

УДК 620.181.412**ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МАГНИТОТВЕРДОМ СПЛАВЕ 27X15K2MTC**

Мария Владимировна Александрова

*Студентка 4 курса,**кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: И.М. Миляев,**доктор технических наук, главный научный сотрудник ИМЕТ РАН*

Магнитотвёрдые сплавы системы Fe-Cr-Co занимают особое место среди магнитотвёрдых сплавов в силу удачного сочетания своих магнитных гистерезисных (остаточная индукция B_r , коэрцитивная сила H_c , максимальное энергетическое произведение $(BH)_{\max}$) и механических (прочностных и пластических) свойств. Производство магнитотвёрдых FeCrCo сплавов 22X15K и 25X15KЮБФ с 15 вес. % кобальта освоено металлургической промышленностью и выпускаются в виде сортового и листового проката. К недостаткам этих сплавов следует отнести их относительно низкий уровень коэрцитивной силы (40 – 47 кА/м по ГОСТ 24897-81), что не всегда позволяет удовлетворять требования ряда потребителей. Поэтому задача повышения H_c этих достаточно экономных сплавов является актуальной. Из патентной и научно-технической литературы известно, что в магнитотвёрдых FeCrCo сплавах с увеличением содержания Cr и при легировании Mo и W растёт H_c , хотя при этом снижаются B_r и $(BH)_{\max}$. [1]. С целью изыскания магнитотвёрдых FeCrCo сплавов с более высокими значениями H_c при сохранении содержания остродефицитного кобальта на уровне 15 вес. % для исследования был взят сплав, содержащий (в вес. %): 27Cr, 15Co, 2,5Mo, 1Ti, 1Si, остальное Fe (по данным химического анализа сплав содержал: 27,3Cr, 15,3Co, 2,4Mo, 1,1Ti, 0,8Si, ост. Fe).

Исследуемый сплав выплавляли в открытой индукционной печи из шихтовых компонентов промышленной чистоты, разливали в корковые формы и получали образцы $\varnothing 20 \times 80$ мм, из которых затем на ротационно-ковочной машине получали прутки $\varnothing 12$ мм. После их токарной обработки на образцах $\varnothing 10 \times 20$ мм проводили изучение магнитных гистерезисных и механических свойств. Определение температурных интервалов для проведения термообработки на высококоэрцитивное состояние проведено путём дилатометрического исследования при нагреве до 1300 °C и охлаждении на дилатометре DIL 402 C7G фирмы NETZSCH Geraetbau GmbH (Германия). Скорость нагрева составляла 10 °C/мин, скорость охлаждения – 20 °C/мин. На рис. 1 приведена дилатометрическая кривая сплава 27X15K2MTC при нагреве. На этой кривой можно выделить характерные температуры, связанные с фазовыми превращениями: 1035, 750, 670 и 620 °C. После закалки от 1250 °C сплав – однофазный, содержит ОЦК α -фазу с параметром, $a = 0,2875$ нм (высокотемпературный α -твёрдый раствор). Образец, закалённый в воде от 1250 °C и отожжённый при 1035 °C в течение 1 часа с последующей закалкой, содержит по данным рентгеноструктурного анализа тоже одну ОЦК α -фазу с параметром $a = 0,2885$ нм. После закалки и отжига при 750 °C в течение 2-х часов сплав становится двухфазным: содержит α -фазу с $a = 0,2875$ нм и тетрагональную σ -фазу состава $Fe_{1,01}Cr_{0,99}$ с $a = 0,886$ нм и $c = 0,441$ нм, степень тетрагональности $c/a = 0,498$. Закалка от 670 °C после 2-х часового отжига свидетельствует о наличии двухфазной структуры: α -фаза с $a = 0,2875$ нм + σ -фаза состава $Fe_{1,13}Cr_{0,87}$ с $a = 0,879$ нм и $c = 0,457$ нм, $c/a = 0,52$. Соотношение фаз в структуре сплава по данным рентгеноструктурного анализа такое: 65,8 % α -фазы и 32,4

% σ -фазы. Скорее всего при 670 °С начинается процесс выделения из высокотемпературного α -твёрдого раствора сложной σ -фазы со структурой β -U, а при 750 °С он протекает наиболее интенсивно. Уменьшение степени тетрагональности σ -фазы и относительного содержания в ней Fe при 670 °С может свидетельствовать скорее всего о том, что кобальт, как основной сигмаобразующий элемент в FeCrCo сплавах идёт в σ -фазу. Увеличение содержания в магнитотвёрдых FeCrCo сплавах Cr и Mo приводит к резкому увеличению содержания σ -фазы в структуре сплава при температурах её максимального содержания. Для сравнения в сплаве 22X15K с 22 % Cr и 15 % Co после длительного отжига при 750 °С максимальное содержание σ -фазы составляет ~10 %, в сплаве 25X15КЮБФ с 25 % Cr и 15 % Co после аналогичной термообработки содержится ~11,5 % σ -фазы [2]. Для сравнения в двойных сплавах Fe – Cr содержится σ -фаза с $a = 0,880$ нм и $c = 0,4544$ нм, $c/a = 0,516$ [3]. Рентгенодифрактограмма после закалки и 2-х часового отжига при 620 °С даёт картину однофазного состояния закалённого α -твёрдого раствора с $a = 0,2885$ нм. При этом наиболее интенсивная линия (100) имеет несимметричные отклонения, которые могут быть свидетелями начала высококоэрцитивного распада высокотемпературного α -твёрдого раствора на два ОЦК твёрдых раствора $\alpha_1 + \alpha_2$, первый из которых обогащён Fe и Co, а второй Cr.

Нагрев

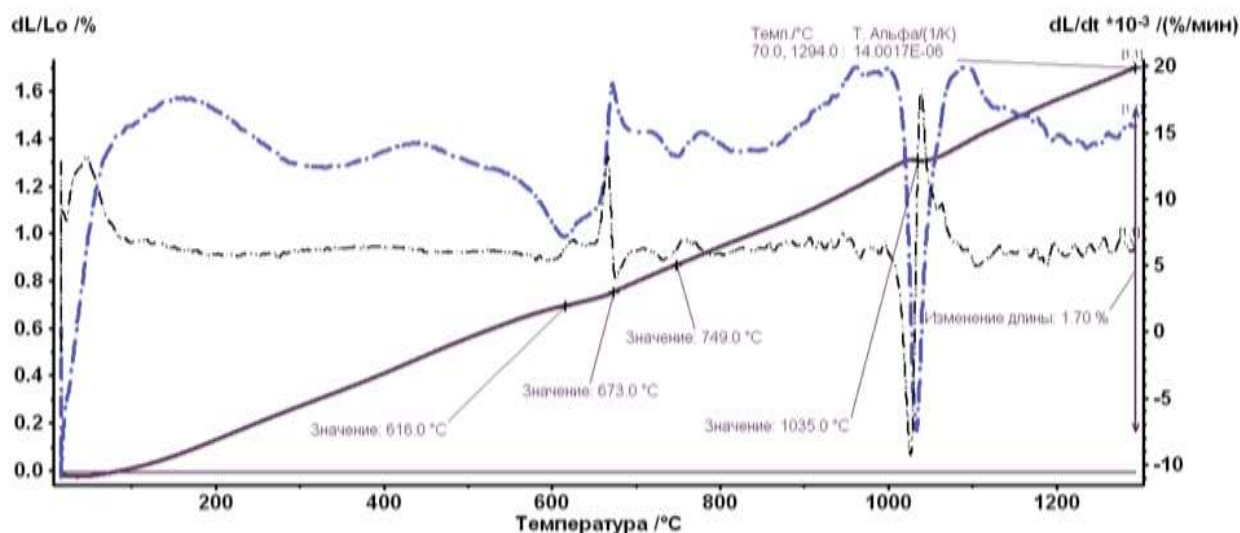


Рис. 1. Дилатометрическая кривая сплава 27X15K2MTC при нагреве. Штрихпунктирные кривые обозначают первую и вторую производные изменения длины образца при нагреве.

В заключение выражаю с искренней признательностью благодарность научному руководителю работы: д.т.н., г.н.с. ИМЕТ РАН Миляеву Игорю Матвеевичу.

Литература

1. Алымов М.И., Анкудинов А.Б., Зеленский В.А., Миляев И.М., Юсупов В.С., Вомпе Т.А. Влияние поверхностно-активных добавок при помоле на процессы прессования, спекания и магнитные свойства порошкового сплава FeCrCoMoW // Перспективные материалы. – 2014. - № 4. - с. 51-57.
2. Миляев И.М., Пруцков М.Е., Лайшева Н.В., Миляев А.И., Юсупов В.С. О кинетике образования σ -фазы в магнитотвёрдых сплавах системы Fe-Cr-Co // Металлы. – 2010. - № 6. - с. 73-76.
3. Лякишев Н.П., Гасик М.И. Металлургия хрома. - М.: Изд-во «Элиз», 1999. - 581 с.