

ЭВОЛЮЦИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ МАЛОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ МОЛИБДЕНА

Гнесин Б.А., Карпов М.И., Аристова И.М., Гнесин И.Б., Прохоров Д.В.,
Постнова Е.Ю., Внуков В.И., Желтякова И.С., Строганова Т.С.

Институт физики твердого тела Российской Академии наук, Черноголовка, Россия

gnesin@issp.ac.ru

Работа посвящена двум новым малолегированным сплавам молибдена, в которых концентрации легирующих элементов, например, Hf, Zr, не превышали 0,5 ат. %. В оба сплава перед электроннолучевой плавкой дополнительно ввели углерод. В сплав 1 его ввели в 4 раза больше, чем в сплав 2. После горячей прокатки до толщины 2,8-3 мм, прокатку до толщины ~ 0,8 мм провели с нагревом в кремнийорганической жидкости ПФМС до 280° С. Прокатку более тонких листов обоих сплавов до 0,15 - 0,17 мм вели уже при комнатной температуре. При прокатке в один и тот же зазор между валками прокатного стана (при одинаковой ширине), лист сплава 2 неизменно оказывался тоньше, чем для сплава 1, что связано с ростом сопротивления пластической деформации в связи с упрочняющим действием обнаруженных в сплаве 1 дисперсных карбидов.

В сплаве 1 с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) листов толщиной около 170 мкм было установлено присутствие карбидов Mo₂C с характерными размерами 30-200 нм, изредка встречались карбиды с размерами до 3 мкм, заметные и с помощью оптической микроскопии. В сплаве 2 удалось обнаружить лишь крупные карбиды (до 3 мкм) с помощью оптической микроскопии. Выявить карбиды с помощью ПЭМ в сплаве 2 не удалось, хотя можно было бы ожидать их присутствия в 4 раза меньшем количестве, чем в сплаве 1.

В предположении, что весь введенный в сплав 1 углерод выделился в виде карбидов состава Mo₂C, априорная оценка для объемной доли карбидов дала значение ~ 0,38 об.%. Площадь проекции частицы на плоскость больше площади любого сечения частицы плоскостью параллельной данной, поэтому доля площади изображения ПЭМ, занятая карбидами, часто оказывается больше их объемной доли.

Сканирующая электронная микроскопия поперечных шлифов показала, что зародыши трещин расслоения могут возникать и расти вблизи именно карбидных частиц, деформация которых при холодной прокатке невозможна и потому несовместна с деформацией молибденовой основы сплава. Подобные явления известны для сталей и для молибдена, [1,2]. Трещины расслоения, редкие и короткие после горячей прокатки, значительно усиливаются в ходе холодной прокатки. К конечной толщине плотность образцов падала от ~ 10,18 г/мл до 10,00 г/мл.

Трехточечный изгиб листов толщиной около 0,5 мм и шириной 5 мм обоих сплавов провели при различных температурах. При 0 - 20° С образцы обоих сплавов были пластичны. Для сплава 2 переход к полностью хрупкому разрушению происходил в области температур (-50)- 0° С, а для сплава 1 в интервале температур (-70)- (-10)° С. В данном случае оказалось, что дополнительно введенный углерод позволил понизить температуру хрупко-вязкого перехода на ~10° С.

Авторы благодарны ИФТТ РАН за возможность проведения данной работы.

1. Ping Hu *et al.*, Crack initiation mechanism in lanthanum-doped titanium-zirconium-molybdenum alloy during sintering and rolling, *Journal of Alloys and Compounds*, 745 (2018) p. 532-538.
2. N.A. Giang *et al.*, Influence of carbide particles on crack initiation and propagation with competing ductile-brittle transition in ferritic steel, / doi:10.1016/j.tafmec.2017.05.015