

Николаева Елена Алексеевна

канд. физ.-мат. наук, доцент

Кузьминова Наталья Аркадьевна

старший преподаватель

ФГКВОУ ВО «Пермский военный институт

войск национальной гвардии РФ»

г. Пермь, Пермский край

DOI 10.21661/r-469515

ОДНОКРАТНОЕ НАГРУЖЕНИЕ НА РАЗРЕЗНОМ СТЕРЖНЕ ГОПКИНСОНА-КОЛЬСКОГО

Аннотация: в данной статье для динамических испытаний на сжатие предложена модификация разрезного стержня Гопкинсона-Кольского, позволяющая изучать микроструктурные изменения в образце в результате деформирования. В данной модификации используется реактивная масса, рассогласованная по импедансу со стержнем, причём её импеданс превышает импеданс стержня.

Ключевые слова: динамическое сжатие, разрезной стержень Гопкинсона-Кольского, микроструктура, однократное нагружение.

Разрезной стержень Гопкинсона-Кольского – экспериментальное оборудование для исследования различных свойств как металлов, так и неметаллов, при скоростях деформации $500\text{--}5000\text{ с}^{-1}$. Эта техника испытаний материалов берёт свое начало в работах Б. Гопкинсона (Bertram Hopkinson, 1874–1918). В середине 20-го века Г. Кольский модернизировал данный метод испытаний [2], с тех пор стержень мало изменился.

Обычный разрезной стержень Гопкинсона-Кольского состоит из двух длинных стержней (входного и выходного), газовой пушки с ударником и регистрирующей аппаратуры (Рис. 1). Образец в форме цилиндра располагается между стержнями. При столкновении с входным стержнем ударник передаёт в него импульс упругого сжимающего напряжения. Часть импульса проходит в образец, а

часть отражается от него. По данным импульсов деформации, зарегистрированным тензометрическими датчиками на стержнях, строится диаграмма напряжение-деформация для данного материала при различных скоростях деформирования.



Рис. 1. Разрезной стержень Гопкинсона-Кольского

Стандартный метод Гопкинсона-Кольского не рекомендуется использовать в микроструктурных исследованиях, связанных с историей деформирования, поскольку образец многократно подвергается повторным ударным волнам, которые отражаются от свободных концов стержней. Предложенная в работе [5] модификация метода позволила устранить этот недостаток.

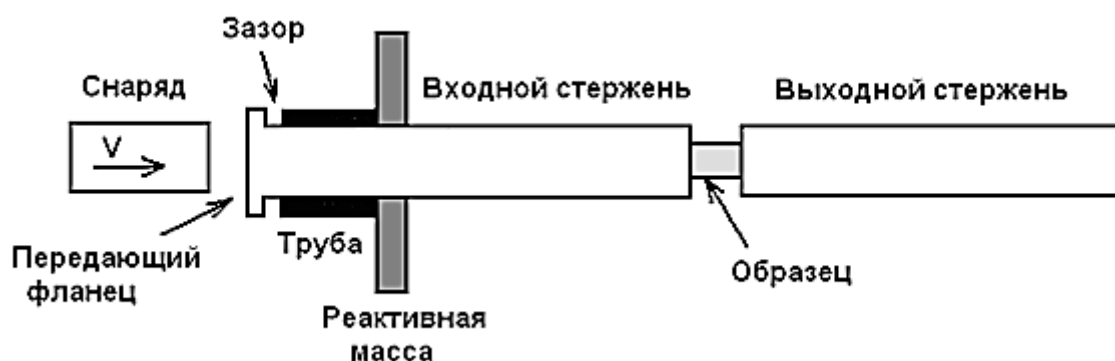


Рис. 2. Схема для испытаний на сжатие [6]

Идея данной модификации состоит в следующем. В испытании на сжатие используется дополнительная конструкция – труба, которая поглощает все отражённые импульсы, движущиеся к образцу, предотвращая повторный удар по нему (Рис. 2). Между фланцем и трубой устанавливается зазор,

соответствующий заданной скорости ударника, который закрывается, в то время как начальный импульс сжимающего напряжения полностью проходит во входной стержень.

В работе [7] описывается дальнейшее улучшение методики извлечения образца на разрезном стержне Гопкинсона-Кольского, в дальнейшем называемой методикой UCSD, которая позволяет измерять изотермический предел текучести некоторых металлов в широком диапазоне температур и скоростей деформации.

Для реализации однократного нагружения образцов можно использовать и иные методики. Например, существует модификация экспериментальной установки [3; 4], в которой выходной стержень значительно короче входного.

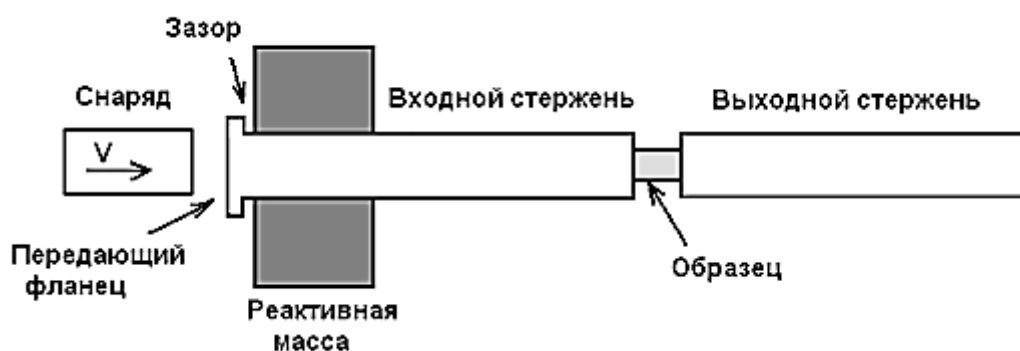


Рис. 3. Техника однократного удара для испытаний на сжатие

В экспериментальной работе [1] авторами используется собственная модификация разрезного стержня Гопкинсона-Кольского (рис. 3), отличающаяся от всех вышеописанных. В ней используется реактивная масса, рассогласованная по импедансу со стержнем, причём её импеданс превышает импеданс стержня. Между фланцем и реактивной массой на входном стержне устанавливается зазор, соответствующий заданной скорости ударника, который закрывается, в то время как начальный импульс сжимающего напряжения полностью проходит во входной стержень. Реактивная масса поглощает импульс растяжения и обеспечивает небольшую отдачу входного стержня. В результате после однократного нагружения образца оба стержня раздвигаются, и образец высвобождается без скольжения по торцам входного и выходного стержней, не обмениваясь с ними

теплом, что обеспечивает адиабатические условия проведения эксперимента и расширяет возможности использования экспериментальной установки.

Данная модификация была названа техникой однократного удара и до сих пор успешно используется для изучения микроструктурных изменений в образцах в экспериментах по динамическому сжатию.

Список литературы

1. Баранников В.А. Термодинамические аспекты высокоскоростного деформирования меди / В.А. Баранников, Е.А. Николаева, С.Н. Касаткина // Деформация и разрушение материалов. – 2005. – №3. – С. 16–19.
2. Кольский Г. Исследование механических свойств материалов при больших скоростях нагружения // Механика. – Вып. 4. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1950. – С. 108–128.
3. Chen W., Ravichandran G. Dynamic compressive failure of a glass ceramic under lateral confinement // J. Mech. Phys. Solids. – 1997. – V. 45, no. 8. – P. 1303–1328.
4. Chen W.W., Wu Q.P., Kang J.H., Winfree N.A. Compressive superelastic behavior of a NiTi shape memory alloy at strain rates of 0.001–750 s⁻¹ // J. Solids Structures. – 2001. – V. 38. – P. 8989–8998.
5. Nemat-Nasser S., Isaacs J.B., Starrett J.E. Hopkinson techniques for dynamic recovery experiments // Proc. R. Soc. Lond. – 1991. – V. A435. – P. 371–391.
6. Nemat-Nasser S., Li Y.-F., Isaacs J.B. Experimental/computational evaluation of flow stress at high strain rates with application to adiabatic shear banding // Mechanics of Materials. – 1994. – V. 17. – P. 111–134.
7. Nemat-Nasser S., Isaacs J.B. Direct measurement of isothermal flow stress of metals at elevated temperatures and high strain rates with application to Ta and Ta-W alloys // Acta materialia. – 1997. – V. 45, no. 3. – P. 907–919.