

В работе [1] на примере классической газовой нитроцементации в смеси аммиака с пропаном было отмечено, что при одновременной диффузии азота и углерода в сталь различие параметров решетки твердого раствора и формирующихся на поверхности ϵ и γ' -фаз менее значительное по сравнению с насыщением стали только азотом. Поэтому карбонитридные фазы, получаемые при одновременном диффузионном процессе углерода и азота, по сравнению с диффузией чистого азота, получаемого из аммиака, менее хрупкие и обладают повышенной износостойкостью.

Из представленных экспериментальных данных можно судить о положительном влиянии замены аммиака на тройную смесь (азот-аргон-метан) для процесса азотирования в тлеющем разряде. Технологические этапы, основные электрофизические параметры, а также продолжительность процессов азотирования в тлеющем разряде, как в аммиаке, так и в смеси газов «азот-аргон-метан» практически идентичны. Принципиальное отличие состоит только в величинах рабочего давления, необходимого для достижения максимальной плотности тока и температуры насыщения. Для аммиачной среды величина давления составляет $P=330$ Па, для тройной смеси без аммиака – $P=500$ Па для нагрева обрабатываемых деталей до температуры $T=500$ °С. Анализ результатов измерения микротвердости показал, что по скорости формирования упрочненного слоя ионное азотирование в среде газовой смеси ($75\%N_2 + 20\%Ar + 5\%CH_4$) имеет явное преимущество перед традиционным ионным азотированием в аммиаке. Кроме того, данный метод более экономичен и безопасен, по сравнению с азотированием в аммиаке.

Список литературы

1. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. и др. Теория и технология азотирования. М.: Metallurgy, 1991, 320с.
2. Арзамасов Б.Н. и др. Ионная химико – термическая обработка сплавов. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999, 400с.
3. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Структура и прочность азотированных сплавов. М.: Metallurgy, 1982, 192с.
4. Абдулин И.Ш., Ибрагимов Г.Н. и др. Установка для ВЧ – плазменной обработки. Тез. докладов VI конф. по физике газового разряда. Казань, 23 – 24 июня 1992, ч2, с.117 - 118.
5. Панайоти Т.А. Создание максимальной насыщающей способности газовой среды при ионном азотировании сплавов. ФХОМ, 2003, №4, с.70 –78
6. Капцов Н.А. Электрические явления в газах и вакууме. –М.-Л.: Гостехиздат, 1950. –807 с.

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ФИЛЬТРА НА ОСНОВЕ СВС-МЕХАНОКОМПОЗИТОВ ДЛЯ РАФИНИРОВАНИЯ КРЕМНИЯ

*А. В. Собачкин, к.т.н., с.н.с., А. Ю. Мясников, аспирант
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46, тел. 8 (3852) 29-08-15
E-mail: anicpt@rambler.ru*

Работа посвящена подбору материала фильтра, получаемого с применением технологий механической активации и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), а также установлению возможности протекания реакции в режиме СВС между выбранными компонентами.

The work is devoted to the selection of the filter material obtained with the use of the technologies of mechanical activation and self-propagating high-temperature synthesis (SHS), as well as the establishment of the possibility of the reaction in the SHS mode between the selected components.

Современное состояние металлургии характеризуется коренным изменением масштаба производства качественного металла. Развитие машиностроения и других металлопотребляющих отраслей во всех странах предопределяет разнообразные мероприятия, проводимые металлургами с целью повышения чистоты производимых сплавов. Наряду с широко известными способами рафинирования в последние десятилетия широкое применение получил относительно новый для металлургической отрасли фильтрационный метод очистки металлов и сплавов, отличающийся высокой эффективностью и доступностью, поскольку не требует для его реализации больших капитальных вложений и при этом легко вписывается в существующие технологические процессы. Суть этого способа состоит в пропускании металлического расплава через фильтрующее устройство, при прохождении через который в результате физико-химических, адгезионных и адсорбционных, механических и других явлений происходит рафинирование металлического расплава от неметаллических включений и вредных примесей [1].

Фильтрационный метод очистки металлических расплавов, не уступая известным методам по рафинирующей способности, обладает рядом отличительных особенностей и технологических преимуществ: во-первых, при фильтровании рафинированию подвергается последовательно весь объем жидкого металла; во-вторых, простотой конструкции фильтра и технологии фильтрования. Фильтрационный метод рафинирования не требует: капитальных затрат на приобретение дорогостоящего оборудования; подготовки специальных материалов (например, синтетических шлаков, флюсов, тонкодисперсных порошков и др.); дополнительных производственных площадей; обеспечивает стабильное удаление неметаллических и газовых включений, вредных примесей [2].

Одним из широко применяемых элементов в различных областях техники является кремний. Наибольшее применение имеет технический кремний [3]. Его используют в металлургии в качестве легирующего компонента, раскислителя и восстановителя, для изготовления электронагревательных элементов и производства кислотоупорных материалов и др.

Технический кремний в промышленных условиях получают электротермическим способом – путем восстановления кремнезема (SiO_2) углеродом. Восстановительная плавка технического кремния осуществляется в дуговых рудно-термических печах с использованием в качестве восстановителя древесного угля, а также нефтекокса и каменного угля. При этом, наряду с кремнием, из исходного сырья восстанавливаются элементы-примеси (Al, Ca, Mg, Al, Fe и др.), которые присутствуют в жидком кремнии в растворенном состоянии. Для доведения содержания в расплаве примесей до нормируемых уровней его подвергают окислительному рафинированию.

В качестве основы для фильтров применяется большое количество материалов, которые работают в различных условиях. Например, при выплавке стали или чугуна их очистку осуществляют фильтрами на основе железа для того, чтобы избежать дополнительного загрязнения расплава примесями в случае разрушения фильтра. По аналогии с этим для фильтрации кремния предлагаем применять фильтры на основе оксида кремния. Кроме того, основа фильтра из SiO_2 выбрана из-за возможности реализации подложечного эффекта, сущность которого заключается в том, что на фильтре может осесть также часть растворенной, то есть химически не связанной примеси [1, 2].

Перспективной технологией изготовления фильтра является метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) с предварительной механической активацией [4-6]. Во время механической активации реакционная смесь подвергается обработке в планетарной шаровой мельнице в течение некоторого времени с определенной энергонапряженностью [7-10]. В дальнейшем эту порошокую смесь используют в качестве реагентов для проведения высокотемпературного синтеза целевого продукта [11-14].

На основе анализа технической и патентной литературы [3, 15] для фильтров на основе оксида кремния применяются только два компонента. Ими являются Al или Zr, поскольку фильтры с этими компонентами будут обладать необходимыми свойствами по термостойкости и прочности.

Для установления возможности проведения реакций между $\text{SiO}_2 + \text{Al}$ и $\text{SiO}_2 + \text{Zr}$ в режиме СВС использован программный комплекс Астра-4, моделирующий протекание реакции и показывающий температуру, при которой произойдет реакция, а также энергию активации, содержание компонентов и т.д.

Целью работы является установление возможности протекания реакции $\text{SiO}_2 + \text{Al}$ и $\text{SiO}_2 + \text{Zr}$ в режиме СВС в программном комплексе Астра-4.

Для проведения моделирования в программном комплексе Астра-4 задавали следующие параметры:

1. 1-й состав в процентном соотношении по массе: от 10% $\text{SiO}_2 + 90\% \text{Al}$ до 90% $\text{SiO}_2 + 10\% \text{Al}$ с шагом 10%;
2. 2-й состав в процентном соотношении по массе: от 10% $\text{SiO}_2 + 90\% \text{Zr}$ до 90% $\text{SiO}_2 + 10\% \text{Zr}$ с шагом 10%;

Эти составы выбраны из-за возможности применения при высокой температуре. Также в соответствии с анализом патентной, научно технической литературы эти составы обладают высокой прочностью [1, 5].

3. атмосферное давление 0,1 МПа;

4. температуру начала реакции варьировали от 298 К до 4000 К.

Главным требованием к отбору результатов, полученных при моделировании реакции в программном комплексе Астра-4, была минимальная температура проведения реакции и наименьшая внутренняя энергия. В качестве определяющего выбрана наименьшая температура проведения реакции, что обусловлено удобством контроля при проведении натурального исследования.

Результаты и их обсуждение

Из имеющихся составов была сделана выборка, наиболее подходящими по требованиям выбраны составы 90% SiO₂ + 10% Zr (рис. 1) и 60% SiO₂ + 40% Al (рис. 2), у которых температура протекания реакции наименьшая.

Результаты

--- Расчет # 1 ---

Характеристики равновесия - СИ

P= 10000-00	T= 34000+04	V= 56748+00	S= 37102+01	I=-89604+04
U=-90172+04	M= 15959+02	Cp= 12717+01	k= 10133+01	Cp''= 82658+01
k''= 20500+01	A= 22668+03	Mu= 62221 04	Lt= 82910 01	Lt''= 17194+01
MM= 62659+02	Cp.r= 95440+00	k.r= 12318+01	MM.r= 46289+02	R.r= 17963+03
Z= 90708+00	Pl= 00000-00	Vm= 70814-04		

Содержание компонентов - моль/кг

O	57805-02	O2	11521-03	k*Si	00000-00
Si	06065+00	Si2	10921+00	Si3	61506-02
k*SiO2	12863+02	SiO2	10184+01	k*Zr	00000-00

Рис. 1. Результаты моделирования протекания реакции 90% SiO₂ + 10% Zr

Результаты

--- Расчет # 1 ---

Характеристики равновесия - СИ

P= 10000-00	T= 25000+04	V= 24550+00	S= 36789+01	I=-69447+04
U=-69693+04	M= 17483+02	Cp= 13671+01	k= 10072+01	Cp''= 13987+01
k''= 10102+01	A= 15639+03	Mu= 21822-04	Lt= 26834-01	Lt''= 59210-01
MM= 57199+02	Cp.r= 87601+00	k.r= 11756+01	MM.r= 63558+02	R.r= 13082+03
Z= 92493+00	Pl= 00000-00	Vm= 19842-09		

Содержание компонентов - моль/кг

O	16518-07	O2	11013-11	k*Si	99790+01
Si	56007-02	Si2	58032-03	Si3	37473-04
k*SiO2	00000-00	SiO2	19341-05	k*Al	00000-00

Рис. 2. Результаты моделирования протекания реакции 60% SiO₂ + 40% Al

Из двух составов наиболее предпочтительным является образец с Al, т.к. в этом случае минимальная температура, при которой возможно осуществление реакции, составляет 2500 К.

На следующем этапе исследований в выбранном составе SiO₂ + Al проводили определение наиболее рационального процентного соотношения компонентов.

Выбор осуществляли по тем же требованиям – минимальной температуре протекания реакции и наибольшей внутренней энергии (рис. 3).

Результаты

--- Расчет # 1 ---

Характеристики равновесия - СИ

P= 10000-00	T= 33000+04	V= 31247+01	S= 53332+01	I=-26626+04
U=-29750+04	M= 17294+02	Cp= 11822+01	k= 10871+01	Cp''= 18001+02
k''= 16379+01	A= 57810+03	Mu= 48628-04	Lt= 63457-01	Lt''= 31453+00
MM= 57825+02	Cp.r= 91248+00	k.r= 12362+01	MM.r= 47687+02	R.r= 17436+03
Z= 45693+00	Pl= 00000-00	Vm= 17283-03		

Содержание компонентов - моль/кг

O	14178-01	O2	21195-03	k*Si	00000-00
Si	37490+01	Si2	52555+00	Si3	33419-01
k*SiO2	34674+01	SiO2	32825+01	k*Al	00000-00

Рис. 3. Результаты моделирования протекания реакции 70% SiO₂ + 30% Al

При моделировании установлено, что наиболее рациональным для фильтрации кремния является фильтр на основе оксида кремния следующего предлагаемого состава 60% SiO₂ + 40% Al (масс.%).

Условия протекания реакции между указанными компонентами представлены минимальной температурой (2500 К) и наименьшей внутренней энергией (69693 кДж/кг).

Список литературы

1. Тен Э.Б. Основы фильтрационного рафинирования жидких металлов. Часть I // Литейное производство. 2013. № 1. С. 15-19.
2. Тен Э.Б. Оценка фильтрационного рафинирования жидких металлов. Часть II // Metallurgia машиностроения. 2013. № 1. С. 45-50.
3. Черных А.Е., Зельберг Б.И. Производство кремния. Иркутск: Изд. «МАНЭБ», 2004. 255 с.
4. Собачкин А.В., Яковлев В.И., Ситников А.А. Применение методов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и механоактивационной обработки для создания новых наплавочных материалов // Заготовительные производства в машиностроении 2012. № 9. С. 17–22.
5. Питюлин А. Н. Силовое компактирование в СВС-процессах // Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика. Черноголовка : Изд-во «Территория», 2001. С. 333–353.
6. Loginova M.V., Yakovlev V.I., Sitnikov A.A., Sobachkin A.V., Ivanov S.G., Negodyaev A.Z., Gradoboev A.V. The evolution of structural and phase states of titanium aluminides after γ irradiation in small doses // The Physics of Metals and Metallography. 2017. Т. 118. № 2. P. 170–175.
7. Ситников А.А., Собачкин А.В., Яковлев В.И., Логинова М.В., Свиридов А.П. Особенности структурного состояния механокомпозитов на основе алюминия для газодетонационного напыления покрытий // Научные технологии в машиностроении. 2017. № 12 (78). С. 20-25.
8. Итин В.И., Монасевич Т.В., Братчиков А.Д. Влияние механоактивации на закономерности самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в системе титан-никель // Физика горения и взрыва. 1997. Т. 30. № 5. С. 48–51.
9. Григорьева Т.Ф., Корчагин М.А., Барина А.П., Ляхов Н.З. Влияние механохимической активации на концентрационные границы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Доклады РАН. 1999. Т. 369. № 3. С. 345–347.
10. Bernard F., Gaffet E. Mechanical alloying in SHS research // International Journal of SHS. 2001. № 2. P. 109–131.
11. Евстигнеев В. В., Вольпе Б. М., Милукова И. В., Сайгутин Г. В. Интегральные технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. М. : Высшая школа, 1996. 284 с.
12. Fu Z.Y., Wang H., Wang W.M., Yuan R.Z. Composites fabricated by self-propagating high-temperature synthesis // J. Mater. Proc. Tech. 2003. V. 137. P. 30–34.
13. Gotman I., Koczak M.J., Shtessel E. Fabrication of Al matrix in situ composites via self-propagating synthesis // J. Mater. Sci. Eng. A. 1994. Vol. 187. P. 189–199.
14. Логинова М.В., Яковлев В.И., Филимонов В.Ю., Ситников А.А., Собачкин А.В., Иванов С.Г., Градобоев А.В. Морфология и структурные характеристики порошковых механокомпозитов Ti+Al после облучения // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2017. Т. 14. № 4. С. 464–469.
15. Логинов А.Ю., Иванов А.А., Костяков В.В., Литуненко Б.Т., Пушкин В.Т. Керамический мембранный фильтр асимметричной структуры, способ и материал для его изготовления // патент на изобретение RUS 2190461 06.12.2001.

**ДИНАМИКА ФРИКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТРЕНИИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ
СТАЛИ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА 12X18H10T С
УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ**

А.В. Филиппов, к.т.н, ст.преп.¹, н.с.², Н.Н. Шамарин, асс.¹, О.А. Подгорных, зав. лаб.¹

¹*Юргинский технологический институт (филиал)Томского политехнического университета,*

652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-7-77-61

²*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,*

634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4, тел. (3822)-49-18-81

E-mail: avf@ispms.ru

В работе рассматривается экспериментальное исследование динамики фрикционных процессов при трении объемных ультрамелкозернистых материалов. В качестве модельных образцов использовалась нержавеющая сталь аустенитного класса 12X18H10T с ультрамелкозернистой структурой, сформированной методами АВС прессования и прокатки. В процессе сухого трения скольжения осуществлялась регистрация сигналов виброускорений и акустической эмиссии.