

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СВОЙСТВА СЛОИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Н.В. Камышанченко

г. Белгород, Белгородский государственный университет

И.М. Неклюдов, А.Т. Лопата, В.И. Сытин, В.Н. Воеводин, С.В. Шевченко

г. Харьков, ИФТТМТ ННЦ ХФТИ

Тепловые элементы ряда тепловых реакторов, а также датчики и щупы приборов контроля и управления реакторов содержат неразъёмные соединения циркония со сталями. В ядерной энергетике не существует альтернативы неразъёмным переходникам, обеспечивающим надёжность соединения, поэтому проблема получения надёжных переходниковых элементов такого типа весьма актуальна.

В настоящее время соединения между цирконием и сталью можно получать различными способами: сваркой взрывом, совместным прессованием, диффузионной сваркой, пайкой и др. [1-3]. Эти способы формирования адгезионных швов между цирконием и сталью обеспечивают композиту в исходном состоянии высокие прочностные свойства ($30-45 \text{ кг/мм}^2$) и могут успешно использоваться в изделиях, работающих при невысоких температурах. Воздействие на такие соединения повышенных температур приводит к образованию хрупких фаз на границе сопряжения составляющих и, как следствие, к потере конструктивных свойств композиционного материала.

Приведены результаты исследований термической стабильности композитов из сплавов Э110, Э125 и нержавеющей стали 12Х18Н10Т, полученных методом горячей пакетной прокатки в вакууме, пригодных для изготовления переходниковых элементов. Метод горячей прокатки в вакууме благодаря сохранению высокой чистоты контактных поверхностей при нагреве и совместной пластической деформации свариваемых металлов позволяет получать композиты любых сочетаний.

В настоящих экспериментах для получения композитов использованы циркониевые сплавы, кованные при температуре

$800+50 \text{ }^\circ\text{C}$, и сталь 12Х18Н10Т в аустенизированном состоянии. В качестве барьерных и демпфирующих слоёв в разрабатываемом композите использованы микролегированные медные и хромовые сплавы, титан, ванадий, а также тройные прослойки: медь-ниобий (ванадий) - титан, хром-ванадий-титан. Нагрев и деформацию пакетов проводили на вакуумном прокатном стане ДУО-170 конструкции ХФТИ [4]. Перед сборкой пакетов контактные поверхности металлов промывали в бензине, подвергали химическому травлению, промывали в воде и подвергали сушке. Вакуум при нагреве и прокатке поддерживался не хуже $5 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$.

Свойства композитов (влияние отжигов, температурные свойства, свойства при воздействии термоциклов и др.) получены на цилиндрических образцах, вырезанных из композитов по толщине перпендикулярно границе сопряжения слоёв. Термоциклические испытания проведены в интервале температур $200-800 \text{ }^\circ\text{C}$; при скорости нарастания температуры 50 град/мин и скорости охлаждения – 30 град./мин ; испытания продолжались до потери сплошности соединения. Толщина стенки образца составляла 2 мм .

Ресурс оценивали выдержкой образцов в вакууме при температуре $700 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 100 ч и при $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ – в течение 10 ч . Ширина интерметаллидных зон оценена методами световой микроскопии.

Результаты исследований по термическому влиянию на свойства слоистых композитных материалов на базе циркония и нержавеющей стали приведены в табл. 1 и 2.

Разрушение композитов после различных термических обработок образцов при испытаниях их на отрыв слоёв происходит по менее прочному металлу, если ширина сформировавшейся интерметаллидной зоны

Таблица 1

Влияние термических воздействий на свойства слоистого композиционного материала на основе циркониевых сплавов и нержавеющей стали

Композит	Ширина интерметаллидной зоны (мкм) после отжига, °С			Количество термоциклов до потери сплошности при циклировании 200-800 °С
	Исх	700, 100 ч	1000, 10 ч	
Цирконий-сталь	1-3	10-15		5-10
Цирконий-медь-сталь	Не обн.	Не обн.	Не обн.	80-90
Цирконий-хром-сталь	Не обн.	Не обн.	Не обн.	35-45
Цирконий-титан (ванадий)-сталь	1-3	5-10		10-15
Цирконий-титан-ванадий-хром-сталь	Не обн.	1-3	1-3	30-45
Цирконий-титан-ниобий-медь-сталь	Не обн.	Не обн.	Не обн.	90-100

Таблица 2

Прочность образцов циркониевых композитов при испытании на отрыв слоёв

Композит	Термообработка, °С					
	20		300		700	
	Предел прочности, кг/мм ²	Место разрушения	Предел прочности, кг/мм ²	Место разрушения	Предел прочности, кг/мм ²	Место разрушения
Цирконий-сталь	45	Гр	35	Гр	25	Гр
Цирконий-медь-сталь	40	Медь	27	Медь	12	Медь
Цирконий-хром-сталь	43	Хром	37	Хром	28	Хром
Цирконий-титан (ванадий)-сталь	46	Гр	32	Гр	23	Гр
Цирконий-титан-ванадий-хром-сталь	44	Ванадий, хром	34	Ванадий, хром	28	Ванадий, хром
Цирконий-титан-ниобий-медь-сталь	40	Медь	27	Медь	13	Медь

не превышает 1-3 мкм.

Исследования показывают:

-применение систем прослоек позволяет создать слоистые композиты на основе циркония и стали, пригодные для длительной эксплуатации в условиях повышенных нестационарных температурных и силовых полей;

-лучший комплекс свойств проявляют композиты с прослойкой меди или системой прослоек медь-ниобий (ванадий)-титан. При этом оптимальными режимами получения в условиях производства являются температура 850-950°С, вакуум не хуже $1 \cdot 10^{-2}$ Па, обжатие при прокатке 20-27 %;

-перспективными для нужд ядерной энергетики являются композиты с прослойками хрома, а также с системой барьерных и демпфирующих слоёв типа титан-ванадий-хром. Режимы их получения: температура прокатки – 750-850 °С, обжатие – 25-30 %. Интерметаллиды в зонах сопряжения разнородных металлов после длительных (до 100 ч при 700 °С) выдержках не проявляются. характер образцов после термообработки не меняется.

Библиографический список

- 1 Петросян А.М. Атомная энергетика.– Наука, 1976.

2. Айсфельдер, Франк К. и др. Соединения цирконий – сталь для испарительно-нагревательных ТВЭЛов // Атомная техника за рубежом.– №2.– 1969

3 Фролов Н.Г., Шилков Ю.Б. и др. Сварка совместным прессованием нержавеющей стали с цирконие-

выми сплавами //Сварочное производство.– №5.– 1974.

4. Иванов В.Е., Амоненко В.М., Тронь А.С. Высокотемпературная прокатка в вакууме металлов, сплавов и металлических материалов // УФЖ.– 1978.– №23(11).– 1782.

УДК 669-419.4:539.43

РОЛЬ МИКРОЛЕГИРОВАННЫХ ДЕМПИРУЮЩИХ И БАРЬЕРНЫХ ПРОСЛОЕК В ПОВЫШЕНИИ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ТИТАНА И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

А.Т. Лопата, И.М. Неклюдов, С.В. Шевченко, В.И. Сытин, В.И. Соколенко
г. Харьков, ИФТТМТ ННЦ «Харьковский физико-технический институт»

Изделия из композиционных материалов обладают уникальными характеристиками, сочетание которых невозможно получить в изделиях из материалов одного сорта. Слоистые композитные материалы (СКМ) являются специфическим типом композитов и играют важную роль в современном техническом процессе. Применение СКМ позволяет по-новому решить ряд сложных технических задач, повысить надежность работы конструкций. Для производства композиционных материалов, содержащих легкоокисляющиеся материалы или сплавы на их основе, в частности: титан, тантал, ниобий, цирконий, ванадий, алюминий, медь, железо, стали, – наиболее целесообразно, а в ряде случаев и единственно возможным в достижении цели является метод совместной деформации (СД). Сущность метода заключается в совместном деформировании и специальным образом подобранной искусственной среде, предварительно скомпонованных заготовок (слоев) из разнородных материалов. При оптимальном выборе соотношений между заготовками несущих, демпфирующих и барьерных слоев, а также при обеспечении оптимальных режимов процесса скоростной деформации (импульс давления, температура, остаточное давление окислительно-восстановительной атмосферы) метод обеспечивает близкую к расчетной прочность и пластичность зон соединения разнородных металлов. Метод, благодаря вакуумной чистоте и импульсному воздействию давления в процессе их соединения, позволяет получать СКМ из любых сочетаний материалов.

Разработанные к настоящему времени СКМ устойчиво работают в квазистационарных температурных и силовых полях. При эксплуатации изделий в переменных температурно-силовых полях характерно снижение прочностных и пластических характеристик, являющееся следствием изменения кристаллической структуры и напряженного состояния вблизи границ сопряжения разнородных материалов [1-2].

Слоистые композиционные материалы на основе титана и стали с барьерными и демпфирующими прослойками из меди и ниобия, созданные в ННЦ ХФТИ [3], применяются в ряде узлов современной космической техники, эксплуатируемых в квазистационарных силовых и температурных режимах.

Повышение термоциклической выносливости СКМ титан-сталь в широком интервале температур является одной из приоритетных задач.

Рис.1 иллюстрирует зависимость предела прочности и предела текучести кольцевых образцов, вырезанных из плит СКМ титан-сталь Х18Н10Т, от толщины прослойки меди и числа циклических нагревов в интервале температур 150↔900 °С. Прослойка изготовлена из меди марки М1. СКМ получали методом совместной прокатки в вакууме. Термическую стойкость СКМ с различными толщинами прослоек при циклировании определяли на образцах из плит СКМ, вырезанных так, что продольная ось образца была перпендикулярна границе сопряжения слоёв.