

Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 4 (44). С. 73-80
Vestnik Kurganskoy GSNA. 2022; (4-44): 73-80

Научная статья
УДК 621.762
Код ВАК 4.3.1

DOI: 10.52463/22274227_2022_44_73
EDN: ZOMEKO

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ИЗ КАРБИДОСТАЛИ

Леонид Михайлович Савиных¹, Татьяна Александровна Дудорова², Станислав Юрьевич Помялов³, Тамара Александровна Вержбалович⁴

^{1, 2, 3, 4}Курганский государственный университет, Курган, Россия

¹savinih_LM.polytech@kgsu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1335-2980>

²dudorovatan@yandex.ru

³pomialov_45@mail.ru

⁴zhuksks@list.ru

Аннотация. В процессе эксплуатации детали машин стареют, теряют свою первоначальную прочность, большой износ вызывает коррозия металлов. Исследования по изучению коррозионной стойкости разработанного сплава TiC – 12X18H10T, проведенные на базе ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», показали, что данный сплав обладает хорошей стойкостью к агрессивным средам и подходит для изготовления деталей сельскохозяйственных машин. Изучение антифрикционных свойств показало высокую износостойкость карбидостали по сравнению с деталями, изготовленными литьем и штамповкой. Таким образом, данный сплав может быть конкурентноспособным с деталями, изготовленными по традиционной технологии: литьем или штамповкой из легированных сталей. Исследования заключаются в определении коррозионной стойкости карбидосталей, имеющих разный химический состав и различное содержание окисления TiC и стали 12X18H10T, с последующей рекомендацией этого сплава в качестве деталей в условиях работы абразивного износа, в том числе и при повышенных температурах. Для определения коррозионной стойкости были проведены высокотемпературные испытания, моделирующие работу карбидостали в наиболее жестких условиях. Проведены испытания ряда режущих и деформирующих инструментов, изготовленных из карбидостали TiC – 45 % 12X18H10T. Рассчитаны константы скорости окисления в атмосфере воздуха, отражающие зависимость скорости роста коррозии от температуры и содержания тугоплавкой фазы, рассчитана энергия активации окисления карбидостали. Получены положительные результаты при исследовании стойкости режущего и деформирующего инструмента из карбидостали TiC – 45 % 12X18H10T. Проведенные исследования для рассматриваемых сплавов были выполнены впервые и показали высокую стойкость инструмента, изготовленного из карбидостали TiC – 45 % 12X18H10T, а также, собственно, коррозионную стойкость карбидосталей до 1173 К. Следовательно, такие детали, изготовленные из предлагаемых материалов, показывают надежность работы как при высоких температурах, так и в коррозионных средах.

Ключевые слова: карбидосталь, высокотемпературное окисление, окалиностойкость, тугоплавкая фаза, воздушная атмосфера, коррозионная стойкость, стальная связка.

Для цитирования: Савиных Л.М., Дудорова Т.А., Помялов С.Ю., Вержбалович Т.А. Повышение эффективности ремонта сельскохозяйственной техники на основе применения инструмента из карбидостали // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 4 (44). С.73-80. https://doi.org/10.52463/22274227_2022_44_73

Scientific article

INCREASING THE EFFICIENCY OF AGRICULTURAL MACHINERY REPAIR BASED ON THE USE OF TOOLS FROM CARBIDE STEEL

Leonid M. Savinykh¹, Tatyana A. Dudorova², Stanislav Yu. Pomyalov³, Tamara A. Verzhbalovich⁴

^{1, 2, 3, 4}Kurgan State University, Kurgan, Russia

¹savinih_LM.polytech@kgsu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1335-2980>

²dudorovatan@yandex.ru

³pomialov_45@mail.ru

⁴zhuksks@list.ru

Abstract. During operation, machine parts age, lose their original strength, corrosion of metals causes a lot of wear. In this research, the goal was to investigate the corrosion resistance of the developed TiC – 12X18H10T alloy. Conducted studies of the corrosion resistance of carbide steel TiC – 45 % 12X18H10T showed that this alloy has good resistance to aggressive environments and is suitable for the manufacturing of agricultural machine parts. The conducted studies on antifricion properties showed high wear resistance of carbide steel in comparison with parts made by casting and stamping. Thus, this alloy can be competitive with parts made by traditional technology: casting or stamping from alloy steels. The research methodology. The research consists of determining the corrosion resistance of carbide steels having different chemical composition and

different TiC content and steel 12X18H10T, with subsequent recommendation of this alloy to be used as parts under abrasive wear conditions, including at elevated temperatures. To determine the corrosion resistance, high-temperature tests were carried out, simulating the operation of carbide steel in the most severe conditions. Oxidation rate constants in an air atmosphere were calculated, which reflect the dependence of corrosion growth rate on temperature and refractory phase content, and the activation energy of carbide steel oxidation was determined. The studies for the alloys in question were performed for the first time and showed high corrosion resistance of carbide steels up to 1173 K. Therefore, such parts made from the proposed materials show reliable operation both at high temperatures and in corrosive environments.

Keywords: carbide steel, high temperature oxidation, scale resistance, refractory phase, air atmosphere, corrosion resistance, steel bond.

For citation: Savinykh L.M., Dudorova T.A., Pomyalov S.Yu., Verzhbalovich T.A. Increasing the efficiency of agricultural machinery repair based on the use of tools from carbide steel. Vestnik Kurganskoy GSHA. 2022; (4-44): 73-80. https://doi.org/10.52463/22274227_2022_44_73. (In Russ)

Введение. В настоящее время эксплуатация сельскохозяйственных машин и оборудования превышает нормативные значения в несколько раз [1]. Для выполнения комплекса технологических операций необходим наиболее эффективный вариант технического оснащения [2-3]. Детали, используемые в производстве и ремонте техники для агропромышленного комплекса, в процессе их использования, подвергаются значительному воздействию факторов внешней среды, что вызывает их преждевременное разрушение и деформацию. В этой связи необходим выбор материалов, обладающих высокой прочностью и износостойкостью. Для повышения эффективности ремонта сельскохозяйственной техники предлагается применение инструмента из карбидостали [4]. Применение которого экономически более выгодно по сравнению с традиционным инструментом. Детали, применяемые в сельскохозяйственной технике, работают в очень тяжёлых условиях поэтому возможное изготовление деталей из предлагаемого материала представляет интерес. С этой целью нами были проведены соответствующие исследования по изучению коррозионной стойкости, окалиностойкости и жаростойкости. Полученные результаты позволяют выбирать соответствующий состав карбидостали как для изготовления инструмента так и деталей сельскохозяйственной техники [5-6].

Материалы и методы. Процесс высокотемпературного окисления карбидостали в воздушной атмосфере изучался термогравиметрическим методом на установке непрерывного взвешивания. Образцы перед испытаниями шлифовали на алмазном круге с последующей полировкой алмазными пастами. Перед испытаниями образцы подвергались обезжириванию.

Для изучения окалиностойкости применяли карбидостали с разным содержанием тугоплавкой составляющей и стали при температурах достаточно критичных для работы по соответствующей методике исследования [7].

Рассчитанные зависимости $\frac{\Delta m}{s}$, мг/см² (таблица 1). Данные $\frac{\Delta m}{s}$ от времени окисления и тем-

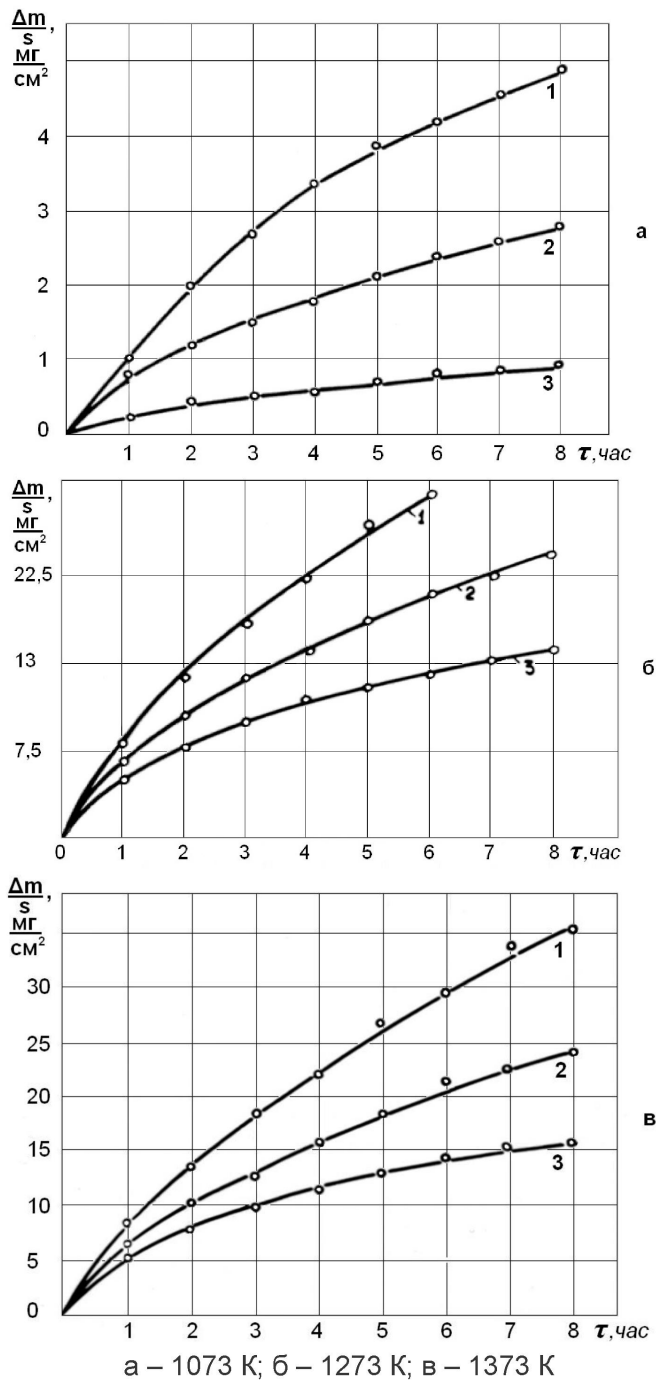
пературы для карбидосталей различных составов приводятся на рисунке 1.

Таблица 1 – Кинетика окисления карбидостали в воздушной атмосфере

| Температура, К | Состав карбидостали, об. % | | Показатель $\frac{\Delta m}{s}$, мг/см ² в зависимости от продолжительности окисления, ч. | | | | | | | |
|----------------|----------------------------|-----------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| | TiC | 12X18H10T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1073 | 45 | 55 | 0,2 | 0,4 | 0,46 | 0,55 | 0,77 | 0,82 | 0,86 | 0,95 |
| 1073 | 55 | 45 | 0,8 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,4 | 2,6 | 2,86 |
| 1073 | 65 | 35 | 1,0 | 2,0 | 2,7 | 3,4 | 3,9 | 4,2 | 4,6 | 4,9 |
| 1273 | 45 | 55 | 2,8 | 4,7 | 6,4 | 8,0 | 9,2 | 10,5 | 11,0 | 11,8 |
| 1273 | 55 | 45 | 4,8 | 7,2 | 9,3 | 11,0 | 12,4 | 13,9 | 15,0 | 16,1 |
| 1273 | 65 | 35 | 6,5 | 9,9 | 12,4 | 14,3 | 16,3 | 17,9 | 18,8 | 21,0 |
| 1373 | 45 | 55 | 5,1 | 7,7 | 9,9 | 11,7 | 12,9 | 14,3 | 15,5 | 16,4 |
| 1373 | 55 | 45 | 6,8 | 10,2 | 12,6 | 16,2 | 18,8 | 20,7 | 22,3 | 24,3 |
| 1373 | 65 | 35 | 8,4 | 13,5 | 18,6 | 22,3 | 27,2 | 30,0 | 34,7 | 35,7 |

Как видно из экспериментальных данных, до температуры 1273К карбидосталь обладает высокой стойкостью к окислению. Это явление можно объяснить наличием достаточно высокого содержания хрома в количестве 18 % с повышением температуры испытаний и уменьшением содержанием стальной составляющей карбидостали коррозионная стойкость уменьшается результаты испытаний согласуются с данными других исследователей [8-10].

Окисление на воздухе образцов горячепрессованного карбида титана, карбидостали TiC – 45 % 12X18H10T и нержавеющей стали при 873-1273 К показало, что окалиностойкость карбидостали больше окалиностойкости карбида титана, но меньше окалиностойкости нержавеющей стали 12X18H10T (таблица 2) [7].



а – 1073 К; б – 1273 К; в – 1373 К
 1 – 65 об. % карбида титана; 2 – 55 об. % карбида титана; 3 – 45 об. % карбида титана
 Рисунок 1 – Кинетика окисления карбидостали TiC – 12X18H10T

Таблица 2 – Привес образцов карбида титана, стали 12X18H10T и карбидостали TiC – 45 % 12X18H10T после 12-часового окисления в атмосфере воздуха

| Температура К | Привес, мг/см ² | | |
|---------------|----------------------------|--------------|---------------|
| | 12X18H10T | Карбидосталь | Карбид титана |
| 873 | 0,1 | 5,5 | 33,0 |
| 1073 | 1,6 | 7,8 | 35,6 |
| 1273 | 24,0 | 65 | 116,1 |

Окалина, образующаяся на испытуемых образцах, была прочно сцеплена с поверхностью карбидостали, имела темно-серый цвет, была непрозрачна [7]. Рентгеноструктурный анализ механически отделенной окалины от образцов показал, что она состоит, в основном из FeO и небольших количеств оксида хрома (Cr₂O₃), монооксида титана (TiO) и оксида железа (Fe₂O₃). Окалина немагнитна, что свидетельствует о небольшом содержании в ней Fe₃O₄.

Толщина оксидной пленки после окисления образцов в течение 8 часов в атмосфере воздуха, по замерам на микроскопе МБС-9, оказалась следующей.

- Окисление при: 1073 К – 0,050 – 0,070 мм;
- 1173 К – 0,100 – 0,012 мм;
- 1273 К – 0,150 – 0,160 мм;
- 1373 К – 0,200 – 0,220 мм.

Математической обработкой данных, представленных в таблице 1 и на рисунке 1, установлены закономерности окисления карбидостали TiC – 12X18H10T со стальной связкой в количестве 35, 45 и 55 %. При всех исследуемых температурах окисление карбидосталей протекает по логарифмическому закону (рисунок 2). Приведенная закономерность согласуется с данными по окислению карбидостали TiC – X18H15, впервые полученными С.С. Кипарисовым и В.К. Нарвой и другими исследователями [11-12].

Если окисление карбидостали протекает по логарифмическому закону, его можно описать следующим уравнением [6-7].

$$\frac{\Delta m}{s} = K \lg t + A, \tag{1}$$

где $\frac{\Delta m}{s}$ – приращение массы на единицу площади;
 К – константа скорости окисления;
 t – время окисления;
 А – константа.

Математической обработкой данных, представленных на рисунке 2, в соответствии с уравнением были найдены константы скорости окисления для всех исследуемых составов карбидостали и температур их окисления (таблица 3).

Таблица 3 – Константы скорости окисления карбидостали в атмосфере воздуха

| Температура К | Величина К для карбидостали | | |
|---------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|
| | TiC – 35 % X18H10T | TiC – 45 % 12X18H10T | TiC – 55 % 12X18H10T |
| 1073 | 4,4 | 2,3 | 0,84 |
| 1273 | 20 | 12,8 | 10,5 |
| 1373 | 31,6 | 20 | 12,7 |

Найденные константы скорости отражают количественную зависимость увеличения скорости коррозии с ростом температуры и содержания тугоплавкой фазы в карбидостали.

Полученные данные позволили рассчитать энергию активации окисления. Для этого определяли константу скорости окисления

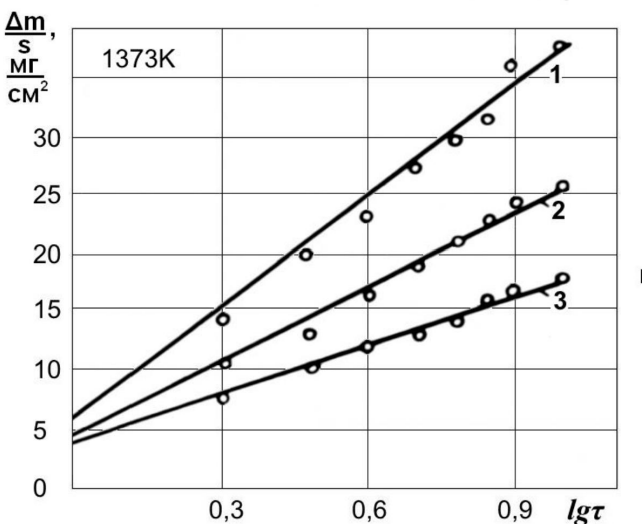
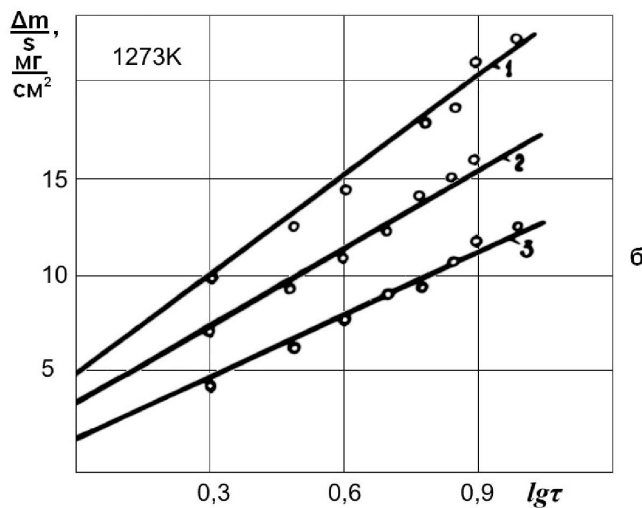
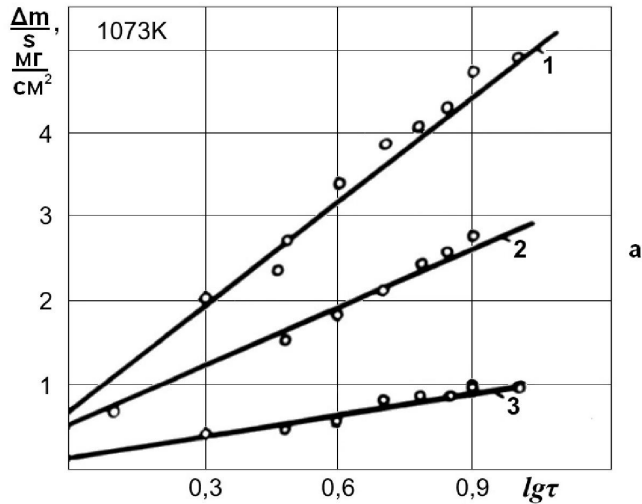
$$K = A \cdot e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (2)$$

где K – константа скорости окисления;
 A – константа;
 E – энергия активации;
 R – газовая постоянная;
 T – температура.

После логарифмирования имеем

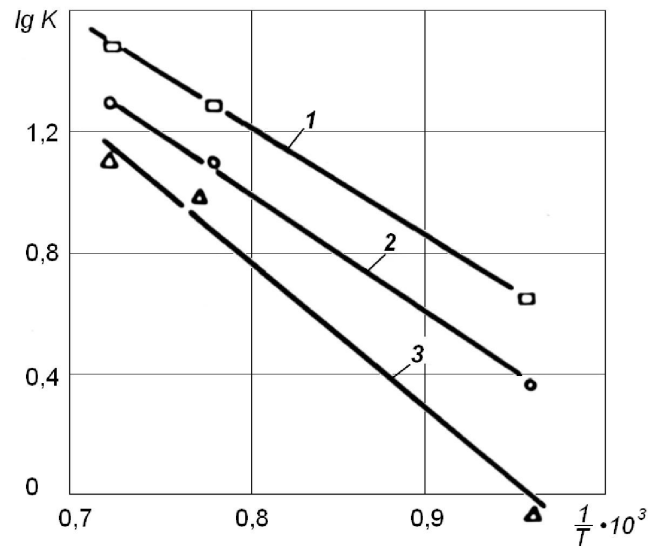
$$\ln K = \ln A - \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad (3)$$

По данным таблицы 4 на рисунке 3 построены линейные функции $\lg K = F\left(\frac{1}{T}\right)$ для различных карбидосталей и определены энергии активации их окисления, которые оказались равными: для карбидостали TiC – 35 % 12X18H10T – 79,28 кДж / моль; TiC – 45 % 12X18H10T – 84,83 кДж / моль; TiC – 55 % 12X18H10T – 109,25 кДж / моль;



1 – 30 % 12X18H10T; 2 – 45 % 12X18H10T;
 3 – 55 % 12X18H10T; а – 1073, б – 1273, в – 1373

Рисунок 2 – Кинетика окисления карбидосталей при температурах, К



1 – TiC – 35 % 12X18H10T, 2 – TiC – 45 % 12X18H10T, 3 – TiC – 55 % 12X18H10T

Рисунок 3 – Зависимость константы скорости окисления карбидосталей от температуры

Энергия активации окисления карбидосталей увеличивается с уменьшением карбидной фазы. Величина энергии активации свидетельствует, что процессы диффузии через оксидную пленку являются лимитирующей стадией процесса окисления [3].

Таблица 4 – Данные для расчета энергии активации окисления карбидосталей

| Т, К | $\frac{1}{T} \cdot 10^3$ | Величина К для карбидостали | | |
|------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | TiC – 35 % X18H10T | TiC – 45 % 12X18H10T | TiC – 55 % 12X18H10T |
| 1073 | 0,93 | 0,6434 | 0,3579 | 0,0757 |
| 1273 | 0,78 | 1,3008 | 1,1069 | 1,0200 |
| 1373 | 0,72 | 1,5006 | 1,3021 | 1,1041 |

Коррозионную стойкость карбидостали TiC – 45 % 12X18H10T в агрессивных средах определяли гравиметрическим способом. Продолжительность испытаний – 20 суток.

Таблица 5 – Коррозия карбидостали TiC – 45 % 12X18H10T в различных агрессивных средах

| Продолжительность испытаний, сутки | Убыль веса образца, г/м ² | | |
|------------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------|
| | 50 % р-р H ₃ PO ₄ | H ₃ PO ₄ | 50% р-р HNO ₃ |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 0,905 | 1,449 | 142,857 |
| 2 | 2,269 | 3,865 | 158,928 |
| 3 | 3,167 | 5,797 | 174,821 |
| 4 | 4,977 | 8,213 | 190,000 |
| 5 | 6,335 | 10,145 | 206,607 |
| 6 | 8,145 | 12,560 | 222,678 |
| 7 | 9,502 | 14,976 | 241,736 |
| 8 | 11,312 | 17,391 | 263,214 |
| 9 | 12,67 | 19,324 | 271,428 |
| 10 | 14,027 | 21,739 | 302,678 |
| 11 | 15,837 | 23,671 | 326, 25 |
| 12 | 21,719 | 26,087 | 341,071 |
| 13 | 26,697 | 28,502 | 357,500 |
| 14 | 28,054 | 30,435 | 381,071 |
| 15 | 29,412 | 32,367 | 404,643 |
| 16 | 29,860 | 34,299 | 423,571 |
| 17 | 30,769 | 36,715 | 445,357 |
| 18 | 31,674 | 37,198 | 449,464 |
| 19 | – | 37,681 | 464,643 |
| 20 | – | 38,647 | 483,750 |

Первоначальная масса образцов и их поверхность при испытании на коррозию были соответственно равны: в 50 % H₃PO₄ – 1,0388 г и 0,221·10⁻³ м²; в 100 % H₃PO₄ – 0,9478 г и 0,207·10⁻³ м² и в 50 % HNO₃ – 4,6010 г и 0,560·10⁻³ м². Харак-

теристики коррозионных сред и сведения о коррозионной стойкости карбидостали приведены в таблице 5, из которой следует, что коррозионный износ образцов из карбидостали происходит достаточно равномерно.

В таблице 6 полученные данные пересчитаны на скорость коррозии, мм/год и оценены в баллах в соответствии с десяти бальной шкалой ГОСТа 13819-68.

Таблица 6 – Скорость коррозии карбидостали TiC – 45 % 12X18H10T в различных кислотах

| Показатель | Коррозионная среда | | |
|--------------------------|--|--------------------------------|--------------------------|
| | 50% р-р H ₃ PO ₄ | H ₃ PO ₄ | 50% р-р HNO ₃ |
| K _н , мм/ год | 0,10 | 0,12 | 1,56 |
| Балл | 5 | 6 | 8 |

Как следует из результатов коррозионных испытаний, карбидосталь TiC – 45 % 12X18H10T обладает достаточно хорошей коррозионной стойкостью в ортофосфорной кислоте H₃PO₄, которая широко используется в основной химической промышленности.

Логичным завершением комплекса проведенных исследований стало проведение испытаний стойкости режущего и деформирующего инструмента, изготовленного из разработанной авторами карбидостали TiC – 45 % 12X18H10T, при обработке ряда деталей сельскохозяйственной техники резанием и пластическим изгибом (таблица 7).

Таблица 7 – Стойкость режущего и деформирующего инструмента

| Вид (тип) инструмента | Обрабатываемый материал | Сравниваемый материал | Коэффициент стойкости |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Резец отрезной | ЭИ 617 | P6M5 | 2,1...2,5 |
| Резец резьбовой [13] | ЭИ 617 | P6M5 | 1,8...2,1 |
| Фреза концевая 0/20 мм | 5XHM (HRC-46) | P6M5 | 9,1...9,7 |
| Штемпель (правильный боёк) [14] | Ст.40X | X12M | 32...39 |
| Ролики (обкатные) [15] | Ст.40X | X12M | 15...17 |

Результаты исследований и их обсуждение. Полученные данные позволяют оценить коррозионную стойкость карбидосталей выявить количественное соотношение карбида титана и

стали 12X18H10T и выяснить диапазон температур, при котором тот или иной состав карбидостали будет работать в качестве деталей, применяемых для изготовления в сельскохозяйственных машинах, а также в различных агрегатах, применяемых для сушки зерна и, в том числе, в мясо-молочной перерабатывающей промышленности. Установлено что коррозионная стойкость карбидостали ниже, чем коррозионная стойкость стали 12X18H10T, но существенно выше, чем у карбида титана. Поэтому этот сплав будет работать аналогично как и в настоящее время применяемый. Научная новизна заключается в том, что впервые получен материал такого химического состава, а предложенная методика исследования коррозионной стойкости позволяет получить достаточную достоверную информацию о последующем применении этого материала при повышенных температурах, а также позволяет рекомендовать этот материал при изготовлении режущего [13-14] и деформирующего [15-16] инструмента, обладающего значительным коэффициентом стойкости по сравнению с ранее применяемыми [17-19] для тех же целей. Начатые авторами экспериментальные исследования показывают повышение кавитационной стойкости узлов ответственного назначения, что остается актуальной научно-технической задачей [16] более 20 лет.

Заключение. Установлена зависимость окисления карбидосталей при повышенных температурах и агрессивных средах, имеющих место при работе автотракторной и сельскохозяйственной техники, технологического оборудования перерабатывающих отраслей АПК, а так же в других отраслях экономики страны. Рассчитаны энергии активации (в зависимости от содержания TiC), свидетельствующие о направлении процесса диффузии. Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать данный материал для изготовления режущего и деформирующего инструмента, широко применяемого при ремонте сельскохозяйственной техники, преимущественно при восстановлении деталей ответственного назначения, а также для изготовления деталей с повышенной кавитационной стойкостью.

Список источников

1. Веселовский А.А. Влияние внешних антифрикционных покрытий на состояние поверхности и приработку упрочненных диффузией чугуновых зубчатых колес в паре // Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 2 (34). С. 58-61.
2. Окунев Г.А., Кузнецов Н.А., Луковцев А.В. Тенденции формирования парка тракторов для сельских товаропроизводителей // Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 4 (36). С. 74-80.
3. Гуревич Ю.Г., Савиных Л.М. Теоретические и технологические основы получения качественных изделий методом пропитки неспеченного карбидного каркаса // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2006. № 3. С. 40-42.
4. Применение процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для получения композиционных керамометаллических порошков на основе карбида титана и железа / А.П. Амосов [и др.] // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2018. Т. 20. № 4. С. 5-14.
5. Дьяченко А.Н., Крайценко Р.И., Курченко Е.И. Коррозионная стойкость металлов и сплавов в системе фтурсолей // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2017. Т. 19. № 4. С. 75-89.
6. Камелин И.М., Лысенко А.П., Кондратьева Д.С. Коррозия углеродистых сталей и чугуна в газовой фазе надсолевыми расплавами применяемыми в магниевой промышленности // Известия вузов. Цветная металлургия. 2019. № 1. С. 34-49.
7. Методы испытаний жаропрочных сплавов в сульфитно-оксидной коррозии (обзор) / Д.И. Медведев [и др.] // Труды ВИАМ. 2018. № 11 (71). С. 93-100.
8. Иванченко П.Г., Табулденов А.Н. Результаты сравнительных испытаний зерноуборочных комбайнов «Essil-730» и «Nova-340» на уборке пшеницы // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 1 (37). С. 69-73.
9. Косьмин А.А., Будиновский С.А., Мубо-яджян С.А. Жаро- и коррозионностойкое покрытие для рабочих лопаток турбины из перспективного жаропрочного сплава ВЖЛ21 // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 1 (46). С. 17-24.
10. Гуревич Ю.Г., Савиных Л.М. Износостойкие материалы для деталей машин. Курган: Изд-во Курганского ГУ, 2005. 145 с.
11. Базылева О.А., Аргинбаева Э.Г., Луцкая С.А. Методы повышения коррозионной стойкости жаропрочных никелевых сплавов (обзор) // Труды ВИАМ. 2018. № 4 (64). С. 2-8.
12. Гуревич Ю.Г., Савиных Л.М. Коррозионная стойкость карбидостали TiC – X18H10T // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.

2007. № 9. С. 23-26.

13. Высокотемпературное окисление высокоэнтропийных сплавов систем $Al_xCOCrFENiM$ ($M = Cu, Ti, V$) / Шабурова Н.А. [и др.] // Физическая мезомеханика. 2021. Т. 24. № 24. С.28-29.

14. Запивалов Д.Н., Томский И.С., Ваганой Р.К. Сравнение лабораторных и эксплуатационных условий испытаний по влиянию динамического фактора на скорость коррозии // Коррозия: материалы, защита. 2021. № 9. С. 39-46.

15. Гуревич Ю.Г., Нарва В.К., Фраге Н.Р. Карбидостали. М.: Металлургия, 1988. 144 с.

16. Пухов А.С., Манило Ив. Ив., Манило Иг. Ив. Повышение эффективности механической обработки крестовин после наращивания изношенных поверхностей // Проблемы модернизации АПК: материалы международной научно-практической конференции. – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2010. Т. 2. С. 359-361.

17. Ломоносов Ю.Н., Манило И.И. Особенности восстановления деталей типа тел вращения сельхозмашин правкой на прессах // Наука – сельскому хозяйству: материалы зональной научной конференции. Курган: Зауралье, 1994. С. 225-227.

18. Манило И.И., Таранов А.С. Упрочнение деталей поверхностным пластическим деформированием в переменном магнитном поле // Научные проблемы развития ремонта, технического обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей: материалы международной научно-практической конференции. – М.: ГосНИТИ, 2007. С. 80-86.

19. Соловьев Р.Ю., Манило И.И. Повышение кавитационной стойкости рабочих поверхностей деталей сельхозмашин // Сто лет сибирской маслodelьной кооперации: материалы международной научно-практической конференции. Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2007. Т. 4. С. 108-109.

References

1. Veselovsky A.A. Vliyanie vneshnikh anti-friktsionnykh pokrytii na sostoyanie poverkhnosti i prirabotku uprochnennykh diffuziei chugunnykh zubchatykh koles v pare [Effect of external sliding coatings on surface condition and manufacture of diffusion-hardened cast iron spur gears in pair]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2020; (2-34): 58-61. (In Russ).

2. Okunev G.A., Kuznetsov N.A., Lukovtsev A.V. Tendentsii formirovaniya parka traktorov dlya sel'skikh tovaroproizvoditelei [Tendencies of forming a tractor

fleet for rural producers]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2020; (4-36): 74-80. (In Russ).

3. Gurevich Yu.G., Savinykh L.M. Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy polucheniya kachestvennykh izdelii metodom propitki nespechennogo karbidnogo karkasa [Theoretical and technological bases for obtaining high-quality products by impregnation of unsintered carbide framework]. *Izvestiâ vyssih učebnyh zavedenij. Černaâ metallurgijâ*. 2006; (3): 40-42. (In Russ).

4. Amosov A.P. et al. Primenenie protsessa samorasprostranyayushchegosya vysokotemperaturnogo sinteza dlya polucheniya kompozitsionnykh keramo-metallicheskich poroshkov na osnove karbida titana i zheleza [Application of the process of self-propagating high-temperature synthesis to obtain composite ceramic-metal powders based on titanium and iron carbide]. *Bulletin of PNRPU. Mechanical engineering, materials science*. 2018; (20-4): 5-14. (In Russ).

5. Dyachenko A.N., Kraitsenko R.I., Kurchenko E.I. Korrozionnaya stoikost' metallov i splavov v sisteme ftursolei [Corrosion resistance of metals and alloys in the system of fluid salts]. *Bulletin of PNRPU. Mechanical engineering, materials science*. 2017; (19-4): 75-89. (In Russ).

6. Kamelin I.M., Lysenko A.P., Kondratieva D.S. Korroziya uglerodistykh stalei i chuguna v gazovoi faze nadsolevymi rasplavami primenyaemymi v magnievoi promyshlennosti [Corrosion of carbon steels and cast iron in the gas phase by supra-salt melts used in the magnesium industry]. *Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy*. 2019; (1): 34-49. (In Russ).

7. Medvedev D.I. et al. Metody ispytaniï zharoprochnykh splavov v sul'fitno-oksidnoi korrozii (obzor) [Test methods for heat-resistant alloys in sulfite-oxide corrosion (review)]. *Proceedings of VIAM*. 2018; (11-71): 93-100. (In Russ).

8. Ivanchenko P.G., Tabuldenov A.N. Rezul'taty sravnitel'nykh ispytaniï zernouborochnykh kombainov «Essil-730» i «Nova-340» na uborke pshenitsy [Results of comparative tests of grain harvester «Essil-730» and «Nova-340» in wheat harvesting]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2021; (1-37): 69-73. (In Russ).

9. Kosmin A.A., Budinovskiy S.A., Muboyadzhyan S.A. Zharo- i korrozionnostoikoe pokrytie dlya rabochikh lopatok turbiny iz perspektivnogo zharoprochnogo splava VZhL21 [Heat- and corrosion-resistant coating for turbine rotor blades from a promising heat-resistant alloy VZhL21]. *Avi-*

ation *Materials and Technologies*. 2017; (1-46): 17-24. (In Russ).

10. Gurevich Yu.G., Savinykh L.M. *Iznosostoikie materialy dlya detalei mashin* [Wear-resistant materials for machine parts]. Kurgan: Kurganskii GU; 2005. (In Russ).

11. Bazyleva O.A., Arginbaeva E.G., Lutskaia S.A. Методы повышения коррозионной стойкости жаропрочных никелевых сплавов (обзор) [Methods for improving the corrosion resistance of heat-resistant nickel alloys (review)]. *Proceedings of VIAM*. 2018; (4-64): 2-8. (In Russ).

12. Gurevich Yu.G., Savinykh L.M. Korroziionnaya stoikost' karbidostali TiC – X18N10T [Corrosion resistance of TiC carbidostal – Kh18N10T]. *Izvestiâ vysših učebnyh zavedenij. Černaâ metallurgijâ*. 2007; (9): 23-26. (In Russ).

13. Shaburova N.A. et al. Vysokotemperaturnoe okislenie vysoko entropiinykh splavov sistem AlKhCOCRFENIM (M = SU, TI, V) [High-temperature oxidation of high-entropy alloys of AlX COCRFENIM (M = CU, TI, V) systems]. *Physical Mesomechanics*. 2021; (24-24): 28-29. (In Russ).

14. Zapivalov D.N., Tomsky I.S., Vaganoy R.K. Sravnenie laboratornykh i ekspluatatsionnykh uslovii ispytanii po vliyaniyu dinamicheskogo faktora na skorost' korrozii [Comparison of laboratory and operational test conditions on the influence of the dynamic factor on the corrosion rate]. *Korroziya: Materialy, Zashchita*. 2021; (9): 39-46. (In Russ).

15. Gurevich Yu.G., Narva V.K., Frage N.R. *Karbidostali*. M.: Metallurgiya; 1988. (In Russ).

16. Pukhov A.S., Manilo I.V., Manilo I.G. Povyshenie effektivnosti mekhanicheskoi obrabotki krestovin posle narashchivaniya iznoshennykh poverkhnostei [Improving the efficiency of mechanical processing of crosses after building up worn surfaces]. *Materials of the international scientific and practical conference «Problems of modernization of the agro-industrial complex»*. Kurgan: Kurganskaya GSKhA, 2010; (2): 359-361. (In Russ).

17. Lomonosov Yu.N., Manilo I.I. Osobennosti vosstanovleniya detalei tipa tel vrashcheniya sel'khoz mashin pravkoi na pressakh [Features of the restoration of parts such as bodies of rotation of agricultural machines by straightening on presses]. *Materials of the zonal scientific conference «Science to agriculture»*. Kurgan: Zaural'e; 1994: 225-227. (In Russ).

18. Manilo I.I., Taranov A.S. Uprochnenie deta-

lei poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniem v peremennom magnitnom pole [Hardening of Parts by Surface Plastic Deformation in an Alternating Magnetic Field]. *Proceedings of the international scientific and practical conference «Scientific problems of the development of repair, maintenance of machines, restoration and hardening of parts»*. M.: GosNITI; 2007: 80-86. (In Russ).

19. Solovyov R.Yu., Manilo I.I. Povyshenie kavitatsionnoi stoikosti rabochikh poverkhnostei detalei sel'khoz mashin [Increasing the cavitation resistance of the working surfaces of agricultural machinery parts]. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Increasing the cavitation resistance of the working surfaces of agricultural machinery parts One Hundred Years of Siberian Buttermaking Cooperation»*. Kurgan: Kurganskaya GSKhA; 2007; (4): 108-109. (In Russ).

Информация об авторах

Л.М. Савиных – кандидат технических наук, доцент; AuthorID 851161.

Т.А. Дудорова – кандидат технических наук, доцент. AuthorID 1153163.

С.Ю. Помялов – AuthorID 1153158.

Т.А. Вержбалович – кандидат физико-математических наук, доцент; AuthorID 47974.

Information about the author

L.M. Savinykh – Candidate of Technical Sciences, associate professor; AuthorID 851161.

T.A. Dudorova – Candidate of Technical Sciences, associate professor. AuthorID 1153163.

S.Yu. Pomyalov – AuthorID 1153158.

T.A. Verzhbalovich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; AuthorID 47974.

Статья поступила в редакцию 07.04.2022; одобрена после рецензирования 12.10.2022; принята к публикации 16.11.2022.

The article was submitted 07.04.2022; approved after reviewing 12.10.2022; accepted for publication 16.11.2022.