

DOI

УДК 631.3.022:631.614

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ МУЛЬЧЕРОВ

А. В. Коломейченко, Р. Р. Соловьев, Р. Ю. Соловьев, Е. А. Максимов, С. Б. Карякин

Реферат. В сложившихся условиях существует многогранная актуальная проблема удовлетворения растущей потребности сельского хозяйства в современной и качественной технике. Мульчеры на тракторы, экскаваторы и мини-погрузчики становятся все более востребованными и популярными как вид навесного оборудования. Твердосплавные режущие элементы для мульчера отличаются высоким ресурсом, не требуют заточки, не боятся мелких камней в почве. Актуальная задача в плане импортозамещения – организация их производства на отечественных машиностроительных предприятиях, для чего необходима информация об используемых для изготовления материалах. Цель исследования – изучить детали рабочих органов для мульчеров иностранного производства и определить отечественные аналоги для организации промышленного производства в Российской Федерации. Твердость (HV) основание мульчера иностранного производства составляет 431...710; чистика – 221; твердосплавной пластины – 1068...1073; твердосплавной коронки – 1062...1076, державки резца – 51 HRC. Для производства рабочих органов мульчеров можно использовать российские аналоги конструкционных материалов. Державку резца и основание можно изготавливать из стали для отливок обыкновенной марок 40ХЛ или 35ГЛ ГОСТ 977-88. Для изготовления чистика подходит сталь хромистая марки 40Х или сталь марганцовистую марки 35ГЛ. Детали следует подвергать термоулучшению, состоящему из закалки и низкого отпуска для снятия напряжений. Для изготовления твердосплавных элементов резцов целесообразно использовать вольфрамовые спеченные сплавы марок ВК8 или ВК10. Припаять твердосплавные элементы следует припоями марок ЛНМц 49-9-0,2, МНМц 55-6-4 или МНМц 9-23,5, которые обеспечивают высокую прочность соединений стали с твердым сплавом 350...450 МПа. Приваривать чистик к основанию целесообразно следующим образом. Сначала корневые швы провариваются сварочной проволокой сплошного сечения Св-08Г2С полуавтоматической газовой сваркой. Затем сварное соединение поверхностно упрочняется сварочной порошковой проволокой Kiswel K-700HT или ВЕЛТЕК-Н565 полуавтоматической газовой сваркой. Такая технология обеспечивает получение сварочного шва твердостью 54...60 HRC.

Ключевые слова: мульчер, рабочий орган, резец, державка, чистик, материал, образец, твердость, сталь, твердый сплав, припой, пайка, сварочная проволока, сварка, зона термического влияния.

Введение. Мульчер – это вид специального оборудования, которое способно быстро срезать различную растительность на корню с последующим ее измельчением. На сегодняшний день рынок такого оборудования весьма разнообразен, производители предлагают мульчеры с различными характеристиками и особенностями в использовании [1].

Мульчер состоит из массивного ротора, который имеет горизонтальную ось вращения, а также режущих сменных рабочих органов. Ротор и рабочие органы – основные сборочные единицы, лимитирующими ресурс мульчера. Рабочие органы могут быть нескольких типов, наиболее популярны рабочие органы, жестко закреплённые на роторе. Они называются фиксированными, имеют твердосплавные элементы и изготавливаются в большом конструктивном разнообразии.

Рабочие органы мульчера эксплуатируются в тяжелых условиях, так как измельчают различные типы растительности, включая пни, деревья, кустарники. Возможен контакт с камнями различных размеров и почвой, которая выполняет функции абразива [2, 3].

Требования рынка к современным производителям специализированной техники и оборудования постоянно возрастают [4, 5]. Потребителям нужны конструкционные материалы, которые смогут улучшить эксплуатационные характеристики выпускаемой продукции, уменьшить затраты на ее

использование, снизить материалоемкость и продлить срок службы. Увеличение срока службы быстроизнашивающихся деталей – важная проблема современного машиностроения [6]. Малый срок службы снижает экономическую эффективность многих машин и оборудования и приводит к безвозвратным потерям металла [7, 8, 9].

Цель исследования – изучить детали рабочих органов для мульчеров иностранного производства, определить отечественные аналоги для организации промышленного производства в Российской Федерации.

Условия, материалы и методы. Исследуемые рабочие органы для мульчера включали резец основной (рис. 1) или резец боковой (левый/правый) с чистиком (рис. 2), державку резца (рис. 3) и болт с гайкой для их соединения. Рабочий орган в сборе (резец предварительно соединяется с державкой болтом с гайкой) устанавливается посредством приваривания державки к корпусу ротора. На резце основном напаяны 3 элемента – коронка и две пластины (рис. 1). Резцы боковые используют в двух вариантах исполнения. Они отличаются расположением чистика (левое или правое), который предназначен для удаления растительных остатков с торцевых поверхностей корпуса мульчера. На резце боковом имеются 4 напаянных элемента (рис. 2). Три из них припаяны аналогично резцу основному. Еще одна накладка припаяна к чистику,

который сваркой зафиксирован на основании.

Металлографические шлифы из деталей, составляющих рабочие органы мульчирующей фрезы, готовили с использованием современных, поверенных приборов: ручной отрезной станок для резки металлографических образцов Struers Labotom-5; автоматический гидравлический пресс Etos-100 для горячей запрессовки отрезанных образцов в смолу; полировальный станок Struers LaboPol-30/60 с полуавтоматическим вращателем запрессованных в смолу образцов Struers LaboForce-100 для шлифования и полирования от 1 до 6 металлографических шлифов одновременно. Резцы и их твердосплавные

элементы разрезались на установке для гидроабразивной резки.

Для исследований использовали спектрометр эмиссионный АРГОН-5СФ с аналитическим программным обеспечением; микроскоп металлографический «Альтами МЕТ 1Д» с программным обеспечением Thixomet PRO; твердомер Виккерса Q60A+; прибор для измерения твердости по методу Роквелла ТР 5006 М; нормативные документы (ГОСТ 1763-68, ГОСТ 8233-56, ГОСТ 5639-82). Измерение твердости проводили методом Виккерса при нагрузке 100 г. Для обеспечения точности результатов, исследование на каждом образце проводили с 3-х кратной повторностью.



Рис. 1 – Резец основной

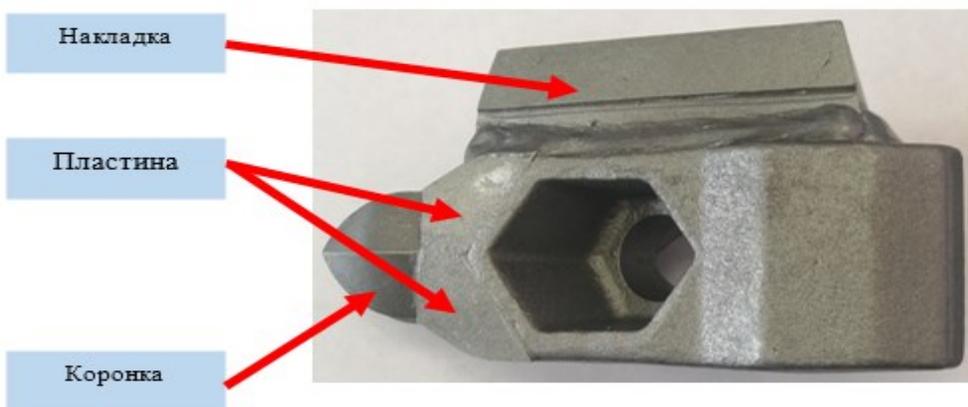


Рис. 2 – Резец боковой левой с чистиком



Рис. 3 – Державка резца

Результаты и обсуждение. При проведении исследований в материалах свариваемых деталей с твердостью ($HV_{0,1}$) 310...647 выявлены значительные зоны термического влияния (ЗТВ). Поэтому присоединять чистик к основанию сваркой технологически целесообразно до припайки твердосплавных

элементов, чтобы исключить возможное снижение прочности сцепления припоя с металлом или его расплавление и образование дефектов в паяных соединениях из-за нагрева деталей при наложении сварных швов, которые в некоторых местах практически накрывают места пайки на исследуемых деталях.

Таблица 1 – Твердость деталей «Резец основной» и «Резец боковой левый»

Деталь	Твердость, HV _{0,1}
«Резец основной»	444 (основание)
	354 (ЗТВ)
	135 (припой)
	1074 (коронка)
	431 (основание)
	310 (ЗТВ)
	134 (припой)
	1076 (коронка)
	1073 (пластина)
	«Резец боковой левый»
445 (ЗТВ)	
147 (припой)	
1062 (коронка)	
710 (основание)	
544 (основание)	
377 (ЗТВ)	
133 (припой)	
1068 (пластина)	
647 (ЗТВ)	
467 (шов-сварка)	
351 (сварочный материал)	
633 (основание)	
221 (чистик)	
471 (ЗТВ)	
405 (шов-сварка)	

Образование дефектов в виде пустот в паяных швах нежелательно, так как отрыв твердосплавных элементов при эксплуатации, приводит к необходимости замены рабочего органа на мульчере. Для снижения вероятности образования дефектов в паяных швах пайку следует проводить индукционным нагревом с использованием токов высокой частоты.

Твердость ($HV_{0,1}$) основания рабочего органа мульчера иностранного производства составляет 431...710; чистика – 221; твердосплавной пластины – 1068...1073; твердосплавной коронки – 1062...1076 (табл. 1).

Твердость державки резца – 51 HRC.

По содержанию химических элементов материал детали «Державка резца» соответствует стали марки 35ГЛ, оснований деталей «Резец основной» и «Резец боковой левый» – стали марки 40ХЛ, чистик детали «Резец боковой левый» – стали марки 45Л. Марку электродного материала, используемого для приваривания чистика к основанию резца по химическому составу идентифицировать не удалось. Наплавленный металл сильно перемешан и чрезвычайно неоднороден по химическому составу.

Таблица 2 – Микроструктура детали «Резец основной», $\times 500$

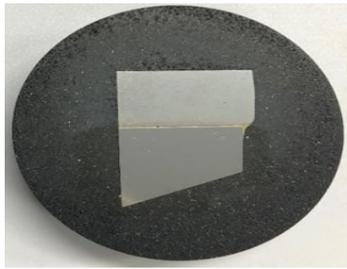
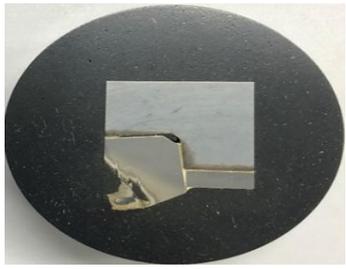
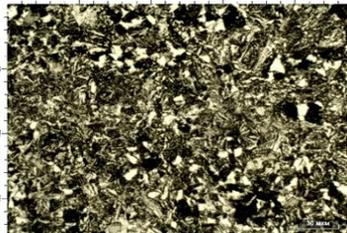
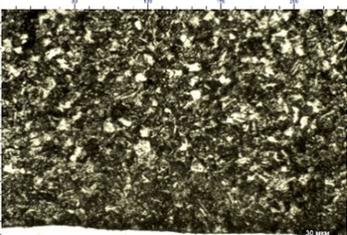
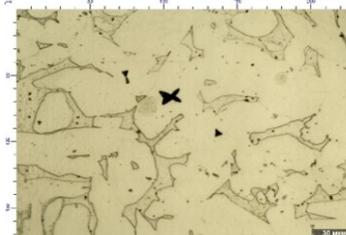
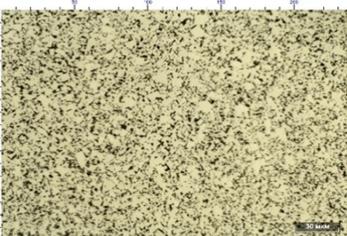
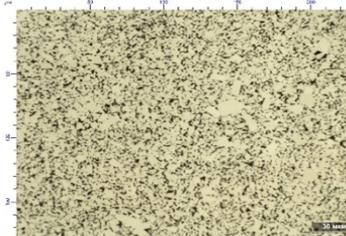
	
	
Структура основания детали состоит из мартенсита, феррита, и перлита, размер зерна на 9...10 номер	Паяный шов неравномерный, с порами и надрывами внутри, $\times 50$
	
Структура зоны термического влияния состоит из сорбита, феррита и мартенсита, доля которого на 30...40% ниже, чем в основном металле	Структура припоя состоит из α и β' -фазы, а также не идентифицируемых включений
	
Структура коронки состоит из карбида вольфрама, распределенного в связующей кобальтовой фазе	Структура пластины состоит из карбида вольфрама, распределенного в связующей кобальтовой фазе

Таблица 3 – Микроструктура детали «Резец боковой левый», ×500

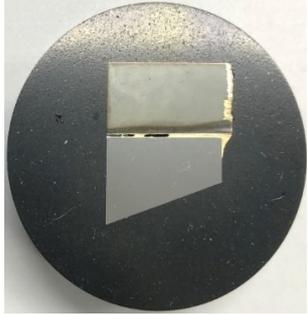
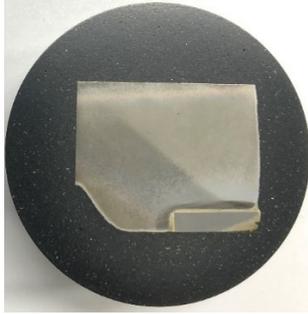
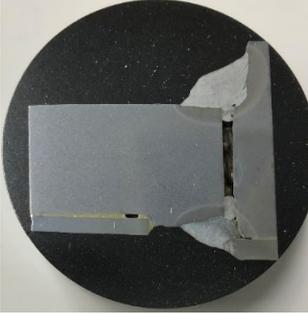
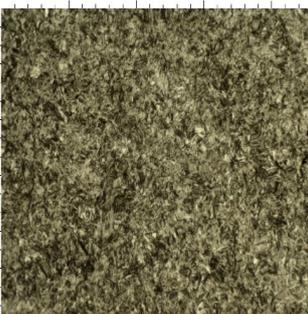
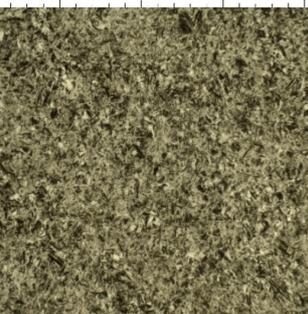
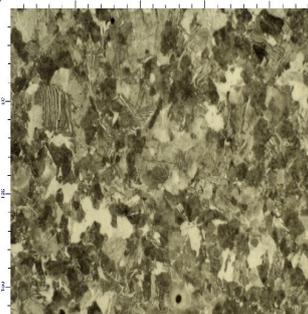
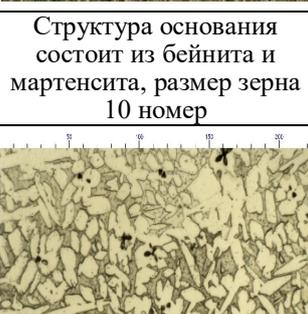
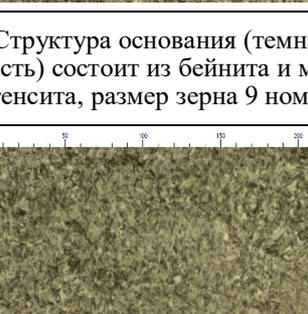
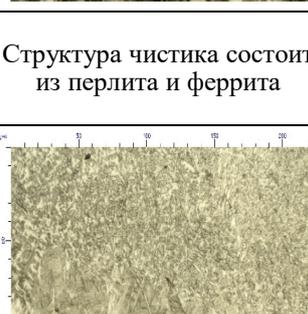
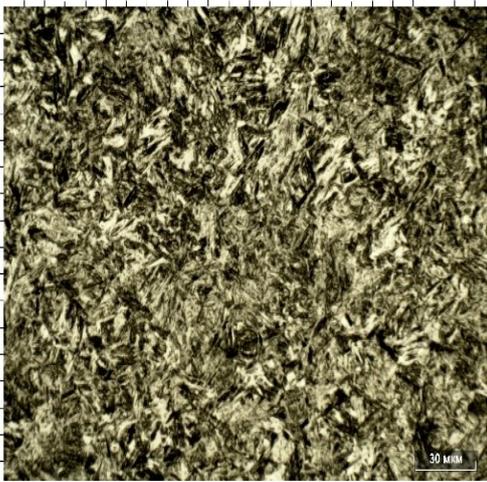
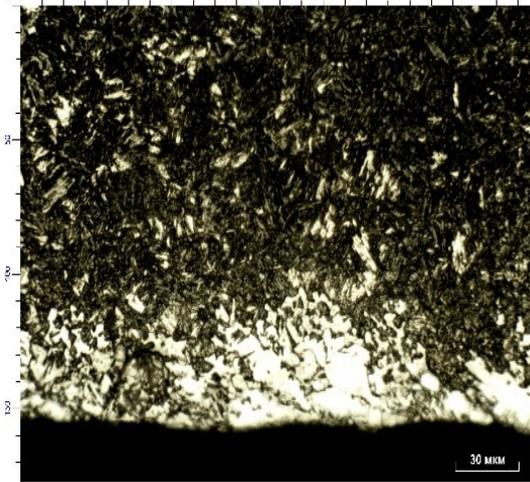
		
<p>Структура основания состоит из бейнита и мартенсита, размер зерна 10 номер</p>	<p>Структура основания (темная часть) состоит из бейнита и мартенсита, размер зерна 9 номер</p>	<p>Структура чистика состоит из перлита и феррита</p>
		
<p>Структура припоя состоит из α и β'-фазы, а также не идентифицируемых включений</p>	<p>Структура основания (светлая часть) состоит из бейнита и мартенсита, размер зерна 10 номер</p>	<p>Структура материала сварки и сварного шва состоит из мелкоигольчатого и грубоигольчатого мартенсита соответственно</p>
		
<p>Структура коронки состоит из карбида вольфрама, распределенного в связующей кобальтовой фазе</p>	<p>Зона термического влияния однородная, структура состоит из сорбита, ×50</p>	<p>Структура накладки состоит из карбида вольфрама, распределенного в связующей кобальтовой фазе</p>

Таблица 4 – Микроструктура детали «Державка резца», ×500

	
	
<p>Структура детали состоит из крупно-иглочатого мартенсита 8 балла, размер зерна 10 номер</p>	<p>Глубина обезуглероженного слоя на поверхности детали составляет 0,08 мм</p>

Твердость (HV0,1) основания рабочего органа мульчера иностранного производства составляет 431...710; чистика – 221; твердосплавной пластины – 1068...1073; твердосплавной коронки – 1062...1076 (табл. 1). Твердость державки резца – 51 HRC.

По содержанию химических элементов материал детали «Державка резца» соответствует стали марки 35ГЛ, оснований деталей «Резец основной» и «Резец боковой левый» – стали марки 40ХЛ, чистик детали «Резец боковой левый» – стали марки 45Л. Марку электродного материала, используемого для приваривания чистика к основанию резца по химическому составу идентифицировать не удалось. Наплавленный металл сильно перемешан и чрезвычайно неоднороден по химическому составу.

Структура и твердость основного металла детали «Резец основной» соответствуют состоянию после термической обработки (термоулучшение) (табл. 2).

Температура отпуска, судя по структуре, была завышена. Структура и твердость основного металла деталей «Резец боковой левый» (табл. 3) и «Державка резца» (табл. 4)

соответствуют состоянию после термической обработки (термоулучшение), основного металла чистика детали «Резец боковой левый» – состоянию после термической обработки (отжиг).

По структуре материал твердосплавных элементов резцов соответствует спеченному вольфрамовому сплаву.

Для изготовления российских аналогов деталей рабочих органов мульчера можно использовать следующие материалы и технологии [10, 11].

Державку резца и основание можно изготавливать из стали для отливок обыкновенной марок 40ХЛ или 35ГЛ (по ГОСТ 977-88), чистик – из стали хромистой марки 40Х или марганцовистой марки 35ГЛ (по ГОСТ 4543-71). Детали рекомендуется подвергать термическому улучшению, состоящему из закалки и низкого отпуска для снятия напряжений.

Для производства твердосплавных элементов резцов (коронка, пластины, накладка) подойдут вольфрамовые спеченные сплавы марок ВК8 и ВК10 (по ГОСТ 3882-74).

Для припайки твердосплавных элементов резцов к основанию и чистикку можно

использовать припои марок ЛНМц 49-9-0,2, МНМц 55-6-4 и МНМц 9-23,5 (по ТУ 1733-026-17228138-2005), которые обеспечивают высокую прочность соединений стали с твердым сплавом (350...450 МПа, в зависимости от марки припоя) и применяются при производстве породоразрушающего инструмента, а также тяжело нагруженного инструмента, включая дорожные резцы для снятия асфальта.

При приваривании чистика к основанию резца целесообразно использовать следующую технологию и сварочные материалы. Корневые швы проваривать сварочной проволокой сплошного сечения Св-08Г2С (<https://ao-esva.com/produktsiya-esva/provoloka/svarochnaya-provoloka-splshnogo-secheniya-sv08g2s>) полуавтоматической газовой (10% аргона и 90% углекислого газа) сваркой. Затем поверхностно упрочнять сварочной порошковой проволокой Kiswel K-700HT (<https://www.bigsvarka.ru/products/kiswel-k-700ht-hv-700-12-mm-15-kg>) полуавтоматической газовой (10% аргона и 90% углекислого газа) сваркой, которую используют для изделий, требующих защиты от сильного механического износа металла с мартенситной структурой, в том числе дробильных молотков, рудоспусков, отвалов бульдозеров, зубьев рыхлителей,

частей экскаватора и др. Эта проволока обеспечивает получение твердости сварочного шва 60 HRC. В качестве ее заменителя подходит сварочная порошковая проволока ВЕЛТЕК-Н565 (<https://pp-t.ru/veltek/veltek.htm>), которую применяют для упрочняющей наплавки горнорудного оборудования, долот ударного бурения, грохотов, шнеков, деталей из высокомарганцовистых аустенитных сталей и сталей марок 20, 30, 35.

Она обеспечивает получение твердости сварочного шва 54...60 HRC.

Выводы. Твердость (HV_{0,1}) основания рабочего органа мульчера иностранного производства составляет 431...710; чистика – 221; твердосплавной пластины – 1068...1073; твердосплавной коронки – 1062...1076, державки резца – 51 HRC.

По содержанию химических элементов материал детали «Державка резца» соответствует стали марки 35ГЛ, оснований деталей «Резец основной» и «Резец боковой левый» – стали марки 40ХЛ, чистик детали «Резец боковой левый» – стали марки 45Л.

По результатам исследований установлены отечественные материалы для производства изученных деталей, а также рекомендованы рациональные технологии их установки на корпус мульчера.

Литература

1. Research of machines for mulching near-trunk strips in perennial fruit plantations / I.L. Rogovskii, L.L. Titova, I.M. Sivak, et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Practical Conference "Ensuring Sustainable Development in the Context of Agriculture, Green Energy, Ecology and Earth Science" - Ecology and Environment Protection". 2021. Vol. 723. С. 042041. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/723/4/042041/meta> (дата обращения: 12.04.2023)
2. Ивашнев М.В. Математическое описание процесса работы роторного кустореза // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2007. № 181. С. 94-99.
3. Особенности комплексного воздействия активного и пассивного рабочих органов на почву / Николаев В.А. // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 1. С. 37-39.
4. Траектория развития рынка сельхозтехники стран - членов ЕАЭС / Полухин А.А. // АПК: экономика, управление. 2015. № 10. С. 80-84.
5. Повышение инновационной активности промышленных предприятий: монография / под ред. М.Я. Веселовского. М.: Научный консультант, 2018. 350 с.
6. О центре сельскохозяйственного машиностроения / Р.Ю. Соловьев, С.В. Черанев, С.Б. Карякин и др. // Технический сервис машин. 2019. № 4 (137). С. 12-18.
7. Необходимость создания дизель-электрического гусеничного трактора для цифрового сельского хозяйства / Р.Ю. Соловьев, А.В. Коломейченко, С.В. Черанев и др. // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 1 (29). С. 9-16.
8. Развитие методического инструментария внутреннего контроля для повышения эффективности использования основных средств / А. Р. Закирова, Г. С. Клычова, Б. Г. Зиганшин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16, № 4(64). – С. 88-95. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-88-95.
9. Проблемные направления ресурсного обеспечения устойчивого развития агроэкономических систем / Л. Ф. Ситдикова, Ф. Н. Мухаметгалиев, Ф.Н. Авхадиев [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18, № 1(69). – С. 155-161. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-155-161.
10. Обеспеченность рынка специализированной техники гидравлическими распределителями российского производства / С. Б. Карякин, Е. А. Максимов, А. В. Коломейченко [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18, № 1(69). – С. 68-74. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-68-74.
11. Развитие техники как основа цифровой трансформации экономики / А. К. Субаева, В. Т. Водяников, Ю. В. Чугчева, А. В. Эдер // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18, № 1(69). – С. 162-168. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-162-168.

Сведения об авторах:

Коломейченко Александр Викторович – доктор технических наук, заведующий отделом Центра сельскохозяйственного машиностроения, e-mail: a.kolomiychenko@nami.ru

Соловьев Роман Рудольфович – специалист Центра сельскохозяйственного машиностроения, e-mail: roman.solovyev@nami.ru

Соловьев Рудольф Юрьевич – кандидат технических наук, директор Центра сельскохозяйственного

машиностроения, e-mail: rudolf.solovyev@nami.ru

Максимов Евгений Альбертович – кандидат технических наук, заведующий отделом Центра сельскохозяйственного машиностроения, e-mail: evgeniy.maximov@nami.ru

Карякин Сергей Борисович – кандидат технических наук, заведующий отделом, e-mail: sergey.karyakin@nami.ru

Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «НАМИ», г. Москва, Россия

IMPORT SUBSTITUTION OF WORKING UNITS FOR MULCHERS

A. V. Kolomeychenko, R. R. Solovov, R. Yu. Solovov, E. A. Maksimov, S. B. Karyakin

Abstract. In the current conditions, there is a multifaceted urgent problem of meeting the growing demand of agriculture for modern and high-quality equipment. Mulchers for tractors, excavators and skid steer loaders are becoming more and more popular as a type of attachment. Carbide cutting elements for the mulcher have a high resource, do not require sharpening, and are not afraid of small stones in the soil. An urgent task in terms of import substitution is the organization of their production at domestic engineering enterprises, which requires information on the materials used for manufacturing. The purpose of the study is to study the details of working bodies for foreign-made mulchers and to identify domestic analogues for the organization of industrial production in the Russian Federation. Hardness of foreign-made mulcher base is 431...710; cleaner - 221; carbide plate - 1068 ... 1073; carbide crown - 1062 ... 1076, tool holder - 51 HRC. For the production of working bodies of mulchers, Russian analogues of structural materials can be used. The tool holder and base can be made of steel for castings of ordinary grades 40KhL or 35GL GOST 977-88. For the manufacture of a scraper, chromium steel grade 40X or manganese steel grade 35GL is suitable. Parts should be subjected to a heat treatment consisting of quenching and low stress relief tempering. For the manufacture of hard-alloy elements of cutters, it is advisable to use tungsten sintered alloys of grades VK8 or VK10. Hard alloy elements should be soldered with solder grades LNMts 49-9-0.2, MNMts 55-6-4 or MNMts 9-23.5, which provide high strength of steel-hard alloy joints of 350 ... 450 MPa. It is advisable to weld the scraper to the base as follows. First, the root welds are welded with Sv-08G2S solid section welding wire by semi-automatic gas welding. Then the welded joint is surface hardened with Kisel K-700HT or WELTEK-H565 flux-cored wire by semi-automatic gas welding. This technology provides a weld with a hardness of 54...60 HRC.

Key words: mulcher, working unit, cutter, holder, scraper, material, sample, hardness, steel, hard alloy, solder, soldering, welding wire, welding, heat affected zone.

References

1. Rogovskiy IL, Titova LL, Sivak IM. Research of machines for mulching near-trunk strips in perennial fruit plantations. [Internet]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Practical Conference "Ensuring Sustainable Development in the Context of Agriculture, Green Energy, Ecology and Earth Science". Ecology and Environment Protection. 2021; Vol.723. 042041 p. [cited 2023, April 12]. Available from: iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/723/4/042041/meta
2. Ivashnev MV. [Mathematical description of the process of operation of a rotary hedge cutter]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*. 2007; 181. 94-99 p.
3. Nikolaev VA. [Features of the complex impact of active and passive working units on the soil]. *Traktory i sel'khoz-mashiny*. 2012; 1. 37-39 p.
4. Polukhin AA. [The trajectory of agricultural machinery market development of the countries - members of the EAEU]. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2015; 10. 80-84 p.
5. Veselovskiy MYa. *Povyshenie innovatsionnoy aktivnosti promyshlennykh predpriyatiy: monografiya*. [Increasing the innovative activity of industrial enterprises: monograph]. Moscow: Nauchnyi konsul'tant. 2018; 350 p.
6. Solov'ev RYu, Cheranov SV, Karyakin SB. [About the center of agricultural engineering]. *Tekhnicheskii servis mashin*. 2019; 4 (137). 12-18 p.
7. Solov'ev RYu, Kolomeychenko AV, Cheranov SV. [The need to create a diesel-electric caterpillar tractor for digital agriculture]. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*. 2021; 1 (29). 9-16 p.
8. Zakirova AR, Klychova GS, Ziganshin BG. [Development of methodological tools of internal control to improve the efficiency of the use of fixed assets]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; Vol. 16. 4 (64). 88-95 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-88-95.
9. Sitdikova LF, Mukhametgaliev FN, Avhadiev FN. [Problematic directions of resource provision of sustainable development of macroeconomic systems]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol. 18. 1 (69). 155-161 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-155-161.
10. Karyakin SB, Maksimov EA, Kolomeychenko AV. [Provision of the market of specialized equipment with hydraulic distributors of Russian production]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol. 18. 1 (69). 68-74 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-68-74.
11. Subaeva AK, Vodyannikov VT, Chutcheva Yu, Eder AV. [The development of technology as the basis of digital transformation of the economy]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol. 18. 1(69). 162-168 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-162-168.

Authors:

Kolomeychenko Aleksandr Viktorovich – Doctor of Technical sciences, Head of Advanced Technologies Department of Agricultural Engineering Center, e-mail: a.kolomiychenko@nami.ru

Solovov Roman Rudolfovich - specialist of Research and Development Department of Agricultural Engineering Center, e-mail: roman.solovyev@nami.ru

Solovov Rudolf Yurievich – Ph.D. of Technical sciences, Director of Agricultural Engineering Center, e-mail: rudolf.solovyev@nami.ru

Maksimov Evgeniy Albertovich – Ph.D. of Technical sciences, Head of Agricultural Machinery Component Base Research Department of Agricultural Engineering Center, e-mail: evgeniy.maximov@nami.ru

Karyakin Sergey Borisovich – Ph.D. of Technical sciences, Head of Research and Development Department of Agricultural Machinery Center, e-mail: sergey.karyakin@nami.ru

State Scientific Center of the Russian Federation "NAMI", Moscow, Russia.