

ШХ15 и керамический Al_2O_3 . Диаметр шарика контртела составлял 6 мм. Путь испытания равен 1 км, радиус траектории триботрека – 16 мм. Структурные исследования проводили на растровом электронном микроскопе LEO EVO 50 при ускоряющем напряжении 20 кВ по поверхностям скола, полученным механическим разрушением образцов с надрезом, предварительно выдержанных в жидком азоте.

Показано, что введение твердых смазочных частиц приводит к снижению механических свойств композита. При содержании ПТФЭ в количестве 10 вес. %, механические свойства композита снижаются в 2 раза по сравнению с ненаполненным полиимидом. Добавление MoS_2 до 20 вес. % позволяет повысить модуль упругости композита при сохранении деформационно прочностных характеристик. Увеличение содержания ПТФЭ до 15 – 20 вес. % приводит к снижению прочностных свойств более, чем в 5 раз. Многокомпонентные композиции на основе ПИ с твердосмазочными наполнителями (ПТФЭ и MoS_2) не способны обеспечить необходимую износостойкость при одновременном сохранении прочностных свойств матрицы, что связано с особенностями формирующейся надмолекулярной структуры матрицы.

Показано, что эффективным твердосмазочным наполнителем для полиимида является политетрафторэтилен, повышающий износостойкость матрицы до 100 раз за счет формирования пленки переноса на контртеле. Дисульфид молибдена выступает абразивом и в количестве 5 вес.% не обеспечивает сохранение механических характеристик на уровне исходной матрицы.

Двухкомпонентный композит ПИ+15вес.% ПТФЭ может быть рекомендован в качестве антифрикционного для узлов трения в металло- и керамо-полимерных сопряжениях.

Список литературы

1. Geraldine T, Thomas G. Tribological characteristics of polyimide composites in hydrogen environment. Tribol Int 2015; 92: 162–71.
2. Ragosta G, Musto P. Polyimide/silica hybrids via the sol-gel route: high performance materials for the new technological challenges. Express Polym Lett 2009; 3: 413–28.
3. M Conte, B Pinedo, A Igartua. Role of crystallinity on wear behavior of PTFE composites. Wear, 2013, 307: 81–86.
4. Chen ZY, Yan HX, Liu TY, Niu S. Nanosheets of MoS_2 and reduced graphene oxide as hybrid fillers improved the mechanical and tribological properties of bismaleimide composites. Tribol Int 2016; 125: 47–54.

ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНВАРНЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ СПЕКАНИЕМ ПОРОШКОВ

ЦЗЯЦЗЮНЬ ЧЭНЬ¹, С.Н. КУЛЬКОВ^{1,2}

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: chenj27@outlook.com

Инварные сплавы Fe – 30–40 wt% Ni являются прецизионными материалами и представляют значительный практический интерес. В этой области содержания никеля они обладают низким коэффициентом теплового расширения (КТР), что указывает на перспективность применения в качестве элементов точных инструментов и приборов.

Как известно, на КТР реальных материалов влияет ряд факторов, вызванных дефектами структуры, например пористость, границы зерен, дислокации и др. [1], поэтому КТР инварных сплавов может изменяться при изменении способов получения. Таким образом исследование теплового расширения подобных сплавов различными методами, в

частности, рентгенографическим методом на уровне кристаллической решетки и дилатометрическим макрометодом является актуальным и имеет высокую научную значимость.

Для проведения рентгеновского исследования инварные сплавы Fe – xNi (x = 30, 32, 35, 37, 40 wt%) получали прессованием порошка Ni, Fe и последующим спеканием. Образцами для дилатометрического исследования являются спеченные инварные сплавы Fe – 35 wt% Ni. Для определения КТР кристаллической решетки проведен рентгеновский анализ на рентгеновском дифрактометре с излучением Co-K α , $\lambda(\alpha_1)=1.7902\text{\AA}$. Диапазон сканирования 2θ от 49 до 62°, шаг сканирования 0.05°; при температурах 20 - 400°C с шагом 25°C со скоростью нагрева 5 °C/мин. Измерение КТР на дилатометре NETZSCH DIL 420PC проведено в температурном интервале от 23 до 400°C.

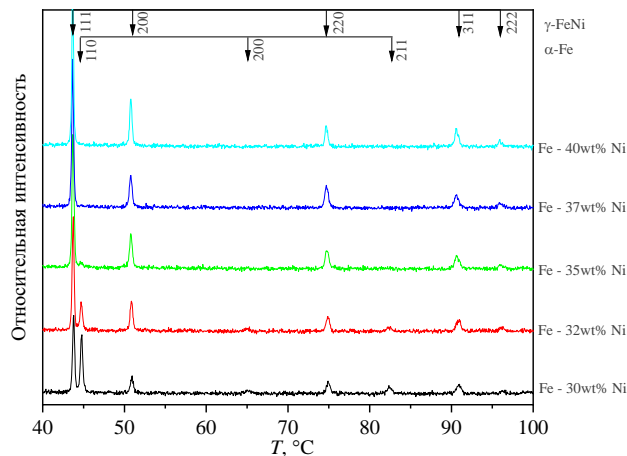


Рисунок 1 – Дифрактограмма спеченных сплавов

На рисунке 1 показана дифрактограмма спеченных сплавов. На дифрактограмме присутствовали рефлексы от γ -FeNi фазы с гранецентрированной кубической (ГЦК) решеткой. В сплавах Fe – 30 wt% Ni и Fe – 32 wt% Ni наблюдается фаза α -Fe с объемноцентрированной кубической (ОЦК) решеткой.

Для определения КТР кристаллической решетки построены зависимости изменения межплоскостных расстояний $\Delta d/d_0$ от температуры. При содержании никеля больше 30% все кривые $\Delta d/d_0$ можно разделить на два участка, на первом участке $\Delta d/d_0$ слабо зависит от изменения температуры, на втором участке кривые $\Delta d/d_0$ изменяются сильнее, при этом точки перегиба кривых находятся около 200°C ($\pm 20^\circ\text{C}$). Это обусловлено тем, что в сплаве происходит магнитное превращение с температурой Кюри T_C около 230 °C [2].

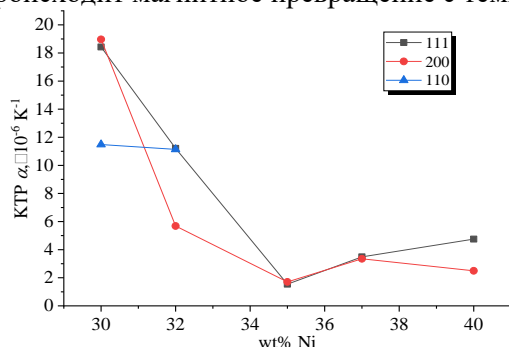


Рисунок 2 – Зависимость КТР кристаллической решетки от содержания никеля

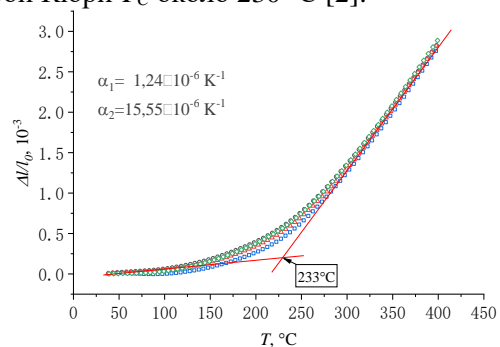


Рисунок 3 – Зависимость изменения длины образца от температуры

На рисунке 2 показана зависимости КТР при температуре ниже точки Кюри от содержания никеля. Как видно КТР кристаллической решетки имеет минимальное значение при 35% содержания никеля, что хорошо согласуется с литературой [1,3].

Далее проведено дилатометрическое измерение КТР спеченных сплавов Fe – 35 wt% Ni, на рисунке 3 приведена зависимость изменения длины образца от температуры. Кривую можно разделить на 2 участка с характерными наклонами, точка перегиб около 233°C.

Сравнение КТР, полученных обоими методами, показало хорошее согласие, однако рентгеновские данные свидетельствуют об анизотропии КТР, что возможно проанализировать при использовании монокристаллического образца.

Список литературы

1. Афанасьев В.К. Инвары: учеб. пособие / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, С.А. Гладышев, В.В. Герцен, Г.В. Обухов, А.В. Горшенин. СибГИУ. – Новокузнецк, 2006. – 126 с.
2. Prica C.V. Invar-type nanocrystalline compacts obtained by spark plasma sintering from mechanically alloyed powders / C. V. Prica , B. V. Neamtu, F. Popa et al. // J Mater Sci. – 2018. – Vol. 53, Issue 5, – P.3735-3743.
3. Toshihiko Y. Anharmonicity and Quantum Effects in Thermal Expansion of an Invar Alloy / Y. Toshihiko, E. Keitaro // Physical review letters. – 2011. – PRL 107, 065901.

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО КАБЕЛЯ

ЫНТЫМАКОВА А.С.

Томский Политехнический университет
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
E-mail: aklima.int@mail.ru

Сплав Nb-Ti в течение последних сорока лет занимает особое положение в технике прикладной сверхпроводимости. Токонесущая способность сверхпроводника зависит от его микроструктуры, то есть, формы, размеров и объемного содержания частиц, выделившихся при распаде твердого раствора. На технологическом этапе необходимо обеспечить безобрывность процесса и заданную плотность микродефектов. Поэтому, целью настоящей работы являлось оценка влияния пластической деформации (растяжение) на структуру многожильного сверхпроводника на основе сплава Nb-Ti.

В работе представлены результаты исследований сверхпроводящего кабеля на основе Nb-Ti волокон. Были проведены механические испытания свехпроводника на одноосное растяжение на испытательной машине Walter+Bai AG LFM-125 (max усилие до 125 кН), до разрушения. Изучена внутренняя структура образца в месте разрыва с помощью оптического микроскопа Neophot-21 [1] и атомно-силового микроскопа Solver PRO - 47H [2]. Изучено влияние деформации на геометрические параметры Nb-Ti волокон.

Механические испытания сверхпроводника проводили на двух одинаковых \varnothing 1,3 мм на испытательной машине Walter+Bai AG LFM-125 (max усилие до 125 кН). В качестве исходного был взят технологический образец после многократного волочения, рисунок 1. Установлено, что при одинаковом пределе прочности для образцов, относительное удлинение при разрушении оказалось различной и составило соответственно $\approx 1,8\%$ и $2,1\%$. Для исследования структуры сверхпроводника после испытаний на растяжение изготавливались металлографические шлифы по стандартной для этих сплавов методик. В заключении шлифы подвергались травлению реактивом №19 [3].