

tionova, O. V., Kushnir, N. A. (2009). Osnovy kompleksoutvorennia inhibitor pankreatychnoi amilazy-polisakharyd. Zernovi produkty i kombikormy, No 1, 16–19. **9.** Krusir, H. V., Kushnir, N. A. (2008). Porivnialna kharakterystyka fizyko-khimichnykh vlastyvoستي roslynnoho inhibitoru α -amilazy ta BAD na yoho osnovi. Prohresyvni tekhnika ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli: Zb. nauk. Prats. Redkol.: O. I. Cherevko (vidpov. red.) ta in.; Khark. derzh. un-t kharchuvannia ta torhivli. Kharkiv, Vol. 2 (8), 521–527. **10.**

Kyknadze, E. V., Antonov, Yu. A. (1998). Prymenenye polyelektrolytov dlia videleniya ynhybytora trypsyna yz tekhnolohycheskykh otkhodov fraktsyonyrovaniya belkov lystev liutserni. Prykladnaia byokhymia y mykrobiolohiya, T. 34, No 5, 508–512. **11.** Tarasevych, B. N. (2012). Spravochnie materyali. YK spektri osnovnykh klassov orhanycheskykh soedyneni. MHU ymeny M. V. Lomonosova, khymycheskyi fakul'tet, kafedra orhanycheskoi khymyy. Moskva, 55.

Надійшла (received) 07.06.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Дзюба Надія Анатоліївн – кандидат технічних наук, доцент, Одеська національна академія харчових технологій; Кафедра Технології ресторанного і оздоровчого харчування; вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039; тел.: 096-68-67-740; e-mail: adya282@rambler.ru.

Дзюба Надежда Анатольевна – кандидат технических наук, доцент; Одесская национальная академия пищевых технологий; Кафедра Технологии ресторанного и оздоровительного питания; ул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина, 65039; тел.: 096-68-67-740; e-mail: adya282@rambler.ru.

Dzyuba Nadya – Candidate of Science (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.), Associate Professor, Department of Technology restaurant and health food; Odessa National Academy of Food Technologies; str. Kanatna 112, Odessa, Ukraine, 65039; tel.: 096-68-67-740; e-mail: adya282@rambler.ru.

Землякова Олена Володимирівна – старший методист, Одеська національна академія харчових технологій; Кафедра Технології ресторанного і оздоровчого харчування; вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039;

Землякова Елена Владимировна – старший методист, Одесская национальная академия пищевых технологий; Кафедра Технологии ресторанного и оздоровительного питания; ул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина, 65039; тел.: 097-591-98-77.

Elena V. Zemlyakova, senior methodologist Department of Technology restaurant and health food; Odessa National Academy of Food Technologies. Address: str. Kanatna 112, Odessa, Ukraine, 65039; tel.: 097-591-98-77.

УДК 669.295

И. Ф. ЧЕРВОНЫЙ, Е. А. ГОЛОБОРОДЬКО, В. И. МАМОТЕНКО

ВЫПЛАВКА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ (ОБЗОР)

Выполнен анализ технологий и технологического оборудования для выплавки сплавов на основе титана с использованием металлического титана и титана из вторичного сырья. Исходя из требуемых механических и физико-химических характеристик сплавов на основе титана определены преимущественно целесообразные направления использования электронно-лучевой и индукционной плавки разнообразного исходного сырья с обеспечением заданных свойств конечного продукта.

При производстве сплавов на основе титана предусматривается обработка металлического титана в виде титановой губки или переработка титана из вторичного сырья – лома и отходов промышленности.

Ключевые слова: сплав, титан, электронно-лучевая плавка, индукционная плавка, плазменная плавка, вакуумно-дуговая плавка, отходы, лом, примесь

Введение. Титан и его сплавы обладают отличительными особенностями механических, физических и антикоррозионных свойств, которые находят широкое применение во многих областях науки и техники [1].

По распространенности в земной коре титан он занимает четвертое место после алюминия, железа и магния, а его распространенность в земной коре составляет около 0,6 %. [2] Титан - металл серебристо-белого цвета, имеющий малую плотность (4,5 г/см³).

Температура плавления титана (1668 ± 4) °С в зависимости от степени его чистоты. Изменение объема производства титана в мире (таблица 1) [3] характеризуется многочисленными свойствами титана, в сравнении с другими металлами: малая плотность, высокая удельная прочность, коррозионная стойкость, технологичность при обработке давлением и свариваемость, хладостойкость, высокая стойкость против солнечной радиации, немагнитность и др.

Таблица 1 – Объем производства титановой губки по странам, тыс. т [3]

Страна	Год								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
США	8	12	20	23	8	8	14	19	24
Украина	8	9	10	10	7	7	9	10	8
Казахстан	20	23	25	24	17	15	21	23	15
Россия	29	32	31	35	27	27	38	41	42
Япония	31	38	39	41	25	32	53	63	42
Китай	9	18	-15	50	41	58	65	102	105
Всего	105	132	173	183	125	147	200	261	236

© И. Ф. Червоний, Е. А. Голобородько, В. И. Мамотенко . 2015

В то же время механические свойства металлического титана существенно зависят от чистоты металла, т.е. от количества и вида примесей в нем. Такие примеси как кислород, азот, углерод, водород являются примесями внедрения, а примеси железа, кремния, алюминия являются примесями замещения. Наличие примесей значительно изменяют физико-химические свойства металлического титана и сплавов на его основе. Особенное влияние на свойства титана и его сплавов оказывают примеси внедрения. Например наличие в титане 0,03 % Н, 0,2 % N или 0,7 % О приводит к утере способности к деформации и к возникновению хрупкого разрушения [2].

Анализ литературы. Титановые сплавы, обла-

дая рядом положительных физико-химических характеристик, находят широкое применение в различных направлениях (рис. 1). Для обеспечения технологических характеристик сплавам в промышленности применяют различные методы введения заданных примесей.

Сплавы производятся двумя направлениями. Первое направление предусматривает обработку металлического титана в виде титановой губки, полученной по методу Кроля - магнийтермический метод восстановления четыреххлористого титана. Второе направление включает переработку титана из лома и отходов промышленности – вторичного титана. Обобщенная схема получения титанового сплава предусматривает следующие операции, рис. 2.

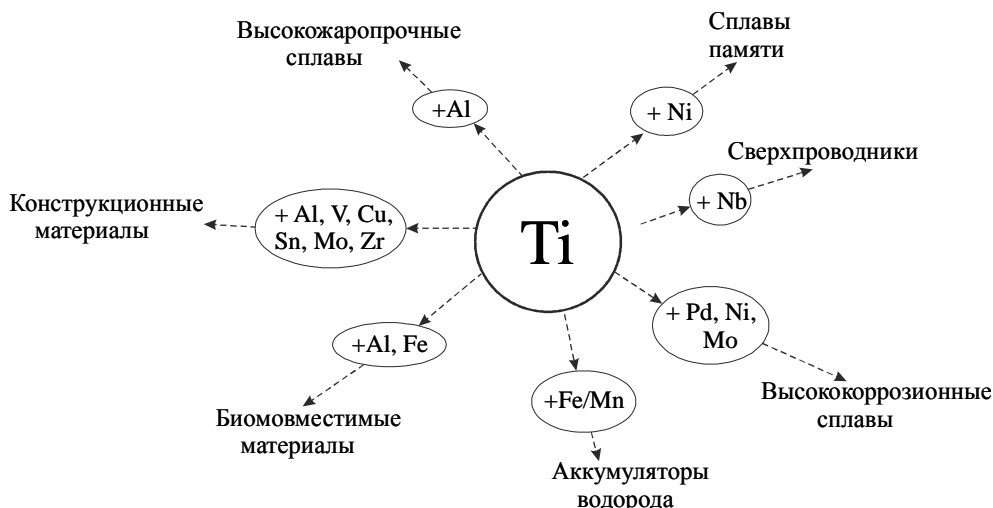


Рис. 1 – Основные типы титановых сплавов и области их применения [4]

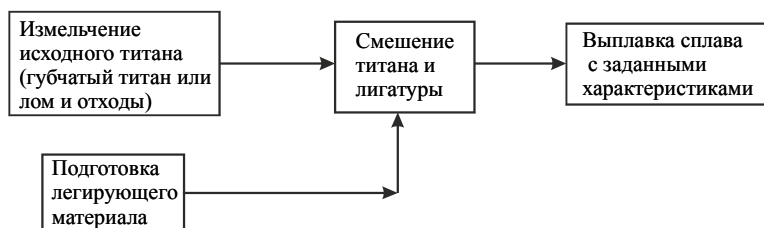


Рис. 2 – Обобщенная схема производства сплавов на основе титана

При обработке титановой губки или титана из вторичного сырья (лом и отходы) в первую очередь решается задача сортировки исходного сырья и подготовки шихты для плавки. При сортировке принимается во внимание виды сырья – первичного или вторичного. После этой операции производится специальная подготовка путем промывки водой или щелочными растворами для удаления поверхностных загрязнений. На следующем этапе производится рафинирования металла от газообразных примесей – кислорода, азота и водорода. На втором этапе в очищенный титан вводится заданный легирующий элемент. Известен ряд работ [1, 5-12], которые включают совмещение операции рафинирования и легирования титана: вакуумно-дуговой переплав, электрошлаковый переплав, плазменная плавка исходной шихты, электроно-лучевая плавка, индукционная плавка.

Вакуумно-дуговой переплав [1] включает дробление титановой губки до фракции размером от 2 до 6 мм, создание шихты с заданным легирующим матери-

алом, брикетирование шихты и направление брикетов в установку дугового переплава. Переплавление брикетов осуществляется в вакуумной среде при давлении от 1,0 до 0,1 Па, что обеспечивает дегазацию газообразных составляющих, а наличие электрической дуги способствует выводу неметаллических включений на поверхность расплава. Такой процесс позволяет получать очищенный кристалл. При этом накопившиеся в верхней части кристалла включения удаляются для дополнительной переработки. Для более глубокой очистки выплавленного кристалла и обеспечения более равномерного распределения легирующих примесей применяют повторный вакуумно-дуговой переплав.

Электрошлаковый переплав [5, 6] производится в печах камерного типа с использованием металлсодержащего флюса. В данном процессе флюс, как шлаковая среда, выполняет рафинирующую, модифицирующую и легирующую функции. Применение фторидов щелочноземельных и щелочных металлов в качестве шлакообразующих флюсов обеспечивают вы-

сокую рафинирующую активность, и обеспечивает удаление из таких примесей как кислород, азот, сера и фосфор. При электрошлаковом переплаве слиток металла крепится вертикально в камере и опускается в расплавленный шлак. Через исходный слиток пропускается ток и на границе слиток-шлак образуется расплав очищаемого металла. В процессе накопления расплава металла составляющие шлака взаимодействуют с расплавом и очищают его. Накопленный под шлаком рафинированный металл периодически выпускают через специальный канал в днище емкости. Такой метод переплава обеспечивает получение металла или сплава высокой чистоты и имеет достаточно высокую производительность.

Плазменный или плазменно-дуговой переплав металла [7, 8] осуществляется за счет его нагрева и расплавления под воздействием энергии плазмы. Плазма, температура которой может изменяться от 2000 до 30000 °С, является источником тепла для обрабатываемого материала. Для создания плазмы применяется плазмотрон, в котором плазмообразующий газ ионизируется электрической дугой между электродом и ванной с расплавом металла. Применяются также плазмотроны, в которых электрическая дуга создается между электродами в плазмотроне, а плазмообразующий газ ионизируется непосредственно в плазмотроне и направляется на ванну с обрабатываемым металлом. В качестве плазмообразующего газа используется, как правило, высокочистый аргон, что обеспечивает чистоту обрабатываемого металла и исключает химическое взаимодействие с окружающей средой.

Плазменные плавки проводят в вакуумных установках, давление в плавильной камере составляет от 0,1 до 1000 Па. Плазменная обработка металла производится следующим образом. В первую ванну подается исходная шихта, состоящая из металлического титана и легирующего материала. Над поверхностью слоя шихты размещается плазмотрон, из которого поток плазмы направляется на слой шихты. За счет теплового воздействия плазмы шихта расплавляется. Наибольшее выделение энергии происходит на поверхности образовавшегося расплава. Такая обработка обеспечивает перегрев расплава и удаление за счет испарения значительного количества примесей. Образующиеся в расплаве конвективные потоки выводят на поверхность новые порции расплава, которые также подвергаются воздействию плазмы и очистке от примесей. После плазменной обработки расплав через специальный желоб сливается в водоохлаждаемый кристаллизатор, где происходит его затвердевание и охлаждение. Для повышения эффективности очистки расплава в плазменных установках предусмотрена промежуточная ванна, расположенная между первой ванной и кристаллизатором. В такой конструкции верхний слой расплава из первой ванны через желоб сливается в промежуточную ванну. Над промежуточной ванной также устанавливается плазмотрон для обработки расплава. Применение промежуточной ванны позволяет (по аналогии с повторной вакуумно-дуговой плавкой) значительно повысить степень очистки металла и обеспечивает более равномерное распределение примесей в кристаллизуемом сплаве.

Электронно-лучевой переплав широко используется в металлургии как эффективный метод получения химически активных и тугоплавких металлов и сплавов, таких как титан, цирконий, ниобий, тантал, молибден и другие [9, 10]. Источником нагрева и расплавления металла в таком методе является электронный луч, создаваемый специальным устройством – электронно-лучевой пушкой. Электронный луч, генерируемый электронной пушкой и обладая высокими значениями кинетической энергии, попадая на поверхность металла, выделяет большое количество тепла и обеспечивает расплавление металла. Плавление металла производится в вакуумной камере, что исключает контакт расплава с окружающей атмосферой. Для управления потоком электронов в электронной пушке применяются специальные магнитные диафрагмы, что позволяет направлять электронный луч в заданном направлении. Процесс электронно-лучевой переплавки исходного сырья заключается в следующем. Исходная шихта на специальном желобе подается к участку камеры, где начинается воздействие электронного луча. Электронная пушка устанавливается вертикально над желобом и ванной для расплава. После включения электронной пушки электронный луч направляется на торцевую поверхность шихты в желобе и происходит оплавление исходной шихты. Образовавшийся расплав стекает в первую ванну. Электронный луч второй пушки направляется на расплав, находящийся в первой ванне. Обработка расплава в ванне аналогично процессу плазменной обработке расплавов. Преимущества электронно-лучевого переплава, в сравнении с плазменной обработкой, заключается в повышенной управляемости источником энергии – электронным лучом. После первой ванны расплав по специальному желобу сливается в кристаллизатор. Для повышения степени очистки расплава от нежелательных примесей и управляемого ввода легирующих элементов, в установках электронно-лучевой плавки предусматривается промежуточная емкость – вторая ванна. Расплав в промежуточной емкости также обрабатывается электронным лучом и сливается по желобу в кристаллизатор, в котором происходит кристаллизация и охлаждение слитка в заданных температурных условиях.

Индукционная плавка: перечисленные выше методы плавки титана и его сплавов обладают рядом недостатков при плавке особо чистых сплавов. Это связано с возможностью загрязнения сплава возможным поступлением нежелательных примесей из стенок тигля или материала другого контейнера, где производится плавка. Например, при возрастающей потребности в сложнелегированных сплавах, таких как TiAl и TiNi, в которых предъявляются высокие требования химической однородности, проведение плавки вышеперечисленными методами не удается реализовать заданные требования к качеству сплавов. Одним из направлений, обеспечивающих высокие требования к процессу плавки, является индукционная плавка титана и сплавов на его основе. При использовании индукционной плавки расплав не контактирует с энергетическими потоками (дуга, плазма или электронный луч) и исключается возможность локального перегрева или неоднородность теплового поля [11].

Сущность индукционной плавки заключается в расплавлении исходного материала, находящегося в тигле, например, в керамическом тигле, специальным индуктором, который распложен снаружи тигля. Электромагнитное поле индуктора разогревает и расплавляет шихту в тигле. Возникающие электромагнитные потоки расплава обеспечивают его перемешивание и создание однородного по характеристикам расплава и закристаллизованного сплава.

В последние годы выполнены работы по модернизации процесса индукционной плавки в направлении применения процесса плавки в «холодном тигле» [11]. В этом процессе применяется тигель, разделенный на электрически изолированные водоохлаждаемые секции. Конструкция тигля значительно уменьшает контакт расплава со стенками «холодного» тигля, что способствует достижению высокой чистоты получаемого материала. Электромагнитное давление, вызванное электромагнитными силами индуктора, приводит к деформации поверхности расплава и образование выпуклого мениска по высоте расплава. Это обеспечивает свободное состояние расплава без контакта со стенками контейнера. Контакт с контейнером остается только в узкой донной части контейнера. Режимы воздействия электромагнитного поля индуктора на расплав выбираются с учетом обеспечения гомогенного состояния расплава, особенно при введении в него легирующих примесей. Как отмечается в [11], с использованием индукционной плавки в «холодном тигле» были получены слитки из никелида титана (TiNi) – материала, обладающего эффектом памяти. Этот материал широко используется при изготовлении медицинских имплантатов, где весьма важным является восстановление формы в достаточно узком температурном диапазоне.

Инновационным процессом при выплавке сплавов на основе титана в работе [12] предлагается послойное оплавление в индукционной печи блока губчатого титана или шихты из вторичного титанового сырья. При этом расплав стекает с поверхности обрабатываемого образца и направляется в последовательно расположенные емкости для кристаллизации и охлаждения. В этом процессе в каждую емкость попадает расплав с разных участков оплаваемого образца и тем самым происходит управляемое разделение одного крупногабаритного образца на несколько, но с разным количеством примеси. Конструкция емкости для приема расплава имеет специальную коническую форму днища и приводится во вращение. Такая конструкция обеспечивает дополнительную очистку расплава за счет отвода тяжелых примесей на боковую поверхность емкости, а более легкие примеси по конической поверхности всплывают на поверхность расплава. Предлагаемая технология позволяет получать более качественные сплавы с минимальными финансовыми затратами.

Анализ выполненных исследований. Анализ рассмотренных технологий производства сплавов на основе титана позволяет определить наиболее перспективные направления переработки исходного сырья с целью получения сплавов заданного примесного состава и обеспечения необходимых механических и физико-химических его характеристик. Основным

при выборе технологии переработки исходного сырья является выбор легирующего элемента и целевого применения полученного сплава (рис. 2). После установления и принятия решения о применении выбранной технологической цепочки, рассматривается вопрос экономической целесообразности принятого решения.

В тоже время, несмотря на разнообразие технологических приемов, наиболее приемлемыми процессами рассматриваются электронно-лучевой и индукционный методы переработки исходного сырья в виде титановых слитков, губчатого титана или титана из вторичного сырья. Эти методы обладают высокой степенью чистоты процесса, доступного исполнения конструкций плавильных агрегатов и достаточно высокой и управляемой производительностью.

Выводы. На основе изучения требуемых механических и физико-химических характеристик сплавов на основе титана, рассмотрены применяемые в промышленной практике технологические приемы проведения процесса плавки. Преимущественные рекомендации даны в направлении использования электронно-лучевой и индукционной плавки разнообразного исходного сырья с обеспечением заданных свойств конечного продукта.

Список литературы: 1. Titanium alloy guide [Электронный ресурс] / Режим выборки: <http://www.rtiintl.com/Titanium/RTI-Titanium-Alloy-Guide.pdf>. – 10.12.2015 2. Титановые сплавы. Основные характеристики [Электронный ресурс] / Режим выборки: <http://libmetal.ru/titan/titan%20osnprop.htm>. – 04.12.2015 3. Динамика производства губчатого титана [Электронный ресурс] / Режим выборки: <http://smart-lab.ru/uploads/images/01/18/31/2014/07/03/8dec28.jpg>. – 02.12.2015 4. Титановые деформированные сплавы [Электронный ресурс] / Режим выборки: <http://libmetal.ru/titan/ti%202.jpg>. – 11.12.2015 5. Рябинин, А. В. Перспективы электрошлакового переплава титана [Текст] / А. В. Рябинин // Специальная металлургия: вчера, сьогодні, завтра. 2010. – С. 30–36. Режим выборки: http://www.fhotm.kpi.ua/sworks/05/ryabinin_article_2010.pdf 6. Рябцев, А. Д. Рафинирование титана при электрошлаковом переплаве [Электронный ресурс] / А. Д. Рябцев, А. А. Троянский // Режим выборки: <http://science.donntu.org/data/mainmenu/innovations/002-DonNTU-Ryabcev.pdf>. – 25.09.2015 7. Samuelsson, E. Plasma Cold Hearth Remelting of UDIMET Alloy 718 [Text] / E. Samuelsson, G. E. Maurer, M. E. Schlienger, R. E. Haun, J. S. Krafcik / – Режим выборки: http://www.tms.org/superalloys/10.7449/1992/Superalloys_1992_195_204.pdf. – 10.12.2015 8. Plasma coating. Aluminium titan oxide [Электронный ресурс] / Режим выборки: <http://www.plasmajet.be/en/services/thermal-spray-coatings/plasma-coating/> – 11.12.2015 9. Ковальчук, Д. В. Электронно-лучевой переплав титана – проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс] / Д. В. Ковальчук, Н. П. Кондратий // Режим выборки: file:///C:/Users/Иван/Downloads/Doklad_SHERVONA_KHVilya_na_konferentsii_Ti-2008_v_SNG.pdf. – 11.12.2015 10. Патон, Б. Е. Производство крупнотоннажных слитков титановых сплавов методом электронно-лучевой плавки [Текст] / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, С. В. Ахонин // Титан, 2010. – No 2 (27). – С. 31–35. 11. Александров, А. В. Основы плавки титана и сплавов на его основе в установке с холодным тиглем [Текст] / А. В. Александров, Е. А. Афонин, С. А. Делло, М. Ю. Коллеров, В. В. Константинов, С. Ю. Кузнецов, И. С. Польшкин // Титан, 2010. – No 2 (27). – С. 36–41. 12. Волков, А. Е. Новая технологическая схема производства высококачественных титановых сплавов из отходов и недробленной губки [Текст] / А. Е. Волков // Титан, 2010. – No 2 (27). – С. 42–49.

Bibliography (transliterated): 1. Titanium alloy guide [Elektronnyy resurs] / Rezhim vyiborki: <http://www.rtiintl.com/Titanium/RTI-Titanium-Alloy-Guide.pdf>. – 10.12.2015 2. Titanovyye splavy. Osnovnyye harakteristiki [Elektronnyy resurs] / Re-zhim vyiborki: http://libmetal.ru/titan/titan_osnprop.htm. – 04.12.2015. 3. Dinamika proizvodstva gubchatogo titana [Elektronnyy resurs] / Rezhim vyiborki:

<http://smart-lab.ru/uploads/images/01/18/31/2014/07/03/8dec28.jpg>. - 02.12.2015 4. Titanovyye deformirovannyye splavyi [Elektronnyy resurs] / Rezhim vyiborki: http://libmetal.ru/titan/ti_2.jpg. - 11.12.2015 5. Ryabinin, A. V. Perspektivnyy elektroshlakovogo pereplava titana [Tekst] / A. V. Ryabinin // Spetsialna metallurgiya: vchora, sododni, zavtra. 2010. - S. 30-36 / Rezhim vyiborki: http://www.fhotm.kpi.ua/sworks/05/ryabinin_article_2010.pdf 6. Ryabitshev, A. D., Troyanskiy, A. A. (2015). Rafinirovanie titana pri elektroshlakovom pereplave. Rezhim vyiborki: <http://science.donntu.org/data/mainmenu/innovations/002-DonNTU-Ryabceev.pdf>, 25.09.2015 7. Samuelsson, E., Maurer, G. E., Schlienger, M. E., Haun, R. E., Krafcik, J. S. (2015). Plasma Cold Hearth Remelting of UDIMET Alloy 718. Rezhim vyiborki: http://www.tms.org/superalloys/10.7449/1992/Superalloys_1992_195_2_04.pdf 8. Plasma coating. (2015). Aluminium titan oxide. Rezhim vyiborki:

<http://www.plasmajet.be/en/services/thermal-spray-coatings/plasma-coating/>. 9. Kovalchuk, D. V., Kondratiy, N. P. (2015). Elektronno-luchevoyy pereplav titana – problemy i perspektivy razvitiya. Rezhim vyiborki: [file:///C:/Users/Ivan/Downloads/Doklad CHervona KHvilya na konferentsii Ti-2008 v SNG.pdf](file:///C:/Users/Ivan/Downloads/Doklad%20CHervona%20KHvilya%20na%20konferentsii%20Ti-2008%20v%20SNG.pdf). 10. Paton, B. E., Trigub, N. P., Ahonin, S. V. (2010). Proizvodstvo krupnotonnaznykh slitkov titanovykh splavov metodom elektronno-luchevoyy plavki. Titan, No 2 (27), 31–35. 11. Aleksandrov, A. V., Afonin, E. A., Dello, S. A., Kollerov, M. Yu., Konstantinov, V. V., Kuznetsov, S. Yu., Polkin, I. S. (2010). Osnovy plavki titana i splavov na ego osnove v usta-novke s holodnym tigem. Titan, No 2 (27), 36–41. 12. Volkov, A. E. (2010). Novaya tehnologicheskaya shema proizvodstva vyisokokachestvennykh titanovykh splavov iz othodov i nedroblenoy gubki. Titan, No2 (27), 42–49.

Поступила (received) 23.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Червоний Іван Федорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Запорозька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, г. Запоріжжя, Україна, 69006; тел.: (061) 227-12-27; e-mail: rot44@yandex.ru.

Червоний Іван Федорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Запорізька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006;

Chervony Ivan – doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department; Zaporozhe State Engineering Academy; Department of Non-Ferrous Metallurgy; Lenin 226, Zaporozhe, Ukraine, 69006;

Голобородько Єлизавета Арсенівна – студент, Запорозька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, г. Запоріжжя, Україна, 69006.

Голобородько Єлизавета Арсенівна – студент, Запорізька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006.

Goloborodko Elizaveta – student, Zaporozhe State Engineering Academy; Department of Non-Ferrous Metallurgy; Lenin 226, Zaporozhe, Ukraine, 69006

Мамотенко Владлена Ігорівна – студент, Запорозька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, г. Запоріжжя, Україна, 69006.

Мамотенко Владлена Ігорівна – студент, Запорізька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006.

Mamotenko Vladlena – student, Zaporozhe State Engineering Academy; Department of Non-Ferrous Metallurgy; Lenin 226, Zaporozhe, Ukraine, 69006

УДК 644.8:658.562.5

А. Н. ЗАГОРУЛЬКО, А. Е. ЗАГОРУЛЬКО, Л. В. КИПТЕЛЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ИК-СУШИЛОК

В работе представлены исследования основных этапов проектирования тепловых аппаратов, поскольку существующие ИК-сушилки имеют недостатки в виде большой производительности, длительной тепловой обработки, значительной энерго- и металлоемкостью, а так же не обеспечивают равномерность тепловых потоков на приемных поверхностях. В связи с этим возникает актуальность в детальном исследовании этапов проектирования современных автоматизированных энергоэффективных ИК-сушилок периодического и непрерывного действия для производства высококачественных сушеных полуфабрикатов из растительного плодоягодного сырья.

Ключевые слова: этапы, проектирование, разработка, ИК-сушилка, растительное плодоягодное сырье, оптимальная форма, равномерность.

Введение. Существующие ИК-аппараты характеризуются длительностью тепловой обработки, энерго- и металлоемкостью, а так же не обеспечивают равномерность тепловых потоков на приемных поверхностях. В связи с этим возникает актуальность в детальном исследовании этапов проектирования современных автоматизированных энергоэффективных ИК-аппаратов. Основной проблемой при разработке ИК-сушилок для сушки растительного сырья является: фиксированные геометрические размеры (формы аппаратов), не равномерность температурного поля на приемных поверхностях, а так же отсутствует возможность использования вторичного воздуха с пользой для технологического процесса. Возникают также сложности в ходе автоматизации процесса сушки с

использованием инерционных генераторов (ТЕНы, кварцевые лампы), имеющих высокую температуру рабочей поверхности, что усложняет конструкцию аппаратов и снижает качество продукции [1-4].

Природным источником для производства сушеных полуфабрикатов с большим содержанием БАВ является растительное плодоягодное сырье, обладающее так же лечебно-профилактическими свойствами [5-6].

Целью работы является исследование этапов проектирования энергоэффективных ИК-сушилок.

Методика экспериментов. Для достижения поставленной цели работы ассистентом кафедры про-

© А. Н. Загорюлько, А. Е. Загорюлько, Л. В. Киптеля. 2015