

С 345 И

Демьянов А. В и др.

Б1-9-86-37

+



1968/86

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б1-9-86-37

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1986

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ
ИЗ ДУГОВОГО ЦИКЛОТРОННОГО ИСТОЧНИКА С
КАТОДАМИ, ИЗГОТОВЛЕННЫМИ МЕТОДОМ ПОРОШ-
КОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ.

Б1-9-86-37

Демьянов А.В., Кулиш А.Н., Линев А.Ф., Папаш А.И.
Институт Ядерных Исследований АН УССР, г. Киев
Паничкина В.В., Радченко П.Я., Скороход В.В.
Институт Проблем Материаловедения АН УССР, г. Киев
Богомолов С.Л., Ефремов А.А., Кутнер В.Б., Пасяк А.С.
Объединенный Институт Ядерных Исследований, г. Дубна

В настоящее время пучки тяжелых ионов находят широкое применение как в фундаментальных физических исследованиях, так и в решении многих научно-технических и прикладных задач./1/ Решение этих задач во многом связано с созданием и развитием ускорительной базы для получения интенсивных пучков тяжелых ионов, возможностями используемых в ускорителях источников многозарядных ионов /м.з.и./. В связи с актуальностью проблемы в последние годы наряду с традиционным дуговым источником м.з.и. разрабатываются новые типы ионных источников: лазерный источник /2/, электронно-лучевой /3/, источник на электронно-циклотронном резонансе /4/.

Однако для решения многих задач требуются интенсивные пучки тяжелых ионов, которые могут быть получены из дугового источника с подогревным катодом /5/, который является в этом случае наиболее эффективным и используется в настоящее время на многих ускорителях.

Основным элементом, определяющим как интенсивность ионов различных зарядностей, так и время непрерывной работы ионного источника дугового типа является катод, режимам работы которого посвящен ряд исследований /6,7/. Как отмечалось в работе /6/, разрушение катода, которое происходит за счет ионной бомбардировки со стороны разряда, во-первых сокращает срок службы ионного источника, а во-вторых изменяет геометрию разряда за счет оседания распыленного материала катода на стенках разрядной камеры. Происходит также дополнительное поступление в разряд нейтральных атомов, что приводит к снижению выхода многозарядных ионов из источника. Для получения многозарядных ионов в источнике данного типа необходимо иметь достаточно высокое напряжение разряда /500÷1000 В/ при токе 15÷20 А, что также налагает дополнительные требования на конструкцию и материал катодного узла.

Таким образом, материал катода должен обладать хорошей теплопроводностью, высокой работой выхода, малым коэффициентом распыления и высокой точкой плавления.

В результате исследований и эксплуатации установлено /6/, что в определенной степени этим требованиям удовлетворяют катоды из вольфрама и тантала. Вольфрамовые катоды в настоящее время изготавливаются из прокованных прутков. При температуре до 800°C этот материал является хрупким, поэтому его механическая обработка затруднительна и достаточно трудоемка. Представляет интерес возможность получать катоды ионного источника спеканием вольфрамового порошка, что позволяет исключить механическую обработку. Этим исследованиям посвящена настоящая работа.

Эксперименты с катодами показали, что одним из основных требований к спеченным катодам является получение изделий с плотностью, близкой к теоретической. Получение такой плотности спеканием очень трудная технологическая задача, т.к. спеченный металл практически всегда содержит остаточные поры в количестве 5÷8%. Вместе с тем, в ряде случаев ниже некоторого значения пористости работоспособность изделия меняется мало. Поэтому для катодов необходимо было определить критическую величину плотности, выше которой характеристики катодов удовлетворяли бы перечисленным требованиям.

Для изготовления катодов /Рис.1/ был использован дисперсный порошок вольфрама с размером частиц $0,5\div 1$ мкм. Такой порошок активно уплотняется при нагреве. Кроме того, для снижения температуры обработки и повышения плотности спеченных заготовок в порошок дополнительно вводили в качестве активатора небольшие количества никеля /до 0,5%/8/. Катоды изготавливались прессованием порошка в соответствующих прессформах и однократным спеканием. Полученные таким образом катоды имели плотность $17,71\div 18,72$ г/см³ и пористость от 2,7% до 8,0%.

Скорость распыления катода в дуговом разряде зависит также от микроструктуры образца, точнее от среднего размера зерен. На Рис.2 приведены микроструктуры катодов равной плотности, но с различными размерами зерен. Отчетливо видно, что в процессе работы катода происходит рекристаллизация металла, но ее полнота зависит от начального размера зерна. Чем меньше размеры зерна после спекания, тем ^{до} ~~меньших~~ ^{размеров зерен} рекристаллизуется вольфрам, движение границ тормозится расположенными на них мелкими порами. При данных токовых нагрузках эрозивный износ катодов с мелкозернистой структурой выше, а отрыв материала происходит по границам зерен в виде целых колоний. В крупнозернистом

материале эрозионный износ меньше и происходит постепенно с плоскостей больших зерен. По мере уменьшения зерна возможен его вырыв по границе остатка. Подобная картина наблюдается и на кованых катодах.

Испытания спеченных катодов проводились на стенде ионных источников и циклотроне У-300 ЛЯР ОЯИ, а также на стенде /9/ и циклотроне У-240 ИЯИ АН УССР. Было испытано несколько десятков катодов с различными параметрами. В качестве рабочих газов использовались азот и аргон. Параметры разряда ионного источника определялись оптимальным режимом, соответствующим максимальному выходу высокозарядных ионов / Ag^{+6} и Ag^{+7} /. Расход материала определялся взвешиванием катода до и после работы. Источник работал с частотой 100 Гц и длительностью импульса тока дуги приблизительно 1,7 мс. Результаты испытаний приведены в Таблице I.

Таблица I.

Результаты испытаний спеченных катодов.

Плотность г/см ³	Пористость %	Ток дуги, А	Напряж. дуги, В	Ток ионов Ag, mA							Расход г/час
				+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	
18,68	2,7	6,0	600	14	26	30	18	8	1,0	0,10	0,430
18,61	3,0	6,5	650	13	22	37	18	8	1,0	0,13	0,440
18,64	2,9	5,5	600	15	26	31	19	6	1,0	0,10	0,370
16,57*	14,1	6,5	600	10	27	32	20	6	0,6	0,03	0,380
17,75	8,0	6,5	600	14	28	30	17	7	0,6	0,06	0,370
18,29	5,0	6,0	650	19	29	29	18	5	0,8	0,08	0,450
18,23	5,4	6,0	600	13	31	33	15	5	0,7	0,07	0,360

*Без добавки никеля.

Как видно, в случае катодов с плотностью ниже 18,0 г/см³ наблюдается снижение выхода ионов высоких зарядностей. Кроме того эти катоды обладают недостаточной механической прочностью, вследствие чего часто имеет место раскалывание при постановке их в катодный узел. Наилучшие результаты получены с катодами имеющими плотность выше 18,6 г/см³ и пористость 2,7-3,0%. При использовании этих катодов в стендовых испытаниях и при работе на циклотроне У-300 получены пучки м.з.и. сравнимые с результатами работы ионного источника с катодами из кованого вольфрама. Срок службы ионного источника на циклотроне У-300 при

ускорении ионов $^{22}\text{Ne}^{+4}$ составил около 20 часов. В настоящее время катодные узлы, все детали которых изготовлены методом порошковой металлургии /Рис. 1/, используются на ионных источниках изохронного циклотрона У-240 ИЯИ АН УССР, где получены ионы С, О, N, Ag, Kг. Такие детали катодного узла, как держатель катода и экран, спекаются из молибденового порошка. Точность изготовления составляет 0,1 мм, что позволяет осуществлять сборку всего катодного узла без трудоемкой механической обработки.

Метод порошковой металлургии позволяет получать не только металлические, но и композиционные вольфрамовые катоды, в которых в металлической матрице равномерно распределены дисперсные включения требуемой второй фазы, что дает возможность таким образом вводить в разряд атомы других твердых веществ. Для примера на Рисунке 3 приведена структура катода, содержащего 5 объемных процентов оксида алюминия. Такие катоды получены прессованием и спеканием порошковой смеси вольфрама и Al_2O_3 . По-видимому не представляет трудности введение в вольфрамовую матрицу дисперсных частиц карбидов, боридов, нитридов соответствующих элементов. Использование дисперсных исходных порошков позволяет получить равномерно распределенные частицы оксида размером до 1 мкм. Таким же способом были получены катоды с 10 об.% Al_2O_3 . По мере распыления катода в разряд непрерывно поступает дозированное количество рабочего вещества. При известной скорости распыления катода /7/, количество поступающего в разряд рабочего вещества составляет $0,01 \pm 0,02$ г/час, что сравнимо с поступлением в разряд рабочего вещества из дополнительного распыляемого электрода /5/.

Обычно для получения ионов элементов, не имеющих в обычном состоянии газообразных соединений используются источники с испарением рабочего вещества из тигля или источники с дополнительным распыляемым электродом. Однако в некоторых случаях, когда не требуются большие токи, ионы твердых веществ могут быть получены из обычного источника для получения ионов из газов, за счет применения спеченных катодов с добавками соответствующих веществ. Такие катоды с добавками Al_2O_3 были испытаны на циклотроне У-200 ЛЯР, где был получен выведенный из циклотрона ток ионов Al^{+6} порядка 2 нА.

Ленин *Ленин*
Борис *Борис*
Борис *Борис*
Борис *Борис*

ЛИТЕРАТУРА:

1. Флеров Г.Н. В кн. Труды международной школы-семинара по физике тяжелых ионов, ОИЯИ, Д-7-83-644, Дубна, 1983, с.9
2. Гикал Б.Н. и др. В кн. : Труды VIII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т.1, ОИЯИ, Дубна, 1983, с.116
3. Donets E.D., *Physica Scripta*, v.73, p 11, 1983
4. Jongen Y. 5-th ICR Ion Sources Workshop, Louvain-la-Neuve B-1348, 1983
5. Богомолов С.Л. и др. В кн.: Труды VIII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т.1, ОИЯИ, Дубна, 1983, с.112
6. Пасюк А.С. и др., Препринт ОИЯИ, Р9-11914, Дубна, 1978
7. Пасюк А.С. и др., ПТЭ, 3, 1965, с.44
8. Паничкина В.В. Порошковая металлургия, 7, 1967, с. 5
9. Демьянов А.В. и др., Препринт КИЯИ-83-21, Киев, 1983

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис. 1

Катодный узел

а) катод, б) антикатод, в) экран, г) держатель

Рис. 2

Микроструктура вольфрамовых катодов вблизи рабочей части и в исходном состоянии.

а/ крупнозернистая, б/ мелкозернистая, в/ структура кованного катода

Рис. 3

Микроструктура катода с добавками оксида алюминия

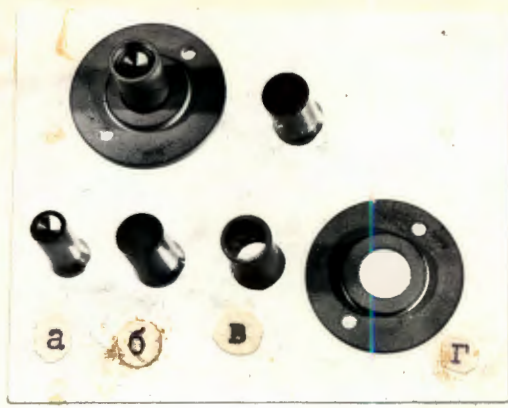
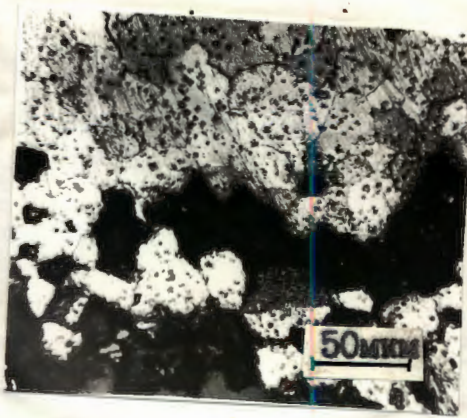


Рис. 1



a



б



в

Рис. 2

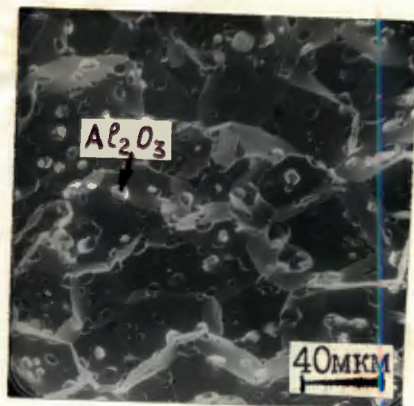


Рис. 3