

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЮ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12Х15Г9НД

А.А. БОГДАНОВ¹, Е.Е. ДЕРЮГИН²

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: aab65@tpu.ru

Классическая теория прерывистой текучести основана на рассмотрении микромеханизмов пластической деформации, а именно на разработанной А.Х. Котреллом модели движения дислокации с атмосферой примесных атомов. По Котреллу эффект Портвена-Ле Шателье – это проявление деформационного старения, которое успевает проходить в процессе деформации (динамическое деформационное старение). В условиях активной деформации, когда скорость перемещения дислокации определяется приложенным напряжением, в районе критической скорости перемещения дислокации с примесной атмосферой может возникнуть состояние неустойчивости. Когда скорость пластической деформации мала - напряжение растет. Когда оно становится достаточным для того, чтобы высвободить дислокацию, наступает быстрое пластическое течение, распространяющееся по образцу в виде пластической волны. При этом напряжение падает, дислокации замедляются, и цикл вновь повторяется.

Прерывистая текучесть возможна только при локальной отрицательной чувствительности, совпадающей с отрицательной скоростной чувствительностью всего образца. Прерывистая текучесть проявляется практически во всех пластичных материалах и связана с явлениями неустойчивости и неоднородности пластической деформации. Однако любая неустойчивость пластической деформации подавляется при достаточно высокой скорости деформирования из-за ее компенсационного влияния [1].

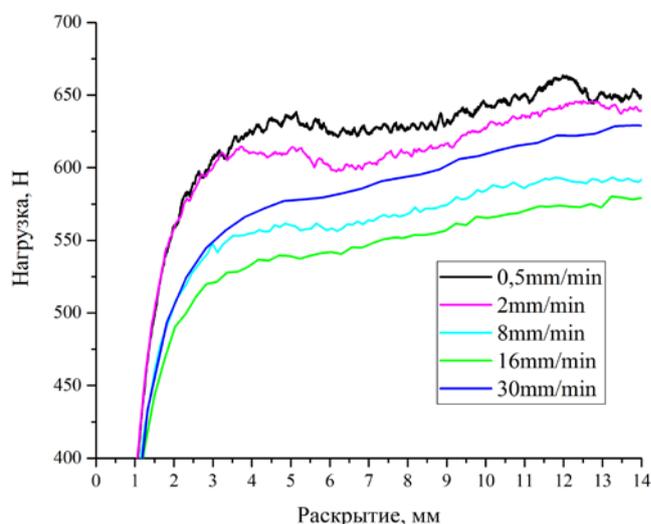


Рисунок 1 – Диаграммы нагружения образцов из стали марки 12Х15Г9НД при различных скоростях нагружения

На рисунке 1 приведены диаграммы нагружения нержавеющей стали марки 12Х15Г9НД в исходном крупнокристаллическом состоянии.

Вид диаграмм нагружения объясняется тем, что при достижении определенной нагрузки начинается пластическая деформация, которая протекает без увеличения внешней силы. Также на рисунке 1 наблюдается аномальная обратная скоростная чувствительность сопротивления деформации в зависимости от скорости нагружения. Чем выше скорость – тем ниже площадка текучести и ниже механические свойства.

Прерывистая текучесть или, иначе неоднородность пластической деформации ярко выражена и наблюдается при скоростях 0,5, 2 и 8 мм/мин, однако при скорости нагружения в 16 мм/мин практически полностью подавляется ее компенсационным эффектом. При скорости 30 мм/мин наблюдается рост напряжения

площадки текучести, а также полное исчезновение эффекта прерывистой текучести – кривая гладкая.

Обратная скоростная зависимость является результатом конкуренции нескольких процессов. Не смотря на то, что сопротивление деформированию должно повышаться благодаря протекающему одновременно с ним деформационному старению (дисперсионному твердению), с ростом скорости этот процесс все в меньшей степени успевает реализовываться, и кривая напряжения получает падающий участок. Одновременно протекает и релаксация напряжений за счет теплового движения, которая на этом участке подавляет процесс старения. Когда старение практически перестает играть существенную роль и на первый план выступает релаксационный процесс, кривая получает минимум при скорости 16 мм/мин. При дальнейшем росте скорости релаксационный эффект проявляется все в меньшей мере, в результате чего появляется восходящая ветвь, как в случае со скоростью 30 мм/мин.

Такое поведение стали марки 12Х15Г9НД может быть вызвано образованием двойников мартенситных ламелей в локальных местах стальных образцов и появлению в них прерывистой текучести. Проявление неоднородной пластической деформации при испытаниях на расклинивание возможно из-за процессов на конце шевронного надреза образца. Происходит локализация пластической деформации, т.е. в определенных местах деформация резко возрастает. Однако когда дислокации останавливаются, пластическая деформация начинается в другом месте, находящемся рядом в поле напряжений предыдущей деформации.

При высоких скоростях нагружения (движение клина более 15 мм/мин) пластической деформацией охвачен весь объем образца у шеврона, локализация деформации не успевает произойти, и наблюдается гладкая кривая нагружения.

Анализ диаграмм показал, что сталь марки 12Х15Г9НД обладает высокими пластическими характеристиками, что привело к появлению эффекта прерывистой текучести. Чем ярче выражен эффект прерывистой текучести, тем сильнее проявляется обратная скоростная чувствительность деформированию. Поэтому у стали 12Х15Г9НД явление прерывистой текучести имеет ярко выраженный характер, поскольку оно возможно только при локальной отрицательной чувствительности, совпадающей с отрицательной скоростной чувствительностью всего образца.

Расчет трещиностойкости для данных материалов произведен по нагрузке, при которой материал начинает пластически деформироваться [2-3].

Коэффициент интенсивности напряжений нержавеющей стали марки 12Х15Г9НД менялся, в зависимости от скорости нагружения, и составил $35.5 \text{ МПа}\cdot\sqrt{\text{м}}$ – при скорости 16 мм/мин и $42.8 \text{ МПа}\cdot\sqrt{\text{м}}$ при скорости 0.5 мм/мин.

Список литературы

1. Криштал М.М. Неустойчивость и мезоскопическая неоднородность пластической деформации (аналитический обзор). Часть 2. Теоретические представления о механизмах неустойчивости пластической деформации // Физ. мезомех. – 2004. – Т. 7. – №5. – С. 31–45.
2. Матвиенко Ю. Г. Модели и критерии механики разрушения / Ю. Г. Матвиенко. – Москва: Физматлит, 2006. – 328 с.: ил. – Список литературы: с. 310-328. – ISBN 5-9221-0669-4
3. Deryugin Ye.Ye., Panin V.E. and Suvorov B.I. Determination of Fracture Toughness for Small-Sized Specimens with Ultrafine Grain Structure // AIP Conference Proceedings November 2014. <https://www.researchgate.net/publication/289644961>.