

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ Ni_3Al

В.О. Абрамов, С.М. Баринов, А.Н. Белоконов, А.В. Кузнецов,
В.А. Миляев, А.В. Ширков

Проведен анализ характера деформации литых легированных сплавов на основе Ni_3Al с учетом электронной структуры вводимых легирующих элементов. Показано, что заметные изменения в свойствах происходят при введении в Ni_3Al циркония и кобальта, являющихся в сплаве соответственно "донором" и "акцептором".

Сплавы на основе упорядоченной интерметаллической фазы Ni_3Al (структурный тип $L1_2$) перспективны для применения в технике благодаря высокой устойчивости сверхструктуры, термодинамической стабильности, устойчивости к окислению и жаропрочности.

Нелегированный интерметаллид Ni_3Al хрупок при комнатной температуре и имеет невысокую прочность /1/. Согласно данным работ /2-4/, повышение прочности может быть достигнуто в результате твердо-растворного упрочнения при легировании Ni_3Al такими элементами как титан, молибден, цирконий, гафний. Разработаны сплавы, комплексно легированные указанными элементами, нашедшие промышленное применение /5/. Наряду с высокой прочностью такие сплавы обладают повышенной пластичностью. Однако природа достигаемых эффектов при легировании Ni_3Al указанными элементами окончательно не выяснена.

Наблюдаемая корреляция между свойствами монокристаллических образцов /6/ и образцов, полученных по обычной литейной технологии /7/, указывает на то, что природа межатомных связей является одним из важнейших факторов, определяющих механические характеристики сплавов. Кроме того, в работе /8/ показано, что основным фактором, определяющим величину твердо-растворного упрочнения для сплавов алюминия и никеля, является химическое взаимодействие между элементами твердого раствора, а не степень искажения кристаллической решетки. Было сделано предположение, что в процессе деформации таких сплавов существенную роль играет электростатический захват дислокаций, при котором точками закрепления являются электрически заряженные атомы примеси. В связи с этим, целью настоящей работы является анализ характера деформации таких сплавов с точки зрения особенностей электронной структуры вводимых легирующих элементов.

Сплавы на основе алюминида никеля Ni_3Al состава Ni 75 ат. %, Al 25 ат. %, выплавляли в вакуумной дуговой печи. Легирующие элементы (цирконий или кобальт) вводили сверх 100%-го состава Ni_3Al . Рентгеноструктурные исследования показали отсутствие выделения вторых фаз в легированных образцах Ni_3Al .

Механические испытания проводили при трехточечном изгибе цилиндрических образцов диаметром 6 и длиной 50 мм на машине Инстрон-1115 при комнатной температуре. Скорость перемещения траверсы нагружающего устройства $8 \cdot 10^{-6}$ м/с, расстояние между спорами 36 мм. Диаграммы деформирования образцов были нелинейными, с выраженным участком пластической деформации, поэтому расчет механических свойств проводили по модифицированной методике /9/, позволяющей учесть эффект пластичности.

Изменения в электронной структуре атомов Zr при их введении в сплав в качестве легирующих добавок изучались методом оже-спектроскопии на установке LAS-2200. Все спектры записывались в одном режиме работы усилительного тракта. Перед съемкой поверхность образца очищали травлением ионами аргона с энергией 4 кэВ. Согласно /10/, в таких объектах не наблюдается значительных изменений состава поверхности образца при ионной бомбардировке.

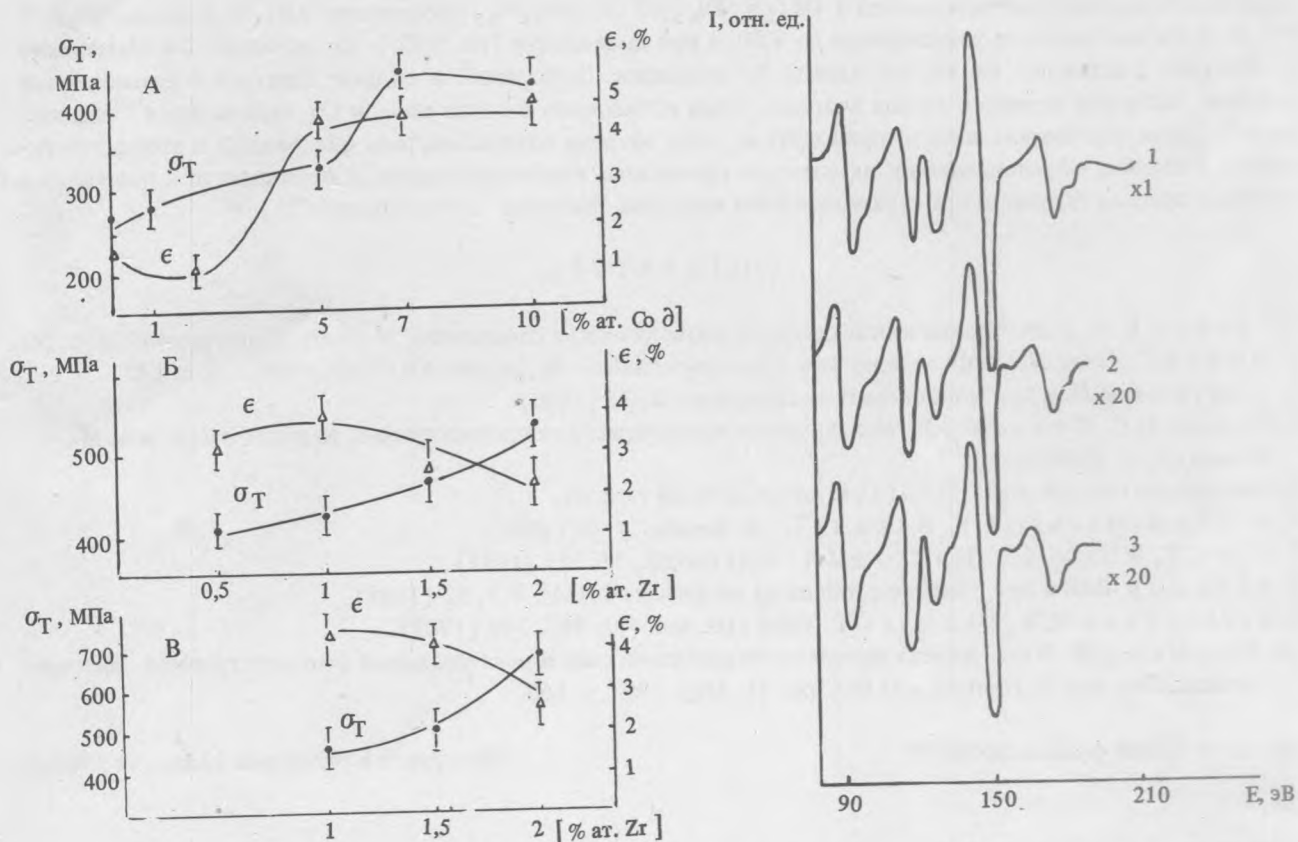


Рис. 1. Зависимость предела текучести σ_T и предельной деформации при изгибе ϵ сплава Ni_3Al от содержания легирующих элементов при легировании Ni_3Al кобальтом (А), цирконием (Б) и легировании сплава $Ni_3Al - 7$ ат. % Со цирконием (В)

Рис. 2. Оже-спектры циркония: 1 – чистый цирконий, 2 – цирконий в Ni_3Al ; 3 – цирконий в $Ni_3Al + 7$ ат. % Со.

На рис. 1 приведены зависимости механических свойств образцов от содержания легирующих элементов. Предел текучести σ_T повышается от значения 275 МПа, характерного для чистого Ni_3Al , до 440 МПа у сплава, содержащего 7 ат. % Со и практически не меняется при дальнейшем увеличении концентрации легирующего элемента. Наблюдался резкий рост σ_T до 464 МПа при введении в интерметаллид циркония в количестве 1,5 ат. %, при более высоких содержаниях циркония изменения механических характеристик менее существенны. Наиболее значительные изменения в свойствах наблюдались при совместном применении добавок обоих типов. Для сплавов, содержащих 7 ат. % Со и 2 ат. % Zr, удалось достичь значения σ_T , равного 673 МПа.

Объяснение наблюдаемых эффектов дано на основании рассмотрения особенностей химического взаимодействия вводимого элемента с интерметаллидной матрицей. Спектры переходных металлов, к которым относятся Zr и Со, включают в себя линии, связанные с валентными уровнями. Если при образовании сплава происходит химическое взаимодействие, связанное с переносом заряда, то это проявляется в изменении заселенности валентных уровней и должно привести к деформации формы линии, т.е. к изменению интенсивностей соответствующих спектров. Исследование относительных интенсивностей оже-переходов Со из-за перекрытия его линий со спектрами Ni невозможно. Однако анализ характера взаимодействия переходных металлов с алюминием, проведенный в работах [8, 9], показывает, что кобальт в интерметаллидной матрице будет вести себя как "акцептор", увеличивая число своих d-электронов. В то же время изменения в спектрах циркония отчетливо видны (рис. 2). Так, если для чистого

циркония отношение интенсивностей $I(M_{45}N_{23}N_{45})/I(M_{45}N_{23}N_{23})$ составляет 2,91, то в сплаве $Ni_3Al + 2$ ат. % Zr эта величина уменьшается до 1,80, а при добавлении 7 ат. % Co — до значения 1,74. Изменения в спектрах указывают на то, что атомы Zr являются "донорами" и отдают электроны алюминиевой матрице. Величина переноса заряда возрастает при добавлении в сплав атомов Co, являющихся "акцепторами". Такое увеличение должно приводить к росту энергии взаимодействия дислокации и атома легирующего элемента, обусловленному их электростатическим взаимодействием, и проявляется в повышении значения предела текучести при одновременном введении "доноров" и "акцепторов".

ЛИТЕРАТУРА

1. Грейль Е.М. В кн. Механические свойства металлических соединений. М., Металлургиздат, 1962, с. 266.
2. Минц Р.С. В кн. Исследование по жаропрочным сплавам. М., изд-во АН СССР, 1958, т. 5, с. 179.
3. Портной К.И. и др. Порошковая металлургия, **2**, 33 (1980).
4. Попов Л.Е., Козлов Э.В. Механические характеристики упорядоченных твердых растворов. М., Металлургия, 1970.
5. Алуминиды никеля. БИНТИ ТАСС, № 16 от 20.04.88 г., с. 41.
6. Miura S., Mishima Y., Suzuki T. Z. Metallk., **8**, 48 (1989).
7. Liu C.T., White C.L., Horton J.A. Acta metall., **33**, 213 (1985).
8. Абрамов В.О. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 9, 52 (1988).
9. Richardson M.W., Pakkari T. Phys. stat. sol. (b), **107**, 749 (1981).
10. Хофман С.В. В кн. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Под ред. Д. Бриггса и М.П. Сиха. М., Мир, 1987, с. 160.

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 12 апреля 1990 г.