

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Научно-исследовательский центр
«МашиноСтроение»**



Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

Кыргызско-Российский Славянский университет

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
им. С.М. Кирова

Российский государственный аграрный университет – МСХА
им. К.А. Тимирязева

ISSN 2587-7577

МАШИНЫ, АГРЕГАТЫ И ПРОЦЕССЫ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СОЗДАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ:

**Материалы международной
научно-практической конференции**

№6

Санкт-Петербург, 2023

УДК 62-1 : 001.8

ББК 30.9

М38

М38 Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2023. – № 6. – 120 с. – DOI: 10.26160/2587-7577-2023-6.

Представлены материалы VI международной научно-практической конференции «Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация» (27 января 2023г.). Направления работы конференции: 1) Машиностроение и металлообработка; 2) Горные машины и оборудование для добычи полезных ископаемых; 3) Metallургическое производство; 4) Химическая промышленность и нефтегазовая отрасль; 5) Строительство и ЖКХ; 6) Сельскохозяйственное машиностроение и агропромышленный комплекс; 7) Легкая промышленность; 8) Пищевая промышленность.

Материалы могут быть полезными для научных и инженерно-технических работников, докторантов, аспирантов и студентов, занятых исследованием машин и процессов различного технологического назначения.

Учредитель: *Жукова Елена Валерьевна.*

Ответственный редактор:

Жуков Иван Алексеевич – директор НИЦ «МашиноСтроение», профессор кафедры машиностроения Санкт-Петербургского горного университета, д.т.н., доцент.

Редакционная коллегия:

Кугаевский Сергей Семенович – заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» УрФУ, к.т.н., доцент.

Логинов Геннадий Иванович – профессор кафедры гидротехнического строительства и водных ресурсов КРСУ, д.т.н., доцент;

Шифрин Борис Маркович – доцент кафедры управления, автоматизации и системного анализа СПбГЛТУ, к.т.н., доцент;

Юсупов Рамазан Хабибрахманович – профессор кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов РГАУ-МСХА, д.т.н., профессор.

Электронная версия доступна на сайте: <http://srcms.ru/maippsim.html>
<https://doi.org/10.26160/2587-7577-2023-6>

ISSN 2587-7577

© Авторы, 2023
© НИЦ МС, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Машиностроение и металлообработка

Бражникова А.М. Взаимодействие торцов роликов и борта кольца при гидродинамическом контакте конического роликоподшипника	6
Гусейнова М.Р. Особенности аппроксимации характеристики силы при исследовании динамики резания.....	9
Григорьев В.В., Логинова В.Е. Агентноориентированное конфигурирование научно-технического менеджмента, опирающееся на сервисы цифровых интеллектуальных агентов	12
Головачёва М.В., Ведерников М.А. Определение рациональной калибровки инструмента при прокатке труб на стане ХПТ.....	15
Федорова Е.Д., Греков А.В., Порсев К.И. Модернизация универсальной делительной головки УДГ Д-160 для возможности нарезания зубчатых колес с винтовым зубом.....	18
Орловский С.Н., Войнаш С.А., Соколова В.А., Марков В.А. Устройство для предупреждения вылива масла из гидросистемы трактора	21
Добрецов Р.Ю., Чупрова А.Л., Войнаш С.А., Соколова В.А., Алексеева С.В. Концепция электромеханического транспортно-тягового модуля	24
Виниченко В.О., Соколов Е.Г., Магда А.В. Взаимодействие расплава Pb-Bi с материалами, спрессованными из железных порошков	29
Полторацкий С.Г. Силы резания при формировании квадратных отверстий осевым инструментом	33
Магда А.В., Соколов Е.Г., Виниченко В.О. Влияние тугоплавких наполнителей на вязкость композиционных припоев	36

Металлургическое производство

Стулов В.В., Шафиев О.М. Опытный кристаллизатор с двух контурной системой охлаждения для непрерывной разливки металлов и его испытание на сплаве	40
Мамедов А.Т., Исмаилов Н.Ш., Гусейнов М.Ч., Гулиев Ф.Т. Опыт производства горячекатанных труб для нефтегазовой промышленности с применением операции нормализации.....	43

Замараева Ю.В., Логинов Ю.Н., Пройдакова Л.А. Свойства горячепрессованного профиля из магниевого сплава МА14, полученного в производственных условиях	48
Грехов С.К., Логинов Ю.Н. Анализ отличий в требованиях и технологии изготовления стальных самонарезающих винтов по металлу и по дереву	52
Симановский В.О., Исхаков Р.Ф. Вариант технологии изготовления крупногабаритных стальных плит с использованием нового типа кузнечно-прессового оборудования.....	56
Лехов О.С., Гузанов Б.Н., Шевелев М.М., Билалов Д.Х. Metallургический комплекс для производства стальных листов и биметаллических полос с использованием совмещенного непрерывного процесса литья и деформации	60
Мыльников С.В., Исхаков Р.Ф., Шварц Д.Л. Metallургическое производство. Ролико-правильная машина правки асимметричных профилей.....	65
Исхаков Р.Ф., Браун А.Е. Metallургическое производство. Система управления натяжением полосы перед печью сушки	68

Химическая промышленность и нефтегазовая отрасль

Бешенцев В.А., Гуляева Ю.В., Ковяткина Л.А. Алгоритм изучения процессов перколяции на примере Черничного месторождения нефти.....	72
Седоплатов И.С., Ковалева О.А., Луа П., Ковалев С.В. Современное конструктивное оформление электромембранных процессов.....	75
Чащилов Д.В., Чащилова А.Д. Подбор режима работы центробежного насоса для твёрдофазной экстракции делигнифицированной биомассы при выделении растительных волокон для армирования полимерных композитов.....	79

Строительство и ЖКХ

Солодовников А.Ю. О некоторых итогах развития строительной отрасли в Тюменской области в начале 3-го тысячелетия	83
---	----

Сельскохозяйственное машиностроение и агропромышленный комплекс

- Лукиенко Л.В., Чернышев А.И.** Анализ конструкций установок вертикального транспорта для обоснования его режимов работы..... 87
- Сокол П.А., Божко А.В.** Перспективная трансмиссия полноприводных машин с тандемным мостом 90
- Попов И.В., Дручинин Д.Ю., Попиков В.П., Говоруха А.Ю., Петков А.Ф.** Результаты экспериментальных исследований орудия для подготовки посадочных мест на вырубках..... 93
- Бородин Н.А., Пономарев С.В., Малюков С.В., Попиков В.П., Малюкова М.А., Гончаров Д.А.** Ротационная машина с комбинированными инерционно-рубящими рабочими органами для ухода за лесными культурами 96
- Бородин Н.А., Пономарев С.В., Малюков С.В., Попиков В.П., Гончаров Д.А.** Результаты экспериментальных исследований комбинированной ротационной машины для уходов за лесными культурами на нераскорчеванных вырубках 99
- Жижкина Н.А., Белоусов В.И.** Оптимизация процесса измельчения кормов путем определения критической силы комбинированного молоткового ножа..... 102
- Жижкина Н.А., Редькин А.А.** Модернизация системы климат-контроля в камере инкубатора 105
- Попиков П.И., Хоменко К.Г., Попиков В.П., Шаров А.В., Танчук П.В.** Сравнительный анализ существующих и перспективных конструкций опорно-поворотных устройств лесных манипуляторов 108
- Сладкова Л.А., Григорьев П.А.** Направления теоретических и экспериментальных исследований для выявления природы налипания грунта на поверхности рабочих органов землеройных и сельскохозяйственных машин..... 111
- Тесля А.В., Жижкина Н.А., Тесля В.В.** Анализ способов восстановления ротора турбокомпрессора 114

Пищевая промышленность

- Агеев О.В., Самойлова Н.В.** Экспериментальное исследование усилий резания при порционировании рыбы..... 117

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТОРЦОВ РОЛИКОВ И БОРТА КОЛЬЦА ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ КОНТАКТЕ КОНИЧЕСКОГО РОЛИКОПОДШИПНИКА

Бразжникова А.М.

Самарский государственный технический университет, Самара

Ключевые слова: модель трения, контактное давление, коэффициент износа, гидродинамическое трение, закон Арчарда.

Аннотация. В настоящей статье разрабатывается эффективный метод расчета скорости износа контактирующих поверхностей торцов роликов и бортов колец роликовых подшипников. На основании закона Арчарда построен метод прямого пошагового расчета скорости износа. Такой метод включает в себя большое количество вычислений, поэтому предложен также метод расчета скорости износа по усредненным параметрам. Сопоставление значений скоростей износа, рассчитанных двумя методами, подтверждает приемлемую точность расчёта по усреднённым параметрам.

INTERACTION OF THE ENDS OF THE RIB-ROLLER END IN THE HYDRODYNAMIC CONTACT OF THE TAPERED ROLLER BEARING

Brazhnikova A.M.

Samara State Technical University, Samara

Keywords: friction model, contact pressure, wear coefficient, hydrodynamic friction, Archard's law.

Abstract. In this article, an effective method is developed for calculating the wear rate of the contact surfaces of rib-roller end of the roller bearing rings. On the basis of Archard's law, a method of direct step-by-step calculation of the wear rate is constructed. This method includes a large number of calculations; therefore, a method for calculating the wear rate using averaged parameters is also proposed. A comparison of the wear rates calculated by the two methods confirms the acceptable accuracy of the calculation by the averaged parameters.

Процессы износа подшипников качения рассмотрены, в работах [1, 2], для описания износа подшипников использовался закон Арчарда [3]. Принимая также этот закон, запишем его в виде [2]

$$\frac{dh}{dt} = k \frac{pv}{H}, \quad (1)$$

где h – глубина износа, H – твёрдость по Мейеру, k – коэффициент износа, p – контактное давление, v – скорость скольжения.

Экспериментально полученное в [3] значение коэффициента износа для стали AISI 52100 составило $5 \cdot 10^{-10}$ при параметре масляной плёнки $\Lambda=0,48$.

Хорошо известно, что толщина масляной плёнки оказывает критическое влияние на контактный износ рабочих поверхностей подшипника. Полагая, что долговечность обратно пропорциональна коэффициенту износа и используя результаты работы [2], нетрудно получить зависимость коэффициента износа от параметра масляной плёнки. Она показана на рисунке 1. Эта зависимость соответствует известным экспериментальным данным [2], согласно которым

диапазон изменения коэффициента износа подшипниковой стали при гидродинамическом трении укладывается в диапазон от $1 \cdot 10^{-11}$ до $5 \cdot 10^{-10}$.

Используя приведенные выше зависимости, можно выполнить прямой численный расчёт скорости износа в контакте торцов ролика и борта кольца подшипника. Для этого необходимо разбить продолжительность одного установившегося оборота сепаратора на шаги по времени и сделать следующие вычисления.

1. Определить пошаговое изменение нормальной силы, скорости скольжения и толщины масляной плёнки в контакте за один оборот сепаратора. Наиболее точно эти данные можно получить в динамическом расчёте подшипника с использованием модели многомассовой динамики подшипника, включающей в себя модель контактного гидродинамического трения.

2. Используя график из рисунка 1, посчитать на каждом шаге по времени коэффициент износа.

3. Для каждого шага определить распределение контактного давления и в соответствии с ним рассчитать среднее значение этого давления вдоль рассматриваемой контактной линии. Здесь наиболее точные данные получаются при применении метода конечных элементов.

4. Рассчитать пошаговые значения скорости износа и затем её среднее значение за один оборот сепаратора.

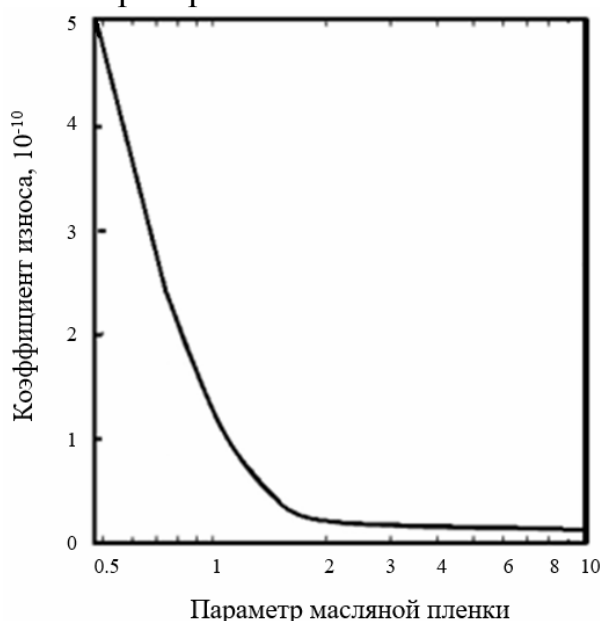


Рис. 1. Зависимость коэффициента износа от параметра толщины масляной плёнки

Прямой расчёт скорости износа требует проведения большого объёма вычислений в связи с переменным характером контактных сил и скоростей скольжения. И хотя современные вычислительные средства позволяют достаточно быстро реализовывать такие вычисления, подобная процедура делает непрозрачным влияние на скорость износа отдельных факторов. В этой связи представляет интерес метод оценки скорости износа по усреднённым параметрам. В соответствии с ним скорость износа рассчитывается по формуле

$$\frac{dh}{dt} = \bar{k} \frac{\bar{p} \bar{v}}{H}, \quad (2)$$

где \bar{k} , \bar{p} и \bar{v} – усреднённые значения коэффициента износа, контактного давления и скорости скольжения за весь рассматриваемый промежуток времени. В качестве такого промежутка выбирается сумма временных интервалов, на которых контактная сила больше нуля.

На рисунке 2 скорости износа для всех рассмотренных расчётных случаев, полученные по формуле (2), сравниваются с результатами прямого расчёта. Результаты сравнения подтверждают вполне приемлемую точность расчёта по усреднённым параметрам.

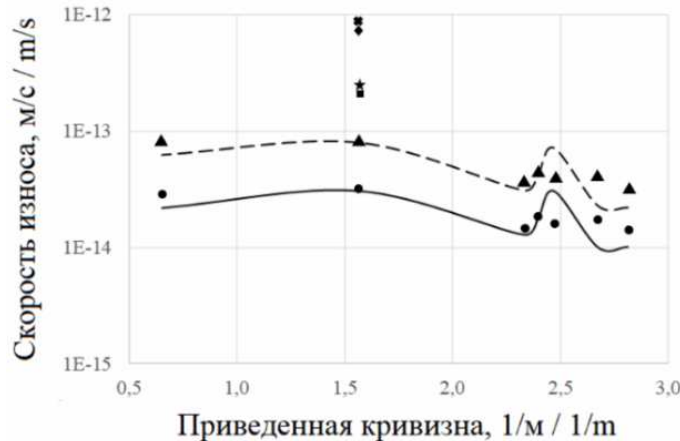


Рис. 2. Зависимость скорости износа от приведенной кривизны контактирующих поверхностей: прямой расчёт с осевым зазором: ● – торец ролика, ▲ – торец борта; прямой расчёт с осевым натягом: ■ – торец ролика, ◆ – торец борта; расчёт по усреднённым параметрам с осевым зазором: ——— – торец ролика, - - - - – торец борта; расчёт по усреднённым параметрам с осевым натягом: ——— – торец ролика; - - - - – торец борта

При оценке гидродинамического взаимодействия торцов роликов и бортов колец конических роликоподшипников наряду с толщиной масляного слоя и коэффициентом трения важное значение имеет износ контактирующих поверхностей. В расчетах скорости износа деталей подшипника используется получивший экспериментальное подтверждение при гидродинамическом трении подшипниковых сталей закон Арчарда. На основании этого закона в статье построена процедура прямого пошагового расчёта скорости износа торцов ролика и бортов колец при переменных контактных нагрузках и скоростях скольжения. Предложена также процедура расчёта скорости износа по усреднённым параметрам, которая существенно упрощает расчёты и делает более прозрачным влияние на скорость износа отдельных факторов.

Список литературы

1. Wang X.Y., Zhou C., and Ou Y. Experimental Analysis of the Wear Coefficient for the Rolling Linear Guide // *Advances in Mechanical Engineering*. 2019, vol. 11, no. 1, pp. 1-7.
2. Morales-Espejel G.E. and Brizmer V. Micropitting Modelling in Rolling—Sliding Contacts: Application to Rolling Bearings // *Tribology Transactions*. 2011, vol. 54, no. 4, pp. 625-643.
3. Галахов М.А., Бурмистров А.И. Расчет подшипниковых узлов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.

Сведения об авторе:

Бражникова Александра Максимовна – аспирант, ассистент кафедры «Механика».

УДК 621.9.06

ОСОБЕННОСТИ АППРОКСИМАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛЫ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИКИ РЕЗАНИЯ

Гусейнова М.Р.

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала

Ключевые слова: характеристика силы, аппроксимация, динамика резания.

Аннотация. В работе показана важность аппроксимации характеристики силы при исследовании динамических явлений при резании. На основе анализа экспериментальных зависимостей сил резания от скорости, полученных различными авторами и с учетом существующих аппроксимаций сделан вывод, что показательная функция и полином третьей степени наиболее подходят для такой аппроксимации.

FEATURES OF APPROXIMATION OF FORCE CHARACTERISTICS WHEN STUDYING CUTTING DYNAMICS

Guseynova M.R.

Dagestan State Technical University, Makhachkala

Keywords: strength characteristic, approximation, cutting dynamics.

Abstract. The paper shows the importance of force characteristic approximation in the study of dynamic phenomena during cutting. Based on the analysis of experimental dependences of cutting forces on speed obtained by various authors and taking into account existing approximations, it is concluded that the exponential function and the third degree polynomial are most suitable for such an approximation.

Аналитический расчет зависимости сил резания и трения при обработке сталей и сплавов представляет трудную задачу, ибо скорость влияет непосредственно не на силу резания трения, а на температуру в зоне резания, усадку стружки, ее контактное взаимодействие с режущими лезвиями. Это связано с тем фактом, что с ростом скорости резания растет средняя температура в зоне резания, которая существенным образом влияет на силу резания [1]. Именно поэтому принято рассматривать общий температурно-скоростной фактор. Кроме того, скорость резания существенно влияет на усадку стружки. Усадка стружки (коэффициент продольной усадки стружки почти экспоненциально уменьшается с ростом скорости резания [2]. Такая зависимость характерна и для коэффициента демпфирования [3]. На силы резания также оказывает большое влияние и геометрия инструмента [4].

На практике зависимость силы от скорости получают экспериментально. Здесь говоря о силе резания, имеется в виду главная тангенциальная составляющая силы резания.

На рисунке 1 показана экспериментальная зависимость крутящего момента от скорости резания при нарезании внутренней резьбы М10 в стали ДИ-8 [5].

Здесь можно отметить три зоны. Первая зона (до скорости 6 м/мин) имеет падающий участок, на котором с уменьшением скорости крутящий момент резко уменьшается с 22 Н·м до 17 Н·м. Вторая зона соответствует поднимающему

участку. Здесь с увеличением скорости момент возрастает до 18-19 Н·м. Третья зона представляет второй падающий участок. Здесь момент падает до 13 Н·м.

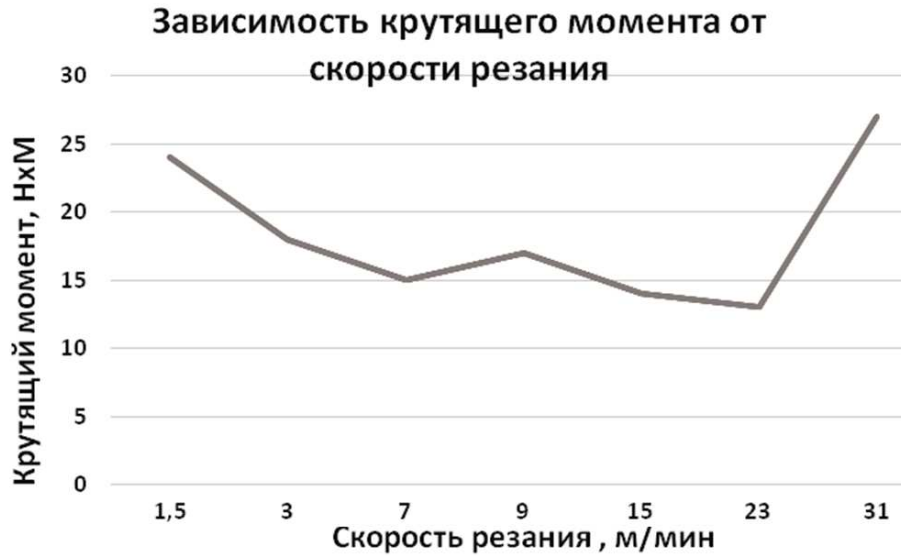


Рис. 1. Зависимость крутящего момента от скорости резания М10 ($\varphi=6^\circ$, $\alpha=3^\circ$, $\gamma=12^\circ$)

Подобная картина наблюдается и при токарной обработке в условиях свободного резания.

На рисунке 2 показана зависимость сил резания от скорости при обработке стали 40Х при различных передних углах инструмента.

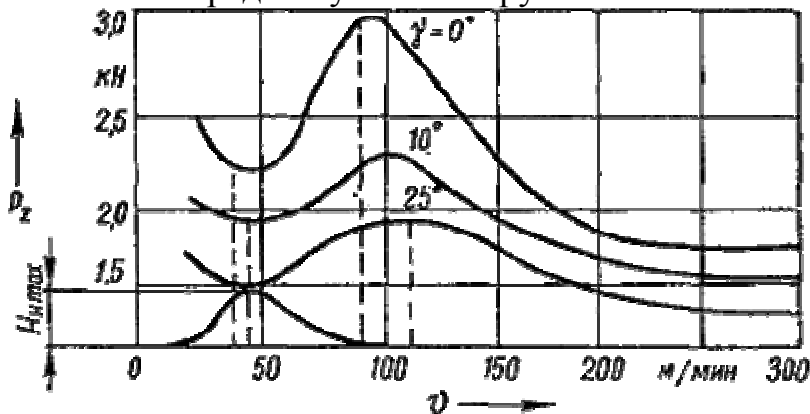


Рис. 2. Зависимость сил резания от скорости при обработке стали 40Х при различных передних углах инструмента (толщина среза – 0,2 мм, ширина – 4 мм)

Для исследования динамики резания необходимо составить математическую модель системы. Для аналитического решения дифференциального уравнения движения необходимо аппроксимировать нелинейную характеристику силы резания.

Анализ работ по динамике резания показывает, что основные уравнения, которые в настоящее время используются для аппроксимации характеристики силы следующие: линейная, степенная, показательная функции и полином третьей степени [7]. Линейная аппроксимация имеет ограниченное применение, а, именно, для анализа устойчивости движения системы СПИД в очень узком диапазоне значений скорости резания [8]. Она для исследования установившихся режимов с учетом автоколебательного движения непригодна.

Степенную функцию можно использовать для условий обработки ряда материалов, например, чугуна, при резании которого не характерно явление наклепа. Однако ее нельзя считать удачной, так как с увеличением скорости сила резания уменьшается на всем диапазоне режимов резания. Кроме того, такую зависимость не может быть использована для расчета составляющих силы резания без предварительного проведения экспериментов с требуемыми для данного конкретного случая значениями неизменяемых режимных параметров, что неудобно и практически трудно осуществимо [9].

Аппроксимация степенной функцией связана со сложностью интегрирования дифференциального уравнения движения. С этой точки зрения при анализе колебательного движения считаем необходимым использовать 2 и 3 аппроксимации.

Список литературы

1. Лапшин В.П., Туркин И.А., Христофорова В.В., Бабенко Т.С. Моделирование влияния температуры в зоне контакта инструмента и детали на динамику деформационных движений инструмента при токарной обработке // СТИН. – 2019. – №10. – С. 31-37.
2. Лапшин В.П., Туркин И.А., Калинин А.И. Оценка влияния падения при росте скорости резания, характеристики силы на регенеративный характер вибраций инструмента // Научные технологии в машиностроении. – 2020. – №4. – С. 22-31.
3. Пятых А.С., Савилов А.В. Определение коэффициентов сил резания для моделирования процессов механообработки // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015. – Т. 17, №2. – С. 211-216.
4. Гусейнов Р.В., Рустамова М.Р. Исследование влияния геометрических параметров инструмента на силы резания при обработке внутренних поверхностей методом планирования экспериментов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2011. – №2(21). – С. 83-87.
5. Гусейнов Р.В., Рустамова М.Р., Агаханов Э.К. Исследование процесса обработки отверстий на основе нелинейной динамики // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2012. – №3(26). – С. 77-80.
6. Гусейнов Р.В., Рустамова М.Р. Математическая модель процесса обработки отверстий сверлами на основе нелинейной динамики. Ч.1. Постановка задачи // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2011. – №3(22). – С. 64-68.
7. Мурашкин Л.С., Мурашкин С.Л. Прикладная нелинейная механика станков. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 192 с.
8. Гусейнов Р.В., Гусейнова М.Р. Расчетная модель нелинейных систем // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2015. – №1(36). – С. 24-30.
9. Молочко В.И., Рогозина Е.В. Экспериментальные методы исследования динамики резания при точении // Вестник БарГУ. Серия: Технические науки. – 2018. – №6. – С. 62-69.

Сведения об авторе:

Гусейнова Мадина Расуловна – сотрудник отдела Международного сотрудничества и маркетинга.

АГЕНТНООРИЕНТИРОВАННОЕ КОНФИГУРИРОВАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА, ОПИРАЮЩЕЕСЯ НА СЕРВИСЫ ЦИФРОВЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ

Григорьев В.В.¹, Логинова В.Е.²

¹*Московский государственный институт международных отношений (университет) МИД России, Москва;*

²*Центральный экономико-математический институт Российской академии наук, Москва*

Ключевые слова: человеко-машинная система, цифровые технологии, цифровые интеллектуальные агенты, научно-технический менеджмент.

Аннотация. В статье сформулированы подходы к формированию цифровой платформы, обеспечивающей конфигурирование научно-технического менеджмента, включая поддержку процессов информационного поиска и обмена информацией, научно-технических исследований, проектирования, сопровождения производства и эксплуатации изделий в промышленности с оптимизацией мультиагентно-групповых взаимодействий сотрудников (людей) и цифровых интеллектуальных агентов (программных комплексов).

AGENT-BASED CONFIGURATION OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL MANAGEMENT, BASED ON THE SERVICES OF DIGITAL INTELLIGENT AGENTS

Grigoriev V.V.¹, Loginova V.E.²

¹*Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs of Russia, Moscow;*

²*Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

Keywords: human-machine system, digital technologies, digital intelligent agents, scientific and technical management.

Abstract. The article formulates approaches to the formation of a digital platform that provides configuration of scientific and technical management, including support for the processes of information retrieval and information exchange, scientific and technical research, design, production support and operation in industry with the optimization of multi-agent-group interactions of employees (people) and digital intelligent agents (software systems).

Введение

Быстро идущие изменения в государстве и экономике определили необходимость цифровизации научно-технических и производственных структур как своего рода агентноориентированных объединений на основе использования различных форм цифровых интеллектуальных агентов (программных комплексов) [1, 2].

Цифровизация процессов исследования, проектирования, производства и эксплуатации изделий машин, агрегатов и процессов в России и за рубежом постепенно трансформируется в управление совокупностью новых исследовательских, аналитических, проектных и технологических сервисов

научно-технического менеджмента, реализуемых как информационный механизм агентноориентированного конфигурирования человеко-машинных систем, опирающихся на сервисы цифровых интеллектуальных агентов (программных комплексов) [3, 4].

Описание системы

Для обеспечения высокого качества научно-технического менеджмента предлагается цифровая технология агентноориентированного научно-технического процесса для выработки и реализации агентно-индивидуализированных траекторий работы человеко-машинных систем, адаптированных к будущим цифровым производствам.

Необходимо формирование цифровой платформы, обеспечивающей поддержку процессов информационного поиска и обмена информацией, научно-технических исследований, проектирования, сопровождения производства и эксплуатации изделий при формировании цифровой инфраструктуры научно-технической и производственной деятельности в промышленности, поддерживающей взаимодействие сотрудников (людей) и цифровых интеллектуальных агентов (программных комплексов).

Для оптимизации взаимодействия сотрудников (людей) и цифровых интеллектуальных агентов (программных комплексов) предлагается автоматизированный анализ заданий, информации и результатов обработки данных для развития цифровой платформы, обеспечивающей реализацию компетенций сотрудника как описанного и наблюдаемого агента.

Интеллектуальная система в составе цифровой платформы реализуется с использованием технологии интеллектуальных агентов, сетевых экспертиз и других компонент.

Решение проблемы оперирования взаимодействием сотрудников (людей) и цифровых интеллектуальных агентов

В отношении рассматриваемой системы предлагается использование цифровых интеллектуальных агентов (программных комплексов) для направления адаптированных под характеристики конкретного сотрудника адресных информационных пакетов в рамках конфигурации вычислительно формируемой матрицы его заданий, служебных интересов и потребностей, шаблонов взаимодействия с другими сотрудниками и цифровыми интеллектуальными агентами с выработкой рекомендуемых индивидуальных научно-технических траекторий в процессах исследований, проектирования, сопровождения производства и эксплуатации изделий. При этом, адаптированный к отдельным сотрудникам и их группам цифровой «двойник» (модель) научно-технического процесса позволяет постепенно обеспечить его системную целостность:

– анализ структурированных баз данных для выявления факторов, влияющих на деятельность сотрудника как наблюдаемого агента, состоящих из различных данных (компетенции, обязанности и полномочия, предполагаемые этапные и конечные результаты и пр.) с описанием структуры связей с выработкой рекомендаций по реализации индивидуальных научно-технических

траекторий в процессах исследований, проектирования, сопровождения производства и эксплуатации изделий;

– программно-аппаратная реализация направления адаптированных под характеристики конкретного сотрудника (описанного и наблюдаемого агента) адресных информационных пакетов в конфигурации вычислительно формируемой матрицы его заданий, служебных интересов и потребностей, шаблонов взаимодействия в рамках человеко-машинных систем.

Заключение

В рамках предложенной концепции реализуется создание, концентрация и тиражирование организационно закрепленных технологий агентноориентированного конфигурирования человеко-машинных систем для стимулирования взаимной поддержки решения сложных научно-технических задач с опорой на цифровых интеллектуальных агентов (программных комплексов), что является условием перехода к цифровым производствам.

Список литературы

1. Логинова В.Е. Использование цифрового «двойника» в деятельности корпоративных структур высокотехнологичных компаний, производящих продукцию особой сложности // Управление сложными организационными и техническими системами в условиях сверхкритических ситуаций. Материалы международной научно-практической конференции. – М.: ИНЭС, 2022. – С. 25-27.
2. Логинова В.Е. Мониторинг и прогнозирование поведения распределенных агентных групп в рамках их сетевого взаимодействия // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности. Материалы V Международной научно-практической конференции. – СПб.: Санкт-Петербургский институт природопользования, промышленной безопасности и охраны окружающей среды, 2022. – С. 10-13.
3. Логинова В.Е. Цифровые механизмы организации интеллектуальных коммуникаций при научно-технической и образовательной деятельности. – М.: ИУО РАО, 2022. – 61 с.
4. Grigoriev V.V., Dumbadze L.G., Leonov V.Yu. Problems of efficient application and development of a network under capital investments and credits // Journal of Computer and Systems Sciences Internationalthis link is disabled. 2007, vol. 46(6), pp. 895-902.

Сведения об авторах:

Григорьев Владимир Викторович – к.ф.-н., доцент, доцент кафедры математики, эконометрики и информационных технологий факультета международных экономических отношений;

Логинова Владислава Евгеньевна – старший лаборант лаборатории компьютерного моделирования социально-экономических процессов.

УДК 621.774.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПРОКАТКЕ ТРУБ НА СТАНЕ ХПТ

Головачёва М.В., Ведерников М.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

Ключевые слова: холоднодеформированные трубы, станы холодной пильгерной прокатки, выбор эффективных профилировок калибров и оправок станов ХПТ.

Аннотация. Постоянно развивающиеся технологии, повышают потребность в прецизионных и высокоточных трубах. Изготовление холоднокатаных труб является высокочрезвычайно затратным производством. Поэтому даже небольшое удешевление технологического процесса при обеспечении требуемого уровня качества продукции способно значительно улучшить экономические показатели предприятия. Данная работа посвящена выбору эффективной калибровки инструмента станов ХПТ при изготовлении тонкостенных нержавеющей труб.

DETERMINATION OF RATIONAL CALIBRATION OF THE TOOL A MILL COLD PILGERING ROLLING

Golovacheva M.V., Vedernikov M.A.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,

Yekaterinburg

Keywords: cold-deformed pipes, cold pilger rolling mills, selection of effective profiling of calibers and mandrels for mills.

Abstract. Constantly developing technologies increase the need for precision and high-precision tubes. The production of cold-rolled pipes is a high-cost production. Therefore, even a slight reduction in the cost of the technological process while ensuring the required level of product quality can significantly improve the economic performance of the enterprise. This work is devoted to the choice of effective tool calibration for cold rolling mills in the manufacture of thin-walled stainless steel pipes.

Атомный энергопромышленный комплекс России во многом определяет развитие других отраслей экономики. В настоящее время правительственная целевая программа «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России» обеспечивает устойчивый спрос на нержавеющие трубы специального назначения для атомной энергетики. Одним из востребованных видов продукции являются нержавеющие особотонкостенные трубы размером 95x2 мм с повышенными требованиями к точности по ГОСТ 9941-81.

Изготовление труб производится на станах холодной периодической прокатки валкового и роликового типов (ХПТ и ХПТР). В условиях цеха №7 ООО «Киберсталь» трубы марки стали 12X18H10T размером 95x2 мм изготавливают из горячекатаной заготовки 108x5,0 мм по маршруту:

0. 108x5,0;
1. 96x2,51 ХПТ 75 т/о;
2. 95x2,0 ХПТР 60-120 т/о.

Для обеспечения сроков закрытия заказов и увеличения объемов выпускаемых труб данного сортамента, предлагается маршрут изготовления без использования стана ХПТР 60-120:

- 0: 108x5 мм;
1: 95x2 мм ХПТ 75 т/о.

При прямом прокате на стане ХПТ на готовый размер возможны отклонения геометрических размеров труб. Причины снижения показателей качества при прокатке труб на станах ХПТ рассмотрены в различных работах [1, 2]: разностенность труб-заготовок, дробность деформации и скорость прокатки; осевые силы; уровень виброактивности стержня.

Одним из главных вопросов в технологии производства высокоточных труб является также выбор эффективных профилировок калибров и оправок станов ХПТ. Рассмотрению этого вопроса посвящено много работ, выполненных на разных этапах развития теории и технологии прокатки [2-4].

Для определения рациональной калибровки инструмента при прокатке труб по маршруту 108x5 мм → 95x2 мм были произведены расчеты по методикам НИТИ-НТЗ, МИСиС, УралНИТИ с помощью пакета прикладных программ, разработанного на кафедре ОМД УрФУ.

Для калибровок МИСиС и НИТИ-НТЗ, характерны переменная конусность развертки ручья и постоянная конусность оправки. Общие признаки этих калибровок – падающий режим относительных обжатий по ходу прокатки, наличие зоны свободного редуцирования и использование оправки с прямолинейной образующей [5]. Отличие калибровки УралНИТИ заключается в использовании оправки с криволинейной образующей.

Рассчитанные параметры для различных калибровок представлены в таблице 1.

Табл. 1. Рассчитанные параметры

Методика расчета	Вытяжка	Степень деформации сдвига	Дробность деформации	Максимальное усилие на валок, кН	Поврежденность	
					Без термообработки ω_0	С учетом термообработки ω_0
УралНИТИ	2,769	2,37	42	1468	0,205	0
МИСиС	2,769	2,32	41	1330	0,200	0
НИТИ-НТЗ	2,769	2,37	41	1411	0,224	0

Для выбора методики расчета анализировали распределение сил прокатки при прямом и обратном ходах клетки, их максимальные величины, величину накопленной поврежденности в формулировке А. А. Богатова, дробность деформации, распределение частных обжатий по длине рабочего конуса.

Для полученных калибровок были рассчитаны усилия в каждом сечении. Результаты расчетов приведены на рисунке 1.

Для обеспечения требуемой точности толщины стенки функции образующих калибра $D(x)$ и оправки $d(x)$ должны быть согласованы по первой производной в конце обжимного участка.

Данное условие не выполняется в методиках расчета МИСиС, а в методике НИТИ-НТЗ и УралНИТИ выполняется. В первом случае это приводит к

неустраняемой продольной разностенности труб, которая оценивается как разность между номинальной толщиной стенки и ее значением в сечении, отстоящем на величину линейного смещения от сечения «перезима». Это связано с геометрии рабочего конуса и упругой деформацией клетки и калибров.

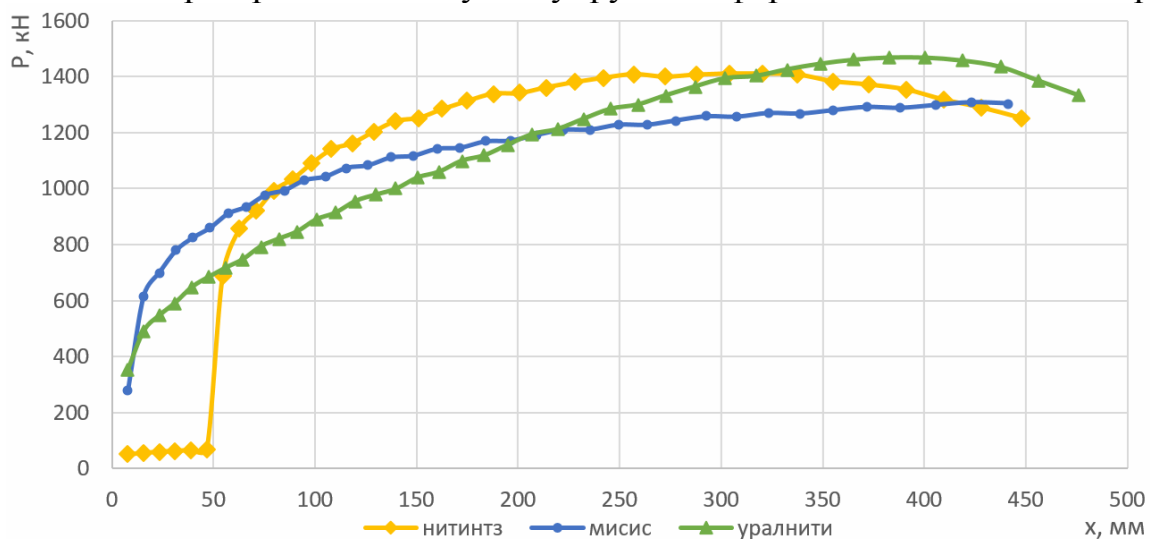


Рис. 1. Распределение усилий при прямом ходе клетки

Из графиков распределения усилий видно, что при калибровке НИТИ-НТЗ усилия прокатки, убывающее к концу рабочего участка, такое распределение усилий благоприятно сказывается на поперечной разностенности труб. Усилия прокатки примерно одинаковы в рассмотренных методиках расчета.

В результате анализа для прокатки труб 108x5-95x2 из стали 12X18Н10Т с повышенными требованиями к точности на стане ХПТ-75 рационально использовать калибровку НИТИ-НТЗ или УралНИТИ. Однако необходимо учесть преимущества вогнутой оправки, такие как согласование наклона калибра и оправки перед калибрующим участком, что уменьшает продольную разностенность; переменная конусность оправки, наибольшая в начале обжимного участка, что уменьшает длину зоны редуцирования, где реализуется неблагоприятная схема напряженного состояния и возможно наведение поперечной разностенности. Поэтому рекомендована методика УралНИТИ.

Список литературы

1. Фролов В.Ф., Данченко В.Н., Фролов Я.В. Холодная пильгерная прокатка труб: Монография. – М.: Пороги, 2005. – 260 с.
2. Шевакин Ю.Ф. Калибровки и усилия при холодной прокатке труб. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1963. – 269 с.
3. Орлов Г.А. Основы теории прокатки и волочения труб: учебное пособие / научный редактор В.П. Швейкин. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2016. – 204 с.
4. Столетний М.Ф., Клемперт Е.Д. Точность труб. – М.: Металлургия, 1975. – 239 с.
5. Чечулин Ю.Б., Кондратов А.А., Орлов Г.А. Холодная прокатка труб: монография. – М.: Металлургиздат, 2017. – 332 с.

Сведения об авторах:

Головачёва Марина Владимировна – аспирант;
Ведерников Михаил Алексеевич – магистрант.

МОДЕРНИЗАЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ УДГ Д-160 ДЛЯ ВОЗМОЖНОСТИ НАРЕЗАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ВИНТОВЫМ ЗУБОМ

Федорова Е.Д., Греков А.В., Порсев К.И.

Ярославский государственный технический университет, Ярославль

Ключевые слова: универсальная делительная головка УДГ Д-160, фрезерование винтовых поверхностей, метод дифференциального деления.

Аннотация. В статье рассматривается возможность модернизации универсальной делительной головки УДГ Д-160 для нарезания винтовых канавок дифференциальным методом. На основе добавления дополнительного приклона, разработан вариант конструкции универсальной делительной головки УДГ Д-160, упрощающий процесс фрезерования винтовых поверхностей. В результате реализации предложенного решения предоставляется возможным определение параметров настройки для фрезерования винтовых канавок, в том случае, когда подобрать диск с соответствующим количеством канавок методом простого деления не удается.

MODERNIZATION OF A UNIVERSAL DIVIDING HEAD UDG D-160 FOR THE POSSIBILITY OF CUTTING GEARS WITH A HELICAL TOOTH

Fedorova E.D., Grekov A.V., Porsev K.I.

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl

Keywords: universal dividing head UDG D-160, milling of helical surfaces, differential division method.

Abstract. The article considers the possibility of upgrading a universal dividing head UDG D-160 for cutting screw grooves by differential method. Based on the addition of an additional slope, a variant of changing the design of the universal dividing head UDG D-160 has been developed, simplifying the process of milling screw surfaces. As a result of the implementation of the proposed solution, it is possible to determine the settings for milling screw grooves, in the case when it is not possible to select a disk with the appropriate number of grooves by simple division.

Делительная головка – приспособление металлорежущих станков (преимущественно фрезерных) для поворота обрабатываемой детали на определенный угол [1]. Универсальные делительные головки применяются для периодического поворота обрабатываемой заготовки вокруг оси и для непрерывного его вращения, согласованного с продольной подачей стола при нарезании винтовых канавок [2].

При методе дифференциального деления настройки универсальной делительной головки необходимо использовать гитару, соединяющую шпиндель делительной головки и диск. При фрезеровании винтовых поверхностей заготовке необходимо сообщить одновременно два движения – перемещение вдоль оси и согласованное с ним вращение [3]. При нарезании винтовых канавок гитара нужна для соединения ходового винта стола и шпинделя делительной головки. Использование одного и того же приклона при пересборке гитар невозможно, в виду сдвига зубчатых колес при обратной сборке.

В связи с необходимостью нарезания винтовых канавок дифференциальным методом, в рамках данной работы была поставлена задача разработки и изготовления двух гитар (на примере универсальной делительной головки УДГ Д-160) (рис. 1), по очереди, использующихся для нарезания винтовых канавок и для настройки делительной головки, в том случае, когда диск с соответствующим количеством отверстий подобрать не удастся.



Рис. 1. Исходный вид универсальной делительной головки УДГ Д-160

В рамках работ по модернизации делительной головки УДГ Д-160 был спроектирован дополнительный приклон, в который вставляется гитара сменных зубчатых колес (рис. 2).



Рис. 2. Модернизированная универсальная делительная головка УДГ Д-160

Оба приклона (спроектированный и исходный) оснащены новыми пальцами с бронзовыми втулками, так как длина старых креплений не подходит для новой конструкции. Для посадки двух приклонов был конструктивно переработан входной вал универсальной делительной головки. Дополнительно был сделан выход от шпинделя делительной головки на гитару и отрегулировано крепление делительного диска.

На рисунке 3 представлена схема работы модернизированной делительной головки УДГ Д-160 в разных режимах.

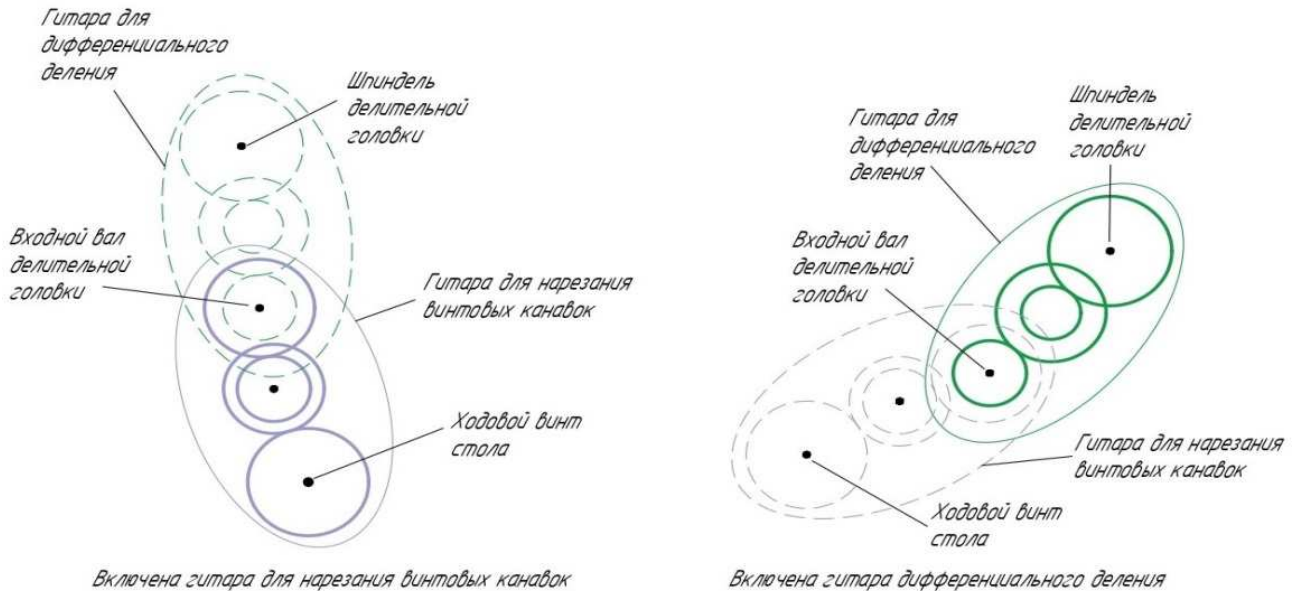


Рис. 3. Схема работы модернизированной делительной головки УДГ Д-160 в разных режимах

В результате использования предложенного решения можно определять параметры настройки для фрезерования винтовых канавок, в том случае, когда подобрать диск с соответствующим количеством канавок методом простого деления не удается.

Список литературы

1. Ишлинский А.Ю. Политехнический словарь. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – 656 с.
2. Трижды ордена Ленина Ленинградское оптико-механическое объединение имени В.И. Ленина. Головки делительные универсальные УДГ Д-160, УДГ Д-200, УДГ Д-250, УДГ Д-320, УДГ Д-420. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Ю-42.47.013 ТО, 1986. – 54 с.
3. Барбашов Ф.А. Фрезерное дело. Учебное пособие для сред. проф.-техн. училищ. – Изд. 2-е. – М.: Высш. школа, 1975. – 216 с.

Сведения об авторах:

Федорова Екатерина Дмитриевна – студент;

Греков Алексей Владимирович – заведующий лабораторией кафедры компьютерно-интегрированной технологии машиностроения;

Порсев Кирилл Игоревич – к.т.н., заведующий кафедрой компьютерно-интегрированной технологии машиностроения.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВЫЛИВА МАСЛА ИЗ ГИДРОСИСТЕМЫ ТРАКТОРА

Орловский С.Н.¹, Войнаш С.А.², Соколова В.А.³, Марков В.А.⁴

¹Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск;

²Казанский федеральный университет, Казань;

³Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург;

⁴Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург

Ключевые слова: жидкость, шланг, обрыв, отключение.

Аннотация. В статье рассматривается проблема исключения вылива масла из гидросистемы тракторного агрегата при обрыве шланге гидросистемы в окружающую среду. Принцип работы предохранительного устройства заключается в том, что при обрыве шланга жидкость прекращает подачу в гидронасос ввиду завоздушивания магистралей.

DEVICE FOR PREVENTING OIL SPILL FROM THE TRACTOR HYDRAULIC SYSTEM

Orlovskiy S.N.¹, Voinash S.A.², Sokolova V.A.³, Markov V.A.⁴

¹Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk;

²Kazan Federal University, Kazan;

³Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint-Petersburg;

⁴Saint-Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov, Saint-Petersburg

Keywords: liquid, hose, breakage, shutdown.

Abstract. The article deals with the problem of eliminating the outflow of oil from the hydraulic system of the tractor unit when the hydraulic system hose breaks into the environment. The principle of operation of the safety device is that when a hose breaks, the fluid stops flowing into the hydraulic pump due to airing of the line.

Косилка Т-211 на самоходном шасси ВТЗ-30 СШ, предназначена для скашивания травы, а также для окашивания и удаления травы с горизонтальных участков обочин дорог и полосы отвода. Оборудование, состоящее из рабочего органа, основной рамы, поворотной рамы, рамы рабочего органа и гидросистемы, навешено на самоходное шасси [1, 2] (рис. 1).

Оборудование косилки состоит из рабочего органа, основной рамы, поворотной рамы, рамы рабочего органа и гидросистемы привода роторного рабочего органа, навешено на самоходное шасси [3].

Косилка оборудована системой исключения вылива масла при обрыве рукавов высокого давления. При обрыве рукава высокого давления вне зоны видимости или при наблюдении трактористом за трассой движения произойдёт вылив масла из гидросистемы, что вызовет длительный перерыв в работе для

доставки масла на удалённый объект, загрязнение окружающей среды и простой. При этом происходит также загрязнение окружающей среды ввиду повреждения почвы и растительности при попадании горюче смазочных материалов.

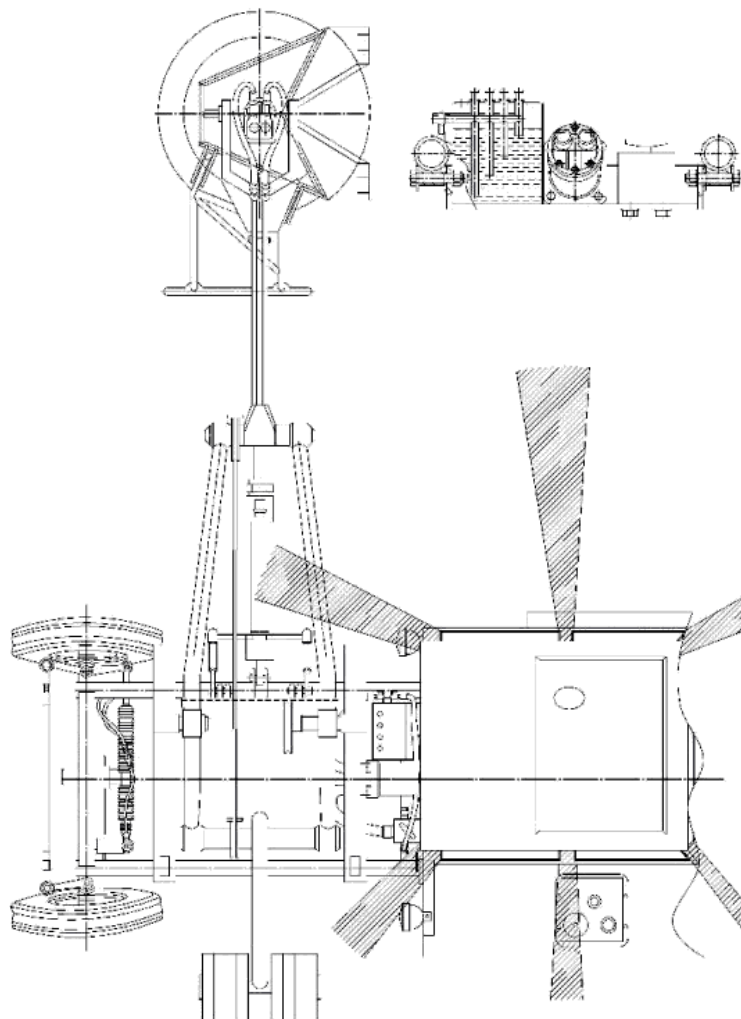


Рис. 1. Косилка Т-211 на самоходном шасси ВТЗ-30 СШ

При обрыве рукава высокого давления вне зоны видимости или при наблюдении трактористом за трассой движения произойдёт, вылив масла из гидросистемы, что вызовет длительный перерыв в работе для доставки масла на удалённый объект, загрязнение окружающей среды и простой. Время полного вылива масла из гидробака составит около 1 мин. Для исключения этого в проекте предложена конструкция гидробака с устройством, исключающим полный вылив масла из гидросистемы. Также устройство позволяет демонтировать бак с трактора при ремонте без слива масла, что также исключает загрязнения гидравлической системы и снижает трудоёмкость работ [1-3]. Чертёж устройства представлен на рисунке 2.

На раме 1 самоходного шасси (в данном примере с косилкой) смонтирован гидробак 2. Внутри него установлен горизонтальный трубопровод 3, соединяемый через штуцер 6 и всасывающий рукав с гидронасосом 7. На трубе 3 приварены вертикальные патрубки 4 различной длины. Верхние концы их закрыты заглушками 5.

Устройство работает следующим образом. При работе косилки масло из гидравлического бака 2 по вертикальным патрубкам 4 всасывается в

горизонтальную трубу 3 и далее в трубопровод к насосу всасывающий 6, по которому поступает в гидронасос 7, из которого по трубопроводам поступает к гидравлическому двигателю привода ротора косилки. При обрыве рукава высокого давления или разгерметизации напорной, или сливной магистралей масло начинает вытекать из бака, уровень его падает и правый (на рисунке) вертикальный патрубок 4 начинает поступать воздух.

Рабочий орган останавливается, тракторист устраняет повреждение и опускает заглушку 5 правого патрубка в нижнее положение. Трубопровод 3 перекрывается, и масло поступает по второму справа вертикальному патрубку 4 в горизонтальную трубу 3.

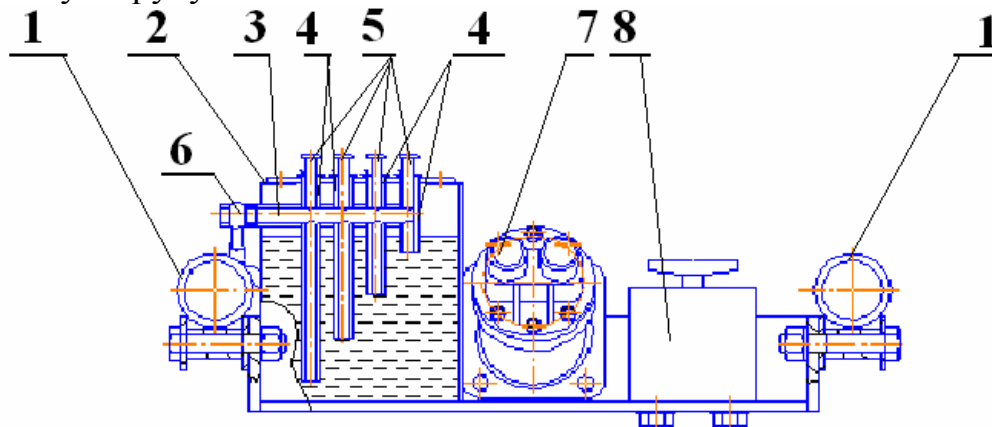


Рис. 2. Схема гидробака с приспособлением для исключения вылива масла при обрыве рукава высокого давления: 1 – рама самоходного шасси, 2 – гидравлический бак, 3 – горизонтальная труба, 4 – вертикальные патрубки, 5 – заглушки, 6 - трубопровод к насосу всасывающий, 7 – насос 210.20, 8 – предохранительный клапан КПЕ – 20

При следующей аварии гидросистемы процесс повторяется, в нижнее положение переводится уже следующая (вторая справа) заглушка.

Такая конструкция исключает полный вылив масла из гидросистемы и связанное с этим сильное загрязнение окружающей среды, а также простой машины.

Список литературы

1. ГОСТ 12.3.001-91 ССБТ. Пневмоприводы. Общие требования безопасности к монтажу, испытаниям и эксплуатации.; Введ. 01.11.1985; Ред. 22.10.1991. – 4 с.
2. ГОСТ 12.2.040-01 ССБТ. Гидравлические приводы и другие гидравлические устройства. Общие требования безопасности к монтажу, испытаниям и эксплуатации.; Введ. 28.10.1985; Ред. 21.03.2001. – 6 с.
3. Долгачёв Ф.М. Основы гидравлики и гидропривод: учеб. для техн. Лейко. – М.: Стройиздат, 1981. – 183 с.

Сведения об авторах:

Орловский Сергей Николаевич – к.т.н., доцент, доцент;

Войнаш Сергей Александрович – ведущий инженер научно-исследовательской лаборатории «Интеллектуальная мобильность»;

Соколова Виктория Александровна – к.т.н., преподаватель;

Марков Виктор Александрович – к.т.н., доцент, доцент.

КОНЦЕПЦИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТНО-ТЯГОВОГО МОДУЛЯ

Добрецов Р.Ю.¹, Чупрова А.Л.¹, Войнаш С.А.², Соколова В.А.³, Алексеева С.В.⁴

¹*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург;*

²*Казанский федеральный университет, Казань;*

³*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург;*

⁴*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург*

Ключевые слова: трансмиссия, механизм распределения мощности, устойчивость, управляемость.

Аннотация. В работе рассматривается вопрос выбора состава трансмиссии одноосной транспортно-тяговой машины, обосновывается целесообразность возвращения к концепции использования одноосных тягачей с активными прицепами. Современные технические решения позволяют осуществить электромеханический привод активного прицепа, расположив генератор на шасси одноосного тягача. Таким образом, получаемый автопоезд или технологический агрегат реализует принцип параллельного гибрида. На основе проведенных исследований предложена общая структура трансмиссии одноосного тягача и ряд конкретных схемных решений для механизма распределения мощности.

THE CONCEPT OF AN ELECTROMECHANICAL TRANSPORT AND TRACTION MODULE

Dobretsov R.Yu.¹, Chuprova A.L.¹, Voinash S.A.², Sokolova V.A.³, Alekseeva S.V.⁴

¹*Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg;*

²*Kazan Federal University, Kazan;*

³*Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint-Petersburg;*

⁴*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg*

Keywords: transmission, power distribution mechanism, stability, controllability.

Abstract. The paper considers the issue of choosing the composition of the transmission of a single-axle transport and traction machine, justifies the expediency of returning to the concept of using single-axle tractors with active trailers. Modern technical solutions make it possible to implement an electromechanical drive of an active trailer by placing the generator on the chassis of a single-axle tractor. Thus, the resulting road train or technological unit implements the principle of a parallel hybrid. Based on the conducted research, the general structure of the transmission of a single-axle tractor and a number of specific circuit solutions for the power distribution mechanism are proposed.

В современных решениях в России одноосные транспортно-тяговые модули представлены серийно в виде мотоблоков. Реже подобные машины встречаются в виде одноосных тракторов типа «Риони», автокаров (например, АК-1) и электрокаров (ЭК-2). Малоразмерные модули решают в основном задачи,

связанные с транспортировкой малых объемов грузов и выполнения сельскохозяйственных работ в малобюджетных частных хозяйствах. Для таких машин характерна комбинация собственно одноосного тягового модуля с приводом от ДВС и пассивного прицепа.

Однако, одноосные тягачи имеют специфическую историю и обладают экономическим потенциалом. Переход от макроразмерных транспортных средств к форм-фактору мотоблока не является необходимым, а потенциал используемого принципа может быть реализован на основе технических решений современного уровня.

Изначально тяговый модуль несет двигатель внутреннего сгорания и механическую трансмиссию и ориентирован на работу в паре с прицепным агрегатом. Приблизительно 1937 г. датируются машины такой концепции от фирмы LeTourneau (США, тягач Tournapull). В СССР подобные машины появляются, по-видимому, на принципах ре-инжиниринга. Наибольшее распространение получает вариант со скрепером [1,2]. СССР выпускались тягачи МАЗ-529 и МоАЗ-529, БелАЗ-531 и БелАЗ-7422. Тягачи хорошо показали себя при работе со скреперами и длинномерными прицепными агрегатами (специальные краны, транспортные платформы и др.).

К достоинствам концепции можно отнести следующие возможности:

- по сравнению с машинно-тракторным агрегатом, на ведущие колёса тягача передаётся часть веса агрегируемой машины, что улучшает сцепные свойства колёс и повышает тяговые усилия при меньшей массе агрегата;

- по сравнению с автомобилем одноосный тягач не нуждается в управляемых колёсах, следовательно, радиус и ширина колёс могут быть очень большим при малой ширине машины (это улучшает проходимость);

- возможность принудительного поворота относительно полуприцепной машины на 90° ;

- агрегат с одноосным тягачом имеет передний привод, что также улучшает проходимость и манёвренность;

- агрегат с одноосным тягачом компактнее, чем аналогичный МТА;

- агрегат с одноосным тягачом имеет значительно большие скорости движения (до 50 км/ч) по сравнению с МТА;

- ведомые колёса агрегата могут быть очень малого диаметра без ущерба для проходимости, что позволяет размещать высокогабаритные машины и модули (подъёмные краны, пусковые или зарядные установки ракет);

- агрегируемость с набором прицепов.

К серьезным недостаткам относили (для серийных машин) невозможность управления поворотом без прицепа; сложность привода колес активного прицепа; низкие скорости движения, ограниченные угрозой опрокидывания при повороте с малым радиусом; значительный расход топлива и др. В СССР выпускались тягачи МАЗ-529 (г. Минск) и МоАЗ-529 (г. Могилев), БелАЗ-531 и БелАЗ-7422. Тягачи хорошо показали себя при работе со скреперами и длинномерными прицепными агрегатами (специальные краны, транспортные платформы и др.). В настоящее время промышленные одноосные тягачи в России не выпускаются. В

зарубежном машиностроении одноосные тягачи существуют, как составная часть разновидности сочлененных самосвалов («articulated dump truck», ADT).

Современные возможности машиностроительной отрасли позволяют вернуться к вопросу о целесообразности производства и эксплуатации одноосных тягачей, поскольку сейчас имеются технические решения по узлам и агрегатам трансмиссии, позволяющие нивелировать многие недостатки, присущие такому типу тягово-транспортных машин.

Компоновка перспективного одноосного тягача – бескапотная (используется схема «кабина над двигателем» по классификации [3]).

Структурная схема трансмиссии показана на рисунке 1.

Силовая установка тягача – гибридная. На тягаче расположены двигатель внутреннего сгорания с обслуживающими системами, механическая трансмиссия, тяговый электрогенератор для обеспечения потребностей активного прицепа (по схеме на рис. 1 приводится от гитары или трансформирующего механизма). Активный прицеп имеет собственные тяговые электродвигатели (ТЭД), электромеханическую трансмиссию и и буферные накопители энергии (преимущественно работают на утилизацию энергии торможения прицепа).

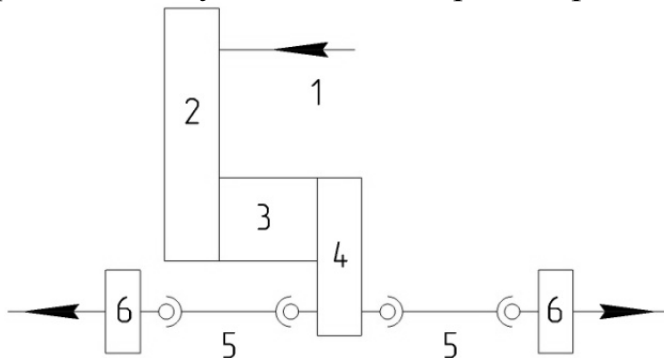


Рис. 1. Состав перспективной трансмиссии одноосного тягача: 1 – входной вал; 2 – редуктор («гитара»); 3 – трансформирующий механизм; 4 – управляемый механизма распределения мощности; 5 – полуоси с ШРУС; 6 – колесные редукторы

Использование гибридной силовой установки позволит снизить расход топлива и относительно достаточно решить вопрос с приводом колес активного прицепа.

Редуктор 2 предлагается выполнить в виде блока шестерен (по аналогии с «гитарой», характерной для трансмиссии военной или военно-инженерной машины на шасси серийного танка). Назначение редуктора – обеспечение межосевого расстояния между валами ТЭД и трансформирующего механизма 3 и изменение передаточного отношения.

Трансформирующий механизм предлагается реализовать в виде двухрежимного планетарного редуктора или вальной коробки передач с индивидуальной синхронизацией, с автоматическим переключением передач, что в частности позволит отказаться от сцепления. Технология производства и эксплуатации подобных устройств отработаны в отечественном танкостроении (см., например, источник [4]). Реверс трансмиссии будет обеспечиваться за счет реверса ТЭД. Принципы выбора передаточных отношений для такого механизма приведены, например, в статье [5].

Важную роль в повышении управляемости тягача играет управляемый механизм распределения мощности 4. Упрощенная схема механизма приведена на рис. 2. Схема механизма получена на основе использования теоретических положений, опубликованных в диссертации [6]. Приведенное на рис. 2 техническое решение защищено патентом Российской Федерации [7].

Привод ведущих колес предлагается осуществлять, как и в серийных конструкциях, через полуоси с шарнирами равных угловых скоростей 5 и колесные редукторы 6.

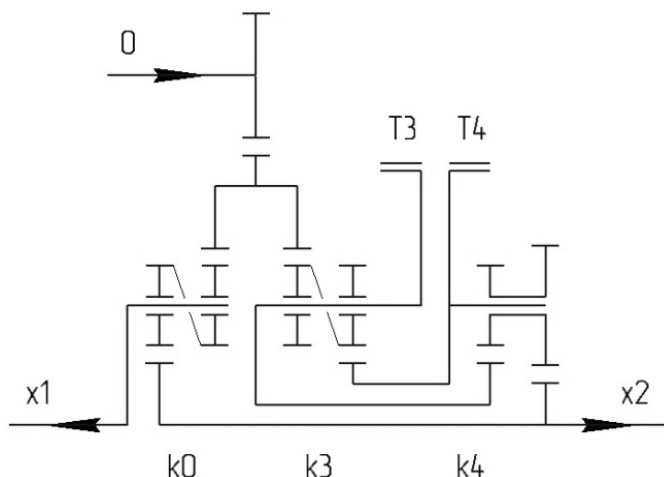


Рис. 2. Упрощенная кинематическая схема предлагаемого управляемого механизма распределения мощности [7]: 0 – входное звено; x1 и x2 – выходные звенья; T3 и T4 – элементы управления; k0, k3, k4 – кинематические параметры планетарных рядов

Управляемый механизм распределения мощности обеспечивает плавное изменение соотношения крутящих моментов на выходных валах, что позволяет реализовать качественное силовое управление поворотом. Такое решение позволяет не использовать сложный механизм управления поворотом с силовыми гидроцилиндрами, реализованный на тягачах [1,2].

При прямолинейном движении между колесами поддерживается дифференциальная связь, получаемая за счет планетарного механизма с кинематическим параметром $k_0 = (+2)$.

При повороте используется управляемое буксование тормоза T3 или T4 (в зависимости от направления поворота). Кинематические параметры k3 и k4 позволяют получить межбортовые передаточные отношения, обеспечивающие для поворота тягача относительно вертикальной оси, проходящей через седельное сцепное устройство.

Теоретически становится возможным и поворот при отсутствии прицепа, но на практике гиростабилизация одноосной платформы такой массы вряд ли целесообразна только ради обеспечения возможности самопередвижения.

Таким образом, предлагаемые технические решения могут возродить интерес к производству и эксплуатации одноосных тягачей в России.

Список литературы

1. Одноосные тягачи МАЗ-529: техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М.: Военное изд-во МО СССР, 1962. – 212 с.
2. Автомобили БЕЛАЗ 7522, 7523, 7540, 75232 и одноосный тягач 7422: руководство по эксплуатации. – Минск: Полымя, 1989. – 289 с.

3. Кравец В.Н. Проектирование автомобиля: учеб. пособие – Н. Новгород: Нижегород. Политехн. ин-т., 1992. – 230 с.
4. Расчет и конструирование гусеничных машин: учеб. для вузов. – Ленинград: Машиностроение, 1972. – 559с.
5. Поршнев Г.П., Добрецов Р.Ю., Красильников А.А. и др. Трансмиссия с электромеханической передачей для тракторов и дорожно-строительных машин // Известия МГТУ МАМИ. – 2020. – №2 (44). – С. 33-41.
6. Дидиков Р.А. Улучшение маневренности колесных машин применением управляемого механизма распределения мощности: дисс. ... канд. техн. наук. – СПб: СПбПУ, 2019. – 148 с.
7. Патент №2763002 РФ. Механизм распределения мощности в трансмиссии транспортного средства / Р.Ю. Добрецов, А.Г Семенов. – Заявка №2021124995 от 23.08.2021; опубл. 24.12.2021.

Сведения об авторах:

Добрецов Роман Юрьевич – д.т.н., доцент, профессор;

Чупрова Анастасия Леонидовна – студент;

Войнаш Сергей Александрович – ведущий инженер научно-исследовательской лаборатории «Интеллектуальная мобильность»;

Соколова Виктория Александровна – к.т.н., доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств;

Алексеева Светлана Владимировна – к.т.н., доцент кафедры математики.

УДК 621.79

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАСПЛАВА РВ-ВИ С МАТЕРИАЛАМИ, СПРЕССОВАННЫМИ ИЗ ЖЕЛЕЗНЫХ ПОРОШКОВ

Виниченко В.О., Соколов Е.Г., Магда А.В.

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар

Ключевые слова: расплавы, оксидные пленки, порошковые материалы, эвтектика свинец-висмут.

Аннотация. Одним из методов получения защитных покрытий на изделиях из порошкового железа является химико-термическая обработка в «транспортных расплавах» легкоплавких металлов. Цель работы – изучить особенности взаимодействия расплава свинец-висмут с поверхностью изделий, спрессованных из железных порошков. Проведены экспериментальные исследования на образцах различной плотности, спрессованных из железных порошков марок ПЖР 2.200.26 и ПЖВ 2.160.26. Образцы выдерживали в расплаве Pb-Bi, после чего изучали состояние поверхности, измеряли размеры. Образцы, спрессованные из порошка ПЖР 2.200.26, подверглись интенсивному растворению расплавом Pb-Bi, что обусловлено наличием нестойких оксидных пленок на частицах порошка.

INTERACTION OF PB-BI MELT WITH MATERIALS PRESSED FROM IRON POWDERS

Vinichenko V.O., Sokolov E.G., Magda A.V.

Kuban state technological University, Krasnodar

Keywords: melts, oxide films, powder materials, lead-bismuth eutectic.

Abstract. One of the methods of obtaining protective coatings on products made of powdered iron is chemical-thermal treatment in "transport melts" of low-melting metals. The purpose of the work is to study the features of the interaction of lead-bismuth melt with the surface of products pressed from iron powders. Experimental studies were carried out on samples of various densities compressed from iron powders of the grades PZHR 2.200.26 and PZHV 2.160.26. The samples were kept in a Pb-Bi melt, after which the surface condition was studied, the dimensions were measured. The samples compressed from the powder PZHR2.200.26 were subjected to intensive dissolution of Pb-Bi melts, due to the presence of unstable oxide films on the powder particles.

Химико-термическая обработка в «транспортных расплавах» легкоплавких металлов является одним из методов получения защитных покрытий на железе и его сплавах. В качестве «транспортных расплавов» могут применяться расплавы свинца, эвтектики свинец-висмут, содержащие добавки элементов покрытия, диффундирующие в материал изделия [1, 2]. Взаимодействие расплавов легкоплавких металлов со сплавами железа имеет место также при пайке, получении композиционных материалов и других технологических процессах [3]. При определенных условиях расплавы легкоплавких металлов могут интенсивно растворять поверхность стали и технического железа, создавая коррозионные повреждения [4].

Цель настоящей работы – изучить особенности взаимодействия расплава эвтектики свинец-висмут с поверхностью изделий, спрессованных из железных порошков.

Материалы, спрессованные из металлических порошков, имеют более развитую и более дефектную поверхность по сравнению с литыми и катаными материалами. Поверхность частиц порошка обычно покрыта оксидной пленкой, поэтому в неспеченном материале частицы могут контактировать через прослойки оксидов. Наибольшая толщина оксидной пленки свойственна порошкам, полученным методом распыления. При погружении такого материала в расплав, оксидная пленка является барьером между спрессованным материалом и расплавом.

При взаимодействии оксидных пленок с расплавами легкоплавких металлов возможны следующие реакции:

- восстановление оксида железа расплавом;
- диссоциация оксида железа и растворение кислорода в расплаве.

В работе [1] установлено, что оксиды железа Fe_2O_3 и Fe_3O_4 неустойчивы в висмуте, так как при их контакте с расплавом Bi возможно образование Bi_2O_3 (и, соответственно, восстановление железа). Оксид FeO удаляется с поверхности железа расплавами свинца и висмута за счет растворения, которое начинается при температурах менее $500^\circ C$ и значительно ускоряется выше $530^\circ C$.

После удаления оксидных пленок начинается растворение металла основы, состоящее из двух элементарных процессов: плавления поверхности твердой фазы и последующего смешивания двух жидкостей [4].

Протекание процесса плавления твердой фазы обусловлено ее термодинамическим состоянием. Материал, спрессованный из металлического порошка, находится в состоянии, удаленном от термодинамического равновесия. Это обусловлено не только развитостью свободной поверхности порошкового материала, но и дефектностью строения самих частиц порошка. С изменением линейного размера частиц должны изменяться некоторые их физико-химические характеристики, в частности, температура плавления.

Известно, что мелкодисперсные порошки металлов имеют пониженную температуру плавления [5]. Например, частицы серебра диаметром $0,02$ мкм плавятся при температуре около $800^\circ C$, т. е. значительно ниже теоретической температуры плавления серебра ($t = 960,5^\circ C$).

Таким образом, при нагреве прессовки в расплаве легкоплавкого металла переход атомов твердой фазы в расплав должен облегчаться в связи с термодинамически неравновесным состоянием порошковой прессовки.

Растворение расплавами неспеченных и спеченных прессовок из железного порошка было исследовано экспериментально. Образцы представляли собой втулки, спрессованные из порошкового железа ПЖР 2.200.26 (порошок получен распылением) и ПЖВ 2.160.26 (порошок получен восстановлением). Внешний диаметр втулок до спекания составлял 16 мм. Плотность втулок составляла $90, 85$ и 75% (варьировалась за счет изменения давления прессования). Спрессованные и спеченные образцы выдерживали в расплаве эвтектики $Pb-Bi$ при $1100^\circ C$ в течение 6 ч. Такие температура и выдержка соответствуют режиму химико-термической обработки (например, диффузионного хромирования) в «транспортных расплавах». После охлаждения с поверхности образцов удаляли остатки расплава и измеряли внешний диаметр с помощью микрометра.

На прессовках из порошка ПЖР 2.200.26 после выдержки в расплаве, наблюдалось разрушение поверхности, которое происходило за счет «вымывания» частиц порошка. По-видимому, наличие нестойких оксидных пленок на поверхности частиц распыленного порошка способствовало растворению расплавом межчастичных контактов прессовки.

На прессовках из порошка ПЖВ 2.160.26 разрушение поверхностного слоя не наблюдалось. После выдержки в расплаве размер втулок уменьшился (табл. 1). Это обусловлено усадкой материала при спекании и растворением поверхности расплавом. С уменьшением плотности спеченного железа интенсивность его растворения расплавом увеличивается.

Сравнение размеров предварительно спеченных и неспеченных прессовок показывает, что неспеченные прессовки более интенсивно растворялись расплавом. Полученный результат объясняется тем, что неспеченный материал находится в состоянии более удаленном от термодинамического равновесия, чем спеченный, поэтому при помещении в расплав неспеченный материал более подвержен растворению.

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Неспеченные прессовки из порошка ПЖР 2.200.26 подверглись интенсивному растворению в расплаве Pb-Vi, что обусловлено неравновесным состоянием неспеченного материала и наличием нестойких оксидных пленок на частицах порошка.

2. С уменьшением плотности прессовок из железного порошка увеличивается интенсивность их растворения расплавом Pb-Vi.

Табл. 1. Изменение размеров образцов из порошкового железа ПЖВ 2.160.26 при спекании и выдержке в расплаве Pb-Vi

Тип обработки	Пористость Fe, %	Диаметр втулок, мм
Прессование	10	15,980
	15	15,968
	25	15,957
Спекание	10	15,923
	15	15,902
	25	15,904
Прессование + выдержка в расплаве	10	15,883
	15	15,862
	25	15,841
Прессование + спекание + выдержка в расплаве	10	15,900
	15	15,885
	25	15,875

Список литературы

1. Артемьев В.П. Разработка научных и технологических основ химико-термической обработки сталей в жидкометаллических расплавах: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Краснодар: КубГТУ, 2001. – 47 с.

2. Патент №2174059 РФ. Способ химико-термической обработки изделий, спрессованных из металлических порошков / В.П. Артемьев, Е.Г. Соколов, С.М. Юрчик. – Заявка №2000100894/02 от 11.01.2000; опубл. 27.09.2001.
3. Соколов Е.Г., Озолин А.В., Козаченко А.Д. Влияние кобальта на процесс пайки алмазно-абразивных инструментов композиционными припоями Sn-Cu-Co-W // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2016. – № 5 (23). – С. 5.
4. Никитин В.И. Физико-химические явления при воздействии жидких металлов на твердые. – М.: Атомиздат, 1967. – 328 с.
5. Гегузин Я.Е. Физика спекания – М.: Наука, 1967 – 360 с.

Сведения об авторах:

Виниченко Владислав Олегович – студент;

Соколов Евгений Георгиевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры инженерии систем управления, материалов и технологий в машиностроении;

Магда Андрей Викторович – студент.

СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КВАДРАТНЫХ ОТВЕРСТИЙ ОСЕВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Полторацкий С.Г.

Белорусско-Российский университет, Могилев

Ключевые слова: квадратное отверстие, осевой инструмент, режимы резания, силы резания.
Аннотация. Расчет сил резания и построение схемы действия данных сил является важной частью расчета инструмента на точность и прочность. Без этих данных мы не сможем дать адекватную оценку процессам, протекающим в зоне обработки и, следовательно, планировать получение качественных поверхностей после обработки.

CUTTING FORCES WHEN FORMING SQUARE HOLES WITH AN AXIAL TOOL

Paltaratski S.G.

Belarusian-Russian University, Mogilev

Keywords: square hole, axial tool, cutting conditions, cutting forces

Abstract. The calculation of cutting forces and the construction of a diagram of the action of these forces is an important part of calculating the tool for accuracy and strength. Without this data, we will not be able to give an adequate assessment of the processes taking place in the processing zone and, therefore, plan to obtain high-quality surfaces after processing.

В зависимости от степени сложности условий, в которых совершается процесс пластического деформирования металлов при резании и, следовательно, стружкообразование, необходимо принципиально различать два случая, это свободное и несвободное резание.

При свободном резании в работе принимает участие только главная режущая кромка, и все участки режущей кромки находятся в одинаковых условиях, а направления перемещения всех частиц стружки практически одинаковы [1].

Несвободное резание воспроизводится в наиболее распространенных технологических схемах обработки металлов – точении, строгании, фрезеровании, зубофрезеровании, сверлении, а так же при обработке гранных отверстий специализированным осевым инструментом [2] и др. и характеризуется тем, что слой металла срезается несколькими режущими кромками или одной криволинейной режущей кромкой.

При несвободном резании силу R_1 , которая преодолевает сопротивление резанию, можно разложить на две составляющие [3]: окружную силу P_z , действующую по касательной к траектории движения режущего лезвия, и радиальную P_y (рис. 1).

Расчет силы резания осуществляется по классической методике в соответствии со справочником технолога-машиностроителя [4], при условии фрезерования с предварительно просверленным отверстием с диаметром равным диаметру вписанной окружности обрабатываемого квадратного отверстия.

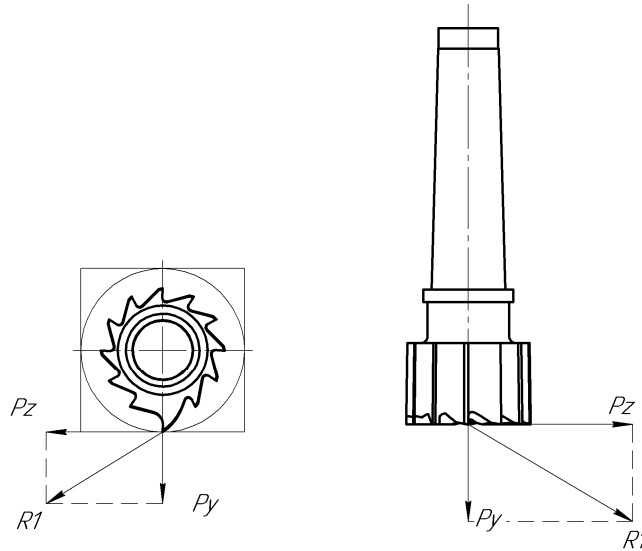


Рис. 1. Схема сил резания

Сначала проведем расчёт окружной силы P_z .

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s_z \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}, \quad (1)$$

где C_p – коэффициент, зависящий от материала инструмента и обрабатываемого материала; t – глубина фрезерования; s_z – подача, мм/об; D – диаметр фрезы, мм; z – количество зубьев фрезы; n – частота вращения фрезы, об/мин; B – ширина фрезерования, мм; x, q, w – показатели степени; K_{mp} – поправочный коэффициент.

В результате была получена теоретическая сила резания $P_z = 200,81$ Н. Радиальная сила P_y равна 0,5...0,55 от окружной силы. По расчетам она составит 100,4 Н.

Приложим рассчитанные силы к инструменту для обработки гранных отверстий [4] в программном продукте Solidworks Simulation и получим следующий результат (рис. 2).

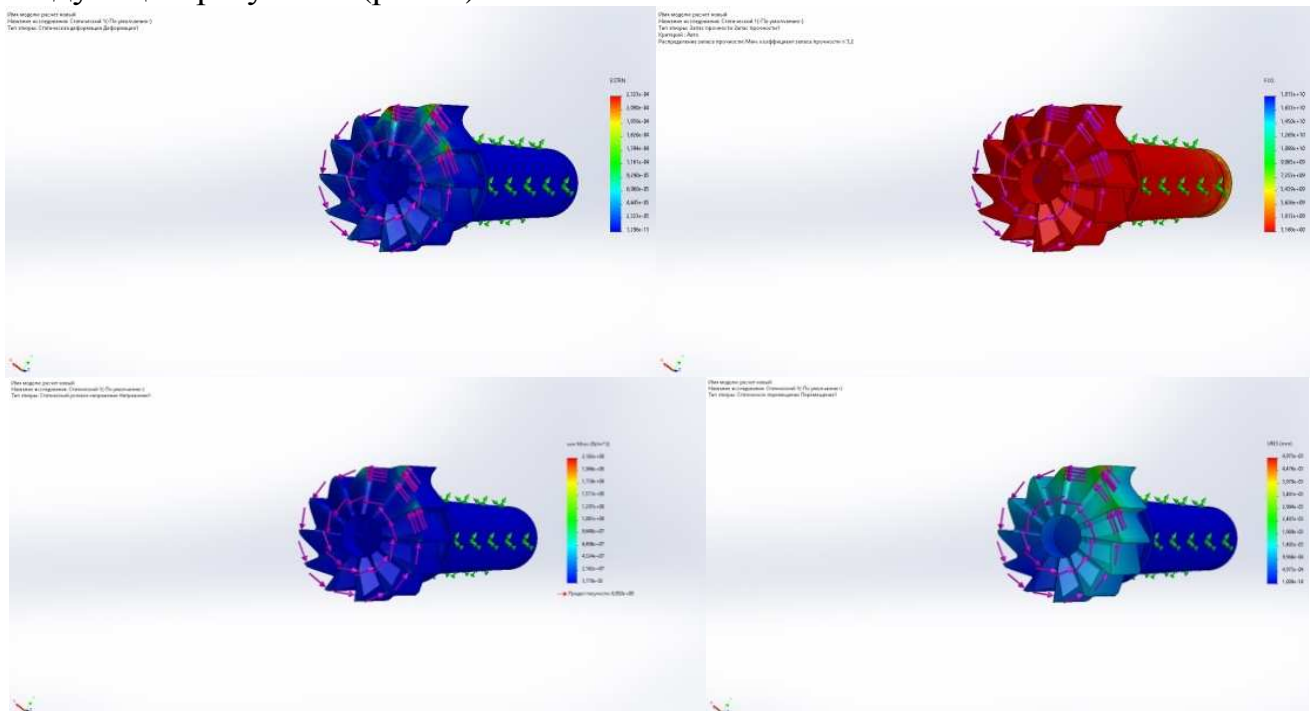


Рис. 2. Итоги приложения силы к инструменту

Как видно из рисунка 2 в процессе обработки возможно смещение вершины инструмента на 4 мкм, что может в дальнейшем вызвать возникновение колебаний и, как следствие, повлиять на качество обработанной поверхности. Даная теория требует дальнейшего практического подтверждения.

Список литературы

1. Рубинштейн С.А., Левант Г.В., Орнис Н.М., Тарасевич Ю.С. Основы учения о резании металлов и режущий инструмент. – М.: Машиностроение, 1968. – 392 с.
2. Полторацкий С.Г., Шеменков В.М. Формирование гранных отверстий осевым вращающимся инструментом // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – №2. – С. 14-22.
3. Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич. М.А. Теория резания: учеб. – 2-е изд., испр. и доп. – Мн.: Новое знание, 2006. – 512 с.
4. Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.

Сведения об авторе:

Сергей Григорьевич Полторацкий – аспирант.

ВЛИЯНИЕ ТУГОПЛАВКИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ВЯЗКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПРИПОЕВ

Магда А.В., Соколов Е.Г., Виниченко В.О.

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар

Ключевые слова: тугоплавкий наполнитель, вязкость, алмазно-абразивные инструменты, композиционный припой.

Аннотация. В камнеобработке применяются алмазно-абразивные инструменты с рабочими поверхностями сложной формы. Для печной вакуумной пайки таких инструментов необходимо использовать композиционные припои, обладающие повышенной вязкостью, исключающей стекание припоя с фасонных поверхностей во время пайки. Цель настоящей работы – установить влияние состава и структуры композиционных припоев Sn-Cu-Co-W на их вязкость и на этой основе разработать припой, обладающий высокой вязкостью и обеспечивающий получение алмазосодержащих покрытий большой толщины на фасонных поверхностях инструментов. Влияние порошков кобальта и вольфрама на вязкость композиционных припоев Sn-Cu-Co-W определено с помощью экспериментального исследования. Припои получали смешиванием порошков технически чистых металлов. Содержание порошка вольфрама в припоях составляло 7%, кобальта – 20...34% (масс.). Вязкость композиционных припоев Sn-Cu-Co-W возрастает с увеличением содержания порошка кобальта, добавка 7% (масс.) порошка вольфрама на вязкость припоев влияет незначительно. Установлено, что оптимальное содержание кобальта в композиционных припоях Sn-Cu-Co-W составляет около 30% (масс.).

INFLUENCE OF REFRACTORY FILLERS ON THE VISCOSITY OF COMPOSITE SOLDERS

Magda A.V., Sokolov E.G., Vinichenko V.O.

Kuban State Technological University, Krasnodar

Keywords: refractory filler, viscosity, diamond-abrasive tools, composite solder.

Abstract. In stone processing, diamond-abrasive tools are widely used, whose working surfaces can be quite complex in shape. Solders of such tools are required to have the necessary viscosity to hold the diamond-containing layer during sintering. From the point of view of the interaction of solders with diamond and the wear resistance of the resulting diamond-containing layer, it will be effective to use tin and copper powders as the considered components of composite solders, and cobalt and tungsten powders as refractory fillers. With different content of cobalt in solders, the ratio of tin, copper and tungsten remained unchanged. The cobalt content varied from 20 to 34% by weight. Experiments on soldering a diamond-containing layer on shaped rollers showed that when the content of cobalt powder in the solder is less than 28% (wt.) of cobalt powder, smudges form on the surface of the rollers, and at 32 ... 34% (wt.) hot cracks appear in the diamond-containing layer during soldering. Thus, the viscosity of Sn-Cu-Co-W composite solders increases with an increase in the content of cobalt powder. The optimal content of cobalt in composite solders Co-Sn-Cu-W is about 30% (wt.).

Для обработки некоторых видов архитектурных деталей из природного камня используют алмазные ролики фасонного профиля. Рабочая поверхность роликов может быть достаточно сложной, состоящей из элементов окружностей, с уступами и острыми кромками. Такие инструменты могут быть получены печной вакуумной пайкой [1]. В этом случае необходимо использовать

композиционные припои, обладающие повышенной вязкостью, исключают стекание припоя с фасонных поверхностей во время пайки.

На данный момент, влияние различных факторов на вязкость композиционных припоев изучено недостаточно. Цель настоящей работы – установить влияние состава и структуры композиционных припоев Sn-Cu-Co-W на их вязкость и на этой основе разработать припой, обладающий высокой вязкостью и обеспечивающий получение алмазосодержащих покрытий большой толщины на фасонных поверхностях инструментов.

Согласно существующим в настоящее время представлениям жидкие металлы имеют определенную структуру, распределение атомов в них не является хаотичным [2]. Вязкость тесно связана со структурой жидкого припоя и определяется межчастичным взаимодействием. Вязкость является одной из наиболее структурно-чувствительных характеристик жидкости. Основным показателем вязкости припоя является динамическая вязкость. Помимо структуры жидкой фазы на вязкость композиционных припоев влияет содержание порошка тугоплавкого наполнителя, его дисперсность и форма частиц.

Зависимость вязкости припоя от содержания в нем твердых частиц определяется выражением [3]:

$$\eta = \eta_0 \frac{1}{1 - (\varphi + \omega)}, \quad (1)$$

где η_0 – вязкость жидкой матрицы без твердых частиц, Па·с;

φ – относительная объемная доля твердой фазы;

ω – относительная объемная доля присоединенной (движущейся вместе с твердыми частицами) жидкой фазы.

Из выражения выше следует, что с увеличением объемной доли твердой фазы вязкость припоя возрастает. С увеличением дисперсности тугоплавкого наполнителя возрастает величина ω , и соответственно возрастает вязкость припоя [4]. Увеличению объемной доли присоединенной жидкой фазы способствует также неправильная форма тугоплавких частиц.

Влияние содержания порошков кобальта и вольфрама на вязкость композиционных припоев Sn-Cu-Co-W определено с помощью описанного ниже экспериментального исследования.

Припои получали смешиванием порошков технически чистых металлов. Соотношение олова и меди во всех припоях было одинаковым и составляло Sn/Cu = 0,36. Содержание порошка вольфрама во всех припоях составляло 7% (масс.). Содержание кобальта варьировалось от 20 до 34% по массе. Средний размер частиц порошка вольфрама составлял 8...15 мкм, кобальта – 1...2 мкм. В качестве связующего вещества в смеси добавляли 5%-ный водный раствор поливинилового спирта до получения пастообразной массы.

Композиционные припои без алмазов наносили на цилиндрические ролики диаметром 20 мм из стали Ст3 слоем толщиной 2,5 мм. Смесь припоя с алмазами AC150 (размер зерна 400/315 мкм), содержащую по объему 25% алмазов, наносили на ролики фасонного профиля из стали 45 с максимальным диаметром 85 мм, толщина слоя 2,5 мм. Образцы с нанесенным припоем высушивали и спекали в вакууме при температуре 820°C с выдержкой 40 мин.

Из образцов без алмазов готовили микрошлифы. Структуру сплавов после пайки и распределение в них элементов исследовали с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6480LV фирмы Jeol. Микроструктуру наблюдали во вторичных электронах при увеличении $\times 200 \dots 1000$. Фазовый состав сплавов изучали с помощью рентгеновского дифрактометра D8 Discover фирмы Bruker.

В результате микрорентгеноспектрального и фазового анализа установлено, что при указанном режиме пайки в сплавах Sn-Cu-Co-W формируется структура, представленная на рисунке 1.

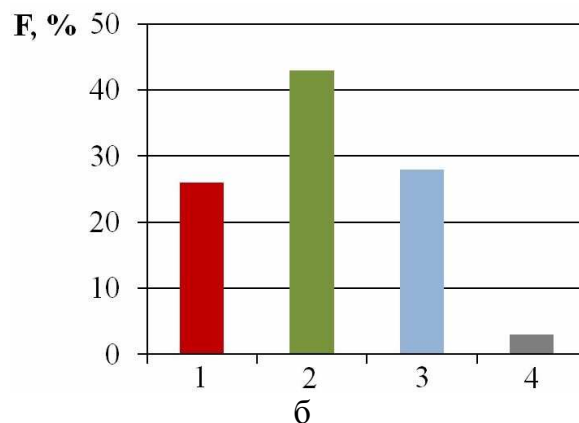
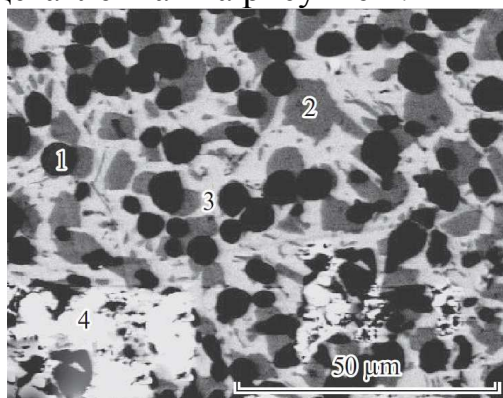


Рис. 1. Структура сплава Sn-Cu-Co-W, содержащего 26 % (масс.) кобальта (а), и процентное соотношение структурных составляющих на поверхности шлифа (б): 1 – частицы кобальта, 2 – (Cu) твёрдый раствор на основе меди, 3 – интерметаллическая фаза ϵ , 4 – частицы вольфрама

На рисунке 1 видно, что объемная доля вольфрама в сплаве невелика. Вольфрам имеет высокую плотность $19,35 \text{ г/см}^3$, поэтому при массовой доле 7% объемная доля вольфрама не превышает 4%.

При увеличении процентного содержания кобальта объём жидкой фазы уменьшался, что косвенно свидетельствует о повышении вязкости. Процентное соотношение жидкой и твёрдой фаз при увеличении % (масс.) кобальтового порошка представлено на рисунке 2.

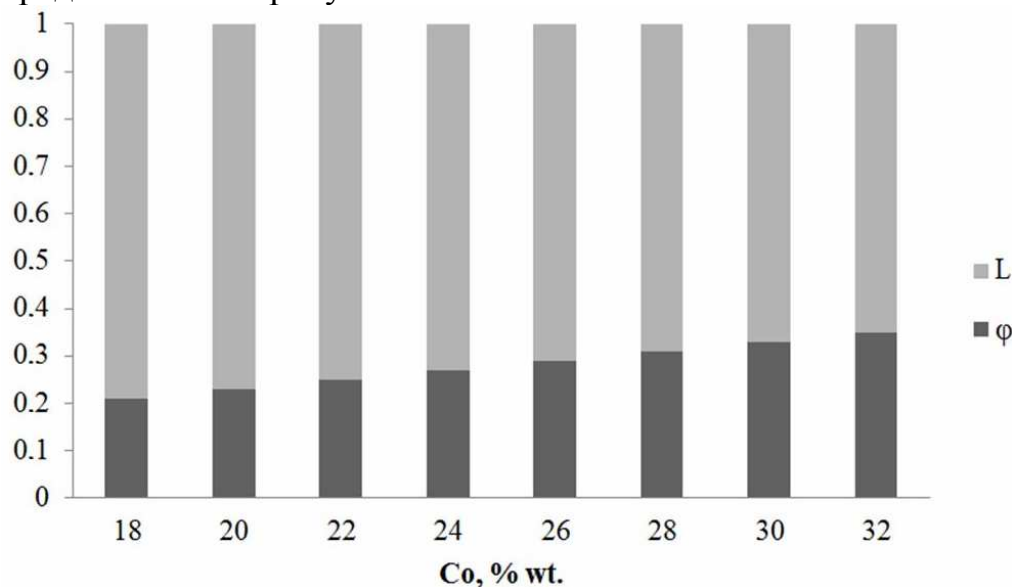


Рис. 2. Объёмные доли жидкой фазы (L) и твёрдой фазы (φ) для припоев Sn-Cu-Co-W с различным содержанием Co

Эксперименты по пайке алмазосодержащего слоя на фасонных роликах показали, что при содержании в припое менее 28% (масс.) кобальтового порошка на поверхности роликов образуются подтёки, а при 32...34% (масс.) в алмазосодержащем слое при пайке возникают горячие трещины.

Таким образом, вязкость композиционных припоев Sn-Cu-Co-W возрастает с увеличением содержания порошка кобальта. Оптимальное содержание кобальта в композиционных припоях Sn-Cu-Co-W составляет около 30% (масс.).

Твердость металлической связи, сформировавшейся из припоя, на данных роликах составляет 92...94 HRB. На роликах получено равномерное алмазосодержащее покрытие. В процессе пайки припой, содержащий 30% (масс.) кобальта, благодаря высокой вязкости хорошо удерживался на фасонной поверхности подложки, в том числе на вертикальных участках и острых кромках.

Список литературы

1. Патент №2457935 РФ. Способ получения абразивного инструмента из сверхтвёрдых материалов / Е.Г. Соколов, А.Д. Козаченко. – Заявка № 2010145573/02 от 09.11.2010; опубл. 10.08.2012.
2. Еланский Г.Н. Строение и свойства металлических расплавов. – М.: Metallurgia, 1991. – 160с.
3. Ходаков Г.С. Реология суспензий. Теория фазового течения и ее экспериментальное обоснование // Российский химический журнал. – 2003. – Т. XLVII, № 2. – С. 33-44.
4. Ozolin A.V., Sokolov E.G., Golius D.A. Obtaining of tungsten nanopowders by high energy ball milling // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 862, no.022057.

Сведения об авторах:

Магда Андрей Викторович – студент;

Соколов Евгений Георгиевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры инженерии систем управления, материалов и технологий в машиностроении;

Виниченко Владислав Олегович – студент.

ОПЫТНЫЙ КРИСТАЛЛИЗАТОР С ДВУХ КОНТУРНОЙ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ МЕТАЛЛОВ И ЕГО ИСПЫТАНИЕ НА СПЛАВЕ

Стулов В.В., Шафиев О.М.

Московский государственный технический университет, Москва

Ключевые слова: кристаллизатор, разогрев, расплав, разливочная емкость, температура стенок, охлаждение, вода, конденсатор.

Аннотация. Изготовлена запатентованная конструкция стального кристаллизатора с 2-х контурной системой охлаждения для разливки цилиндрических заготовок диаметром 65 мм из сплавов. Кристаллизатор оснащается системой электрического нагрева, отсутствующей в существующих конструкциях и предназначенной для прогрева стенок перед разливкой расплава с целью уменьшения напряжений в корочке заготовки и исключения ее растрескивания. Разливка расплава Pb-Sn осуществляется струей из обогреваемой разливочной емкости. Для измерения температуры стенок и охлаждающей воды используется многоканальный прибор TERMODAT, предназначенный для измерения и преобразования выходных сигналов термопар, отображения на цифровом дисплее значений температуры. Программное обеспечение Termodatnet для вывода показаний на компьютере.

AN EXPERIMENTAL MOLD WITH A TWO-LOOP COOLING SYSTEM FOR CONTINUOUS CASTING OF METALS AND ITS TESTING ON AN ALLOY

Stulov V.V., Shafiev O.M.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Keywords: crystallizer, heating, melt, bottling vessel, wall temperature, cooling, water, condenser.

Abstract. A patented design of a steel mold with 2 contour cooling system for casting cylindrical billets with a diameter of 65 mm from alloys. The crystallizer is equipped with an electric heating system, which is absent in existing structures and designed to warm up the walls before pouring melt in order to reduce stresses in the shell of the workpiece and eliminate its cracking. The pouring of the Pb-Sn melt is carried out by a jet from a heated pouring container. For measuring wall and cooling water temperatures a multi-channel device TERMODAT is used, designed to measure and conversion of thermocouple output signals, digital display temperature values. Termodatnet software for displaying readings on computer.

В работе [1] приведены результаты предварительного с электронагревом испытания опытного стального кристаллизатора с двухконтурной системой охлаждения для получения цилиндрических заготовок. Подача в конденсатор пара холодной воды позволяет отводить тепло, выделяющееся в электро нагревателе и идущее на нагрев стенок кристаллизатора. В работе [2] приведены результаты моделирования с использованием критериев подобия получения непрерывнолитой деформированной стальной заготовки на сплаве Pb-Sb.

Исходные данные:

Кристаллизатор: $D_2 = 0,066$ м – внутренний диаметр (диаметр получаемой заготовки), $H_3 = 0,3$ м – высота кристаллизатора (высота заготовки), $\delta_{скр} = 0,006$ м – толщина стенки кристаллизатора, $\delta_{скд} = 0,005$ м – толщина стенки конденсатора, $\lambda = 40$ Вт/(м⁰С) – теплопроводность стенки кристаллизатора (материал – Сталь

20). Параметры конденсатора: $D_{me} = 0,12$ м – диаметр тора внутренний, $D_{mi} = 0,32$ м – диаметр тора наружный, $H_{ко} = 0,07$ м – высота.

Свойства сплава ПОС 30,: Sn-29,6%, Sb-1,8%, примеси до 0,2%, остальное Pb.

Параметры воды при средней температуре $t_6 = 25^\circ\text{C}$ [3]: $\rho = 997$ кг/м³, $C = 4179$ Дж/(кг·К). Объемный секундный расход воды $V = 20,4 \cdot 10^{-6}$ м³/с. Температура разлива расплава $t_p = 303^\circ\text{C}$. Температура извлекаемой заготовки $t_k = 64^\circ\text{C}$. При диаметре получаемой заготовки $d_3 = 0,066$ м и её длине $l_3 = 0,28$ м объём разлитой заготовки $V_3 = 0,96 \cdot 10^{-3}$ м³, масса заготовки $m_3 = 9,7$ кг.

На рисунке 1 приведена зависимость температуры поверхности паропровода от времени после заливки расплава Pb-Sn в предварительно прогретый кристаллизатор. Из рисунка 1 следует, что через $\tau = 2$ мин. с момента заливки расплава температура поверхности паропровода увеличивается с $t_n = 107$ до $t = 113^\circ\text{C}$, т.е. на 6°C и связано с передачей тепла в стенку кристаллизатора от разлитой заготовки. Далее до $\tau = 5$ мин. наблюдается уменьшение температуры поверхности паропровода до $t_n = 91^\circ\text{C}$, что связано с образованием корочки заготовки и ее отходом от стенки кристаллизатора с уменьшением передачи тепла в стенку кристаллизатора. Дальнейшее (вторичное) увеличение температуры поверхности паропровода до $t_n = 103,4^\circ\text{C}$ через $\tau = 6$ мин. с момента разлива расплава при существующих условиях характеризуется увеличением теплообмена стенки кристаллизатора с разлитой заготовкой, в частности за счет ее усадки. После $\tau = 6$ мин. с момента разлива расплава Pb-Sn температура поверхности паропровода достаточно круто уменьшается на 30°C до $t_n = 73,6^\circ\text{C}$ за $\tau = 4$ мин., а с момента разлива расплава до $\tau = 10$ мин. После $\tau > 10$ мин. температура поверхности паропровода плавно уменьшается до $t_n = 69^\circ\text{C}$ за $\tau = 10$ мин.

На рисунке 2 приведена зависимость температуры поверхности внутренней стенки в нижней части кристаллизатора от времени с момента разлива расплава. Из рисунка 2 следует, что за $\tau = 3$ мин. с момента разлива расплава температура поверхности внутренней стенки кристаллизатора увеличивается с $t_c = 74^\circ\text{C}$ до $t_c = 85,7^\circ\text{C}$, т.е. на $11,7^\circ\text{C}$ за счет передачи тепла от металла разлитой заготовки. Далее на протяжении $\tau = 2$ мин. температура поверхности внутренней стенки сохраняется на значении $t_c = 85^\circ\text{C}$.

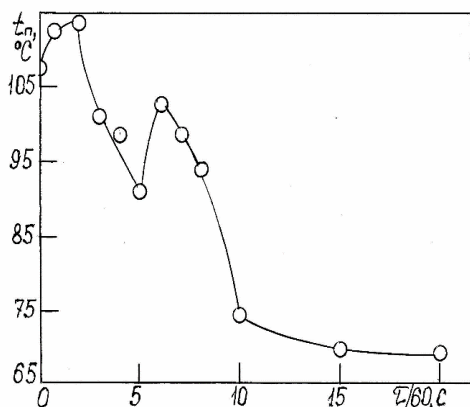


Рис. 1. Зависимость температуры поверхности паропровода от времени после заливки расплава Pb-Sn в предварительно прогретый кристаллизатор

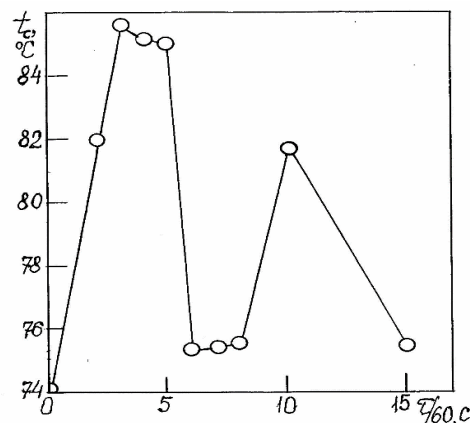


Рис. 2. Зависимость температуры поверхности внутренней стенки в нижней части кристаллизатора от времени с момента разлива расплава

С момента $\tau = 6$ мин. с момента разливки расплава температура поверхности внутренней стенки уменьшается до $t_c = 75,2^\circ\text{C}$ и сохраняется на протяжении $\tau = 2$ мин., что связано с отходом корочки заготовки от внутренней стенки кристаллизатора. В момент времени $\tau = 10$ мин. с момента разливки расплава температура внутренней поверхности стенки вторично увеличивается до $t_c = 81,6^\circ\text{C}$, что связано с образованием более плотного контакта заготовки со стенкой кристаллизатора. Далее до $\tau = 15$ мин. с момента разливки расплава наблюдается уменьшение температуры поверхности внутренней стенки до $t_c = 75,4^\circ\text{C}$.

На внешнем виде полученной заготовки из Pb-Sn размеры поверхностных дефектов (1-1,5) x (10-15) мм определяются в основном подводом расплава падающей струей диаметром 5 мм и ее ударом по поверхности мениска.

Список литературы

1. Стулов В.В., Шафиев О.М. Опытный кристаллизатор для получения непрерывнолитых заготовок из высоколегированных сталей и сплавов. Часть 1. Предварительные тепловые испытания кристаллизатора и его расчет // *Металлург.* – 2022. – № 10. – С. 49-55.
2. Стулов В.В., Одинокоев В.И., Оглоблин Г.В. Физическое моделирование процессов при получении литой деформированной заготовки. – Владивосток: Дальнаука, 2009. – 175 с.
3. Аметистов Е.В., Григорьев В.А., Емцев Б.Т. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент. Справочник. – М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.

Сведения об авторах:

Стулов Вячеслав Викторович – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки»;

Шафиев Олег Михайлович – аспирант.

ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАННЫХ ТРУБ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПЕРАЦИИ НОРМАЛИЗАЦИИ

*Мамедов А.Т., Исмаилов Н.Ш., Гусейнов М.Ч., Гулиев Ф.Т.
Азербайджанский Технический Университет, Баку*

Ключевые слова: горячекатаные трубы, нормализация, термическое упрочнение, механические характеристики, термопластичность.

Аннотация. Рассматривается проблема обеспечения качества горячекатаных труб, несоответствующих требованиям нормативных документов перед термическим упрочнением. Для устранения дефектов труб предлагается проведение операции нормализации металла перед закалкой и высоким отпускком в проходной многосекционной печи, отапливаемой природным газом. Представлены рациональные режимы нормализации низкоуглеродистых сталей после нагрева до температуры аустенизации и охлаждения на спокойном воздухе. Показано, что при нагреве низкоуглеродистой стали под нормализацию в газовой среде происходит некоторое ее науглероживание, которое положительно влияет на прочностные характеристики труб. Применение нагрева при нормализации с использованием науглероживающей среды расширяет возможность использования ее для труб низкоуглеродистых сталей. Это облегчает работы машины непрерывной разливки трубных заготовок за счет повышения термопластичности кристаллизующейся металла. Установлено, что нормализация горячекатаных труб из низкоуглеродистой стали не соответствующих требованиям нормативных документов, перед их термическим упрочнением, значительно повышает их прочностные характеристики и пластичность. Этому способствует также нагрев металла под нормализацию природным газом, который приводит к некоторому науглероживанию металла.

EXPERIENCE IN THE PRODUCTION OF HOT-ROLLED PIPES FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY USING THE NORMALIZATION OPERATION

*Mammadov A.T., Ismailov N.Sh., Huseynov M.Ch., Guliyev F.T.
Azerbaijan Technical University, Baku*

Keywords: hot-rolled pipes, normalization, thermal hardening, mechanical characteristics, thermoplasticity.

Abstract. The problem of ensuring the quality of coated pipes that do not meet the requirements of regulatory documents before thermal hardening is considered. To eliminate pipe defects, it is proposed to carry out a metal normalization operation before hardening and high tempering in a pass-through multi-section furnace heated with natural gas. Rational modes of normalization of low-carbon steels after heating to the temperature of austenization and cooling in calm air are presented. It is shown that when heating low-carbon steel for normalization in a gas environment, some of its carburization occurs, which positively affects the strength characteristics of pipes. The use of heating in normalization using a carburizing medium expands the possibility of using it for pipes of low-carbon steels. This facilitates the operation of the continuous casting machine of pipe blanks by increasing the thermoplasticity of the crystallizing metal. It is established that the normalization of hot-rolled pipes made of low-carbon steel that do not meet the requirements of regulatory documents, before their thermal hardening, significantly increases their strength characteristics and ductility. This is also facilitated by the heating of the metal under the normalization of natural gas, which leads to some carburization of the metal.

Введение. Горячедеформированные обсадные трубы и муфты к ним для нефтедобычи, изготовленные в соответствии с нормативно-технической документации (НТД) подвергаются термической обработке - закалке и отпуску. Обычные горячедеформированные обсадные и муфтовые трубы, а также бесшовные трубы общего и специального назначения изготавливаются из низкоуглеродистых сталей, допускается также их изготовление из других марок стали. Проведение закалки с последующим отпуском преследует цель термического упрочнения обсадных труб [1-3].

Однако не исключены случаи, когда после горячего деформирования механические характеристики металла не соответствуют техническим требованиям для групп прочности соответствующих стандартов [4]:

- обсадные трубы по ГОСТ 632-80 групп прочности (не выдерживающие механические испытания на растяжение и сплющивание в горячедеформированном состоянии);

- обсадные и муфтовые трубы по ГОСТ 31446-2017 в горячекатанном состоянии;

- горячедеформированные трубы по ТУ А31501481481.002-2017 из марки стали 20 и 09Г2С;

- трубы стальные бесшовные горячедеформированные нефтегазопроводные с повышенными коррозионной стойкостью и хладостойкостью по ТУ А31501481481.003-2018 из марки стали 20А и 13ХФА.

Для удовлетворения требований вышеуказанных стандартов возникает необходимость проведения нормализации горячедеформированных труб перед калибровкой, а затем правильными операциями, после которых осуществляется их охлаждение на спокойном воздухе, а затем термическое упрочнение - закалка и отпуск.

Нормализация – это нагрев стали выше температуры превращения аустенита с последующим охлаждением на воздухе. Такая операция является первым шагом к отклонению от практически равновесного состояния стали [5]. Следовательно, после нормализации горячедеформированные стальные трубы получают некоторое упрочнение.

Методика проведения экспериментов. Нагрев под нормализация труб проводился в секционных термических печах. Трубы подвергали нормализацию по всему телу и на всей длине, в печь задавали поштучно, встык одна за другой. Размеры рабочего пространства печи следующие, мм: длина – 29500; ширина – 1460; высота – 1920. Рабочее пространство печи разделено на 5 отдельных регулируемых зон: I-IV зоны являются нагревательными и каждая зона разделена на 4 секции. Последняя V-я зона нечи – зона поддержания постоянной температуры после нагрева труб (томительная), состоит из 3-х секций.

Печь отапливается природным газом, подача газа в печь осуществляется турбулентными горелками короткого горения. Давление газа в печи составляло 3000-4000 мм.вод.ст. Температура нормализации составляла: для обсадных и муфтовых труб – (850-880)°С; для бесшовных горячедеформированных труб общего и специального назначения – (880-920)°С.

При нагреве под нормализацию допускаются отклонения по температуре + 25°C. В ряде случаев допускается трубы подвергать нормализацию с отпуском. Температура отпуска составляла (620÷650)°С. После достижения температуры труб до аустенитного состояния и некоторой выдержки при этой температуре следует их охлаждать на спокойном воздухе.

Химический состав металла труб соответствовали всем требованиям НТД на соответствующий вид продукции, оговоренным заказом.

Обсуждение результатов. При нормализации горячекатаные трубы нагревают до аустенитного состояния, и после непродолжительной выдержки охлаждают на спокойном воздухе. Нормализация широко используется для улучшения структуры и свойств углеродистых и низколегированных сталей с невысокой устойчивостью переохлажденного аустенита. При нормализации повышается дисперсность ферритно-цементитной структуры и увеличивается количество перлита.

Нормализация горячекатанной стали обеспечивает получение более чистой поверхности, повышает ее сопротивление хрупкому разрушению, снижая порог хладноломкости. Для доэвтектоидных легированных сталей температура нагрева под нормализацию равна температуре нагрева под закалку. Для обсадных и муфтовых труб из стали 37Г2 она составляет (830-870)°С, для бесшовных труб общего и специального назначения из той же стали – (850÷920)°С.

Время нагрева труб под нормализацию определяли секундемером путем измерения времени между входом заднего торца трубы в печь и выходом его из печи, фиксируя ее в каждой партии (один раз в смену) в журнале контроля технологии термообработки труб. Скорость движения труб определяли делением длины закалочной печи на время нагрева труб. После нормализации трубы без задержки транспортируются к калибровочному стану, а затем к правильной машине. На рисунке 1 представлен график нормализации труб из стали 37Г2 с последующей закалкой и высоким отпуском.



Рис. 1. График нормализации труб из различных сталей с последующей закалкой и высоким отпуском

На рисунке 2 представлена микроструктура трубной стали 10 до и после нормализации. Как видно, при большом увеличении микроструктура низкоуглеродистой стали представлена в основном ферритом, а в некоторых участках проявляются участки эвтектоида, т.е. перлита. Проявление в структуре

стали участков перлита обуславливается науглероживанием поверхности трубы при нагреве под нормализацию за счет природного газа (CH₄).

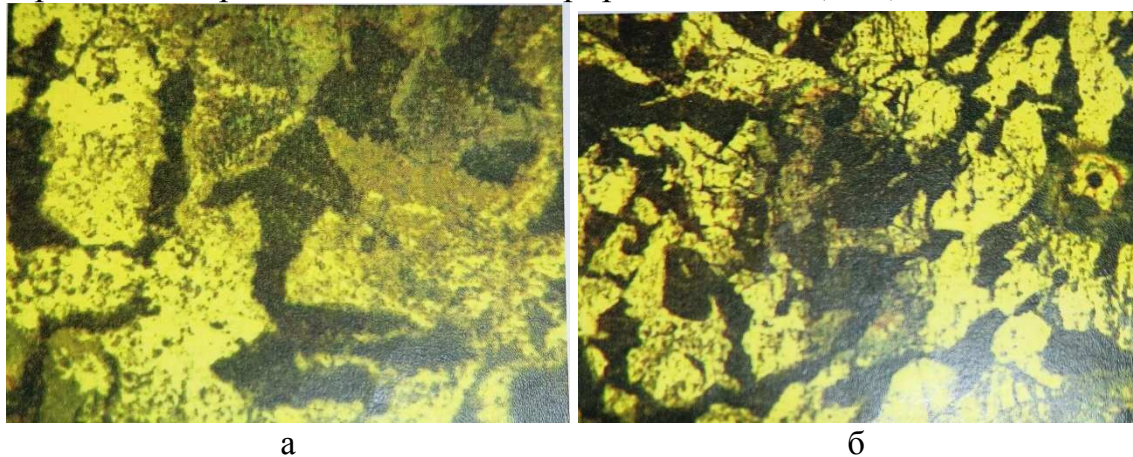


Рис. 2. Микроструктура трубной стали 10 после нормализации ×1000:
а – до нормализации, б – после нормализации

Установлено, что науглероживание поверхности трубы за счет газа играет положительную роль при формировании прочностных характеристик стали. Введение значительного количества углерода в сталь при металлургической обработке нежелательно, так как наличие значительного количества углерода в жидкой стали ухудшает термопластичность кристаллизующейся заготовки при непрерывной разливке. В таблице 1 приведены механические свойства обсадных труб из стали 37Г2 после нормализации.

Табл. 1. Прочностные характеристики обсадных труб из стали 37Г2

Наименование показателя	Величина показателя
Предел прочности σ_b , Н/мм ² , не менее	550
Предел текучести σ_m , Н/мм ² , не менее	480
Относительное удлинение δ_5 , %, не менее	18
Отношение σ_m/σ_b , не более	0,87
Твердость HRB, не более	90
Ударная вязкость на продольных образцах KCV, Дж/см ² при температуре испытания минус 50°С, не менее	95
Ударная вязкость на продольных образцах KCU, Дж/см ² при температуре испытания минус 60°С, не менее	50,1
Доля вязкой составляющей в изломе ударных образцов KCV, % при минус 60°С, не менее	40

Рассматривая механические свойства приведенных в таблице, можно заключить, что нормализация обсадных труб из стали 37Г2 значительно улучшает показатели прочности, не снижая характеристик пластичности. Таким образом, нормализация сталей предназначенных для изготовления горячедеформированных обсадных и муфтовых труб является необходимой операцией перед термическим упрочнением, при несоответствии механических характеристик стали требованиям соответствующих стандартов.

Заключение. Нормализация горячедеформированных труб для нефтегазовой промышленности, не соответствующих требованиям нормативных документов, является обязательной операцией перед их термическим упрочнением. Нагрев труб под нормализацию природным газом приводит к некоторому науглероживанию низкоуглеродистых сталей, повышая их прочностные характеристики. Это позволяет использовать жидкую сталь с наименьшим количеством углерода при непрерывной разливке, не снижая термопластичность кристаллизующейся трубной заготовки.

Благодарность. Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики: Грант №EIF-MQM-ETS-2020 - 1(35)-08/02/1-M-02.

Список литературы

1. Mamedov A.T., Babaev A.I., Ismailov N.Sh., Huseynov M.Ch., Guliyev F.T. Mastering the production of hot-deformed casing from 32Г2 steel on the conditions of “Baku Steel Company” // Herald of the Azerbaijan Engineering Academy. 2022, vol. 14, no.4, pp. 48-55. DOI: 10.52171/2076-0515-2022-14-04-48-55.
2. Мамедов А.Т., Исмаилов Н.Ш., Гусейнов М.Ч., Гулиев Ф.Т. Основные виды дефектов при термической обработке труб для нефтегазовой промышленности и способы их устранения // Сборник статей XV Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, Технические науки, 2022. – С. 26-27.
3. Мамедов А.Т., Исмаилов Н.Ш., Гусейнов М.Ч., Гулиев Ф.Т. Особенности трудных соединения для нефтегазовой промышленности // Сборник статей LXIII международной научно-практической конференции “World science: problems and innovations”. – Пенза, 2022. – С. 57-60.
4. Мамедов А.Т., Исмаилов Н.Ш., Гусейнов М.Ч., Гулиев Ф.Т. Критерии выбора внепечной обработки трубной стали для нефтегазовой промышленности // Машины, агрегаты, и процессы, проектирование, создание и модернизации: Материалы международной научно-практической конференции. – СПб: НИЦ МС, 2022. – №5. – С. 48-50.
5. Гуляев А.П. Металловедение. Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.

Сведения об авторах:

Мамедов Ариф Тапдыг оглы – д.т.н., профессор кафедры Metallургия и технология материалов;

Исмаилов Низами Шайы оглы – д.т.н., профессор кафедры Metallургия и технология материалов;

Гусейнов Мухтар Черкез оглы – к.т.н., доцент кафедры Metallургия и технология материалов;

Гулиев Фаик Тофиг оглы – к.т.н., доцент кафедры Metallургия и технология материалов.

СВОЙСТВА ГОРЯЧЕПРЕССОВАННОГО ПРОФИЛЯ ИЗ МАГНИЕВОГО СПЛАВА МА14, ПОЛУЧЕННОГО В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Замараева Ю.В.^{1,2}, Логинов Ю.Н.^{1,3}, Пройдакова Л.А.²

¹*Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург;*

²*ОАО «КУМЗ», Каменск-Уральский;*

³*Уральский федеральный университет, Екатеринбург*

Ключевые слова: магний, горячее прессование, механические свойства.

Аннотация. В условиях ОАО «КУМЗ» методом прямого горячего прессования из сплава МА14 изготовлены профили размером 45x343 мм. Посредством испытания на растяжение определены механические свойства профилей после операции старения. Установлено, что некоторые образцы, отобранные от профилей, имеют неудовлетворительные значения временного сопротивления по сравнению с требуемым уровнем по нормативной документации. Также рассмотрена микроструктура образцов с удовлетворительными и неудовлетворительными значениями временного сопротивления, выявлено, что она имеет отличия.

PROPERTIES OF A HOT-PRESSED PROFILE MADE OF MA14 MAGNESIUM ALLOY OBTAINED IN PRODUCTION CONDITIONS

Zamaraeva Yu.V.^{1,2}, Loginov Yu.N.^{1,3}, Proydakova L.A.²

¹*Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg;*

²*JSC «KUMZ», Kamensk-Uralsky;*

³*Ural Federal University, Yekaterinburg*

Keywords: magnesium, hot pressing, mechanical properties.

Abstract. In the conditions of JSC "KUMZ", profiles with a size of 45x343 mm were made of MA14 alloy by direct hot pressing. The mechanical properties of the profiles after the aging operation were determined by means of a tensile test. It has been found that some samples taken from the profiles from the output and drawdown ends have unsatisfactory values of time resistance compared to the required level according to regulatory documentation. The microstructure of samples with satisfactory and unsatisfactory values of time resistance is also considered, it is revealed that it has differences.

Магний и его сплавы являются перспективными материалами для применения в области авиации, ракетнокосмической техники и автомобилестроения [1] вследствие своей низкой плотности, высокой удельной прочности и удельной жесткости. Одним из перспективных магниевых сплавов, применяемых в промышленности, является деформируемый сплав МА14 [2].

В настоящее время большое внимание направлено на горячую либо теплую деформацию магния [3] вследствие его низкой пластичности при комнатной температуре [4]. При этом желательно использовать схему напряженного состояния, гарантирующую минимальное появление в металле значительных растягивающих напряжений [5]. С этой точки зрения горячее прессование весьма перспективный процесс для изготовления магниевых полуфабрикатов.

В настоящее время в номенклатуру ОАО «КУМЗ» вводится изделие из сплава МА14 – профиль размером 45х343 мм (состояние поставки Т1).

Целью настоящего исследования является изучение механических свойств по длине профилей из сплава МА14, полученных в производственных условиях методом прямого горячего прессования.

Профиль размером 45х343 мм из сплава МА14 в состоянии поставки Т1 в условиях ОАО «КУМЗ» изготавливают в соответствии с требованиями нормативной документации [6] по технологической схеме, представленной на рисунке 1.

Хим. состав слитка сплава МА14 на соответствие ГОСТ 14957-76 определен методом спектрального анализа и представлен в таблице 1.

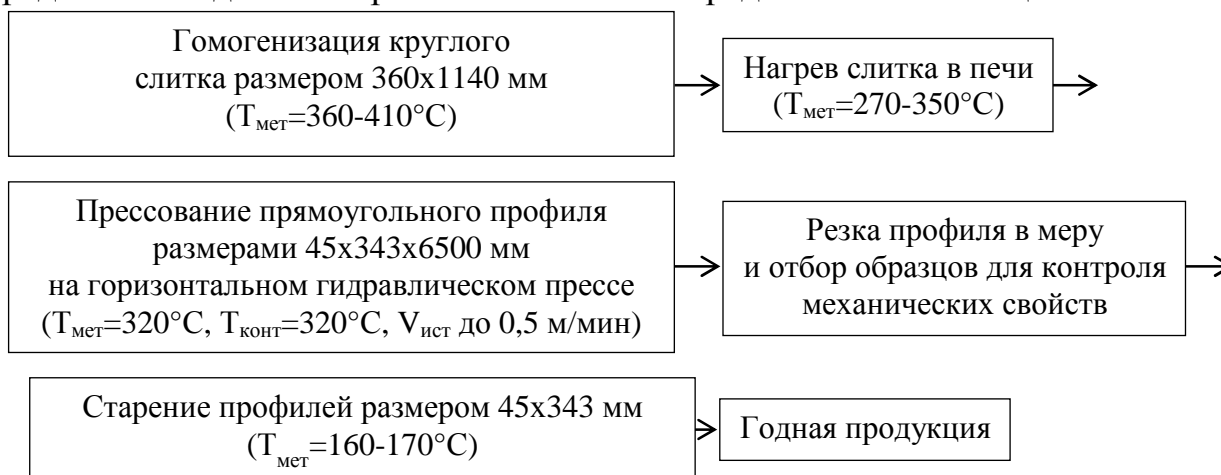


Рис. 1. Технологическая схема производства профилей размером 45х343 мм из сплава МА14 в состоянии поставки Т1

Табл. 1. Хим. состав слитка сплава МА14

	Содержание элементов, %									
	Mg	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Ni	Be	Zr
Факт	Осн.	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,03	5,3	<0,001	<0,001	0,6
ГОСТ 14957-76	Осн.	≤0,05	≤0,05	≤0,03	≤0,05	≤0,1	5,0-6,0	≤0,005	≤0,002	0,3-0,9

Для контроля механических свойств методом растяжения при комнатной температуре на универсальной электромеханической разрывной машине ZD-10 от четырех профилей отобрано восемь образцов диаметром 8 мм и длиной 120 мм (№1-4 – на расстоянии 700 мм от выходного торца, №5-8 – на расстоянии 800 мм от утяжного торца). Направление вырезки образцов – вдоль оси прессования (из середины сечения профиля). Следует отметить, что образцы отбирают от профиля до операции старения, но для старения помещают в одну термосадку с профилями.

Механические свойства данных образцов представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что образцы №2, №3 и №8 имеют неудовлетворительные значения временного сопротивления по сравнению с требуемым уровнем по нормативной документации [6].

Табл. 2. Механические свойства образцов, отобранных от профилей из сплава МА14

Номер образцов	Временное сопротивление, МПа	Условный предел текучести, МПа	Относительное удлинение после разрыва, %
	По ОСТ 1 92123-88 ≥ 315	По ОСТ 1 92123-88 ≥ 235	По ОСТ 1 92123-88 $\geq 6,00$
1	320	285	9,4
2	<u>310</u>	245	9,1
3	<u>305</u>	250	6,8
4	315	260	10,0
5	320	285	8,3
6	325	285	8,8
7	320	290	11,0
8	<u>305</u>	250	7,1

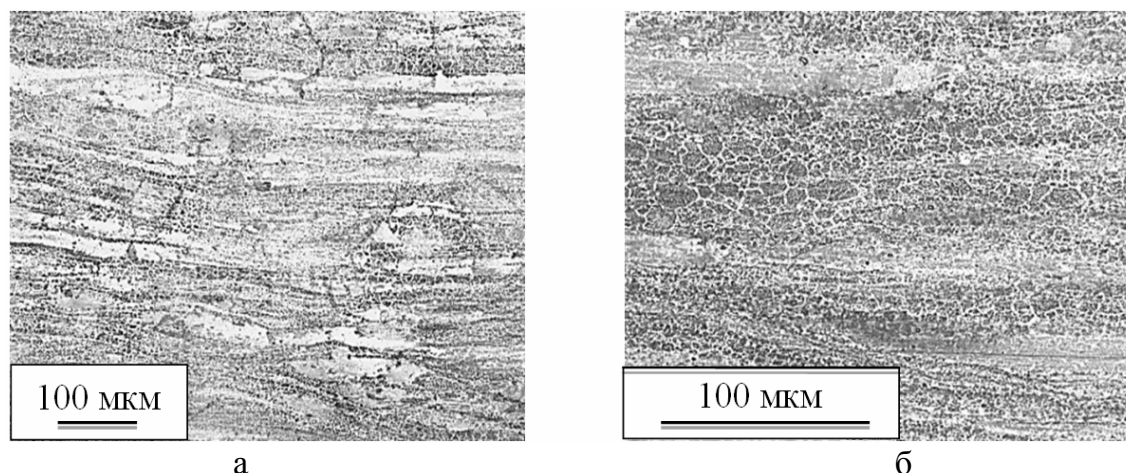


Рис. 2. Микроструктура образца № 1 при увеличении 200 крат (а) и 500 крат (б)

Видно, что в образце №1 после деформации структура сплава имеет смешанный тип, в котором волокна чередуются с участками рекристаллизованных зерен. Длина волокон составляет от 100 до 700 мкм, ширина – до 40 мкм (рис. 2, а). Средний размер рекристаллизованных зерен около 10 мкм (рис. 2, б).

При этом в образце №2 сформировалась ярко выраженная волокнистая (слоистая) структура с протяженными (более 700 мкм в длину) и широкими волокнами. Формирование такой структуры зачастую приводит к нежелательной анизотропии механических свойств материала, когда показатели прочности и пластичности в разных направлениях относительно протяженности волокон будут заметно отличаться.

Список литературы

1. Joost W.J. Krajewski P.E. Towards magnesium alloys for high-volume automotive applications // Scripta Materialia. 2017, vol. 128, pp. 107-112.
2. Betsofen, S.Y., Konkevich, V.Y., Osintsev, O.E. et al. Texture and Anisotropy Parameters of Pressed MA14 Alloy Pipes Produced by Granule Metallurgy Methods // Inorganic Materials: Applied Research. 2018, vol. 9, pp. 551-557.

3. Ciccarelli D., Mehtedi M.E., Jäger A., et al. Analysis of flow stress and deformation mechanism under hot working of ZK60 magnesium alloy by a new strain-dependent constitutive equation // Journal of Physics and Chemistry of Solids. 2015, vol. 87, pp. 183-195.
4. Кругликов Н.А., Логинов Ю.Н., Каменецкий Б.И. и др. Микроструктура и механические свойства литого магния // Литейщик России. – 2013. – № 8. – С. 17-21.
5. Каменецкий Б.И., Логинов Ю.Н., Кругликов Н.А. Влияние условий бокового подпора на пластичность магния при холодной осадке // Технология легких сплавов. – 2012. – № 1. – С. 86-92.
6. Отраслевой стандарт ОСТ 1 92123-88. Полосы прессованные крупногабаритные из магниевых сплавов. Технические условия.

Сведения об авторах:

Замараева Юлия Валентиновна – к.т.н., научный сотрудник лаборатории прочности ИФМ УрО РАН, начальник отдела;

Логинов Юрий Николаевич – д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник, профессор кафедры ОМД УрФУ;

Пройдакова Лилия Ахтемовна – заместитель главного технолога по прессовому производству.

АНАЛИЗ ОТЛИЧИЙ В ТРЕБОВАНИЯХ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАЛЬНЫХ САМОНАРЕЗАЮЩИХ ВИНТОВ ПО МЕТАЛЛУ И ПО ДЕРЕВУ

Грехов С.К., Логинов Ю.Н.

*Уральский федеральный университет имени первого президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург*

Ключевые слова: винты самонарезающие, механические свойства, геометрические параметры, виды резьб, шлиц, шаг резьбы, угол резьбы.

Аннотация. Приведено сравнительное описание геометрических, механических параметров и видов покрытий винтов самонарезающих согласно ГОСТ Р 59571, применяемых для работ с деревом и для работ с креплением листов металла. Представлено пояснение о различиях в технологии изготовления. Рассмотрен инструмент для выполнения операции формирования сверла.

ANALYSIS OF DIFFERENCES IN REQUIREMENTS AND TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING STEEL SELF-TAPPING SCREWS FOR METAL AND FOR WOOD

Grekhov S.K., Loginov Yu.N.

*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg*

Keywords: self-tapping screws, mechanical properties, geometric parameters, types of threads, slot, thread pitch, thread angle.

Abstract. Comparative description of the geometric, mechanical parameters and types of coatings for self-tapping screws according to GOST R 59571, used for working with wood and for working with fastening metal sheets. An explanation of the differences in manufacturing technology is provided. A tool for performing the operation of forming a drill is considered.

Введение. Во второй половине 2021 года вступил в действие государственный стандарт ГОСТ Р 59571, регламентирующий общие технические условия винтов самонарезающих [1]. Ниже описаны и приведены различия в параметрах винтов самонарезающих для дерева и для крепления листов.

В качестве заготовки винтов самонарезающих используется калиброванная проволока из стали 15Г, описание свойств стали и технологического процесса калибровки проволоки представлены в статье [2].

В условиях ООО «НЛМК-Метиз» самонарезающие винты проходят следующие технологические этапы: холодная высадка (формируется головка самонарезающего винта, более подробное описание представлено в статье [3]), накатка резьбы (формируется резьба винта), химико-термическая обработка (формируются окончательные механические свойства), гальваническое оцинкование (наносится слой, препятствующий формированию коррозии) [4].

Ниже приведено сопоставление самонарезающих винтов тип В Ø4,2 мм. (далее по тексту «для металла») и тип Б Ø4,0 мм. (далее по тексту «для дерева») согласно ГОСТ Р 59571 по ряду параметров [1].

Наличие конца типа «сверло». Данным типом конца обладают только винты для металла. Сверло предназначено для ускорения монтажа винтов самонарезающих, оно позволяет упразднить операцию предварительного сверления технологического отверстия.

Наличие сверла обуславливает необходимость применения дополнительной операции формообразования, в результате которой формируется сверло на конце заготовки.

На рисунке 1,а представлена заготовка винта самонарезающего после операции формирования сверла. Излишек металла после операции образования сверла, удаляется во время операции накатки резьбы.

На рисунке 1,б представлены плашки, с помощью которых выполняется формообразование сверла.



Рис. 1. Заготовка винта для металла после операции формообразования сверла (а), плашки, формообразующие сверло (б)

Шаг резьбы. Винт самонарезающий для металла обладает шагом 3,40 мм, в то время как винт самонарезающий для дерева обладает шагом 1,80 мм. При прочих равных параметрах, время, которое необходимо затратить на монтаж изделия, у винта для дерева будет больше, одновременно с этим, крутящий момент, который необходимо приложить для монтажа изделия, будет выше для винта по металлу. В технологии изготовления различия связаны с геометрическими параметрами накатного инструмента и нагрузкой на инструмент.

Количество заходов резьбы. Винты самонарезающие для металла обладают двухзаходной резьбой, в то время как для дерева однозаходной. Винт для металла имеет шаг резьбы 3,40 мм, однако, за счет двухзаходной резьбы на стержне изделия, в продольном разрезе, расстояние между витками резьбы составит 1,70 мм. Данная особенность конструкции позволяет сократить время монтажа при сохранении площади соприкосновения с материалом, идентичной той, что могла бы быть получена при однозаходной резьбе с шагом 1,70 мм. В технологии изготовления различия связаны только с геометрическими параметрами накатного инструмента.

Угол резьбы. Винт самонарезающий для металла обладает резьбой с углом 60 градусов, в то время как винт для дерева обладает резьбой с углом 40 градусов. С уменьшением угла резьбы, при прочих равных условиях, уменьшаются удельные затраты материала на единицу изделия, что позволяет сократить себестоимость производства. Однако, стоит учесть, что уменьшение угла резьбы приводит к уменьшению способности изделия сопротивляться растяжению. Сокращение угла резьбы оправдано, когда можно достичь необходимого и достаточного уровня прочности с меньшими затратами на производство.

Шлиц. Винт самонарезающий для металла обладает шлицем H2, в то время как для дерева – шлицем Z2 согласно ГОСТ 10753 [5]. В технологии изготовления различия связаны только с геометрическими параметрами высадочного инструмента.

Антикоррозионное покрытие. Винт самонарезающий для металла обладает бесцветным цинковым покрытием с толщиной 5 мкм, в то время как винт для дерева может обладать бесцветным цинковым покрытием или радужной хроматной пленкой с толщиной цинка 5 мкм.

Радужное хроматное покрытие позволяет увеличить коррозионную стойкость изделия, относительно оцинкованных изделий, которые не подвергались пассивации цинкового покрытия.

Механические свойства. Сопоставление механических свойств представлено в таблице 1.

Табл. 1. Механические свойства винтов самонарезающих [1]

Механические свойства	Тип В	Тип Б
	Ø 4,2 мм	Ø 4,0 мм
Минимальное сопротивление скручиванию, Н·м, не менее	4,2	3,0
Твердость поверхности по Виккерсу, HV _{0,3}	530-780	450-680

Повышенные требования минимального сопротивления скручиванию, предъявленные к винтам самонарезающим для металла, вызваны наличием двухзаходной резьбы с шагом резьбы 3,40 мм, для ввинчивания данного винта необходимо приложить больший крутящий момент, в то время как у винта самонарезающего по дереву шаг резьбы 1,80 мм.

Повышенные требования к твердости поверхности, предъявленные к винтам самонарезающим для металла, вызваны ввинчиваем данных винтов в стальные листы, в то время как винты самонарезающие для дерева предназначены для работ с древесиной.

Основным различием в технологии производства, которое влияет на механические свойства изделия, является режим химико-термической обработки. Для винтов самонарезающих по металлу увеличивается время пребывания в печи нитроцементации относительно винтов самонарезающих по дереву.

Список литературы

- ГОСТ Р 59571–2021 Винты самонарезающие. Общие технические условия. – Введ. 17.08.2021.

2. Логинов Ю.Н., Грехов С.К. Влияние малых пластических деформаций на прочность в практике производства проволоки из стали 15Г // *Сталь*. – 2022. – №7. – С. 23-26.
3. Логинов Ю.Н., Грехов С.К. Кинематика заполнения штампа при высадке головки стального самонарезающего винта // *Черные металлы*. – 2022. – №9. – С. 21-25.
4. Картунов А.Д., Белан О.А., Белан А.К. Разработка конструкции и технологии производства самонарезающих винтов повышенной прочности в условиях ОАО "ММК-МЕТИЗ" // *Моделирование и развитие процессов ОМД*. – 2016. – №22. – С. 150-157.
5. ГОСТ 10753-86 Шлицы крестообразные для винтов и шурупов. Размеры и методы контроля. – Введ. 01.01.1988.

Сведения об авторах:

Логинов Юрий Николаевич – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Обработка металлов давлением»;

Грехов Святослав Константинович – аспирант.

ВАРИАНТ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СТАЛЬНЫХ ПЛИТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО ТИПА КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Симановский В.О.^{1,2}, Исхаков Р.Ф.^{1,2}

¹*Уральский федеральный университет имени первого президента России*

Б.Н. Ельцина, Екатеринбург;

²*ЗАО «НПП «Машпром», Екатеринбург*

Ключевые слова: крупногабаритные плиты, крупногабаритные обечайки, раскатка на оправке, кузнечная протяжка, ковочно-раскатный агрегат, полый слиток, прокатка, сплющивание обечайки, реактор «ВВЭР-ТОИ».

Аннотация. Крупногабаритные стальные плиты находят все более широкое применение в промышленности, строительстве и энергетике. Поэтому поиск новых, более эффективных технологий производства является важной задачей. В настоящей работе предложен вариант новой технологии производства крупногабаритных плит толщиной 250...350 мм, путем раскатки на оправке обечайки, полученной из полого слитка. Для реализации технологии предлагается использовать новый тип кузнечно-прессового оборудования.

A VARIANT OF THE TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING EXTRA-HEAVY PLATES

Simanovskii V.O.^{1,2}, Iskhakov R.F.^{1,2}

¹*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,*

Yekaterinburg;

²*JSC “R&D Enterprise “Mashprom”, Yekaterinburg*

Keywords: extra-heavy plates, large-sized shell, open die forging, hollow ingot, nuclear reactor “VVER-TOI”.

Abstract. Extra-heavy steel plates are increasingly used in industry, civil engineering and in the energy industry. Therefore, the search for new, more efficient production technologies is an important task. This paper proposes a variant of new technology for production of extra-heavy plates with thicknesses of 250...350 mm, by forging and rolling billet, using a new type of forging equipment.

Крупногабаритные плиты все более и более востребованы в промышленности, строительстве и энергетике. Плиты толщиной от 60 мм применяются как в качестве самостоятельных цельнометаллических конструкций, например панелей и балок мостов, виадуков, аутриггерных конструкций высотных зданий, так и как усиливающие элементы композитных железобетонных конструкций. Плиты с наибольшей толщиной применяются в энергетике. Например, для изготовления днища парогенератора ядерного реактора «ВВЭР-ТОИ» используется плита толщиной 300 мм. Плиты столь ответственного назначения должны иметь наилучшее качество.

Основными факторами обеспечивающие качество плиты являются качество макро- и микроструктуры. При этом на качество макроструктуры влияют дефекты исходной заготовки. Так, например, для слябов получаемых непрерывной разливкой характерны такие трудноудаляемые дефекты

макроструктуры, как внутренние и наружные трещины, несплошности, неметаллические включения и осевая пористость [1].

Качество микроструктуры характеризуется размером зерна и фазовым составом, и достигается сочетанием высокой степени деформации и термической обработки. Однако накопленная степень деформации ограничена максимальными размерами исходной заготовки. Так, толщина слябов получаемых на существующих МНЛЗ в России не превышает 400 мм. Реализация перспективных проектов вертикальных МНЛЗ сможет обеспечить разливку сляба с толщиной от 400 до 600 мм [2], что, недостаточно для получения требуемой степени деформации от 4 до 10 [2].

Возможности улучшения микроструктуры посредством термообработки также ограничены. Скорость охлаждения в центральных слоях плиты значительно меньше, чем в периферийных слоях, и добиться равномерного охлаждения невозможно.

В итоге, попытки нивелировать дефекты сляба и обеспечить термомеханической обработкой требуемую микроструктуру серьезно снижают производительность и выход годного продукта.

Плиты с наиболее качественной макро- и микроструктурой изготавливают кузнечным способом из крупного слитка.

Например, для изготовления днища парогенератора ядерного реактора «ВВЭР-ТОИ» используется слиток массой 120 т. Слиток билетируется, осаживается, прошивается, протягивается и раскатывается в трубную заготовку длиной 5800 мм и диаметром 2000...2500 мм, с толщиной стенки 300 мм.

Выбор размеров трубной заготовки продиктован необходимыми размерами плиты с учетом всех припусков, а также такими параметрами существующего кузнечно-прессового оборудования, как максимальный грузовой момент грузоподъемного оборудования ковочного комплекса, межколонное расстояние, открытая высота прессы и другими.

Развертка трубной заготовки в плиту осуществляется в минимум четыре перехода, путем ввода через вырезанный в обечайке сектор плоского бойка [3]. Схема развертки изображена на рисунке 1.

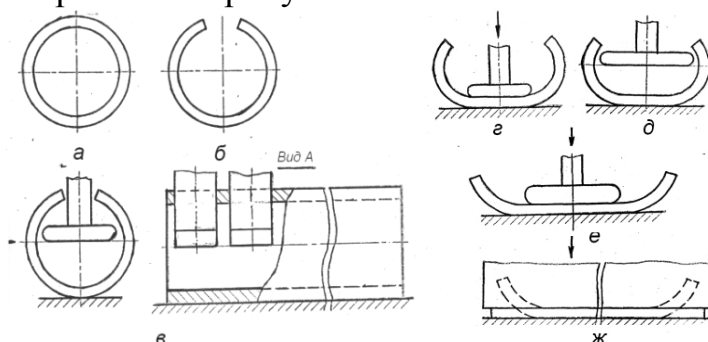


Рис. 1. Схема развертки трубной заготовки плоскими бойками [3]

Приведенная технология изготовления заготовки днища содержит значительное количество промежуточных ковочных операций, таких как билетировка, осадка и прошивка слитка, снижающих производительность. Процесс развертки заготовки также не эффективен, так как осуществляется в несколько этапов и приводит к удалению до 15-20% заготовки [3].

Вариант новой технологии предполагает изготовление плиты не из трубной, а из кольцевой заготовки (обечайки) большего диаметра с соотношением ширины к наружному диаметру менее чем 1,5. Благодаря чему возможно минимизировать операцию кузнечной протяжки. Кроме того, диаметр обечайки выбирается таким образом, чтобы обеспечить получение не одной, а сразу двух или более плит, что существенно повышает производительность. Так, при требуемых габаритах плиты 5800x5800 мм и толщине 300 мм для получения двух плит будет необходима обечайка наружным диаметром 4500 мм.

Кроме того, обечайка раскатывается не из обычного слитка, а из полого слитка, что также позволяет сократить количество промежуточных ковочных операций [4].

После раскатки на оправке, обечайка зарубается и сплющивается, как показано на рисунке 2.

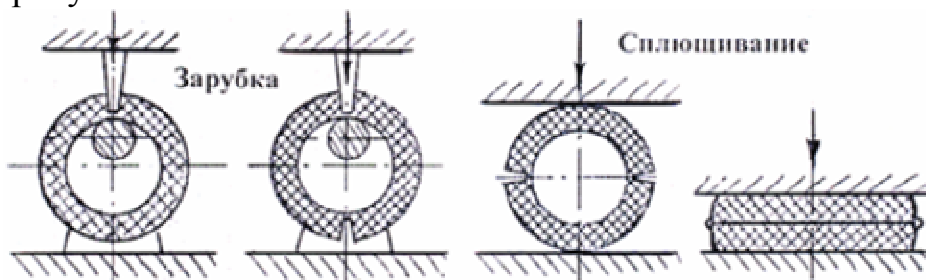


Рис. 2. Схема сплющивания обечайки

Технология сплющивания обечайки позволяет избежать вышеуказанных недостатков многоэтапного процесса развертки трубной заготовки.

Дальнейшие операции правки, термообработки плиты, вытяжка днища подобны известным.

Увеличение габаритов и массы заготовки-обечайки приводит к предельно допустимым режимам работы существующего тяжелого кузнечно-прессового оборудования, введенного в эксплуатацию еще в 80-х годах прошлого века. Что, в свою очередь приводит к снижению скорости, эффективности операций, повышению вероятности отказов и существенному росту затрат на поддержание оборудования в исправном состоянии. Поэтому, для эффективной реализации новой технологии, целесообразно использовать специальный ковочно-раскатный агрегат, предложенный ПАО «Уралмашзавод» в описании к изобретению [5], и изображенный на рисунке 3.

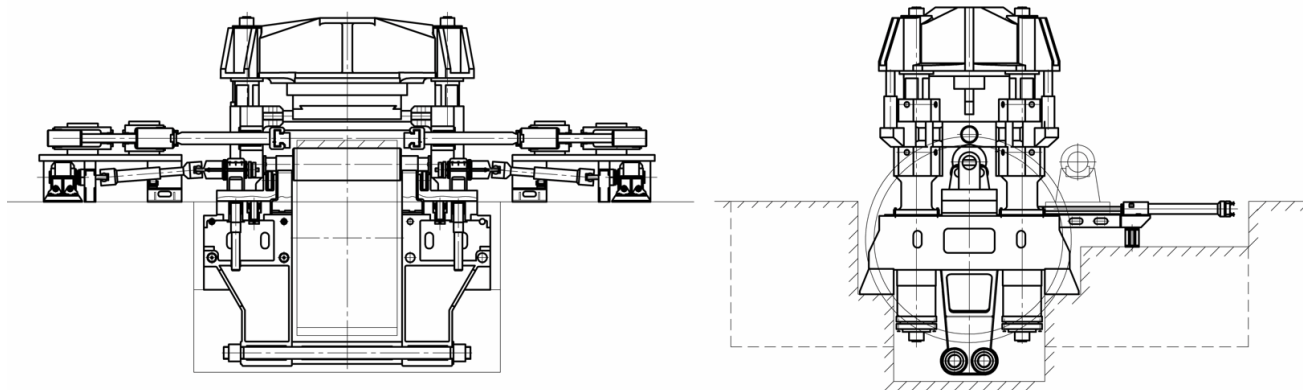


Рис. 3. Общий вид ковочного агрегата конструкции ПАО «Уралмашзавод»

Предложенная конструкция агрегата позволяет раскатывать обечайки значительно большего диаметра и ширины, чем существующие ковочные прессы.

При использовании в качестве верхнего инструмента валка вместо бойка, как предложено в описании к изобретению [6], агрегат способен выполнить раскатку обечайки на окончательный размер в более производительном режиме, а также обеспечить высокое качество поверхности и формы заготовки, что позволяет снизить припуски на дальнейшую обработку.

Заключение

Суммируя преимущества, заключающиеся в минимизации количества промежуточных ковочных операций, упрощении процесса развертки обечайки, в одновременном получении двух и более плит требуемого размера, можно утверждать, что предложенный вариант технологии с использованием нового типа кузнечно-прессового оборудования позволит значительно увеличить экономическую эффективность производства высококачественных крупногабаритных плит и обечаек.

Список литературы

1. Yuitaka Okayama, Hirotsugu Yasui, Kenichi Hara, Yoshiyuki Ueshima, Fumihiko Kawazoe, Susumu Umeki, Hisahi Kato, Manabu Hoshino. Production of High Quality Extra Heavy Plates with New Casting Equipment // Nippon Steel Technical Report. 2004, no. 90, pp. 59-66;
2. Бойко С.Ю., Карацуба В.И., Силенко И. Ю., Айбетов Р.Ш. Проект разлива толстого сляба в России // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической информации. – 2015. – №4. – С. 56-61.
3. Кобелев О.А. Разработка эффективных ресурсосберегающих технологий производства крупногабаритных моноблочных плит и изделий из них: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М.: 2010. – 46 с.
4. Дуб В.С., Ромашкин А.Н., Мальгинов А.Н. Основные тенденции развития технологии разлива стали в слитки // Металлург. – 2013. – №6. – С.31-44.
5. Патент №2592710 РФ. Ковочный агрегат для изготовления колец большого диаметра / Симановский В.О., Карасюк В.А., Некрасов Н.С. – Оpubл. 27.07.2016.
6. Патент №2568403 РФ. Ковочно-раскатный агрегат для изготовления колец большого диаметра / Баранов И.В., Блик Ф.С., Симановский В.О., Салтыков Д.Е., Шпыгарь С.А. – Оpubл. 20.11.2015.

Сведения об авторах:

Симановский Владимир Олегович – аспирант кафедры «Обработка металлов давлением» УрФУ, главный инженер проектов металлургического оборудования ЗАО «НПП «Машпром»;

Исхаков Руслан Фанисович – к.т.н., доцент кафедры «Обработка металлов давлением» УрФУ, директор по новой технике ЗАО «НПП «МАШПРОМ».

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛЬНЫХ ЛИСТОВ И БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛОС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВМЕЩЕННОГО НЕПРЕРЫВНОГО ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ И ДЕФОРМАЦИИ

Лехов О.С.¹, Гузанов Б.Н.¹, Шевелев М.М.², Билалов Д.Х.¹

¹*Российский государственный профессионально-педагогический университет,
Екатеринбург;*

²*ОАО «Уральский трубный завод», Первоуральск*

Ключевые слова: установка, кристаллизатор, литье, деформация, совмещенный процесс, лист, биметалл, 09Г2С, Ст3, напряжение, микроструктура, технология.

Аннотация. В работе показана возможность сокращения технологической цепочки получения стальных листов и трехслойного биметалла, а так же улучшения их качества при использовании технологических возможностей установки совмещенного процесса непрерывного литья и деформации. Приведены результаты получения на опытно-промышленной установке непрерывного литья и деформации листовой стали и биметалла в композиции 09Г2С – сталь Ст3 – сталь 09Г2С.

METALLURGICAL COMPLEX FOR THE PRODUCTION OF STEEL SHEETS AND BIMETALLIC STRIPS USING A COMBINED CONTINUOUS CASTING AND DEFORMATION PROCESS

Lekhov O.S.¹, Guzanov B.N.¹, Shevelev M.M.², Bilalov D.Kh.¹

¹*Russian State Vocational Pedagogical University, Yekaterinburg;*

²*OAO «Ural Pipe Plant», Pervouralsk*

Keywords: installation, mold, casting, deformation, combined process, sheet, bimetall, 09G2S, St3, stress, microstructure, technology.

Abstract. The paper shows the possibility of reducing the technological chain of obtaining steel sheets and three-layer bimetall, as well as improving their quality when using the technological capabilities of the installation of a combined continuous casting and deformation process. The results of obtaining continuous casting and deformation of sheet steel and bimetall in the composition 09G2S - steel St3 – steel 09G2S at a pilot plant are presented.

Стандартная технология получения стального листа основана на получении крупных непрерывнолитых слябов и последующим их обжатием на станах толстолистовой прокатки. Известным недостатком такой технологии является то, что в осевой зоне листа литая структура прорабатывается в недостаточной степени, не удается достичь полной перекристаллизации, а неметаллические включения и зоны ликвации в результате прокатки образуют ликвационную полосу в направлении прокатки [1-3]. Металл в этой полосе характеризуется повышенным содержанием серы, фосфора и углерода, что приводит к увеличению твердости, снижению пластичности и может привести к коррозионному растрескиванию под напряжением, а так же способствует образованию холодных трещин, раскрытий и других дефектов при сварке.

Для внедрения инновационных технологий разработана компактная и ресурсосберегающая установка совмещенного процесса непрерывного литья и деформации предназначенная для реализации новых технологий получения за один проход стальных листов и трехслойных биметаллических полос, позволяющие так же отливать тонкие слябы толщиной 40-80 мм [1-6].

Спроектирован и изготовлен опытный образец установки совмещенного процесса непрерывного литья и деформации, который установлен на литейно-ковочном участке ОАО «Уральский трубный завод» [1-3] (рис. 1).

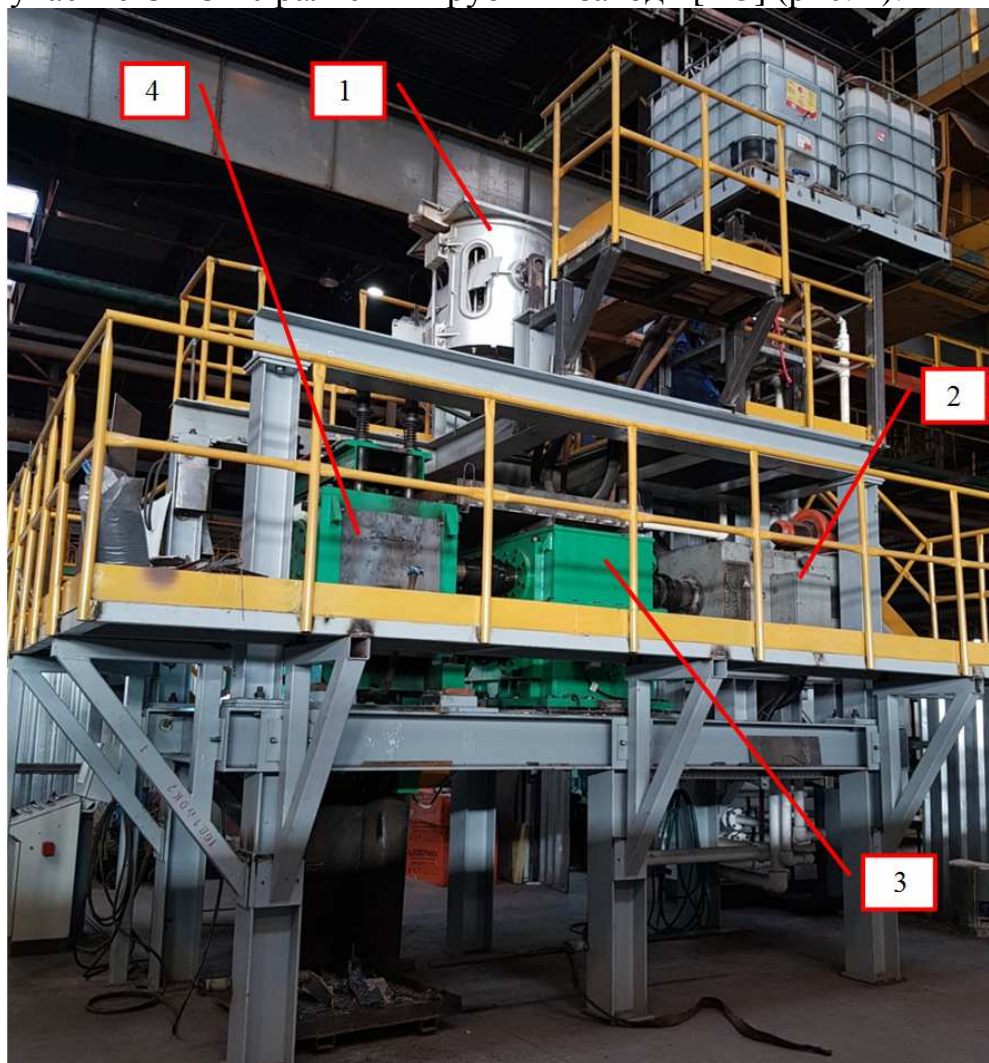


Рис. 1. Установка непрерывного литья и деформации: 1 – индукционная печь; 2 – электродвигатель постоянного тока; 3 – редуктор-синхронизатор; 4 – станина установки

Технология получения стальных листов (рис. 2) включает стадии кристаллизации расплава металла в кристаллизаторе с образованием затвердевшей оболочки с жидкой фазой и вытягивание ее из кристаллизатора, формирования бойками тонкого сляба из оболочки с жидкой фазой, циклической деформации бойками затвердевшего металла и калибровки полосы [1-3].

В результате расчета напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации при получении на установке листов толщиной 6-22 мм и шириной 2250 мм из стали 09Г2С установлено, что сжимающие напряжения в зоне контакта очага деформации с бойком достигают высоких (до 326 МПа) значений, что будет способствовать достаточной проработке литой структуры

металла по всей толщине тонкого сляба и получению однородной и мелкозернистой структуры листов из стали. Эксперимент на опытной установке показал [1-2], что технология получения на ней полос из стали 09Г2С повышает качество листов вследствие отсутствия строчечного расположения сульфидов марганца в их осевой зоне, приводящих к снижению механических свойств листа и образованию дефектов при стыковой сварке труб.

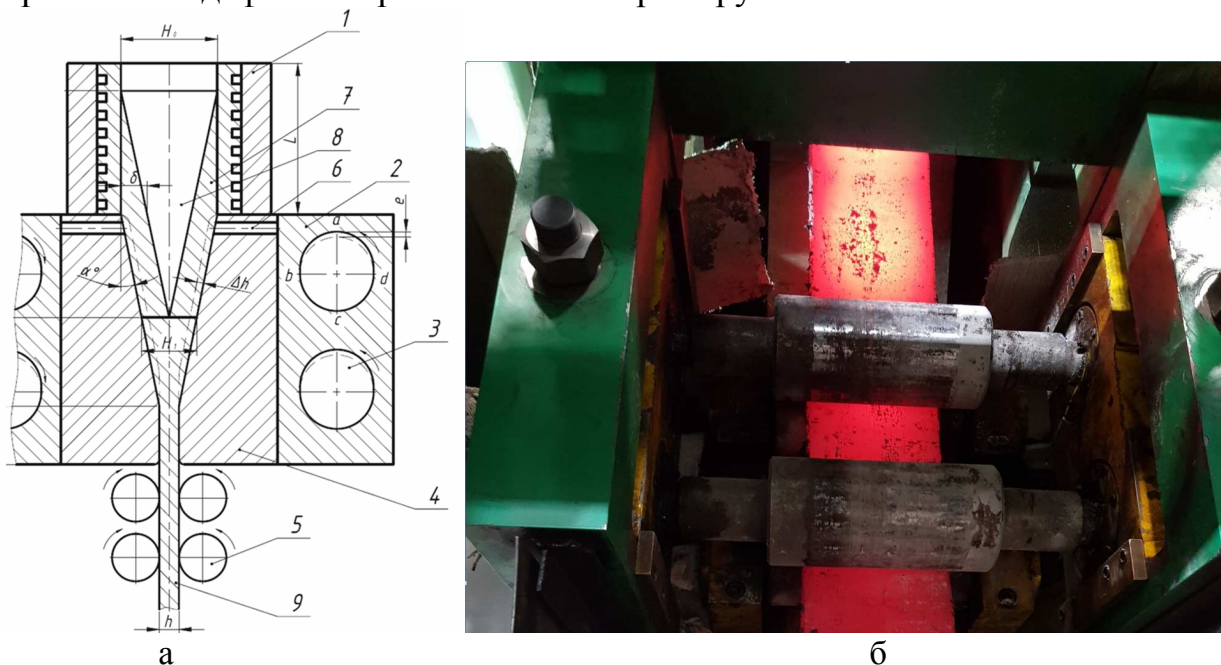


Рис. 2. Схема получения полосы на установке (а) и вид полосы вытягиваемой роликами тянущего устройства (б): 1 – кристаллизатор; 2 – суппорт; 3 – валы эксцентриковые; 4 – бойки; 5 – ролики тянущего механизма; 6 – каналы подачи смазки; 7 – затвердевшая оболочка; 8 – жидкая фаза; 9 – полоса

Широкое применение в различных областях техники находят биметаллы, которые позволяют существенно повысить эффективность производства широкого класса деталей и оборудования для предприятий машиностроения и других отраслей промышленности. Возрастающие потребности в биметаллах вызвали необходимость создания высокопроизводительных непрерывных процессов их производства и улучшения качества.

Для производства трехслойных биметаллических полос может быть так же эффективно использована установка совмещенного процесса непрерывного литья и деформации [3-5].

Предлагаемая технология непрерывного литья и деформации биметаллической полосы включает подачу в медный водоохлаждаемый кристаллизатор металла плакирующего слоя (легированная сталь, медь, алюминий) в жидком состоянии и предусматривает соединение полосы основного металла (конструкционная сталь, медь) в твердом состоянии с выходящей из кристаллизатора оболочкой плакирующего слоя путем обжатия бойками биметаллического слитка с последующей калибровкой биметаллической полосы [3].

Для оценки новой технологии и качества стальных трехслойных биметаллических полос выполнено теоретическое исследование, в рамках

которого определено напряженно-деформированное состояние металлов плакирующего слоя и основной полосы при получении стального трехслойного биметалла на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации. Установлено, что при обжатии бойками установки биметаллического слитка происходит взаимное смещение его слоев в очаге деформации, что способствует разрушению межслойных нежелательных образований в зоне соединения слоев и повышению прочности их сцепления. Кроме того, высокие сжимающие напряжения (288 МПа) на контактных поверхностях биметаллической полосы с бойками способствует получению однородной и мелкозернистой структуры металла плакирующих слоев (рис. 3) [3-4].

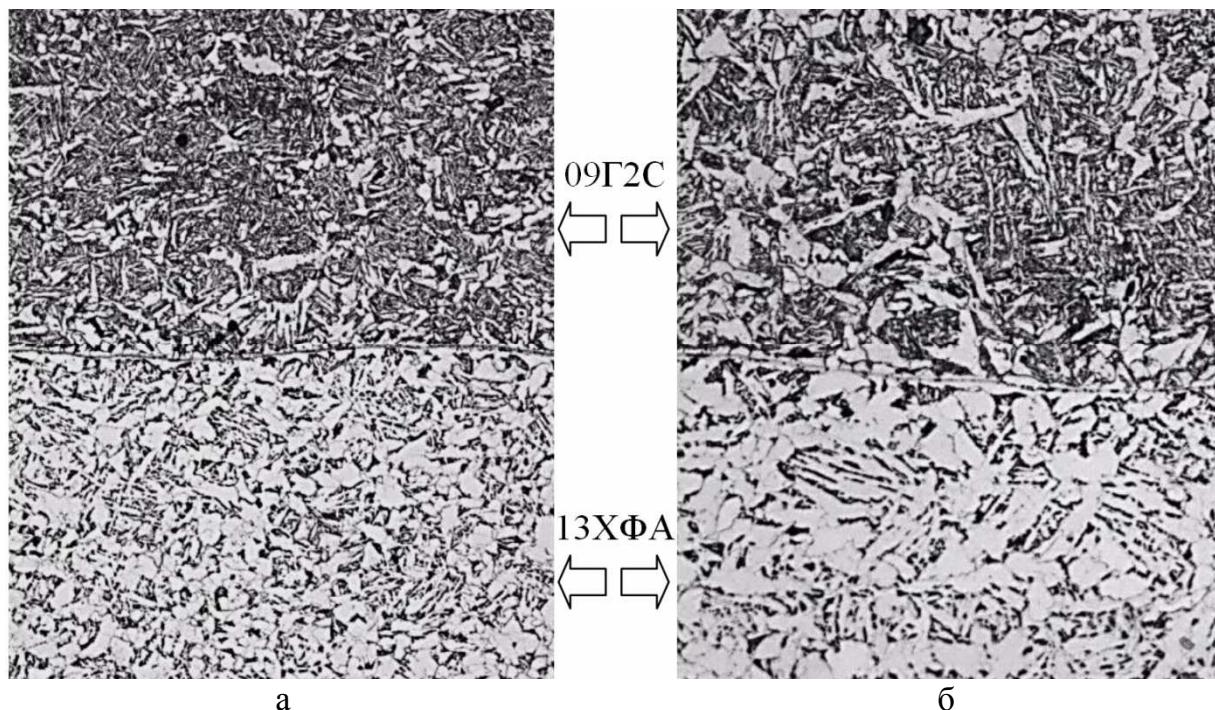


Рис. 3. Микроструктура стальных полос в зоне контактного взаимодействия биметаллической композиции при увеличении $\times 150$ (а) и $\times 750$ (б)

Проверка результатов теоретического исследования выполнена на опытной установке, где была получена полоса биметалла в композиции сталь 09Г2С – сталь Ст3 – сталь 09Г2С. Толщина основной полосы и плакирующих слоев соответственно 10 и 3 мм. Толщина оболочки плакирующих слоев на выходе из кристаллизатора – 10 мм. Высота расплава металла плакирующих слоев в кристаллизаторе – 600 мм. Скорость вытягивания биметаллического слитка из кристаллизатора – 3 м/мин.

При исследовании технологии получения стальных трехслойных биметаллических полос на опытной установке непрерывного литья и деформации установлено, что обеспечивается соединение слоев без видимых в зоне контакта макродефектов и расслоений, а также за время прохождения стальной основной полосы через расплав металла плакирующих слоев не происходит ее оплавления.

Таким образом, на опытной установке отработаны технологии получения стальных полос и биметалла, что позволит с минимальными капитальными затратами проектировать и изготавливать промышленные установки для

производства металлопродукции. Эти новые ресурсосберегающие технологии производства стальных листов и трехслойных биметаллических полос могут быть эффективно использованы промышленных предприятиях России и новых регионов.

Список литературы

1. Лехов О.С., Михалев А.В. Установка непрерывного литья и деформации для производства стальных листов и сортовых заготовок. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 304 с.
2. Лехов О.С., Гузанов Б.Н., Михалев А.В., Билалов Д.Х. Исследование структурообразования при производстве листовой стали на установке непрерывного литья и деформации // Известия вузов. Черная металлургия. – 2022. – № 4. – С. 278-284.
3. Лехов О.С., Шевелев М.М. Установка совмещенного процесса непрерывного литья и деформации для производства биметаллических полос. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 256 с.
4. Лехов О.С., Шевелев М.М. Оценка качества стальных трехслойных биметаллических полос при получении на установке непрерывного литья и деформации // Известия вузов. Черная металлургия. – 2021. – № 10. – С. 752-757.
5. Патент № 2742407 РФ. Способ получения биметаллической полосы / Лехов О.С. – Заявка №2020126732 от 10.08.2020; опубл. 05.02.2021, Бюл. №4.

Сведения об авторах:

Лехов Олег Степанович – д.т.н., профессор, профессор кафедры ИММ;

Гузанов Борис Николаевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Инжиниринг и профессиональное обучение в машиностроении и металлургии» (ИММ);

Шевелев Максим Михайлович – к.т.н., финансовый директор;

Билалов Дамир Харасович – к.т.н., доцент кафедры ИММ.

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО. РОЛИКО-ПРАВИЛЬНАЯ МАШИНА ПРАВКИ АСИММЕТРИЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Мыльников С.В.^{1,2}, Исхаков Р.Ф.^{1,2}, Шварц Д.Л.²

¹ЗАО «НПП «Машпром», Екатеринбург;

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

Ключевые слова: правка, роликотправильная машина, изгиб, сортовой прокат.

Аннотация. Ролико-правильные машины успешно заняли нишу для правки заготовок после прокатки с целью устранения дефектов проката. В данной работе представлен вариант правки фасонных профилей одновременно в двух плоскостях. В будущей работе будет проведено моделирование процесса правки рельсовой накладкой, подобраны оптимальные режимы правки. результаты будут опробованы на производстве.

METALLURGICAL INDUSTRY. ROLLER LEVELING MACHINE FOR LEVELING ASYMMETRIC PROFILES

Mylnikov S.V.^{1,2}, Iskhakov R.F.^{1,2}, Shvarts D.L.²

¹JSC «R&D Enterprise «Mashprom», Yekaterinburg;

²Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg

Keywords: leveling, roller leveling machine, bending, long products.

Abstract. Roller leveling machines have successfully occupied a area for straightening workpieces after rolling in order to eliminate defects in rolled products. This paper presents a variant of leveling varietal profiles simultaneously in two planes. In future work, a simulation of the process of leveling the rail lining will be carried out, optimal leveling modes will be selected. The results will be tested in production.

После прокатки в прокатных станах изделие имеет такие дефекты, как коробоватость, серповидность, волнистость. Данные дефекты успешно исправляют методами упругопластического изгиба [1].

В настоящее время практически на всех предприятиях, имеющих прокатное производство фасонных профилей, имеются машины для правки проката. В том числе роликотправильные машины.

Ролико-правильная машина состоит из комплекта роликов с нарезанными калибрами под сортамент, расположенными в шахматном порядке по направлению движения заготовки. Один ряд роликов имеет возможность индивидуальной регулировки по высоте. Это необходимо для подбора оптимального режима правки конкретного сортамента [1, 2].

подавляющее большинство существующих роликотправильных машин предназначены для правки в одной плоскости, как правило, вертикальной. Также на современных предприятиях для качественной правки сортовых профилей, в том числе рельсов, роликотправильная машина состоит из двух

последовательных операций правки: правка в вертикальной плоскости и правка в горизонтальной плоскости.

Для экономии габаритных размеров роliko-правильной машины и увеличения качества и производительности правки сортовых профилей, в том числе асимметричных, предлагается применять одновременную правку в двух плоскостях.

На данный момент нет упоминания об одновременной правке заготовок в двух плоскостях, а также отсутствуют методики расчета режимов правки и определения энергосиловых параметров процесса, что усложняет разработку требования к проектированию роliko-правильных машин для правки одновременно в двух плоскостях.

Данный вариант машины может состоять из 9-10 роlikов. На взгляд как обычная роliko-правильная машина, но один ряд роlikов (верхний или нижний) дополнительно имеет возможность осевой регулировки для правки в горизонтальной плоскости.

Калибры роlikов нарезаются в зависимости от необходимости правки того или иного профиля. Машина может иметь как консольно-расположенные роlikи, так и двухопорную конструкцию. Консольное расположение роlikов позволяет осуществлять перевалку калибров в очень короткие сроки, но имеет недостаток в количестве одновременно нарезанных калибров [3].

На сегодняшний день широкое применение моделирования процессов прокатки, в том числе правки, находят комплексные программы 3D моделирования такие, как Deform 3D, QForm, Abaqus. Данные программы используют конечно-элементную модель для расчетов напряженно-деформированного состояния.

В будущей работе будет рассмотрен процесс правки рельсовой накладке в роliko-правильной машине в режиме правки одновременно в двух плоскостях.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема роliko-правильной машины с клиновидной настройкой верхнего ряда роlikов. Заготовка 1 движется слева направо. Верхний ряд роlikов 2 имеет возможность вертикальной регулировки. Нижний ряд роlikов 3 имеет возможность осевой регулировки.

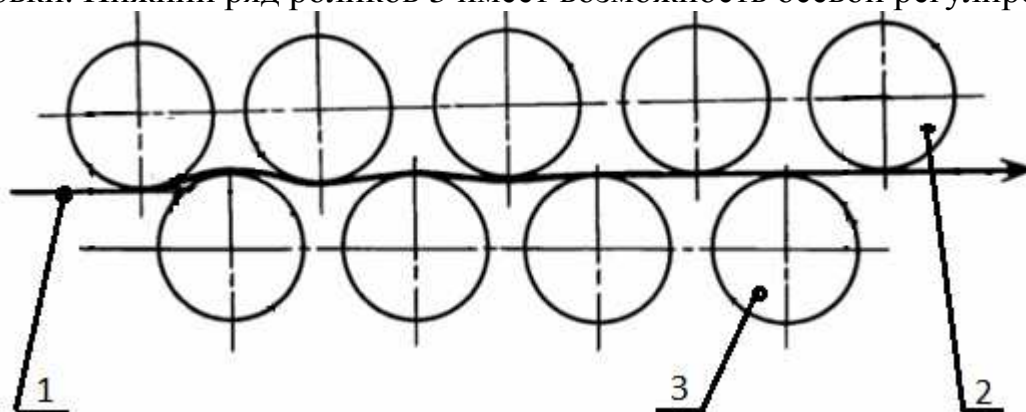


Рис. 1. Принципиальная схема роliko-правильной машины

В предыдущей работе был смоделирован процесс правки рельсовой накладке только в вертикальной плоскости. Усилие максимальное составляло 289 кН, максимальный момент правки 2,3 кНм.

Максимальная пластическая деформация задается в начале процесса правки. Для качественной правки заготовки глубина проникновения пластической деформации должна составлять порядка 65%. Данный показатель будет также рассчитан в результате моделирования.

В результате моделирования будет подобран оптимальный режим правки, согласно расчетам энергосиловых параметров и полученного напряженно-деформированного состояния, а также подобраны силовые составляющие машины. Будет сконструирована и изготовлена ролико-правильная машина для правки рельсовых накладок.

Результаты моделирования будут опробованы на производстве.

Список литературы

1. Недорезов И.В. Моделирование процессов правки проката на роликовых машинах. – Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 2003. – 256 с.
2. Слоним А.З., Сонин А.Л. Правка листового и сортового металла (технология и оборудование). – М.: Metallurgia, 1981. – 232 с.
3. Мыльников С.В., Исхаков Р.Ф. Компьютерное моделирование процесса правки рельсовой накладки в сортоправильной машине // Magnitogorsk rolling practice 2019: Материалы IV международной молодежной научно-практической конференции, Магнитогорск, 04-07 июня 2019 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2019. – С. 75-77.

Сведения об авторах:

Мыльников Сергей Вячеславович – аспирант УрФУ, технический эксперт ЗАО «НПП «Машпром»;

Исхаков Руслан Фанисович – к.т.н., доцент кафедры «Обработка металлов давлением» УрФУ, директор по новой технике ЗАО «НПП «Машпром».

Шварц Даниил Леонидович – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Обработка металлов давлением» УрФУ.

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАТЯЖЕНИЕМ ПОЛОСЫ ПЕРЕД ПЕЧЬЮ СУШКИ

Исхаков Р.Ф.^{1,2}, Браун А.Е.³

¹ЗАО «НПП «Машпром», Екатеринбург;

²Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, Екатеринбург;

³ЗАО «АСК», Екатеринбург

Ключевые слова: сушка покрытия на полосе, царапины, провисание полосы, система натяжения.

Аннотация. Постоянное повышение требований к качеству поверхности листовой стали ответственного назначения диктует требования как к оборудованию, так и к самому технологическому процессу обработки листов рулонной стали как на промежуточных, так и на финальных операциях. В данной работе рассмотрен один из примеров решения задач повышения качества поверхности рулонной стали за счет внедрения дополнительных механических механизмов и систем управления.

METALLURGICAL INDUSTRY. STRIP TENSION CONTROL SYSTEM IN FRONT OF THE DRYING OVEN.

Iskhakov R.F.^{1,2}, Brawn A.E.³

¹JSC «R&D Enterprise «Mashprom», Yekaterinburg;

*²Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg;*

³JSC «ASC», Yekaterinburg

Keywords: coating drying on the strip, scratches, strip sagging, tension system.

Abstract. The regular increase of the requirements to the quality of sheet steel surface of high-duty intention prescribes the requirements both for equipment and for the very technological process of processing of rolled steel sheets at intermediate process and as well as at final operations. This paper shows one of the examples of solving the problems of surface quality improvement of rolled steel by means of implementation of additional mechanical devices and control systems.

Создание технологий и комплекса технических средств, в том числе и оборудования отделки листовой рулонной стали на территории современной России и ближнем зарубежье осуществлялся во второй-третьей декадах 20 века. В те времена, требования к качеству выпускаемой продукции значительно отличались от современных требований. Данный факт в свою очередь диктовал требования, предъявляемые как к оборудованию, так и к системам АСУ, которые в значительной части не соответствуют современному состоянию развития науки и технике. Однако в тот период было разработано, построено и введено в эксплуатацию множество объектов и агрегатов на отечественных металлургических предприятиях.

В данной работе рассмотрен пример модернизации технологической линии в составе которого имеется узел нанесения покрытий на полосу, который подвергается дальнейшей сушке в нагревательной печках [1]. Основные решения,

которые были использованы при реконструкции электрооборудования этих агрегатов, можно рассмотреть на примере агрегата защитного покрытия полосы. Агрегат защитного покрытия предназначен для нанесения на полосу из электротехнической стали с двух сторон водной суспензии на основе оксида магния для создания термостойкого защитного покрытия для дальнейшего высокотемпературного отжига в колпаковых печах.

Основной проблемой на данном агрегате является провисание полосы в печи сушки от узла нанесения покрытия до поддерживающего ролика после печи сушки. При сушке полосы происходит испарение воды с водной суспензии, и до полного испарения покрытие легко травмируется при соприкосновении с подом печи. Провисание полосы происходит под собственным весом. Для предотвращения касания полосы, был разработан ряд мероприятий, а именно: установка перед узлом нанесения покрытия S-образной тянущей клетки и реализована система управления натяжением полосы перед печью (СУНПП) и в системе задания моментов в тянущей клетке (СЗМТК).

Положение точки соприкосновения полосы с подом печи зависит от натяжения полосы, чем больше натяжение, тем больше расстояние до точки соприкосновения, а значит больше время сушки покрытия. Так как визуально не оценить положение полосы в печи, то возникает задача теоретического определения положения точки провисания полосы в печи в зависимости от заданного натяжения.

Для определения кривой провисания полосы принимается допущение, что полоса представляется как упругая [2], а кривая провисания имеет форму параболы с вершиной в точке соприкосновения полосы с печным роликом с координатами $(x_0 = 0, y_0 = 0)$. Тогда можно по известным координатам двух точек параболы определить координаты по оси x и y любой другой точки в кривой провисания полосы. Для определения 1-ой точки с координатами (x_1, y_1) между узлом нанесения покрытия и печью на расстоянии L_1 от машины покрытия устанавливается лазерный датчик, измеряющий расстояние до нижней поверхности полосы (y_1) относительно уровня пода печи. Второй точкой с известными координатами (x_2, y_2) является верхняя точка в кривой провисания – это крайний ролик машины покрытия.

Таким образом, расстояние в горизонтали (L_0) между верхней и нижней точками в кривой провисания полосы определяется по формуле:

$$L_0 = (x_2 - x_0) = L_1 + L_1 \frac{y_1 + \sqrt{y_1 \cdot y_2}}{y_1 - y_2},$$

А высоты захода полосы в печь (y_3) определяется по формулам:

$$y_3 = y_1 \frac{(L_0 - L_3)^2}{(L_0 - L_1)^2} \text{ или } y_3 = y_2 \cdot \left(1 - \frac{L_3}{L_0}\right)^2,$$

где L_3 – расстояние между машиной покрытия и габаритом окна печи.

Если между узлом нанесения покрытия и печью не удастся установить датчик величины провисания полосы, то можно вычислить задаваемое

оператором натяжение по формуле, учитывающей вес полосы на единицу длины (q , кг/м) в предположении, что полоса является упругой и форма ее провисания на данном участке имеет форму параболы. Тогда для обеспечения необходимого расстояния между узлом нанесения покрытия и точкой опускания полосы на печной под (F_0) натяжение, задаваемое тянущей клетью перед узлом нанесения покрытия (F_2) можно рассчитать по формуле:

$$F_2 = F_0 \sqrt{1 + \frac{4y_2}{L_2}},$$

где $F_0 = \frac{q \cdot L_2}{2 \cdot y_2}$ – натяжение в точке опускания полосы на под печи; y_2 – высота

узла нанесения покрытия над уровнем пода печи.

Для создания натяжения полосы на технологическом печном участке применяют 2 рядом расположенные ролика с большим углом охвата полосой каждого, называемые S-роликами или клеть натяжения полосы. При большой разности натяжений перед и после тянущей клетки возникает проскальзывание полосы по роликам, что приводит к повреждению вибрации, снижению натяжения и появлению поверхностных дефектов в виде царапины [3].

По формуле Эйлера натяжение за огибным роликом зависит от натяжения полосы до ролика и рассчитывается как:

$$F_2 = F_1 \cdot e^{\alpha \cdot f},$$

где: F_1 – натяжение до ролика; F_2 – натяжение после ролика ($F_2 > F_1$); e – экспоненциальная функция; α – угол охвата ролика в радианах; f – коэффициент трения полосы по ролику.

В зависимости от условия, в том числе материала покрытия ролика (резина или полиуретан) один ролик может увеличить натяжение полосы не более, чем в 2,2 раза, а тянущая клеть из 2-х роликов с в 4,33 раза.

Как правило, при нарушении режима проскальзывание возникает на одном из роликов. Отсюда вытекает задача рационального распределения крутящих моментов между 2-мя роликами, чтобы исключить проскальзывание в тянущей клетки в целом. Если параметры роликов одинаковые, включая углы охвата, то задача достаточно простая – надо задавать на приводные двигатели роликов одинаковые моменты, $M_1 = M_2$.

Однако в большинстве случаев, из-за конструктивных особенностей агрегата углы охвата роликов отличаются, также как радиусы и передаточные отношения редуктора, и тогда равенство моментов не является рациональным решением. В общем виде для равномерного распределения нагрузки между роликами с точки зрения исключения проскальзывания момент на втором ролике должен быть равен:

$$M_2 = M_1 \cdot \frac{e^{\alpha_2 \cdot f_2} \cdot R_2 \cdot i_1}{e^{\alpha_1 \cdot f_2} \cdot R_1 \cdot i_2},$$

где: R_1, R_2 – радиусы первого и второго роликов; i_1, i_2 – передаточные отношения редукторов приводов роликов.

Предлагаемый вариант расчета основных технологических параметров систем управления натяжением полосы перед печью и систем задания моментов в тянущей клети позволяет реализовать технологический процесс с исключением касание полосой пода печи, а также разработать требования к проектируемому оборудованию и подбору покрытий роликов клети натяжения полосы.

Список литературы

1. Патент №333336 РФ. Агрегат для производства полосового проката с защитным покрытием / Коньшин А.П., Бубнов С.Ю., Мякишев В.Е., Шуклин А.В., Евсюков В.Н. – Заявка №2003120163/20 от 02.07.2020; опубл. 20.10.2003, Бюл. №29.
2. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. Учебник для вузов. – М.: Metallurgy, 1986. – 688 с.
3. Полухин П.И., Федосов Н.М., Королев А.А. и др. Прокатное производство. – М.: Metallurgy, 1986. 2-е изд. – 676 с.

Сведения об авторах:

Исхаков Руслан Фанисович – к.т.н., доцент кафедры «Обработка металлов давлением» УрФУ, директор по новой технике ЗАО «НПП «МАШПРОМ»;

Браун Александр Евгеньевич – к.т.н., главный инженер ЗАО «АСК».

АЛГОРИТМ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРКОЛЯЦИИ НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНИЧНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ

Бешенцев В.А.¹, Гуляева Ю.В.², Ковяткина Л.А.¹

¹Тюменский индустриальный университет;

²Западно-Сибирский институт проблем освоения нефти и газа, Тюмень

Ключевые слова: перколяция, защищенность, подземные воды, геоэкология.

Аннотация. Воды хозяйственно-питьевого назначения все чаще подвергаются трансформации гидрогеохимического поля. Данная статья посвящена новому научному подходу к вопросу защищенности подземных вод от загрязнения. В статье приведены теоретические основы алгоритмов изучения перколяции, инструменты создания объективной карты защищенности подземных вод на территории постоянной техногенной нагрузки нефтегазодобывающего месторождения.

ALGORITHM FOR PERCOLATION PROCESSES STUDYING BASED ON CHERNICHNOE OIL FIELD EXAMPLE

Beshentsev V.A.¹, Gulyaeva Y.V.², Kovaytkina L.A.¹

¹Tyumen Industrial University;

²West Siberian Institute of Oil and Gas Development Problems, Tyumen

Keywords: percolation, protection, groundwater, geoecology.

Abstract. Waters for household and drinking purposes are increasingly subject to transformation on the hydrogeochemical field. This article is devoted to a new scientific approach to the issue groundwater protection from pollution. The article presents the theoretical foundations of algorithms for studying percolation, tools for creating an objective map on the groundwater protection in the territory of a constant technogenic load of an oil and gas field.

В физическом и химическом понимании явление перколяции (от лат. *percōlāre* – просачиваться, протекать) это процесс протекания или непротекания жидкостей через пористые материалы. В данной статье описан анализ расчета просачивания загрязняющих веществ «сверху», с целью предотвращения загрязнения подземных вод (ПВ) хозяйственно-питьевого назначения. В качестве примера рассмотрим Черничное нефтегазовое месторождение.

В административном отношении с. Красноселькуп является центром Красноселькупского муниципального административного образования и входит в состав Ямало-Ненецкого автономного округа. Красноселькуп расположен в 750 км от г. Салехарда и в 1200 км от г.Тюмени.

В гидрогеологическом отношении район расположен в восточной части Западно-Сибирского мегабассейна (ЗСМБ). В районе выделены два водоносных комплекса: четвертичных отложений и верхнемеловых- палеогеновых отложений. Водоносные горизонты четвертичного комплекса имеют низкие фильтрационные свойства и небольшую водообильность. Отсутствие выдержанных водоупоров обуславливает взаимосвязь всех горизонтов и комплекса между собой, а также с поверхностными водами. Об этом свидетельствуют близость химического состава, отметок уровней, сезонных и

многолетних колебаний уровней подземных и поверхностных вод. Из трех выделенных гидрогеологических структур наиболее защищенным с поверхности является водоносный верхнемеловой-палеоценовый водоносный комплекс [1].

Пресные ПВ на территориях добывающих месторождений испытывают непрерывную техногенную нагрузку [2]. С целью предотвращения загрязнения вод, авторы используют объективизированную методику оценки природной защищенности пресных ПВ хозяйственно-питьевого назначения от просачивания загрязнителей «сверху». Анализ произведен по трем методикам определения времени фильтрации (T_1 , T_2 , T_3) загрязняющих компонентов до основного источника водоснабжения [3].

Первая методика напоминает закон Дарси, который применим не только для вертикального движения жидкости, но и для движения ее в любом направлении, в том числе и слабо наклонном (субгоризонтальном). Данная формула выдает максимальное значение искомой величины времени просачивания T , т.к. только здесь возводится толщина перекрывающих отложений в квадрат, которая, как правило, варьирует в пределах 30-50 м, таким образом T будет значительно больше.

Вторая методика учитывает модуль естественных ресурсов и слой стока подземных вод (h). Данная методика широко применяется специалистами-гидрогеологами ООО "ГК "УралГЭМП". Однако, полученное время просачивания загрязнений «сверху» довольно низкое, и если делать выводы только по данной методике, то пресные ПВ будут незащищенными. В связи с этим многие авторы используют первую методику, в которой, разумеется, искомое время будет значительно выше (формула учитывает квадрат мощности перекрывающих отложений). Затем суммируют полученные результаты, которые свидетельствуют о весьма хорошей защищенности продуктивного пласта.

Согласно *третьей методике* отличительным показателем является интенсивность инфильтрационного питания. Мощность перекрывающих отложений здесь не играет главенствующей роли.

Сорбция и поглощение вещества породой могут быть учтены в расчетах защищенности ПВ путем деления расчетного времени $T_{расч}$ (по любой из выбранных методик) на величину A :

$$T = T_{расч} / A,$$

где $A = (1 + \beta) / \beta$, где β – коэффициент распределения (сорбции).

Для водонепроницаемых отложений ЗСМБ среднее значение сорбции равно 16,6 мг – экв/100г, тогда $A = 1,06$ д.ед. Анализируя полученные данные можно сделать следующий вывод, что значение времени просачивания, наоборот, сокращается. Однако, данная интерпретация сорбционных процессов не совсем отражает химический смысл «барьерного» свойства сорбционных процессов. Искомое значение T должно увеличиться, т.к. происходит процесс поглощения фильтрующихся веществ.

Необходимо ввести в расчеты вместо активной пористости (n_0) эффективной пористости ($nэ$), определяемой по формуле:

$$nэ = n_0 \cdot (1 + N),$$

где N – приведенная сорбционная емкость (в нашем случае определенная лабораторным путем и выраженная через коэффициент $A=1,06$).

Получаем $nэ=0,2 \cdot (1+1,06)=0,412$ д.ед.

Активная пористость по объему соответствует водоотдаче. Различают также пористость общую (абсолютную, физическую) – общий объем всех пор независимо от их формы, величины и взаимного расположения и пористость эффективную (динамическую) – объем тех пор, через которые происходит движение жидкости. Эффективная пористость выражается отношением объема пор, не занятых связанной с породой водой, к общему объему горной породы. Из определений видно, что данные параметры практически одинаковы и характеризуют свободное передвижение воды в порах пород, не затрагивая стенки пород. Поэтому увеличивать активную пористость и оперировать в итоге эффективной пористостью вполне разумно.

По литературным данным диапазон изменения значений активной пористости песков и глин изменяется от 0,15 до 0,55, полученная ранее лабораторным путем Гуляевой Ю.В. величина эффективной пористости (0,4) попадает в указанный диапазон значений и не противоречит модели ЗСМБ.

Таким образом, по результатам анализа методик видно, что необходимо учитывать все параметры, а так же актуально применять в формулах сорбцию слабопроницаемых отложений, что даст более детальную картину естественной способности геологической среды к предотвращению перколяции загрязняющих веществ.

Список литературы

1. Гидрогеологическое заключение №9-В/09 о возможности использования пресных подземных вод для технического водоснабжения площадки УКПГ Черничного месторождения. – Салехард, 2009.
2. Бешенцев В.А., Беспалова Ю.В. Воздействие нефтегазоносных промыслов на почвы криолитозоны Севера Западной Сибири (ЯНАО) // Горные ведомости научный журнал. – 2015. – №11(138). – С. 42-52.
3. Беспалова Ю.В. О многофакторном подходе к оценке защищенности водоносных горизонтов и комплексов при освоении нефтегазоносных районов Западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Нефть и Газ. – 2015. – №3. – С. 6-13.

Сведения об авторах:

Бешенцев Владимир Анатольевич – д.г.-м.н., профессор кафедры Геологии месторождений нефти и газа;

Гуляева Юлия Владимировна – к.г.-м.н., ведущий инженер;

Ковяткина Любовь Андреевна – старший преподаватель кафедры ГМНиГ.

СОВРЕМЕННОЕ КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССОВ

Седоплатов И.С., Ковалева О.А., Луа П., Ковалев С.В.

Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, Тамбов

Ключевые слова: обечайка, мембрана, электродиализ, ретентант, пермеат.

Аннотация. При проектировании и создании мембранных аппаратов для разделения промышленных отходов необходим выбор соответствующего метода контроля, диагностики и испытаний. В статье приводятся основные типы аппаратов и их конструктивные особенности. Для повышения качества получаемых растворов и расчета оптимальной стоимости аппаратов при их создании был проанализирован и спроектирован ряд рассматриваемых конструкций. Приведены основные доводы обнаруженных недостатков и варианты их устранения.

MODERN DESIGN OF ELECTROMEMBRANE PROCESSES

Sedoplatov I.S., Kovaleva O.A., Lua P., Kovalev S.V.

Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov

Keywords: shell, membrane, electro dialysis, retentate, permeate.

Abstract. When designing and creating membrane devices for the separation of industrial waste, it is necessary to choose the appropriate method of control, diagnostics and testing. The article presents the main types of devices and their design features. To improve the quality of the solutions obtained and calculate the optimal cost of the devices during their creation, a number of the structures under consideration were analyzed and designed. The main arguments of the detected shortcomings and options for their elimination are given

Промышленное использование электромембранной и мембранной технологии в химических производствах, машиностроении и биохимическом производстве позволяет получать качественные показатели разделения сточных вод, сложных технологических растворов по составу компонентов, так как эти растворы содержат зарядоносные ионы. Аналитическое рассмотрение этих способов разделения растворов выявило лишь отдельные особенности их использования, например, использование электрохимических мембранных устройств, позволяющих проводить опреснение и разделение жидкой фазы, когда одна обогатена растворенными компонентами, а другая обеднена ими (электродиализ, электролиз и др.).

Разработанные к настоящему времени мембранные устройства, работающие при одновременном действии разности электрических потенциалов и трансмембранного давления, еще не нашли широкого применения в промышленности, хотя и перспективны для выделения ценных компонентов из растворов в виде потоков прикатодного пермеата прианодного пермеата, ретентата (щелочи, кислоты, очищенный раствор) [1, 2]. В то же время в таких конструкциях электрохимических мембранных устройств наряду с достоинствами имеются и недостатки – например, соединение патрубков таких устройств осуществляется с помощью фланцевых соединений, при затяжке требуется соосность для плотного контакта при дальнейшей циркуляция

жидкости по трубопроводам и быстрый монтаж этих элементов. Не менее важным фактором для мембранных устройств является обеспечение интенсивного перемешивания разделяемого раствора (за счет эффекта концентрационной поляризации).

В статье предложено более простое и надежное исполнение (в области герметизации и перемешивания раствора) аналогичных конструкций аппаратов трубчатого типа с резьбовыми соединениями патрубков и применением цилиндрических сетчатых турбулизаторов в разделительной камере.

Основным принципом конструкции таких мембранных устройств является универсальность, т.е. возможность использования устройств как для баромембранного, так и для электрохимического мембранного разделения растворов химической, механической, сельскохозяйственной, перерабатывающей и других отраслей промышленности.

Применение в промышленности мембранных электрохимических устройств с сепарирующими элементами трубчатого типа заключается в возможности мембранной очистки технологических жидкостей с коллоидными включениями. В то же время влияние механических и тепловых нагрузок (при механической затяжке фланцев корпуса, действии трансмембранного давления, при нагреве технологической жидкости в процессе работы под действием постоянного электрического тока), на циркуляцию раствора влияет прочность конструкции корпуса оборудования и, в частности, фланцевых соединений, которыми оборудование соединяется с трубами. Все эти факторы могут привести к сколам и разрушению фланцевых соединений ранее предложенных конструкций приборов [1, 2], где фланец крепится болтами, так как в качестве материала корпуса и фланцев используется капролон (ПА6). Кроме того, прибор может отображать эффект концентрационной поляризации. Влияние вышеперечисленных факторов нельзя исключить путем локализации деформационных изменений в узлах крепления фланцевых соединений.

В предложенной конструкции в результате внедрения усовершенствований снижается вероятность концентрационной поляризации, исключается появление чешуек фланцевых соединений в местах их присоединения к трубопроводам, требуется герметизация соединений трубопроводов, аппаратной арматуры, экономия средств компании на приобретение стандартных элементов (фланцы, болты, гайки, шайбы).

При анализе конструкции усовершенствованного устройства учитываются объем отделяемого раствора, протекающего через трубчатое устройство по ретентатному тракту, общая площадь и площадь катодной и анодной мембран. Процесс обработки растворов химической, машиностроительной и агропромышленности с помощью электрохимического мембранного аппарата представленного на рисунке 1, осуществляется по классической схеме организации потока отдельного раствора [3].

Электрохимическое мембранное устройство трубчатого типа работает следующим образом. Обрабатываемый раствор под давлением подается в аппарат через ввод исходного раствора и поступает в разделительную камеру, состоящую из трех цилиндрических сеток-турбулизаторов, разного диаметра из

диэлектрического материала. Затем к выводам устройства прикладывают постоянное внешнее электрическое поле и подают электрический ток к устройству через металлические стержни. Геометрически пористые монополярные электроды представляют собой трубки такой же длины, как и фторопластовые трубки.

Под действием электрического тока анионы и катионы поступают через поры прианодных и прикатодных мембран, затем через фторопластовые трубки и монополярные пористые электроды вместе с газами поступают в пространство между пористыми монополярными электродами и металлическими стержнями.

Кроме того, анионы, катионы и газы (в виде растворенных в жидкости кислот, оснований и газов) попадают в пространство, где расположены металлический штифт и металлическая сетка, и удаляются из аппарата через выходной штуцер прианодного пермеата и штуцер вывода прикатодного пермеата. Часть раствора с анионами и катионами, не проникшего через мембраны, в виде ретентата удаляют из разделительной камеры через выходной штуцер вывода ретентата. Таким образом, разделяемый раствор циркулирует по разделительной камере с размещенными в ней цилиндрическими сетками турбулизаторов различного диаметра и последовательно очищается от анионов и катионов.

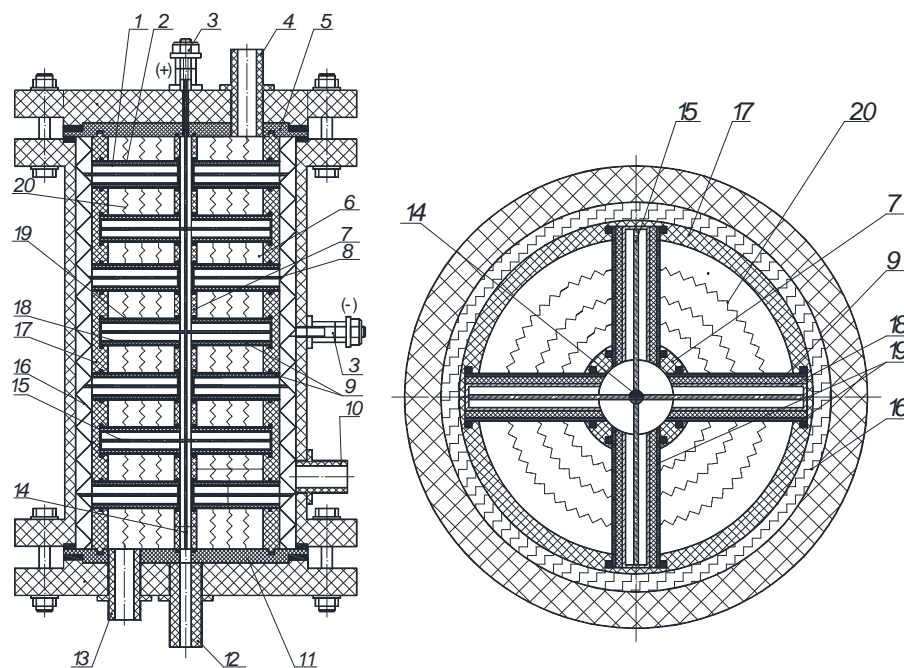


Рис. 1. Электрохимический мембранный аппарат трубчатого типа

Представленный аппарат состоит из следующих элементов: катода 1 и анода 18; прикатодной мембраны 2 и прианодной мембраны 19; клемм устройства 3; штуцера вывода ретентата 4; прижимных решеток 5, 11; камеры разделения 6; центральной трубки 7; металлических стержней 8, 15; фторопластовых трубок 9; штуцера вывода прикатодного пермеата 10 и прианодного- 12; штуцера вывода исходного раствора 13; металлической шпильки 14; металлической сетки 16; цилиндрической обечайки 17; цилиндрических сеток-турбулизаторов 20.

В результате проведенного анализа конструкций мембранных аппаратов было определено, что наиболее перспективными в плане производительности и обеспечения наибольшей площади фильтрации для производства являются устройства трубчатого типа. Расчет элементов подобных аппаратов требует определенной щепетильности и скрупулезности из-за действия распирающего рабочего давления внутри камеры разделения при циркуляции раствора, что представляет наибольший интерес. Стоит отметить, что при должном подходе при проектировании данных аппаратов есть возможность их модернизации для повышения производительности.

Список литературы

1. Патент №2625116 РФ. Электробаромембранный аппарат трубчатого типа / Лазарев С.И., Ковалев С.В., Стрельников А.Е., Попов Р.В., Ковалева О.А., Лазарев Д.С., Вязовов С.А. – Заявка №2016108587 от 09.03.2016; опубл. 11.07.2017, Бюл. № 20.
2. Лазарев С.И., Ковалев С.В., Хохлов П.А., Рыжкин В.Ю. Разработка конструкции электрохимического аппарата трубчатого типа для разделения растворов химических и машиностроительных производств и методика расчета площади мембран в этом аппарате // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2020. – № 1. – С. 29-31.
3. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. – М.: Химия, 1978. – 352 с.

Сведения об авторах:

Седоплатов Иван Сергеевич – аспирант;

Ковалева Ольга Александровна – д.т.н., профессор кафедры ММиИТ;

Луа Пепе – аспирант;

Ковалев Сергей Владимирович – д.т.н., профессор кафедры ММиИТ.

ПОДБОР РЕЖИМА РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ДЛЯ ТВЁРДОФАЗНОЙ ЭКСТРАКЦИИ ДЕЛИГНИФИЦИРОВАННОЙ БИОМАССЫ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Чащилов Д.В.¹, Чащилова А.Д.²

¹*Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, Бийск;*

²*Муниципальное бюджетное образовательное учреждение «Средняя общеобразовательная школа №3», Бийск*

Ключевые слова: растительное сырьё; плодовые оболочки овса, щелочная делигнификация, кислотная делигнификация, ферментативный гидролиз, техническая целлюлоза, армирующий наполнитель, твёрдофазная экстракция, безразмерный расход.

Аннотация. При использовании растительного сырья, например, плодовых оболочек овса, для получения технической целлюлозы, применяют различные виды делигнификации – щелочную, кислотную или используют ферментативный гидролиз. Техническая целлюлоза может быть использована как армирующий наполнитель полимерных композиционных материалов. Проблемой является переменное гидравлическое сопротивление полупродуктов при вытеснении отработанных реагентов твёрдофазной экстракцией. При подборе режимов работы центробежного насоса, используемого для подачи экстрагента, предлагается использовать графическую зависимость КПД от безразмерного расхода. Рекомендуются выбирать наибольший потребный расход экстрагента в диапазоне от 0,6 до 0,7 безразмерного расхода насоса. Предложенный подход обеспечивает преимущественную работу насоса при различных режимах частичной нагрузки в области максимального КПД.

SELECTION OF THE OPERATING MODE OF THE CENTRIFUGAL PUMP FOR SOLID-PHASE EXTRACTION OF DELIGNIFIED BIOMASS WHEN EXTRACTION NATURAL FIBERS FOR REINFORCEMENT OF POLYMER COMPOSITS

Chashchilov D.V.¹, Chashchilova A.D.²

¹*Institute of Problems of Chemical and Energy Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Biysk;*

²*Municipal budgetary educational institution "General secondary school No. 3", Biysk*

Keywords: vegetable raw materials; oats hull, alkaline delignification, acid delignification, enzymatic hydrolysis, technical cellulose, reinforcing filler, solid-phase extraction.

Abstract. When using vegetable raw materials, for example, fruit shells of oats, to obtain technical cellulose, various types of delignification are used – alkaline, acidic or enzymatic hydrolysis is used. Technical cellulose can be used as a reinforcing filler of polymer composite materials. The problem is the variable hydraulic resistance of intermediates during the displacement of spent reagents by solid-phase extraction. When selecting the operating modes of the centrifugal pump used to supply the extractant, it is proposed to use a graphical dependence of the efficiency on the dimensionless flow rate. It is recommended to choose the highest required extractant flow rate in the range from 0.6 to 0.7 of the dimensionless pump flow rate. The proposed approach provides preferential operation of the pump under various partial load conditions in the area of maximum efficiency.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) являются одним из наиболее перспективных видов материалов, как конструкционного, так и функционального назначения. При этом, с учетом аспектов развития циркулярной экономики и принципов «зелёной» химии, акцент предпочтительно делать на использовании возобновляемого сырья. Для ПКМ это – волокна растительного происхождения, используемые в качестве армирующего наполнителя [1]. Основой этих волокон является целлюлоза, биополимер с уникальной структурой.

Такие волокна могут быть выделены из лигноцеллюлозного сырья различных морфологических частей растений – стеблей, листьев и т.п. Часто применяют лубяные волокна, получаемые из стеблей льна, конопли, крапивы. Также определённый интерес представляет и волокнистая техническая целлюлоза. Она может быть получена при использовании такого перспективного сырья, как плодовые оболочки овса (ПОО) [2]. Эти отходы переработки зерна овса посевного *Avena sativa L.* образуются при лущении в производстве овсяной крупы или овсяных хлопьев. В России количество ПОО составляет не менее 400 тыс. т/год.

В ПОО содержится до 45% целлюлозы. Она может быть выделена путём предварительной обработки растительного сырья, например, щелочной или кислотной делигнификации, а также – ферментативного гидролиза. В зависимости от назначения, глубина такой обработки может быть различной. Для применения технической целлюлозы в качестве армирующего наполнителя ПКМ целесообразна комбинированная двухступенчатая обработка – варка в растворах, сначала в азотнокислом, а затем – в щелочном, или наоборот [3].

При варках необходима как промежуточная, так и окончательная промывка полупродукта. Щелочь очень трудно отмывается от твёрдой волокнистой целлюлозной фракции. Промывку (твёрдофазную экстракцию) обычно проводят водой (свежим экстрагентом), в несколько ступеней, как с редиспергированием осадка, так и с неподвижным слоем осадка. При этом одной из проблем может являться изменение структуры осадка – по мере обработки увеличивается гидрофильность материала, возрастает доля мелких волокнистых частиц, забивающих поры и пустоты в толще осадка. В итоге, возрастает гидравлическое сопротивление слоя осадка.

Для преодоления высокого и всё возрастающего от ступени к ступени экстракции гидравлического сопротивления осадка при удалении отработанного экстрагента используют избыточное давление. Для высокой производительности может быть целесообразно использование насоса, подающего свежий экстрагент на слой осадка. Наиболее распространены центробежные насосы. Проблемой является зависимость подачи (расхода) такого насоса от давления (гидравлического сопротивления) [4]. Подбор насоса по одной рабочей точке напорно-расходной характеристики (давление-расход) в области максимального КПД затруднён. Необходим учёт нескольких рабочих точек, для разных величин давлений (и расходов), с различным КПД. Работа насоса с низким КПД ведёт к высоким бесполезным затратам энергии.

Для решения подобной проблемы может быть применён оригинальный подход. Наряду с традиционной универсальной напорно-расходной характеристикой центробежного насоса, предлагается использовать графическую зависимость КПД от безразмерного расхода. Сущность предложенного подхода состоит в том, что для насоса относительный (безразмерный) расход Q_{rel} определяют, как отношение расхода в рабочей точке по напорно-расходной характеристике Q_i , л/ч, к максимальному расходу насоса по той же напорно-расходной характеристике Q_{max} , л/ч. Пример такой зависимости для насоса Grundfos NB 32-125/142 (Grundfos, Bjerringbro, Дания) [5] приведен на рисунке 1.

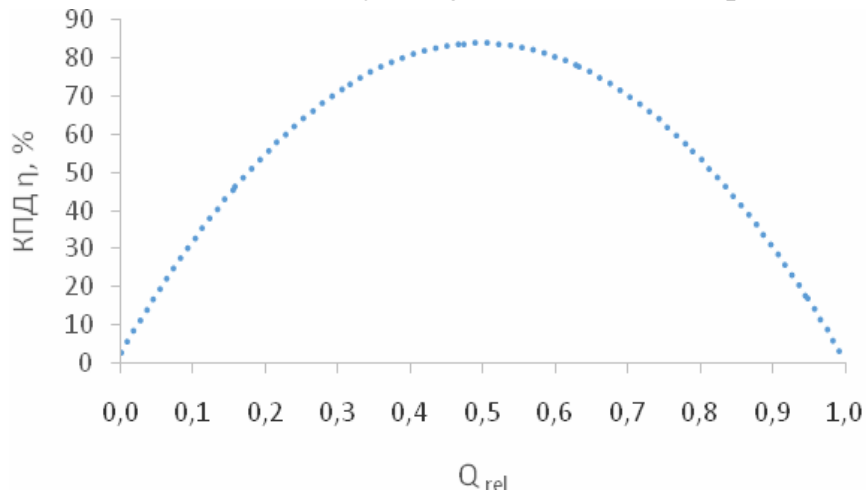


Рис. 1. Зависимость КПД от безразмерного расхода для насоса Grundfos NB 32-125/142

При использовании традиционного подхода рекомендуется выбирать точку режима работы на универсальной напорно-расходной характеристике насоса в узкой области вблизи максимального КПД. За абсциссу рабочей точки берётся наибольший потребный расход $Q_{раб}$. При этом при расходах насоса меньших максимального, например, при $0,8Q_{раб}$, $0,6Q_{раб}$, $0,4Q_{раб}$ и т.д., КПД будет сильно отличаться от максимального.

По вновь предлагаемому подходу подбор происходит по зависимости безразмерного КПД от безразмерного расхода. Из рис. явно видно, что область максимальных КПД находится в диапазоне от 0,35 до 0,65 от максимального расхода Q_{rel} [6]. Поэтому рабочую точку с наибольшим потребным расходом предлагается выбирать в районе от 0,6 до 0,7 Q_{rel} . При этом, когда потребный расход составляет ту или иную долю от наибольшего потребного расхода, фактический безразмерный расход всё равно будет находиться вблизи максимума безразмерного КПД. Например, выберем рабочую точку $Q_{раб}=0,65Q_{rel}$. Тогда точки при других значениях расхода составят $0,8Q_{раб}=0,52Q_{rel}$, $0,6Q_{раб}=0,39Q_{rel}$, $0,4Q_{раб}=0,26Q_{rel}$. Таким образом, рабочие точки при $Q_{раб}$, $0,8Q_{раб}$, $0,6Q_{раб}$ находятся вблизи области экстремума КПД (внутри диапазона Q_{rel} от 0,35 до 0,65) и только рабочая точка при $0,4Q_{раб}$ выходит за его пределы. Дополнительное преимущество такого подхода состоит в наглядном представлении области энергетически эффективной работы насоса.

В заключение отметим, что предложен оригинальный подход к выбору режимов работы центробежного насоса в условиях работы с переменной нагрузкой по расходу. Подобный подход может быть использован, например, при

проведении операций твёрдофазной экстракции полупродуктов делигнифицированной биомассы, при выделении растительных волокон для армирования ПКМ.

Работа выполнена в рамках госзадания на тему «Фундаментальные основы создания интегрированной технологии переработки легковозобновляемого непищевого растительного сырья в востребованные экономикой РФ продукты», № госрегистрации 121061500030-3, при использовании оборудования Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).

Список литературы

1. Bourmaud A., Shah D.U., Beaugrand J., Dhakal H.N. Property changes in plant fibres during the processing of bio-based composites // *Industrial Crops and Products*. 2020, vol. 154, p. 112705. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112705.
2. Yadav M.P., Hicks K.B., Johnston D.B., Hotchkiss A.T., Chau H.K., Hanah K. Production of bio-based fiber gums from the waste streams resulting from the commercial processing of corn bran and oat hulls // *Food Hydrocolloids*. 2016, vol. 53. pp. 125-133. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.017.
3. Kashcheyeva E.I., Gismatullina Y.A., Budaeva V.V. Pretreatments of Non-Woody Cellulosic Feedstocks for Bacterial Cellulose Synthesis // *Polymers*. 2019, vol. 11 (10), p.1645, doi.org/10.3390/polym11101645.
4. Hongying Deng, Zhaoshun Xia, Zenan Sun, Shuihua Zheng, Yi Liu, Multistage hybrid model for performance prediction of centrifugal pump, *Advances in Engineering Software*. 2022, vol. 174, p.103302. doi.org/10.1016/j.advengsoft.2022.103302.
5. Каталог Grundfos. Насосы NB, NBE, NK, NKE. Консольные и моноблочные насосы по EN 733. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.grundfos.com/content/dam/local/ru-ru/page-assets/support/documents/catalogs/databooklet-nb-nk-91830040-0819.pdf>
6. Чашилова А.Д., Чашилов Д.В. Зависимость КПД от безразмерного расхода как оценка энергетической эффективности центробежного насоса // *Южно-Сибирский научный вестник*. – 2022. – №6. – С. 256-263. – DOI: 10.25699/SSSB.2022.46.6.0436.

Сведения об авторах:

Чашилов Дмитрий Викторович – к.т.н., ведущий инженер лаборатории материаловедения минерального сырья;

Чашилова Алина Дмитриевна – ученица.

О НЕКОТОРЫХ ИТОГАХ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ В ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ В НАЧАЛЕ 3-ГО ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ

Солодовников А.Ю.

Тюменское отделение «СургутНИПИнефть», Тюмень

Ключевые слова: строительный сектор, инвестиции, доля, предприятия, Тюменская область.

Аннотация. В статье рассматриваются итоги развития строительной отрасли в Тюменской области за период с 2001 по 2021 гг. Было отмечено, что отрасль входит в число отраслей, формирующих валовой региональный продукт. Перечислены основные факторы, способствовавшие развитию строительного бизнеса. Установлено, что по основным показателям развития строительный сектор области занимает ведущие позиции среди субъектов Российской Федерации.

SOME RESULTS OF CONSTRUCTION'S INDUSTRY DEVELOPMENT IN TYUMENT REGION AT THE BEGINNING OF 3RD MILLENIUM

Solodovnikov A.Yu.

«SurgutNIPIneft» Tyumen department, Tyumen

Keywords: construction sector, investments, habitat, facilities, Tyumen region.

Abstract. In this article the development of construction industry in Tyumen region during 2001-2021 is observed. It was notified that this industry is an GNP forming industry. MAin developing factors are also observed. Basing all the data it can be said that construction industry of Tyumen region takes the leading positions among other subjects of Russian Federation.

Как известно, строительная отрасль является одним из локомотивов социально-экономического развития регионов, занимает ведущие позиции в формировании валового продукта и в ней занята весомая доля экономически активного населения. Строительство эта та отрасль, куда направляются значительные объёмы инвестиций. Тюменская область относится именно к таким регионам России. И так продолжается из года в года на протяжении практически всего начального этапа XXI в. Доля строительного сектора в валовом региональном продукте за 2001-2020 гг. в среднем составила около 9%, инвестиций – почти 7%. По основным показателям развития строительства Тюменская область входит в первую двадцатку субъектов Российской Федерации, в отдельные годы – в первую десятку. Причём по такому показателю как ввод жилых домов из расчёта на 1 тыс. чел. Тюменская область занимает лидирующее положение в стране (табл. 1).

В отрасли действуют чуть более 6 тыс. предприятий различных форм собственности [2]. Они функционируют во всех городах и почти во всех центрах районных муниципальных образований. Силы строительных предприятий и организаций в основном направлены на возведение жилых помещений. Их доля в общей возводимой площади в среднем превышает 80%, остальное приходится на здания нежилого назначения. В отдельные годы этот показатель существенно колебался. Всего в 2001–2020 гг. в области было построено почти 79,5 тыс.

зданий различного назначения площадью 35,5 млн м². Из них 81,7% пришлось на жилые помещения (табл. 2).

Табл. 1. Место Тюменской области в строительном комплексе России по важнейшим показателям

Год	Объём выполненных работ, млрд руб.	Число занятых	Ввод жилых домов		Инвестиции в основной капитал	
			тыс. м ²	на 1000 человек населения	млрд руб.	на душу населения, руб.
2001	19	24	20-21	10	14	17
2002	19	23-24	22	9	17	18
2003	22	23	20-21	3	14	17
2004	12	23	26	3	18	19
2005	10	23	23	8-9	19	18
2006	11	27	26	6-7	19	21
2007	11	29	23	6	19	21
2008	10	29	19	4	13	22
2009	14	29	18	3	9	20
2010	15	24-25	13	3	16	22
2011	16	24	13	2	17	20
2012	16	21	14	1	17	18
2013	12	18	13	1	14	9
2014	9	19-20	13	2	13	8
2015	15	18	12	1	18	10
2016	12	13	13	4	17	10
2017	10	14	14	3	13	9
2018	8	11	16	4	11	10
2019	11	15	14	5	15	12
2020	13	19	12	6	17	11
2021	21	18	14	5	25	24

Источник: составлено по [1].

Больше всего жилья возводится в областном центре, г.Тобольск и Тюменском районе. В муниципальных районах строится очень мало. В некоторых из них строительство ограничивается только районным центром. Причина высокой активности строительства в областном центре и Тюменском районе связана с высоким спросом населения на предмет его переселения как с северных регионов области, из сельской местности, а также других регионов страны и ближнего зарубежья. Жилищному строительству в Тобольске благоприятствует инвестиционная активность по развитию нефтехимического кластера ПАО «СИБУР».

Табл. 2. Основные показатели деятельности строительного сектора Тюменской области в 2001-2020 гг.

Год	Количество зданий, ед.	Общая площадь возводимых зданий, тыс. м ²	Из них, %		Ввод в действие жилых домов на 1 000 жителей, м ² общей площади
			жилые	нежилые	
2001	1397	663,4	76,6	24,4	339,2
2002	1745	644,8	82,4	17,6	357,1
2003	1536	696,0	80,2	19,8	364,5
2004	1640	666,2	90,9	9,1	394,8
2005	1792	773,6	83,9	16,1	425,2
2006	2463	874,8	87,3	12,7	536,3
2007	2734	1270,1	85,3	14,7	716,5
2008	3666	1445,8	86,4	13,6	832,8
2009	3812	1404,3	84,6	15,4	785,2
2010	3822	1523,9	83,7	16,3	830,7
2011	4507	2004,4	71,2	28,8	903,9
2012	3013	1916,3	80,8	19,2	979,7
2013	5713	2532,3	70,4	29,6	1047,2
2014	6445	2933,5	82,7	17,3	1250,3
2015	7751	3347,6	90,3	9,7	1478,2
2016	5644	2684,1	83,7	16,3	1150,9
2017	6681	2373,2	79,0	21,0	954,0
2018	4505	2192,6	83,3	16,7	893,7
2019	4489	2879,7	75,0	25,0	1056,6
2020	6138	2632,2	76,4	23,6	1026,5
2021	7179	11225,4	77,7	22,3	1102,2

Источники: [2, 3].

Таким образом, следует отметить, что строительный сектор в Тюменской области относится к числу важнейших отраслей экономики. В своём развитии опирается преимущественно на местные сырьевые ресурсы, что позволяет отрасли быть конкурентоспособной как по объёмам вводимых объектов жилого и нежилого назначения, так и по стоимости производимого квадратного метра.

Список литературы

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gks.ru>.
2. Статистический ежегодник: Стат. сб. Тюменская область (кроме Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и Ямало-Ненецкого автономного округа) в 2-х частях. Ч. II (2017-2020) / Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. – Тюмень, 2021. – 322 с.
3. Статистический ежегодник: Стат. сб. Тюменская область (кроме Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и Ямало-Ненецкого автономного округа) в 2-х частях. Ч I (II) (1990-2016) / Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской

области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. – Тюмень, 2020. – 322 с.

Сведения об авторе:

Солодовников Александр Юрьевич – д.г.н., доцент, начальник научно-исследовательского отдела Экологии.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ УСТАНОВОК ВЕРТИКАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЕГО РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Лукиенко Л.В., Чернышев А.И.

Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, Тула

Ключевые слова: вертикальный конвейерный транспорт, привод конвейера, хранение зерна.

Аннотация. В работе рассмотрены особенности работы установок вертикального транспорта на примере вертикальных конвейеров для транспортировки зерна к устройствам его хранения. Показан переменный характер загруженности подобных установок, обусловленный неравномерной подачей зерна в транспортирующие ковши. Предложены рекомендации по обеспечению энергосберегающего режима работы установки для вертикального транспорта зерна за счёт применения частотно-регулируемого привода.

ANALYSIS OF THE DESIGNS OF VERTICAL TRANSPORT INSTALLATIONS TO JUSTIFY ITS OPERATING MODES

Lukienko L.V., Chernyshev A.I.

Tula State Pedagogical University named after L.N. Tolstoy, Tula

Keywords: vertical conveyor transport, conveyor drive, grain storage.

Abstract. The paper considers the features of the operation of vertical transport installations on the example of vertical conveyors for transporting grain to its storage devices. The variable nature of the workload of such installations is shown, due to the uneven supply of grain to the conveying buckets. Recommendations are proposed to ensure an energy-saving mode of operation of the installation for vertical grain transport through the use of a frequency-controlled drive.

В современных условиях перед промышленностью стоит задача обеспечения надёжной, безаварийной непрерывной работы. Это особенно актуально для производств, в которых необходимым является применение транспортных операций. Наиболее сложным и энергозатратным является перемещение промежуточных продуктов технологического процесса в вертикальном направлении. Применение канатного подъёма (лифты, клетки) ограничивает возможности вертикального транспорта цикличностью, недостаточной надёжностью, а также влиянием веса каната на допустимую высоту подъёма.

В связи с тем, что промышленное использование вертикального конвейерного транспорта возможно в самых разнообразных отраслях промышленности рассмотрим, для определённости, использование вертикального транспорта в сельском хозяйстве на этапе хранения зерна. Такой выбор обусловлен тем, что среди общих затрат на получение урожая затраты на хранение составляют 30,9% [1].

Анализ конструкций устройств вертикального транспорта, представленный в работах показывает, что [2-6] основное внимание уделено вопросам снижения просыпания транспортируемого груза. В [7] автор обоснованно отмечает весьма высокую вероятность работы вертикальной транспортной установки по транспортировке зерна с недогрузкой и недостаточной энергоэффективностью.

Для решения этой важной народно-хозяйственной задачи автор предлагает применение ступенчато регулируемых асинхронных двигателей с возможностью переключения трёхфазных потребителей со схемы «треугольник» на схему «звезда». При этом мощность трёхфазных приводных асинхронных электродвигателей снижается, и потери энергии становятся менее значительными. К основным недостаткам подобного способа регулирования частоты вращения приводного асинхронного двигателя можно отнести сложность: прежде всего, необходимо правильно определить время переключения, так как при слишком раннем замыкании электрических контактов возможно возникновение короткого замыкания.

От этого недостатка способа регулирования частоты вращения электродвигателя свободен частотно регулируемый электропривод. К его основным достоинствам можно отнести: плавность и широкий диапазон регулирования частоты вращения электродвигателя; плавный разгон без повышенных пусковых токов при пуске двигателя; использование обратной связи системы с частотным преобразователем обеспечивает качественное поддержание частоты вращения двигателя при переменных рабочих нагрузках. Применение подобного регулирования привода создаёт возможность отказа от дополнительных управляющих систем, и, таким образом, снижения неизбежных потерь в системе управления приводом.

В настоящее время распространение получили два способа управления частотно-регулируемым преобразователем: метод векторного управления и способ управления по заранее заданной характеристике зависимости частоты вращения электродвигателя от частоты электрического тока. Первый способ более предпочтителен, так как может быть использован для регулирования частоты вращения элементов привода ответственного промышленного оборудования, к которому, без сомнения, можно отнести установки вертикального транспорта. В пользу подобной рекомендации говорит то, что частотно-регулируемый привод с широтно-импульсным модулированием, представляющий собой инвертор с двойным преобразованием напряжения, находит широкое применение в механизмах подачи очистных комбайнов, работа которых проходит в условиях значительных динамических нагрузок.

В работе проведён анализ конструкций привода вертикальных транспортных установок. Показано, что наиболее перспективным направлением совершенствования привода установок является применение частотно-регулируемого привода.

Список литературы

1. Бычкова Г.Н., Поверинова Е.М., Боровинских В.А. Экономическая эффективность применения инновационных технологий хранения зерна // XIX Международная конференция «Культура, личность, общество в современном мире: методология, опыт эмпирического исследования»: сборник материалов конференции. – Екатеринбург: УрФУ, 2016. – С. 2431-2440.
2. Киселев Б.Р., Колобов М.Ю. Ленточный конвейер. Расчет и проектирование основных узлов: учеб. пособие. – Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2019. – 179 с.
3. Куликов В.Н., Миловидов М.Е. Оборудование предприятий элеваторной и зерноперерабатывающей промышленности. – М.: ВО «Агропромиздат», 1991. – 383 с.

4. Патент №2737177 РФ. Ковшовый элеватор (нория) для сыпучих материалов / В.М. Ковшарь, А.Н. Буйновский. – Заявка №2020109449 от 03.03.2020; опубл. 25.11.2020, Бюл. №33.
5. Патент №2397130 РФ. Нория / В.П. Балашов, А.В. Балашов, М.Г. Негримовский. – Заявка №2009113343/11 от 09.04.2009; опубл. 20.08.2010, Бюл. №23.
6. Кускильдин Р.Б., Кольга А.Д. Использование установок непрерывного транспорта в качестве шахтного подъема // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2013. – Т. 3, №2. – С. 196-203.
7. Строгина Ю.Б. Совершенствование электропривода вертикальных установок конвейерного транспорта: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 2004. – 20 с.

Сведения об авторах:

Лукиенко Леонид Викторович – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой;

Чернышев Алексей Игоревич – магистрант.

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТРАНСМИССИЯ ПОЛНОПРИВОДНЫХ МАШИН С ТАНДЕМНЫМ МОСТОМ

Сокол П.А.¹, Божко А.В.²

¹Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, Воронеж;

²Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж

Ключевые слова: балансир, электрическая, циркуляция, привод, реакция.

Аннотация. В статье рассмотрена перспективная конструкция привода ведущих колес тандемного моста лесотранспортных машин, способствующая увеличению тяговых показателей и показателя эффективности применения. Предлагаемая конструкция позволит минимизировать негативное воздействие циркулирующей мощности, возникающей в замкнутом контуре «колесный движитель – опорная поверхность» и снижающей тяговые показатели, а также дополнительно нагружающей узлы и агрегаты трансмиссии.

PERSPECTIVE TRANSMISSION OF FOUR-WHEEL VEHICLES WITH A TANDEM BRIDGE

Sokol P.A.¹, Bojko A.V.²

¹Military Education and Scientific Centre of the Air Force named after N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh;

²Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh

Keywords: balance beam, electric, circulation, drive, reaction.

Abstract. The article discusses a perspective design of the drive of the drive wheels of the tandem bridge of forestry vehicles, which contributes to an increase in traction performance and an indicator of the efficiency of use. The proposed design will minimize the negative impact of circulating power in a closed loop « wheel mover – bearing surface» and reducing tracting performans, as well additionally loading transmission components and assemblies.

В настоящее время колесные полноприводные машины, в конструкции которых применен балансирный привод ведущих колес, нашли широкое применение при заготовке и перевозке древесины, причем, у некоторых заимствована балансирная тележка самоходной машины ДЗ-122, без доработок и переделок (рис. 1). Наличие заблокированного балансирного колесного движителя (ББКД), или тандемного моста, применение которого обусловлено специфическими условиями работы в лесу, расширяет возможности применения, но, в тоже время, они не лишены недостатков [1].

Так, в точке контакта ведущих колес с опорной поверхностью (ОП) возникают значительные и неодинаковые по величине, одновременно действующие внешние силы и реакции ОП, вызывающие кинематическое рассогласование ведущих колес, и, приводящих к появлению циркулирующей мощности в замкнутом контуре ББКД-ОП, что снижает тяговые показатели лесотранспортной машины (ЛТМ) [2].

Одним из способов увеличения тяговых характеристик ЛТМ, возможно применение ББКД, позволяющего обеспечить перераспределение внешних сил и реакций между ведущими колесами и минимизировать потери тяговой мощности (рис. 2) [3].

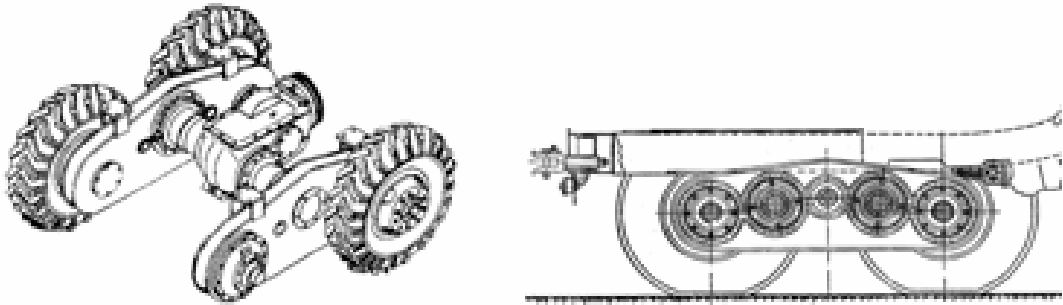


Рис. 1. Задняя тележка лесотранспортной машины ЛТ-189 и ДЗ-122

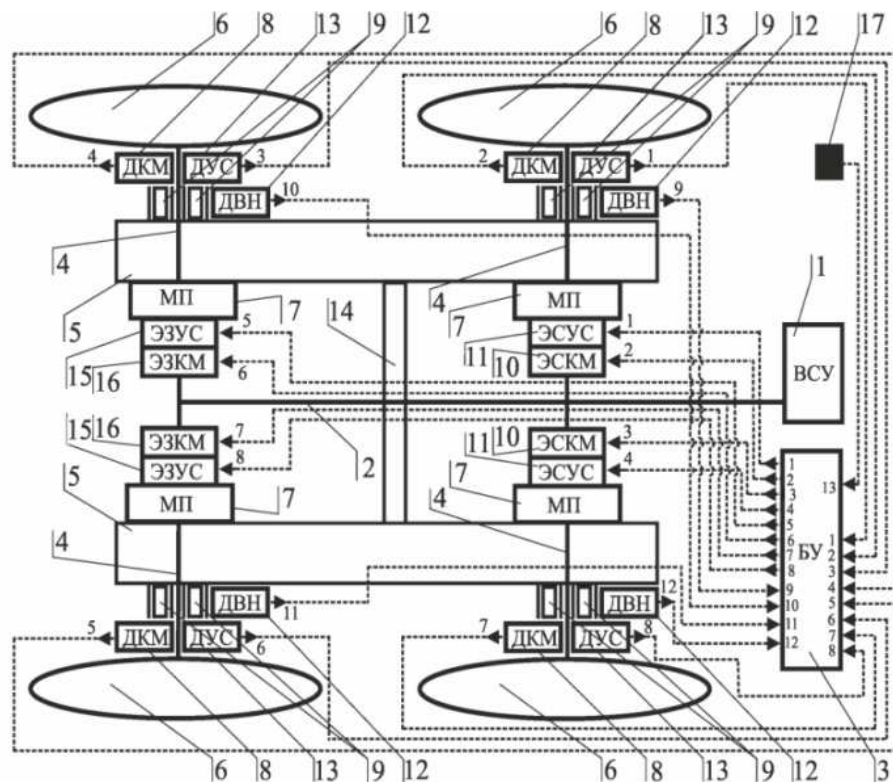


Рис. 2. Схема балансирной тележки с приводом на каждое колесо: 1 – вторичная силовая установка; 2 – силовая магистраль; 3 – блок управления; 4 – приводные валы колес; 5 – балансиры; 6 – колеса; 7 – приводные механизмы колес; 8 – датчики крутящего момента; 9 – подшипники приводных валов; 10 – элементы согласования по крутящему моменту; 11 – элементы согласования по угловой скорости; 12 – датчики вертикальных нагрузок; 13 – датчики угловой скорости; 14 – продольная балка балансира; 15 – элементы задающие угловую скорость; 16 – элементы задающие крутящий момент; 17 – датчик положения педали акселератора

В результате предлагаемой произойдет повышение тяговых показателей колесного движителя, за счет компенсации перераспределения горизонтальных и вертикальных реакций ОП, совместно действующих на ведущие колеса, приводя к повороту балансиров вокруг точки подвеса, в сторону, противоположную подводимому крутящему моменту, вызывая появление циркуляции мощности, снижающей тяговые показатели ЛТМ.

Большинство конструкций ЛТМ с ББКД не обладают необходимыми тяговыми показателями для эффективного выполнения технологических операций из-за несовершенства кинематических параметров традиционных конструкций балансиров, вследствие чего увеличивается процесс буксования и сопротивления качению ведущих колес, трансмиссия и ходовая часть машины подвергаются перегрузкам при транспортировке древесины и преодолении препятствий. Для увеличения тяговых показателей ЛТМ целесообразно в конструкции трансмиссии применить балансирную тележку с приводом на каждое колесо. Данная проблема является актуальной и требует дальнейшего изучения.

Список литературы

1. Ульянов Н.А. Колесные движители строительных и дорожных машин. Теория и расчет. – М.: Машиностроение, 1982. – 279 с.
2. Сокол П.А., Попиков П.И., Бартенев И.М. Силовые взаимодействия колесного движителя лесотранспортных машин с опорной поверхностью // Современные ресурсосберегающие технологии и технические средства лесного комплекса: сб. науч. статей по материалам Всероссийской науч.-техн. конф. – Воронеж: ВГЛУ, 2018. – С. 269-273.
3. Патент № 2716395 РФ. Балансирная тележка с приводом на каждое колесо / В.В. Гудков, П.А.Сокол, Р.В. Могутнов, А.А. Колтаков. – №2019126537, заявл. 21.08.2019; опубл. 11.03.2020, Бюл. №8.

Сведения об авторах:

Сокол Павел Александрович – к.т.н., старший преподаватель кафедры автомобильной подготовки;

Божко Александр Валерьевич – аспирант.

УДК 631.31

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОРУДИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ НА ВЫРУБКАХ

*Попов И.В., Дручинин Д.Ю., Попиков В.П., Говоруха А.Ю., Петков А.Ф.
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф.
Морозова, Воронеж*

Ключевые слова: посадочные места, сеянцы сосны, закрытая корневая система, почвообрабатывающее орудие, нераскорчеванная вырубка.

Аннотация. Представлена конструкция и оптимальные параметры нового почвообрабатывающего орудия для подготовки посадочных мест для сеянцев сосны с закрытой корневой системой, выявленные при полевых испытаниях на нераскорчеванных вырубках. Частота вращения ротора составила $0,2 \dots 0,4 \text{ с}^{-1}$ угол схождения дисков $\beta = -24^\circ$, угол атаки дисков $\alpha = 20^\circ$, количество проходов ротора в течение цикла около 5. Потребляемая мощность 8 кВт.

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF TOOLS FOR PREPARING SEATS IN CLEARINGS

*Popov I.V., Druchinin D.Yu., Popikov V.P., Govoruha A.Yu., Petkov A.F.
Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, Voronezh*

Keywords: seats, pine seedlings, closed root system, tillage tool, not uprooted felling

Abstract. The design and optimal parameters of a new tillage tool for preparing seats for pine seedlings with a closed root system, which were identified during field trials on unuprooted clearings, are presented. The rotor speed was $0.2 \dots 0.4 \text{ s}^{-1}$, the convergence angle of the disks $\beta = -24^\circ$, the angle of attack of the disks $\alpha = 20^\circ$, the number of rotor passes during the cycle is about 5. The power consumption is 8 kW.

Для повышения эффективности лесовосстановления на нераскорчеванных вырубках нами разработан и изготовлен экспериментальный образец орудия активного действия (рис. 1) для механизированной подготовки дискретных посадочных мест для посадки сеянцев и саженцев лесных пород с закрытой корневой системой [1].

Почвообрабатывающее орудие навешивается на заднюю навеску трактора или на рукоять манипулятора. Привод опорного вала 1 осуществляется от вала отбора мощности трактора через конический редуктор или от гидромотора манипулятора. На опорном валу 1 жестко закреплена обойма 2, а к ней через поводки 3 подсоединены дисковые корпуса 4. Винтовой бур 5 также соединен напрямую к опорному валу. Испытания орудия в агрегате с колесным трактором ЛТЗ-60А проводились в Левобережном лесничестве учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ для двухлетних сеянцев сосны с закрытой корневой системой при влажности почвы 19...21% и плотности 0,6 МПа. Установлено, что для подготовки микропонижений (рис. 2,а) на участках с дренированными почвами оптимальные параметры рабочих органов орудия следующие: частота вращения ротора составила $0,2 \dots 0,4 \text{ с}^{-1}$ угол схождения дисков $\beta = -24^\circ$, угол атаки дисков $\alpha = 20^\circ$, количество проходов ротора в течение цикла около 5. Потребляемая мощность 8 кВт [2].

На участках с временным увлажнением почвы готовятся микроповышения, при этом частота вращения ротора должна составлять $0,5 \text{ с}^{-1}$ угол схождения дисков $\beta = 25^\circ$, угол атаки дисков $\alpha = 20^\circ$ (рис. 2,б) [3].



Рис. 1. Экспериментальный образец универсального почвообрабатывающего орудия: 1-опорный вал, 2- обойма, 3-поводок, 4-дисковые корпуса, 5-винтовой бур



а



б

Рис. 2. Подготовка почвообрабатывающим орудием микропонижений (а) и микроповышений (в) под посадку семян и саженцев лесных культур с закрытой корневой системой

Диаметры посадочных ям составили 15...20 см, глубина обработки в диапазоне 25...35 см. Средняя производительность составляет 120 лунок/час.

Универсальное почвообрабатывающее орудие производит не только подготовку посадочных лунок, но и дополнительную обработку почвы вокруг лунок. Создаваемое вокруг сеянца минерализованное пятно предотвращает его забивание травянистой растительностью и второстепенными листовыми породами. Такая технология лесовосстановления способствует улучшению приживаемости сеянцев и саженцев лесных культур с закрытой корневой системой, а также снижению затрат на агротехнические и лесоводственные уходы по рыхлению почвы и уничтожению нежелательной растительности.

Список литературы

1. Патент №2508619 РФ. Универсальное почвообрабатывающее орудие / И.М. Бартенев, П.И. Титов, И.В. Попов. – Заявка № 2012148511/13 от 14.11.2012; опубл. 10.03.2014.
2. Бартенев И.М., Попов И.В. Влияние геометрических параметров универсального почвообрабатывающего орудия на его эффективность // Лесотехнический журнал. – 2014. – №2 (14). – С. 197-203.
3. Попов И.В. Влияние кинематических параметров и условий эксплуатации универсального почвообрабатывающего устройства на его эффективность // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – 2014. – №07(101). – С. 334-347. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/17.pdf>.

Сведения об авторах:

Попов Игорь Владимирович – к.т.н., главный специалист отдела;
Дручинин Денис Юрьевич – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой;
Попиков Виктор Петрович – к.т.н., доцент;
Говоруха Анатолий Юрьевич – магистрант, инженер;
Петков Александр Федорович – инженер.

УДК 631.31

РОТАЦИОННАЯ МАШИНА С КОМБИНИРОВАННЫМИ ИНЕРЦИОННО-РУБЯЩИМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ДЛЯ УХОДА ЗА ЛЕСНЫМИ КУЛЬТУРАМИ

Бородин Н.А., Пономарев С.В., Мalyukov С.В., Попиков В.П., Мalyukova М.А., Гончаров Д.А.

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж*

Ключевые слова: рыхление почвы, вырубki, уничтожение нежелательной растительности, агротехнический уход.

Аннотация. В статье рассмотрена конструкция ротационной машины с инерционно-рубящими рабочими органами, предназначенная для уничтожения древесно-кустарниковой растительности с одновременным рыхлением поверхностного слоя почвы. Уничтожение нежелательной растительности с одновременной обработкой почвы позволит упростить процесс посадки леса на вырубках и гарях, а также уменьшить материальные затраты.

ROTARY MACHINE WITH COMBINED INERTIA-CUTTING WORKING BODIES FOR CARE OF FOREST CROPS

Borodin N.A., Ponomarev S.V., Malyukov S.V., Popikov V.P., Malyukova M.A., Goncharov D.A.

Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozova, Voronezh

Keywords: soil loosening, clearings, destruction of unwanted vegetation, agrotechnical care.

Abstract. The article considers the design of a rotary machine with inertial chopping working bodies, designed to destroy tree and shrub vegetation with simultaneous loosening of the surface soil layer. The destruction of unwanted vegetation with simultaneous tillage will simplify the process of planting forests in cleared areas and burnt areas, as well as reduce material costs.

Условия работы почвообрабатывающих машин и орудий в лесном хозяйстве отличаются большим разнообразием, которое обуславливается зоной расположения лесохозяйственного предприятия, характером его деятельности. При выполнении лесовосстановительных работ условия эксплуатации почвообрабатывающих машин и орудий определяются характеристикой лесокультурного фонда, отводимого под посадку лесных культур. Он может включать в себя различные виды не покрытых лесом площадей, подлежащих искусственному лесовосстановлению, так и участки нелесной территории, отведенные под лесоразведение. В отдельных случаях лесокультурный фонд частично может быть представлен и участками покрытой лесом площади (лесосеки очередной рубки) [1-3].

Основными рабочими органами современных конструкций машин и орудий для поверхностной обработки почвы являются лапы, имеющие форму трехгранного клина и совершающие в основном поступательное прямолинейное движение. Но, как показывает практика, на некоторых почвах, особенно на торфяно-болотных и лесных, такие рабочие органы не обеспечивают требуемого

качества обработки почвы. При этом торфяно-болотные и лесные почвы не создают достаточной величины противоречащего усилия, благодаря чему корни кустарников не подрезаются, а только пригибаются, что ведет к усиленному забиванию рабочих органов.

В последнее время для устранения этого недостатка разрабатываются и применяются ротационные рабочие органы активного действия [2, 3].

Процесс рыхления почвы с одновременным удалением нежелательной растительности в рядах лесных культур является эффективным и перспективным направлением при обработке почвы на нераскорчеванных вырубках [1]. На рисунке 1 представлена схема разработанной машины для агротехнических уходов.

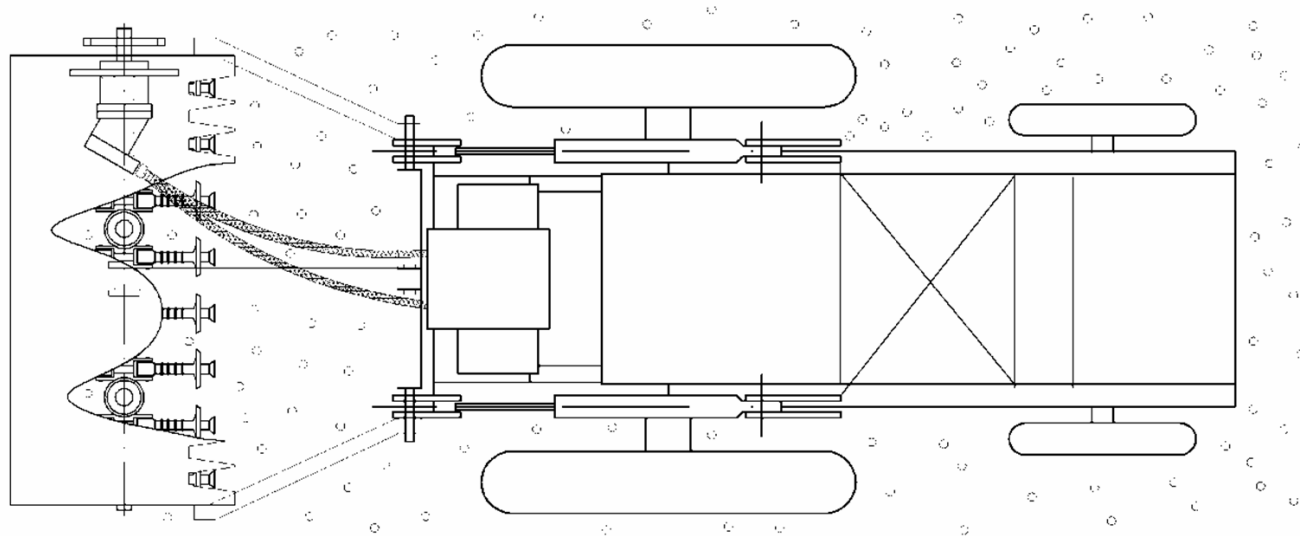


Рис. 1. Схема взаимодействия разработанной машины с почвогрунтом и растениями

Рабочий орган машины для ухода за лесными культурами, включает ряд комбинированных ножей 4, установленных на горизонтальном валу 1 посредством упругих гибких связей 3, каждая из которых состоит из гибкого элемента, зачехленного втулками 5, плотно прижатыми друг к другу через концевую упорную шайбу 7 пружиной 6, установленной в направляющем стакане 8, шарнирно закрепленном посредством полуосей 9 в проушинах кронштейнов, жестко связанных с приводным валом (рис. 2). Каждый нож выполнен комбинированным. Одна его часть представляет собой грибовидную форму, другая располагается над ним в виде тарельчатой формы. Также на втулках имеются круговые режущие кромки.

Установить оптимальные режимы резания второстепенной растительности и фрезерования почвы, а также определить необходимые параметры гидропривода и рабочих органов помогает математическая модель разработанной машины для агротехнического ухода [2]. Проведенные расчеты с помощью программы Borland Delphi 7 показали, что минимальное давление рабочей жидкости в гидроприводе машины для агротехнических уходов по результатам оптимизации наблюдается при диаметре режущей кромки 106 мм, угле заточки ножа равном 35° , длине рабочего органа равной 0,5 м.

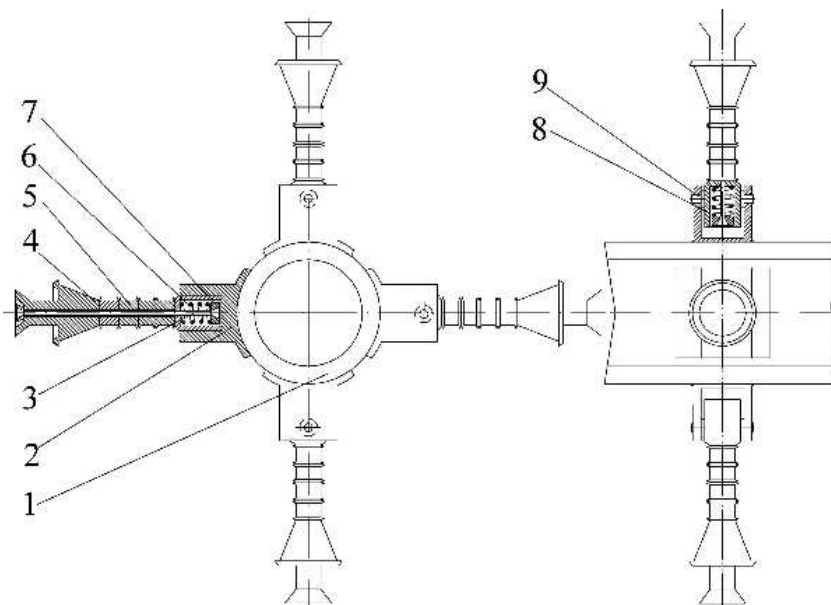


Рис. 2. Рабочий орган разработанной машины: 1 – горизонтальный вал; 2 – кронштейн; 3 – гибкая связь; 4 – комбинированный нож; 5 – втулка; 6 – пружина; 7 – упорная концевая шайба; 8 – стакан; 9 – полуось

Машина обеспечивает за один проход совмещение двух операций: уничтожение нежелательной растительности и рыхление почвы на глубину 5-7 см. При срезании поросли диаметром 0,4 см рабочим органом толщиной 0,5 см, с углом заточки 35°, при изменении высоты среза от 0,4 до 1,5 см, напряжения изгиба возрастают в 1,5 раза достигая значения 5 МПа, а скорость, сообщаемая стволу поросли рабочим органом достигает значения 4,0 м/с

Список литературы

1. Гончаров П.Э., Пономарёв С.В. Обоснование рабочих процессов гидропривода ротационной машины для уничтожения поросли на вырубках // Труды лесоинженерного факультета ПётрГУ – Петрозаводск, 2005. – Вып. 5. – С. 34-37.
2. Гончаров П.Э., Попиков П.И., Бухтояров Л.Д., Пономарев С.В. Математическая модель рабочего процесса машины бойкового типа для уничтожения поросли // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления. – Воронеж: ВГЛТА, 2005. – Вып. 10. – С. 47-54.
3. Малюков С.В., Панявина Е.А., Аксенов А.А. Анализ конструкций мульчеров и ротоваторов // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9, № 1 (33). – С. 159-167.

Сведения о авторах:

Бородин Николай Александрович – к.т.н., доцент;
Пономарев Сергей Васильевич – к.т.н., старший преподаватель;
Малюков Сергей Владимирович – к.т.н., доцент;
Попиков Виктор Петрович – к.т.н., доцент;
Малюкова Маргарита Александровна – к.т.н., доцент;
Гончаров Дмитрий Александрович – магистрант, инженер.

УДК 631.31

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОМБИНИРОВАННОЙ РОТАЦИОННОЙ МАШИНЫ ДЛЯ УХОДОВ ЗА ЛЕСНЫМИ КУЛЬТУРАМИ НА НЕРАСКОРЧЕВАННЫХ ВЫРУБКАХ

*Бородин Н.А., Пономарев С.В., Малюков С.В., Попиков В.П., Гончаров Д.А.
Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж*

Ключевые слова: проведение эксперимента, вырубки, уничтожение нежелательной растительности, гибкие рабочие органы.

Аннотация. В статье представлены результаты проведения полевых испытаний комбинированной ротационной машины с инерционно-рубящими рабочими органами на нераскорчеванных вырубках. Разработанная машина показала высокое качество и степень удаления древесно-кустарниковой растительности. Описана конструкция машины и принцип ее действия. Сделан вывод о том, что наибольший эффект при уничтожении поросли и рыхлении почвы на вырубке показали рабочие органы с тарельчатыми и грибовидными ножами.

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF A COMBINED ROTARY MACHINE FOR CARE OF FOREST CROPS IN NON-UPRODENE FELLINGS

*Borodin N.A., Ponomarev S.V., Malyukov S.V., Popikov V.P., Goncharov D.A.
Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozova, Voronezh*

Keywords: conducting an experiment, cutting down, destruction of unwanted vegetation, flexible working bodies.

Abstract. The article presents the results of field tests of a combined rotary machine with inertial chopping working bodies on non-uprooted clearings. The developed machine showed the high quality and degree of removal of trees and shrubs. The design of the machine and the principle of its operation are described. It is concluded that the greatest effect in the destruction of overgrowth and loosening of the soil in the clearing was shown by working bodies with dish-shaped and mushroom-shaped knives.

Возобновление леса на сплошных концентрированных вырубках с наибольшей экономической эффективностью можно обеспечить только при проведении комплексной механизации работ с применением рациональных способов лесовосстановительных мероприятий. При этом созданию каждой новой почвообрабатывающей машины должна предшествовать разработка агротехники и технологии обработки почвы применительно к конкретным условиям. Под агротехникой понимается совокупность (система) мероприятий, направленных на возобновление и выращивание высокопродуктивных насаждений, а под технологией – система способов, направленных на выполнение агротехнических требований [1, 2].

На вырубках с дренированными почвами и количеством пней до 600-800 на 1 га основным препятствием для обработки почвы являются порубочные остатки и валеж. После уборки порубочных остатков и валежа можно осуществить

обработку почвы в соответствии с требованиями агротехники, размещая посевные и посадочные места между пнями.

Задача обработки почвы под лесные культуры и в целях содействия естественному возобновлению заключается в создании наилучших условий для прорастания семян и роста сеянцев хозяйственно-ценных пород. При выборе способа подготовки почвы необходимо учитывать тип лесорастительных условий.

Машины с активными рабочими органами получают широкое распространение при обработке почвы благодаря тому, что они имеют следующие достоинства:

- возможность изменения скоростей резания в более широких пределах по сравнению с машинами, рабочие органы которых имеют только поступательное движение;

- возможность обработки грунта с разной шириной и толщиной стружки, что позволяет изменять степень измельчения грунта, а, следовательно, и затраты энергии на 1 м^3 обработанного грунта;

- требуют небольших тяговых усилий в работе, что позволяет обходиться без тракторов большой мощности даже при значительной глубине обработки.

Машины с активными рабочими органами дают хорошее крошение задернелых и тяжелых почв, при необходимой глубине обработки последних, причем и глубина, и степень крошения легко меняются путем изменения соотношения вращательной и поступательной скоростей рабочих органов [3].

Предлагаемая нами конструкция машины для ухода за лесными культурами на нераскорчеванных вырубках включает в себя раму, которая состоит из несущей 1 и опорной 2 балки, гидромотор 3, ротор 4 с гибкими рабочими органами 5, защитный кожух 6 с прикрепленной к нему приемно-пригибающей пластиной 7, опорные колеса 8 и механизм навески 9. Трубопроводы 10 подсоединены к гидросистеме трактора 11 (рис. 1) [1].

Данная конструкция машины для ухода за лесными культурами защищена патентом на полезную модель № 47611. Эффективность работы разработанной машины повышается за счет приемно-пригибающей пластины при удалении растительности диаметром 2...3 см. В момент срезания поросль оказывается зажата между ударяющим ее рабочим органом и опорным ножом.

Полевые испытания работы экспериментальной ротационной машины велись при постоянной скорости движения трактора, которая была равна 3,2 км/ч, а также при постоянной частоте вращения ротора 20 с^{-1} для четырех типов рабочих органов. Результаты полевых испытаний выявили, что степень срезания рабочим органом с чашечным ножом, составляет для вырубki двух и трех годичной давности, соответственно, 93,3% и 86,25%. Степень срезания рабочим органом тарельчатым ножом составила, соответственно, 90,25% и 84,25%, грибовидным ножом – 96,92% и 92,5%, а комбинированным ножом – 98,7% и 95,0%.



Рис. 1. Экспериментальный образец машины с гибкими рабочими органами, навешенный на трактор

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что наибольший эффект при удалении растительности на вырубке двухгодичной давности наблюдался от применения грибовидных и комбинированных рабочих органов, которые были оснащены режущими втулками. В обоих случаях на раме устанавливалось приемно-пригибающее устройство.

Список литературы

1. Гончаров П.Э., Пономарёв С.В. Обоснование рабочих процессов гидропривода ротационной машины для уничтожения поросли на вырубках // Труды лесоинженерного факультета ПётрГУ – Петрозаводск, 2005. – Вып. 5. – С. 34–37.
2. Гончаров П.Э., Попиков П.И., Бухтояров Л.Д., Пономарев С.В. Математическая модель рабочего процесса машины бойкового типа для уничтожения поросли // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления / ВГЛТА. – Воронеж, 2005. – Вып. 10. – С. 47–54.
3. Малюков С.В., Панявина Е.А., Аксенов А.А. Анализ конструкций мульчеров и ротоваторов // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9. – № 1 (33). – С. 159-167.

Сведения о авторах:

Бородин Николай Александрович – к.т.н., доцент;
Пономарев Сергей Васильевич – к.т.н., старший преподаватель;
Малюков Сергей Владимирович – к.т.н., доцент;
Попиков Виктор Петрович – к.т.н., доцент;
Гончаров Дмитрий Александрович – магистрант, инженер.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КОРМОВ ПУТЕМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ СИЛЫ КОМБИНИРОВАННОГО МОЛОТКОВОГО НОЖА

Жижкина Н.А., Белоусов В.И.

Луганский государственный аграрный университет, Луганск

Ключевые слова: геометрические параметры, нож, рабочий орган, универсальный измельчитель, угол скольжения, критическое усилие.

Аннотация. В работе установлено, что процесс измельчения кормов зависит от физико-механических свойств корма и требований к его качеству. Показано, что измельчение комбинированным молотковым ножом обеспечит значительное снижение разрушающего контактного напряжения в кормовом сырье, что связано с углами заточки круглого и плоского ножей. Установлено, что переход от процесса сжатия к резанию является главным условием измельчения однородных упруговязких материалов и определяется величиной критической силы.

OPTIMIZATION OF THE GRINDING PROCESS BY DEVELOPING THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE HAMMER KNIFE

Zhizhkina N.A., Belousov V.I.

Luhansk State Agrarian University, Lugansk

Keywords: geometrical parameters, knife, working body, universal grinder, sliding angle, critical force.

Abstract. The paper found that the efficiency of feed grinding depends on the physical and mechanical properties and requirements for the quality of the resulting feed mixture. It is shown that grinding with a combined hammer knife will provide a significant reduction in the destructive contact stress in the feed raw material, which is associated with the sharpening angles of round and flat knives. It has been established that the grinding of homogeneous elastic-viscous materials is the main condition for the transition from compression to cutting and is determined by the value of the critical force.

Известно [1], что измельченный в соответствии с зоотехническими требованиями корм более качественно усваивается в организме животных, удобен в дозировке, перемещении и смешивании с другими компонентами в технологических линиях для получения полнорационных кормовых смесей. В связи с этим в настоящее время на животноводческих объектах практически все корма (корнеклубнеплоды, зеленые корма, силосованные корма, плоды бахчевых культур, тыква и т.д.) подвергаются измельчению.

Выбор способа измельчения кормов зависит от физико-механических свойств исходного материала и требований к качеству получаемой кормовой смеси [1-3]. Актуальным направлением подготовки кормов является оптимизация процесса измельчения путем разработки геометрических параметров молоткового ножа. Анализ процесса измельчения показал, что наиболее эффективными измельчителями являются универсальные с установленными по окружности рабочего органа ножами. В Луганском государственном аграрном университете

для экспериментальной лабораторно – производственной установки на базе универсального измельчителя роторного типа ИРТ-Ф-25/40 «Фермер» разработан комбинированный молотковый нож, состоящий из трех ступеней плоского и круглого ножей. Такая конструкция ножа обеспечивает значительное снижение разрушающего контактного напряжения материала, что связано с углами заточки круглого и плоского ножей [3], а, следовательно, его универсальность, что позволяет измельчать сочные корма, зерно, а также грубый корм.

Разделению материала на части под воздействием лезвия предшествует процесс предварительного сжатия им материала до возникновения на его кромке разрушающего контактного напряжения. Момент возникновения последнего определяется значением критической силы, прикладываемой к ножу и преодолевающей ряд возникающих в материале сопротивлений различного происхождения. В большинстве случаев при измельчении однородных упруговязких материалов условием перехода от процесса сжатия к резанию является критическая сила, что обуславливает актуальность и важность его определения.

На основе положений, полученных в работе [4], в работе получены зависимости критической силы, для одной ступени универсального измельчающего органа круглого ($P_{кр(кр)}$) и плоского ($P_{кр(пл)}$) ножей соответственно:

$$P_{кр(кр)} = \delta \cdot \sigma_p \Delta l_{кр} + \frac{E}{2} \cdot \frac{h_{сж}^2}{h} \cdot tg \beta + \frac{\mu \cdot E \cdot h_{сж}^2}{2h} \cdot l_{кр} \cdot \cos \tau + \frac{\mu \cdot E \cdot h_{сж}^2}{2h} \cdot l_{кр} \cdot \cos \tau_{кр} \cdot f + \frac{E \cdot h_{сж}^2}{h} \cdot \cos \varphi \sqrt{\frac{\mu^2 \cdot l_{кр}^2 \cdot \cos^2 \tau + \Delta l_{кр}^2 \cdot tg^2 \beta}{2}} \cdot f + \frac{E \cdot h_{сж}^2}{h} \cdot \cos \varphi \sqrt{\frac{\mu^2 \cdot l_{кр}^2 \cdot \cos^2 \tau + \Delta l_{кр}^2 \cdot tg^2 \beta}{2}} \cdot f \cdot \cos \beta_{кр} + m_k \cdot g, \quad (1)$$

где δ – острота лезвия, м²; h – толщина перерезаемого слоя материала, м; $h_{сж}$ – толщина слоя, сжатого лезвием до момента начала резания, м; E – модуль упругости, кг/см²; μ – коэффициент Пуассона; f – коэффициент трения материала о лезвие; σ_p – разрушающее контактное напряжение на кромке лезвия, кг/см²; $\beta_{кр}$ – угол заточки круглого ножа, $\tau_{кр}$ – угол скольжения круглого ножа, Δl – нагруженная длина лезвия, м, l – длина лезвия, м; φ – угол трения, m_k – масса зеленой массы, кг; g – ускорение свободного падения, м/с².

$$P_{кр(пл)} = \delta \cdot \sigma_p \Delta l_{пл} + \frac{E}{2} \cdot \frac{h_{сж}^2}{h} \cdot tg \beta + \frac{\mu \cdot E \cdot h_{сж}^2}{2h} \cdot l_{пл} \cdot \cos \tau + \frac{\mu \cdot E \cdot h_{сж}^2}{2h} \cdot l_{пл} \cdot \cos \tau_{пл} \cdot f + \frac{E \cdot h_{сж}^2}{h} \cdot \cos \varphi \sqrt{\frac{\mu^2 \cdot l_{пл}^2 \cdot \cos^2 \tau + \Delta l_{пл}^2 \cdot tg^2 \beta}{2}} \cdot f + \frac{E \cdot h_{сж}^2}{h} \cdot \cos \varphi \sqrt{\frac{\mu^2 \cdot l_{пл}^2 \cdot \cos^2 \tau + \Delta l_{пл}^2 \cdot tg^2 \beta}{2}} \cdot f \cdot \cos \beta_{пл} + m_k \cdot g, \quad (2)$$

Таким образом, процесс измельчения кормов зависит от физико-механических свойств исходного материала и требований к его качеству. Значительное снижение разрушающего контактного напряжения в нем обеспечивает использование комбинированного молоткового ножа, что связано с углами заточки круглого и плоского ножей. При этом установлено, что условием перехода от процесса сжатия к резанию является критическая сила. Получены теоретические зависимости для определения критической силы круглого и плоского ножей в процессе измельчения. Такая сила определяется силами резания и обжатия материала, силами трения, сжатия фаской ножей и давления материала на рабочий орган.

Список литературы

1. Жижкина Н.А., Белоусов В.И. Анализ конструкций существующих технических средств для измельчения сочных кормов // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы международной научно-практической конференции – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 201-204 с.
2. Вольвак С.Ф., Бахарев Д.Н., Вертий А.А. Теоретические исследования измельчителя стебельчатых кормов с шарнирно подвешенными комбинированными ножами // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2016. – №3(11). – С. 24-34.
3. Брюховецкий А.Н., Захаров С.А., Чурсин В.Ю. Моделирование и обоснование геометрических параметров круглого ножа универсального измельчающего органа // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры с/х машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (Россия, Воронеж, 25 декабря 2015 г.). – Ч. II. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2015. – С. 62-67.
4. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. – М.: Машиностроение, 1975, 311 с.

Сведения об авторах:

Жижкина Наталья Александровна – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой охраны труда;
Белоусов Владислав Игоревич – ассистент кафедры охраны труда.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ КЛИМАТ-КОНТРОЛЯ В КАМЕРЕ ИНКУБАТОРА

Жижкина Н.А., Редькин А.А.

Луганский государственный аграрный университет, Луганск

Ключевые слова: автоматическое управление, инкубатор, климат-контроль, модернизация.

Аннотация. Работа посвящена модернизации системы климат-контроля в камере инкубатора с помощью персонального компьютера (ПК). В статье предложена специальная компьютерная программа INVA-RS485. Эта компьютерная программа корректирует значения технологических параметров процесса инкубации (температура, влажность, вращение лотка, время, оставшееся до поворота лотка) для блока автоматического управления всеми подключенными инкубаторами. Кроме того, специальная компьютерная программа INVA-RS485 позволяет одновременно редактировать и устанавливать технологические параметры инкубации в соответствии с заданным графиком персонально для каждого инкубатора.

MODERNIZATION OF THE CLIMATE CONTROL SYSTEM IN THE INCUBATOR CHAMBER

Zhizhkina N.A., Redkin A.A.

Lugansk State Agrarian University, Lugansk

Keywords: incubation, climate control, modernization, incubator.

Abstract. The work is devoted to the modernization of the climate control system in the incubator chamber. This made it possible to remotely control the operation of the incubator using a personal computer (PC). The article proposes a special computer program INVA-RS485. This computer program corrects the values of the technological parameters of the incubation process (temperature, humidity, tray rotation, time remaining before the tray rotation) for the automatic control unit of all connected incubators. In addition, a special INVA-RS485 computer program made it possible to simultaneously edit and set the technological parameters of incubation in accordance with a given personal schedule.

Известно [1], что выводимость и здоровье птенцов напрямую зависят от технологических параметров инкубации. Следовательно, необходимо соблюдать режим инкубации и не допускать отклонений.

Обеспечить соблюдение режима инкубации позволяет автоматическое управление ее технологией, которое предусматривает возможность применения компьютерной программы ИНВА-RS485 [2].

Согласно [2] программа ИНВА-RS485 предназначена для управления блоками автоматики серии ИНВА [3] с установленной платой RS485. Она позволяет с помощью персонального компьютера (ПК) отслеживать следующие технологические параметры для всех подключённых инкубаторов:

- значения датчиков температуры (Т1, Т2 и Т3) и влажности;
- состояние концевиков механизма поворота лотков и время, оставшееся до поворота лотков;
- пиктограммы всех аварийных ситуаций в инкубаторе;
- установочные значения для автоматического блока управления.

При этом подключение ПК предусматривает возможность одновременного редактирования и установления технологических параметров инкубации по заданному персональному режиму в каждой из камер работающих инкубаторов, сохранение информации на жестком диске, что обеспечивает синхронизацию их работы и, следовательно, повышение эффективности всего процесса инкубации в целом. Подключение ПК позволяет управлять аварийными ситуациями во всех инкубационных камерах посредством задания алгоритма аварийной ситуации в каждой из них.

Для соединения ПК с инкубаторами используется адаптер USB-RS485. При подключении адаптера к любому USB - порту создаётся виртуальный COM - порт.

При запуске компьютерной программы на экране ПК появляется главное окно (рис. 1).

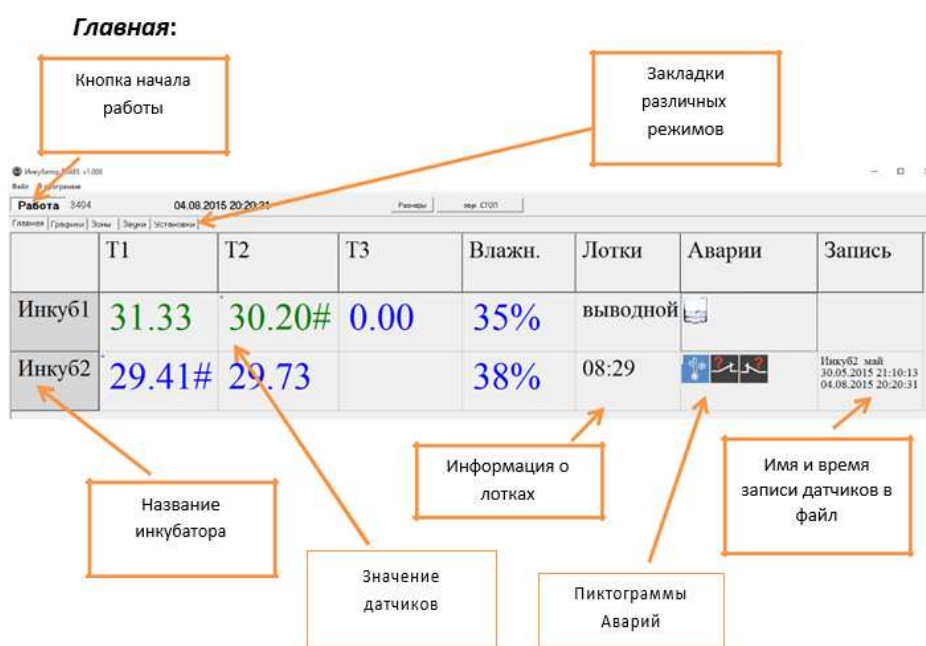


Рис. 1. Главное окно компьютерной программы [2]

Согласно рисунку 1 главное окно содержит информацию о состоянии всех датчиков по всем подключённым к ПК камерам инкубаторов. Компьютерная программа автоматически выполняет постоянный запрос инкубаторов. Информация по запросу и связи с инкубаторами отражается в виде меняющегося счётчика справа от кнопки «Работа». Кроме того, если с каким-либо инкубатором нет связи (например, у него отключено питание или вышел из строя блок управления) то фон названия такого инкубатора (первая колонка) становится жёлтым.

Таким образом, компьютерная программа ИНВА-RS485 позволила с помощью персонального компьютера (ПК) отслеживать технологические параметры (температуру, влажность, поворот лотков, оставшееся до поворота лотков) для всех подключённых инкубаторов и устанавливать их значения для автоматического блока управления инкубаторами.

Кроме этого, ПК позволил одновременно редактировать и устанавливать технологические параметры инкубации по заданному персональному режиму в

каждой из камер работающих инкубаторов, сохранять информацию на жестком диске, что обеспечивает синхронизацию их работы и, следовательно, повысить эффективность всего процесса инкубации в целом. Подключение ПК позволяет управлять аварийными ситуациями во всех инкубационных камерах посредством задания алгоритма аварийной ситуации в каждой из них.

Список литературы

1. Технологический процесс инкубации яиц сельскохозяйственной птицы. / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.activestudy.info>.
2. Программа для компьютера ИНВА-RS485. – Ессентуки: ООО НПП ИННОВА, 2017. – 27 с.
3. Блок управления инкубатором ИНВА-Б11132-с3. – Ессентуки: ООО НПП ИННОВА, 2017. – 18 с.

Сведения об авторах:

Жижкина Наталья Александровна – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Охрана труда»;
Редькин Артем Алексеевич – аспирант.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОПОРНО-ПОВОРОТНЫХ УСТРОЙСТВ ЛЕСНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ

*Попиков П.И., Хоменко К.Г., Попиков В.П., Шаров А.В., Танчук П.В.
Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф.Морозова, Воронеж*

Ключевые слова: гидроманипулятор, лесотранспортная машина, поворотный механизм колонны, опорно-поворотное устройство.

Аннотация. Проведен сравнительный анализ основных типов, существующих и перспективных опорно-поворотных устройств гидроманипуляторов лесных машин и охарактеризованы их достоинства и недостатки. Рассмотрены технические решения по совершенствованию конструкций механизма поворота колонны гидравлического манипулятора. Наиболее эффективным, на наш взгляд является реечный механизм с гидropневматическим устройством для рекуперации энергии.

COMPARATIVE ANALYSIS OF EXISTING AND PROMISING DESIGNS OF SUPPORT AND ROTARY DEVICES OF FOREST MANIPULATORS

*Popikov P.I., Khomenko K.G., Popikov V.P., Sharov A.V., Tanchuk P.V.
Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F.Morozov, Voronezh*

Keywords: hydraulic manipulator, timber transport machine, column turning mechanism, pivot device.

Abstract. A comparative analysis of the main types of existing and prospective slewing devices for hydraulic manipulators of forest machines was carried out and their advantages and disadvantages were characterized. Technical solutions for improving the design of the mechanism for turning the column of a hydraulic manipulator are considered. The most effective, in our opinion, is a rack and pinion mechanism with a hydro-pneumatic device for energy recovery.

В опорно-поворотных устройствах манипуляторов лесосечных машин применение нашли три типа механизмов поворота: рычажный, реечный и моторный [1]. Рычажный механизм опорно-поворотного устройства на первых трелевочных тракторах ТБ-1 был цепным. Такая конструкция имела целый ряд недостатков, связанных с быстрым износом цепи и появлением больших зазоров в соединениях, что, в свою очередь, приводило к возникновению значительных ударных нагрузок в пуско-тормозных режимах. Основными элементами реечного механизма опорно-поворотного устройства являются зубчатое колесо, установленное на валу колонны и гидроцилиндры, штоки которых выполнены в виде зубчатой рейки. Недостатком является то, что гидроцилиндры привода занимают большое пространство. Опорно-поворотное устройство с моторным механизмом поворота разработано с целью исключения основного недостатка реечного механизма – большого габарита. Отличие заключается в замене реечного механизма гидромотором с планетарной передачей.

Общим недостатком существующих конструкций механизмов поворотов колонны манипулятора является высокие динамические нагрузки в пуско-тормозных режимах.

Нами предложено ряд патентов на изобретения по усовершенствованию механизмов поворота колонны лесного манипулятора.

Реечный механизм поворота колонны стрелового манипулятора [1], отличается тем, что в крышках гидроцилиндров выполнены каналы, сообщающиеся с распределителем гидросистемы базовой машины и с полостями дополнительного демпфера со ступенчатым плунжером со сменными дросселями с калиброванными отверстиями. К главному недостатку конструкции данного механизма можно отнести: перегрев рабочей жидкости и потеря ее энергии, вследствие ее перетекания из одной полости в другую через дроссельные отверстия при демпфировании колебаний.

С целью рекуперации энергии и демпфирования колебаний рабочей жидкости предлагается установить в конструкцию поворотного механизма дополнительные пневмоцилиндры, включающие в себя поршни, смонтированные на штоках, выполненных в виде рейки, находящейся в зацеплении с шестерней поворотной колонны [2]. Однако из-за отсутствия в конструкции подкачки пневмоцилиндров сжатым воздухом от тормозной системы базового автомобиля эффективность демпфирования и рекуперации снижается [3].

Повысить эффективность рекуперации и демпфирования колебаний рабочей жидкости в начале движения и при торможении колонны можно с помощью внедрения в конструкцию поворотного механизма, гидроаккумулятора, соединенного в системе через гидролинию и напорные клапаны [4]. Поршневые полости гидроцилиндров при повышении в них давления рабочей жидкости выше предварительной зарядки гидроаккумулятора соединены с ним через обратные клапаны и напорную гидролинию, а при понижении в них давления рабочей жидкости ниже атмосферного соединены через обратные клапаны и сливную гидролинию с гидробаком. Недостатком такого решения является то, что при пусковых режимах часть энергии потока рабочей жидкости от насоса затрачивается на подзарядку гидроаккумулятора, поэтому происходит повышение энергозатрат рабочих процессов механизма поворота колонны манипулятора [5].

Повышение эффективности накапливания и рекуперации энергии и демпфирования колебаний давления рабочей жидкости в пуско-тормозных режимах механизма поворота колонны манипулятора, достигается тем, что в механизме поворота стрелового манипулятора, параллельно рабочим гидроцилиндрам установлены два гидроцилиндра рекуперации с зубчатой рейкой, размещенной внутри этих гидроцилиндров и взаимодействующей с шестерней поворотной колонны, а поршневые полости гидроцилиндров рекуперации соединены с пневмогидравлическим аккумулятором и гидробаком через обратные клапаны и гидролинии, что обеспечивает накапливание энергии в гидроаккумуляторе, которая возвращается в гидросистему при последующих рабочих процессах манипулятора, что позволит понизить энергозатраты,

повысить производительность и надежность лесотранспортной машины в тяжелых условиях лесных объектов.

В результате анализа существующих и перспективных технологий лесозаготовительных работ были определены типы и основные параметры опорно-поворотных устройств гидравлических манипуляторов и требования, предъявляемые к ним.

Список литературы

1. Александров В.А., Шоль Н.Р. Конструирование и расчет машин и оборудования для лесосечных работ и нижних складов: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012. – 256 с.
2. А.с. 1792910 СССР. Механизм поворота колонны стрелового манипулятора / А.П. Нестеров, П.И. Попиков, В.В. Волянко. – Оpubл. 07.02.83, Бюл. №5.
3. Патент №2479481 РФ. Механизм поворота колонны стрелового манипулятора / П.И. Попиков, Д.В. Обоянцев, С.В. Долженко. – Заявка №2011148369/11 от 28.11.11; опубл. 20.04.2013, Бюл. №11.
4. Патент №142683 РФ. Механизм поворота колонны стрелового манипулятора / П.И. Попиков, В.П. Попиков, С.К. Фурсов. – Заявка №2014107338/11 от 25.02.14; опубл. 27.06.2014, Бюл. №18.
5. Патент №2610848 РФ. Механизм поворота колонны стрелового манипулятора / П.И. Попиков, В.Е. Клубничкин, Л.Д. Бухтояров, И.В. Четверикова. – Заявка №2015149646 от 18.11.15; опубл. 16.02.2017, Бюл. №5.

Сведения о авторах:

Попиков Петр Иванович – д.т.н., профессор, профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин;

Хоменко Константин Геннадьевич – аспирант;

Попиков Виктор Петрович – к.т.н., доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения;

Шаров Андрей Викторович – к.т.н., научный сотрудник;

Танчук Павел Владимирович – аспирант.

УДК 625.731

НАПРАВЛЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИРОДЫ НАЛИПАНИЯ ГРУНТА НА ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Сладкова Л.А., Григорьев П.А.

Российский университет транспорта, Москва

Ключевые слова: рабочий орган, липкость, грунт, природа налипания, теоретические и экспериментальные исследования, анализ, рекомендации.

Аннотация. Рассмотрены основные направления теоретических и экспериментальных исследований для выявления физической природы липкости и налипания грунта на поверхности рабочих органов землеройных и сельскохозяйственных машин, на основании которых предложены мероприятия по борьбе с этим явлением, что позволит снизить удельную энергоёмкость рабочих процессов.

DIRECTIONS OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH TO IDENTIFY THE NATURE OF SOIL ADHESION ON THE SURFACE OF THE WORKING BODIES OF EARTH-MOVING AND AGRICULTURAL MACHINES

Sladkova L.A., Grigorev P.A.

Russian University of Transport, Moscow

Keywords: working body, stickiness, soil, nature of adhesion, theoretical and experimental studies, analysis, recommendations.

Abstract. The main directions of theoretical and experimental research to identify the physical nature of stickiness and sticking of soil on the surface of the working bodies of earthmoving and agricultural machines are considered, based on which measures to combat this phenomenon are proposed, which will reduce the specific energy intensity of working processes.

Налипание грунта на поверхностях рабочих органов сельскохозяйственных и землеройных машин, а также ходовое оборудование является проблемой, которая решается многими поколениями ученых всего мира. взаимодействие зависит как от формы рабочего органа и состояния его поверхности, так и от физико-механических свойств грунта (влажность, связность, прочность, сопротивление сдвигу, угол естественного откоса, липкость и др.) [1]. Значимость их влияния на процесс взаимодействия с контактирующими поверхностями исследователями, как правило, рассматривается с позиций их научного интереса и (или) поставленной научной задачи [2]. Число научных исследований по вопросу, связанному с процессом взаимодействия и налипания грунта на поверхности рабочих органов землеройных машин очень незначительно и решаются на рекомендательно интуитивном уровне.

На наш взгляд, в настоящее время недостаточно внимания уделено показателю липкости грунтов. Хотя, очевидно, что рассматриваемые выше свойства грунтов, в частности липкость, находятся в тесной взаимосвязи и

оказывают существенное влияние на процесс копания грунта как с точки зрения возрастания усилий копания, так и с позиции снижения производительности [3].

Для ответа на вопрос о процессе липкости грунта на поверхности рабочих органов необходима оценка адгезионных сил, возникающих в процессе копания. Решаемая нами задача о физической природе липкости была решена при представлении пласта грунта, вырезаемого рабочим органом машины в виде пластины, равномерно распределенной по поверхности рабочего органа. Расчет проводился на основе теории расчета пластин и оболочек. Анализ величин прогиба грунтового пласта позволил определить условия максимальной величины адгезии грунта с поверхностью рабочего органа.

Проведенные численными методами расчеты позволили установить, что для снижения процесса налипания грунта на контактирующие с ним поверхности необходимы дополнительные сжимающие боковые усилия со стороны стенок рабочего органа. Это позволяет оценить рациональность существующих технических решений [4] по борьбе с липкостью грунта на поверхности рабочих органов землеройных машин и разработать новые технические решения, учитывающие результаты проведенных исследований.

Очевидно, что скорость перемещения рабочего органа в грунте, направленная параллельно (по касательной), в зависимости от вида рабочего органа к поверхности грунта, является постоянной величиной и равна скорости резания грунта, развиваемой базовым тягачом. В соответствии с проведенными нами теоретическими и экспериментальными исследованиями, установлено, что горизонтальная составляющая скорости резания грунта в пределах вырезания одной грунтовой стружки за один цикл, является переменной величиной, изменяющейся во времени, что в свою очередь ведет к изменению величины давления, создаваемого на поверхности рабочего органа, создаваемого на рабочем органе в тангенциальном и нормальном направлениях. Поэтому на границах колебания скоростей рабочий орган будет, как бы, зарываться в грунт.

На основании проведенного исследования было выявлено, что для борьбы с липкостью необходимо увеличивать силы когезии, то есть силы сцепления между частицами грунта. Другими словами, для борьбы с силами адгезии необходимо максимально исключать горизонтальную составляющую из процесса резания грунта, т.е. перемещение его вдоль поверхности рабочего органа. Рассмотренные возможные технические решения, сделанные в этом направлении, показали возможность применения рабочего органа землеройной машины с изменяемым углом резания в зависимости от положения вырезанной стружки грунта на поверхности рабочего органа (изменения скорости его перемещения). Изменение сил когезии можно достичь за счет предварительной подготовки грунта перед его разработкой.

С другой стороны, из практики эксплуатации землеройных машин известно, что налипание грунта происходит в крайних точках рабочего органа. Сделав допущение о том, что при вырезании грунта центром рабочего органа, частицы грунта распределяются по нему равномерно со скоростью v , а центр давления грунта расположен в произвольной его точке можно оценить среднестатистическое время вырезания одной стружки, затрачиваемое на

перемещение центра давления грунта к крайним точкам (распределение грунта вдоль режущей кромки) в заданных условиях.

Учитывая вероятностный характер взаимодействия частиц грунта с поверхностью рабочего органа относительно крайних точек 1 и 2 и их взаимного влияния, очевидно, что его можно описать функцией распределения, имеющей плотность распределения $\Phi(x)$:

$$\Phi_{12}(x) = \Phi(x)e^{-tx}; \quad (1)$$

$$\Phi_{21}(x) = \Phi(x)e^{tx}. \quad (2)$$

Решение данной системы, проведенное по методу Винера-Хопфа, позволило сделать следующие выводы. В процессе перемещения грунта по поверхности рабочего органа скорость его к периферии снижается, что является причиной налипания грунта на поверхности рабочего органа. Также это позволило выявить причину формирования призмы волочения перед отвальной поверхностью (скопление грунта у центральной части отвала). Проведенные исследования могут быть реализованы при создании дополнительного устройства ведущего к увеличению скорости перемещения грунта по поверхности рабочего органа в его периферийной части.

Список литературы

1. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ: (Основы теории разрушения грунтов, моделирование процессов, прогнозирование параметров) / Под ред. д-ра техн. наук проф. А.Н. Зеленина. – М.: Машиностроение, 1975. – 422 с.
2. Сладкова Л.А., Григорьев П.А. Разработка липких грунтов рабочими органами землеройных машин – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2022. – 207 с.
3. Григорьев П.А. Влияние липкости грунта на процесс резания грунта рабочими органами ковшового типа // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники: материалы Всероссийской научно-практической конференции – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2022. – С. 186-190.
4. Сладкова Л.А., Григорьев П.А. Анализ способов борьбы с налипанием грунта на поверхность рабочих органов машин по трудам зарубежных и отечественных учёных // Строительные и дорожные машины. – 2021. – № 12. – С. 3-9.

Сведения об авторах:

Сладкова Любовь Александровна – д.т.н., профессор, профессор;
Григорьев Павел Александрович – к.т.н., доцент.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОТОРА ТУРБОКОМПРЕССОРА

Тесля А.В., Жижкина Н.А., Тесля В.В.

Луганский государственный аграрный университет

Ключевые слова: турбокомпрессор, ротор, износ, способ восстановления.

Аннотация. Работа посвящена анализу способов восстановления ротора турбокомпрессора. Показаны условия эксплуатации и факторы, влияющие на долговечность важных узлов турбокомпрессора при его работе. Рассмотрены преимущества и недостатки существующих способов восстановления ротора турбокомпрессора. Сделан вывод о выборе более рационального способа восстановления в условиях ремонтного производства Луганской Народной Республики.

ANALYSIS OF METHODS OF TURBOCOMPRESSOR ROTOR RECOVERY

Teslya A.V., Zhizhkina N.A., Teslya V.V.

State Educational Institution of Higher Education of the LPR "Lugansk State Agrarian University"

Keywords: turbocharger, rotor, wear, recovery method.

Abstract. The work is devoted to the analysis of ways to restore the turbocharger rotor. The operating conditions and factors affecting the durability of important components of the turbocharger during its operation are shown. The advantages and disadvantages of existing methods for restoring the turbocharger rotor are considered. The conclusion is made about the choice of a more rational way of restoration in the conditions of the repair production of the Luhansk People's Republic.

Большинство современных двигателей внутреннего сгорания, оснащены системами наддува воздуха. На двигателях мобильной сельскохозяйственной техники для повышения мощности и экономичности двигателя, и улучшения его экологических характеристик используются турбокомпрессоры. Наименее надёжным из узлов двигателя является турбокомпрессор, который в процессе эксплуатации подвергается износу. Выход из строя данного агрегата влечет за собой нарушение нормальной работы дизельного двигателя и как следствие, простой техники. Отказы турбокомпрессоров происходят в результате износа поверхностей вала ротора, радиального и торцевого подшипников, среднего корпуса, маслоотражателя, уплотнительных колец. Основные причины отказов турбокомпрессора можно разделить на две группы: дефекты, связанные с разрушением, в результате попадания постороннего предмета и дефекты связанные с изнашиванием основных деталей при различных режимах работы [2].

Одним из наиболее слабых звеньев, долговечность которого определяет ресурс турбокомпрессора, является сопряжение вал ротора – подшипник. Анализ работы деталей турбокомпрессора показывает, что пара трения вал ротора – подшипник подвержена абразивному (в моменты недостаточной подачи смазочного материала при пуске, резких остановках и снижения давления в

системе смазки двигателя) и гидроабразивному (при установившемся режиме работы) износу [2].

На данный момент существуют различные технологии ремонта турбокомпрессоров. Однако применение одних предусматривает большую трудоемкость при низких затратах на запасные части, а других – низкую трудоемкость ремонта, при высокой стоимости запасных частей, составляющей до 70% от стоимости нового турбокомпрессора [2]. В связи с этим обеспечение минимальной трудоемкости и удельных затрат при ремонте ТКР, разработкой стратегии выбора ремонтно-восстановительных воздействий является актуальной задачей. Поэтому целью данного анализа является выбор наиболее рационального способа восстановления ротора турбокомпрессора.

Вал ротора в настоящее время ремонтируется следующими методами: шлифовка вала на ремонтный размер, замена изношенного вала приваркой заготовки к колесу турбины сваркой трением встык с последующими механическими обработками, нанесение гальванических покрытий с последующей чистовой обработкой, электроконтактное напекание смеси металлических порошков с последующей чистовой обработкой, электроискровая обработка и газопламенная порошковая наплавка [1-3].

Способ восстановления вала ротора шлифовкой на ремонтный размер наряду с определенными преимуществами – малый расход материала и небольшая трудоемкость имеет следующие недостатки: необходимость изготовления или восстановления сопрягаемых деталей, с ремонтными размерами; снижение ресурса агрегата в результате изменения твердости и конструктивной прочности [3].

Удаление изношенного вала ротора и приварка заготовки ротора сваркой трением встык к колесу турбины с последующей механической обработкой, закалкой ТВЧ, финишной операцией шлифовки и доводки имеет существенное преимущество, которое заключается в том, что вал ротора полностью соответствует всем техническим требованиям, предъявляемым к новым деталям. К недостаткам метода можно отнести: повышенный расход материала, большая трудоемкость и стоимость оборудования.

Преимуществами метода нанесения гальванических покрытий (хромирование или осталивание) с последующей чистовой обработкой являются восстановление номинальных размеров валов и высокая твердость полученного слоя. Вместе с тем этот способ характеризуется рядом недостатков: необходимость выполнения вспомогательных и подготовительных операций и дороговизна применяемого оборудования, в том числе очистительного; при эксплуатации не редки случаи скалывания электролитических покрытий из за нарушения технологических режимов, что приводит к ускоренному износу вала и подшипника; необходимость соблюдения особых требований технической и экологической безопасности.

Достоинством метода электроконтактного напекания смеси металлических порошков с последующей чистовой обработкой и закалкой ТВЧ заключается в высокой производительности процесса, малом расходе порошка, регулируемой толщине покрытия и пористости. Недостатком является то, что способ

экономически эффективен только при объёме восстановления не менее 3000 деталей в год [1].

Сущность метода электроискровой обработки заключается в том, что под действием импульсных электрических разрядов, протекающих в газовой среде, происходит эрозия металлоподобных материалов-электродов, то есть их разрушение, перенос и отложение на поверхности детали-катода частиц металла. Основными достоинствами способа является возможность управлять фазовым составом покрытия, используя в качестве электродных материалов разнообразные металлы, их сплавы, карбиды, нитриды, бориды, силициды, получать заданную твёрдость, в том числе меняющуюся по глубине покрытия, обрабатывать только локальные места без прогрева всей массы детали. К недостаткам метода относятся: невозможность обработки всех деталей входящих в подшипниковый узел, нанесение покрытий большой толщины (более 800 мкм), недостаточное качество нанесенных покрытий.

Для восстановления изношенных поверхностей ротора применяют также способ газопламенной порошковой наплавки. Обработка полученного покрытия осуществляется шлифовкой. Метод имеет ряд преимуществ: возможность применения различных по составу порошковых материалов для получения заданной твердости и износостойкости покрытия, простота аппаратуры, не нуждается в высокой квалификации оператора, восстановленная деталь имеет ровную поверхность, что позволяет предусматривать небольшой припуск на механическую обработку покрытия. К недостаткам метода относится относительно высокая стоимость порошковых материалов.

Вал турбокомпрессора является одним из наиболее дорогостоящих деталей, поэтому рациональным решением задачи обеспечения его долговечности является выбор материала напыляемого покрытия при выполнении ремонта изношенных валов ротора, способом газопламенной наплавки покрытий с использованием порошков обеспечивающих высокую долговечность сопряжения вал ротора – подшипник и надёжную работу турбокомпрессора.

Список литературы

1. Барышников С.А. Восстановление изношенных валов сельскохозяйственной техники электроконтактным напеканием смеси металлических порошков с последующим упрочнением (на примере вала ротора турбокомпрессора): Автореф. дисс. ... канд. технич. наук – Челябинск, 1998. – 17 с.
2. Белоглазов Н.С. Исследование технического состояния турбокомпрессоров дизельных двигателей, поступающих в капитальный ремонт // Совершенствование ремонта сельскохозяйственной техники: сб. науч. тр. – Челябинск: ЧИМЭСХ, 1982. – С.51-52.
3. Ковалевский А.А., Иовенас Л.А. Опыт применения газотермических покрытий для восстановления деталей и защиты металлов от коррозии. – Рига: ЛатНИИИТМ, 1986. – 46 с.

Сведения об авторах:

Жижкина Наталья Александровна – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой охраны труда;
Тесля Алексей Владимирович – ассистент кафедры охраны труда;
Тесля Владимир Владимирович – аспирант.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИЙ РЕЗАНИЯ ПРИ ПОРЦИОНИРОВАНИИ РЫБЫ

Агеев О.В., Самойлова Н.В.

Калининградский государственный технический университет, Калининград

Ключевые слова: порционирование, рыба, тунец, лезвие, угол заточки, сила.

Аннотация. Выполнен экспериментальный анализ влияния угла заточки пластинчатого ножа на силу вредного сопротивления при порционировании рыбы. Установлено эмпирическое значение оптимального угла заточки ножа, которое хорошо соответствует теоретическому. Получена эмпирическая зависимость усилия резания от угла заточки ножа. Экспериментальные испытания процесса резания рыбы подтвердили адекватность математических моделей реальному процессу порционирования.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF CUTTING FORCES DURING FISH PORTIONING

Ageev O.V., Samojlova N.V.

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad

Keywords: portioning, fish, tuna, knife, resistance, force.

Abstract. An experimental analysis of the influence of the plate knife sharpening angle to the harmful resistance force during fish portioning is obtained. The empirical value of the optimal knife sharpening angle has been established, which is in good agreement with the theoretical one. An empirical dependence of the cutting force to the knife sharpening angle is obtained. Experimental tests by fish cutting process the adequacy of mathematical models to the real process of portioning are confirmed.

Повышение производительности рыбоперерабатывающих линий, снижение материалоемкости и улучшение универсальности порционирующих машин обуславливают необходимость развития и совершенствования методик расчетов режущих рабочих органов и их широкого применения при проектировании оборудования [1]. Для научно обоснованного выбора конструктивных параметров ножей требуются экспериментальные значения усилий резания, возникающих при порционировании размороженного сырья.

Целью экспериментального исследования являлось определение эмпирических зависимостей усилий резания от основных параметров процесса порционирования рыбы. Для достижения поставленных целей необходимо было решить следующие задачи: 1) установить количественные зависимости сил полезного сопротивления от скорости резания и остроты режущего органа; 2) установить зависимости сил вредного сопротивления от скорости движения ножа; 3) исследовать влияние толщины ножа на величину силы вредного сопротивления; 4) определить влияние на величину силы вредного сопротивления температуры и реологических характеристик мышечной ткани рыбы; 5) выяснить зависимость суммарной силы вредного сопротивления от угла заточки ножа, а также установить оптимальное значение угла заточки при резании рыбы.

Экспериментальные работы выполнены на автоматизированном комплексе TMS Pro, который является программируемой системой с компьютерным управлением для выполнения испытаний в лабораторных условиях. Результаты измерений автоматически обрабатывались встроенным программным обеспечением

Объектом исследования являлась мышечная ткань желтоперого тунца. При выполнении экспериментальных исследований замороженные до температуры -20°C куски тунца извлекались из морозильной камеры, распаковывались, после чего при помощи дисковой пилы и фиксаторов разрезались на испытательные образцы в виде брусков. Далее мышечная ткань рыбы размораживалась при температуре окружающей среды 20°C и влажности 55% до заданной температуры, значения которой составляли 1°C ; 2°C ; 4°C ; 6°C ; 8°C ; 10°C ; 12°C . При достижении требуемой температуры выбранный образец фиксировался в кассете, после чего кассета закреплялась на испытательной платформе при помощи двух быстросъемных винтовых зажимов.

Использовали набор режущих органов, включающий 15 пластинчатых ножей с различной геометрией. Пластинчатые ножи изготавливались по ГОСТ ISO 8442-5-2013 из стали 08X18H10 с односторонней заточкой. Для определения количественных зависимостей суммарной силы вредного сопротивления от угла заточки проводили обработку шестью различными пластинчатыми однокромочными ножами с размерами 80×40 мм, толщиной 3 мм, углами односторонней заточки 12° ; 15° ; 18° ; 20° ; 22° ; 25° и высотой фаски 14,11; 11,19; 9,23; 8,24; 7,42; 6,43 мм соответственно.

На нижеприведенном рисунке сопоставлены расчетные [2] и экспериментальные зависимости суммарной силы вредного сопротивления S^{γ} от угла заточки α пластинчатого однокромочного ножа. Опытные данные на приведенном графике обобщены следующей эмпирической зависимостью с коэффициентом детерминации $R^2=0,9909$:

$$S^{\gamma} = 0,0036 \cdot \alpha^2 - 0,1409 \cdot \alpha + 3,7376.$$

Сравнение результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных показало, что результаты математического моделирования процесса резания рыбы [3] количественно совпадают с реальными зависимостями суммарной силы вредного сопротивления от угла заточки. Измерения показывают, что при угле заточки 20° имеется явно выраженный минимум суммарной силы вредного сопротивления.

Отмечено, что расчетная и экспериментальная величина оптимального угла находится в диапазоне $18-22^{\circ}$ и зависит от реологических характеристик мышечной ткани рыбы. Выбор угла заточки, близкого к оптимальному значению, приводит к снижению суммарной силы вредного сопротивления на 30-40%, что содействует повышению долговечности рабочих органов технологических машин и сохранению качества готовой продукции.

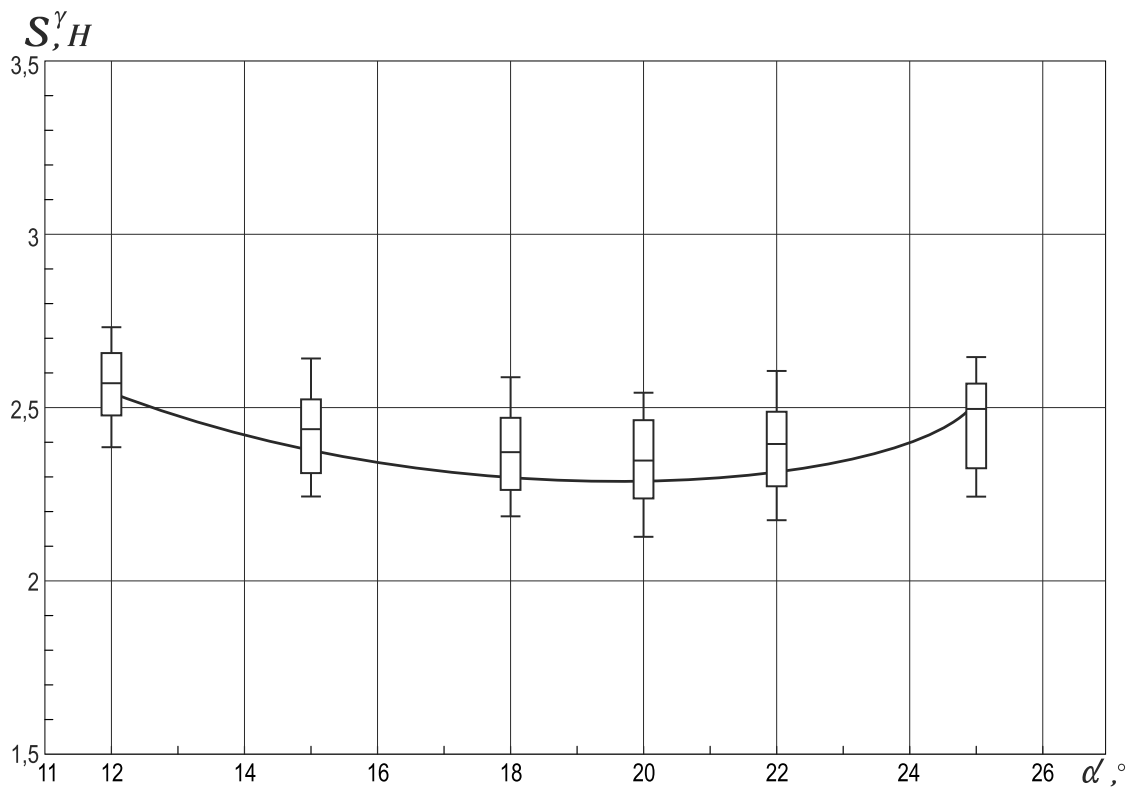


Рис. 1. Зависимость суммарной силы вредного сопротивления однокромочного ножа от угла заточки

Проведенные экспериментальные исследования процесса порционирования рыбы подтвердили адекватность математических моделей [1-3] реальному процессу обработки сырья. Установлено, что влияние скорости ножа на силы сопротивлений хорошо описывается логарифмическими регрессиями, а влияние геометрических параметров лезвия на усилия резания удовлетворительно описывается квадратичными регрессиями.

Список литературы

1. Агеев О.В., Наумов В.А., Фатыхов Ю.А., Самойлова Н.В. Математическое моделирование силы сопротивления формы двухкромочного ножа без боковых граней при резании рыбы // Известия КГТУ. – 2019. – № 53. – С. 75-88.
2. Агеев О.В., Наумов В.А., Фатыхов Ю.А. Математическое моделирование силы сопротивления формы ножа с прямым обухом // Трение и износ. – 2019. – Т. 40, № 6. – С. 766-775.
3. Агеев О.В., Фатыхов Ю.А., Иванова Е.Е. Оптимизация формы профиля ножа для ресурсосберегающей первичной обработки рыбы // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2020. – № 1 (373). – С. 77-80.

Сведения об авторах:

Агеев Олег Вячеславович – д.т.н., доцент, профессор кафедры инжиниринга технологического оборудования;

Самойлова Наталья Владимировна – инженер-исследователь.

Научное периодическое издание

Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация:

**Материалы международной
научно-практической конференции**

№6

Верстка и корректура: ИП Жукова Е.В.

Формат издания 60x84 1/16. Усл. печ. л. 6,98.

Подписано в печать 27.01.23г. Заказ №23-01.

Электронная версия доступна на сайте: <http://srcms.ru/maippsim.html>
<https://doi.org/10.26160/2587-7577-2023-6>

Учредитель, издатель и распространитель: Жукова Елена Валерьевна
(ИП Жукова Е.В., ИНН 422802805198, ОГРНИП 318420500009778,
г.Санкт-Петербург).

Ответственный редактор: Жуков Иван Алексеевич.

Редакция: Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение»,
197372, г. Санкт-Петербург, пр. Комендантский, д. 28, корп. 2, оф. 117.

<http://srcms.ru>

E-mail: spbf@srcms.ru