

2024. – Т. 17, № 6. – С. 161-171. – DOI 10.26794/1999-849X-2024-17-6-161-171. – EDN LMMDSJ.

7. Проектно-ориентированная целевая подготовка кадров в партнерстве "вуз - предприятие" / В. М. Кутузов, А. В. Бархатов, В. И. Веремьев [и др.] // Планирование и обеспечение подготовки кадров для промышленно-экономического комплекса региона. – 2020. – Т. 1. – С. 10-13. – EDN CIFSGB.

8. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пензенской области URL: <https://58.rosstat.gov.ru/>

9. Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ (ред. от 28.02.2025) "Об образовании в Российской Федерации" URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/

УДК 631.3:621.791:620.179.1

С.О. Нукешев¹, *д-р. техн. наук, профессор,*
Д.Ш. Косатбекова¹, *PhD,*

Н.Н. Романюк², *канд. техн. наук, доцент*

¹*Казахский агротехнический исследовательский университет
им. С. Сейфуллина, г. Астана,*

²*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТВЕРДОСТИ ДОЛОТА СОШНИКА ЗЕРНОТУКОТРАВЯНОЙ СЕЯЛКИ ОТ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ

Ключевые слова: зернотукотравяная сеялка, долото сошника, упрочнение, сложные сплавы, микроструктурный анализ.

Keywords: grain-fertilizer-grass seeder, coulter chisel, hardening, complex alloys, microstructural analysis.

Аннотация. В статье рассматривается упрочнение рабочего органа сеялки – долота сошника композиционно сложным сплавом в качестве электрода. Измерение твердости по шкале Виккерса позволило получить графическую зависимость твердости от химического состава сплава, при этом установлено, что твердость наплавки электродом Т590 с четырех компонентным сплавом Х25С2ГР имеет наибольшее значение 548÷815НВ.

Summary. The article discusses the strengthening of the working element of the seeder – the coulter chisel with a composite complex alloy as an electrode. Measuring the hardness on the Vickers scale allowed us to obtain a graphical dependence of the hardness on the chemical composition of the alloy, while it was found that the hardness of the surfacing with the Т590 electrode with the four-component alloy Kh25S2GR has the highest value of 548÷815HV.

Композиционно сложные сплавы, состоящие из трех и более основных элементов (X25C2ГР, X28H4C4, CoCrFeMnNi), в последние несколько лет получили значительное применение в машиностроении из-за механических свойств, таких как текучесть, прочность и пластичность при снижении температуры. Многими авторами [1-3] было изучено влияние хрома на механические свойства деталей. Однако воздействие композиционно сложных сплавов на механические свойства, таких как абразивная стойкость деталей, особенно рабочих органов сельскохозяйственных машин, практически не изучено. Бор является уникальным микролегирующим элементом, однако он дорогой. А в композиционно сложном сплаве X28H4C4 содержится легирующий элемент никель, который повышает коррозионную стойкость, прочность и пластичность, однако он также является дорогим металлом, поэтому его заменяют более дешевым. Рекомендуемые твердости от производителей X25C2ГР – 57÷63 HRC, а у X28H4C4 – 53÷57 HRC.

Целью данного исследования является выявление зависимости твердости долот сошников зернотукотравяной сеялки из стали 65Г от химического состава разным методом упрочнения.

Исследования выполнены в рамках реализации проекта АР05134800 "Разработка автоматизированной зернотукотравяной сеялки для дифференцированного прямого посева сельскохозяйственных культур под покровные культуры и в дернину с одновременным внесением минеральных удобрений".

Методы исследования

Были исследованы образцы долот сошников зернотукотравяной сеялки [4-7], изготовленные из конструкционной рессорно-пружинной стали 65Г (рисунок 1).



Рисунок 1 – Испытуемые образцы долот для определения микроструктур и микротвердости, упрочненные разным методом

Для определения микроструктурного анализа и влияния химического состава на микротвердость были отобраны образцы долот, упрочненные следующим методом: типовой (заводской) метод термической обработки (рисунок 1, образец 7), ТВЧ-закаленный при температуре в пределах 800 –

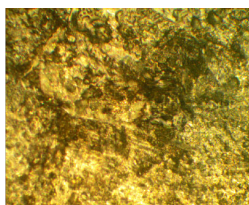
820°С в закалочной среде – в масле (рисунок 1, образец 3), наплавленные твердосплавными электродами Т590 (Mn 1,0-1,5%, Si 2,0-2,5%, С 2,9-3,5%, P ≤ 0,04, S ≤ 0,035, Cr22,0- 27,0, В 0,5-1,5) типа Э–320Х25С2ГР (рисунок 1, образец 1) и ЦС-1 (сормайт №1) типа Э-300Х28Н4С4 (Cr=27,5%, Ni=2,98-4,0% и Si2,0-4,0%) диаметром 5,0 мм (рисунок 1, образец 6).

Микроструктурный анализ был проведен на опытных образцах рабочего органа сошника с помощью микроскопа Биомед ММР-1, который имеет диапазон увеличения от 40 до 1250 крат. Образцы были исследованы с помощью объектива ЕА 10х/0,25/160/0,17/.

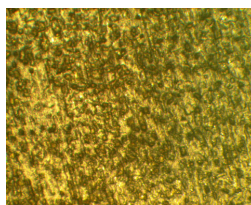
Для измерения твердости образца был применен твердомер МЕТ-У1А для локального измерения твердости методом Виккерса (HV).

Результаты и обсуждения

Микроструктурный анализ. Металлографический анализ показал, что в исходном состоянии поверхность стали 65Г состоит из феррита и пластинчатого перлита, цементита (рисунок 2).



а) стали 65Г по заводской технологии
(образец 7)



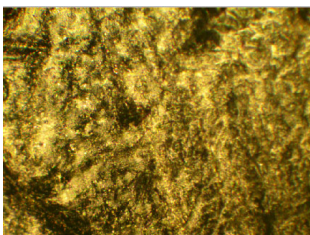
б) стали 65Г после термической
обработки (образец 3)

Рисунок 2 – Микроструктура диффузионного слоя образцов

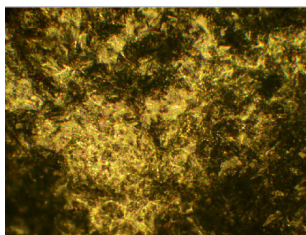
На рисунке 3, а дана микроструктура диффузионного слоя образцов стали 65Г после термической обработки, где видно, что в структуре поперечного сечения стали 65Г после поверхностной закалки на поверхности наблюдается темно-травящийся закаленный слой мартенситной структуры и слой термического влияния. После термической обработки наблюдается формирование зерен мартенсита, по границе которых расположены мелкие частицы карбидов легирующих элементов. Исходная микроструктура образцов перед упрочнением представляла собой крупнозернистый перлит, окруженный ферритом (рисунок 2, б), с равномерным диаметром зерна.

После упрочнения проволокой Т590 и сормайтом происходит значительное измельчение структуры. Размер мартенситных игл уменьшается, у сормайтных мартенситные иглы более крупные (рисунок 3, б), а на поверхности, упрочненной проволокой Т590, более мелкий

игольчатый мартенсит, который в диффузионном слое формируется благодаря цементиту вторичному и цементиту перлита в структуре (рисунок 3, а).



а) после упрочнения электродом T590



б) после упрочнения сормайтотом

Рисунок 3 – Микроструктура образцов стали 65Г после упрочнения

На рисунке 3 указаны фотографии микроструктуры границы наплавки до и после травления образца под номером 1, светлая часть – это сталь 65Г, а темная часть упрочненна T590. На границе можно увидеть мелкие частицы карбидов хрома, марганца, кремния и бора.

Измерение твердости. Локальное измерение твердости данных образцов (рисунок 1) твердомером MET-Y1A (рисунок 3, а) динамическим методом ультразвукового контактного импеданса (UCI) по шкале Виккерса (HV) было произведено с 20 повторениями.

В результате микротвердость долота под номером 1 по шкале Виккерса колебалась между $815 \div 548 \text{ HV}$, у образца 3 – $391 \div 112 \text{ HV}$, у образца 6 – $657 \div 305 \text{ HV}$ и у образца 7 – $333 \div 100 \text{ HV}$. Следовательно, образец 1, наплавленный твердосплавным электродом T590 имеет почти в 2,5 раза твердость больше, чем у образца 7. В то же время ТВЧ-закаленный образец под номером 3 имеет почти схожие результаты измерения твердости с образцом 7, термической обработкой по типовому методу. А наплавленный сормайтотом ЦС-1 образец под номером 6 имеет в 1,2 раза меньше твердость, чем у образца 1, однако почти в 2 раза больше твердость в сравнении с образцом 7.

Химический состав электрода на основе Марганец-Кремний-Бор-Хром имеет наивысшие показатели, чем электрода на основе Марганец-Кремний-Никель-Хром с небольшим содержанием хрома, то есть у T590 хром $22,0 \div 27,0\%$, когда у ЦС-1 хром $25,0 \div 31,0\%$.

Выводы. По результатам микроструктурного анализа, упрочненные наплавкой электродами марки T590 и сормайтотом имеют в конечной структуре цементит вторичный и цементит перлита, повышающие твердость материала.

Состав легирующих элементов в композиционно сложных сплавах, особенно бор и никель, значительно воздействует на твердость. Однако присутствие никеля (ЦС-1) удорожает себестоимость упрочненной детали, поэтому рекомендуется заменить на четырехкомпонентный сплав на основе бора (Т590).

Наплавленный твердосплавным электродом Т590 имеет почти в 2,5 раза больше твердость 815÷548HV, чем у образца 7, термической обработкой по типовому методу.

В качестве оптимального метода упрочнения долот для сельскохозяйственных машин рекомендуется упрочнение рабочих органов сошников сеялок электродами Т590 вместо типовой заводской термообработки.

Список использованной литературы

1. Odhiambo John Gerald, Li Wenge, Zhao Yuan Tao, Li Cheng Long, Li Qiang. Influence of plasma spraying current on the microstructural characteristics and tribological behaviour of plasma sprayed Cr_2O_3 coating. *Boletín De La Sociedad Española De Cerámica Y Vidrio* 60, P. 338–346, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2020.03.007>
2. G. Laplanche, A. Kostka, C. Reinhart, J. Hunfeld, G. Eggeler, E.P. George. Reasons for the superior mechanical properties of medium-entropy CrCoNi compared to high-entropy CrMnFeCoNi. *Acta Materialia*, 128, P. 292–303, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2017.02.036>
3. E. Kocaman, B. Kılınc, M. Durmaz, S. Sen, U. Sen. The influence of chromium content on wear and corrosion behavior of surface alloyed steel with $\text{Fe}_{(16x)}\text{Cr}_x(\text{B,C})_4$ electrode. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 24, P.533–542, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jestech.2020.08.003>
4. Нукешев С.О., Есхожин Д.З., Косатбекова Д.Ш. «Обоснование технологии конструктивно-технологической схемы зернотукотравной сеялки». *Байкальский Вестник ДААД. Иркутский государственный университет имени А.А. Ежовского*, №1, с.88-92, 2018.
5. Nukeshev S., Yeskhochin K., Akhmetov Y., Kossatbekova D., Tleumbetov K., Tanbayev K. Traction force investigation of the new working body of the sod seeder / *International Journal of Technology (IJTech)*, Vol 14, No 3, 2023, pp. 536-548, <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i3.6008>
6. Нукешев С.О., Есхожин Д.З., Ахметов Е.С., Тлеумбетов К.М., Косатбекова Д.Ш. Рабочий орган зернотукотравной сеялки. Исследование, результаты. ISSN 2304-3334, № 2 (86), с.327-337, 2020.
7. Kossatbekova, D.Sh. Investigation of dependence of hardness of grain–fertilizer–grass seeder chisel on chemical composition of the clad layer / D.Sh. Kossatbekova, S.O. Nukeshev, N.N. Romanyuk. – *Наука и техника Казахстана*. – 2024. – № 1. – С. 50–61.