркой в среде аргона (режимы: ток 180–220 А, напряжение 22–28 В, скорость подачи проволоки 15 см/мин). Контроль качества швов выполнен визуально и методом ультразвуковой дефектоскопии (отклонения не превышали 5% от ГОСТ 3242-79). Поверхность всех образцов шлифовали до шероховатости Ra=0,8 мкм с последующим обезжириванием в ацетоне (ГОСТ 3242-79).

МЕТОДИКА ВОЛНОВОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ

Упрочнение проводили на экспериментальной установке с использованием генератора механических импульсов (патент РФ №2098259) с удельной энергией ударов 4–8 Дж/мм и частотой импульсов 9–14 Гц, используя стержневой ролик диаметром 10 мм. Коэффициент перекрытия (К) — комплексный технологический параметр ВДУ, определяющий кратность динамического нагружения очага деформации и, следовательно, равномерность и степень упрочнения поверхностного слоя. К характеризует степень перекрытия пластических отпечатков от последовательных ударов и рассчитывается по формуле (1):

$$K = 1 - \frac{S}{\delta \cdot f \cdot 60} \quad (1)$$

где δ — размер отпечатка, мм; S — скорость подачи заготовки относительно инструмента, мм/мин; f — частота ударов, Гц. [8].

При ВДУ с K=0 отпечатки ударов инструмента граничат друг с другом, не перекрываясь между собой; при $0 < K < 1$ происходит их частичное перекрытие; при K=1, удары инструментом наносятся в одну точку без его смещения. В данном исследовании применяли упрочнение с K=0,3 и K=0,6, соответствующие режимам частичного перекрытия отпечатков. Выбор именно этих значений обусловлен их перспективностью для формирования оптимальной гетерогенной структуры (сочетающей высокую твердость и вязкость), доказанной в предыдущих исследованиях [8, 9] как эффективной для улучшения эксплуатационных характеристик (сопротивление контактному выкрашиванию, циклическая прочность при знакопеременных нагрузках). Для каждого сочетания "марка стали/тип образца/K" обработано 5 идентичных образцов.

КОРРОЗИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Коррозионную стойкость оценивали по потере массы после экспозиции в соляном тумане (5% раствор NaCl, $t=25\pm 2$ °C, продолжительность 240 ч) в соответствии с ГОСТ 9.908-85. Образцы взвешивали до и после испытаний на аналитических весах CE224-C. Массовые потери пересчитывали в г/мм³ с учётом площади поверхности.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА СВОЙСТВ

Микроструктуру исследовали с помощью оптического микроскопа Zeiss Axio Observer.D1m при увеличениях 100–1000× с использованием ПО Thixomet Pro для анализа изображений. Определяли: размер зёрен методом хорд (ГОСТ 5639-82), толщину упрочнённого слоя, углы поворота кристаллов, фазовый состав. Для сварных соединений дополнительно анализировали изменение ориентации столбчатых кристаллов в зоне термического влияния.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Статистическую обработку данных проводили в программе STATISTICA. Различия в коррозионных потерях, микротвердости и размере зёрен между группами образцов (неупрочнённые, упрочнённые с K=0,3, упрочнённые с K=0,6) оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Данные представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения ($M \pm SD$). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Экспериментальные исследования выявили сложную зависимость коррозионной стойкости конструкционных сталей от режимов волнового деформационного упрочнения. Для низколегированной стали **09Г2С** в основном металле обработка с коэффициентом перекрытия $K=0,6$ обеспечила статистически значимое снижение коррозионных потерь на 2,7% (с $7,50 \pm 0,12$ до $7,30 \pm 0,11 \cdot 10^{-5}$ г/мм³; $p < 0,05$), что сопровождалось уменьшением размера зёрен с $6,9 \times 6,9$ мкм до $6,1 \times 5,3$ мкм и их поворотом на 50° . В сварных соединениях этой же стали максимальный эффект достигнут при $K=0,3$: потери снизились на 28% (до $4,80 \pm 0,09 \cdot 10^{-5}$ г/мм³), однако увеличение коэффициента до $K=0,6$ привело к аномальному росту потерь до $5,90 \pm 0,14 \cdot 10^{-5}$ г/мм³. Микроструктурный анализ показал, что данный эффект коррелирует с фрагментацией столбчатых кристаллов в шве, их длина сократилась с 200 до 110 мкм.

У хромкремнистой стали **30ХГСА** зафиксирована наивысшая чувствительность к ВДУ в основном металле. Обработка с $K=0,6$ снизила коррозионные потери на 33% (до $4,50 \pm 0,08 \cdot 10^{-5}$ г/мм³; $p < 0,01$) при уменьшении размера зёрен с $8,9 \times 9,3$ мкм до $7,6 \times 7,3$ мкм. В отличие от основного металла, сварные швы 30ХГСА продемонстрировали деградацию свойств: уже при $K=0,3$ потери возросли на 11% (до $5,10 \pm 0,13 \cdot 10^{-5}$ г/мм³), а при $K=0,6$ достигли $5,30 \pm 0,16 \cdot 10^{-5}$ г/мм³. Микрофотографии выявили формирование грубых бейнитных пакетов и увеличение угла наклона кристаллов относительно оси шва до 49° . Фото микроструктуры упрочнённого ВДУ с $K=0,3$ сварного шва и без упрочнения представлены на рис. 1 и 2.

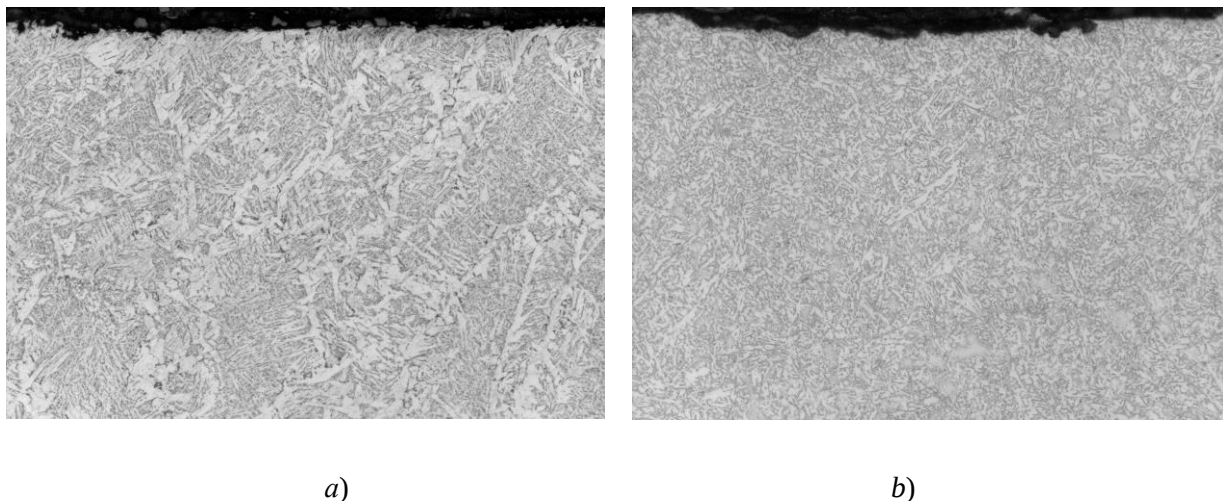


Рис. 1. Микроструктура сварного шва в образце из стали 30ХГСА: *a* — не упрочнённого образца; *b* — после волнового деформационного упрочнения с $K=0,3$ ($\times 200$).

Fig. 1. Microstructure of the weld in a sample made of the 30KhGSA steel: *a*, non-hardened sample; *b*, after wave deformation hardening with $K=0.3$ ($\times 200$).

Для стали **40Х** выявлена разнонаправленная реакция. В основном металле ВДУ с $K=0,3$ увеличило потери на 46% (до $7,00 \pm 0,22 \cdot 10^{-5}$ г/мм³), тогда как в сварных швах тот же режим обеспечил снижение на 21% (до $6,20 \pm 0,17 \cdot 10^{-5}$ г/мм³). Оптимальный результат для сварных соединений достигнут при $K=0,6$: потери сократились до $4,50 \pm 0,12 \cdot 10^{-5}$ г/мм³ (–42%; $p < 0,001$), а глубина упрочнённого слоя составила 6,3 мм. Микроструктура шва после обработки характеризовалась преобладанием игольчатого бейнита и поворотом зёрен на $45\text{--}50^\circ$.

Наиболее негативная динамика отмечена у углеродистой стали **45**. В основном металле ВДУ с $K=0,6$ повысило коррозионные потери на 26% (до $3,40 \pm 0,10 \cdot 10^{-5}$ г/мм³) вопреки росту степени упрочнения до 9,5%. В сварных швах деградация усиливалась: при $K=0,6$ потери достигли $7,00 \pm 0,23 \cdot 10^{-5}$ г/мм³ (+35%; $p < 0,05$). Микроструктурный анализ выявил уникальную аномалию — увеличение длины зёрен с 6,4 до 6,6 мкм (+3%) при сокращении ширины до 5,5 мкм (–17%), что сопровождалось образованием микродефектов в феррито-перлитной структуре.

Сталь **10ХСНД** проявила высокую стабильность. В сварных соединениях режим $K=0,3$ снизил потери на 38% (до $4,30 \pm 0,08 \cdot 10^{-5}$ г/мм³; $p < 0,01$), а в основном металле обработка с

THEORY, DESIGN, TESTING

$K=0,6$ дала уменьшение на 22% (до $6,30\pm0,15\cdot10^{-5}\text{г/мм}^3$). Важно отметить, что микроструктура сохранила мелкозернистую ферритокарбидную матрицу без фазовых превращений.

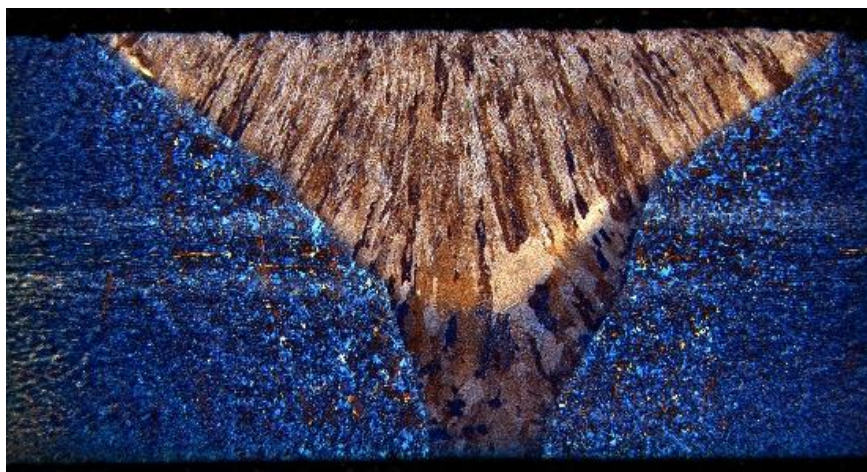


Рис. 2. Макроструктура сварного шва в образце из стали 30ХГСА после волнового деформационного упрочнения с $K=0,3$ ($\times 10$).

Fig. 2. Macrostructure of a weld in a sample of the 30KhGSA steel after wave deformation hardening with $K=0.3$ ($\times 10$).

Обобщая микроструктурные изменения, ВДУ вызвало поворот зёрен на $37\text{--}50^\circ$ у всех сталей. Уменьшение размера зёрен зафиксировано у 09Г2С (-12% по длине), 30ХГСА (-15%), 40Х (-7%) и 10ХСНД (-8%), в то время как у стали 45 наблюдался атипичный рост длины зёрен на 3%. В сварных швах ключевым эффектом стало сокращение длины столбчатых кристаллов на $45\text{--}50\%$ (09Г2С, 40Х) и переориентация бейнита (30ХГСА). Полные количественные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сводные данные экспериментов

Table 1. Summary of experimental data

Марка	Образец	Параметр	Материал без упрочнения	$K=0,3$	$K=0,6$
09Г2С	Основной металл	Потери, $\text{г/мм}^3 (\times 10^5)$	$7,50\pm 0,12$	$7,40\pm 0,15$	$7,30\pm 0,11$
	Сварной шов	Потери, $\text{г/мм}^3 (\times 10^5)$	$6,70\pm 0,18$	$4,80\pm 0,09$	$5,90\pm 0,14$
30ХГСА	Основной металл	Потери, $\text{г/мм}^3 (\times 10^5)$	$6,70\pm 0,21$	$4,70\pm 0,07$	$4,50\pm 0,08$
	Сварной шов	Потери, $\text{г/мм}^3 (\times 10^5)$	$4,60\pm 0,11$	$5,10\pm 0,13$	$5,30\pm 0,16$
40Х	Основной металл	Потери, $\text{г/мм}^3 (\times 10^5)$	$4,80\pm 0,15$	$7,00\pm 0,22$	$6,50\pm 0,19$
	Сварной шов	Потери, $\text{г/мм}^3 (\times 10^5)$	$7,80\pm 0,25$	$6,20\pm 0,17$	$4,50\pm 0,12$
45	Основной металл	Потери, $\text{г/мм}^3 (\times 10^5)$	$2,70\pm 0,08$	$4,20\pm 0,14$	$3,40\pm 0,10$
	Сварной шов	Потери, $\text{г/мм}^3 (\times 10^5)$	$5,20\pm 0,16$	$5,30\pm 0,18$	$7,00\pm 0,23$
10ХСНД	Основной металл	Потери, $\text{г/мм}^3 (\times 10^5)$	$8,10\pm 0,24$	$7,10\pm 0,20$	$6,30\pm 0,15$
	Сварной шов	Потери, $\text{г/мм}^3 (\times 10^5)$	$6,90\pm 0,19$	$4,30\pm 0,08$	$5,20\pm 0,13$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены следующие ключевые нерешенные аспекты: 1) зависимость коррозионного поведения от марки стали и типа соединения (основной металл/сварной шов); 2) влияние режимов обработки ВДУ на коррозионную стойкость и выявление рациональных и критических значений коэффициента перекрытия K единичных пластических отпечатков инструмента на обрабатываемой поверхности; 3) практические рекомендации для волнового деформационного упрочнения рабочих органов плугов и борон из стали 10ХСНД, осей и валов сельхозмашин из стали 30ХГСА.

Настоящее исследование устанавливает количественные закономерности влияния параметров одной из технологий обработки поверхностным пластическим

ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ

деформированием (ППД) – волнового деформационного упрочнения (ВДУ) на микроструктурные изменения (размер и ориентацию зёрен, фрагментацию столбчатых кристаллов в швах) и коррозионное поведение конструкционных сталей АПК и их сварных соединений. Полученные результаты объясняют известные из технической литературы противоречия и дают системное представление о влиянии степени упрочнения поверхностным пластическим деформированием на коррозионную стойкость различных сталей.

Практические рекомендации для сельхозмашиностроения вытекают из установленных закономерностей: для **рабочих органов плугов и борон** (сталь 10ХСНД) оптимален режим $K=0,3$ (степень деформации $\leq 45\%$), снижающий потери на 38% без риска деградации ферритокарбидной матрицы; **оси и валы** из стали 30ХГСА целесообразно обрабатывать с $K=0,6$, но их сварные соединения не должны подвергаться ВДУ из-за роста потерь на 16%; **углеродистые стали** (45) непригодны для ВДУ в ответственных узлах. Для крепежных деталей допустимо упрочнение только до 30%.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. С.В. Баринов — обзор литературы, разработка методики экспериментов, обзор литературных источников, исследование микроструктуры и микротвердости, обработка данных, написание текста статьи; Н.А. Григорьева — проведение коррозионных испытаний, обработка и анализ экспериментальных данных, написание текста статьи; Д.М. Шестопалов — проведение коррозионных испытаний, обработка и анализ экспериментальных данных, написание текста статьи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Неприменимо.

Источники финансирования. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 24-29-00666, <https://rscf.ru/project/24-29-00666/>.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: S.V. Barinov: literature review, development of experimental methods, literature review, study of microstructure and microhardness, data processing, writing the text of the manuscript; N.A. Grigorieva: conducting corrosion tests, processing and analysis of experimental data, writing the text of the manuscript; D.M. Shestopalov: conducting corrosion tests, processing and analyzing experimental data, writing the text of the manuscript. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that issues related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: Not applicable.

Funding sources: The research was carried out with the support of a grant from the Russian Science Foundation № 24-29-00666, <https://rscf.ru/project/24-29-00666/>.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously obtained or published material (text, images, or data) was used in

THEORY, DESIGN, TESTING

this study or article.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

REFERENCES

1. Wang J, Zhang Y, Chen J, et al. Effects of laser shock peening on stress corrosion behavior of 7075 aluminum alloy laser welded joints. *Materials Science and Engineering A-structural Materials Properties Microstructure and Processing*. 2015;647:7–14 doi: 10.1016/J.MSEA.2015.08.084

2. *Handbook on Surface Plastic Deformation Processes*. eds. Zaides SA. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2021. (In Russ.) EDN: JPESZZ

3. Gao L, Zhang X, Zha X, et al. Effect of Mechanical Shock Treatment on Microstructure and Corrosion Properties of Manual Argon Arc Welding Joints of 2205 Duplex Stainless Steel. *Materials*. 2022;15(9):3230. doi: 10.3390/ma15093230 EDN: XZTVPP

4. Kang C, Chen T, Shiue R, et al. Mitigating Stress Corrosion Cracking of 304L and 316L Laser Welds in a Salt Spray through Micro-Shot Peening. *Metals*. 2023;13:1898. doi: 10.20944/preprints202310.1749.v1 EDN: LZABMG

5. Deng L, Xia J, Wang B, et al. Effect of Cold Rolling and Subsequent Annealing on the Corrosion Resistance of Ag-Containing CD4MCu Duplex Stainless Steels. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2023;32:1645. doi: 10.1007/s11665-022-07226-0 EDN: LIHSGB

6. Żebrowski R, Walczak M. The effect of shot peening on the corrosion behaviour of Ti-6Al-4V alloy made by DMLS. *Advances in Materials Science*. 2018;18:43–54. doi: 10.1515/adms-2017-0040

7. Solovey SA. Current state of methods for improving corrosion resistance and corrosion fatigue resistance of welded joints (review). *Automatic welding*. 2017;3:51–58. (In Russ.)

8. Kirichek AV. *Technology and equipment for static-pulse surface plastic deformation processing*. Moscow: Mashinostroenie; 2004. (In Russ.) EDN: OWDGXC

9. Kirichek AV. Relationship between processing parameters, product dimensions, and wave strain hardening. *J Manuf Sci Eng*. 2022;144(3). doi: 10.1115/1.4052008 (In Russ.) EDN: SIKZKK

10. Zhang C, Wei S, Li F, et al. Microstructure and Corrosion Properties of Ti-6Al-4V alloy by Ultrasonic Shot Peening. *International Journal of Electrochemical Science*. 2015;10:9167–9178. doi: 10.1016/S1452-3981(23)11168-0 EDN: WSPXGP

ОБ АВТОРАХ / AUTHORS' INFO

* Баринов Сергей Владимирович , канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения»; адрес: Россия, 600000, Владимир, ул. Горького, д. 87; ORCID: 0000-0002-1341-446X; eLibrary SPIN: 3565-9623; e-mail: box64@rambler.ru	* Sergey V. Barinov , Cand. Sci. (Engineering), assistant professor, Assistant professor of the Mechanical Engineering Technology Department; address: 87, Gorkogo st, Vladimir, Russia, 600000; ORCID: 0000-0002-1341-446X; eLibrary SPIN: 3565-9623; e-mail: box64@rambler.ru
Соавторы:	Co-Authors:
Григорьева Наталья Александровна , ассистент кафедры «Технология машиностроения»;	Natalia A. Grigorieva , Assistant professor of the Mechanical Engineering Technology Department;

ORCID: 0009-0000-2096-5449; eLibrary SPIN: 3975-0840; e-mail: natali-kukanova@mail.ru	ORCID: 0009-0000-2096-5449; eLibrary SPIN: 3975-0840; e-mail: natali-kukanova@mail.ru
Шестопапов Данила Михайлович , магистр кафедры «Технология машиностроения»; ORCID: 0009-0000-7596-2261; e-mail: shestopalov.danila@yandex.ru	Danila M. Shestopalov , Master of the Mechanical Engineering Technology Department; ORCID: 0009-0000-7596-2261; e-mail: shestopalov.danila@yandex.ru
* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author	