

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Фирсовой Анны Григорьевны «Эволюция структуры и механических свойств при термомеханической обработке аморфных сплавов с разной стеклообразующей способностью, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Аморфные сплавы обладают рядом необычных свойств, которые делают эти материалы очень перспективными в различных отраслях промышленности. Вместе с тем, их широкое применение сдерживается низкой пластичностью, особенно при растяжении. Пластические свойства обусловлены особой структурой аморфных сплавов и механизмом их деформирования, к которому относится формирование полосы сдвига. Поэтому большие усилия ученых направлены на модификацию структуры аморфных сплавов, что позволило бы управлять количеством и структурой полос сдвига. Обычно это достигают за счет изменения химического состава сплава, термообработки, формирования областей с различным химическим составом, нанокристаллизацией и др. Однако, каждый из предложенных методов имеет свои достоинства и недостатки, поэтому продолжают поиски путей увеличения пластичности аморфных сплавов. В связи с этим, тема диссертационной работы Фирсовой А.Г., посвященной изучению влияния термомеханической обработки на структуру и механические свойства аморфных сплавов, является очень актуальной.

Основным достоинством работы является то, что соискатель изучала влияние режимов термомеханической обработки на аморфные сплавы, отличающиеся стеклообразующей способностью, а также аморфные сплавы одного состава, но полученные в различном состоянии: в виде тонких лент или объемных образцов. Это позволило автору работы обобщить полученные результаты и установить новые закономерности.

В диссертационной работе исследовано влияние режимов деформации и отжига на структуру и механические свойства аморфного сплава  $Al_{85}Y_8Ni_5Co_2$ , обладающего низкой стеклообразующей способностью. Показано, что прокатка со степенью деформации 30 % при температурах 20 и 100 °С (ниже температуры расстеклования) не сопровождается кристаллизацией, в то время как прокатка при 200 °С приводит к образованию нанокристаллического алюминия в аморфной матрице. Вне зависимости от температуры прокатки, в образцах увеличивалось количество полос сдвига, однако это приводило к различному изменению твердости сплава. Так, после прокатки при 20 °С, микротвердость уменьшалась, что автор связывает с увеличением свободного объема. Прокатка при температуре 100 °С повышает микротвердость, а при 200 °С, вновь, ее понижает, что связано с образованием нанокристаллического алюминия. Исследование влияния режимов термомеханической обработки на структуру и механические свойства аморфных лент сплава  $Zr_{62,5}Cu_{22,5}Al_{10}Fe_5$  с высокой стеклообразующей способностью, показало, что после прокатки на поверхности лент образуется большое количество ступенек, что обусловлено выходом на поверхность многочисленных полос сдвига. Установлено, что чем больше деформация при прокатке и ниже температура деформирования, тем больше плотность полос сдвига. Полученный результат хорошо согласуется с изменением микротвердости, которая тем меньше, чем больше деформация и меньше температура прокатки. Автор объясняет это тем, что в процессе прокатки при низких температурах увеличивается свободный объем за счет увеличения количества полос сдвига, что приводит к «омоложению» сплава, тогда как повышение температуры деформирования инициирует релаксационные процессы, которые, напротив, приводят к «старению» материала. Изменение микротвердости при отжиге прокатанных аморфных сплавов зависит от



исходной плотности полос сдвига, сформированных при прокатке. Чем меньше их плотность, тем меньше изменение микротвердости при термообработке. Увеличение микротвердости при отжиге образцов с высокой плотностью полос сдвига связано с образованием наночастиц аморфной фазы с другим химическим составом по сравнению с матрицей. В работе предполагается, что влияние этих частиц на свойства материала аналогично влиянию зон Гинье-Престона. Вместе с тем, в объемных аморфных образцах того же состава наблюдается фазовое расслоение уже при прокатке. В работе исследовано влияние концентрации железа в аморфных сплавах системы Zr-Cu-Al-Fe на изменение свойств при термомеханической обработке. Показано, что вне зависимости от химического состава сплава, процессы, происходящие при термомеханической обработке одинаковы, что позволяет применять этот метод для улучшения пластичности широкого спектра аморфных сплавов.

По тексту автореферата необходимо сделать следующие замечания:

1. В автореферате отсутствует рисунок 7.
2. Результаты работы показали, что процессы, происходящие при термомеханической обработке лент и объемных образцов одного и того же состава, различные. Так, после одних и тех же режимов термомеханической обработки плотность полос сдвига в объемных образцах в 5 раз ниже, чем в лентах. К сожалению, в автореферате не указаны причины, по которым в сплавах одного и того же состава изменение структуры при термомеханической обработке различны.

Сделанные замечания являются техническими и не влияют на положительную оценку диссертационной работы, которая написана хорошим научным языком, достаточно апробирована, а ее результаты опубликованы в научных журналах. Диссертация Фирсовой А.Г. является законченным научным исследованием и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Фирсова Анна Григорьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Профессор кафедры общей математики и информатики  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет".  
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. д.7-9.

Согласна на обработку персональных данных.

Реснина Наталья Николаевна  
Доктор физико-математических наук  
Специальность 01.04.07 (1.3.8) – физика конденсированного состояния  
Тел. +79119949636  
e-mail: resnat@mail.ru

*Реснина*



26.08.2022



Текст документа размещен  
в открытом доступе  
на сайте СПбГУ по адресу  
<http://spbu.ru/science/expert.html>