

3. Розраховані величини складових сили, що діють на елементах контактної поверхні зуба, дозволяють дослідити напружено-деформований стан розведеного зуба методом скінченних елементів.

1. Бершадский А.Л., Цветкова И.И. *Резание древесины*. – Минск: Высшая школа, 1975. – 304с. 2. Санев В.И. *Обработка древесины круглыми пилами*. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 232 с. 3. Санев В.И. *Закономерности изменения сил, действующих на разведенные зубья рамных пил*. – Известия вузов // Лесной журнал. – 1974. – № 2. – С. 63–69. 4. Любченко В.И. *Резание древесины и древесных материалов: Учебное пособие для вузов*. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 296 с. 5. Ребезнюк І.Т. *Визначення заднього кута при зовнішній боковій різальній крайці зуба стрічкової пилки. Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – Львів: УкрДЛТУ. 2004. – Вип 29. – С. 176–184.

УДК 621.791.72.052:669.296.5:[620.17+620.193.2]

С.В. Рибаків

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра зварювального виробництва,
діагностики та відновлення металоконструкцій

ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ЗВАРНИХ З’ЄДНАНЬ ЦИРКОНІЄВОГО СПЛАВУ В РІДКИХ КАДМІЇ І ЦЕЗІЇ

© Рибаків С.В., 2005

Розглянуто вплив рідких кадмію і цезію на механічні характеристики і корозійні властивості зварних з’єднань цирконієвого сплаву при температурі 673К. Показано, що за вибраних режимів електронно-променевого зварювання цирконієвого сплаву отримані з’єднання мають високу корозійну стійкість і міцність в кадмії, цезії та їх сумішах протягом 50 годин. Термообробка (853К, 2 год) підвищує механічні властивості сплаву та його зварних з’єднань.

Influence of liquid cadmium and cesium on mechanical and corrosion properties of welded joints of temperature 673K was investigated. It has been shown that at optimal modes of electron beam welding the joints have high corrosion resistance and strength into cadmium and cesium and its mixtures during 50 hours. Cadmium and cesium are surface active substance for zirconium alloys. It also has been established that the heat treatment at 853K during 2 hours increases mechanical properties of the alloy and its welded joints.

Цирконієві сплави широко використовуються як конструкційні матеріали для виробів, які працюють в різних агресивних середовищах. За кордоном було проведено експерименти з метою визначення характеру впливу кадмію і цезію на сплави цирकोлой-2 та цирकोлой-4 при різних температурах. У ряді випадків цезій і кадмій викликають корозію сплавів, погіршують їх механічні властивості [1–3].

Метою статті є вивчити вплив кадмію, цезію і їх сумішей на механічні властивості цирконієвого сплаву, якій містить 1 % Nb, та його зварних з’єднань при температурах до 673 К. Випробування на міцність проводили на трубчастих зразках діаметром 9,5 мм з довжиною робочої частини 45 мм і товщиною стінки 0,5 мм. Для імітації зварного шва середину робочої частини зразків проплавили електронним променем на установці ЕЛУ-5 на двох режимах: 1) Уприск.=34 кВ, струм фокусування 44 мА, Іпром.=4 мА, Vзв.=1,1 мм/с; 2) Уприск.=32 кВ, струм фокусування 44 мА, Іпром.=6 мА, Vзв.=1,8 мм/с. Після заповнення кадмієм і цезієм і герметизації зразки випробовували на розтяг на установці типу ИМАШ в вакуумі 4×10^{-3} Па. Безпосередньо перед випробуваннями зразки відпалювались на установці при температурі 853 К протягом двох годин. Випробування проводили при трьох швидкостях навантаження: $(78, 191, 478) \times 10^{-5}$ мм/с.

Крім цього, з метою виявлення можливого корозійного впливу кадмію і цезію на досліджуваний матеріал і його зварні з'єднання при довготривалих температурних витримках проводили ампульні корозійні випробування. Ампули виготовляли з трубок довжиною 15 мм. Технологія виготовлення зразків і ампул, заповнення їх робочим середовищем і герметизації детально описані в літературі [4]. Після випробувань всі зразки розрізали вздовж осі і досліджували методами металографії.

Після ампульних корозійних випробувань в середовищі кадмію, цезію та їх сумішей з витримкою при температурі до 673 К протягом 50 год не було виявлено помітних слідів корозії ні основного металу, ні зварних з'єднань.

Випробування показали, що вплив кадмію і цезію на механічні властивості цирконієвого сплаву з 1 % Nb починає помітно проявлятися тільки при температурі 673К. Всі подальші дослідження проводили при цій температурі.

Підвищення швидкості навантаження при випробуваннях на міцність основного матеріалу приводить до збільшення міцності і зменшення відносного видовження і звуження. При більш високій швидкості деформації досліджувані середовища більше впливають на механічні властивості сплаву. Так, за швидкості навантаження 191×10^{-5} мм/с міцність під дією кадмію зростає на 24 МПа, а за швидкості навантаження 478×10^{-5} мм/с – на 57 МПа порівняно з міцністю за швидкості деформації 78×10^{-5} мм/с. Тому всі основні випробування проводили за швидкості деформації 478×10^{-5} мм/с. Усереднені результати випробувань наведено в таблиці.

Відпал зразків при температурі 853К протягом 2 год підвищує механічні властивості матеріалу за рахунок зняття залишкових напружень.

Під час випробувань у вакуумі встановлено, що наявність зварного шва на зразках приводить до зміцнення матеріалу та зниження його пластичності. При цьому наступний відпал повністю не відновлює ці характеристики, зразки пластично деформуються в основному по обидва боки шва, і руйнування відбувається по основному металу, якій зберігає достатньо високу пластичність. Найбільш високі механічні властивості було виявлено в зразках після зварювання за режимом 2.

Кадмій у всіх випадках знижує пластичність зразків; поверхня злому має ознаки крихкого руйнування. Міцність зразків без шва значно вища, ніж у зразків, які піддавалися термічному впливу зварювання, особливо за режимом 2. Збільшення кількості кадмію від 2,5 до 4 мг/см² вносить незначні зміни: опір руйнуванню підвищується на 15–20 МПа, а відносне видовження знижується не більше ніж на 2 %.

Вплив цезію на механічні властивості сплаву та його зварних з'єднань неоднозначний. Так, під час випробувань зразків без шва дещо підвищується межа міцності; руйнування, як і раніше, в'язке. Збільшення кількості цезію від 0,7 до 3 мг/см² до будь-яких змін не приводить. Зразки, зварені за режимом 1, значно зміцнюються, зберігаючи пластичність на попередньому рівні. Пластичній деформації піддається основний метал, руйнування має ознаки крихкого і відбувається в зоні термічного впливу або по зварному шву. Якщо ж зразки піддавалися впливу термічного циклу зварювання за режимом 2, то цезій, на відміну від попереднього випадку, знижує межу міцності і досить значно – пластичність зразків. Тоді поверхня злому містить більше ознак крихкого руйнування, яке може відбуватися як по шву, так і по основному металу. Під час випробувань зварних зразків збільшення кількості цезію дещо підсилює вплив середовища (межа міцності зменшується на 10...15 МПа).

Вплив суміші кадмію і цезію на властивості сплаву залежить як від співвідношення компонентів суміші, так і від термічного впливу. Так, у зразків без зварного шва зростає міцність і знижується пластичність тим більше, чим більша кількість кадмію. На зломі можна спостерігати ознаки як в'язкого, так і крихкого руйнування. У зварних зразках вплив суміші кадмію і цезію знижує усі показники механічних властивостей, метал стає більш крихким. Однак, в зразках зварених за режимом 1, за умови збільшення кількості кадмію різко підвищується міцність, і руйнування відбувається по зварному шву або по зоні термічного впливу, а за використання режиму 2 більш помітно знижуються всі характеристики за умови збільшення кількості цезію у суміші, а руйнування відбувається по основному металу (таблиця).

Механічні властивості цирконієвого сплаву з 1 % Nb і його зварних з'єднань при температурі 673 К і швидкості деформації 478×10^{-5} мм/с

Середовище		Вихідний матеріал	Після відпалу	ЕПЗ (режим 1) + відпал	ЕПЗ (режим 2)
Вакуум	σ_B , МПа	160	210	247	290
	δ , %	16	23	15	15
	Ψ , %	20	48	27	33
Cd (2,5 мг/см ²)	σ_B , МПа	241	286	237	235
	δ , %	15	17	11	11
	Ψ , %	38	45	23	23
Cd (2 мг/см ²)+ Cs (0,7 мг/см ²)	σ_B , МПа	–	298	191	262
	δ , %	–	14	35	9
	Ψ , %	–	17	9	12
Cd (2 мг/см ²)+ Cs (3 мг/см ²)	σ_B , МПа	174	266	230	240
	δ , %	18	20	8	8
	Ψ , %	24	32	11	11
Cs (0,7 мг/см ²)	σ_B , МПа	185	230	300	270
	δ , %	17	16	16	10
	Ψ , %	47	47	22	15

Результати металографічних досліджень свідчать, що як під час ампульних корозійних випробувань протягом 50 год, так і під час випробувань на міцність при температурі 673 К корозійного впливу кадмію і цезію на цирконієвий сплав з 1 % Nb не спостерігається, якщо основний метал або рідкометалеве середовище в процесі виготовлення та заповнення зразків не забруднено сторонніми домішками. Тріщин і пор в зварних швах не виявлено. Структура основного металу являє собою дрібнозернисту α' -фазу. В зоні термічного впливу зерна зростають. Зварний шов має крупнозернисту структуру α' -фази. Розмір зерна співрозмірний з товщиною стінки зразків. У процесі випробувань змін мікроструктури не спостерігається.

Висновки

1. Цирконієвий сплав з 1 % Nb та його зварні з'єднання, отримані електронно-променевим зварюванням, мають високу корозійну стійкість, зберігають достатньо високу міцність в кадмії, цезії та їх сумішах в дослідженому діапазоні кількості цих елементів і часу витримки при температурах до 673 К.
2. Термічне оброблення (відпал при 853 К протягом 2 год) підвищує механічні властивості сплаву і його зварних з'єднань.
3. Кадмій, цезій та їх суміші впливають на цирконієвий сплав з 1 % Nb та його зварні з'єднання як поверхнево активне середовище, дещо змінюючи їх механічні властивості.
4. Для забезпечення оптимального співвідношення міцності і пластичності зварних з'єднань режим зварювання необхідно вибирати з врахуванням складу рідкого металу, який контактує зі з'єднанням. Шви, які контактують з кадмієм та його сумішшю з цезієм, раціонально зварювати за режимом 2, а ті, що контактують тільки з цезієм – за режимом 1.

1. *Материалы для ядерных реакторов / Пер. с англ. – М.:Атомиздат, 1963. – 351 с.*
 2. *Коррозия циркония и его сплавов / Пер. с англ. – М.:Атомиздат, 1967. – 240 с.*
 3. *Электронно-лучевая сварка циркония / Б.А. Задерий, Г.К. Харченко, Л.Н. Ягупольская, А.Л. Тихоновский/ Автомат.сварка. – 1970 – № 12 – С. 70–71.*
 4. *Высокотемпературная работоспособность тугоплавких металлов и сплавов в агрессивных средах / Г.Г. Максимович, В.Ф. Шатинский, Е.И. Лютый и др. – К.: Наукова думка, 1982. – 224 с.*