

## Влияние температуры деформации на термическое расширение сплава Ni-Mn-Ga в области мартенситного превращения

Кирилук К.К.<sup>1</sup>, Нагимов М.И.<sup>2</sup>, Галеев Р.М.<sup>2</sup>, Мусабилов И.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

<sup>2</sup> Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа

В сплавах, называемых сплавами Гейслера, в области комнатных температур протекает мартенситное превращение, в интервале которого наблюдаются такие эффекты как ферромагнитный эффект памяти формы [2] и магнитокалорический эффект [[1]]. Благодаря этим эффектам сплавы относят к классу функциональных материалов. Но также данные соединения обладают некоторыми недостатками, например, при циклическом протекании мартенситного превращения образцы подвержены разрушению. В различных сплавах и металлах повышение механических свойств достигается с помощью деформационно-термической обработки материала. Наибольшую значимость из них имеет метод всесторонней изотермическойковки, который позволяет добиться формирования однородности требуемой микроструктуры в заготовке. Ранее было показано, что формирование микроструктуры типа «ожерелье» в системе сплавов Ni-Mn-Ga-Si позволяет существенно повысить усталостную прочность материала [[3]].

В рамках данной работы проводится исследование влиянияковки на микроструктуру и дилатационные свойства Ni-Mn-Ga. Кроме формирования специфической микроструктуры необходимо сформировать анизотропию свойств в области мартенситного превращения, что важно к примеру, для ферромагнитного эффекта памяти формы. Анизотропия в свою очередь определяется наличием внутренних напряжений преимущественной ориентации. С этой целью на последнем этапековки температура деформации была существенно снижена с 700°C до 500°C.

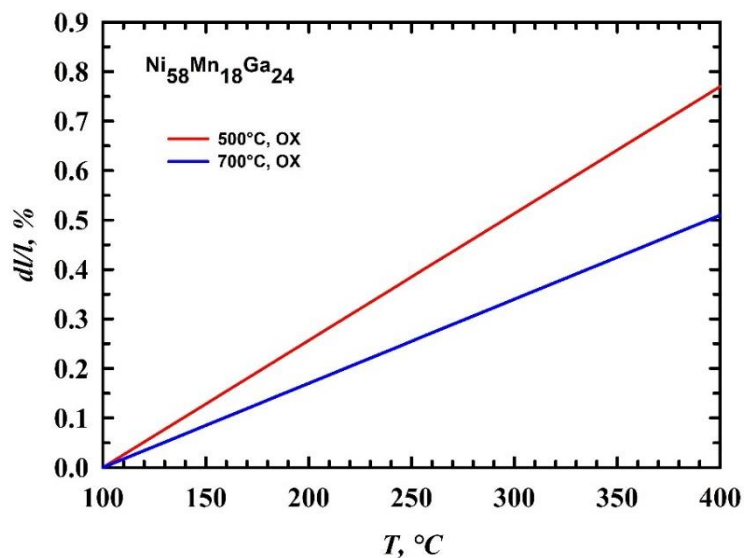


Рис. 1. Кривые термического расширения для кованого образца сплава Ni<sub>58</sub>Mn<sub>18</sub>Ga<sub>24</sub>; Измерения выполнены в области мартенситного превращения при нагреве образцов.

Как видно из рис.1, во всем интервале нагрева наблюдается только ангармоническое удлинение образца. Это должно свидетельствовать о формировании структуры в процессе мартенситного превращения с полностью изотропной ориентацией мартенситных двойников.

В работе показано, что образцы, вырезанные в направлении последней осадки послековки при 700°C и 500°C в области протекания мартенситного превращения, демонстрируют только ангармоническое изменение геометрических размеров. Скачкообразное изменение длины образцов не наблюдается. Возможное объяснение данного эффекта заключается в том, что после снятия нагрузки на деформируемую при 700°C или 500°C заготовку,

процессы возврата значительно снижают уровень плотности дефектов и, следовательно, уровень внутренних напряжений.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПСМ РАН.

## Список литературы

- [1] Chulist R., Pagounis E., Czaja P., Schell N., Brokmeier H.-G. The example of texture influence in stress analysis - *Adv. Eng. Mater.*, 2021. V. 23, P. 2100131.
- [2] Koshkidko Yu.S., et al. Magnetocaloric effect and magnetic phase diagram of Ni-Mn-Ga Heusler alloy in steady and pulsed magnetic fields. *J. Alloys and Comp.*, 2022. V. 904, P. 164051.
- [3] Musabirov I.I., et al. Influence of Multi-Axial Isothermal Forging on the Stability of Martensitic Transformation in a Heusler Ni-Mn-Ga Alloy. *Trans. Indian. Inst. Met*, 2021. V. 74, P. 2481-2489.