

References

1. Evgrafov, V.A. Veroyatnostnaya otsenka struktury dispersnoy sredy / V.A. Evgrafov // Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal. – 1964. – No. 10. – S. 121-127.

2. Slepov, A.P. Issledovanie protsessa razdeleniya zernovoy smesi tsentrifugirovaniem v sochetanii s potokom vozdukha (pnevmostentrifugirovaniya): avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk. – Volgograd, 1964. – 19 s.

3. Strikunov, N.I. Ochistka zerna tsentrobezhno-reshetnym separatorom s predvaritelnoy podgotovkoy na delitelnom reshete: avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.20.01 – Novosibirsk, 1989. – 18 s.

4. Strikunov, N.I. Obosnovanie tekhnologicheskoy skhemy tsentrobezhno-reshetnogo separatora / N.I. Strikunov, B.T. Tarasov // Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov i mashin pri uborke zernovykh kultur v Zapadnoy

Sibiri // Sb. nuchn. tr. Alt. s.-kh. in-t. – Barnaul, 1987. – S. 34-38.

5. Strikunov, N.I. Effektivnost raboty tsentrobezhno-reshetnogo separatora s predvaritelnoy podgotovkoy zernovogo materiala / N.I. Strikunov, B.T. Tarasov // Tekhnologii i komplekсы mashin dlya uborki zernovykh kultur i semennikov trav v Sibiri // Sb. nauchn.tr. VASKhNIL, Sib. otd. – Novosibirsk, 1989. – S. 60-67.

6. Lekanov, S.V. K voprosu klassifikatsii sposobov predvaritelnoy podgotovki zernovogo materiala / S.V. Lekanov, N.I. Strikunov, S.A. Cherkashin // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – No. 4 (114). – S. 142-148.

7. Patent Rossii No. 2300426 S1, V 07 V 1/22, V 07 V 9/00. Tsentrobezhno-reshetnyy separator / B.T. Tarasov, N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, I.A. Zinovev. – No. 2005129439/03; zayavl. 21.09.2005; opubl. 10.06.2007, Byul. No. 16. – 6 s.



УДК 621.365:621.791.92 **В.В. Иванайский, Н.Т. Кривочуров, А.В. Ишков, О.С. Камышников**
V.V. Ivanayskiy, N.T. Krivochurov, A.V. Ishkov, O.S. Kamyshnikov

**НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНДУКЦИОННО-ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ
 ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ НОСКА СТРЕЛЬЧАТОЙ ЛАПЫ СЕЯЛКИ СЗС-2,1**

**THE NEW TECHNOLOGY OF INDUCTION-ARC SURFACING FOR HARDENING THE NOSE PART
 OF THE DUCKFOOT TINE OF THE SZS-2.1 SEEDER**

Ключевые слова: индукционно-дуговая наплавка, наплавочные материалы, графитовый электрод, структура, доэвтектическая и эвтектическая зоны, стрельчатая лапа сеялки, износостойкость, полевые испытания.

Keywords: induction-arc surfacing, surfacing materials, graphite electrode, structure, hypoeutectic and eutectic zones, seeder duckfoot tine, wear resistance, field tests.

В качестве упрочняющего покрытия при индукционной наплавке на конструкционные стали широко применяются порошковые материалы системы Fe-C-Cr – высоколегированные хромистые чугуны, твердые сплавы и псевдосплавы (Сормайт-1,2, ПГ-С27, ПГ-УС25, ПС-14-60, ПС-14-80 и им подобные). После затвердевания расплавленного слоя на упрочняемой поверхности, из-за различия в химическом составе основного металла и наплавляемого сплава, образуются структуры в виде неоднородных участков вдоль наплавленного слоя: доэвтектическая, эвтектическая, заэвтектическая. Это сильно снижает износостойкость покрытия, особенно на заостренных частях и кромках деталей. Для повышения износостойкости носовой части стрельчатых лап сеялки СЗС-2.1, эксплуатируемых в условиях интенсивного абразивного изнашивания, предлагается следующее: после упрочнения детали индукционной наплавкой высоколегированным хромистым чугуном ПГ-С27, образовавшийся упрочненный слой дополнительно переплавлять электрической дугой графитового электрода, диаметром 8 мм, при обратной полярности дуги, сила сварочного тока 80 А, напряжение 25 В. В процессе такой электродуговой переплавки расплав наплавляемого высоколегированного чугуна дополнительно легируется углеродом, выделяющимся при горении электрической дуги графитового электрода, и, вследствие этого, при последующей кристаллизации сплава в упрочняемом покрытии уже не образуются структуры с пониженной износостойкостью: доэвтектическая и эвтектическая, лежащие ближе к границе поверхности упрочняемой детали. Испытания стрельчатых лап, упрочненных таким совмещенным способом индукционно-дуговой наплавки, проведенные в полевых условиях, показали, что стрельчатые лапы имеют в 1,3-

2,6 раза более высокую износостойкость и лучшее качество упрочняющего покрытия.

Powder materials of the Fe-C-Cr-system are used as a hardening coating for induction surfacing on construction steels - high-alloyed chromium cast irons, hard alloys and pseudo-alloys (in Russian: Sormite-1,2, PG-S27, PG-US25, PS-14-60, PS-14-80 and the like). After solidification of the layer on the surface to be hardened, due to the difference in the chemical composition of the base metal and the alloy, structures are formed in the form of nonhomogeneous areas along in the deposited layer: hypoeutectic, eutectic, and hypereutectic. This greatly changes the wear resistance of the coating, especially on the pointed parts and edges of the machine parts. To increase the wear resistance of the nose of the SZS-2.1 (in Russian) seeder duckfoot tines operated under conditions of intense abrasive wear, the following is proposed: after hardening the part by induction surfacing with PG-S27 (in Russian) high-alloy chromium cast iron, a hardened layer formed, then additionally remelt with an electric arc of a graphite electrode 8 mm in diameter with reverse arc polarity, welding current 80 A, and voltage 25 V. In the process of such induction-arc surfacing, the liquid of the high-alloyed cast iron being welded is additionally alloyed with carbon released during the combustion of the electric arc of the graphite electrode, and, as a result, during the subsequent crystallization of the alloy in the hardened coating, structures with reduced wear resistance are no longer formed: hypoeutectic and eutectic, lying closer to the boundary surface of the machine part being hardened. The tests of seeder duckfoot tines hardened by such combined method of induction-arc surfacing carried out in the field showed that changes 1.3...2.6 times higher wear resistance and quality of the hardening coating.

Иванайский Виктор Васильевич, д.т.н., ст. научный сотрудник, профессор, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: viv174@bk.ru.

Кривочуров Николай Тихонович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: krivochurov_nt@mail.ru.

Ишков Алексей Владимирович, к.х.н., д.т.н., доцент, профессор, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: alekseyishk@rambler.ru.

Камышников Олег Сергеевич, магистрант, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: Olegcs1997@mail.ru.

Ivanayskiy Viktor Vasilyevich, Dr. Tech. Sci., Senior Staff Scientist, Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: viv174@bk.ru.

Krivochurov Nikolay Tikhonovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: krivochurov_nt@mail.ru.

Ishkov Aleksey Vladimirovich, Cand. Chem. Sci., Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: alekseyishk@rambler.ru.

Kamyshnikov Oleg Sergeevich, master's degree student, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: Olegcs1997@mail.ru.

Введение

Постоянно проводимый нами анализ [1, 2] условий эксплуатации рабочих органов сельхозмашин, упрочненных индукционной наплавкой, выявил, что их преждевременный износ происходит из-за образования неоднородной

структуры по сечению наплавленного слоя. Известно, эффективность производства и качество продукции неразрывно связаны с проблемой полного использования возможностей, которые заложены в упрочняемых материалах и технологиях их нанесения на конструкционные

стали. В связи с этим актуальны исследования влияния технологических приемов воздействия на строение и структуру наплавленного слоя, полученного индукционной наплавкой, путем переплавления угольным электродом упрочненного покрытия.

В качестве упрочняющего покрытия при индукционной наплавке на конструкционные стали используются высоколегированные хромистые заэвтектические чугуны (марок ПГ-С27, ПГ-УС25 или псевдосплавы ПС-14-60, ПС-14-80 и им подобные). После затвердевания расплавленного слоя на упрочняемой поверхности, из-за различия в химическом составе основного металла и наплавляемого сплава, образуются структуры в виде неоднородных участков вдоль наплавленного слоя: доэвтектическая, эвтектическая, заэвтектическая. Образование указанных слоев авторами работ [3-4] подтвердило, что одним из главных факторов, влияющих на структуру и свойства наплавленного сплава вблизи упрочняемой детали, является размер (по высоте) доэвтектической и эвтектических зон, образующихся вследствие разбавления наплавляемого сплава материалом основы [5]. Предлагаемые ранее технические решения [6] направлены на устранение условий возникновения нежелательной структуры в наплавляемом покрытии посредством ужесточения режимов индукционного нагрева [7], которые не решают данную проблему, так как они ограничено влияют на основной процесс формирования износостойкого слоя. В результате при кристаллизации образуются дендриты различной величины в упрочненном покрытии. Сформировавшиеся дендриты могут вырастать в процессе кристаллизации до 100% наплавленного слоя, износостойкость подобных структур ниже в 1,5 раза наплавляемого заэвтектического высоколегированного хромистого чугуна на упрочняемых поверхностях деталей.

Цель работы – установить влияние на структуру и химический состав высоколегированного заэвтектического чугуна, наплавленного индукционной наплавкой на сталь 65Г и в

последующим переплавленным электрической дугой графитового электрода.

Экспериментальная часть

Для проведения исследований из стали 65Г вырезали образцы 80х50х6 мм и затем наносили наплавочную шихту специальным дозатором, высотой слоя 2,0-3,0 мм и шириной 15 мм, состоящую из 85% высоколегированного хромистого чугуна марки ПГ-С27 (ГОСТ 2448-75) и 15% флюса марки П-066 для индукционной наплавки. Подготовленные образцы помещали в петлевой индуктор, подключенный к высокочастотному инвертору ЭЛСИТ100-70/40 и осуществляли наплавку твердого сплава. Далее на части наплавленных образцов производили переплав наплавленного износостойкого слоя под воздействием электрической дуги постоянного тока, зажигаемой между наплавленной поверхностью образца и заостренным (до 4 мм) графитовым электродом диаметром 8 мм. Источник питания – инвертор САИ-200, полярность обратная, сила сварочного тока 80 А и напряжение дуги 25 В.

У упрочненных образцов исследовались микроструктура наплавленного слоя и распределение микротвердости по его высоте. Определяли химический состав в наплавленных слоях, упрочненных индукционной наплавкой, и после воздействия электрической дугой графитового электрода.

Химический состав устанавливали на опико-эмиссионном спектрометре (FOUNDRT-MASTER), исследование структур выполняли на металлографическом микроскопе Neophot-30, твердость наплавленного сплава – твердомером марки HVS-5.

Также проводились и полевые (натурные) испытания влияния плотности почвы на износ носка стрелчатых лап (сеялка СЗС-2,1) путем установки их по следу движения трактора и вне, а также по следу движения колес сеялки, упрочненных дополнительно после индукционной наплавки и переплавления изнашиваемой поверхности электрической дугой угольного

электрода. Измерение плотности почвы определялось твердомером Wile Soil.

Результаты и их обсуждение

При традиционном способе упрочнения поверхности деталей и заготовок индукционной наплавкой в упрочненном слое высоколегированного хромистого чугуна в зоне сплавления наблюдается ярко выраженная доэвтектическая, эвтектическая и заэвтектическая структура чугуна. Образование двух новых структур вызвано подплавлением поверхностного слоя основного металла при индукционном нагреве и последующим расплавлением заэвтектического высоколегированного хромистого чугуна и их частичным смешиванием, диффузией элементов между слоями, которые приводят к уменьшению содержания углерода в этих зонах, увеличению содержания железа и смещению состава системы на диаграмме состояния Fe-C в доэвтектическую область.

Имеющийся углерод в наплавленном сплаве при индукционной наплавке как элемент расходуется также на металлургические процессы: восстановление, раскисление, образование шлака.

В процессе кристаллизации наплавленного слоя количество и размер дендритов возрастают с уменьшением содержания углерода и с увеличением переохлаждения. Образование

дендритов по сечению в износостойком покрытии происходит объемно.

Для установления возможности удаления доэвтектической зоны и эвтектической в наплавленном слое упрочненного образца проводились исследования изменения структуры и свойств наплавленного сплава путем дополнительного воздействия на него электрической дуги графитового электрода и оптимизации технологии совместной индукционно-дуговой наплавки рабочих органов сельхозмашин.

При переплавлении поверхности заготовки упрочненного высоколегированным хромистым чугуном посредством графитового электрода происходит науглероживание расплава. В данном случае вводимый в материал углерод не расходуется на параллельные процессы, а изменяет химический состав, структуру в наплавленном слое высоколегированного хромистого чугуна.

Для исследования процесса науглероживания наплавленного слоя электродуговой переплав производили до середины образцов, остальную часть оставляли без изменения (рис. 1). Из образцов, подвергнутых совместно индукционной наплавке и электродуговому переплаву, вырезали темплеты (15*2 мм) для металлографических исследований и определения микротвердости по сечению наплавленного слоя.

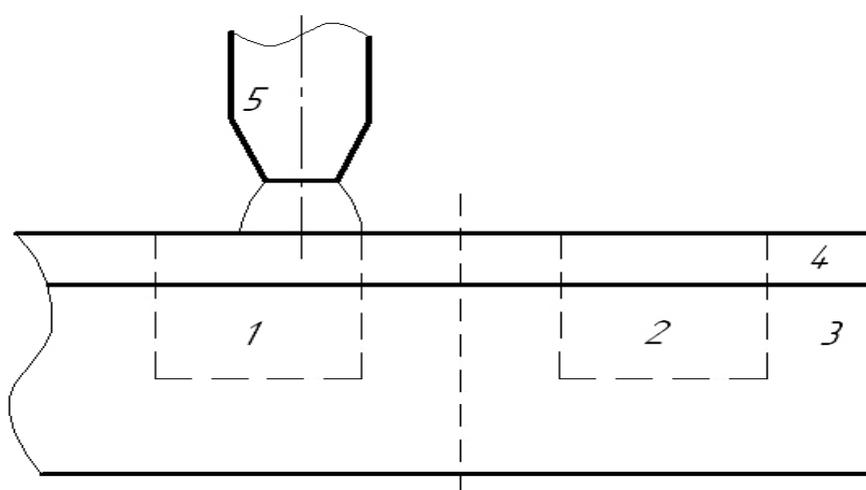
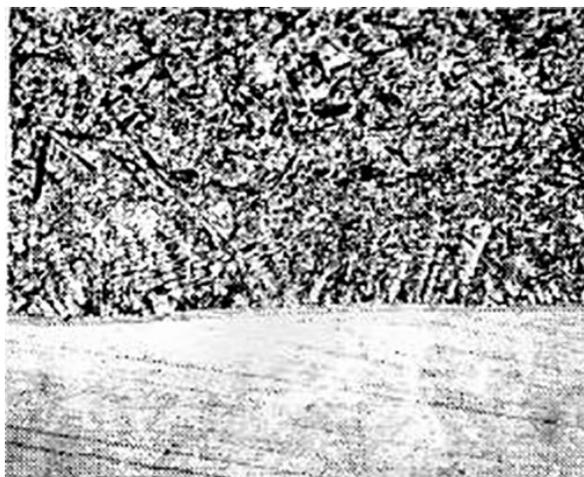


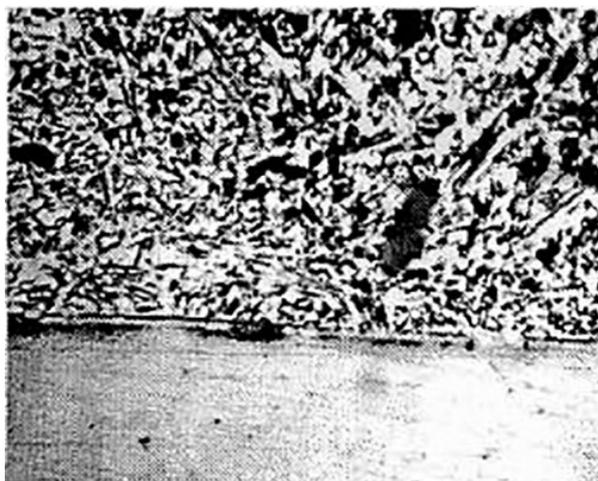
Рис. 1. Схема переплавления износостойкого сплава:
1, 2 – участки, вырезанные для металлографических исследований;
3 – основной металл; 4 – наплавленный слой твердого сплава; 5 – графитовый электрод

На рисунке 2 изображены микроструктуры высоколегированного хромистого чугуна марки ПГ-С27 на стали 65Г (ГОСТ 1050-85), образовавшиеся после индукционной наплавки (а) и дополнительного переплава под действием электрической дуги графитового электрода (б).

В результате воздействия электрической дуги графитового электрода, как следует из рисунка 2б, в наплавленном слое отсутствуют нежелательные структуры: доэвтектическая и эвтектическая зоны (участки) вследствие легирования углеродом расплава через электрическую дугу.



а



б

Рис. 2. Структура наплавленного слоя (x150) до переплава (а) и после его переплавления электрической дугой графитового электрода (б)

Кроме того, происходит изменение формы и размеров карбидных включений, а также несколько увеличивается протяженность границы раздела основной металл-наплавленный слой. Размер карбидных включений уменьшается и приближается к ланцетовидной форме из-за воздействия высоких температур [8, 9].

Вследствие высокотемпературного воздействия при горении электрической дуги изменяется фазовый состав наплавленного сплава.

Об активизации диффузионных процессов и увеличении содержания углерода в системе свидетельствует также и изменение микротвердости наплавленного слоя (рис. 3).

В наплавленном и переплавленном слое высоколегированного хромистого чугуна марки ПГ-С27 эмиссионным спектральным анализатором определяли содержание хрома и углерода с целью установления насыщения упрочняемого покрытия углеродом и выгорание хрома. В результате воздействия электрической дуги графитового электрода углерода увеличилось с 3,9 до 4,7%, а хрома уменьшилось с 27,8 до 27,1%. Количество карбидной фазы возросло с 40 до 52%, которую определяли методом планометрирования.

Как следует из кривых, приведенных на рисунке 3, в результате дополнительного насыщения наплавленного слоя углеродом возрастает твердость на упрочняемой поверхности детали (заготовки), изменяются размер карбидов и количество карбидной фазы. В структуре наплавленного слоя устраняются две зоны: доэвтектическая и эвтектическая, увеличивается количество карбидной фазы с 40 до 52%, размер карбидов становится одинаковым по всему наплавленному слою от 15 до 25 мкм. Микротвердость в этой зоне биметаллического соединения стали 65Г и сплава марки ПГ-С27 становится практически одинаковой по всей толщине износостойкого покрытия в отличие от варианта упрочнения только индукционной наплавкой. Необходимо отметить, что ширина граничной полосы между соединяемыми материалами увеличилась почти в 1,5 раза.

Выявленные особенности изменения структуры и механические свойства в упрочняющем слое, полученном индукционной наплавкой сплава марки ПГ-С27 и последующим его переплавом дугой графитового электрода, позволяют рекомендовать предлагаемое технологическое воздействие для усиления отдельных участков рабочих органов сельскохозяйственных машин, которые работают в условиях повышенного износа или для исправления брака. В этом случае равномерно высокая твердость наплавленного слоя и его структура обеспечивают более длительную эксплуатацию детали.

Для того чтобы оценить влияние воздействия электрической дуги графитового электрода на износостойкость наплавленного заэвтектического высоколегированного хромистого чугуна, осуществляли индукционную наплавку носка стрелчатой лапы (сеялки СЗС-2.1) и производили переплав упрочненного покрытия. Упрочнение носка стрелчатой лапы обусловлено тем, что он подвергается наиболее интен-

сивному изнашиванию, чем другие части в реальных условиях. Это позволяет сохранять приемлемые для производителя технико-экономические и временные параметры технологии эксплуатации упрочненных рабочих органов сельхозмашин.

Динамика изменения конструктивных размеров, в процессе обработки почвы, стрелчатых лап зависит от многих параметров:

- технических характеристик испытываемых стрелчатых лап (марка стали, тип упрочнения, твердость наплавленного слоя);
- геометрических параметров стрелчатых лап, ширины захвата, ширины крыла, радиуса носка, толщины лезвия, угла раствора крыльев, угла постановки крыла к дну борозды, угла заточки лезвия;
- состояния почвы (твердость и плотность, абразивность). Наиболее характерным показателем износа стрелчатой лапы является радиус его закругленного носка (рис. 4).

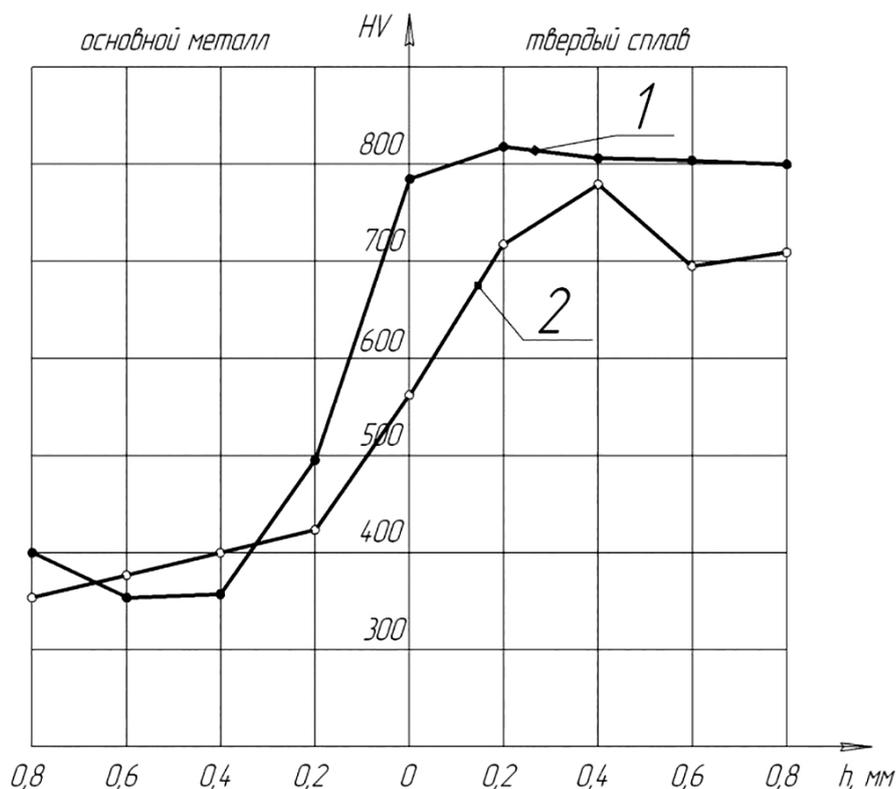
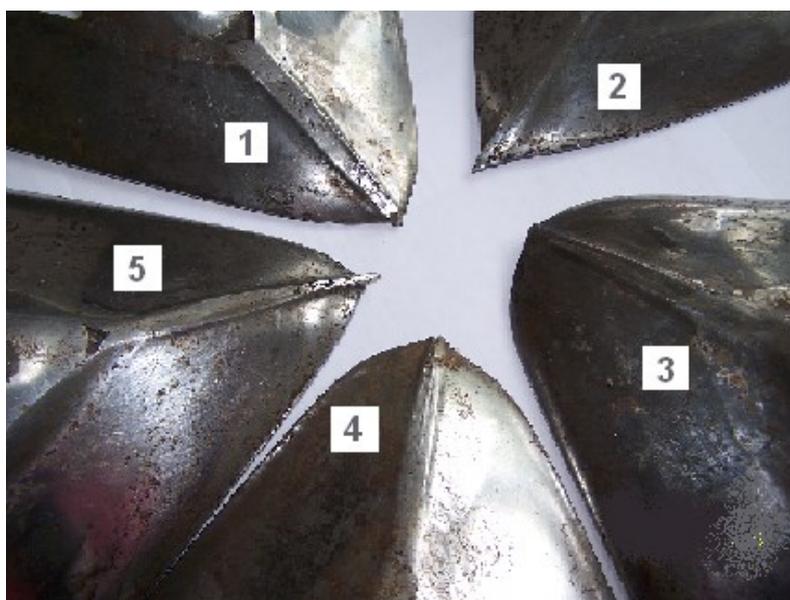


Рис. 3. Распределение микротвердости сплава марки ПГ-С27, наплавленного на сталь 65Г по глубине покрытия:
1 – после переплава дугой графитового электрода; 2 – без переплава



**Рис. 4. Форма износа носка стрелчатой лапы в зависимости от плотности почвы:
1 – 1,48-1,55 г/см³; 2, 5 – 1,23-1,43 г/см³; 3, 4 – 1,61-1,83 г/см³**

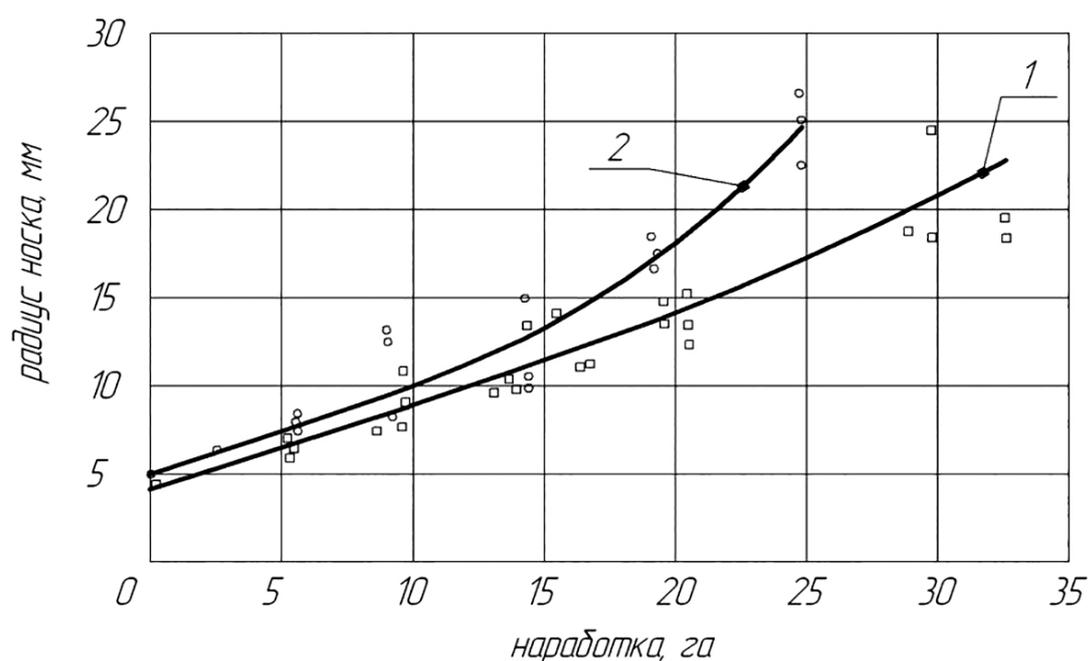


Рис. 5. Износ носка стрелчатой лапы упрочненных (1) и контрольных (2) рабочих органов сеялки СЗС-2,1

В данной работе также были проведены исследования параметров этих опытных стрелчатых лап, которые проводились в 2017-2019 гг. в период весеннего сева на полях СХА ПЗ «Шумановский» Немецкого Национального района Алтайского края.

По изменению радиуса носка стрелчатой лапы в процессе обработки почвы оценивали износостойкость (рис. 5). Результаты испытаний показали, что стрелчатые лапы, наплавленные сплавом марки ПГ-С27 и переплавленные электрической дугой графитового элек-

трода, противостоят абразивному изнашиванию на 15-22% больше.

Технология их изготовления предполагает легирование носовой части углеродом. Это повышает твердость на 2-3 единицы по HRC по сравнению с твердостью крыльев.

Изменение износа носка упрочненных и контрольных рабочих органов сеялки культиватора, в зависимости от наработки, приходящейся на один рабочий орган, представлено графически на рисунке 5.

Наблюдения за изнашиванием рабочих органов показывают, что интенсивность этого процесса различается для упрочненных и контрольных рабочих органов.

Выводы

1. Разработана новая технология упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин (индукционно-дуговая наплавка), заключающаяся в последовательном осуществлении операций:

- индукционной наплавки твердого сплава системы Fe-C-Cr;

- последующей переплавки полученного покрытия дугой графитового электрода.

2. Проведено упрочнение индукционно-дуговой наплавкой носка стрелчатой лапы сеялки СЗС-2,1 высоколегированным хромистым чугуном марки ПГ-С27, с последующим переплавом покрытия дугой графитового электрода (диаметр 8 мм, обратная полярность дуги, сила сварочного тока 80 А, напряжение 25 В).

3. Применение новой технологии позволило получить упрочненные рабочие органы с эксплуатационными характеристиками, сравнимыми с контрольными, но превосходящими их в 1,3-2,6 раза по износостойкости (в зависимости от контролируемого параметра или наработки), кроме того, произошло улучшение качества упрочняющего покрытия (трещины, разнотолщинность, шлаковые включения).

Библиографический список

1. Износостойкие композиционные покрытия для рабочих органов сельхозмашин: монография / С. А. Соловьев, В. В. Иванайский, А. В. Ишков [и др.]. – Москва: РАН, 2020. – 186 с. – Текст: непосредственный.

2. Сравнительные исследования износа стрелчатых лап производства «АНИТИМ», выполненных из различных конструкционных материалов / Н. Т. Кривочуров, В. В. Иванайский, А. В. Ишков [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 11 (169). – С. 99-107.

3. Ткачев, В. Н. Некоторые факторы, определяющие структуру и износостойкость при индукционной наплавке / В. Н. Ткачев, Б. М. Фиштейн. – Текст: непосредственный // Автоматическая сварка. – 1964. – № 11. – С. 57-64.

4. Ткачев, В. Н. Особенности структуры при индукционной наплавке / В. Н. Ткачев, Б. М. Фиштейн. – Текст: непосредственный // Индукционная наплавка износостойких сплавов: сборник статей / под редакцией В. Н. Ткачева ОПТИ. – Ростов-на-Дону, 1963. – С. 41-55.

5. Иванайский, В. В. Физико-химические и технологические основы управления структурой и свойствами защитного износостойкого покрытия на рабочих органах сельхозмашин: монография / В. В. Иванайский. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2010. – 187 с. – Текст: непосредственный.

6. Боль, А. А. Оптимизация процесса индукционной наплавки / А. А. Боль, В. Н. Коваль, В. П. Тимошенко [и др.]. – Текст: непосредственный // Известия СО АН СССР. Серия: Технические науки. – 1985. – № 10. – Вып. 2. – С. 86-82.

7. Тимошенко, В. П. Разработка технологии индукционной наплавки с регулируемым тепловложением: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тимошенко В. П. – Барнаул, 1989. – 12 с. – Текст: непосредственный.

8. Совместная индукционно-дуговая наплавка рабочих органов сельхозмашин / В. В. Иванайский, Н. Т. Кривочуров, А. С. Шайхудинов, А. В. Ишков. – Текст: непосредственный // Ползуновский альманах: материалы XI Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств». – Барнаул, 2010. – № 1. – С. 33-39.

9. Ишков, А. В., Иванайский В.В., Кривочуров Н.Т., Мишустин Н.М., Шайхудинов А.С. Получение износостойких и защитных покрытий на рабочих поверхностях почвообрабатывающих органов сельхозтехники: современное состояние и перспективы направления исследований: обзор / А. Д. Алматова, Е. А. Бадмаева, С. Н. Бережко и [и др.] // Научные исследования, информация, анализ, прогноз: монография. – Кн. 35. – Гл. X. / под общей редакцией О. И. Кирикова. – Воронеж: Изд-во ВГПУ, 2011. – С. 156-176. – Текст: непосредственный.

References

1. Solovev S.A. Iznosostoykie kompozitsionnye pokrytiya dlya rabochikh organov selkhoz mashin: monografiya / S.A Solovev, V.V. Ivanayskiy, A.V. Ishkov, N.T. Krivochurov i dr. – Moskva, RAN, 2020. – 186 s.

2. Krivochurov N.T. Sravnitelnye issledovaniya iznosa strelchatykh lap proizvodstva «ANITIM», vypolnennykh iz razlichnykh konstruksionnykh materialov / N.T. Krivochurov, V.V. Ivanayskiy, A.V. Ishkov i dr. // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 11 (169). □ S. 99-107.

3. Tkachev, V.N. Nekotorye faktory, opredelyayushchie strukturu i iznosostoykost pri induktsionnoy naplavke / V.N. Tkachev, B.M. Fishteyn // Avtomaticheskaya svarka. – 1964. – No. 11. – S. 57-64.

4. Tkachev, V.N. Osobennosti struktury pri induktsionnoy naplavke / V.N. Tkachev, B.M. Fishteyn // Induktsionnaya naplavka iznosostoykikh splavov: Sb. st. pod red. V.N. Tkacheva OPTI. – Rostov-na-Donu, 1963. – S. 41-55.

5. Ivanayskiy, V.V. Fiziko-khimicheskie i tekhnologicheskie osnovy upravleniya strukturoy i svoystvami zashchitnogo iznosostoykogo pokrytiya na rabochikh organakh selkhoz mashin: monografiya / V.V. Ivanayskiy. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2010. – 187 s.

6. Bol, A.A. Optimizatsiya protsessa induktsionnoy naplavki / A.A. Bol, V.N. Koval, V.P. Timoshenko i dr. // Izvestiya SO AN SSSR. Ser. Tekh. nauki. – 1985. – No. 10. – Vyp. 2. – S. 86-82.

7. Timoshenko, V.P. Razrabotka tekhnologii induktsionnoy naplavki s reguliruемым teploizlozheniem: avtoref. dis. na soisk. uch. st. kand. tekhn. nauk / V.P. Timoshenko. – Barnaul, 1989. – 12 s.

8. Ivanayskiy, V.V. Sovmestnaya induktsionno-dugovaya naplavka rabochikh organov selkhoz mashin / V.V. Ivanayskiy, N.T. Krivochurov, A.S. Shaykhudinov, A.V. Ishkov // Polzunovskiy almanakh: mater. XI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Problemy i perspektivy razvitiya liteynogo, svarochnogo i kuznechno-shtampovochnogo proizvodstv. – Barnaul, 2010. – No. 1. – S. 33-39.

9. Ishkov, A.V., Ivanayskiy V.V., Krivochurov N.T., Mishustin N.M., Shaykhudinov A.S. Poluchenie iznosostoykikh i zashchitnykh pokrytiy na rabochikh poverkhnostyakh pochvoobrabatyvayushchikh organov selkhoz tekhniki: sovremennoe sostoyanie i perspektivy napravleniya issledovaniy. Obzor / A.D. Almatova, E.A. Badmaeva, S.N. Berezhko i dr. // Nauchnye issledovaniya, informatsiya, analiz, prognoz: monografiya. – Кн 35. – Гл. X / obshch. red. O.I. Kirikova. – Voronezh: Izd-vo VGPU, 2011. – S. 156-176.

