

УДК 539.3:4

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ВЫДЕРЖКИ НА СТАБИЛИЗАЦИЮ ДЕФЕКТНЫХ СТРУКТУР НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ СТАДИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Чаусов Н. Г., Пилипенко А. П., Параца В. Н., Вильдеман В. Э.*

Национальный аграрный университет, Киев, Украина

**Пермский государственный технический университет, Пермь, Россия*

Введение

Известно, что наложение вибрации на процесс растяжения материалов постоянной или равномерно возрастающей нагрузкой часто приводит к ухудшению прочностных свойств материалов [1]. На стадии разупрочнения материала в условиях интенсивного накопления повреждений, что отражается на диаграмме деформирования в виде ниспадающей ветви, разрушение может быть рассмотрено как результат потери устойчивости процесса деформирования в ходе взаимодействия области тела с окружающей деформируемой средой как нагружающей системой, свойства которой определяют момент перехода к нестабильной, лавинообразной, стадии накопления повреждений [2...5]. Наложение вибрации может интенсифицировать процессы разупрочнения материалов. Однако влияние вибрационных воздействий на различного рода механические системы может быть как дестабилизирующим, так и стабилизирующим [6...8]. Таким образом, есть основания для предположения, что при определенных режимах нагружения может быть достигнут и обратный эффект – явление вибрационной стабилизации дефектных структур.

Целью данной работы является установление таких режимов нагружения материалов под действием вибрации, при которых на стадии разупрочнения прочностные характеристики могут повыситься по сравнению с прочностными характеристиками на той же стадии, полученными при “чистом” статическом растяжении.

Методика испытаний и результаты исследований

В качестве объекта исследования были выбраны низкоуглеродистые стали 10, 20. Исследования проводили на стандартных гладких цилиндрических образцах диаметром 8 мм на модернизированной установке для испытаний на релаксацию и вибрацию типа RelVi-5.

Испытательная машина RelVi-5 может обеспечить максимальную нагрузку 5 тонн. Установка оборудована электромагнитным вибратором с приводом от электродвигателя: частота задаваемого вибрационного процесса 100 и 150 Гц с максимальной амплитудой нагрузки ± 5 кг.

Установка для испытаний выбрана не случайно. Нагружение осуществляется через пружины, и поэтому можно говорить об испытании на податливой машине, являющейся, с точки зрения реализации закритической стадии деформирования, наименее подходящей. Поэтому, эффекты повышения прочностных свойств и деформационных ресурсов материалов на стадии разупрочнения за счет вибрационных воздействий могут быть выявлены более явно, чем в случае использования более жестких испытательных машин. Установка RelVi-5 оборудована высокоточной компьютеризованной измерительной системой, схема которой представлена на рис. 1.

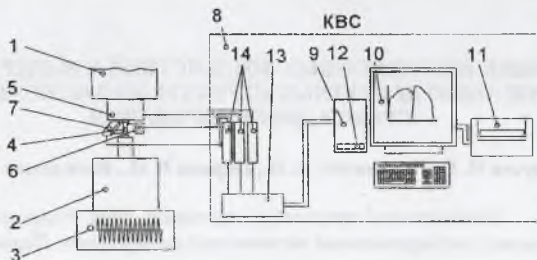


Рис. 1. Схема испытательной установки

Установка содержит подвижный 1 и неподвижный 2 захваты, неподвижный захват соединен с вибратором 3, образец 4, высокоточный динамометр 5, датчик продольной деформации 6, датчик поперечной деформации 7, компьютеризованную измерительную систему 8 для проведения и обработки результатов испытаний (КИС). КИС состоит из следующих составляющих: компьютер Pentium-4 с операционной системой Windows 2000 NT 9, монитор 10, лазерный принтер 11, АЦП с 16 дифференциальными каналами 12, терминальная плата для подсоединения 16 дифференциальных каналов ADAM 3016 – 13, модули аналогового тензоусилителя постоянного тока для мостовых схем FastReg. – 14, программное обеспечение на рис. 2.

Общий вид установки показан на рис. 2.

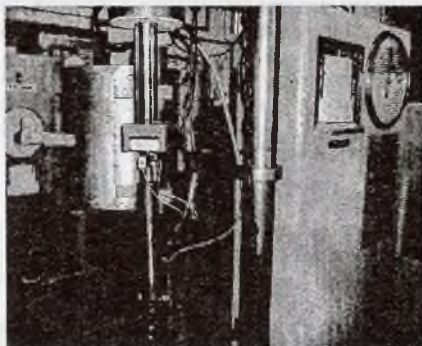


Рис. 2. Общий вид испытательной установки

Достичь повышения прочностных свойств материалов на стадии разупрочнения можно лишь в случае умелого использования эффекта старения материалов под воздействием вибрации.

Экспериментально установлено, что минимальное время вибрации τ_1 , при котором начинают проявляться эффекты старения материалов после выдержки, должно быть не меньше, чем 0,5 часа. Кроме того, важную роль играет выбор времени выдержки материала после вибрации τ_2 в разгруженном состоянии. Даже для материалов, мало подверженных старению (например, низкоуглеродистые стали), уже при выдержке 24 часа после вибрации отмечается позитивная тенденция к повышению прочностных свойств на стадии разупрочнения при повторном статическом растяжении.

Практически для всех исследованных материалов увеличение времени выдержки после вибрации приводит к повышению прочностных свойств на стадии разупрочнения, то есть эффекты стабилизации дефектных структур на стадии разупрочнения за счет влияния вибрации усиливаются.

Интересно отметить, что данную процедуру заданного цикла вибрации, разгрузки и выдержки можно неоднократно повторять при любом повторном приросте деформа-

ции. При этом для каждого конкретного материала влияние описанной однократной или многократной процедуры испытаний на прочностные свойства материала на стадии разупрочнения неоднозначно. Для одного материала эффект может быть максимальен при однократной процедуре испытаний, для другого материала – при многократной.

На рис. 3 представлены результаты испытаний низкоуглеродистой стали 20.

Здесь кривая 1 отвечает статическому растяжению, кривая 2 статическому растяжению с одновременным наложением вибрации с частотой $f = 100$ Гц от начала нагрузки, кривая 3 статическому растяжению с остановкой нагружения в точках А и Б и воздействием на участках В вибрации с частотой $f = 100$ Гц на протяжении времени $\tau_1 = 0,5$ часа.

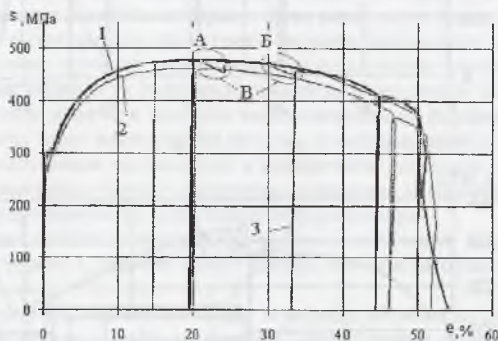


Рис. 3. Диаграммы деформаций низкоуглеродистой стали 20: объяснение кривых 1, 2, 3 представлено в тексте

Как видно из рис. 3, кривая 2 подтверждает классические представления об ухудшении прочностных свойств материала при наложении вибрации. Кривая 3 показывает, что кратковременное воздействие вибрации ухудшает прочностные свойства материала (участки В), однако при повторном статическом растяжении прочностные свойства материала, практически, могут восстановиться.

На рис. 4а кривая 1 отвечает статическому растяжению. Кривая 4 – статическому растяжению до точки А. В точке А статическое растяжение прекращается, накладывается вибрация с частотой $f = 100$ Гц на протяжении 0,5 часа, потом образец разгружается, выдерживается на протяжении 24 часов (1 сутки) и опять повторно статически растягивается до полного разделения на части. Заштрихованная область между кривыми 1 и 4 отвечает области увеличения прочностных свойств стали 20 после заданного режима вибрации, разгрузки и выдержки по сравнению с “чистым” статическим растяжением.

Кривая 5 на рис. 4а отвечает статическому растяжению до точки Б, в точке Б статическое растяжение прекращается, накладывается вибрация с частотой $f = 100$ Гц на протяжении 0,5 часа, потом образец разгружается, выдерживается на протяжении 30 суток и опять повторно статически растягивается до полного разделения на части. Заштрихованная область между кривыми 1 и 5 отвечает области повышения прочностных свойств стали 20 после заданного режима вибрации, разгрузки и выдержки по сравнению с “чистым” статическим растяжением.

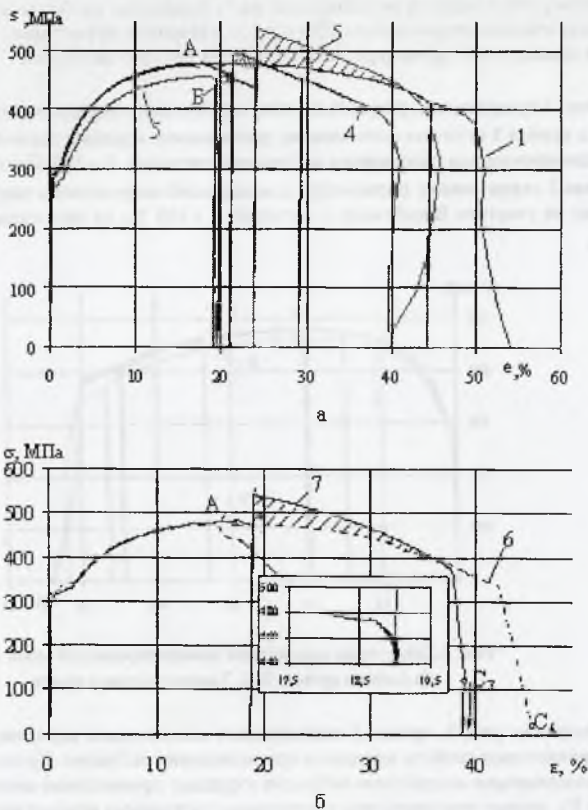


Рис. 4. Диаграммы деформаций низкоуглеродистых сталей 20 (а) и 10 (б):
объяснение кривых 1, 4, 5, 6, 7 представлено в тексте

Аналогичные результаты по влиянию вибрации на прочностные свойства материала получены на низкоуглеродистой стали 10.

На рис. 4б представлены соответствующие результаты испытаний. Здесь кривая 6 отвечает статическому растяжению, кривая 7 отвечает статическому растяжению до т. А, в точке А статическое растяжение прекращается, накладывается вибрация с частотой $f = 100$ Гц на протяжении 1 часа, потом образец разгружается, выдерживается на протяжении 30 суток и опять повторно статически растягивается до полного разделения на части. Заштрихованная область между кривыми 6 и 7 отвечает области повышения прочностных свойств стали 10 после заданного режима вибрации, разгрузки и выдержки по сравнению с "чистым" статическим растяжением. Точками C_1 на рис. 4б обозначены деформации, при которых осуществлялись окончательные разгрузки образцов для последующих метало-физических исследований.

Проведенные опыты показали, что удалось установить такие режимы нагружения с воздействием вибрации, при которых прочностные свойства низкоуглеродистых сталей на стадии разупрочнения можно повысить в среднем на 10...12%.

Ранее авторами получены новые экспериментальные данные про кратковременное разупрочнение пластичных материалов в процессе резких смен в режиме нагружения [9...11].

Указанный вид испытаний реализован на базе испытательной гидравлической машины ZD-100Pc, отличительной особенностью которой является массивная подвижная траверса (масса составляет 1350 кг).

Как оказалось, данная конструктивная особенность машины может сыграть исключительно важную роль для задания закона повышения скорости деформации при резких сменах в режиме нагружения. Практически реализована методика испытаний, при которой на участке резкого нарастания скорости деформации осуществляется мгновенное замедление процесса деформирования пластичного материала, в первую очередь, за счет инерционности подвижной траверсы. В результате такой процедуры резко меняется баланс энергии в процессе высокоскоростного деформирования материала и значительная часть кинетической энергии, освобождающейся в процессе разрушения образцов-спутников, диссипирует в исследуемом материале, преобразовываясь в тепло и вызывая существенные структурные изменения, которые сопровождаются "аномальным" разупрочнением на всех стадиях деформирования.

На физические процессы, которые протекают в материалах в процессе резких смен в режиме нагружения, заметно влияет степень повышения средней скорости деформации.

Интересно отметить, что механическое поведение образцов из разных материалов, полностью разгруженных сразу после резких смен в режиме реализованного сложного нагружения (статическое растяжение – резкое повышение скорости деформации) и после выдержки в течении 10...30 дней повторно статически растянутых, аналогично поведению образцов деформированных в процессе исследованного в данной работе режима нагружения (статическое растяжение – вибрация – полная разгрузка и выдержка – повторное статическое растяжение). Для примера, на рис.5 представлены результаты испытаний образцов из малоуглеродистой стали 20.

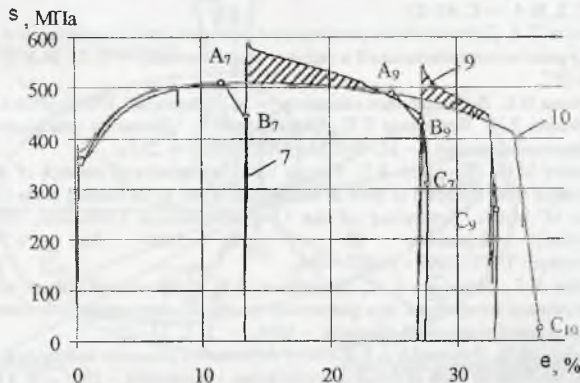


Рис. 5. Диаграммы деформаций стали 20 при статическом растяжении и с учетом резких смен в режиме нагружения на разных стадиях деформирования (7,9,10 – номера испытанных образцов)

Заштрихованная область между кривыми 7 и 10 и кривыми 9 и 10 отвечает области повышения прочностных свойств стали 20 после заданного режима нагружения (статическое растяжение – резкое повышение скорости деформации – статическое растяжение) по сравнению с “чистым” статическим растяжением. Точками C_i на рис.5 обозначены деформации, при которых осуществлялись окончательные разрузки образцов для последующих металлофизических исследований.

Сравнение данных на рис.4 и 5 дает основание предполагать, что основные деформационные процессы, протекающие в материалах, при настолько разных режимах нагружения – аналогичны.

Выводы

1. Рассмотрены перспективы использования вибрационных воздействий на материал, для стабилизации дефектных структур на стадии разупрочнения.
2. Показано, что за счет резких смен в режиме нагружения и выдержки материала также можно стабилизировать дефектные структуры на ниспадающей ветви диаграммы деформирования.

Список литературы

1. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти томах / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.) – М.: Машиностроение, 1981. – т. 4.
2. Новые методы оценки деградации механических свойств металла конструкций в процессе наработки / Лебедев А.А., Чаусов Н.Г., - Киев, 2004. – 133 с.
3. Вильдеман В.Э., Соколкин Ю.В., Ташкинов А.А., Механика неупругого деформирования и разрушения композиционных материалов / Под ред. Ю.В. Соколкина. – М.: Наука, 1997. – 288 с.
4. Вильдеман В.Э. О решениях упругопластических задач с граничными условиями контактного типа для тел с зонами разупрочнения // ПММ. — 1998. — Т. 62, вып. 2. — С.304–312.
5. Вильдеман В.Э., Зайцев А.В., Горбунов А.Н. Закономерности и механизмы повреждения неоднородных тел на закритической стадии // Физическая мезомеханика. — 1999. — Т. 2, № 4. — С. 41–53.
6. Капица П.Л. Динамическая устойчивость маятника при колеблющейся точке подвеса // Журнал экспериментальной и теоретической физики. — Т. 21, вып. 5. — 1951. — С. 588–597.
7. Блехман И.И. Вибрационная механика. — М.: Физматлит, 1994. — 400 с.
8. Любимов Д.В., Любимова Т.П., Черепанов А.А. Динамика поверхностей раздела в вибрационных полях. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 216 с.
9. Chaousov M.G., Pylypenko A.P., Paratsa V.M. Experimental research of plastic steels deformation from the point of view of suddenly changes in the loading mode / Mechanical Fatigue of Metals: Proceeding of the 13-th International Colloquium (MFM). Ternopil (Ukraine) September 25 – 28, 2006 /Ed. V.T.Troshechenko. - Ternopil: TSTU, 2006 – p. 407 – 410.
10. Чаусов Н.Г., Недосека С.А., Пилипенко А.П. Комплексная оценка поврежденности пластичных материалов при различных режимах нагружения // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2004. - 3. С. 16 – 21.
11. Chaousov M.G., Pylypenko A.P. Laws of deformation processes and fracture of Plastic steel From the Point of view of dynamic overloading. - Mechanika. – 2005.- Nr. 4 (54) - P. 24-29.