

УДК 620.17

Механические свойства нержавеющей стали марок 316L и ЭП302 при температуре жидкого гелия

Кунавин Сергей Алексеевич¹(*)

kunavin_1950@mail.ru

Кривых Анатолий Владимирович²

krivykh99@gmail.com

¹ АО «НПО «ЦНИИТМАШ», Москва, Россия² НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Аннотация. В настоящей работе изучена взаимосвязь механических и тепловых эффектов, возникающих при деформации стали 316L и ЭП302 в области гелиевых температур. Установлено, что при одноосном растяжении в упругопластической области пластическая деформация приобретает ярко выраженный скачкообразный характер, в процессе которого реализуются локальные скачки температуры и образование мартенсита в результате превращения $\gamma \rightarrow \alpha'$.

Ключевые слова: механические испытания, прочность, пластичность, скачкообразная деформация, мартенситное превращение, механизмы разрушения

Введение. Проведенные исследования [1] показывают, что немагнитные в обычных условиях, нержавеющей стали в области низких температур в процессе деформации под действием нагрузки в результате мартенситного превращения $\gamma \rightarrow \alpha'$, приводящего к образованию магнитной α' фазы, становятся магнитными. Как известно, появление намагниченности является признаком повышения хрупкости нержавеющей сталей аустенитного класса, приводит к развитию трещин в конструкциях, при изготовлении ВТСП как первого [2], так и второго [3] поколений, к которым предъявляются специальные требования к их механическим, магнитным и тепловым свойствам для обеспечения безаварийной работы магнитных систем.

Методы и материалы; результаты. Механические испытания на растяжение проводились в среде жидкого гелия на универсальной испытательной машине типа Инстрон. Для создания низких температур использовался несущий нагрузку криостат погружного типа с допустимым усилием до 40 kN. Цилиндрические образцы из сталей 316L и ЭП302 имели размеры длины рабочей части $l = 25$ мм и диаметр $\varnothing = 5$ мм в соответствии с рекомендациями ASTM E 1450 для испытаний в среде жидкого гелия.

В процессе испытаний измерялись приложенная к образцу нагрузка, локальная деформация и температура в зависимости от времени. Температура измерялась на поверхности образца угольным термометром с точностью 0.4%. Для измерения деформации использовался экстензометр (база 10 мм, точность измерения 0.2%), который крепился непосредственно на образце

Зависимость напряжения от времени, снятая на образце 316L характеризуется медленным нарастанием содержания мартенсита в результате превращения $\gamma \rightarrow \alpha'$, величина напряжения и размер скачков увеличиваются плавно.

Для стали ЭП302 наблюдается более резкий рост уровня напряжений в процессе пластической деформации, сопровождающий более интенсивное нарастание содержания в нем мартенсита.

Максимальное относительное удлинение для стали 316L в четыре раза превышает удлинение для стали ЭП302 ($\epsilon_{\text{макс.}} = 40$ и 10%). Соответственно для значений предела прочности соотношение обратное ($\sigma_{\text{вр.}} = 1400$ и 1900 МПа). Кроме того, сама скачкообразная пластическая деформация у стали ЭП302 начинается при более высоком уровне механических напряжений ($\sigma_{0.2} = 950$ МПа), тогда как для образцов стали 316L ($\sigma_{0.2} = 820$ МПа).

Заключение. В исследованных нержавеющей сталях аустенитного класса в процессе одноосного растяжения при гелиевой температуре реализуется ярко выраженный скачкообразный характер пластической деформации, сопровождаемый скачками температуры и мартенситным превращением $\gamma \rightarrow \alpha'$, вызывающим появление магнитных свойств в этих сталях. Этот эффект необходимо учитывать при изготовлении элементов конструкций ИТЭР, в том числе для ВТСР первого и второго поколений. Механические испытания при гелиевой температуре были выполнены в НИЦ «Курчатовский институт» в рамках Государственного задания.

Список источников

- [1] Anashkin O.P., Keilin V.E., Krivykh A.V., Diev D.N., Dinisilov A.S., Shcherbakov V.I., Tronza V.I. Tensile Tests of ITER TF Conductors Jacket Materials. *Adv. in Cryogenics Engineering*, 2012, vol. 58, pp. 117–124.
- [2] Diev D.N., Anashkin O.P., Keilin V.E., Krivykh A.V., Polyakov A.V., Shcherbakov V.I. Delamination tests of 2G HTS tapes at room and liquid nitrogen temperatures. *Adv. in Cryogenics Engineering*, 2014, vol. 60, pp. 245–251.
- [3] Anashkin O.P., Keilin V.E., Kovalev I.A., Krivykh A.V., Akimov I.A., Shikov A.K. Cryogen-Free HTS Coil in a Heat-exchange gas. *Cryogenics*, 2002, vol. 42, no. 5, pp. 295–297.