

References

1. Semenov Ja.S., Skachkov Ju.B., Solov'eva A.Ja. O vlijanii izmenenij temperatury vozduha na jekspluatacionnye svojstva truboprovodov // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal. 2015, №11(42), Ch3, 54-37 s.
2. Semenov Ja.S. Issledovanie avarijnyh situacij na severnom gazoprovode za period bolee 30 let. v pechati.
3. Konstantinov I.P., Gur'janov I.E. Raschetnaja ocenka usilij i naprjazhenij na deformirovannyh uchastkah gazoprovoda Mastah-Jakutsk // Kriosfera Zemli, 2001, t. V, №2, s. 68-75.
4. Larionov V.P., Semenov Ja.S., Kas'janov S.G. Vlijanie temperatury vjazkohrupkogo perehoda na geometriju vershiny treshhiny i naprjazhenija // Sib.fiz.-tehn.zhurn.- 1993, № 3.- S.7-14.
5. Gabysheva L.N., Kanibolotskij M.A. Optimizacija massy sloistoj sfericheskoy obolochki, sinteziruemoj iz konechnogo nabora materialov // Obshhie zadachi i metody issled. Plast. I vjazkouprugih materialov i konstrukcij. Sverdlovsk, 1986. - S. 29-35.
6. Hog Je.D., Arora Ja.S. Prikladnoe optimal'noe proektirovanie. Mehanicheskie sistemy i konstrukcii. M: Nauka, 1983.
6. Fedorenko R.P. Priblizhennoe reshenie zadach optimal'nogo upravlenija. M.: Nauka, 1978.
7. Obrazcov I.F., Vasil'ev V.V., Beznakov V.A. Optimal'noe armirovanie obolochek vrashhenija iz kompozicionnyh materialov. M.: Mashinostroenie, 1977.

DOI: 10.18454/IRJ.2016.46.301

Семенов Я.С.¹, Соловьева А.Я.²¹Якутский научный центр, ²Арктический государственный институт культуры и искусства, кафедра маркетинга**ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНОГО ФАКТОРА АТОМОВ НА СЛУЖЕБНЫЕ СВОЙСТВА НЕОРГАНИЧЕСКИХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ***Аннотация*

Рассматриваются влияние наноразмерных легирующих элементов и их количества на механические свойства, в частности на критическую температуру вязкохрупкого перехода. Показано, что как размер, так и количественное содержание этих элементов являются решающим в служебных свойствах неорганических материалов.

Semenov Ya.S.¹, Soloveva A.Ya.²¹Yakut science center, ²Arctic state institution, marketing Department**ABOUT NANOSIZE ALLOW ON WORK PROPERTES NONORGANIC MATERIALES***Abstract*

We are investigation influence nano - size elements on mechanical properties non organic materials. There are elements strongly on mechanical properties on example ductile-brittle temperature. This is elements on size and quantitative increase critical ductile-brittle temperature.

Введение. Хорошо известно [1-2], что охрупчивание сильно зависит от вида и количества легирующего элемента, который является наноразмерным наполнителем, так, например, малое количество кремния (менее 0,2%) значительно снижает критическую температуру охрупчивания, а увеличение его содержания резко повышает критическую температуру охрупчивания, снижая механические свойства и чувствительность к удару.

Вместе с тем критическая температура охрупчивания должна зависеть и от размеров легирующих химических элементов или длин химических связей. Так, например, введение редкоземельных элементов в износостойкие покрытия, повышая износостойкость, при низких климатических температурах вызывает хрупкий износ сколом [3].

Поэтому целью данной работы является - показать влияние наноразмерного фактора и количества данного легирующего элемента на критическую температуру охрупчивания.

Метод и методика эксперимента. Одним из чувствительных методов оценки степени ковалентности (механизма охрупчивания) является метод измерения чисел микротвердости хорошо развитый в работах по минералогии и в области охрупчивания, как метод регистрации порога вязкохрупкого перехода.

Для оценки влияния размерного эффекта на критическую температуру вязкохрупкого перехода необходимо выбрать химические элементы, образующие ковалентные химические связи, в соответствии с механизмом вязкохрупкого перехода, различные атомные размеры и различное их содержание.

Как указывалось в работах [1-2], повышающими критическую температуру вязкохрупкого перехода являются кремний (Si), германий (Ge), олово (Sn), которые имеют различные атомные размеры и образуют ковалентные химические связи в соответствии с механизмом вязкохрупкого перехода. Это должно позволить выявить влияние размерного фактора на критическую температуру вязкохрупкого перехода. А их различное содержание определит влияние количества этих элементов на критическую температуру вязкохрупкого перехода.

Так, что измерения чисел микротвердости по температуре в окрестностях критической температуры вязкохрупкого перехода позволит решить обе задачи.

Материалы и методика эксперимента. Для однозначной оценки влияние размерного фактора на критическую температуру вязкохрупкого перехода готовились бинарные сплавы с ОЦК – кристаллической структурой. Это сплавы кремния с железом, германия с железом, олова с железом с различным содержанием этих элементов, повышающие критическую температуру вязкохрупкого перехода [1-2].

Образцы для исследований готовились по общепринятой методике из сплавов систем Fe-Si, Fe-Ge, Fe-Sn, образующие твердые растворы замещения.

Для этого получены α -твердые растворы Si, Ge, Sn в матрице Fe, которые подтверждены рентгеноструктурным анализом.

После гомогенизирующего отжига в вакууме не ниже 10^{-6} мм. рт. ст. проведен по методике [3] анализ распределения примесей на микронзонде «Комебакс», который подтвердил относительно равномерное распределение примесей.

Показателем склонности данных сплавов к хрупкому разрушению являлось $T_{кр}$ при испытаниях образцов в соответствии с ГОСТ 0454-78 V.

Измерения микротвердости проводились на микротвердомере ПМТ-3 со специально разработанной температурной приставкой. Измеренные значения чисел микротвердости резко изменяются для всех составов и примесей при $T_{кр}$ ВХП, полученных при испытаниях образцов данных составов по ГОСТу 9454-78 тип V (рис.1.а.б.в.).

При увеличении количества *Si*, *Ge*, *Sn* микротвердость и $T_{кр}$ ВХП повышаются (рис.2).

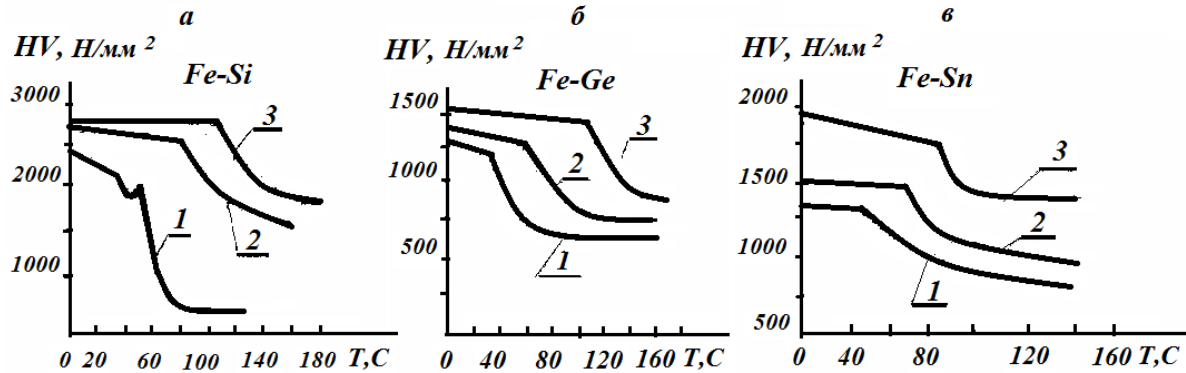


Рис. 1.(..в). Числа микротвердости в окрестностях температуры ВХП: а – Si (0,2;0,5;0,8): б – Ge – (0,2;0,5;0,8): Sn – (0,2;0,5;0,8):

Расчет степени ковалентности, проведенный по Моосу ($K = HV \cdot d / \alpha \cdot W_A \cdot W_B$) для данных бинарных сплавов.

Вычисленные из значений чисел микротвердости степень ковалентности показывает, что при $T_{кр}$ ВХП она изменяется скачком, что соответствует возрастанию скачком направленной составляющей химической связи (рис.2.а.б.в.).

При увеличении содержания ковалентных *Si*, *Ge*, *Sn* критическая температура ВХП возрастает (см. рис.3). Кроме того, четко выделяется размерный фактор влияния примесных атомов (рис.3.), показывающий зависимость критической температуры вязкохрупкого перехода от размера атомов. Так, например, для достижения $T_{кр} = 80^\circ\text{C}$, для олова ~ 1,5%, для германия ~ 2%, для кремния ~ 4%.

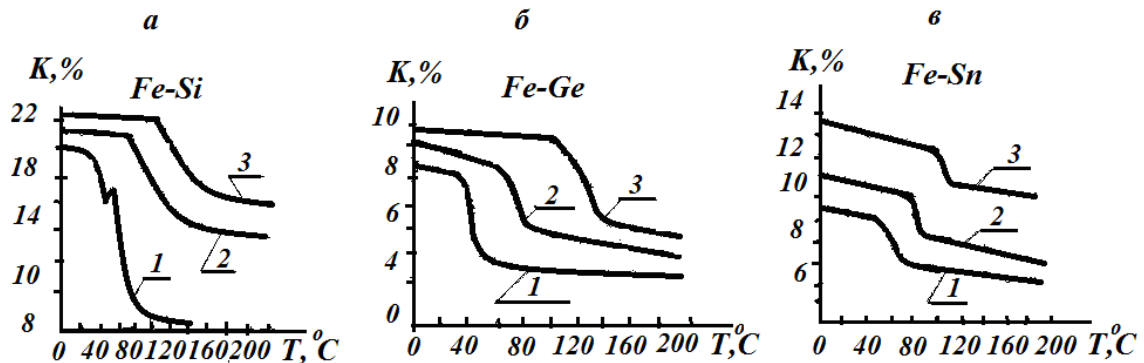


Рис. 2. – Значения степени ковалентности в окрестностях температуры ВХП: а - Si (0,2;0,5;1,0): б – Ge – (0,2;0,5;0,8): Sn – (0,2;0,5;0,8):

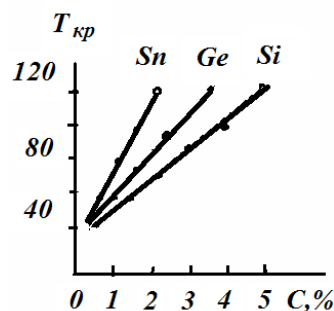


Рис. 3 – Значения критической температуры вязкохрупкого перехода в зависимости от содержания Si, Ge, Sn и их размеров

Повышение количества ковалентных химических элементов *Si*, *Ge*, *Sn*, также увеличивает направленную составляющую химической связи, повышая $T_{кр}$ ВХП (хладноломкости) (рис.3). Это может происходить по ниже приведенным причинам.

Известно [4-6], что прочность конструкционного материала сильно зависит от подвижности дислокаций или скорости зарождения новых, определяемых напряжениями типа Пайерлса-Набарро. При повышении температуры силы Пайерлса-Набарро изменяются по причинам двоякого рода:

1. Из-за некогерентного теплового движения атомов, "размазывающего" потенциальный рельеф вдоль плотноупакованных рядов. При этом уменьшение напряжений Пайерлса-Набарро определяется множителем вида $1 - \alpha(u/b)^2$, где u - смещение атомов, b - вектор Бюргерса дислокации, α - числовой множитель.

2. Из-за когерентного теплового движения атомов, соответствующего колебанию дислокации и помогающего ей преодолеть энергетические барьеры Пайерлса-Набарро.

Подвижность дислокаций в ковалентных кристаллах, очень низка из-за высокого значения модуля сдвига ($\sim 10^{12}$ эрг/см² для *Si*). То есть при легировании ковалентными элементами (*Si*, *Ge*, *Sn*) матрицы *Fe* происходит увеличение направленной составляющей химической связи (рис.3.а.б.в.), а повышение температуры приводит к их "разрушению", при $T_{кр}$ ВХП, направленных химических связей и уменьшения модуля сдвига, т.е. микротвердости (рис. 1-3).

Тогда можно предположить, что в растянутые, из-за размеров атомов примеси зоны, втекают дислокации, образуя зародыши микротрещин. При нагружении или ударной нагрузке из этих микротрещин (концентраторы напряжений) развиваются катастрофические трещины вязкохрупкого разрушения. Т.е. чем больше размером легирующий атом, тем крупнее микротрещина и ей нужно меньшее усилие для зарождения катастрофической трещины вязкохрупкого разрушения.

А количество таких легирующих элементов создают большее количество микротрещин, а значит, и повышают критическую температуру вязкохрупкого перехода с увеличением их содержания.

Таким образом, элементы образующие ковалентные (направленные) химические связи сильно изменяют критическую температуру вязкохрупкого перехода, повышая ее как от размера атомов химического элемента, так и от их содержания в матрице легируемого железа (см. рис.3).

А создание теории действия размерного механизма вязкохрупкого перехода позволит разработать технологии создания конструкционных материалов с высокой степенью сопротивляемости хрупкому разрушению.

Особенно, если учесть экономический эффект, получаемый при разработке технологий создания износостойких и хладостойких сталей с использованием редкоземельных элементов [7].

Литература

1. Шульте Ю.А. Хладостойкие стали.- М.: Металлургия, 1970.- 224 с.
2. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. - М.: Металлургия, 1985.- 408 с.
3. Семенов Я.С., Попова С.К. Фазовый состав и распределения легирующих элементов в переходном слое // Труды Межд. Конф. «Deformation&Fracture of Materials and Nanomaterials» 2007. p.393
4. Саррак В.И., Суворова С.О., Грикуров Г.Н. О механизме влияния легирующих элементов на пластичность сплавов системы железо-хром-марганец со структурой аустенита // ФММ.- 1991, № 10.- С.182-186.
5. Саррак В. И., Энтин Р. И. Изучение температурной зависимости предела текучести железа в связи с взаимодействием дислокации с атомами внедрения. «Докл. АН СССР», т. 146, 1962. №4, стр. 810.
6. Новиков И.И., Ермишкин В.А. Микромеханизмы разрушения металлов. - М.: Наука, 1991.- 367с.
7. Яковлев И.И., Семенов Я.С. К повышению износостойкости и устранение износа сколом (в печати)

References

1. Shul'te Ju.A. Hladostojkie stali.- M.: Metallurgija, 1970.- 224 s.
2. Gol'dshtejn M.I., Grachev S.V., Veksler Ju.G. Special'nye stali. - M.: Metallurgija, 1985.- 408 s.
3. Semenov Ja.S., Popova S.K. Fazovyj sostav i raspredelenija legirujushhih jelementov v perehodnom sloe // Trudy Mezhd. Konf. «Deformation&Fracture of Materials and Nanomaterials» 2007. p.393
4. Sararak V.I., Suvorova S.O., Grikurov G.N. O mehanizme vlijaniya legirujushhih jelementov na plastichnost' splavov sistemy zhelezo-hrom-marganec so strukturoj austenita // FMM.- 1991, № 10.- S.182-186.
5. Sararak V. I., Jentin R. I. Izuchenie tempera-turnoj zavisimosti predela tekuchesti zheleza v svjazi s vzaimo-dejstviem dislokacii s atomami vnedrenija. «Dokl. AN SSSR», t. 146, 1962. №4, str. 810.
6. Novikov I.I., Ermishkin V.A. Mikromehanizmy razrushenija metallov. - M.: Nauka, 1991.- 367s.
7. Jakovlev I.I., Semenov Ja.S. K povysheniju iznosostojkosti i ustranenie iznosa skolom (v pechaty)