DOI - 10.32743/UniTech.2021.86.5.11826

**ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА
ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ КАБЕЛЬНО-ПРОВОДНИКОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

Цыпкина Виктория Вячеславовна

доцент, PhD,
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: c-victory@yandex.com

Иванова Вера Павловна

доцент, PhD,
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: veronika.tsipkina@yandex.com

Исамухамедов Дилшод Нигматуллаевич

ст. преподаватель,
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: dilshod.isamuxamedov@gmail.com

Ортиқова Мусаллам Жаҳонгир қизи

ст. преподаватель,
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: musallam1980@mail.ru

Атамухамедова Раъно Фазилджановна

ст. преподаватель,
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: Ranoatamukhamedova@gmail.ru

**ISSUES OF THE EFFICIENCY OF THE PRODUCTION PROCESS OF CONDUCTIVE CORES
BASED ON COMPOSITE MATERIALS FOR CABLING AND WIRING PRODUCTS**

Victoria Tsyapkina

Associate Professor, PhD,
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,
the Republic of Uzbekistan, Tashkent

Vera Ivanova

Associate Professor, PhD,
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,
the Republic of Uzbekistan, Tashkent

Dilshod Isamukhamedov

Senior Lecturer,
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,
Republic of Uzbekistan, Tashkent

Musallam Ortikova*Senior Lecturer,
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,
Republic of Uzbekistan, Tashkent***Rano Atamukhamedova***Senior Lecturer,
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

АНОТАЦИЯ

В статье рассматриваются вопросы отработки технологии изготовления токопроводящих жил для кабельно-проводниковой продукции выполненных на основе композитных материалов. Подробно освещена технология производства композитных заготовок для последующего волочения, а также способы их получения. Особо уделено внимание достоинствам данных изделий, чем подтверждена актуальность проведенных исследований. Однако, существующие недостатки связанные с строением и структурой композитных проволок, оказывают негативное влияние на технологию в целом, и в частности на процесс волочения, что приводит к увеличению стоимости продукции и затяжному технологическому процессу. Рост стоимости готового изделия обусловлен нарушением технологии, которая связана со структурным разнообразием слоев композитной длиномерной заготовки, что определяет непостоянство ее пластических свойств по всей длине. Посредством обобщенной математической модели технологического процесса волочения и на основании справочных данных были получены расчетные параметры технологических вытяжек по слоям композитной заготовки, которая подлежит волочению. Результаты проведенной исследовательской работы позволили разработать методику расчета технологических режимов работы волочильной машины и определить оптимальные технологические параметры работы технологического оборудования.

ABSTRACT

The article discusses development of technology for the manufacture of conductive cores for cabling and wiring products made on the basis of composite materials. The technology of production of composite blanks for subsequent drawing, as well as methods for their performing, are described in detail. Particular attention is paid to the merits of these products, which confirms the relevance of the research. However, existing drawbacks associated with the structure of composite wires have a negative impact on the technology in general and in particular on the drawing process, which leads to an increase in the cost of production and protracted technological process. Growth of the cost of the finished product is due to the violation of technology, which is associated with the structural diversity of the layers of the composite long-length blank, which determines the inconstancy of its plastic properties along the entire length. By means of a generalized mathematical model of the production process of drawing and on the basis of reference data, the calculated parameters of partial reduction on the layers of the composite blank, which is to be drawn, were obtained. The results of the research work made it possible to develop a method for calculating the technological modes of operation of the drawing machine and to determine the optimal technological parameters for the operation of production equipment.

Ключевые слова: токопроводящая жила, композитные материалы, кабельно-проводниковая продукция, волочение, катанка, волочильная машина, технология переработки отходов кабельного производства, дробленка.

Keywords: conductive core, composite materials, cabling and wiring products, wire drawing, wire rod, wire drawing machine, cable production waste processing technology, shredding (chopped grains).

Возрастающая стоимость меди определяет спрос на использование в электротехнической промышленности композитных материалов (композиты), которые применяются в виде длиномерных электропроводников для производства кабельно-проводниковой продукции (КПП), выполненных на основе меди, алюминия и стали. Основным достоинством таких изделий является разработка конструкций токоведущих частей с заранее заданными свойствами [1]:

1. Высокими показателями по эффективности производства, конструктивной массе и технологичности;

2. Возможность получения материалов с качественно новыми свойствами, которые не только повышают эксплуатационные характеристики существующих конструкций, но и позволяют

создавать принципиально новые типы, недоступные при применении традиционных материалов.

Основной задачей, которая решается при изготовлении токоведущих жил (ТПЖ) выполненных из композитных материалов, является их совместимость. Иными словами, композиты входящие в состав не должны взаимодействовать между собой, как при изготовлении (технологическом процессе), так и их последующей эксплуатации (то есть не растворяться или иным способом поглощать друг друга). Поэтому технологические и эксплуатационные свойства ТПЖ выполненной на основе композитов определяются не только свойствами компонентов входящих в ее состав, но также зависят от уровня их взаимодействия [2]. При этом количественный состав и вид наполнителя ди-

туют разнообразие физико-механических характеристик композиционной проволоки [3]. Таим образом компонентный состав композитной ТПЖ должен обладать взаимодополняющими свойствами, что позволяет достичь высоких характеристик по прочности и вязкости разрушения в сочетании с не менее высокими электропроводящими свойствами.

Существуют различные способы производства композиционных материалов. Самым распространенным способом принято считать порошковую металлургию. Также способом изготовления считается спекание в вакуумной печи или в среде осушенного водорода, в результате получают материалы с тугоплавкими соединениями, обладающими высокими механическими свойствами, что очень актуально при эксплуатации контактных проводов. Если в состав ТПЖ входят упрочняющие неметаллические элементы, то в этом случае применяют электрический ток, который ускоряет процесс спекания – это способ позволяет получить готовое изделие также с высокими механическими свойствами, которые отличаются меньшей стоимостью по сравнению с первым способом. Использование в технологии электроимпульсного и электроконтактного способа спекания определяет возможность совместить два достоинства токопроводящей части кабеля, это уникальное сочетание материалов и установленные условиями эксплуатации физико-механические свойства [3, 4] КПП.

Композитные ТПЖ изготавливаются методом формования изделий, который делится на открытый и закрытый [5]. К открытому относится - контактное

формование, напыление, намотка, центробежное формование, а к закрытому - прессование, инжекционное формование, а также протяжка (волочение).

Наиболее эффективной технологией изготовления токопроводящей части кабеля является производство осесимметричной слоистой композиционной проволоки (би- и триметаллические электропроводники диаметром от 0,1 до 1,0 мм для работы в агрессивных средах, в условиях высоких температурных нагрузок и др.) способом волочения [2]. Изучение вопросов технологии и исследование процессов деформации кабельных заготовок на основе композиционных материалов при их волочении занимались ученые Аркулиса Г.Э., Белов М.И., Бояршинов М.И., Белалов Х.М., Залазинский А.Г., Ейльман Л.С. и др.

Растущие требования к эксплуатационным характеристикам кабельно-проводниковой продукции определяют применение в технологическом процессе новых современных видов технологического оборудования, способного обеспечить эффективность ее производства в сочетании с высоким качеством готовой продукции [2]. Особенностью технологии производства ТПЖ из слоистых электропроводников является изготовление единичного отрезка имеющего строительную длину до одного километра.

Также необходимо соблюдать требования по технологии в сочетании конструктивными ограничениями: обеспечение сплошности покрытия сердечника в сочетании с обязательным постоянством диаметра проволоки по всей строительной длине.

Рисунок 1. Провода композитные из алюмомеди

Сложность многоходового волочения композитной проволоки из алюминия покрытого медью, определяется наличием хрупкой межметаллической фазы между алюминиевым сердечником и медным покрытием (рис.1). При этом выходной диаметр проводника для разных марок кабеля колеблется от 0,1 до 0,7 мм, а длина единого отрезка находится в пределах от 3 до 30 км. Соблюдение основного конструктивного параметра – соблюдении строгой геометрии многожильного композита, должно сочетаться с отсутствием пержимов, обрывов, инородных включений, высокой однородности сверхпроводящих волокон по всей строительной длине с заданным уровнем дефектности и обеспечении пиннинга. Выполнение всех требований к технологии на волочильном пределе определяет самую высокую продолжительность технологического процесса производства готового кабельного изделия.

Структурное разнообразие слоев композитной длиномерной заготовки определяют пластические свойства по всей ее длине. В этой связи перед производством стоит задача отработать технологию многоходового волочения, которая позволит обеспечить деформирование заготовки без обрывов. Исключение обрыва в процессе волочения позволит избежать изменение структуры композитной проволоки и ее параметров образованных при стыковой сварке заготовки (рис. 2). Выполнение условия безобрывности особенно критично для последних переходах тонкого волочения, когда стоимость заготовки (полуфабриката незавершенного производства) многократно возрастает.

Рисунок 2. Сварочный шов места обрыва проволоки

Таким образом, актуальной производственной задачей при отработке технологического процесса волочения, является обеспечение обязательного условия получения длиномерных композиционных изделий, которые отвечают требованию - отсутствие дефектности по всей длине. Достижение установленных критериев может быть реализовано за счет усовершенствования работы технологического оборудования [6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 16, 17] и методик пересчета маршрутов волочения [12, 13, 15].

При изготовлении кабельно-проводниковой продукции наиболее широко применяют би- и триметаллические электропроводники круглого сечения, структура которых представляет собой сердечник и одну или две оболочки (рис. 3).

Рисунок 3. Сечение композиционной заготовки для волочения проволоки, где 1 - сердечник; 2,3 - оболочка

К важнейшим характеристикам рассматриваемых ТПЖ относятся: критические значения напряженности магнитного поля, температура и плотность тока (j_c), которые определяются структурным

состоянием используемых металлов или сплава и зависят от способа изготовления (термомеханической обработки композиционной заготовки) [2, 3, 4].

Рисунок 4 Конструкция голого неизолированного провода выполненного на основе композиционных материалов

Еще один вид композиционной заготовки (рис. 4) – это би- или триметалл, где промежуточный слой или сердечник является композит. В этой конструкции в состав входят сверхпроводящие волокна выполненные на основе сплавов $NbTi$ или соединений Nb ($\sim 10^4 - 10^5$ шт) размещенных в медной матрице или в матрице из высоколегированной бронзы [4, 5].

3. Результаты и обсуждение

Большое количество видов проволок, выполненных из композитов, определяет большой разброс технологии изготовления КПП. Это связано с особенностями производства, разнообразием состава гетероген-

ных систем - композиционных материалов, компоненты которых, не смешиваются друг с другом и способны обеспечить требуемый набор свойств ТПЖ.

Отволоченная проволока, является основой при изготовлении токопроводящей части кабеля. Соответственно, отработанная технологическая операция - волочение, позволит получить готовое изделие с высокими эксплуатационными характеристиками и низкую себестоимость продукции, за счет сокращения производственных отходов, а именно: обрывов и технологического брака.

Таким образом, формулируется производственная задача, решение которой возможно осуществить за счет повышения стойкости алмазного волочильного

инструмента [11, 12, 13, 14, 15, 16], усовершенствования технологии волочения путем разработки математической модели процесса волочения композиционных заготовок и расчета минимальных и максимальных величин разовой деформации, которая обусловлена неравномерностью деформации волочения разнородных материалов входящих в состав композитной заготовки [18, 20, 21].

Особенностью рассматриваемой технологии является то факт, что заготовка, подлежащая волочению,

имеет слоистую структуру, состав которой выполнен из различных материалов, имеющих отличные друг от друга физико-механические характеристики [19]. Следовательно, технологические параметры материалов тоже существенно отличаются друг от друга и имеют разный коэффициент вытяжки, а соответственно силу и скорость волочения (рис. 6).

Рисунок 6. Модель распределения сил волочения по слоям композиционной проволоки, где P – сила волочения; P_1 – сила волочения, действующая на сердечник; P_2 – сила волочения, действующая на оболочку

Базовая модель распределения сил волочения по слоям композиционной проволоки (рис. 6) разработана на основании обобщенной математической модели для волочильной машины.

$$P = P_1 + P_2 \quad (1)$$

При вытяжке разнородной заготовки степень деформации слоев имеет различные значения. Самым опасным местом, с точки зрения технологии, считается место перехода слоев в следствии возникшей здесь в начальной стадии втяжки значительного уплотнения материала и растягивающих усилий,

возникших в результате действия сил трения между слоями материалов. Поперечное сечение заготовки считается опасным сечением, на плоскость которого действует сила волочения (1).

На основании обобщенной математической модели (2) были рассчитаны различные варианты режимов работы прямоточного волочильного стана и определена оптимальная кратность процесса волочения с обеспечением энергоэффективности технологии в целом для композитной заготовки [11, 12, 13, 16, 22].

$$\begin{aligned}
 M_{\text{дин}_n}(p) &= M_{\text{дв}_n}(p) - P_n(p) \frac{R_{\text{сн}}^{\text{вх}}}{j_{\text{ред}_n}} + Q_{(n-1)}(p) \frac{R_{\text{сн}}^{\text{вых}}}{j_{\text{ред}_n}} - M_{\text{хх}_n}(p); \\
 \omega_{\text{дв}_n}(p) &= M_{\text{дин}_n}(p) \frac{1}{J_{\Sigma_n} p}; \\
 v_{\text{сн}}^{\text{вх}}(p) &= \omega_{\text{дв}_n}(p) \frac{R_{\text{сн}}^{\text{вх}}}{j_{\text{ред}_n}}; \\
 v_{\text{сн}}^{\text{вых}}(p) &= \omega_{\text{дв}_n}(p) \frac{R_{\text{сн}}^{\text{вых}}}{j_{\text{ред}_n}}; \\
 P_i(p) &= (v_{\text{сн}}^{\text{вх}} - v_{\text{сн}}^{\text{вых}}) \frac{EF_n}{L_{p_n} p} \\
 v_{\text{сн}}^{\text{вых}} &= v_{\text{сн}}^{\text{вх}} \mu \\
 v_{\text{сн}}^{\text{вх}} &= Q_i(p) \frac{L_{Q_n} p}{EF_{(n-1)}} + v_{\text{сн}}^{\text{вх}} \\
 Q_n(p) &= P_n(p) - N_n(p)
 \end{aligned}$$

(2)

Результаты моделирования технологического процесса позволили получить оптимальные значения технологических вытяжек (рис. 7)

Рисунок 7. Параметры технологических вытяжек для композитной заготовки, где I_1 – сердечник; I_2 – оболочка

Усовершенствование технологии волочения – является одной из актуальных задач любого кабельного производства. Однако, это касается волочения

проволоки, выполненной из традиционных материалов, а изучение процессов деформирования композитных материалов и изготовление ТПЖ на их основе – вопрос, который требует постоянного внимания технологов. Решение поставленной задачи, влечет за собой следующие: технология изготовления, существенно отличается от производства стандартных кабелей и проводов. Это связано с особенностями структуры композитной проволоки. Проведенная исследовательская работа и соответствующие расчеты, по средствам обобщенной математической модели процесса волочения, позволили получить данные по уточненным технологическим характеристикам. Применение результатов научно-исследовательской работы даст возможность уменьшить процент отхода связанный с обрывом и выбраковкой дорогостоящей продукции, что позволит отработать технологический режим и правильно рассчитать маршрут волочения. В результате проведенной научно-исследовательской работы была разработана методика, с помощью которой можно осуществить расчет технологических режимов работы волочильной машины и определить оптимальные технологические параметры работы технологического оборудования. Эксплуатация кабельной продукции, конструкция которой содержит композитную токоведущую часть это очень прогрессивное направление, однако рециклинг отходов и демонтированного кабеля, который подлежит замене, как вышедший из строя [23, 24]– это открытый пункт, который требует новых технологических решений и исследований в этом направлении.

Список литературы:

1. Кобасников Н 2000 Теория обработки металлов давлением. Сопротивление деформации и пластичность.- СПб.: СПбГТУ
2. Быков В 2014 Особенности волочения осесимметричных композиционных изделий с волокнистым сердечником из цветных металлов и сплавов Журнал Известия вузов. Цветная металлургия “Обработка металлов давлением”, № 1
3. Рожкова Т Паульс В 2019 Получение композиционных материалов на основе меди// Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. №2
4. Паульс В, Филатов А 2018 Электродиффузионная термическая обработка бронзы БрОФ7-0.2 // Современные научно-практические решения в АПК: сборник статей II всероссийской (национальной) научно-практической конференции. - Тюмень: ГАУ Северного Зауралья <http://ejournal.omgau.ru/images/issues/2019/2/00724.pdf>. - ISSN 2413-406/
5. Получение заготовок и деталей из композиционных материалов. https://studme.org/36332/tovarovedenie/poluchenie_zagotovok_detaley_kompozitsionnyh_materialov
6. Khamudkhanov M, Sapaev KH, Umarov Sh 2020 Multi-motor drive with common inverter for pumping units. Web of Conferences , II International scientific conference. MIP: Engineering-2020: modernization, innovations, progress: advanced technologies in material science, mechanical and automation engineering. MIP: Engineering-2020.IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 862 (2020) 062035 IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/862/6/062035
7. Umarov Sh, Rakhmatov D 2020 Calculation of transition processes in stabilized power sources on the basis of a single-phase serial current inverter. Web of Conferences , II International scientific conference. MIP: Engineering-2020: modernization, innovations, progress: advanced technologies in material science, mechanical and automation engineering. MIP: Engineering-2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 862 (2020) 062032 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/862/6/062032

8. Sapaev Kh Umarov Sh Abdullabekov I 2020 Research energy and resource saving operating modes of the pump unit. E3S Web of Conferences 216, 01150 (2020)
9. The Authors, published by EDP Sciences. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)
10. Sapaev Kh Umarov Sh Abdullabekov 2020 Critical frequency of autonomous current inverter when operating on active-inductive load E3S Web of Conferences 216, 01153 (2020) The Authors, published by EDP Sciences. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
11. Цыпкина В. Иванов А. Разработка обобщенных требований к модернизации электропривода волоочильных машин кабельного производства // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. № 4 (37). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/4629> (дата обращения: 21.03.2021)
12. Tsypkina V, Ivanova V 2019 Modeling of a resource-saving method of drawing E3S Web of Conference 139 (2019) 10 1073 RSES 2019 (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20191390> E 3S 139 (2019) 10 1073)
13. Ivanova V, Tsypkina V 2020 Improving the reliability of power supply to active consumers by improving the technology for manufacturing cable product E3S Web of Conferences 216, 01152 (2020) RSES 2020 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601152>
14. Madрахимов D Ivanova V Tsypkina V 2020 Improving the reliability of cable lines operation in hot climates E3S Web of Conferences 216, 01151 (2020) RSES 2020 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601151>
15. Иванова В Цыпкина В Акбаров Ф Носирова Д Муминов Х 2020 Влияние улучшения технологии изготовления токопроводящей жилы на эксплуатационные характеристики кабельно-проводниковой продукции // Universum: технические науки. 2020. №11-5 (80). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-uluchsheniya-tehnologii-izgotovleniya-tokoprovodyashey-zhily-na-ekspluatatsionnyy-harakteristiki-kabelno-provodnikovoy> (дата обращения: 21.03.2021)
16. Цыпкина В Иванов А 2017 Разработка обобщенных требований к модернизации электропривода волоочильных машин кабельного производства // UNIVRESUM: Технические науки №4 (37) Москва
17. Madрахимов D Ivanova V Pirmatov N 2019 Improving energy efficiency of drawing equipment through energy and resources International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 6, Issue 7 2019/3/30 www.ijarset.com
18. Цыпкина В Иванова (Цыпкина) В Мукольянц А Эргашева Д 2015 Особенности технологии волочения композиционных электропроводников., Материалы республиканской научно-технической конференции «Прогрессивные технологии получения композиционных материалов и изделий из них» Ташкент
19. Лопарев В Образцов Ю 2014 Об особенностях современных неизолированных проводов для воздушных линий электропередачи, Журнал “Кабели и провода” №6 9245), Москва
20. Трофимов В 2007 Совершенствование технологии волочения длинномерных осесимметричных композиционных электропроводников, Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Глазов
21. Быков В 2014 Особенности волочения осесимметричных композиционных изделий с волокнистым сердечником из цветных металлов и сплавов Журнал Известия вузов. Цветная металлургия “Обработка металлов давлением” № 1
22. Линьков С 2004 Математическая модель многократного прямоточного волоочильного станазависки горного института. часть 2 С-Перетбург
23. Tsypkina V Issamukhamedov D Turabekov O 2019 Resource-saving method for secondary cable production, International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 6, Issue 7, <http://www.ijarset.com/upload/2019/july/47-Daniyar-June-100.pdf>
24. Tsypkina V Madрахимов D 2019 Method of resource saving of cable production recycables E3S Web of Conferences 139 (2019) 01057 RSES 2019 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20191390> E 3S 139 (2019) 10 1073
25. Isamukhamedov D.N., Madрахимов D.B., Atamukhamedova R.F., Tairova, N.J. 2020 Issues of improving quality of contact wire E3S Web of Conferences 216, 01154 (2020) RSES 2020 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601154>