

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ МАШИНА – УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИМПУЛЬСНОГО ВВОДА ЭНЕРГИИ В СИСТЕМУ – ОБРАЗЕЦ

Николай Чаусов, Валентин Березин, Андрей Пилипенко

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

Аннотация. Проведены численные расчеты поведения механической системы при импульсном вводе энергии в испытуемый образец из пластичных материалов. Выявлена существенная нелинейность процесса передачи импульса на исследуемый образец, что указывает на возможность скачкообразных переходов в структурном состоянии материала при незначительных изменениях в начальных условиях.

Ключевые слова: моделирование, механическая система, образец, динамический неравновесный процесс, испытательная машина.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

При динамических неравновесных процессах практически все пластические материалы выявляют склонность к краткосрочной пластификации. При этом в зависимости от величины энергетического (силового) импульса и степени деформации, по которой материал подвергается влиянию заданного импульса, может возникнуть значительное количество новых упорядоченных структур (состояний материала), каждая с которых владеет новыми механическими свойствами [1].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При импульсном введении энергии в материал можно обеспечить широкий спектр регулирования прочностных и пластических свойств материала, а именно: пластифицировать любой материал на стандартной ветви упрочнения диаграммы деформирования, достичь изменения длин стадий деформирования, реализовать квази-сверхпластическое состояние при комнатной температуре (получить идеально-пластическое поведение материала протяжностью до десятков процентов остаточной деформации), за счет

многообразных импульсных подгрузок реализовать резервы механических свойств на стадии разупрочнения, включая и стадию роста макротрещины [2-6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предельное состояние самоорганизации структуры материалов при динамических неуравновешенных процессах представляет значительный интерес для исследований. При таком состоянии механические свойства на макроуровне или увеличиваются максимально, или резко уменьшаются вплоть до полного разрушения материала.

В результате таких исследований можно будет выявить положительные эффекты импульсного введения энергии в материал (пластификация материала, достижение квази-сверхпластического состояния, стабилизация дефектной структуры и прочее), которые можно использовать в технологических операциях, например при ударной штамповке и для продолжения ресурса ответственных элементов конструкций, а также негативные эффекты, когда при введении критического импульса энергии можно разрушить материал, создать ли в нем повреждение, которые резко уменьшат его

трещиностойкость при дальнейшей эксплуатации.

Для моделирования механической системы «испытательная машина – образец» в процессе резких изменений в режиме нагружения в этой работе построена расчетная модель.

Все необходимые данные для модели: жесткость цепи центрального элемента внутреннего контура, который включает сферические зажимы, тензодинамометр и образец ($C_1=9,9$ т/мм), жесткость цепи внутреннего контура, который включает в себя две одинаковые штанги, одна из которых используется как тензодинамометр и хрупкую пробу ($C_2=3,8$ т/мм), а также жесткости других элементов внутреннего

контура, определены экспериментальным методом.

При построении модели сделанные следующие предположения:

- предполагается, что в начальный момент передачи силового импульса на образец зазоры между внутренним и внешним контурами настолько большие, что можно пренебречь взаимодействием между контурами;

- для упрощения объемной расчетной задачи делается замена хрупких проб, которые разрушаются, на ударники, изменение кинетической энергии которых происходит по счет изменения массы и начальной скорости.

Расчеты проводились на пакете Autodyn комплекса Ansys 11.

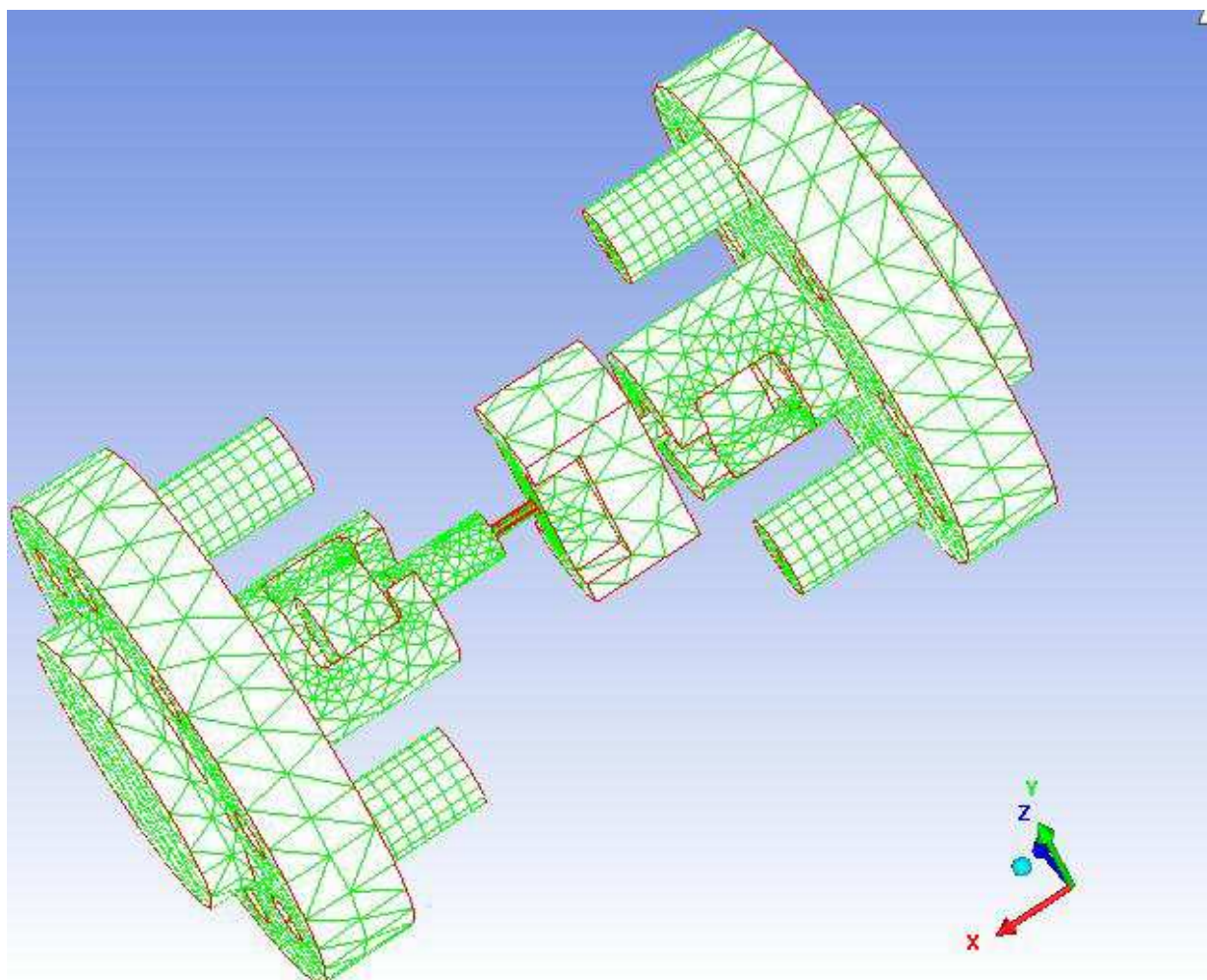


Рис. 1. Расчетная модель.

В результате расчетов выявленные соотношения между предоставленной ударникам кинетической энергией и зафиксированной полной энергией

(кинетической и внутренней) на образце до выбора зазора между внутренним и внешним контурами.

Для примера, на рис. 2 представлены некоторые расчетные данные.

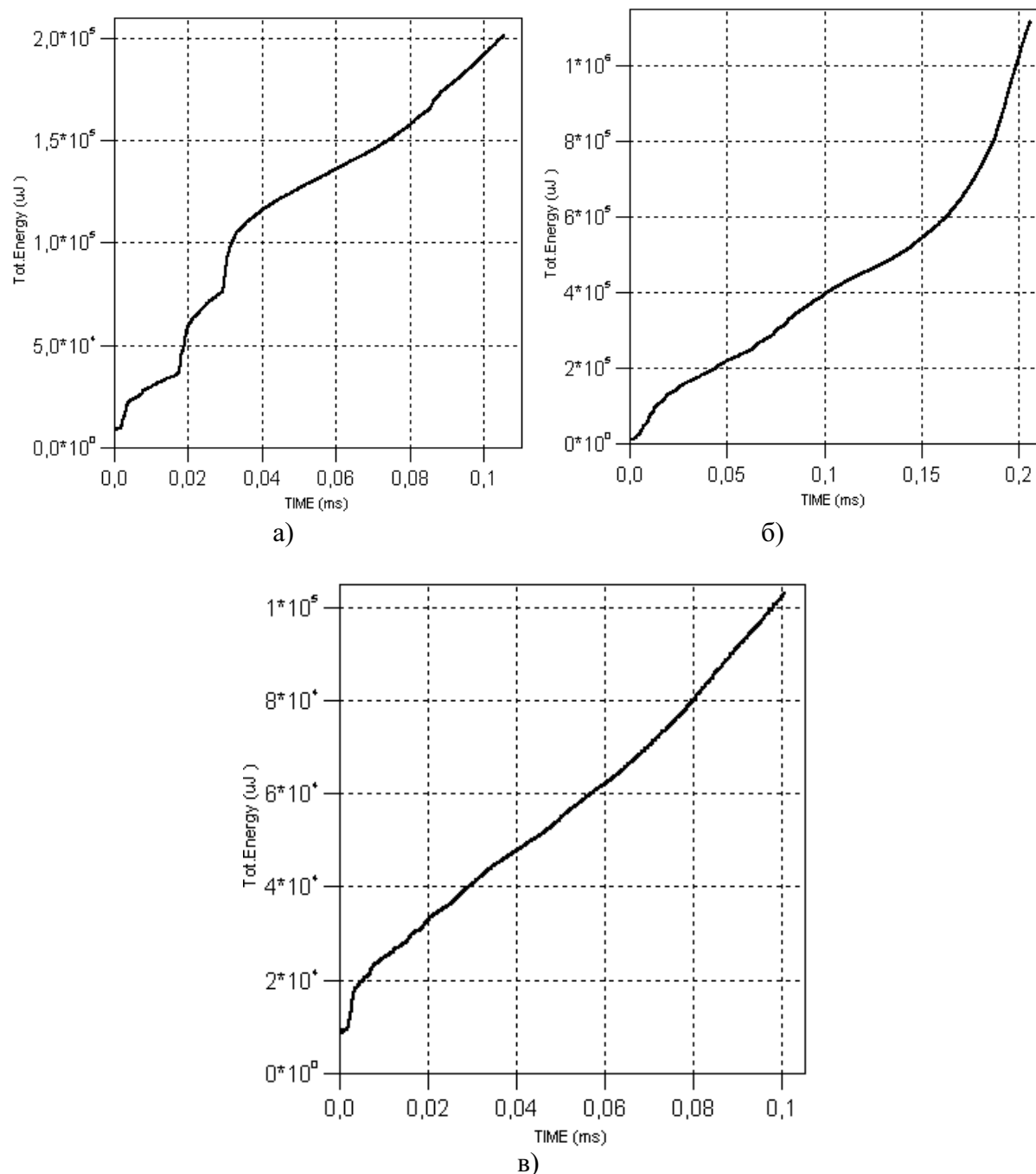


Рис. 2. Зависимости передачи во времени результирующей энергии наподобие от массы ударника: а – масса 100 кг; б – масса 20 кг; в – масса 6,3 кг. Скорость ударников 1 м/с.

Расчетами также установлено, что в ударном процессе такого вида передача энергии на образец проходит за время не меньше 10 микросекунд и показано, что в зависимости от массы ударников и их скорости существует нелинейная зависимость передачи результирующей энергии на образец.

Также была установлена зависимость между полученной образцом энергией и

переданной. Полученная системой энергия рассчитывается за формулой:

$$E = E_K - E_D,$$

здесь E_K – начальная кинетическая энергия ударников, E_D – энергия деформации ударников.

Расчеты проводились для армко-железа и алюминиевого сплава.

На рис. 3, 4 приведенные, соответственно, графики изменений полной

энергии, полученной образцом и напряжение переданного системе за 1 мс. подгрузки в зависимости от импульса,

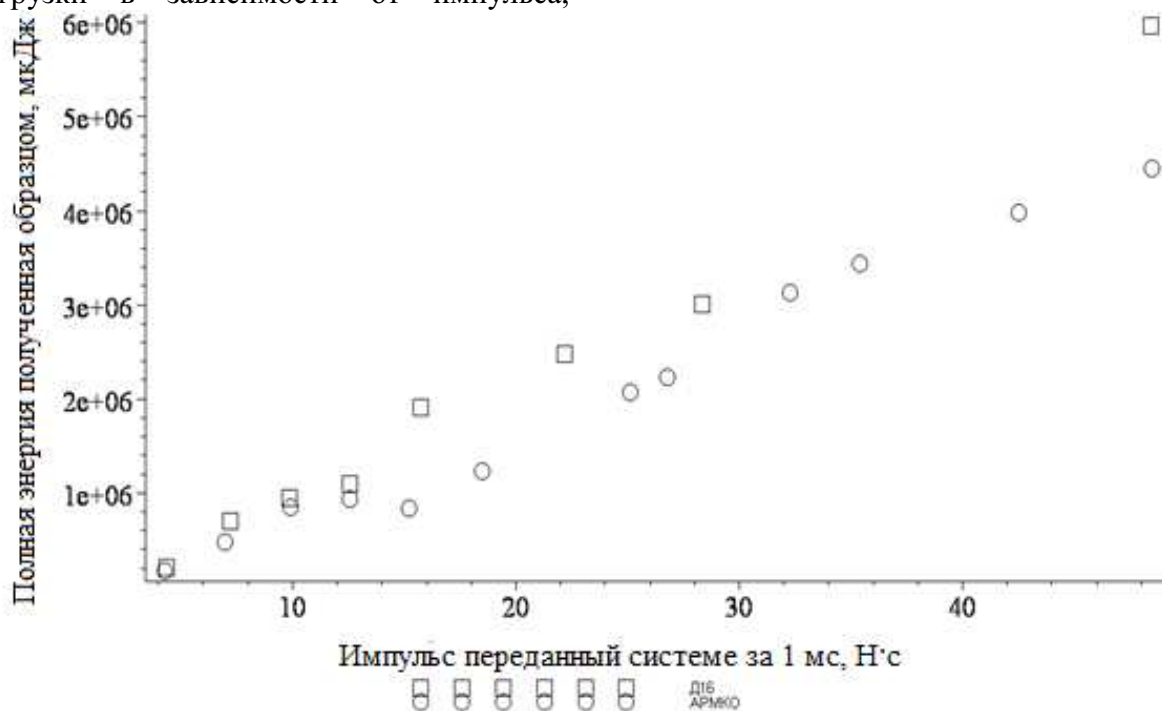


Рис. 3. Зависимость полученной образцом энергии от импульса, переданного системе за 1 мс.

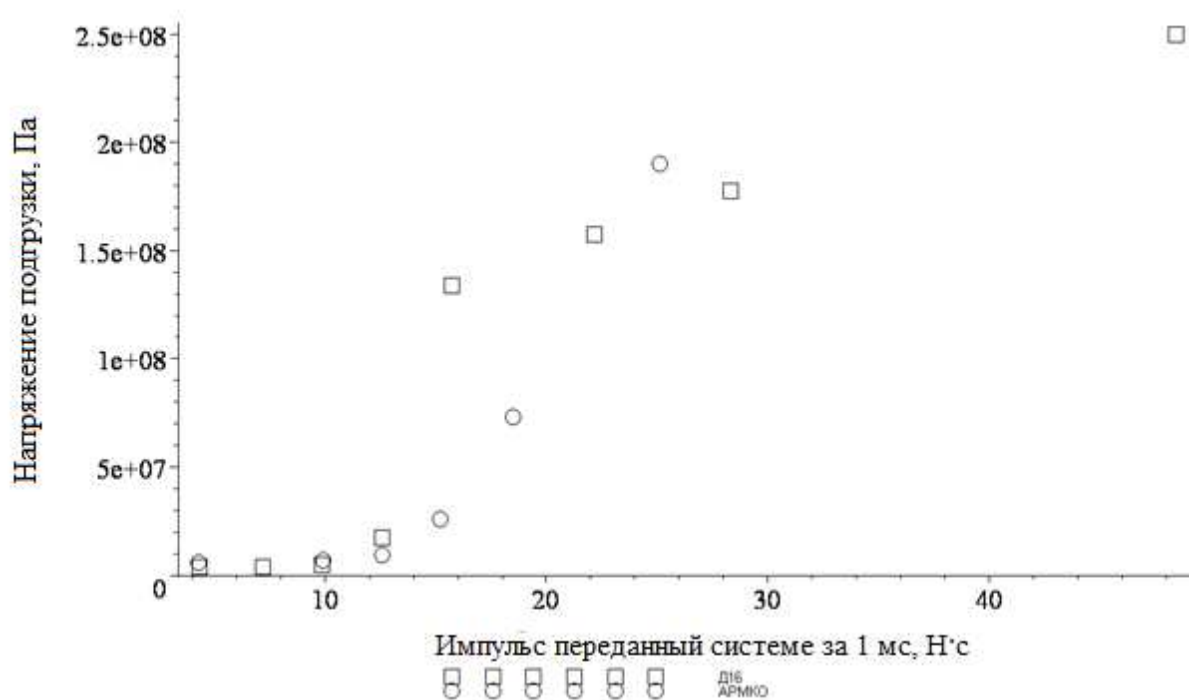


Рис. 4. Зависимость напряжения подгрузки полученного образцом от импульса, переданного системе за 1 мс.

Анализ результатов моделирования энергии полученная алюминиевым сплавом показывает, что в диапазоне рабочих импульсов нагрузок образца имеющиеся превышает энергию, полученную армко-железом. нелинейные характеристики, причем,

Результаты моделирования указывают на корреляцию энергий, полученных образцом с энергией накопленной во внешнем контуре установки (рис. 5).

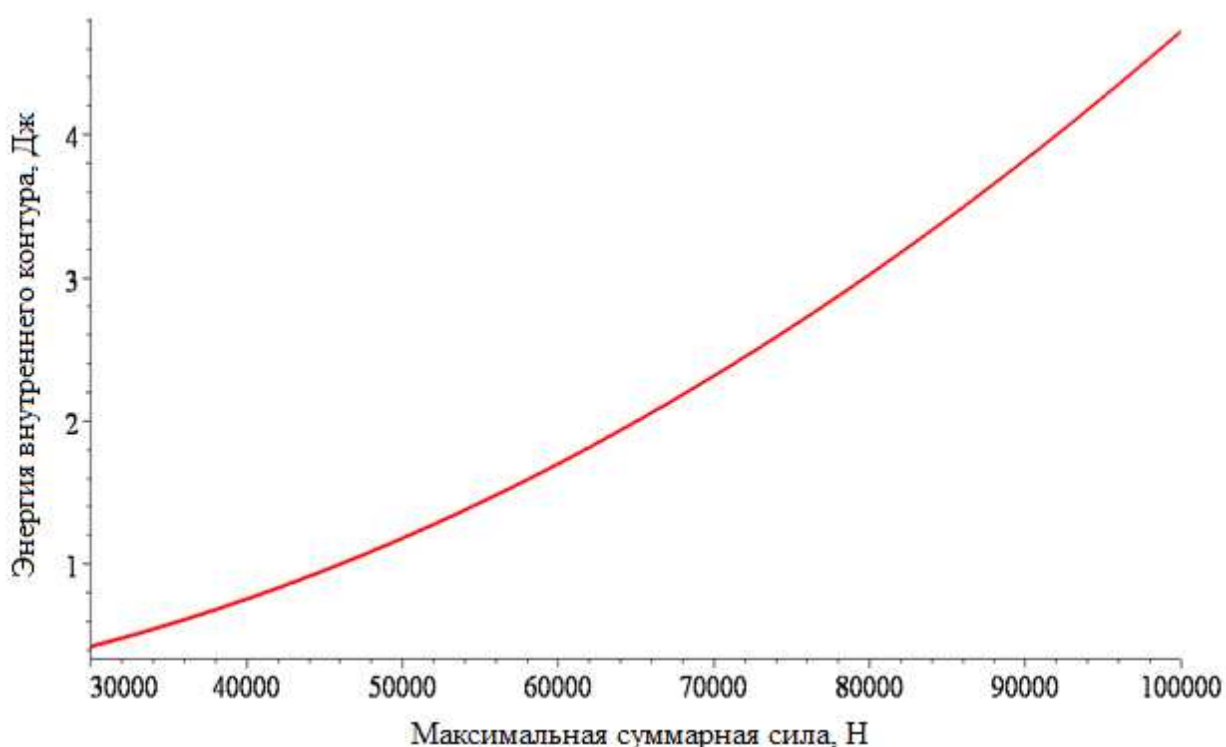


Рис. 5. Теоретическая зависимость накопленной внешним контуром энергии от максимальной суммарной силы на образце и образцах-спутниках.

С целью уточнения режима нагрузки системы было проведено численное моделирование разрыва пробы, целью которого было исследование влияния импульса разрушения на параметры

процесса (рис. 6). Режим нагрузки – жесткое крепление с наложенным предельным условием на скорость деформирования, исследование влияния которой на параметры процесса были целью.

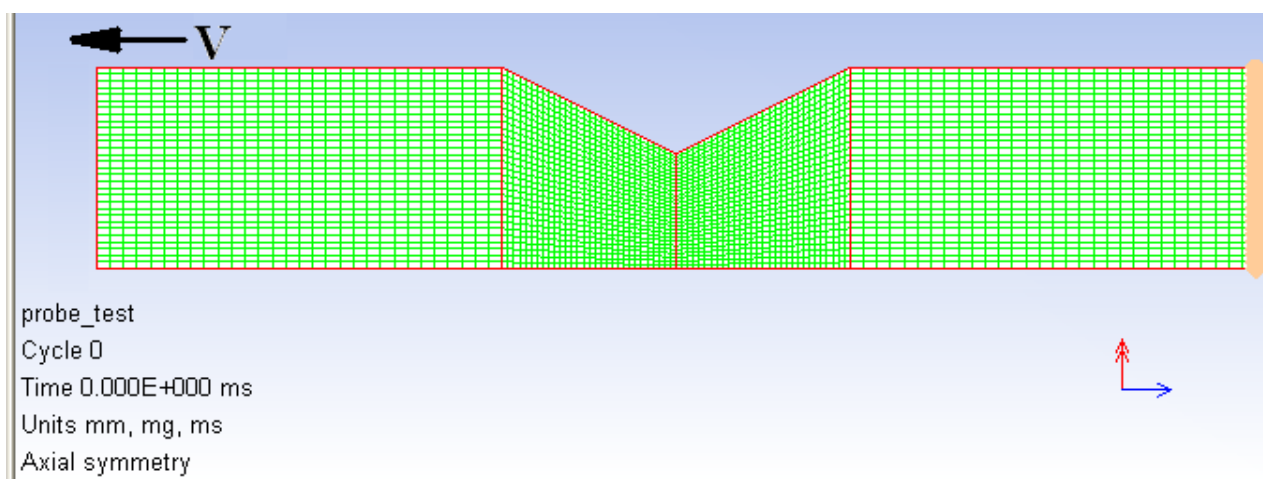


Рис. 6. Вид расчетной модели, количество элементов – 3400. Материал пробы – Steel 4340 (аналог сталь 40ХМА)

Режим нагрузки пробы: Проба деформировалась с постоянной скоростью Vd до ее разрушения (модель

поврежденности – Johnson-Cook, критерий разрыва элемента – 18% пластической деформации по критерию Мизеса) (рис. 7).

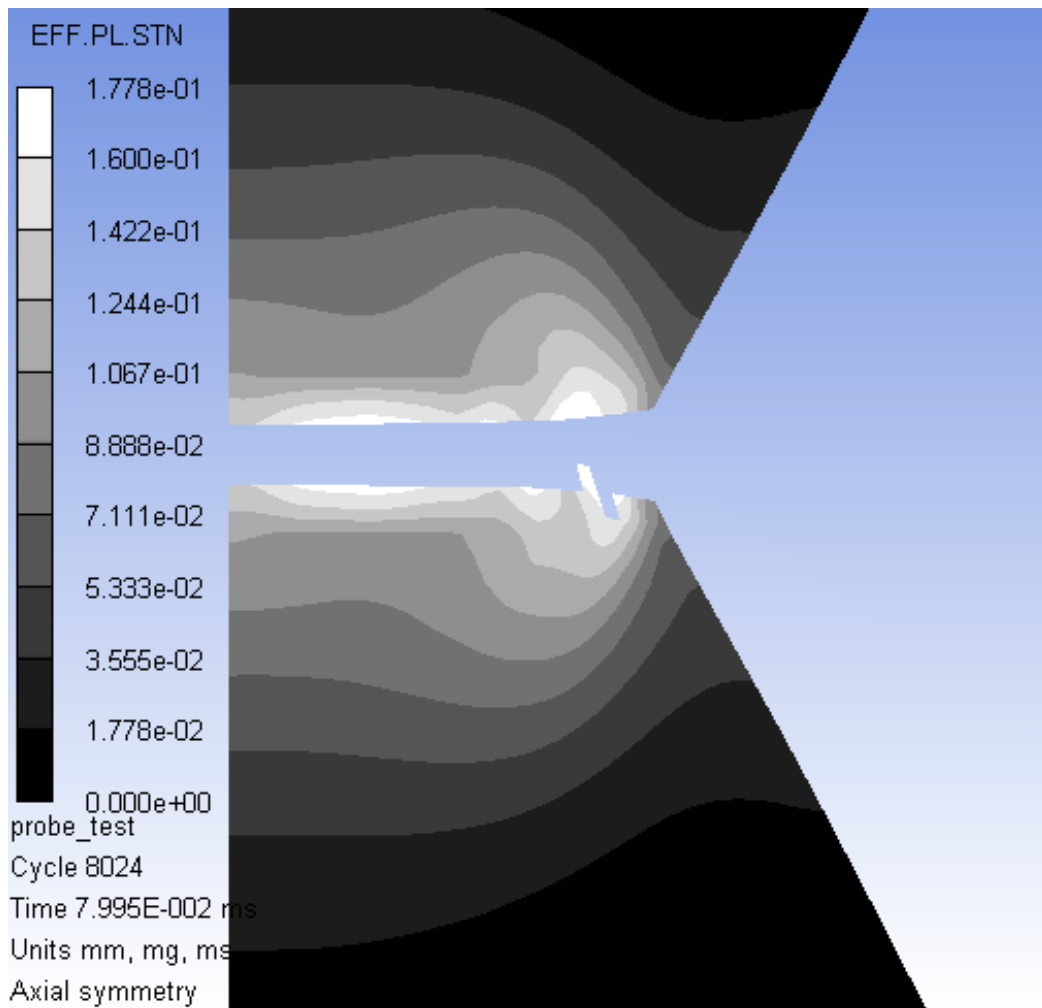


Рис. 7. Остаточная пластическая деформация разрушенной пробы (эффективная) при скорости деформирования 4 м/с

Из результатов расчетов были получены такие данные:

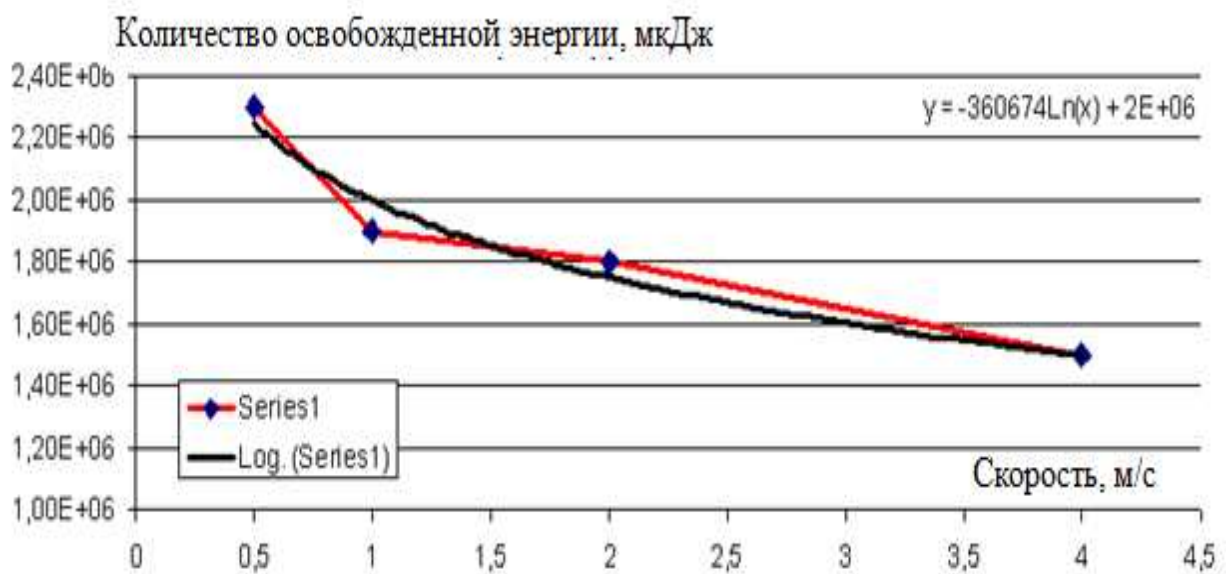


Рис. 8. Количество высвобожденной энергии пробой в зависимости от скорости деформирования (красная ломаная – экспериментальные данные, черная – аппроксимация)

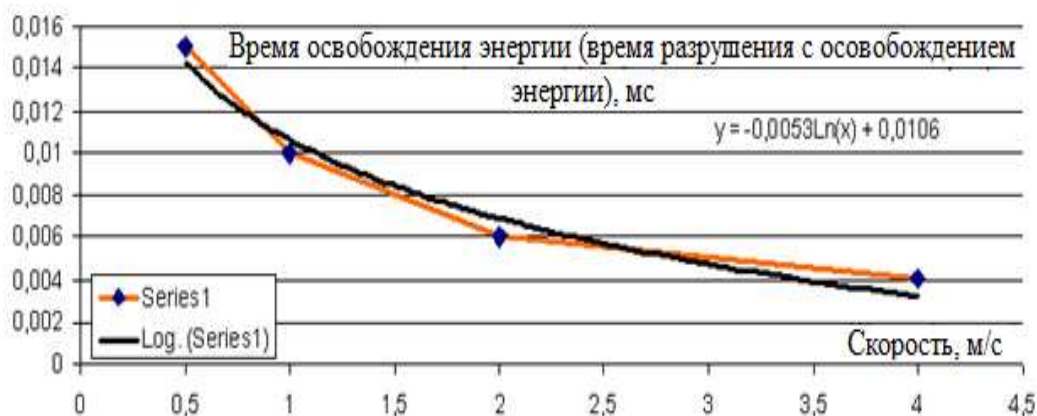


Рис. 9. Время высвобождения энергии пробы в зависимости от скорости деформирования (красная ломаная – экспериментальные даня, черная – аппроксимация)

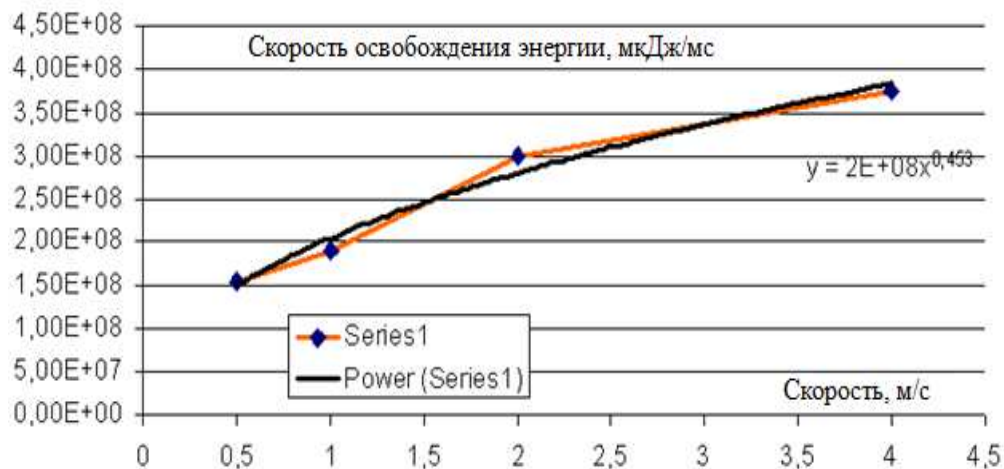


Рис. 10. Скорость высвобождения энергии пробы в зависимости от скорости деформирования (красная ломаная – экспериментальные данные, черная – аппроксимация)

При этом высвобожденная энергия и время высвобождения рассчитывались следующим образом:

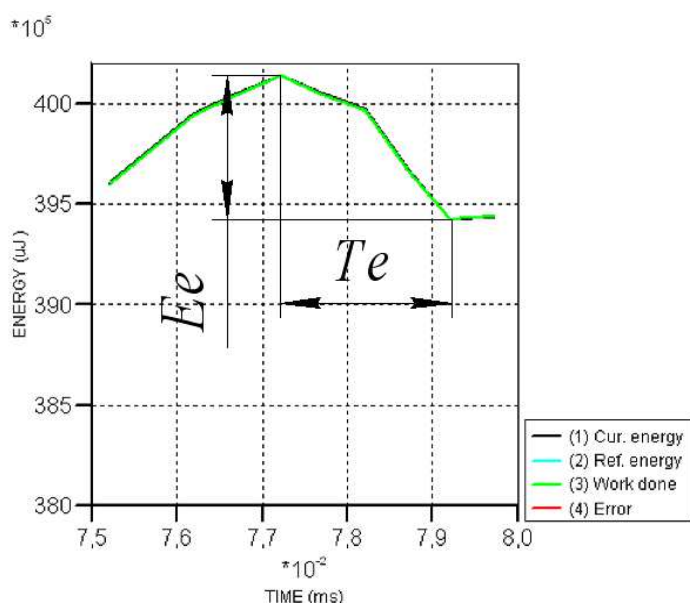


Рис. 11. Расчеты высвобожденной энергии и времени высвобождения. T_e – время высвобождения, E_e – энергия, которая высвободилась. Зеленая кривая – работа деформирования пробы.

Полученные данные является основой для дальнейшего улучшения модели передачи энергии от ударников до внутреннего контура. Кроме того, очевидно, что за такое время разрушения пробы основными характеристиками процесса являются характеристики механической системы. То есть основным механизмом введения хаотичности в процесс деформирования образца материала есть вид самой механической системы, а гидравлическая система, которая идет за механической, представляет собой источник энергии, которую поглощает образец в переходном режиме деформирования.

ВЫВОДЫ

1. Численные исследования показывают, что при динамических неравновесных процессах большая часть энергии, которая высвобождается в процессе разрушения образцов-спутников, действительно поглощается образцом.

2. Проведенные расчеты указывают на значительную нелинейность характеристик процесса динамической подгрузки образца по заданной схеме, которая указывает на необходимость их аппроксимации более простыми функциями при использовании в феноменологической модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чаусов Н.Г., Засимчук Е.Э., Маркашова Л.И., Вильдеман В.Э., Турчак Т.В., Пилипенко А.П., Параца В.Н. Особенности деформирования пластичных материалов при динамических неравновесных процессах // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2009. – 75. №6. – С. 52–59.

2. Засимчук Е.Э., Маркашова Л.И., Турчак Т.В., Чаусов Н.Г., Пилипенко А.П., Параца В.Н. Особенности трансформации структуры пластичных материалов в процессе резких смен в режиме нагружения // Физическая мезомеханика. – 2009. – 12. №2. – С. 77–82.

3. Вплив багаторазових змін в режимі навантаження на деформування пластичних матеріалів. Чаусов М.Г., Лучко Й.Й.,

Пилипенко А.П. та інш. / Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів і конструкцій. Збірник наукових праць. – Львів. Каменяр. 2009, вип. 8. – С. 289–298.

4. Чаусов Н.Г., Засимчук Е.Э., Пилипенко А.П., Порохнюк Е.М. Самоорганизация структур листовых материалов при динамических неравновесных процессах // Вестник Тамбовского университета. – Серия: Естественные и технические науки. – 2010. – Т.15. – №3. – С. 892–894.

5. Чаусов М.Г., Лучко Й.Й., Пилипенко А.П., Волянська К.М. Вплив концентраторів напружень і зміни температури на кінетику руйнування листових матеріалів з урахуванням імпульсних підвантажень // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2010. – Вип. 39, частина 2. – С. 307–315.

6. Mykola Chausov, Andriy Pylypenko, Kateryna Volyanska, Valentin Berezin, Volodymyr Hutsayluk. Deformation and fracture of aluminium alloy 2024-T3 under dynamic nonequilibrium process loading / Proceedings 24th Symposium on Experimental Mechanics of Solids. 2010. Wroclaw, Poland, September 22, – P. 6–7.

7. Chausov N.G., Pilipenko A.P. Influence of Dynamic Overloading on Fracture Kinetics of Metals at the Final Stages of Deformation. – Mechanika. – 2004. Nr. 3 (48). – P. 13–18.

8. Chausov M.G., Pylypenko A.P. Laws of Deformation Processes and Fracture of Plastic Steel From the Point of View of Dynamic Overloading. – Mechanika. – 2005. – № 4 (54). – P. 24–29.

9. V. Hutsaylyuk, H. Sulym, I. Turchyn, Ia. Pasternak, M. Chausov. Investigation of Dynamic Non-Equilibrium Processes in the Aluminum Alloy 2024-T3 under Additional Load Impulse / Proceedings of 7th International Conference ITELMS'2012. – P. 79–85.

10. Chausov N. G., Zasyrchuk E. E., Markashov L. I., Vyldeман V.E., Turchak T.V., Pylypenko A.P., Parada V.N. Features deformation plastic materials at the dynamic non-equilibrium processes // Zavodskaya Laboratory. Diagnosis of materials. – 2009. – Т.75. – № 6. – P. 52–59.

11. Zasyrchuk E. E., Markashov L. I., Turchak T. V., Chausov N. G., Pylypenko A. P.,

Paratsa V. N. Features structure plastic transformation of materials in the process of shock change load // *Fyzicheskaya mezomehanyka*. – 2009. – T.12. – № 2. – P. 77–82.

12. Chausov M. G., Lucko Y. Y., Pylypenko A. P. and etc. Effect of multiple change loading on the deformation of plastic material // *Mehanika i flzyka ruynuvaynya budivelnih materialiv i konstrukciy*. Zbirnyk publikaciy. Lviv Kameniar. – 2009. – Vyp.8. – P. 289–298.

13. Yasniy, P., Maruschak, P., Bishchak, R., Hlado, V. and Pylypenko, A. Damage and fracture of heat resistance steel under cyclic thermal loading. *Theor. Appl. Fracture Mech.*, 2009, №52, 22–25.

14. Yasnii, P. V., Maruschak, P. O., Pylypenko, A. P., Bishchak, R.T., Zakiev, I.M. and Hlad'o, V. B. Diagnostics of the serviceability of heat-resistant steels of the metallurgical equipment after thermal cycling. *Mater. Sci.*, 2011, 47, 224–235.

15. M. Chausov, P. Maruschak, A. Pylypenko, F. Sergejev, O. Student. Effect of high-force impulse loads on the modification of mechanical properties of heat-resistant steel after service. *Estonian Journal of Engineering* Vol. 18, Issue 4, 2012. pp. 251–258.

16. Z asimchuk, E.E., Gontareva, R.G., Baskova, O.I., Chausov, M.G., Hutsaylyuk, V. On possibility to use single crystal sensors of deformation damage under dynamical loading (2012) *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, 34 (4), pp. 509-520.

17. V.Hutsaylyuk, L.Sniezek, J.Torzewski, M.Chausov, V.Berezin. Influence of additional force impulse at the monotonic load on the deformation of 2024-T3 aluminium alloy//

Proceedings of 5-th International Conference on Defensive Technologies. pp. 648–654.

18. V.Hutsaylyuk, H.Sulym, I.Turchyn, Ia. Pasternak, M.Chausov. Investigation of Dynamic nono-equilibrium processes in the aluminium alloy 2024-T3 under additional impulse/ *Proceedings of 7th International conference ITELMS'2012*. pp 79–85.

19. V.Hutsayluk, L. Sniezek, M.Chausov, A.Pylypenko. Badanie wlasnosci mechanicznych stopu aluminium 2024-T3 przy odkształceniu statycznym w warunkach obciazenia zlozonego/ *Materiały XXIV Sympozjum Zmeczenie Mechanika Pekania*. pp. 141–150.

20. Chausov M., Pylypenko A., K. Volyanska, Hutsaylyuk V.: Property of the static deformation of aluminum alloy 2024-T3 under the conditions of complex loading Fatigue of aircraft structures. Institute of Aviation, Warsaw, Poland, 2012.

SIMULATION OF MECHANICAL SYSTEM THE TEST MACHINERY – DEVICE FOR PULSING FEEDING INTO OF ENERGY IN SYSTEM – SAMPLE

Summary. Numerical calculations of mechanical system behavior at pulsing feeding into of energy in the test specimen from plastic materials are carried out. Essential nonlinearity of pulse transfer process on the test specimen that specifies in possibility of jump transitions in material structural condition at minor alterations in entry conditions is revealed.

Key words: simulation, mechanical system, the sample, dynamic nonequilibrium process, test machinery.