

ПРОКАТКА В ВАКУУМЕ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**В.Ф. Зеленский, И.М. Неклюдов, С.Ю. Диденко,
Н.И. Ильченко, Н.В. Камышанченко, А.Т. Лопата**

В работе указаны различные способы твёрдофазной сварки слоистых металлических композитов. Кратко изложены результаты применения метода горячей прокатки в вакууме для получения композиционных металлических материалов слоистого типа, приведены некоторые типы слоистых композитов. Отмечены особенности оборудования, используемого для прокатки металлов в вакууме. Представлены схема одного из последних вариантов прокатно-сварочных станков типа СВАПП-1 и технологическая схема изготовления плоского режущего инструмента из биметаллического композита с использованием метода горячей прокатки в вакууме.

Одним из видов композиционных материалов являются слоистые би- и многослойные композиты. Они получают путем сварки в единое целое двух и больше слоев или любых объёмов различных конфигураций необходимого сорта металла, сплава или соединения. В инженерной и производственной практике известны два способа сварки слоистых материалов: сварка с расплавом контактных поверхностей слоев и твёрдофазная сварка. Во многих случаях оптимальные свойства сварных соединений достигаются только с использованием твердофазных методов.

Существуют различные способы твердофазной сварки биметаллов слоистых металлических композитов: диффузионная сварка, сварка взрывом, сварка трением, сварка холодной и горячей прокаткой герметизированных пакетов [1-7]. Каждый из них имеет свои особенности.

Диффузионная сварка в вакууме [1-3] используется при высоких температурах и не имеет ограничений по толщине, количеству и типу материалов свариваемых слоев. Основным недостатком метода является длительность процесса и малая площадь получаемых заготовок.

Сварка взрывом [1, 2, 4, 7] используется, в основном, для изготовления крупногабаритных (площадью до нескольких десятков квадратных метров) двухслойных композитов, которые преимущественно состоят из толстого (30-50 мм) слоя сравнительно дешевой конструкционной стали и относительно тонкого (5-10 мм) плакированного слоя из дорогого металла или сплава. Но для сваривания многих тонких слоев, особенно из малопластичных металлов и сплавов, этот способ сварки непригоден.

Сварка горячей прокаткой герметизированных пакетов [1, 4, 5] является одним из основных методов, используемых промышленностью для получения слоистых материалов на существующем прокатном оборудовании. Необходимость герметизации пакетов является одним из недостатков этого метода.

Сварка совместной холодной прокаткой [4, 5] используется для изготовления относительно тонких композитных лент из высокопластичных металлов.

Для производства композиционных материалов слоистого типа, содержащих легкоокисляющиеся металлы или сплавы на их основе (титан, тантал, ниобий, цирконий, высоколегированные стали и сплавы), наиболее перспективным, а в ряде случаев и единственно возможным, является метод горячей прокатки в вакууме (метод ГПВ). Сущность этого метода заключается в нагреве и деформировании путем прокатки в условиях вакуума пакетов, составленных из слоев свариваемых металлов. Благодаря отсутствию расплавления и интенсивного окисления свариваемых металлов метод ГПВ обеспечивает высокую прочность и пластичность границ раздела разнородных металлов.

ННЦ «Харьковский физико-технический институт» является пионером в мировой практике использования вакуума для горячей прокатки металлов [6, 8 - 11]. В институте выполнен большой комплекс научно-исследовательских, технологических и конструкторских разработок в области изучения возможностей метода ГПВ для получения различных композитов, исследования свойств таких материалов и создания технологического оборудования для реализации технологий, основанных на методе ГПВ. Научно обоснованы и экспериментально подтверждены следующие возможности способа ГПВ и особенности сварных соединений:

- с его помощью можно осуществлять твердофазную сварку любых сочетаний разнородных металлов, в том числе сварку таких несвариваемых традиционными методами пар металлов, как, например, медь и молибден, алюминий и сталь, титан и сталь и др.;

- прочность и вакуумная герметичность соединения слоев сваренных металлов; при любых видах механических испытаний разрушение композитов происходит по наименее прочному металлу, но не по границе раздела слоев;

- пространственное расположение и соотношение толщин слоев могут быть практически любыми;

- высокий коэффициент использования металла и хорошее качество поверхности;

- исходным сырьём для получения композитов могут быть как обычные виды металлопроката, так и различные дисперсные материалы; металлические порошки и порошковые смеси металлов и неметаллов, металлическая стружка, проволока и различные другие дисперсные отходы, образующиеся при обработке металлов резанием.

В качестве иллюстрации практического применения описанных возможностей метода ГПВ, приведем лишь некоторые типы слоистых композитов, разработанных в ННЦ ХФТИ.

1. Переходниковые биметаллы типа тугоплавкий металл – нержавеющая сталь с промежуточными прослойками, в которых тугоплав-

кая составляющая может быть выполнена из титана, ниобия, молибдена и других металлов или сплавов на их основе. Рациональный выбор промежуточных прослоек обеспечивает биметаллическим переходникам высокую прочность, ударную вязкость, вакуумплотность и коррозионную стойкость, а также работоспособность при высоких температурах в течение длительного времени. Так, например, использование промежуточных прослоек ниобий-медь в биметаллах титан-сталь обеспечило переходникам, изготовленным из этого биметалла, высокую прочность при температурах от -196 до 1000 С (рис.1) [12, 13]. Для биметаллов типа ниобиевый сплав-нержавеющая сталь опробованы системы прослоек из тантала, тантал-железо, ванадий-железо и др., обеспечивающие высокую прочность и вакуумплотность соединения основных компонентов биметалла при температурах до 1100°C [14].

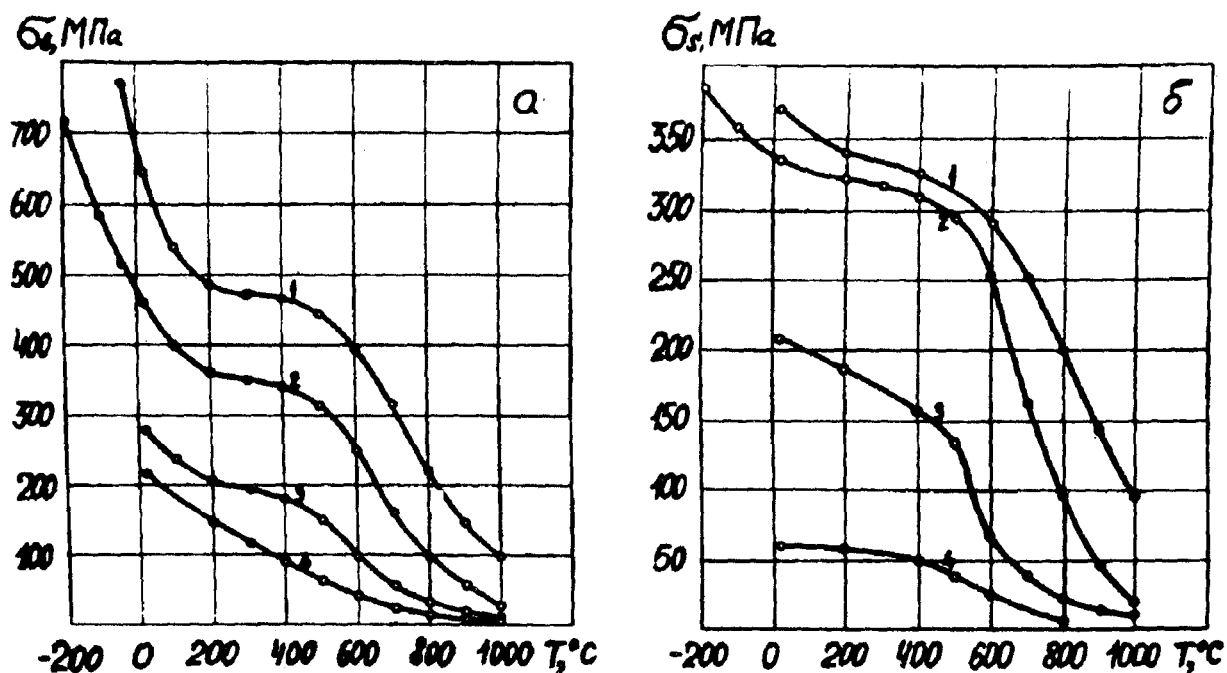


Рис. 1. Зависимость предела прочности σ_y (а) и предела текучести σ_s (б) материалов от температуры испытаний: 1 - сталь 12X18H10T; 2, 3 - биметаллы ВТбс - 12X18H10T с прослойками меди толщиной 0,35 и 1,6 мм соответственно (толщина прослойки ниобия 0,2 мм); 4 - медь М1.

2. Многослойные композиты, состоящие из чередующихся слоев различных тугоплавких металлов и сплавов на их основе. Сочетание в композите металлов с различными физико-механическими свойствами позволяет достичь весьма высоких значений удельной прочности, жесткости и пластичности в интервале $20-1200^{\circ}\text{C}$. Так, например, многослойные листы из ниобия и молибдена обладают пластичностью ниобия и прочностью молибдена даже при содержании молибденовой составляющей около 70-75% от толщины листа [15].

3. Композиты – заменители дефицитных и дорогостоящих металлов и сплавов типа тантал-ниобий, тантал-ниобий-тантал, тантал-сталь, серебро-сталь и др. Так, например, разработан метод получения заменителя тантала в виде лент тантал-ниобий-тантал (16, 17]. При этом толщина слоев тантала может достигать нескольких микрон. Биметаллические трехслойные заготовки получают по методу ГПВ, а дальнейшая прокатка их в ленту осуществляется на атмосфере. На рис. 2 представлены температурные зависимости предела прочности и относительного удлинения такого композита. Использование трехслойных листов тантал-ниобий-тантал вместо танталовых позволяет значительно уменьшить расход дефицитного тантала, не снижая качества изделий.

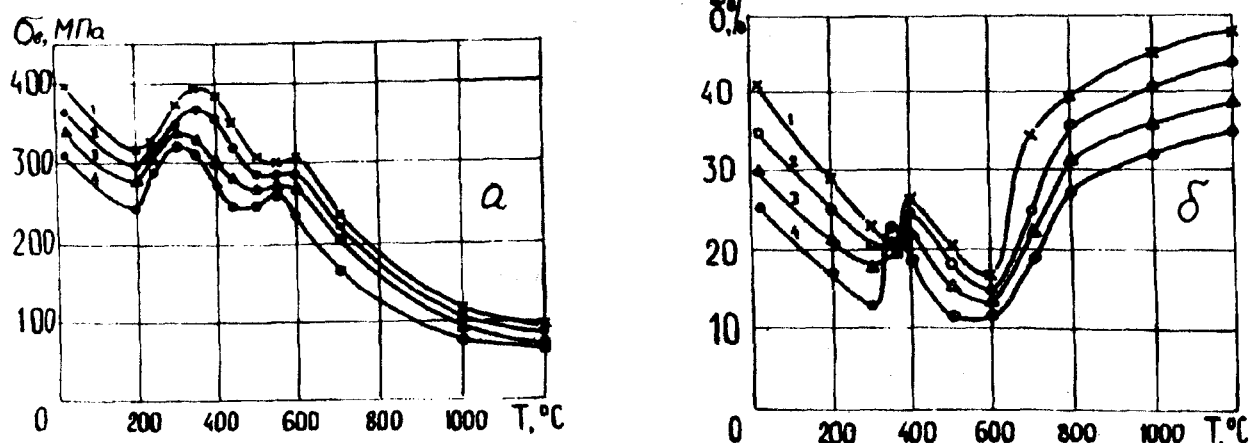


Рис. 2. Зависимость предела прочности σ_0 (а) и относительного удлинения δ (б) от температуры: для 1 - тантала; 2 и 3 - для композиций Ta-Nb-Ta с 20 и 40 % Ta соответственно; 4 - для ниобия.

4. Высокопрочные антифрикционные биметаллы на основе сталей с плакирующим слоем из бронз и других антифрикционных сплавов. Использование в качестве исходного сырья порошков из сплавов на основе меди или алюминия с высоким содержанием олова и свинца позволяет получать изделия с высокими антифрикционными свойствами для тяжело нагруженных узлов трения.

5. Инструментальные биметаллы, состоящие из слоев дешевой конструкционной стали и дорогостоящего высоколегированного режущего материала. Объем режущего материала, в зависимости от типа изготавливаемого инструмента, может составлять от 10 до 30% общего объема биметаллической заготовки. Понятно, что себестоимость инструмента из биметаллической заготовки значительно меньше себестоимости аналогичного инструмента, целиком изготовленного из инструментального материала. Кроме того, биметаллический инструмент обладает повышенными демпфирующими

свойствами, что благоприятно сказывается на его работоспособности и качестве обработки деталей.

Разработаны технологии получения инструментальных биметаллов, предназначенных для изготовления любых типов плоского режущего инструмента и многих видов осевого инструмента. На рис.3 представлена технологическая схема изготовления плоского режущего инструмента из биметалла. В качестве материала для режущего слоя биметаллических заготовок можно использовать любые марки инструментальных и быстрорежущих сталей как в виде проката, так и в виде порошка или стружки, которая накапливается в инструментальном производстве. Кроме того, метод ГПВ позволяет использовать также порошковой стали с карбидами или нитридами тугоплавких металлов. Разработаны технологии получения биметаллов с режущим слоем из материалов типа «Coronite» или «Ferro-TiC».

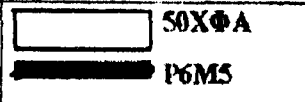
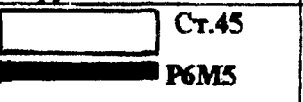






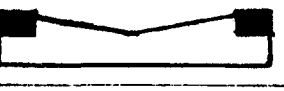





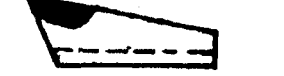
| Операция | Тип инструмента | | |
|--|---|--|---|
| | Полотно ножовочное | Сегмент к круговой пиле | Нож к дисковой фрезе |
| Изготовление составляющих пакета |  50XФА P6M5 |  Ст.45 P6M5 |  Ст.45 P6M5 |
| Изготовление пакета |  |  |  |
| Сварка пакета |  |  |  |
| Вырубка пакета |  |  |  |
| Изделие |  |  |  |

Рис. 3. Техническая схема изготовления режущего инструмента из биметалла

По сравнению с другими способами получения инструментальных биметаллов, например, со сваркой электронным пучком, метод ГПВ позволяет сваривать с высокой производительностью заготовки большого сечения. В качестве примера на рис.4 приведены сваренные по методу ГПВ заготовки для сегментов круглых сегментных пил толщиной 6-15 мм.

Основой для широкомасштабного промышленного использования метода ГПВ является создание высокопроизводительного технологического оборудования. НИЦ ХФТИ имеет богатый опыт конструирования различных вакуумных прокатных станов и специализированных прокатно-сварочных установок. Рабочая клеть первого стана, созданного в институте, со всеми вспомогательными механизмами, за исключением редуктора и

двигателя, находилась в вакуумной камере [8, 9]. Размеры клетки, а следовательно, и мощность стана были ограничены габаритами камеры. В дальнейшем были созданы конструкции, отличающиеся тем, что сама клеть стана стала частью вакуумной системы (например, установка типа Дуо-170) [19]. В этих станах в вакууме находятся только рабочие части валков с проводками, нагревательные печи и манипуляторы. Опорные подшипники, нажимное устройство и другие вспомогательные механизмы находятся вне вакуума. Вакуумный прокатный стан Дуо-170 получил широкое применение как в лабораторной, так и в заводской практике, а его конструкционные особенности использованы при создании мощных промышленных вакуумных прокатных станков и прокатно-сварочных установок [9, 20].

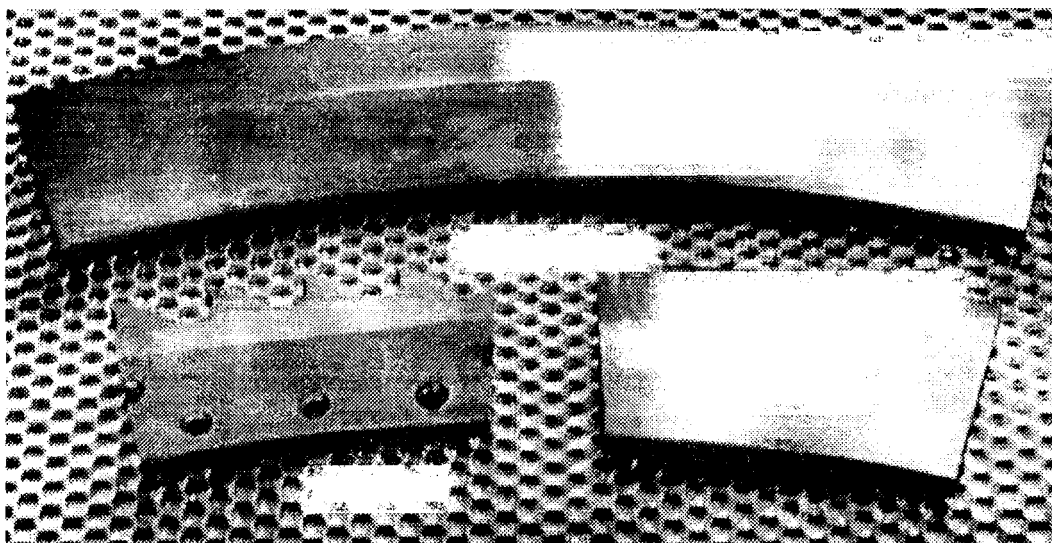


Рис. 4. Биметаллическая заготовка типа «конструкционная сталь – быстрорежущая сталь», полученная по методу ГПВ, и изготовленный из такой заготовки сегмент для круглой сегментной пилы.

Один из последних действующих прокатных вакуумных станков нового поколения СВАПР-1 представляет собой полуавтоматический единый комплекс вакуумного прокатного и термического оборудования, позволяющий производить подачу заготовки, её нагрев перед прокаткой, прокатку на заданную степень и термическую обработку в вакууме. Основные технологические модули установки показаны на рис.4. После загрузки подготовленных к сварке пакетов в камеру загрузки и её откачки до давления порядка 10^{-1} Па открывается вакуумный затвор, соединяющий камеру загрузки с остальным объёмом установки. Далее пневмотолкатель перемещает первый пакет в полость индукционного нагревателя, установленного в камере нагрева. В зависимости от массы и требуемой температуры нагрев пакета длится несколько минут. Перемещение нагретого пакета в рабочие валки осуществляется в едином цикле с загрузкой следующего пакета в индуктор – перемещаемый пневмотолкателем холодный пакет своим передним концом выталкивает нагретый в валки, расположенные в рабочей камере. Прокатанный на заданную степень сваренный пакет поступает в камеру выгруз-

ки. После окончания прокатки всех загруженных в установку пакетов закрываются затворы на камерах загрузки и выгрузки и производится их развакуумирование. Из камеры выгрузки извлекаются сваренные пакеты, а в камеру загрузки помещается следующая стопа пакетов-заготовок.

Отличительной особенностью установки СВАПР (рис. 5), выполненной по схеме «валки-камера», является ступенчатая переналадка зазора между рабочими валками. Возможность вертикального перемещения валков без развакуумирования необходима для обеспечения только многопроходной прокатки металлов. Сварка же разнородных металлов осуществляется за один проход с относительным обжатием, одинаковым для данной партии пакетов, т.е. переналадка оборудования в технологическом цикле не требуется. Отказ от сложной конструкции плавающих уплотнений, применяемых в вакуумных прокатных станах, позволил значительно повысить технологическую надёжность прокатно-сварочной установки и упростить ее эксплуатацию.

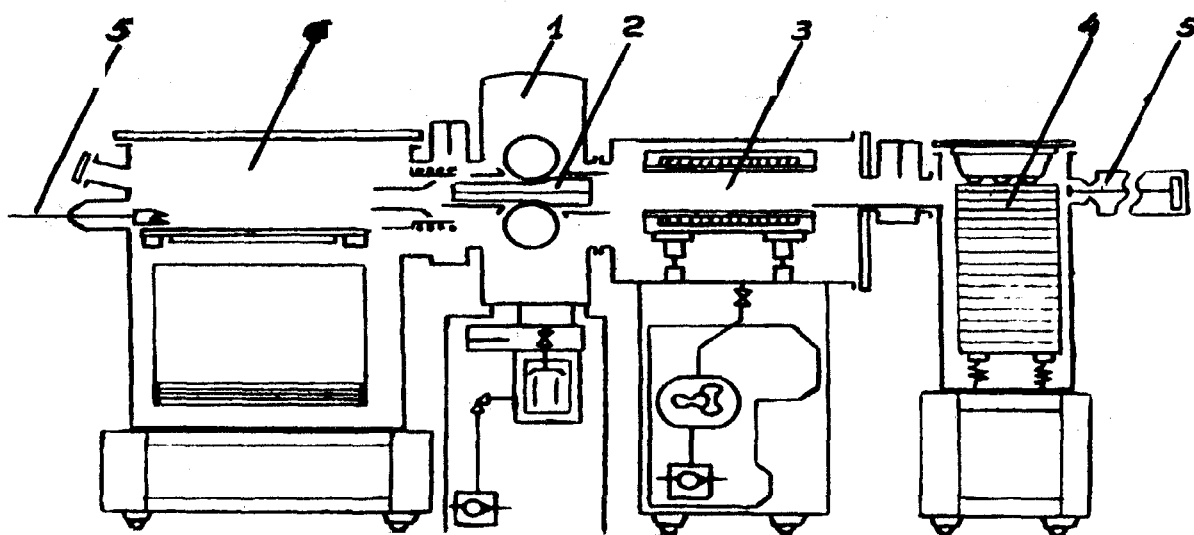


Рис. 5. Схема вакуумного прокатного стана СВАПР-1; 1 - клеть стана; 2 - прокатываемая заготовка; 3 - печь нагрева заготовки; 4 - камера загрузки; 5 - манипуляторы; 6 - камера выгрузки.

Установка СВАПР-1 имеет следующие технические характеристики:

- рабочий вакуум – до 10^{-2} Па;
- температура нагрева пакетов – до 1250°C ;
- наибольшие размеры свариваемых пакетов – толщина 40 мм, ширина 125 мм и длина 500 мм и более;
- установленная мощность – 150 кВт;
- расход охлаждаемой воды - $3 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- площадь, занимаемая установкой, – 40 м^2 ;
- высота установки – 2,2 м;
- производительность – до 100 кг слоистого материала в час.

Таким образом, использование метода ГПВ открывает широкие возможности для создания новых видов и конструкций различных инструмен-

тов. Например, из заготовок, получаемых по методу ГПВ, можно изготавливать инструмент, самозатачивающийся в процессе резания, а также различные самозатачивающиеся режущие органы почвообрабатывающих машин и оборудования для пищевой промышленности.

Приведенный перечень примеров свидетельствует о том, что метод ГПВ и композиты, получаемые по этому методу, обладают широкими потенциальными перспективами коммерческого использования в самых различных отраслях машиностроения. Такого же мнения придерживаются и исследователи из других стран, включившиеся в последнее время в проведение исследовательских и технологических работ по применению метода ГПВ [18].

ЛИТЕРАТУРА

1. Композиционные материалы: В 8 т./ Пер. с англ. Под ред. Л.Браутмана и Р.Крока. - М.: Машиностроение, 1978.
2. Каракозов Э.С. Сварка металлов давлением.-М: Машиностроение, 1986. - 280с.
3. Мусин Р.А., Анциферов В.Н., Квасницкий В.Ф. Диффузионная сварка жаропрочных сплавов. - М.: Металлургия, 1979. - 208 с.
4. Потапов И.Н., Лебедев В.Н., Кобелев А.Г. и др. Слоистые металлические композиции. - М.: Металлургия, 1986. -216 с.
5. Голованенко А.С. Сварка прокаткой биметаллов.-М.: Металлургия, 1977.-158с.
6. Крупин А.В. Прокатка металлов в вакууме.-М.: Металлургия, 1974. -248 с.
7. Плакирование стали взрывом/Под ред. А.С. Гельмана.-М.: Металлургия, 1978.-191 с.
8. Иванов В.Е., Ковтун С.Ф. Вакуумная прокатка химически активных металлов// Цвет. металлы. - 1962. - № 11. - С.15-17.
9. 50 лет Харьковскому физико-техническому институту АН УССР. - Киев: Наук. думка, 1978. - 320 с.
10. Иванов В.Е., Амоненко В.М., Тронь А.С. Высокотемпературная прокатка в вакууме металлов, сплавов и многослойных материалов // УФЖ. - 1978. - Т. 23. - №11 - С.1782-1789.
11. Blickensderfer R. Roll Cladding in a Vacuum. Advanced Materials and Processes, Metal. Progress, 4, 1989. -p. 47-52.
12. Амоненко В.М., Эпов Г.А., Тронь А.С. и др. Освоение технологии получения высокопрочных биметаллов титан-сталь прокаткой в вакууме//Электронная техника. Сер.6. Материалы. - 1973. - Вып. 5. - С. 3-9.
13. Иванов В.Е., Амоненко В.М., Тронь А.С. и др. Свойства соединения титановых сплавов со сталью, полученных через тонкие металлические прослойки // ФиХОМ. - 1971. - №2. - С. 101-105.
14. Тронь А.С., Шейко М.И., Эпов Г.А. Получение и свойства биметаллов ниобий-сталь 12Х18Н10Т // Электронная техника. Сер. Материалы. - 1976. - Вып. 3. - С.3-6.
15. Ажажа В.М., Ковтун Г.П., Амоненко В.М. и др. Свойства многослойных металлических композиций из тугоплавких металлов//ФиХОМ. - 1967. - № 5. - С. 79.
16. Амоненко В.М., Тронь А.С., Лопата А.Т. Получение и свойства трехслойных лент тантал-ниобий-тантал//Электронная техника. Сер. 6. Материалы. - 1975. - Вып. 2. - С.22-28.
17. Тронь А.С., Забашта Л.А., Свительников В.Я. и др. Параметры взаимной диффузии в слоистом композите ниобий-тантал//ФиХОМ. - 1983. - № 5. - С.100-103.

18. Rolling of Clad Sheets in a Vacuum. J. Jap. Soc. Mech. Eng., 82, 1989. -p.467.
19. Амоненко В.М., Тронь А.С., Мухин В.В., Тарасов В.А. Вакуумный прокатный стан//Сталь. – 1960. - № 10. - С.920-923.
20. Скоробогатский И.Н., Сыропятов В.Г., Тронь А.С. Модернизированный стан 300 для горячей прокатки биметаллов в вакууме//Электронная техника. Научно-техн. сб. Материалы. – 1976. - Вып. 2. - С.122-126.

ПОЛИМЕРНЫЕ КОНТЕЙНЕРЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ РАДИОНУКЛИДОВ

В.И. Павленко, О.А. Маракин

Неуклонное расширение областей применения радиоактивных изотопов требует обеспечения радиационной безопасности, в частности при хранении и транспортировке радионуклидов. Основной проблемой в данной области является отсутствие облегченных радиационно-защитных материалов с высокоэффективным комплексом технологических, эксплуатационных, экологических и экономических показателей.

В этом направлении наиболее перспективны и технологичны полимерные композиционные материалы (КМ). В мировой практике радиационно-защитные полимерные композиты представлены в основном в виде полиэтилена, наполненного дисперсным металлическим свинцом и боросодержащими добавками. Это известные материалы «Неустроп» (В/О «Изотоп», Россия) и «Light-Lead», «Pb-B-Poly» (США). Такие полимерные композиты представляют собой механическую смесь различных компонентов и, как результат, имеют низкие эксплуатационные характеристики.

Новый подход к решению задачи получения высокоэффективных радиационно-защитных полимерных композитов получил развитие в Белгородской государственной технологической академии строительных материалов. Разработанная технология позволяет получать ультрадисперсные металлоолигомерные наполнители с размером частиц до 1 мкм. Объемную массу наполнителя-олигомера можно регулировать по отношению к объемной массе полимерной матрицы различного состава. В процессе механохимической активации материалов и радиационного облучения достигается возможность получения однородной пространственношпигитой системы с высокими конструкционными и радиофизическими характеристиками :

- плотность - от 1.3 до 5.5 г/см³;
- прочность на изгиб - до 60 МПа;
- прочность на сжатие - до 140 МПа;
- легкая дезактивируемость;