

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ТРИП ЭФФЕКТА В МЕТАСТАБИЛЬНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Фролова А.В.¹, Угурчиев У.Х.¹, Терентьев В.Ф.², Столяров В.В.¹

¹ИМАШ РАН, Москва, Россия, vlstol@mail.ru

²ИМЕТ РАН, Москва, Россия

Метастабильные аустенитные ТРИП стали, в которых мартенситное превращение индуцировано деформацией, давно используются для изготовления ответственных деталей для автомобилей и вертолетов. Большое количество внешних и внутренних факторов влияют на мартенситное превращение и, следовательно, на ТРИП эффект, который заключается в одновременном повышении прочности и пластичности таких сталей. Традиционно деформационное поведение ТРИП сталей изучают в условиях растяжения при комнатной температуре, которая выше температуры M_s (в отсутствие напряжения) остаточного аустенита. Однако для ряда применений важно представлять температурную зависимость механических свойств, в частности в области низких температур. В этом случае появляется возможность по виду кривых растяжения определить температуру M_s^0 (в присутствии напряжений). Настоящее исследование направлено на изучение температурной зависимости ТРИП эффекта в области отрицательных температур на механические свойства и фазовый состав метастабильной аустенитной ТРИП стали.

Исследовали ленту толщиной 0,3 мм из стали ВНС9-Ш (23Х15Н5АМ3-Ш). Лента получена холодной прокаткой горячекатаного подката за несколько переходов с промежуточной термической обработкой. Степень холодной прокатки на последнем переходе для получения ленты толщиной 0,3 мм составляла 38 – 40%.

Испытания на растяжение стандартных плоских образцов (размер рабочей части 0,3x2,5x15 мм) выполняли при различных температурах в диапазоне -120...25 °С на горизонтальной испытательной машине ИР 5081-20 при деформировании со скоростью деформации $\dot{\epsilon} = 8,3 \times 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ (скорость перемещения захвата 1 мм/мин). Перед растяжением к закрепленному в захватах образцу снизу подвели камеру в форме трубы с вырезанным окном, где он охлаждался погружением в жидкий азот в течение 3 мин. Установка необходимой температуры осуществлялась в парах жидкого азота, а ее регулирование в процессе растяжения достигалось изменением расстояния до поверхности образца в интервале 1 ÷ 5 см в зависимости от температуры испытания. При необходимости по мере испарения азота производили его долив. Контроль температуры осуществляли контактным измерителем температуры UT321 с прикрепленной в центре расчетной длины образца хромель-алюмелевой термопарой с точностью $\pm 5^\circ\text{C}$. Фазовый состав образцов определяли методом рентгеноструктурного анализа (РСА) в CuK_α -излучении с помощью рентгеновского дифрактометра Rigaku Ultima IV; точность определения составляла около 5 % об. РСА выполняли вдали от места окончательного разрушения и области сопряжения лопатки с рабочей частью образца.

Вид разрушения образцов при испытании на растяжение характеризуется отсутствием шейки и происходит преимущественно отрывом.

На рис.1 представлены кривые «напряжение-деформация» для стали ВНС9-Ш в диапазоне температур от комнатной до -120°C . Причиной незначительного отклонения модуля упругости (кривая 1 с одной стороны и кривые 2,3,4 – с другой) может быть связана с различием в жесткости системы «захваты-образец» при комнатной и отрицательных ($-20...-120^\circ\text{C}$) температурах испытания. Вид кривых растяжения указывает на существенное отличие в коэффициенте деформационного

упрочнения образцов при комнатной (рис.1, кривая 1) и отрицательных (рис.1, кривые 2,3,4) температурах. У образца при комнатной температуре наблюдается выраженный ТРИП эффект - низкий коэффициент деформационного упрочнения и высокая пластичность за счет обратного фазового превращения $A \rightarrow M_d$. У образцов при отрицательных температурах коэффициент деформационного упрочнения повышается с деформацией, как и относительное удлинение. Это может свидетельствовать о частичном проявлении ТРИП эффекта на ранних стадиях деформации. Вид кривой 4, имеющей максимальный коэффициент упрочнения и являющейся типичной для стабильного аустенита, а также некоторое снижение пластичности могут свидетельствовать об отсутствии ТРИП эффекта при температурах ниже $-100\text{ }^\circ\text{C}$. Отметим наличие зуба текучести, предшествующего площадке текучести, на кривых 1, 2 и 3. В работе [1] наличие зуба и площадки текучести у метастабильных аустенитных сталей системы Ni-Cr-Mn-Mo-Si авторы объяснили особенностями механизма пластической деформации: реализуются все три бездиффузионных механизма - скольжение, двойникование и мартенситное превращение. В работе [2] было отмечено, что у ТРИП стали ВНС9-Ш в чисто аустенитном и чисто мартенситном состояниях на кривых растяжения не наблюдается физический предел текучести [2], что согласуется с исчезновением зуба текучести при понижении температуры деформации до $-120\text{ }^\circ\text{C}$ (рис.1, кривая 4) и тенденцией роста количества альфа-фазы (мартенсита) (рис.2).

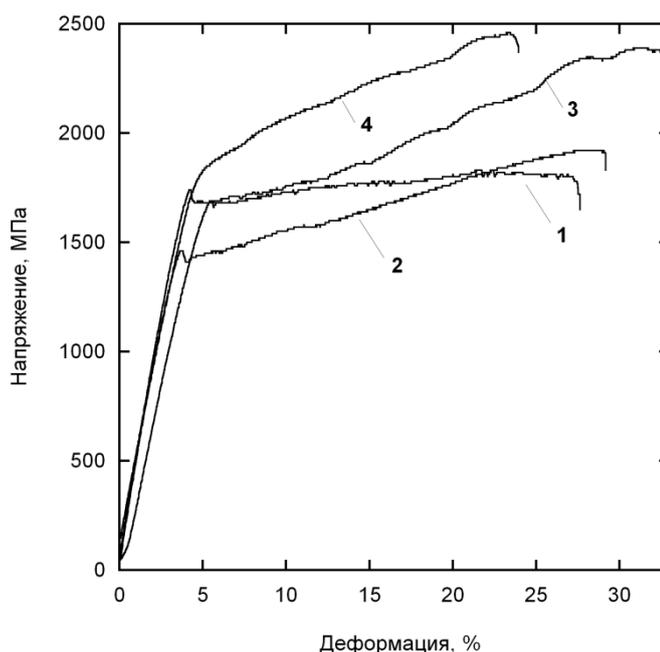


Рисунок 1 - Кривые «напряжение-деформация» для стали ВНС9-Ш при температуре растяжения: $23\text{ }^\circ\text{C}$ (1); $-20\text{ }^\circ\text{C}$ (2); $-100\text{ }^\circ\text{C}$ (3); $-120\text{ }^\circ\text{C}$ (4)

На рис.2 представлена зависимость предела прочности (σ_B), относительного удлинения (δ) и содержания альфа-фазы (α) стали ВНС9-Ш от температуры растяжения. Отмечается заметное увеличение прочности и слабо выраженный рост пластичности с понижением температуры испытания.

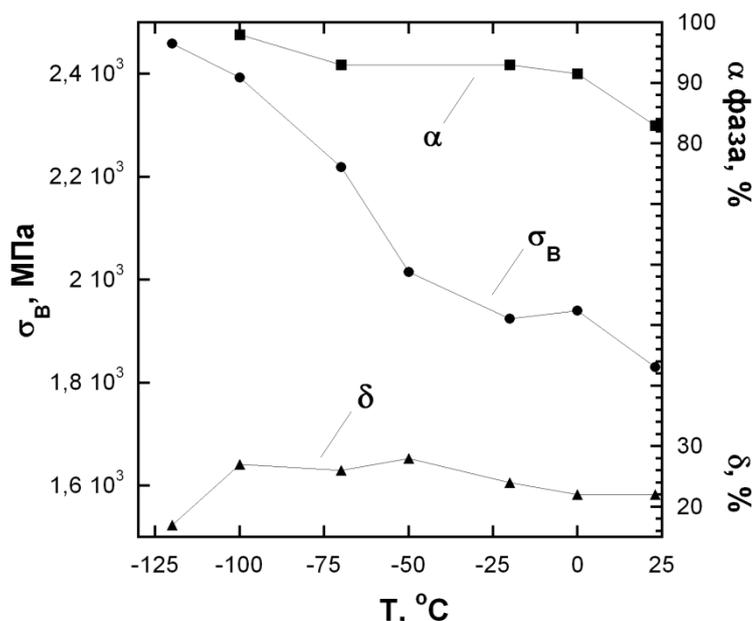


Рисунок 2 - Зависимость предела прочности (σ_B), относительного удлинения (δ) и содержания альфа-фазы (α) стали ВНС9-Ш от температуры растяжения

Таким образом, вид кривых растяжения при комнатной и отрицательных температурах отличается вкладом ТРИП эффекта и коэффициентом деформационного упрочнения, что, по-видимому, свидетельствует об изменении действующих механизмов деформации. Зуб текучести исчезает при температурах ниже - 100 °С. Предел прочности, как и количество альфа-фазы, растет при понижении температуры растяжения, при этом относительное удлинение сохраняется на достаточно высоком уровне (~ 20-25 %). Вид кривых и уровень полученных свойств могут свидетельствовать об уменьшении вклада ТРИП эффекта при пониженных температурах испытания и его исчезновении при температурах ниже – 120 °С.

Благодарности Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 16-58-48001 ИНД_оми.

Литература

1. Вираховский Ю.Г., Георгиева И.Я., Гуревич Я.Б., Замбжицкий В.Н., Максимова О.П., Ногаев М.А., Утевский Л.М., Энтин Р.И. Использование мартенситного превращения, вызываемого деформацией, для повышения пластичности аустенитных сталей, упрочненных теплым наклепом // ФММ. 1971. Т. 32. № 2. С. 348 – 363.
2. Чернов Д.К. Обобщение по поводу некоторых новых наблюдений при обработке стали (Доклад в Русском металлургическом обществе 10 марта 1884 года) // Журнал Русского металлургического общества. Петроград. 1915. № 1. С. 115-123.