

нием, удалось реализовать при криогенных температурах. В итоге, действительно оказалось возможным пластически деформировать при этих температурах материалы, которые никаким другим образом при низких температурах продеформировать не удавалось, причем без нарушений сплошности и с достижением существенного упрочнения.

Неожиданным результатом оказалось, что такая схема деформирования очень эффективно проявляет себя и в случае экструдирования достаточно пластичных материалов, позволяя получить очень высокие уровни упрочнения металла при небольших пластических деформациях. Так, например, в случае обработки при 77 К нержавеющей стали X18Ni9Ti при деформациях, при которых исходный диаметр заготовки уменьшался всего на 5–6% ($\epsilon \sim 0,1$), предел текучести стали возрастал с 220 до 1800–2000 МПа, происходил практически полный переход исходного аустенита в высокодисперсный мартенсит, состаривание которого позволяло довести предел текучести металла до 2400–2600 МПа.

Изложенное выше позволяет сделать, по крайней мере, два вывода: с одной стороны, показан путь, при котором для достижения высокой дисперсности структуры при соответствующем росте механических свойств нет необходимости задаваться целью деформировать материал на все большие степени. С другой – условия деформирования металла, при которых на него действуют силы всестороннего сжатия большой величины, а сам он находится при низких (криогенных) температурах, требуют глубокого изучения, потому что они могут принести новые эффекты, о которых мы сейчас и не подозреваем.

Список литературы

1. Segal V.M.. Materials Science and Engineering, A386, (2004), 269-276.
2. Valiev R.Z., Korznikov A.V., Mulyukov R.R. // Mater. Sci. Eng. 1993. v. A186. P.141
3. Бейгельзимер Я.Е., Решетов А.В., Сынков С.Г. ФТВД 16, №3, 108(2006).
4. Гиндин И.А., Стародубов Я.Д., Аксенов В.К.. Металлофизика, 2, №2, 49 (1980).
5. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000, 272 с.
6. Стародубов Я.Д., Хаймович П.А. Проблемы прочности, 10, 116 (1975).
7. Хаймович П.А., ВАНТ, сер. «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение», 2006, №4, с.28-34.
8. Хаймович П.А. Патент Украины №75155, 2006.

ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ ЛЕГИРОВАНИИ Fe–Co СПЛАВОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Ширинов Т. М., Глазырина М. И. *, Глезер А. М. *, Молотилов Б. В. *,
Громов В. Е., Коновалов С. В.

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,
gromov@physics.sibsiu.ru*

**Институт металлофизики и функциональных материалов им. Г.В. Курдюмова
ЦНИИЧермета им И.П. Бардина, Москва, glezer@imph.msk.ru*

Отличительной чертой практически всех упорядоченных сплавов является их крайне низкая пластичность. Наиболее объективной оценкой склонности металлов и сплавов с о.ц.к. решеткой к пластическому течению служит величина температурного

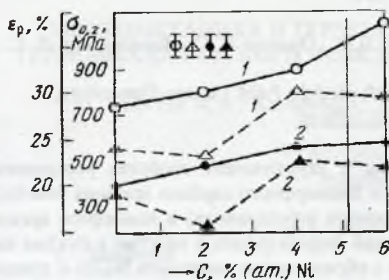
порога хладноломкости (вязко-хрупкого перехода) $T_{хр}$, определяющая температурный интервал пластичности сплавов. Очевидно, более высокое значение $T_{хр}$ соответствует более хрупкому сплаву и наоборот, более низкое – более пластичному [1]. Широкое использование Fe–Co сплавов, обладающих комплексом высоких магнитных свойств, в машино- и приборостроении предъявляет требование высокой прочности в сочетании с большой пластичностью. Без заметного ухудшения магнитных свойств этого можно достичь легированием небольшими количествами V, Cr и других элементов [1]. Повышенную склонность к хрупкому разрушению железокобальтовых сплавов связывают, как правило, с протеканием в них процессов атомного упорядочения по типу В2, а улучшение пластичности при легировании – замедлением упорядочения.

В данной работе исследовано влияние легирующих добавок ванадия, хрома, никеля и марганца на предел текучести и пластичность эквивалентного сплава FeCo при температуре жидкого азота (77 К).

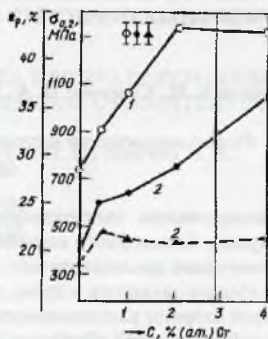
Легирование третьим элементом в пределах до 6 % (ат.) (Mn и Ni) и до 4 % (ат.) (V и Cr) проводили таким образом, чтобы сохранить эквивалентное соотношение атомов Fe и Co. Сплавы выплавляли в дуговой вакуумной печи "Бальцерс", слитки проковывали в прутки диаметром 8 мм, из которых изготавливали цилиндрические образцы диаметром 5 мм и длиной 10 мм для механических испытаний. Образцы подвергали термической обработке, способствующей полному протеканию в них процессов атомного упорядочения по типу В2 (длительный отжиг в интервале температур 850–500°C) и термической обработке, подавляющей атомное упорядочение (закалка в воду от 1000 °C). Режим термообработки выбран на основании работы [1]. Механические испытания образцов проводили на машине "Инстрон" сжатием при скорости деформации 10^{-4} с⁻¹. Перед испытаниями образцы электролитически полировали в растворе хромового ангидрида в ортофосфорной кислоте.

Изменение механических свойств сплава FeCo при легировании его никелем показано на рис. 1а, ванадием – на рис. 1б, хромом – на рис. 1в и марганцем – на рис. 1г. В качестве параметра прочности была использована величина условного предела текучести $\sigma_{0,2}$, а в качестве параметра пластичности – степень пластической деформации до разрушения ϵ_r . Как видно из представленных зависимостей, величина $\sigma_{0,2}$ для закаленного состояния выше, чем для отожженного вне зависимости от природы легирующего элемента. Это различие более ощутимо при легировании сплавов ванадием, хромом и марганцем. Введение никеля также повышает $\sigma_{0,2}$, однако менее существенно. На рис. 1а-г вертикальной линией показана граница появления в структуре исследованных сплавов частиц γ -фазы. Эта граница, установленная с помощью электронно-микроскопических дифракционных исследований, относится, естественно, только к отожженным сплавам, и только в случае легирования никелем γ -фаза наблюдалась нами и в закаленном состоянии. Как видно из графиков, появление γ -фазы в структуре легированных пермендюрлов не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на предел текучести. По крайней мере, характер зависимости $\sigma_{0,2} = f(\% Me)$, где $Me = Ni, V, Mn, Cr$ не меняется по мере перехода сплавов из однофазного состояния в двухфазное. Основное изменение прочности, как мы видим, происходит в пределах однофазного о.ц.к. твердого раствора.

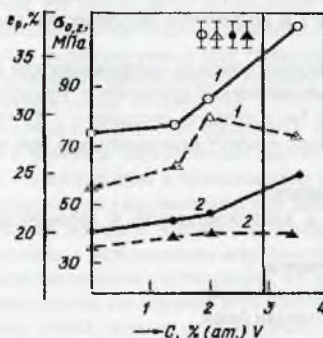
Пластичность сплавов после закалки так же, как и прочность, выше, чем после отжига. Исключение составляет лишь легирование марганцем (рис. 1г), когда величина ϵ_r после закалки и после отжига примерно одинакова. Наиболее благоприятное влияние на пластичность оказывают ванадий, хром (только при 0,4 % (ат.)). Влияние никеля также положительно сказывается на пластичности, но только начиная с 4 % (ат.). Как и в случае прочности, пластичность исследованных сплавов не чувствительна к появлению в структуре γ -фазы, и заметные изменения ϵ_r происходят в пределах однофазного о.ц.к. твердого раствора.



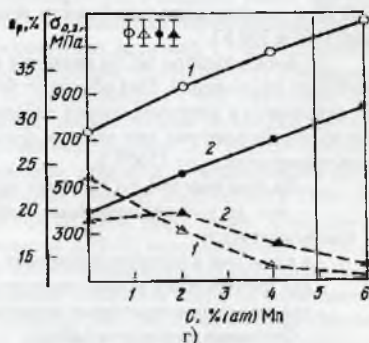
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Зависимости предела текучести $\sigma_{0.2}$ и пластичности ϵ_p сплавов Fe-Co от концентрации C, ат.% Ni (а), V (б), Cr (в), Mn (г). Сплошные линии – зависимости $\sigma_{0.2}(C)$, прерывистые – $\epsilon_p(C)$ для закаленных (1) и отожженных (2) сплавов

Сопоставляя прочностные и пластические свойства исследованных сплавов, можно указать ряд композиций, имеющих более благоприятный комплекс механических характеристик при низких температурах, нежели сплав FeCo или классический ванадиевый пермендюр [FeCo – 2% (ат.) V]. К таковым следует отнести сплав, содержащий 4% (ат.) Ni, 0,4–1% (ат.) Cr, а также менее 2% (ат.) Mn. Естественно, следует принимать во внимание возможное изменение магнитных свойств и требования, предъявляемые к механическим характеристикам. Например, ряд сплавов, исследованных в данной работе, имеет гораздо более высокое значение $\sigma_{0.2}$ при той же величине ϵ_p , что и сплав FeCo.

Список литературы

1. Глезер А.М., Молотилев Б.В. Упорядочение и деформация сплавов железа. – М.: Металлургия. 1984. 167с.