

УДК 53.043

В.В. Семашко, А.Ф. Ильющенко, И.В. Петров
УО БГАТУ, ОХП «НИИ ИП с ОП», Республика Беларусь
Тел./Факс: +375172925196, E-mail: Semaschko1601Vlad@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ УДАРНО-АБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Исследованы опытные образцы, выполненные технологией сварки взрывом и термообработанные по традиционной технологии с различными температурами отпуска. Оптимальные условия сварки и термообработки обеспечивают материалам необходимые физико-механические и эксплуатационные свойства. Было установлено, что повышение твердости и фрагментированная структура закаленных слоев образца позволяют добиться высокой прочности и характеристик вязкости, а также свести к минимуму процесс абразивного износа.

Ключевые слова: микроструктура, мартенсит, фрагментация, износостойкость, прочность, упругость, твердость, триботехнические поверхности, сварка взрывом, высокая нагрузка энергии, термическое упрочнение, охлаждающая жидкость.

V.V. Semashko, A.F. Iliyshenko, I.V. Petrov

IMPROVING PERFORMANCE PRODUCTS OPERATED UNDER SHOCK-ABRASIVE WEAR PULSE TECHNOLOGY

Studies of experimental samples made by explosion welding technology and treated by traditional technology with different tempering temperatures have been carried out. Optimal welding conditions and heat treatment have been fulfilled providing material with necessary physico-mechanical and operating properties. It has been found that the increased hardness and fragmented structure of hardened layers in a multilayer product allow to achieve high strength and viscosity characteristics as well as minimize the process of abrasive wear.

Key words: microstructure, martensite, fragmentation, wear resistance, strength, resilience, hardness, tribotechnical surface, explosion welding, laminate, high energy loading, thermal hardening, coolant.

1. Введение

Импульсные методы обработки металлов эффективно используются при создании материалов с заданными физико-механическими свойствами и позволяют регулировать эксплуатационные параметры в нужном направлении [1]. Известные конструкционные материалы и технологии упрочнения не обеспечивают необходимый эксплуатационный ресурс, что приводит к частым заменам комплектующих изделий и увеличению продолжительности нахождения агрегатов в ремонте. Так, плазменное и лазерное модифицирование, наплавка твердосплавным материалом, использование высоколегированных и керамических материалов, химико-термическая обработка приводят к увеличению стоимости конечной продукции и не в полной мере обеспечивают повышение ресурса работы деталей.

Между тем, широкие перспективы при решении данной проблемы открывает одна из технологий импульсной обработки – сварка взрывом, которая позволяет получить биметаллы и композиционные материалы из разноразных сталей. На примере многослойного материала, триботехнические поверхностные слои которого были выполнены из стали 65Г, а пластичная сердцевина из стали 3, показано, что реализуемый композит имеет более высокие характеристики, по сравнению с составляющими его компонентами.

2. Основное содержание и результаты работы

© Семашко В.В., Ильющенко А.Ф., Петров И.В.; 2015 г.

В настоящей работе технологии импульсного нагружения использованы для упрочнения материалов изделий, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания – рабочих органов сельскохозяйственных машин. Исследовано влияние процесса сварки взрывом с последующей термомеханической обработкой на структурные изменения в композиционном материале, а также на процесс абразивного изнашивания.

Изготовление композиционного материала. Расчет параметров сварки взрывом производился по программе WMASTER. В качестве исходных данных для расчета параметров задаются: плотности, толщины, модули сдвига, пределы текучести, удлинения, температуры и удельные теплоты плавления, удельные теплоемкости и теплопроводности, параметры ударной адиабаты, тип взрывчатого вещества, его начальная плотность и критический диаметр, процент содержания инертной добавки и показатель адиабаты продуктов взрыва.

Результатом расчета являются границы области свариваемости, а также технологические параметры для оптимального режима: величина заряда, в том числе величина его дополнительного усиления в точке инициирования, начальный зазор между свариваемыми заготовками и угол их установки (рис. 1).

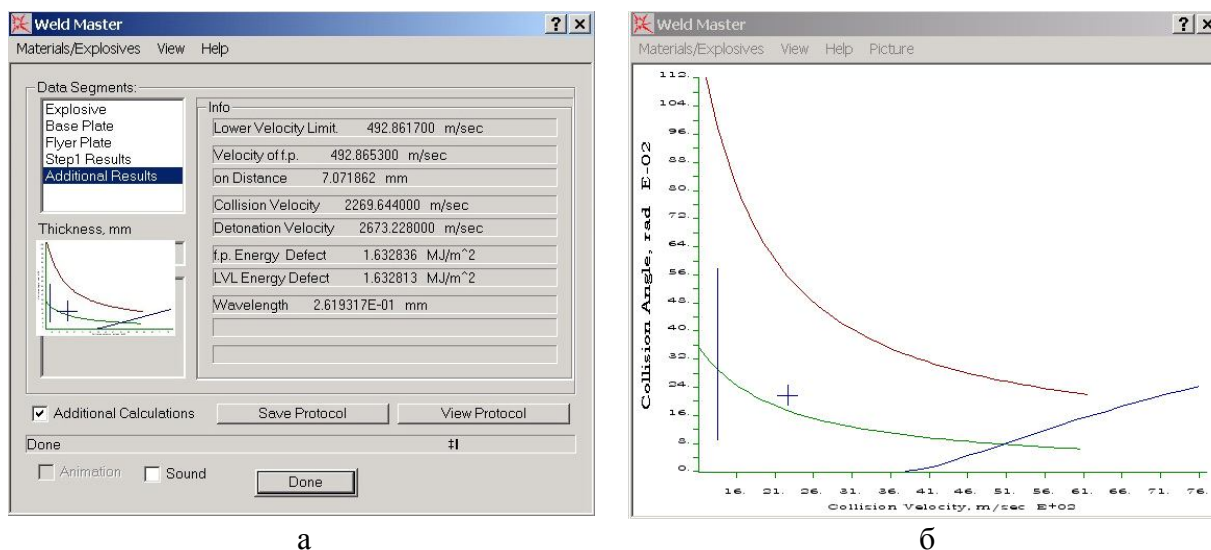


Рис. 1. Программа для расчета параметров сварки взрывом WMASTER:

а) главное окно программы расчета параметров; б) графическое изображение четырех условий, ограничивающих диапазон оптимальных параметров сварки для композита ст. 65Г (2,5 мм) – ст. 3 (3,0 мм) – ст. 65Г (2,5 мм)

Краткий протокол расчета режима для соединения ст. 65Г (2,5 мм) – ст. 3 (3,0 мм) – ст. 65Г (2,5 мм): скорость соударения 2269 м/с; взрывчатое вещество – аммонит 6ЖВ; доля взрывчатого вещества 67,0 %; плотность 900 кг/м³; доля инертной добавки 33 %; скорость детонации 2673 м/с; критическая высота заряда 7,0 мм; адиабатный коэффициент 2,3. Схема сварки взрывом – угловая (рис. 2), максимальная высота заряда 51,35 мм; минимальная высота заряда 41,3 мм; зазор 7,68 мм, угол установки 3,52E-02 рад.

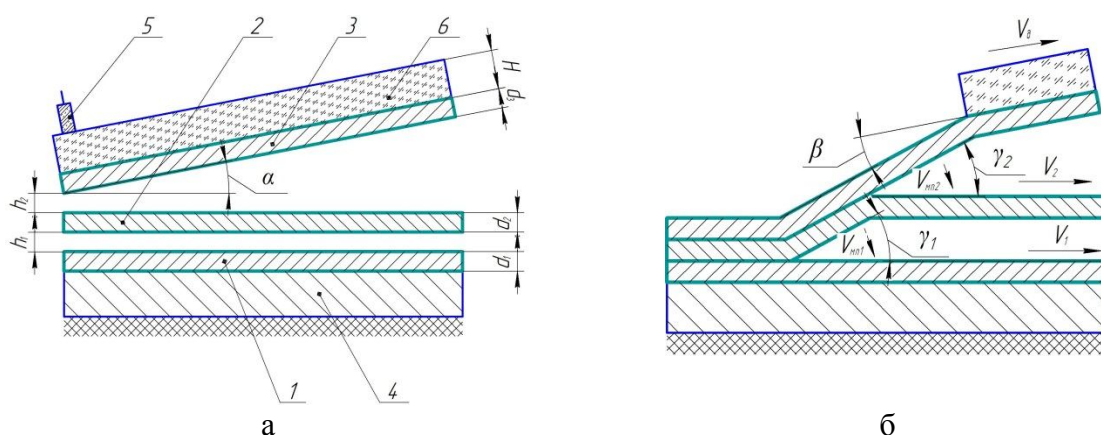


Рис. 2. Угловая схема сварки взрывом:

а) конфигурация до начала детонации; б) конфигурация во время детонации;

1 - неподвижная пластина (ст. 65Г); 2 – промежуточная пластина (ст. 3); 3 - метаемая пластина (ст. 65Г); 4 - основание; 5 – детонатор; 6 - взрывчатое вещество (ВВ)

Технологический процесс сварки взрывом проводился на опытно-экспериментальном полигоне ОХП «Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством» г. Минск.

Результаты исследования и их анализ. Твердость поверхностных слоев определялась при нормальной ($20 \pm 10^\circ\text{C}$) температуре и в соответствии с требованиями ГОСТ 9013-59. Измерение микротвердости образцов проводилось на микротвердомере «Micromet-II» с нагрузкой 100 г. по ГОСТ 9450-76. Испытания на ударную вязкость проводились на копре маятниковым «TINIUS OLSEN IT 542» (США) при нормальной ($20 \pm 10^\circ\text{C}$) температуре и в соответствии с требованиями ГОСТ 9454-78 на образцы с U – образным надрезом. Испытания на трехточечный изгиб проводили на универсальной испытательной машине «Инстрон 1195» в соответствии ГОСТ 473.8-81.

Результаты лабораторных испытаний экспериментальных образцов композиционного материала приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты лабораторных испытаний экспериментальных образцов

№ образца	Режим термической обработки	Замеряемые параметры		
		Твердость, HRC	Ударная вязкость, МДж/м ²	Прочность, МПа
1	Без термической обработки	20,0	1,25	1770,5
2	Закалка на воду, без отпуска	64,5	0,95	4400,4
3	Закалка на масло, без отпуска	56,0	1,15	4257,6
4	Закалка на воду, низкий отпуск	60,0	1,23	3900,5
5	Закалка на масло, низкий отпуск	58,0	1,30	3878,2
6	Закалка на воду, средний отпуск	51,0	1,35	3663,5
7	Закалка на масло, средний отпуск	45,0	1,42	3531,4
8	Закалка на воду, высокий отпуск	40,0	1,52	2970,6
9	Закалка на масло, высокий отпуск	33,0	1,63	2705,1

После проведения отпуска, с выдержкой 1 час, в интервале температур от 200 °С до 500 °С, твердость изменяется в пределах от 64,5 HRC до 33 HRC, ударная вязкость от 0,95 МДж/м² до 1,63 МДж/м², прочность от 4400,4 до 2705,1 МПа. После выдержки образцов при низкой температуре (200 °С) просматривается переход остаточного аустенита в мартенсит отпуска. Наиболее отчетливо данный факт проявился на образце после закалки на масло с последующим низким отпуском, что привело к увеличению твердости образца на 2-3 единицы.

Для современных условий обработки почвы в абразивной среде необходимо, чтобы триботехнические поверхности изделий обладали повышенной твердостью (60-65 HRC) и пластичной сердцевиной [2–6]. Ударная вязкость должна соответствовать значениям не менее 0,8-1,0 МДж/м²; прочность материала – 1500-1800 МПа; коэффициент абразивной износостойкости – не менее 3,0-3,5 [7]. Учитывая вышеперечисленные технические требования, предъявляемые к износостойким деталям, образцы 2–5 в полной мере соответствуют прочностным критериям.

Металлографические исследования образцов проводились на световом микроскопе "MeF-3" фирмы "Reichert" (Австрия) на шлифах при увеличении $\times 50, \times 100, \times 500$. Исследование фрагментации мартенситных игл экспериментальных образцов проводили на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения "Mira" фирмы "Tescan" (Чехия) при увеличениях $\times 50\ 000, \times 80\ 000$.

На рисунках 4, 5 представлены зоны сварки и микроструктура слоев образца № 4 (закалка на воду с последующим низким отпуском).

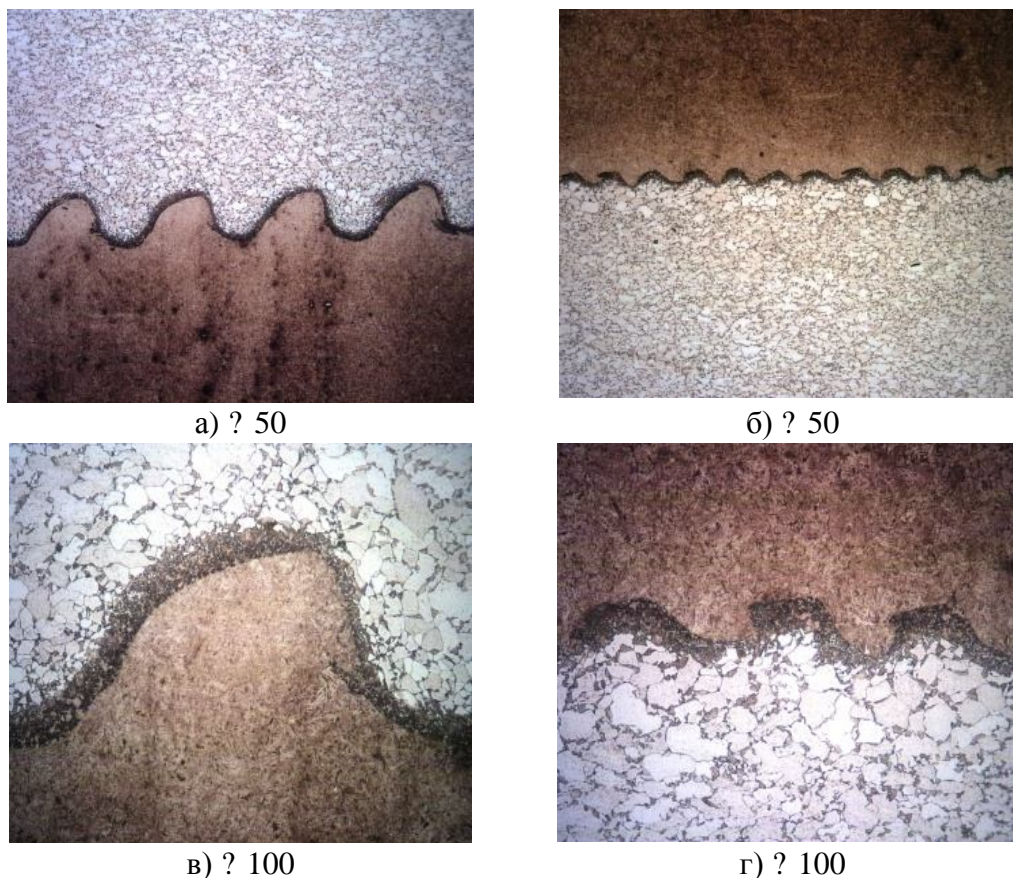


Рис. 4. Зоны сварки композиционного материала, образец № 4:
а, в – среднего и нижнего слоев; б, г – верхнего и среднего слоев

На рисунке 8 изображены графики распределения микротвердости образцов № 2 - 7.

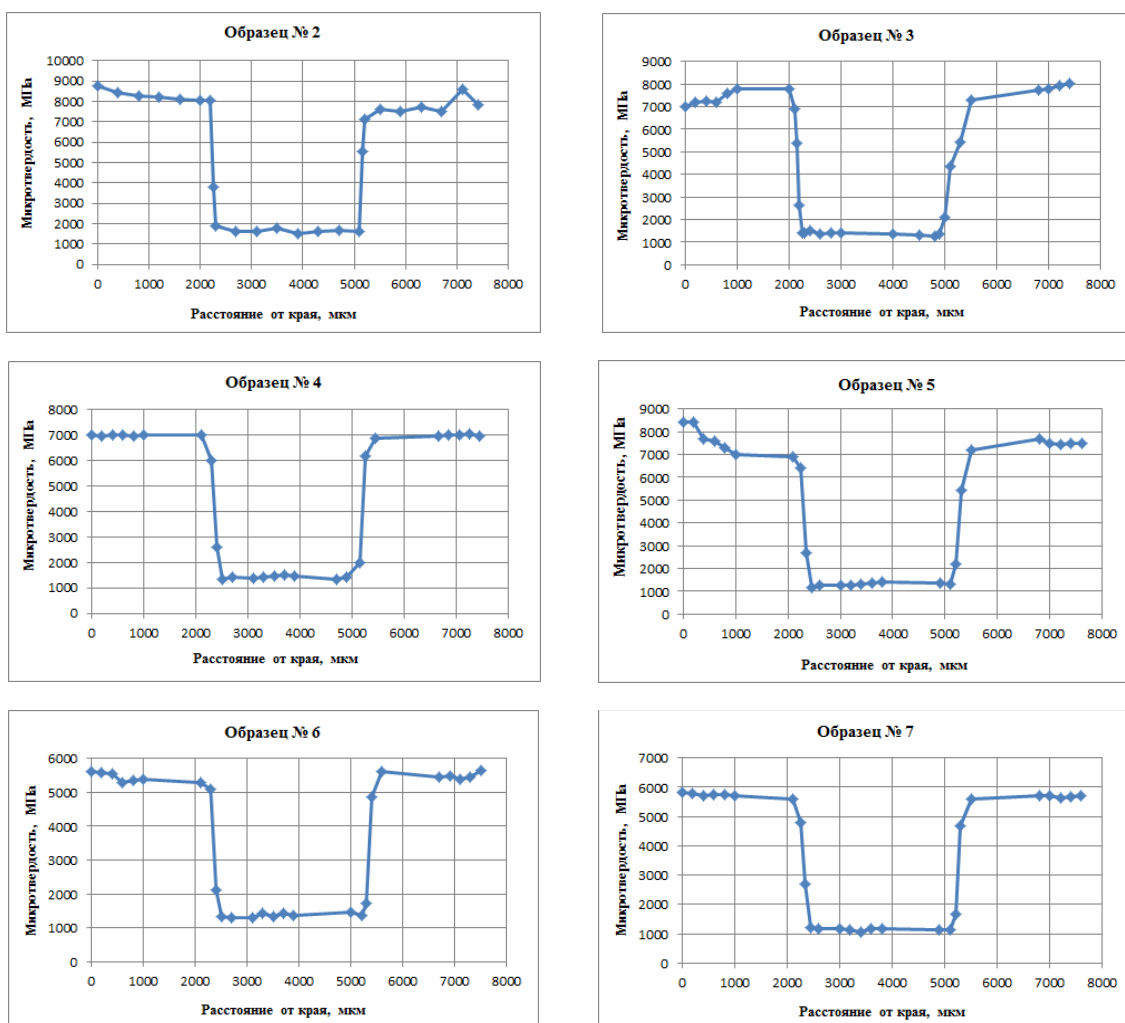


Рис. 8. Графики распределения микротвердости образцов № 2 – 7

По представленным графикам видно, что сварка взрывом с последующей термообработкой позволяет достичь повышенных значений микротвердости упрочненных слоев (8000 МПа), при этом сердцевина остается пластичной (1500 МПа), обеспечивая композит повышенными вязкостными характеристиками. С повышением температуры отпуска дорожка микротвердости выравнивается по структуре и плавно снижается при переходе на сталь низкоуглеродистую.

Измельченная структура и повышенная твердость упрочненной триботехнической поверхности образца снижает интенсивность изнашивания, что подтвердилось при испытаниях на абразивную износостойкость. Испытания образцов проводились на машине ИМ-1 (согласно ГОСТ 23.208-79) при трении о жестко закрепленные абразивные частицы по стандартной методике, позволяющей приблизить испытания к реальным условиям (рис. 9).

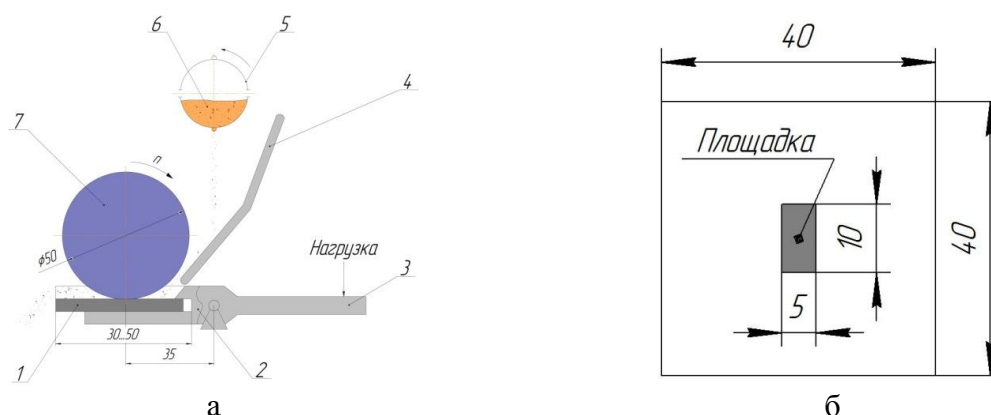


Рис. 9. Испытания образцов на абразивное изнашивание: а – схема испытаний, б – образец, на площадку которого действует резиновый ролик с нагрузкой 500 г. 1 – образец; 2 – державка для образцов; 3 – рычаг; 4 – направляющий лоток; 5 – дозирующее устройство; 6 – абразив (кварцевый песок); 7 – резиновый ролик

Испытания осуществлялись при пятикратной повторности и одинаковых условиях (нагрузка – 500 г, абразив – частицы кварца (SiO_2), размер абразивных частиц – 0,16...0,32 мм, относительная влажность кварцевого песка не более 1%, продолжительность цикла – 15 мин, частота вращения ролика – 120 мин^{-1}). В качестве эталонного образца принята сталь 45 в отожженном состоянии с твердостью 180 НВ.

Результаты лабораторных испытаний на абразивное изнашивание приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты испытаний на абразивное изнашивание

№ образца	Массовый износ, г	Интенсивность изнашивания, мг/ч	Коэффициент относительной износостойкости
Сталь 45	0,0155	62,0	1,00
2	0,0024	9,60	6,45
3	0,0031	12,4	5,00
4	0,0035	14,0	4,42
5	0,0045	18,0	3,44
6	0,0053	21,2	2,92
7	0,0056	22,4	2,76
8	0,0079	31,6	1,96
9	0,0072	28,8	2,15

Как отмечалось выше для современных условий обработки почвы в абразивной среде необходимо, чтобы материал изделия обладал коэффициентом абразивной износостойкости не менее 3,0-3,5 [7], следовательно, образцы 2-5, обработанные по режимам «закалка», «закалка + низкий отпуск», соответствуют данному критерию. При сопоставлении полученных результатов исследования по твердости и абразивной износостойкости, просматривается монотонное снижение интенсивности изнашивания с повышением твердости триботехнической поверхности.

Для оценки влияния ударно-волновой обработки на износостойкость материала, были проведены испытания однослойного образца из стали 65Г упрочненного по

традиционной технологии (закалка на воду с последующим низким отпуском) до твердости 60 HRC, при ударной вязкости 0,53 МДж/м². Испытания показали, что коэффициент относительной износостойкости образца равен 3,27, что на порядок ниже показателя образца после сварки взрывом (образец № 4), поверхностные слои которого упрочнены до такой же твердости.

Также были проведены сравнительные испытания на абразивное изнашивание однослойных материалов, которые широко применяются отечественными и зарубежными производителями. Сталь 25(30)ХГСА, сталь 35(45), сталь 38(40)ХС, сталь В27 были термообработаны по традиционной технологии с режимом, который позволяет сохранить оптимальные соотношения параметров «твердость - ударная вязкость». Проанализировав данные, установили, что коэффициент относительной износостойкости композиционного материала значительно выше.

Результаты лабораторных исследований подтверждают актуальность и перспективность направления исследования. Решение задачи повышения износостойкости изделий, работающих в условиях ударно-абразивных нагрузок, является проблемой имеющей научно-техническое значение. На сегодняшний день учеными предложено множество решений, позволяющих повышать один из параметров – «износостойкость – ударная вязкость», но не решать проблему в целом. Повышение значения одного из параметров неизменно приводит к снижению другого. Предложенная технология сварки взрывом в сочетании с традиционным методом закалки и отпуска позволяет достигать высоких показателей работоспособности, применяя в качестве поверхностных слоев дешевые хрупкие стали.

Список литературы:

1. Смирнов, Г.В., и др. Моделирование и применение высокоскоростных процессов сварки и материалов взрывом [Текст]/ Г.В. Смирнов - Киев. Автоматическая сварка 2009, № 11. С.16-22.
2. Ксеневиц, И.П., Варламов, Г.П., Колчин, Н.Н. и др. Машиностроение. Энциклопедия. [Текст]/ Ред. совет: Фролов и др. М.: Машиностроение. Сельскохозяйственные машины и оборудование. Т.4. – 16/ И.П. Ксеневиц, Г.П. Варламов, Н.Н. Колчин и др. Под ред. И.П. Ксеневица. 2002. – 720с.
3. Ткачев, В. Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания [Текст]/ В.Н. Ткачев. М.: Машиностроение, 1995.
4. Севернев, М. М. Износ деталей сельскохозяйственных машин [Текст]/ М.М. Севернев. Л.: Колос, 1976.
5. Тененбаум, М. М. Сопротивление абразивному изнашиванию [Текст]/М.М. Тененбаум. М.: Машиностроение, 1976.
6. Хрущов, М.М. Абразивное изнашивание [Текст]/ М.М. Хрущов, М.А. Бабищев. М.: Наука, 1970.
7. Шило, И. И. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин [Текст]/ И.И. Шило, Г.Ф. Бетенья. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Белорусский государственный аграрный технический университет. – Минск: БГАТУ, 2010. – 320 с.: ил. – ISBN 978-985-519-331-0.
8. Волокушин, В.Д. Металловедение и термическая обработка [Текст]/В.Д. Волокушин. Винница: Книга-Вега, 2005.

Поступила в редколлегию 24.04.2015 г.