

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ Ni_3Al

Давыдов Д.И., Красноперова Ю.Г.

Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург davidov@imp.uran.ru

Проведено исследование структуры и магнитных свойств интерметаллического соединения Ni_3Al после высокотемпературной деформации. Обнаружен рост магнитной восприимчивости сплава после деформации. Исходно парамагнитный сплав становится ферромагнитный.

Для ряда интерметаллических соединений характерно изменение магнитного состояния при деформации. Характерной чертой таких интерметаллидов является то, что ферромагнитные элементы в упорядоченной структуре сильно изолированы друг от друга атомами неферромагнитных элементов[1]. При увеличении степени деформации эффект возрастает, так как увеличивается степень разупорядочения в структуре, при этом атомы ферромагнитных элементов сближаются и могут взаимодействовать друг с другом. Явление деформационно-индуцированного магнетизма присуще большому кругу интерметаллических соединений, в том числе Ni_3Al . Оно проявляется как появление при высоких степенях деформации дисперсных ферромагнитных кластеров внутри парамагнитной матрицы. Такой деформацией может быть холодная прокатка или деформация взрывом. В литературе нет информации о наблюдении этого явления при высокотемпературной деформации интерметаллидов. Интерес к деформационному поведению Ni_3Al ($L1_2$) связан с тем, что это соединение является основной упрочняющей фазой (γ' -фаза) жаропрочных никелевых сплавов. Деформация может привести как к росту, так и к уменьшению значений магнитной восприимчивости сплавов на основе Ni_3Al [2]

В работе [3] исследованы структурное состояние и магнитные свойства литых поликристаллических лопаток после эксплуатации изготовленных из никелевого жаропрочного сплава ЧС-70. Длительная высокотемпературная эксплуатация приводит к изменению магнитной восприимчивости материала на два порядка.

В данной работе на монокристаллических образцах Ni_3Al проведен модельный эксперимент с целью установить, при каких условиях высокотемпературной деформации изменяются магнитные свойства, а также выявить структурный объект, отвечающий за такое изменение.

Монокристаллы в виде цилиндров диаметром 18 и длиной 100 мм выращены по методу Бриджмена с ориентацией оси монокристалла $\langle 100 \rangle$. Испытания на растяжение проведены на установке Neckert FP-100/1 при температуре 850 и 880°C, образцы соответствуют ГОСТ 9651-84, тип I, № 1. Скорость нагружения составляла 0,05 мм/мин ($8,3 \cdot 10^{-6}$ м/с).

Намагниченность измеряли на магнитных весах Фарадея по силе вытягивания образца в неоднородное магнитное поле. Измерения намагниченности образца также проводились с использованием вибрационного магнитометра Lake Shore 7407 в магнитных полях до 17 кЭ на частоте 82 Гц, амплитуда вибраций составляла 1,5 мм.

После испытаний на растяжение, проведенных при температуре 880°C, в шейке образца вблизи поверхности разрушения, где напряжения максимальны, наблюдается большое количество дефектов: высокая плотность дислокаций и многочисленные дефекты упаковки. В шейке образца на расстоянии также обнаружено большое количество двойников, что не характерно для сплавов на основе Ni₃Al. Образование двойников является способом релаксации напряжений при нагружении в высокотемпературной области и проявляется только в участках кристалла с максимальным уровнем напряжений.

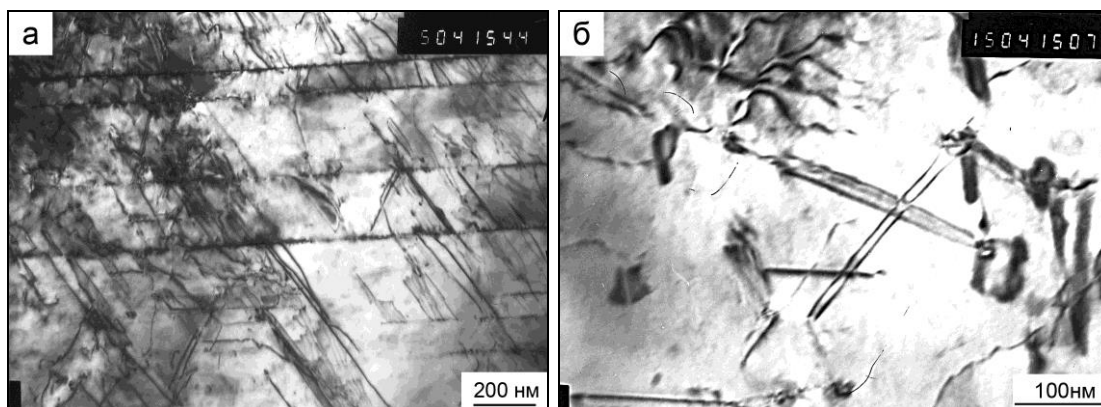


Рисунок – 1. Структура сплава после деформации: а - полосы скольжения, б - дефекты упаковки.

Высокотемпературная деформация приводит к изменению магнитных свойств образцов. В исходно парамагнитном сплаве после деформации на кривой зависимости намагниченности от поля появляется узкий гистерезис. На кривой температурной зависимости магнитной восприимчивости кроме пика соответствующему температуре Кюри сплава, появляется дополнительный пик, который связан со структурными изменениями в ходе деформации.

При этом существенным является тот факт, что изменение магнитных характеристик сплава сильно зависит от состава сплава. Эффект присутствует на образцах с отклонением от стехиометрии в сторону никеля, поскольку в областях обогащенных никелем возникает обменное взаимодействие между атомами.

После испытаний на растяжение, проведенных при температуре 880°C, магнитная восприимчивость возрастает. Вблизи зоны разрушения были видны полосы деформации, внутри которых повышена плотность дефектов. Можно видеть большое количество пересекающихся дефектов упаковки. В

месте их пересечения возникает наноразмерная область с повышенной концентрацией атомов никеля и нарушенным дальним порядком. При высокотемпературной деформации внутри частиц интерметаллида, имеющих высокую степень дальнего порядка, локально возникает объемный комплекс дефектов, который выступает в качестве ферромагнитного кластера в парамагнитной матрице.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-03-31499.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Baker I., Wu D. Strain-induced ferromagnetism in $L1_2$ compounds // TSM letters. 2005. v. 2. p. 57-58.
2. Zeng Q., Baker I. The effect of local versus bulk disorder on the magnetic behavior of stoichiometric Ni_3Al // Intermetallics. 2007. v. 15. p. 419-427.
3. Степанова Н.Н., Давыдов Д.И., Ничипурук А.Н., Ригмант М.Б., Казанцева Н.В., Виноградова Н.И., Пирогов А.Н., Романов Е.П. // Структура и магнитные свойства никелевого жаропрочного сплава после высокотемпературной деформации. ФММ. 2011. Т. 112. № 3. С. 328-336.