

3. Аулін В.В. Роль теплофізичних процесів формування структури високоміцних чавунів / В.В. Аулін, В.М. Кропивний, А.В. Кропивна, М.В. Босий, О.В. Кузик // Вісник інженерної академії України. – 2017. – №3. – С.133-137.

4. Бунин К.П., Таран Ю.Н. Строение чугуна. Серия «Успехи современного металловедения» / К. П. Бунин, Ю. Н. Таран – М.: Metallurgia, 1972. – 160 с.

УДК 621.745: 669.296

**Ладохин С.В.**

[e\\_luch@ptima.kiev.ua](mailto:e_luch@ptima.kiev.ua)

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ЦИРКОНИЯ В ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ УКРАИНЫ**

В настоящее время в Украине функционируют 15 блоков АЭС, которые вырабатывают более половины электроэнергии и ядерное топливо для которых традиционно поставлялось из России. В последние годы наряду с топливом российской корпорации «ТВЭЛ» стало использоваться топливо американской компании Westinghouse. В прошлом году смешанные активные зоны с топливом указанных поставщиков эксплуатировались уже на шести энергоблоках украинских АЭС [1], и в ближайшие годы предусматривается расширение использования сборок компании Westinghouse вплоть до строительства завода этой компании по производству ядерного топлива [2]. Однако абсолютная зависимость работоспособности энергоблоков от внешних поставок топлива угрожает энергетической безопасности страны. Это обуславливает необходимость создания отечественного ядерно-топливного цикла (ЯТЦ), что было предусмотрено соответствующим решением правительства еще в начале нулевых годов текущего столетия [3], но не реализовано до настоящего времени.

Неотъемлемой составной частью ЯТЦ является получение циркония ядерной чистоты и организация производства из него сплавов для изготовления защитных труб-оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), канальных и направляющих труб, кассет и других деталей активной зоны атомных реакторов. Работы по решению проблемы циркония для ЯТЦ выполнялись совместно ИФТТМТ ННЦ

«ХФТИ» НАН Украины, ГНПП «Цирконий», ГП «НИТИ им. Я.Е. Осады» и ФТИМС НАН Украины по заданию Минтопэнерго Украины. В основе проводимых исследований лежали предложения по использования отечественных технологий кальцийтермического восстановления циркония из тетрафторида циркония, рафинированию этого металла методом электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью и последующего получения литых трубных заготовок с использованием электронно-лучевой гарнисажной плавки. Результаты исследований представлены в отчетах о НИР и публикациях в научной печати, которые в обобщенном виде изложены в [4], а последние по времени предложения сформулированы в докладе на конференции, посвященной 60-летию создания ФТИМС НАН Украины [5]. Отметим также, что по результатам исследований защищены докторские и кандидатские диссертации [6-9].

В проведенных исследованиях получение трубных заготовок осуществлялось способами литья в кокиль, центробежного литья и литья с наложением электромагнитных полей на затвердевающий в форме расплав. Во всех этих способах исключается операцияковки слитка, что представляется наиболее перспективным для решения проблемы трубных заготовок из циркониевых сплавов и изделий из них в нашей стране. К настоящему времени практически удалось реализовать технологию получения литых трубных заготовок способом литья в кокиль из сплава Zr1Nb и изготовления из них трекс-труб и твельных трубок. Механические свойства труб-оболочек ТВЭЛ из сплава Zr1Nb представлены в таблице.

Завод-изготовитель	Продольное направление			Поперечное направление		
	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
	Температура испытаний 293 К					
ОЗ ГП «НИТИ»	580-590	415-425	34-36	550-600	500-533	16,1-16,7
ОАО ЮТЗ*	615-650	480-495	30-33	605-650	560-595	13-13,3
ВДП	-	-	-	294	210	29
ТУ 95-105-89 не менее	410	240	20	-	-	12
	Температура испытаний 653 К					
ОЗ ГП «НИТИ»	-	-	-	226-235	222-226	27-30
ОАО ЮТЗ*	235-265	135-153	-	225-240	190-200	27-36

ВДП	-	-	-	225	195	47
ТУ 95-105-89 не менее	-	80	-	148	130	33

В целом результаты выполненных исследований позволяют утверждать о реальной возможности получения изделий из сплавов на основе циркония кальцийтермического восстановления в рамках создания отечественного ЯТЦ. Однако для комплексной оценки качества получаемых труб-оболочек ТВЭЛ необходимо продолжить исследования их коррозионной стойкости, малоциклической усталости, ползучести и радиационной стойкости в условиях эксплуатации в действующих реакторах.

Дальнейшие работы по циркониевой проблеме следует проводить в направлениях получения циркония кальцийтермического восстановления с более низким содержанием кислорода, отработки технологий выплавки на основе этого циркония сплавов типа Zr<sub>2.5</sub>Nb и системы Zr-Nb-Fe-Sn, а также сплавов типа Zircaloy с получением их трубных заготовок и труб-оболочек ТВЭЛ.ё

### Список литературы

1. Звіт про діяльність Національної академії наук України у 2017 році / НАН України. – Київ: Академперіодика, 2018. – 552 с.
2. <https://ZN.UA/Economics/30387.html>
3. Комплексна програма створення ядерно-паливного циклу в Україні. Постанова Кабінету Міністрів України № 267 від 12.04.2005 р.
4. Ладохин С. В., Вахрушева В.С. Применение электронно-лучевой плавки для получения сплавов циркония в Украине // Современная электрометаллургия. – 2018. - № 4.- С. 36-41.
5. Вахрушева В.С., Воеводин В.Н., Ладохин С.В., Мухачев А.П., Пилипенко Н.Н. Получение труб-оболочек тепловыделяющих элементов атомных реакторов из литых заготовок сплава Zr<sub>1</sub>Nb электронно-лучевой выплавки // Металл и литье Украины. – 2018. - № 7-8.- С. 101-111.
6. Вахрушева В.С. Формування структури та властивостей сталі і сплавів при виготовленні труб для ядерних енергетичних установок: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Дніпропетровськ, 2003. – 36 с.

7. Буряк Т.М. Структуроутворення і формування властивостей трубної заготовки і труб для атомної енергетики з використанням нових способів виробництва. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Дніпропетровськ, 2005. – 20 с.

8. Гладков А. С. Особливості електронно-променевої гарнісажної плавки сплаву Zr-1Nb і розробка технології виготовлення трубних заготовок: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Київ, 2009. – 20 с.

9. Пилипенко М.М. Фізико-технологічні основи створення цирконієвих матеріалів та гафнію для активних зон ядерно-енергетичних установок. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Харків, 2012. – 32 с.

УДК 629.11.012.3 : 669.14.083.74

**В. А. Локтионов-Ремизовский, Н. В. Кирьякова, Н. Н. Грибов,  
В.Ф.Смолянская**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

[loktionov@ptima.kiev.ua](mailto:loktionov@ptima.kiev.ua)

### **ИЗНАШИВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС И РЕЛЬСОВ**

В металловедении существует фундаментальный закон связывающий свойства сплавов с их составом и структурным состоянием – закон Курнакова. Одним из базовых положений закона Курнакова является отсутствие разрыва функции в пределах одной фазовой области диаграммы состояния. В работах специалистов Украины были показаны особенности действия закона Курнакова при формировании функций концентрационных зависимостей износостойкости и коэффициента трения сплавов эвтектических систем металл - фаза внедрения. В работе А.А. Жукова с коллегами проведено обобщение ряда публикаций и представлены общие схемы функций концентрационных зависимостей механических свойств и износа сплавов эвтектических систем металл-фаза внедрения (Рис. 1). Из приведенных материалов следует, что критическим точкам диаграммы состояния соответствуют экстремумы и перегибы. Основой множества процессов, вследствие энергетического, механического, коррозионного, термического, разрушения железнодорожного транспорта является взаимодействие колеса и рельса. При эксплуатации колеса и рельса формируют пары трения