

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН В ЗОНЕ ЛАЗЕРНОГО ОТЖИГА АМОΡФНЫХ СПЛАВОВ

А.М. Глезер^{1*}, И.Е. Пермякова¹, В.А. Федоров²

¹ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»,

Институт металловедения и физики металлов им.Г.В. Курдюмова, ул.Радио 23/9, Москва, 105005, Россия

²Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина,

Интернациональная 33, Тамбов, 392000, Россия

*e-mail: a.glezer@mail.ru

Аннотация. Изучены особенности микрокартин деформации и разрушения в зоне лазерной обработки аморфных сплавов. Предложена методика определения склонности аморфных сплавов к образованию трещин в условиях локального нагружения и тепловой предыстории, позволяющая в свою очередь оценивать температуру отжига, соответствующую вязко-хрупкому переходу материала и температуры нагрева в зоне термовоздействия сфокусированным лазерным излучением.

1. Введение

Важными обстоятельствами, осложняющими практическое применение аморфных сплавов (АС), является их низкая термическая стабильность, возможность возникновения неоднородностей структуры, механических напряжений, например, вследствие локального нагрева. Результатом таких воздействий может быть изменение ряда свойств материала, что, в свою очередь, приведет к выходу из строя соответствующих устройств. С другой стороны, известны технологии специальной термической обработки АС для контролируемого изменения их структуры и механических свойств. Примерами могут служить: термический отжиг до температуры охрупчивания, но ниже температур, соответствующих изменению магнитных свойств АС [1], или термовоздействие сфокусированного импульсного излучения лазера [2].

В настоящее время наблюдается возрастающий интерес к использованию лазеров в технологии производства АС и совершенствовании их свойств [3-6]. Благодаря свободе выбора состава стеклообразной фазы, образующейся при лазерной закалке, появилась возможность создавать специфические метастабильные кристаллы при кристаллизации аморфной фазы требуемого состава [4]. В связи с этим актуальной задачей является и изучение эволюции свойств и структуры АС под воздействием излучения лазеров [7].

2. Методика и материалы

Объектами исследования являлись ленточные образцы АС $Co_{70,5}Fe_{0,5}Cr_4Si_7V_{18}$, полученного методом спиннингования, размером 10×20 мм, толщиной 30 мкм. Лазерную обработку поверхности АС осуществляли с помощью оптического квантового генератора «КВАНТ-15» с длиной волны излучения $\lambda = 1064$ нм. Плотность энергии импульса варьировали в пределах 4-6 Дж/см². Термическую обработку АС проводили отжигом в печи в интервале $T_{an} = 533-903$ К с выдержкой $t=10$ мин при каждой

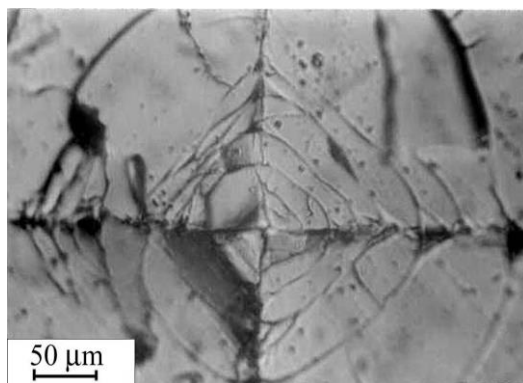


Рис. 3. Разрушение АС с формированием характерной сетки трещин параллельных граням пирамиды Виккерса, $T_{an} = 800$ К, $P = 130$ г (печной отжиг).

Вследствие действия сравнительно мощного и непродолжительного лазерного импульса, приводящего к локальному нагреву материала, отмечается резкое изменение механических характеристик на границе зоны термического воздействия. Трещины зарождаются при индентировании только зоны термического воздействия или на ее границе. Вне термически обработанной зоны трещинообразования не наблюдали (Рис. 2).

Для граничных участков термического воздействия лазера, полученных идентичными импульсами и равноудаленных от центра проплава, определена зависимость вероятности образования трещин от нагрузки на индентор при микроиндентировании на подложке. Экспериментальные результаты представлены линейной зависимостью – I на Рис. 4 с коэффициентом корреляции $R = 0,92$. Данная зависимость была сопоставлена с зависимостями $W(P)$ при печном отжиге для разных температур, полученных индентированием на идентичной подложке (Рис. 5).

Установлено, что нагрев граничной области зоны облучения эквивалентен отжигу в печи при $T_{an} = 658$ К в течение $t = 10$ мин. Прямая $W(P)$ для этой температуры термообработки – 2 на Рис. 5 наиболее хорошо согласуется с аналогичной линейной зависимостью I при лазерном облучении (Рис. 4).

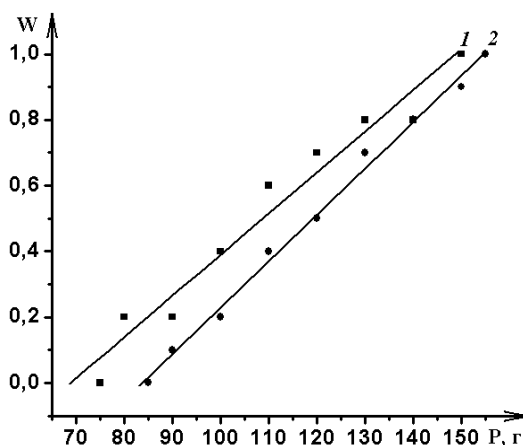


Рис. 4. Вероятность образования трещин (W) от нагрузки (P) на индентор для образца АС, подвергнутого импульсному лазерному облучению – 1 и термической обработке при температуре $T_{an} = 658$ К – 2 .

Таким образом, метод определения вероятности образования трещин в АС от нагрузки на индентор позволяет, на основании сопоставления зависимостей $W(P)$, полученных на образцах, отожженных в печи, оценить эквивалентную температуру нагрева при локальной лазерной обработке. Ограничением в применении метода является температура начала

- [2] Н.А. Скулкина, М.А. Горланова, О.А. Иванов, И.А. Попова, Л.Е. Цветкова, Е.А. Степанова, А.С. Смышляев, П.Е. Маркин // *Физика металлов и металловедение* **83(5)** (1997) 54.
- [3] А.Л. Семенов, А.А. Гаврилюк, А.В. Гаврилюк, А.В. Семиров, А.Н. Малов, Б.В. Гаврилюк, Н.В. Турик, А.Ю. Моховиков // *Неорганические материалы* **46(6)** (2010) 694.
- [4] *Металлические стекла. Атомная структура и динамика, электронная структура, магнитные свойства* (Мир, М., 1986), том 2.
- [5] В.В. Гиржон, А.В. Смоляков, Т.С. Ястребова // *Физика металлов и металловедение* **96(6)** (2003) 73.
- [6] Б. Ретфельд, К. Соколовски-Тинтен, В.В. Темнов, С.И. Кудрямов, Й. Биалковски, А. Кавалери, Д. фон дер Линде // *Известия Российской академии наук. Серия физическая* **65(4)** (2001) 502.
- [7] В.И. Бойко, А.Н. Валяев, А.Д. Погребняк // *Успехи физических наук* **169(11)** (1999) 1243.
- [8] I.V. Ushakov, V.A. Feodorov, I.J. Permyakova, In: *Proceedings of SPIE (The international Society for Optical Engineering). Sixth International Workshop on New Approaches to High-Tech: Nondestructive Testing and Computer Simulations in Science and Engineering* (Russia, St. Petersburg, June 10-16, 2002.), Vol. 5127, p. 246.
- [9] И.В. Ушаков, В.А. Федоров, И.Е. Пермякова // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов* **7** (2003) 43.

FEATURES OF CRACKS FORMATION IN THE LASER TREATMENT ZONE OF AMORPHOUS ALLOYS

A.M. Glezer^{1*}, I.E. Permyakova¹, V.A. Feodorov²

¹I.P. Bardin Central Research Institute of Ferrous Metallurgy, Radio, 23/9 build 2, Moscow, 105005, Russia

² Derzhavin Tambov State University, International, 33, Tambov, 392000, Russia

*e-mail: a.glezer@mail.ru

Abstract. The deformation and fracture of amorphous alloys in the zone of laser treatment were investigated. A technique of determination the liability to cracking of amorphous alloys under local loading and thermal history were proposed. This method allows to estimate the annealing temperature, which corresponds to the ductile-brittle transition of the material and heat temperature in the zone of laser treatment.

Acknowledgement

This work was financially supported by RFBR (grant № 14.02-00075 «А»).

References

- [1] M.A. Husainov, N.N. Belyakov, O.V. Letenko, In: *Proceedings of the International Seminar "Actual Problems of Strength" by V.A. Likhachev* (Russia, Veliky Novgorod, October 15-18, 1997), p. 204.

- [2] N.A. Skulkina, M.A. Gorlanova, O.A. Ivanov, E.A. Stepanova, A.S. Smyshlyaev, P.E. Markin, I.A. Popova, L.E. Tsvetkova // *The Physics of Metals and Metallography* **83(5)** (1997) 54.
- [3] A.L. Semenov, A.A. Gavriilyuk, N.V. Turik, A.Y. Mokhovikov, A.V. Gavriilyuk, A.V. Semirov, B.V. Gavriilyuk, A.N. Malov // *Inorganic Materials* **46(6)** (2010) 617.
- [4] *Glassy metals II: Atomic Structure and Dynamics, Electronic structure, Magnetic Properties* (Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1983).
- [5] V.V. Girzhon, A.V. Smolyakov, T.S. Yastrebova // *The Physics of Metals and Metallography* **96(6)** (2003) 73.
- [6] B. Retfeld, K. Sokolowski-Tinten, V.V. Temtov, S.I. Kudryamov, Y. Bialkovski, A. Cavaleri, D. von der Linde // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics* **65(4)** (2001) 502.
- [7] V.I. Boiko, A.N. Valyaev, A.D. Pogrebnyak // *Physics-Uspekhi* **42(11)** (1999) 1139.
- [8] I.V. Ushakov, V.A. Feodorov, I.J. Permyakova, In: *Proceedings of SPIE (The International Society for Optical Engineering). Sixth International Workshop on New Approaches to High-Tech: Nondestructive Testing and Computer Simulations in Science and Engineering* (Russia, St. Petersburg, June 10-16, 2002), Vol. 5127, p. 246.
- [9] I.V. Ushakov, V.A. Feodorov, I.E. Permyakova // *Zavodskaya Laboratoriya. Diagnostika Materialov* **7** (2003) 43. (In Russian).