

УДК 620.171.2

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОГО НАГРУЖЕНИЯ

Тиабашвили А. Т., Черников Д. Г.

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

Развитие высокоскоростных методов пластического деформирования обуславливает повышенный интерес к определению предельных возможностей листовых материалов. Для анализа свойств материалов при высокоскоростном нагружении проводятся их динамические испытания. Известно несколько устройств, для динамических испытаний листового материала, источниками энергии для которых являются энергия взрыва [1], сжатого газа [2], электромагнитного поля [3] и гидравлическая энергия [4]. Анализ данных устройств показал их невысокую эффективность в силу низкой скорости деформирования и крупных размеров оснастки. Также было установлено, что при динамическом нагружении листовых заготовок, как показано в работах [5, 6] происходит некоторое увеличение предела текучести, и соответственно, пластичности. Чтобы объяснить этот эффект необходимо разработать испытательное устройство, которое обеспечивало бы требуемую скорость деформирования и динамический характер нагружения а также исключало бы недостатки уже существующих устройств. Исследования, проведенные в работе [7] показали, что наиболее оптимальным с точки зрения безопасности и управляемости процессом деформации является устройство, использующее в качестве источника энергии импульсное магнитное поле высокой напряженности.

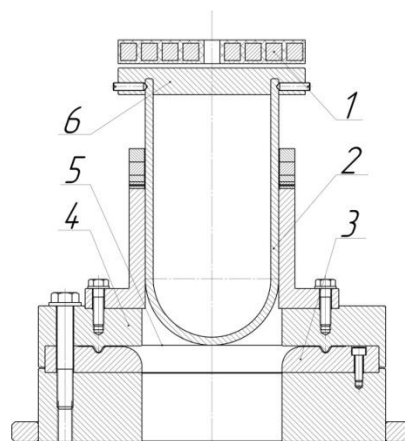
Согласно международному стандарту [8], который определяет форму и размеры деформирующего инструмента, было спроектировано и изготовлено устройство (рисунок 1), для динамических испытаний листовых материалов, главными конструктивными элементами которого является матрица, с радиусным скруглением 8 мм, прижим и полусферический пуансон диаметром 100 мм. Данное устройство предназначено для испытания листовых заготовок из алюминиевых сплавов, толщиной от 0,3 до 4 мм диаметром 200 мм. Заготовка располагается на матрице и фиксируется прижимом. Характерной особенностью матрицы и прижима является перетяжное ребро, предотвращающее перемещение фланца заготовки в направлении движения пуансона. Для проведения динамических испытаний был спроектирован и изготовлен плоский многovitковый индуктор. Динамические испытания проводились с использованием магнитно-импульсной установки МИУ-50 с максимальным уровнем запасаемой энергии батареи конденсаторов 50 кДж.

Устройство работает следующим образом: батарея конденсаторов МИУ-50 заряжается до заданного уровня напряжения, после достижения, которого разряжается на неподвижно закрепленный индуктор. По виткам индуктора протекают импульсные токи, порождая вокруг них импульсное магнитное поле высокой напряженности. При пересечении магнитными полями алюминиевой крышки оснастки, расположенной в непосредственной близости от индуктора, в последней наводятся вихревые токи противоположного направления относительно токов индуктора. В результате их взаимодействия возникают объемные электродинамические усилия отталкивания, разгоняющие крышку и жестко связанный с ней пуансон. В результате пуансон деформирует заготовку с высокой скоростью до образования трещины.

Проведенные исследования показали работоспособность разработанного устройства и возможность использования импульсного магнитного поля высокой напряженности в качестве источника энергии для осуществления динамических испытаний. Дальнейшее развитие исследований в данной области возможно путем усовершенствования конструкции оснастки, посредством увеличения ее стойкости к ударным нагрузкам а так же разработки новых схем испытаний, позволяющих достичь больших скоростей деформирования.



а)



б)

Рисунок 1 – Внешний вид (а) и схема (б) устройства для динамических испытаний листовых материалов;

1. Индуктор; 2. Пуансон; 3. Матрица; 4. Прижим; 5. Заготовка; 6. Алюминиевая крышка.

#### Библиографический список

1. Wood, W. W. Experimental Mechanics at Velocity Extremes – Very High Strain Rates // Experimental Mechanics. - 1967. - P. 441-446. - doi:10.1007/BF02326303
2. Engelhard M., von Senden genannt Haverkamp H., Klose C., Bach Fr.-W. Development of a Pneumatic High-Speed Nakajima Testing Device // 5th International Conference on High Speed Forming. 24 -26 April, 2012. Dortmund, Germany.
3. Li et al F.-Q. Formability of Ti-6Al-4V titanium alloy sheet in magnetic pulse bulging // Materials and Design. – 2013. - Vol. 52. – P. 337-344.
4. Engelhardt M., von Senden genannt Haverkamp H., Kiliclar Y., Schwarze M., Vladimirov I., Bormann D., Bach F.-W., Reese S. Characterisation and Simulation of High-Speed deformation processes // 4th International Conference on High Speed Forming. 9 – 10 March, 2010. Columbus, Ohio, USA.
5. El-Magd E., Abouridouane M. Einfluss der Umformgeschwindigkeit und temperatur auf das Umformvermögen metallischer Werkstoffe // Zeitschrift für Metallkunde. - 2003. - Vol. 94. – P. 35-45.
6. El-Magd E., Abouridouane M. Characterization, modelling and simulation of deformation and fracture behaviour of the light-weight wrought alloys under high strain rate loading // International Journal of Impact Engineering. – 2006. - Vol. 32 (5). – P. 741 – 758.
7. Глушечков В.А., Черников Д.Г., Тибашвили А.Т. «Способ динамических испытаний листовых материалов с использованием магнитно-импульсного нагружения». Актуальные проблемы в машиностроении. Том 4, № 4. С. 94-99. 2017
8. ISO 12004-2:2008. Metallic materials. Sheet and strip. Determination of forming-limit curves. Part 2: Determination of forming-limit curves in the laboratory.