

Н. Г. ЧАУСОВ, А. П. ПИЛИПЕНКО, В. Б. БЕРЕЗИН, В. Н. ПАРАЦА (Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев),
И. И. ЛУЧКО (Львовский филиал ДИИТа)

ВЛИЯНИЕ ВИДА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОДГРУЗКАХ

Виявлені особливості утворення дисипативної структури в неіржавіючій сталі за складного режиму навантаження – статичний розтяг зі згином із накладанням імпульсних підвантажень.

Ключові слова: дисипативна структура, режим навантаження, статичний розтяг, імпульсні підвантаження

Выявлены особенности образования диссипативной структуры в нержавеющей стали при сложном режиме нагружения – статическое растяжение с изгибом с наложением импульсных подгрузок.

Ключевые слова: диссипативная структура, режим нагружения, статическое растяжение, импульсная поднагрузка

Features of the dissipative structure formation in stainless steel under complex loading mode - static tension with impulse strain increase and bending are shown.

Keyword: dissipative structure, loading mode, static tension, impulse strain

Введение

Классические представления о деформировании материалов при растяжении с учетом влияния скорости нагружения указывают на то, что превалирует возрастание сопротивления деформированию с ростом скорости деформации (при отсутствии фазовых превращений) в результате роста вязкой составляющей сопротивления и уменьшения времени для развития процессов её релаксации [1].

Однако проведенные опыты по влиянию импульсных подгрузок на процессы деформирования пластичных материалов показали [2-5], что вышеуказанные особенности деформирования материалов с учетом влияния скорости нагружения проявляются лишь тогда, когда энергия удара свободно передается на исследуемый образец материала. В случае же, когда закон нарастания скорости более сложный, например, когда в процессе резкого нарастания скорости деформации осуществляется однократное или многократное замедление процесса высокоскоростного деформирования, то поведение материала при импульсных подгрузках может стать «аномальным». Эта «аномальность» проявляется в том, что за счет одноразовых импульсных подгрузок реализуется кратковременное разупрочнение материалов практически на любой стадии деформирования, включая и восходящую ветвь стандартной статической диаграммы деформирования [2, 3]. При многократных импульсных подгрузках при комнатной темпера-

туре достигается подобие сверхпластического состояния материала, материал удлиняется на десятки процентов практически при постоянной нагрузке [2, 6]. Выявлены и некоторые другие необычные особенности деформирования пластичных материалов при исследуемых сложных режимах нагружения [2].

Следует отметить, что механическое поведение материалов при одноразовых и многократных импульсных подгрузках с кратковременными задержками процесса деформирования полностью подпадает под поведение механических систем при динамических неравновесных процессах (хаотическая динамика).

Проведенные физические исследования с использованием трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ) позволяют заключить, что пластификация материалов при динамических неравновесных процессах связана с образованием диссипативных структур в виде объемно-связанных, на разных масштабных уровнях, локализованных полос (каналов) [2, 3, 6].

Известно [7-9], что реализация динамических неравновесных процессов в химических и биологических системах возможна только в случае наложения некоторых дополнительных условий (ограничений) на системы.

Аналогично, подобные условия сформулированы для механических систем [2]. Причем, следует особо обратить внимание на то обстоятельство, что при проведении испытаний на нагружение на образец должно передаваться че-

рез сферические опоры без жесткого закрепления. Образец обязательно должен иметь степень свободы в направлении оси растяжения.

Вышеописанные результаты получены при испытании гладких цилиндрических образцов диаметром 8 мм на одноосное растяжение.

Дальнейшие исследования, проведенные на плоских образцах из алюминиевого сплава, выявили некоторые отличия деформирования плоских образцов при динамических неравновесных процессах, по сравнению с цилиндрическими [10].

В частности, установлено, что условия образования диссипативных структур в плоских образцах материала облегчаются. Показано [10], что уже после одного заданного импульса подгрузки на листовую материал при последующем статическом растяжении можно при комнатной температуре получить квазисверхпластичное состояние материала.

Анализ проведенных исследований наводит на мысль, что и объем и свойства образующейся диссипативной структуры в материале в процессе импульсных подгрузок существенно зависят от вида напряженного состояния.

Аналогию здесь можно провести с замедлением или ускорением процесса образования мартенсита в аустенитных нержавеющей стали при смене вида напряженного состояния при низких температурах [1]. Причем на сопротивление стали деформированию влияет не только количество образовавшегося мартенсита, но и его прочность, зависящая от наследованной им структуры пластически деформированного аустенита.

Целью настоящей работы является получение дополнительной информации про механическое поведение материала при импульсных подгрузках при более жестком напряженном состоянии, по сравнению с одноосным растяжением.

Методика эксперимента и результаты исследований

Исследования проводили на гладких цилиндрических образцах диаметром 8 мм из нержавеющей стали. Механические характеристики стали следующие: предел текучести $\sigma_T = 270$ МПа; предел прочности $\sigma_B = 600$ МПа; степень деформации до разрушения $\varepsilon_p = 49$ %.

В качестве режима нагружения выбрано растяжение с изгибом. Данная схема нагружения наиболее просто реализуется на имеющем-

ся испытательном оборудовании для реализации динамических неравновесных процессов [2, 3, 11].

Предварительно было изготовлено несколько комплектов переходных шпилек для крепления специального приспособления, для реализации импульсных погрузок образца, к подвижной и неподвижной траверсам испытательной установки. С помощью другого приспособления нижняя часть шпилек была согнута относительно верхней на разные углы $1...3^\circ$ (рис. 1).

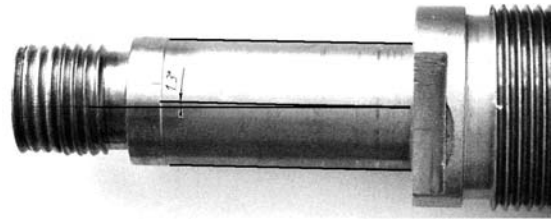


Рис.1. Переходная шпилька для крепления приспособления для реализации импульсных погрузок образца к траверсам установки

Далее методика испытаний была аналогична описанной в работах [2, 4, 11]. Процессы деформирования и разрушения нержавеющей стали при импульсных подгрузках исследовались в составе механической системы, которая представляет собой простейшую статически неопределимую конструкцию в виде одновременно нагружаемых трех параллельных элементов (рис. 2).

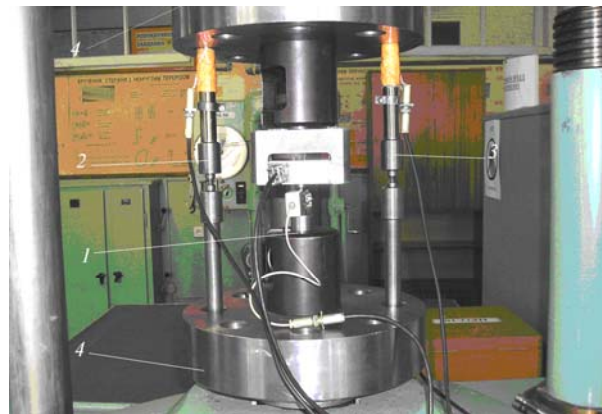


Рис.2. Общий вид испытательной установки

Центральный элемент 1 такой конструкции включает захваты со сферическими опорами, тензодинамометр и образец исследуемого материала, а два симметричных боковых элемента 2, 3 – по две одинаковые штанги, одна из которых используется в качестве тензодинамометра, и хрупкие пробы разного минимального диаметра. При нагружении этой конструкции задаваемой нагрузкой разрушаются образцы-

спутники из хрупких проб, и происходит импульсная подгрузка образца. Для обеспечения условий одновременного разрушения хрупких проб фланцы 4 четырьмя болтами расклиниваются с траверсами. При этом обеспечивается неравномерность разрушения хрупких проб по времени в пределах 0,001 с.

На рис. 3 приведены результаты испытаний стали с учетом одноразовой импульсной подгрузки при заданной степени статического растяжения (кривая 1) и при растяжении с изгибом на трех типах согнутых шпилек (кривые 2-5). Следует отметить, что во всех случаях растяжения с изгибом при импульсных подгрузках в месте перехода захватной части образца к рабочей образовывался пластичный шарнир и продольная ось образца в процессе дальнейшего деформирования оставалась практически линейной.

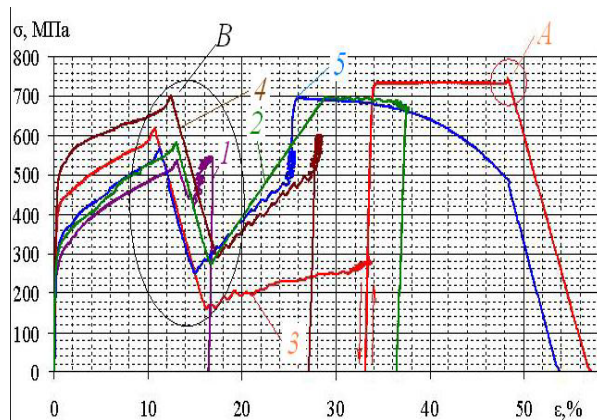


Рис.3. Результаты испытаний нержавеющей стали (пояснение кривых 1...5 в тексте):

- 1 – $F_{\text{имп}} = 89,79$ кН; 2 – $F_{\text{имп}} = 85,48$ кН;
 3 – $F_{\text{имп}} = 78,41$ кН; 4 – $F_{\text{имп}} = 69,64$ кН;
 5 – $F_{\text{имп}} = 77,09$ кН

Анализ полученных результатов показывает, что увеличение жесткости напряженного состояния материала в момент импульсных подгрузок даже при меньшем импульсе воздействия, по сравнению с одноосным растяжением, однозначно приводит к более резкому падению напряжений и большему скачку деформации (сравнив кривые 1 и 2-5 на рис. 3) в процессе динамических неравновесных процессов.

Причем еще раз экспериментально подтверждено, что для каждого материала при заданной степени деформации существует такое критическое значение импульса воздействия, при котором образец материала в процессе импульсных подгрузок практически разделяется на две части [2]. Так образец № 3 в процессе

повторной импульсной подгрузки в т. А диаграммы деформаций ($F_{\text{имп}} = 49,2$ кН) действительно разделился на две части.

Ранее методом трансмиссионной электронной микроскопии показано [2, 6], что переход нержавеющей стали в квазисверхпластичное состояние при многократных последовательных импульсных подгрузках, в первую очередь, связан с постоянно продолжающимся процессом образования диссипативной структуры в виде взаимосвязанных, на разных масштабных уровнях, полос (каналов). С увеличением количества импульсных подгрузок ширина полос (каналов) постоянно уменьшается и материал между полосами приобретает свойства субструктуры (структурные элементы имеют размер наночастиц и нанозерен).

В конкретном рассматриваемом случае (см. кривая 3 на рис. 3) объем образовавшейся диссипативной структуры уже, вероятно, настолько большой и ширина полос близка к оптимальной, потому что уже после одной импульсной подгрузки материал переходит в квазисверхпластичное состояние.

Самое интересное, что такое предположение нашло свое подтверждение на макроуровне. Впервые при одноразовой импульсной подгрузке растяжением на двух образцах, которым соответствуют кривые деформаций 4, 5 на рис. 3, зафиксированы круговые макроэкструзии в виде макрогфров (рис. 4) высотой до 1 мм. Это еще раз подтверждает ранее высказанное предположение и экспериментально зафиксированное явление [10], что диссипативные структуры являются структурами с более низкой плотностью, по сравнению с исходным материалом, и поэтому поверхностный след образовавшейся диссипативной структуры может проявляться в виде макроэкструзий.

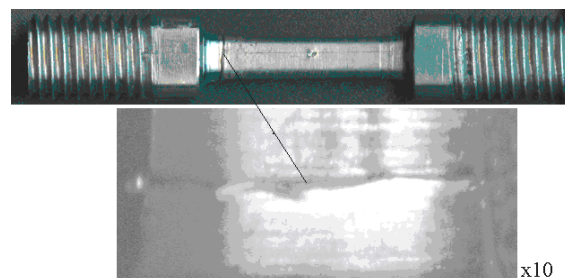


Рис. 4. Круговые макрогфры на образце после импульсной подгрузки

Сравнение кривых 1 и 2-5 на рис. 3 приводит к выводу, что смена напряженного состояния материала в сторону ужесточения способствует облегчению условий образования дис-

сипативной структуры в материале при импульсных подгрузках. Вероятно, немаловажную роль здесь играет градиент напряжений. Если в первом приближении сопоставить объем образовавшейся диссипативной структуры с максимальным уровнем падения напряжений на участках B диаграмм деформаций (см. рис. 3), то можно достаточно просто при последующем статическом растяжении прогнозировать переход материала в квазисверхпластическое состояние.

Выводы

1. Смена вида напряженного состояния материала в сторону ужесточения при импульсных подгрузках приводит к облегчению процесса образования диссипативной структуры в стали.

2. Впервые при импульсных подгрузках растяжением за счет интенсивного образования диссипативной структуры меньшей плотности, по сравнению с исходным материалом, на цилиндрических образцах зафиксированы круговые макроэкструзии в виде гофров высотой до 1 мм.

3. Объем занимаемой диссипативной структуры в материале непосредственно влияет на переход материала в квазисверхпластическое состояние при последующем статическом растяжении. Так, при «чистом» одноосном растяжении нержавеющей стали такой переход зафиксирован при трех последовательных импульсных подгрузках, при растяжении с изгибом, соответственно, при одной импульсной подгрузке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прочность материалов и конструкций [Текст] / отв. ред. В. Т. Трощенко. – К.: Академперіодика, 2005. – 1088 с.
2. Чаусов, Н. Г. Особенности деформирования пластичных материалов при динамических неравновесных процессах [Текст] / Н. Г. Чаусов и др. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2009 – 75. № 6. – С.52-59.

3. Засимчук, Е. Э. Особенности трансформации структуры пластичных материалов в процессе резких смен в режиме нагружения [Текст] / Е. Э. Засимчук и др. // Физическая мезомеханика. – 2009 – 12. № 2. – С.77-82.
4. Чаусов, Н. Г. Комплексная оценка поврежденности пластичных материалов при различных режимах нагружения [Текст] / Н. Г. Чаусов, С. А. Недосека, А. П. Пилипенко // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2004. – № 3. – С.16-21.
5. Чаусов, Н. Г., Особенности деформирования материалов в упругой области при динамических неравновесных процессах [Текст] / Н. Г. Чаусов, В. Б. Березин, М. М. Бондар // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2009. – № 3. – С. 24-27.
6. Чаусов, М. Г. Вплив багаторазових змін в режимі навантаження на деформування пластичних матеріалів [Текст] / М. Г. Чаусов та ін. // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів і конструкцій: зб. наук. праць. – Львів. Каменярь. 2009 – Вип. 8. – С. 289-298.
7. Николис, Г. Познание сложного [Текст]: введение / Г. Николис, И. Пригожин: перевод с англ. – изд. 2-е, стереотипное. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 344 с.
8. Пригожин, И. От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках [Текст] / И. Пригожин: перевод с англ. – изд. 2-е, доп. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 288 с.
9. Гленддорф, П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций [Текст] / П. Гленддорф, И. Пригожин. – М.: Мир, 1973. – 273 с.
10. Чаусов, М. Г. Самоорганизация структур листовых материалов при динамических неравновесных процессах [Текст] / М. Г. Чаусов и др. // Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки. – 2010. – т. 15. – Вып. 3. – С. 892-894
11. Чаусов, Н. Г. Установка для испытания материалов с построением полных диаграмм деформирования [Текст] / Н. Г. Чаусов и др. // Проблемы прочности. – 2004. – № 5. – С. 117-123.

Поступила в редколлегию 20.06.2011.

Принята к печати 27.06.2011.