ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/54

**АВТОВОЛНЫ ЛОКАЛИЗОВАННОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ В
МАТЕРИАЛАХ С НЕУСТОЙЧИВОЙ ФАЗОВОЙ СТРУКТУРОЙ**

Данилов В.И., Горбатенко В.В., Зуев Л.Б., Орлова Д.В.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

Неотъемлемым свойством пластической деформации является ее неоднородность и локализация на всех структурных и масштабных уровнях. На рубеже нынешнего столетия была установлена автоволновая природа пластического течения на макроскопическом масштабном уровне. В настоящее время известно, что в процессе нагружения материала от предела пропорциональности до разрушения в согласовании со стадиями деформационного упрочнения происходит закономерная смена типов автоволн локализованной деформации. Так обнаружено, что если зависимость приложенного напряжения от деформации имеет вид зуба и площадки текучести, происходит формирование пространственно-временной структуры локализованной деформации в виде движущихся фронтов локализации, которые однократно проходят по объекту. В рамках автоволновой теории это представляет собой автоволну переключения. Данный факт известный, как распространение полосы Чернова – Людерса (ПЧЛ), характерен для ряда поликристаллических сплавов на основе железа и меди, где пластическое течение на микроуровне реализуется посредством дислокационного скольжения. В рамках автоволновой теории микромеханизм процесса пластического течения не должен играть определяющую роль, и появление автоволны переключения в виде подвижных фронтов следует ожидать в любом случае, если на деформационной кривой присутствует площадка текучести. Такие особенности деформационных кривых известны у материалов, где пластическое течение на микроуровне происходит за счет фазового превращения, например, у никелида титана или у сталей с деформационно-неустойчивым аустенитом (trip-стали). При деформировании никелида титана в монокристаллическом состоянии был зафиксирован фронт фазового превращения. Однако существование такого фронта при нагружении поликристаллических образцов подвергается сомнению. Движение фронта локализованной деформации наблюдалось в средне марганцовистой trip-стали, но его кинетика не обсуждалась.

Другой вид макроскопической неустойчивости пластической деформации – прерывистая текучесть обусловленная эффектом Портевена – Ле Шателье. Прерывистую текучесть обычно связывают с деформированием алюминиевых сплавов, хотя она наблюдается и при глубокой деформации хромоникелевых аустенитных сталей, а также отмечена у trip-сталей. Нами было установлено, что в дуралюмине Д1 каждому сбросу напряжения соответствует прохождение по объекту фронта локализованной деформации, то есть, эти фронты заматают пространство объекта многократно. В рамках автоволновой теории они представляют собой автоволны возбуждения. Микромеханизмы пластической деформации при прерывистой текучести в алюминиевых сплавах и в названных сталях различны, поэтому также возникает вопрос о возможности формирования автоволн возбуждения в сталях. Наконец, на деформационных кривых trip-сталей присутствует и площадка текучести, и прерывистая текучесть, поэтому, есть принципиальная возможность ожидать перехода автоволны переключения в автоволну возбуждения.

Исследования проводились на образцах никелида титана в состоянии неустойчивой R-фазы и на образцах хромоникельмолибденовой trip-стали после различных термомеханических обработок, которые обеспечивали разную степень наклепа метастабильного аустенита.

Деформирование образцов никелида титана проводилось при комнатной температуре, когда реализуется переход $R \rightarrow B19'$. На кривой нагружения этому процессу соответствовала гладкая площадка с небольшим упрочнением. Установлено, что площадке соответствует движение по образцу одного или двух фронтов локализованной деформации, которые зарождаются у границ рабочей части образцов. После прохождения фронтов образец

Секция 2. Неустойчивость и локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой

полностью переходит в мартенситное состояние (автоволна переключения). Кинетика данных фронтов подобна поведению фронтов ПЧЛ в малоуглеродистой стали. Основное отличие между данными явлениями состоит в том, что фронт фазового превращения имеет более сложную структуру, чем фронт ПЧЛ. С ним связаны изменения не только локальных удлинений, но и двух других компонент тензора дисторсии – локальных сдвигов и локальных поворотов. Кроме того степень локализации деформации на фронте фазового превращения на порядок меньше чем на фронте ПЧЛ и протекает в условиях постоянно нарастающего напряжения, что, по-видимому, обусловлено мартенситным характером превращения.

Образцы *trip*-стали исследовались в исходном состоянии после аустенизации, после аустенизации и тепловой прокатки с обжатием 40 %, после аустенизации и тепловой прокатки с обжатием 51 %. Образцы в исходном состоянии имеют параболическую диаграмму нагружения без площадки текучести. Когда напряжения достигают ≈ 1000 МПа, возникает прерывистая текучесть. До начала прерывистой текучести локализация деформации не проявляется. Прерывистой текучести соответствует движение фронтов локализованной деформации, которые многократно проходят по рабочей части образца. Поведение их полностью совпадает с поведением полос Портевена – Ле Шателье (ПЛШ) в дуралюмине. Реализуется автоволна возбуждения локализованной деформации.

В образцах после обжатия на 40 % на деформационной кривой появляется короткая площадка текучести, вслед за которой на стадиях развитого упрочнения наблюдается прерывистая текучесть. Локализация деформации реализуется после достижения предела текучести. В пределах площадки текучести формируются две (три) зоны локализованной деформации, которые разбивают образец на обособленные части. С началом упрочнения проявляется прерывистая текучесть, и формируются подвижные фронты локализованной деформации. Движение фронтов происходит в пределах образованных ранее обособленных частей, так что в целом они проходят весь образец по несколько раз. Этот процесс продолжается вплоть до разрушения.

После обжатия на 51 % деформационная кривая содержит небольшой зуб текучести и наклонную площадку текучести, которая плавно переходит к стадиям упрочнения. На площадке текучести происходит зарождение и движение фронтов локализации, которые встречаются и аннигилируют друг с другом, либо уходят с рабочей части образца. При этом каждый участок образца замечается только одним фронтом. Картина подобна процессу множественного зарождения и распространения ПЧЛ в малоуглеродистых сталях. После окончания площадки текучести наблюдается движение фронтов полос ПЛШ, хотя сбросы деформирующего напряжения на диаграмме нагружения не наблюдается. При этом зарождение полос ПЛШ происходит в местах аннигиляции фронтов ПЧЛ. Этот процесс продолжается относительно недолго, и когда общая деформация достигает ≈ 8 %, образец продолжает деформироваться уже макроскопически однородно до тех пор, пока не начнет формироваться шейка разрушения.

Таким образом, в *trip*-стали можно наблюдать и автоволну переключения (распространение ПЧЛ), автоволну возбуждения (движение полос ПЛШ). Источниками автоволн возбуждения становятся зоны, в которых аннигилировали автоволны переключения. Важным представляется факт, что в данном материале причиной возникновения и автоволн переключения, и автоволн возбуждения является деформационное фазовое превращение метастабильного аустенита в мартенсит. Когда оно завершается, макроскопическая локализованная деформация прекращается.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы.