

Ofitsialnyy sayt. – Rezhim dostupa: <https://www.autodesk.ru/products/inventor/overview>.

14. SOLIDWORKS: CAD dlya 3D-proektirovaniya. – Ofitsialnyy sayt. – Rezhim dostupa: <https://www.solidworks.com/ru>.

15. Zenkevich O. Metod konechnykh elementov v tekhnike. – M.: Mir, 1975. – 271 s.

16. Shaykhudinov A.S., Krivochurov N.T. Strelchatye lapy posevnykh mashin. Iznos i effektivnost primeneniya. – Saarbrucken (Deutschland): Izd-vo LAP Lambert Academic Publishing GmbH Co. KG., 2011. – 120 s.

17. Ogryzkov E.P., Ogryzkov V.E., Ogryzkov P.V. Agrotekhnologicheskie osnovy abrazivnogo iznashivaniya lezviy lemekhov // Traktory

i selskokhozyaystvennye mashiny. – 2002. – No. 11. – S. 44-45.

18. Belyaev V.I., Krivochurov N.T., Ivanayskiy V.V. i dr. Obosnovanie vliyaniya tyagovogo soprotivleniya na parametry iznosa strelchatykh rabochikh organov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2009. – No. 10 (60). – S. 92-95.

19. Berlin A.A., Volfson S.A., Oshmyan V.G. Printsipy sozdaniya kompozitsionnykh materialov. – Moskva: Khimiya, 1990. – 240 s.

20. Bunakov V.A., Golovkin G.S., Mashinskaya G.P. i dr. Armirovannye plastiki / pod red. G.S. Golovkina, V.I. Semenova. – Moskva: Izd-vo MAI, 1997. – 404 s.



УДК 620.179.13;621.791.92

В.В. Иванайский, А.В. Ишков, Д.И. Илющенко
V.V. Ivanayskiy, A.V. Ishkov, D.I. Ilyushchenko

**МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ
ПРИ СИНТЕЗЕ КОМПАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

**THE METHOD OF STUDYING THE TEMPERATURE PROFILE
AT THE SYNTHESIS OF COMPACT MATERIALS OF REINFORCING COATINGS USING
CONCENTRATED ENERGY SOURCES**

Ключевые слова: порошковые материалы, компактные материалы, упрочняющие покрытия, твердый сплав, термограмма, ХА-микротермопара.

Keywords: powder materials, compact materials, reinforcing coatings, hard alloy, thermogram, microthermocouple.

С целью экономии ресурсов, улучшения качества упрочняющего покрытия, повышения рентабельности технологий при восстановлении деталей сельскохозяйственных машин в условиях небольших предприятий предложено использовать компактные формы материалов упрочняющих покрытий вместо металлических порошков. Важной характеристикой компактирования является термограмма (температурный профиль) этого процесса. Авторами разработан новый метод исследования температурного профиля в процессе получения компактных форм материалов упрочняющих покрытий при ТВЧ-нагреве заготовок (на примере твердых сплавов марок ПГ-УС25, ПС-14-60). Измерения основаны на использовании оригинальных ХА-микротермопар, выполненных из проволоки 0,2 мм и особым образом приваренных конденсаторной сваркой к отдельным частицам твердого сплава. Размещение сразу пары термопар на границах основной металл-шихта и шихта-воздух позволяет достоверно фиксировать волну плавления-кристаллизации наплавочного состава на фоне тепла нагреваемой ТВЧ поверхности детали.

In order to save resources, improve the quality of reinforcing coating, and increase the profitability of technologies for restoring parts of agricultural machines in small enterprises, it is proposed to use compact forms of reinforcing coating materials instead of metal powders. An important characteristic of compaction is the thermogram (temperature profile) of this process. The authors have developed a new method for studying the temperature profile in the process of obtaining compact forms of reinforcing coating materials during high-temperature heating of work pieces (for example, hard alloys of the ПГ-УС25, ПС-14-60 (in Russian) grades). The measurements are based on the use of original microthermocouples made of 0.2 mm wire and specially welded by capacitor welding to individual hard alloy particles. Placing a pair of thermocouples at once on the boundaries of the base metal-charge material and charge material-air allows to reliably recording the wave of melting-crystallization of the surfacing composition against the background of the heat of the high-temperature heating surface of the machine part.

Иванайский Виктор Васильевич, д.т.н., проф. каф. технологии конструкционных материалов и ремонта машин, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-13. E-mail: viv174@bk.ru.

Ишков Алексей Владимирович, д.т.н., проф. каф. технологии конструкционных материалов и ремонта машин, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-13. E-mail: aleksey-yishk@rambler.ru.

Илющенко Данил Игоревич, студент, инженерный факультет, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: bvrz22@rambler.ru.

Ivanayskiy Viktor Vasilyevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-13. E-mail: viv174@bk.ru.

Ishkov Aleksey Vladimirovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-13. E-mail: alekseyiyishk@rambler.ru.

Ilyushchenko Danil Igorevich, student, Engineering Dept., Altai State Agricultural University. E-mail: bvrz22@rambler.ru.

Введение

Упрочняющие покрытия широко используются в сельскохозяйственном машиностроении для улучшения эксплуатационных характеристик изнашивающихся поверхностей сопрягаемых деталей и рабочих органов различных машин и оборудования. Применение тонкого (0,05-1 мм) слоя такого покрытия, состоящего из грамотно подобранного по характеристикам материала в конструкции детали, в совокупности с эффективной, производительной технологией его нанесения, позволяет не только использовать для изготовления основы деталей с.-х. машин широко распространенные, доступные и дешевые среднеуглеродистые экономнолегированные

конструкционные стали (40, 45, 40ХН, 65Г), но и легко реализовывать в условиях мастерских различных с.-х. предприятий типовые, отработанные технологии восстановления таких деталей различными методами: наплавкой, напылением, напеканием, сваркой и пр., многократно увеличивая ресурс ремонтируемых машин [1].

Традиционно материалы упрочняющих покрытий производятся и поставляются потребителю в виде индивидуальных порошковых материалов, смесей или шихты – готовой композиции наплавляемого материала, флюса и других ингредиентов, что позволяет использовать их в большинстве известных технологий упрочнения (восстанов-

ления) деталей [2]. Однако объем расхода порошкового материала в условиях отдельно взятого ремонтного предприятия, даже в «сезон», небольшой (0,5-2 кг), в то время как минимальная коммерческая фасовка превышает 5 кг. После вскрытия заводской упаковки металлические порошки быстро окисляются, теряют свои свойства, ухудшаются характеристики и полученных из них упрочняющих покрытий, а восстановление их свойств возможно только в специализированных заводских условиях [3]. Поэтому использование компактных материалов (губка, таблетки, заготовки-полуфабрикаты деталей, лента, проволока, электроды) более предпочтительно в условиях небольших ремонтных предприятий.

Компактирование порошковых материалов, как правило, осуществляют с применением концентрированных источников энергии: лазерный, электроконтактный и ТВЧ-нагрев, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), взрывное компактирование и т.п. [4, 5], а важной характеристикой процесса является температурный профиль (термограмма) – распределение температуры по поверхности образца и (или) ее изменение в фиксированных точках с течением времени. Исследование темпе-

ратурного профиля (термограммы) реального физического или физико-химического процесса при компактировании (рис. 1) представляет собой 2-й уровень диагностики (по А.Г. Мержанову) теплового процесса в нестационарных, открытых системах, которыми и являются компактируемые материалы, выполняется либо микротермопарным методом, либо методами динамической пирометрии, требует сложного аппаратного оформления и высокой квалификации экспериментатора [6].

В то же время развивающиеся при компактировании высокие скорости, локальные скачки температуры и давления, как за счет концентрированного источника, так и за счет внутренней энергии самих процессов (плавление, химическая реакция окисления-восстановления и пр.), неизбежно приводят к разрушению как самих чувствительных элементов (термопар), так и компонентов измерительной системы. И вовсе не на каждом образце удастся разместить температурные датчики так (с той дискретностью и точностью), как хотелось бы, а воспроизводимость и сходимость показаний отдельных микротермопар в условиях таких экспериментов вообще труднодостижимы [7].

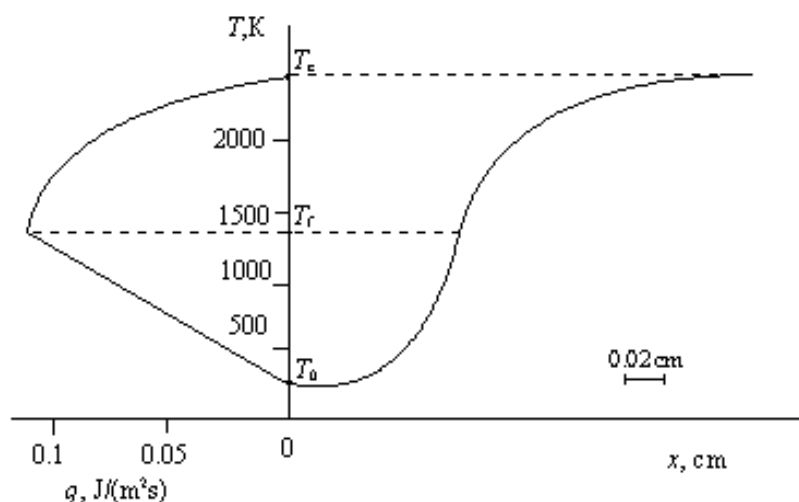


Рис. 1. «Классический» температурный профиль для химически реагирующей системы $Nb+2B \rightarrow NbB_2$ при осуществлении СВС в компактном цилиндрическом образце (взято из [6])

Цель работы состояла в разработке нового метода исследования температурного профиля в процессе получения компактных форм материалов упрочняющих покрытий при ТВЧ-нагреве заготовок (на примере твердых сплавов).

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования была выбрана шихта, широко используемая на предприятиях отрасли (концерн «АЛМАЗ», КЗ «Ростсельмаш», «СибСельМаш» и др.) для индукционной наплавки (упрочнения) деталей с.-х. машин следующего состава, мас. %: твердый сплав – 85, плавный флюс для индукционной наплавки – 15.

Исходная форма материала: коммерческие порошки твердого сплава марок ПГ-УС27 и ПС-14-60, фракция \varnothing частиц 0,315-1,250 мм; порошки плавных флюсов для индукционной наплавки производства заводов АСМ (г. Рубцовск), ЦСМ (г. Астана, Республика Казахстан), ЗОР (г. Одесса, Украина), фракция \varnothing частиц < 0,315 мм.

Компактная форма материала: таблетки диаметром 10 и высотой 5 мм, полученные холодным прессованием увлажненной спиртом шихты в инъекционных шприцах «Luer», объемом 5 мл, при давлении 600...620 МПа.

Для изготовления шихты подготовленные компоненты взвешивали на теххимических весах ВЛР-200 с точностью до 0,005 г, после чего навески смешивали в биконусном смесителе в течение 0,3-0,5 ч.

Для изготовления ХА-микротермопар использовали хромелевую и алюмелевую проволоку \varnothing 0,2 мм (ГОСТ 1790-77), помещенную в стекловолоконную изоляцию. Спаи изготавливали сплавлением проволок конденсаторной сваркой (0,1-0,2 мкФ) на постоянном токе (6-12 В) угольным электродом под микроскопом МБС-10. Термопары гра-

дуировали по 3 реперным точкам МТШ-90: 0,01°C (тройная точка воды); 231,9 (температура плавления олова); 660,3 (температура плавления алюминия).

Для моделирования температурных полей решали нестационарное уравнение теплопроводности численными методами в среде Mathcad 2014.

Результаты и их обсуждение

Современные исследования многокомпонентных порошковых смесей, при нагревании которых происходит плавление отдельных компонентов, образование сплавов и покрытий, химические реакции и синтез новых веществ, невозможны без знания величин температуры и ее распределения на границах фаз. Такая информация необходима для управления процессами индукционной наплавки (ИН), сварки, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и многими другими прогрессивными технологиями [8, 9].

Важной составляющей процесса упрочнения деталей методом индукционной наплавки является нагрев частиц твердого сплава и флюса в наплавочной шихте [10]. В то же время регистрация с приемлемой точностью температуры в процессе ИН имеет определенные технические и методические трудности.

Еще более трудной задачей является экспериментальное исследование нестационарного поля температур при получении компактных форм наплавочных материалов (НМ), когда размеры исследуемого объекта также много меньше или сопоставимы с размерами стандартных датчиков температуры [6, 11].

Решение обозначенных проблем может быть достигнуто несколькими независимыми путями:

- минимизацией первичного датчика, чувствительного к температуре покрытия, металлической основы, шихты и ее отдельных компонентов;

- использованием термозависимых процессов в материалах (как уже имеющих в системе, так и вносимых извне) для однозначной, достоверной и воспроизводимой индикации (контроля), достигнутой в системе температуры;

- применением методов численного моделирования.

Так как температура отдельных компонентов наплавочной шихты, поверхности основного металла и поверхности расплава на границах твердый основной металл-шихта и шихта-воздух может быть измерена с приемлемой точностью (до 3-5%) с помощью ХА-микротермопар, при условии, что размер их спая будет составлять от 0,1 до 0,3 характеристического размера исследуемого структурного элемента – металлической частицы, нагреваемой радиационно,

либо ТВЧ, то мы воспользовались первым из обозначенных решений [10, 12].

Для измерения температуры порошковых материалов, в том числе и компактированной шихты для ИН, рабочий спай термопары приваривали под микроскопом непосредственно к отдельной частице порошка, для которой и фиксировали интересующую температуру (рис. 2).

Как следует из рисунка 2, к частице твердого сплава удается прикрепить термоэлектроды ХА-микротермопары двумя способами. В одном случае, спай приваривается к одной из плоскостей исследуемой частицы, тогда состав спая не изменяется и можно пользоваться калибровкой, полученной ранее для всей партии микротермопар. Во втором случае спай разваривается, микроэлектроды привариваются к частице с разных сторон и образуется новый спай. Такая микротермопара имеет величину термо-ЭДС, отличную от стандартной, и требует перекалибровки или исключения ее из исследуемого материала [10].

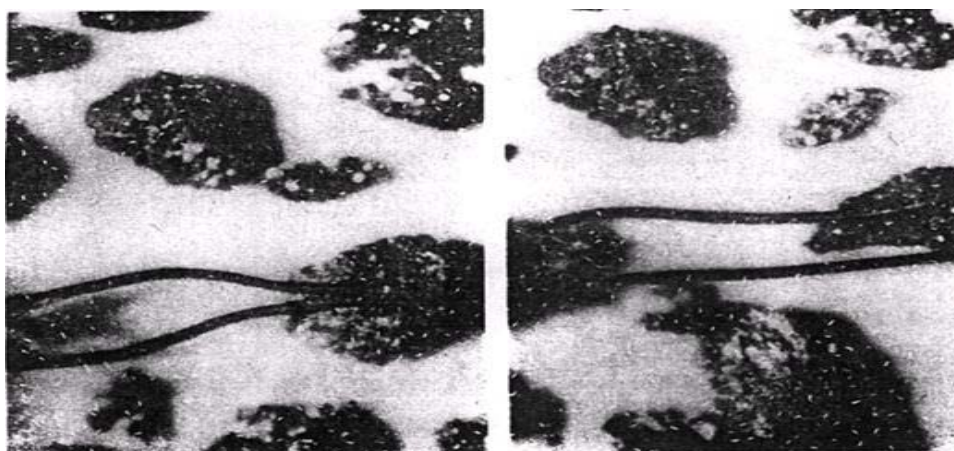


Рис. 2. Схема крепления термоэлектродов к одной (слева) и двум (справа) плоскостям частицы твердого сплава (увеличение 20 \times)

После изготовления и выбраковки ХА-микротермопар была отобрана пара этих устройств с одинаковыми электрическими параметрами. Одна из термопар была установлена под основание компактной таблетки для измерения температуры на границе основной металл-шихта. Вторая термопара вживлялась в противоположный конец таблетки для измерения температуры на границе шихта-воздух и для уменьшения теплового влияния концентрированного источника энергии (ТВЧ-нагрев). Полученные обобщенные результаты измерения температуры предлагаемым методом приведены на рисунке 3.

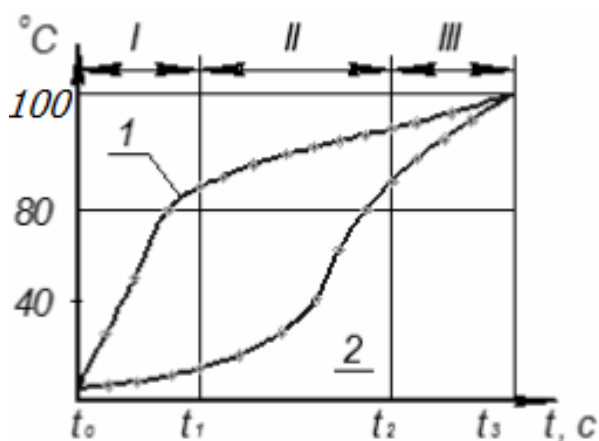


Рис. 3. Обобщенные термограммы ТВЧ-нагрева таблетки наплавочной шихты на границе основной металл-шихта (1) и границе шихта-воздух (2)

Как видно из рисунка 3, при его сопоставлении с рисунком 1, для границы основной металл-шихта на термограмме удается зафиксировать только завершающий период волны плавления, в то время как на границе шихта-воздух форма экспериментально полученного температурного профиля приближается к «классической» [6]. Объясняется это тем, что для первой термопары на исследуемую термограмму «накладывается»

постоянный (стационарный) тепловой поток от концентрированного источника энергии (скин-слой основного металла, нагреваемый ТВЧ), в то время как вторая термопара полностью воспринимает теплоту только от волны плавления-кристаллизации, перемещающуюся по таблетке.

Проведенные эксперименты также показали, что по мере увеличения размеров частиц твердого сплава уменьшается и глубина проплавления основного металла при неизменных режимах наплавки. Так, при наплавке шихты с размером частиц твердого сплава 0,5-1,2 мм глубина проплавления была 0,40-0,50 мм, а при наплавке частиц 2,0-3,0 мм проплавление основного металла составило уже только 0,30-0,35 мм. Объясняется это тем, что в больших частицах также индуцируется вихревой ток, что и вызывает их дополнительный нагрев, в то время как основной металл еще не успевает сильно подплавиться. Поэтому, особенно при увеличении толщины наплавленного слоя, целесообразно увеличивать размер гранул твердого сплава. Также было установлено, что интенсивность нагрева твердого сплава в наплавочной шихте снижается по мере уменьшения его фракции.

Таким образом, посредством предлагаемого метода не только удастся зафиксировать температурный профиль при синтезе (расплавлении-кристаллизации) компактного материала под действием концентрированного источника энергии, но также удастся зафиксировать температуру нагрева наплавочной шихты по высоте ее насыпки практически в любой точке, и даже у отдельных частиц.

Выводы

1. Разработан новый метод регистрации температуры в процессе индукционной наплавки компактной таблеточной формы

шихты для индукционной наплавки (упрочнения) деталей с.-х. машин твердыми сплавами марок ПГ-УС27, ПС-14-60.

2. При регистрации температуры двумя ХА-микротермопарами, выполненными из проволоки $\varnothing 0,2$ мм в стеклотканной изоляции и размещенными на границе основной металл-шихта и шихта-воздух, удается не только исследовать температурный профиль быстропротекающего процесса плавления-кристаллизация, но и зафиксировать температуры плавления отдельных частиц компонентов шихты.

Библиографический список

1. Хасуи, А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки; пер. В. Н. Попов; ред.: В. С. Степин, Н. Г. Шестеркин. – Москва: Машиностроение, 1985. – 240 с. – Текст: непосредственный.
2. Сидоров, А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А. И. Сидоров. – Москва: Машиностроение, 1987. – 192 с. – Текст: непосредственный.
3. Попок, В. Н. Исследование окисления порошков металлов и неметаллов в среде воздуха / В. Н. Попок, Н. В. Бояринова. – Текст: непосредственный // Ползуновский вестник. – 2010. – № 4-1. – С. 71-78.
4. Хасанов, О. Л. Методы компактирования и консолидации наноструктурных материалов и изделий / О. Л. Хасанов, Э. С. Двилис, З. Г. Бикбаева. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 212 с. – Текст: непосредственный.
5. Клименко, Ю. В. Электроконтактная наплавка / Ю. В. Клименко; под редакцией Э. С. Каракозова. – Москва: Metallurgiya, 1978. – 128 с. – Текст: непосредственный.
6. Мержанов, А. Г. Процессы горения и синтез материалов / А. Г. Мержанов. – Черноголовка: Изд-во ИСМАН, 1998. – 512 с. – Текст: непосредственный.
7. Васильев, Д. А. Цифровой термопреобразователь / Д. А. Васильев, В. А. Кренделев, В. Н. Федорченко. – Протвино: Изд-во ИФВЭ, 2008. – 7 с. – Текст: непосредственный.
8. Иванайский, В. В. Физико-химические и технологические основы управления структурой и свойствами защитного покрытия на рабочих органах сельхозмашин / В. В. Иванайский. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2010. – 187 с. – Текст: непосредственный.
9. Коидзуми, М. Химия синтеза сжиганием / М. Коидзуми; перевод с японского. – Москва: Мир, 1988. – 247 с. – Текст: непосредственный.
10. Резинов, В. Г. Об одной модели ТВЧ-нагрева многослойных материалов / В. Г. Резинов, В. В. Иванайский, С. Ф. Дмитриев, А. В. Ишков. – Текст: непосредственный // Известия АГУ. – 2006. – № 2/1. – С. 164-168.
11. Гордов, А. Н. Основы пирометрии / А. Н. Гордов. – Москва: Metallurgiya, 1976. – 446 с. – Текст: непосредственный.
12. Кулаков, М. В. Технологические измерения и приборы для химических производств / М. В. Кулаков. – Москва: Приборостроение, 1983. – С. 38-85. – Текст: непосредственный.

References

1. Khasui A., Morigaki O. Naplavka i napylenie. / per. V.N. Popov; red.: V.S. Stepin, N.G. Shesterkin. – Moskva: Mashinostroenie, 1985. – 240 s.
2. Sidorov A.I. Vosstanovlenie detaley mashin napyleniem i naplavkoy. – Moskva: Mashinostroenie, 1987. – 192 s.
3. Popok V.N., Boyarinova N.V. Issledovanie okisleniya poroshkov metallov i nemetallov v srede vozdukha // Polzunovskiy vestnik. – 2010. – No. 4-1. – S. 71-78.

4. Khasanov O.L., Dvilis E.S., Bikbaeva Z.G. Metody kompaktirovaniya i konsolidatsii nanostrukturnykh materialov i izdeliy. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2008. – 212 s.

5. Klimenko Yu.V. Elektrokontaktnaya naplavka / pod red. E.S. Karakozova. – Moskva: Metallurgiya, 1978. – 128 s.

6. Merzhanov A.G. Protsessy goreniya i sintez materialov. – Chernogolovka: Izd-vo ISMAN, 1998. – 512 s.

7. Vasilev D.A., Krendelev V.A., Fedorchenko V.N. Tsifrovoy termopreobrazovatel. – Protvino: Izd-vo IFVE, 2008. – 7 s.

8. Ivanayskiy V.V. Fiziko-khimicheskie i tekhnologicheskie osnovy upravleniya struktu-

roy i svoystvami zashchitnogo pokrytiya na rabochikh organakh selkhoz mashin. – Barnaul: RIO Altayskogo GAU, 2010. – 187 s.

9. Koidzumi M. Khimiya sinteza szhiganiem / per. s yapon. – Moskva: Mir, 1988. – 247 s.

10. Rezinov V.G., Ivanayskiy V.V., Dmitriev S.F., Ishkov A.V. Ob odnoy modeli TVCh-nagreva mnogoslounykh materialov // Izvestiya AGU. – 2006. – No. 2/1. – S. 164-168.

11. Gordov A.N. Osnovy pirometrii. – Moskva: Metallurgiya, 1976. – 446 s.

12. Kulakov M.V. Tekhnologicheskie izmeneniya i pribory dlya khimicheskikh proizvodstv. – Moskva: Priborostroenie, 1983. – S. 38-85.



УДК 631.362.333:633/635

В.В. Карпов
V.V. Karpov

ИЗУЧЕНИЕ РАЗМЕРНО-МАССОВЫХ И МИКРОГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРМОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ

THE STUDY OF SIZE-WEIGHT AND MICROGEOMETRIC CHARACTERISTICS OF FODDER ROOT CROPS



Ключевые слова: гофрощеточный очиститель, кормовые корнеплоды, почвенные примеси, сельскохозяйственные животные, статистическая обработка результатов.

Наличие почвенных примесей в кормовой массе снижает питательность и ценность кормов, может негативно влиять на здоровье животных. Для предупреждения вредного влияния на сельскохозяйственных животных загрязненных кормовых корнеплодов проводится специальная подготовка таких кормов к скармливанию, их очистка от свободных (комки, камни, растительные остатки) и налипших примесей. Очистка кормовых корнеплодов от загрязнений является обязательной и одной из самых трудоёмких операций перед скармливанием животным. Зоотехнические требования к качеству приготовляемых

кормов не допускают наличия в корме свыше 3% почвенных примесей. Проведенные ранее исследования показали, что для улучшения качества очистки необходимо дальнейшее усовершенствование конструкций рабочих органов очистителей. Цель исследования – улучшение качества копирования неровностей кормовых корнеплодов для более тщательно счёсывания связанных с поверхностями корнеплодов примесей. Задачей исследования являются установление влияния основных режимных параметров гофрощеточного очистителя на эффективность очистки корнеплодов от примесей. Объектом исследования является процесс механической очистки кормовых корнеплодов от налипших почвенных примесей в рабочем объеме гофрощеточного очистителя. Проведенные факторные эксперименты позволили установить влияние основных режимных