

УДК 539.214+539.219.2+620.178.6+621.77

DOI 10.52928/2070-1624-2025-44-1-61-69

## УДАРНО-ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В МЕТАЛЛАХ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

канд. техн. наук **О. Б. СКВОРЦОВ**, канд. физ.-мат. наук **В. И. СТАШЕНКО**  
(Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва, Россия)

д-р техн. наук, проф. **В. С. САВЕНКО**  
(Мозырский государственный педагогический университет имени И. П. Шамякина)

*При обработке металлов давлением находят применение различные виды дополнительного физического воздействия в виде нагрева, механических ударов, вибрации, акустического ультразвукового облучения, электроимпульсного воздействия. Такие воздействия, в частности, связаны с проявлениями колебательного движения частиц материалов, которое может рассматриваться как спусковой механизм для движения дислокаций и структурных неоднородностей материала. Эти неоднородности могут находиться в условиях остаточного механического напряженного состояния, которое при колебательном воздействии приводит к их передвижению и переходу в более устойчивое состояние. Подобные эффекты сопровождаются улучшением механических свойств и деформационными процессами при повышенной пластичности. В работе рассмотрены некоторые особенности проявления таких колебательных процессов, возникающих при дополнительных внешних воздействиях и применяемых при разработке технологий обработки металлов давлением с целью снижения сопротивляемости деформированию и улучшения структуры материалов.*

**Ключевые слова:** электропластический эффект, акустическое смягчение, дислокации, удар, вибрации, виброперегрузка, деформация.

**Введение.** Механические ударные и вибрационные воздействия рассматривают как одну из основных причин повреждения конструкционных материалов и элементов. Под действием ударов в конструктивных элементах возникают собственные колебания и волны, которые создают динамические нагрузки на материал [1]. При этом сам конструктивный элемент фактически является механическим фильтром, выделяющим из широкополосного ударного спектра определенные частоты [2]. Корректная оценка вибрационного воздействия для этого случая является достаточно сложной технической задачей [3]. Это связано как с взаимодействием рассматриваемого конструктивного элемента с элементами его крепления [4], так и окружающей его средой (например, со смазкой или охлаждающей жидкостью). Особенно заметное воздействие на такие колебания оказывают различные резонансные процессы, что необходимо учитывать в оценке модели поведения исследуемого объекта под воздействием вибрации [5]. Анализ получаемой при испытаниях информации также осложняется тем, что ударные воздействия, как правило, носят случайный характер и для изучения получаемых данных необходимо использовать вероятностные методы анализа [6]. В результате при таком анализе часто ограничиваются качественными оценками и рекомендациями [7], а для описания применяемых воздействий вводят специализированные характеристики ударов в виде ударного спектра (SRS) [8].

В отличие от рассмотренных случаев, когда ударные и вибрационные воздействия оцениваются как негативные и нежелательные, при обработке металлов давлением роль ударных и вибрационных процессов не так однозначна и их присутствие может приносить ощутимую пользу в виде снижения сопротивляемости деформациям металла, повышения пластичности, упрочнения или разупрочнения или снижения остаточных механических напряжений. Управление особенностями ударных и вибрационных процессов при обработке металлов давлением позволяет совершенствовать технологические процессы [9]. Такие особенности важны при изготовлении и эксплуатации металлических электропроводящих элементов мощного электрического оборудования [10], которые испытывают механические ударные и вибрационные нагрузки при воздействии больших импульсных электрических токов. Источником таких «полезных» ударных и вибрационных воздействий могут быть и используемые при обработке материалов давлением инструменты [11] или дополнительное внешнее воздействие при исследовании различных материалов [12]. Такие вибрационные воздействия могут также являться существенной частью используемых технологий обработки металла, например, аддитивных или деформации изделий из металла для изменения пластических свойств материала [13]. Представлен критический анализ различных механизмов взаимодействия электрического тока через проводник и связанного с этим проявлением электропластического эффекта. В этой работе обоснована физическая несостоятельность большинства существующих гипотез, которые объясняют механизмы возникающих деформационных процессов, и делается вывод о важности именно импульсного характера электрического

воздействия. Экспериментальные данные работы подтверждают такой вывод. Действие на обрабатываемый материал постоянного тока большой плотности ограничивается эффектами теплового нагревания металла, а наблюдаемые изменения свойств определяются таким нагревом. Сам по себе нагрев обрабатываемого материала может сопровождаться повышением пластичности, но такой технологический прием энергетически малоэффективен и его применение может сопровождаться возникновением остаточных напряжений, что может потребовать дополнительной обработки для их релаксации. Воздействие электрических импульсов является более простым техническим решением, часто оно эквивалентно использованию ультразвукового облучения, а его действие сопровождается значительным виброакустическим откликом. Особенности формирования отклика при действии электрических импульсов рассмотрены ниже.

**Методика экспериментов.** При изучении влияния электропластического эффекта (ЭПЭ) и/или акустического ультразвукового смягчения необходимо учитывать, что даже в случае воздействия одиночных ударных импульсов последние сопровождаются серией колебаний в материале. В этих условиях материал испытывает циклическое нагружение в виде малоциклового, многоциклового или гигациклового нагружения [18; 19]. Испытания при таких нагрузках показывают, что прочностные характеристики материала существенно снижаются. Оценка прочности при циклическом нагружении материала в большинстве случаев основана на использовании  $S-N$  диаграмм, которые показывают, как с увеличением числа циклов нагружения  $N$  снижается допустимое механическое нагружение  $S$ . В условиях циклического нагружения в виде вибрации в месте механических напряжений существенно более удобно использовать эквивалентную оценку по виброперегрузке, которая показывает, насколько динамическое действие вибрационного ускорения больше величины земного ускорения  $g$ . Такая виброперегрузка является относительной характеристикой нагружения и равна механическому ускорению, измеренному в единицах земного ускорения. Она может быть получена непосредственно в виде сигнала с акселерометра, установленного на испытываемом образце, и для типичных случаев возникающей высокочастотной вибрации имеет порядок десятков или сотен  $g$ . Частоты вибрационных колебаний при этом достигают нескольких килогерц или десятков килогерц. Несмотря на большие виброперегрузки, соответствующие вибрационные деформации (перемещения) незначительны и их прямое измерение затруднительно. Эти особенности необходимо учитывать при исследовании влияния колебательных процессов в материалах на движение дислокаций [11]. В противном случае измерения приходится выполнять на сравнительно низких частотах (например, 67–400 Гц [11]), при которых затруднительно обеспечить заметные виброперегрузки и которые существенно ниже собственных частот колебаний образцов на испытательном стенде.

При изучении свойств металлов, подвергнутых обработке давлением (прокатка, ковка, штамповка, прессование, плющение, волочение), а также таких операций, как сварка или сверление, возможно проведение экспериментов на соответствующем оборудовании. При большом объеме экспериментальных исследований с возможностью повторения опытов удобнее воспользоваться специализированными испытательными машинами, которые обеспечивают статическое или квазистатическое нагружение и дополнены средствами создания дополнительного динамического воздействия, создающими виброакустический отклик в испытываемом образце. Пример структуры такого стенда для проведения исследований представлен на рисунке 1. Испытываемый образец нагружен статическим растягивающим усилием, которое медленно увеличивается при постоянной скорости деформации. Контроль механического напряжения обеспечивается тензометрическим датчиком силы, что позволяет получить для испытываемого образца  $S-N$  диаграмму.

Для получения электропластического эффекта испытываемый образец подключен к формирователю одиночных электрических импульсов, который обеспечивает генерацию прямоугольного импульса. Действие такого импульса сопровождается генерацией в исследуемом образце виброакустического отклика и накладывается на статическое растягивающее нагружение, которое проявляется в виде кратковременных «провалов» на  $S-N$  диаграмме. Примеры таких диаграмм представлены на рисунках 2–5.

Момент разрушения образца, как правило, не синхронизирован с моментом поступления электрического импульса. Это свидетельствует о том, что динамические нагрузки в момент действия импульса и непосредственно после него не являются прямой причиной наступления фазы быстрого разрушения образца при превышении предела прочности. Амплитуда «провалов» пропорциональна амплитуде напряжения и тока электрического импульса и слабо меняется для различных участков  $S-N$  диаграммы, соответствующих упругой, упругопластической, пластической деформации, а также области деформации, близкой к порогу разрушения образца.

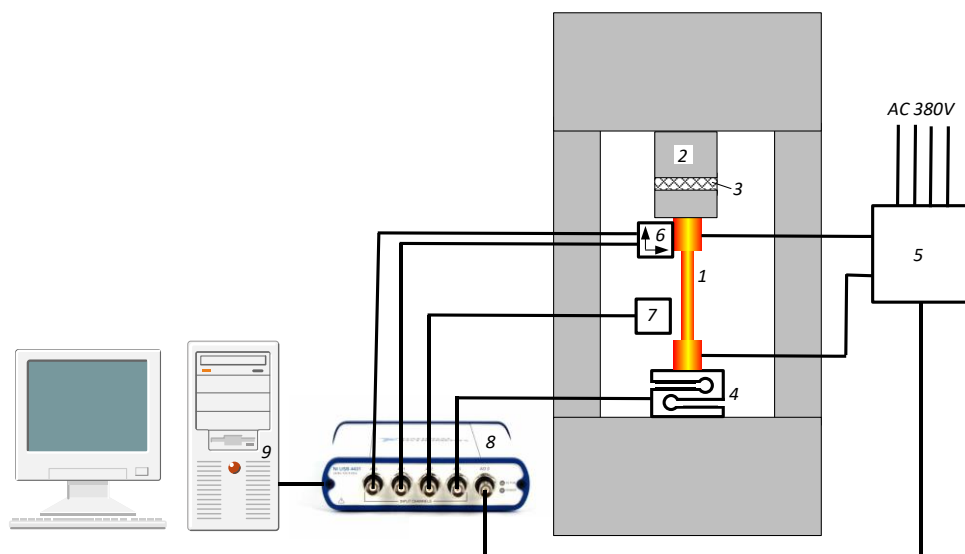
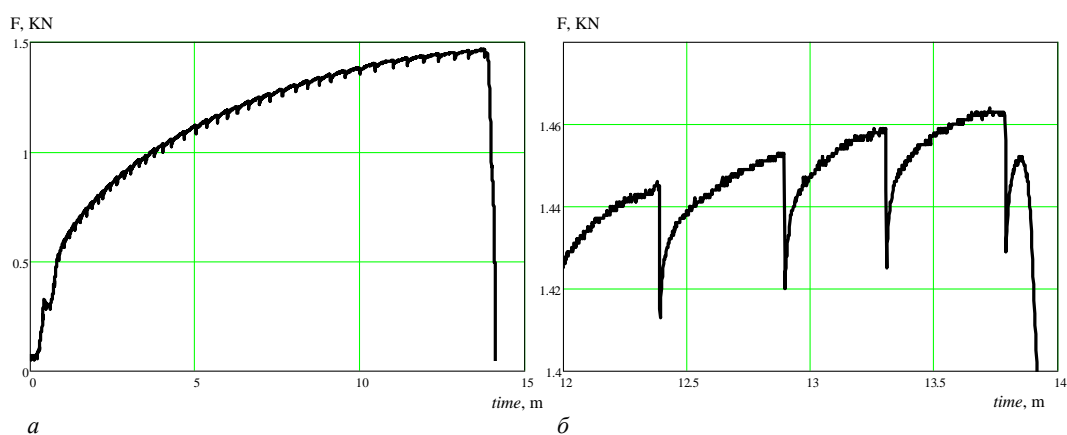
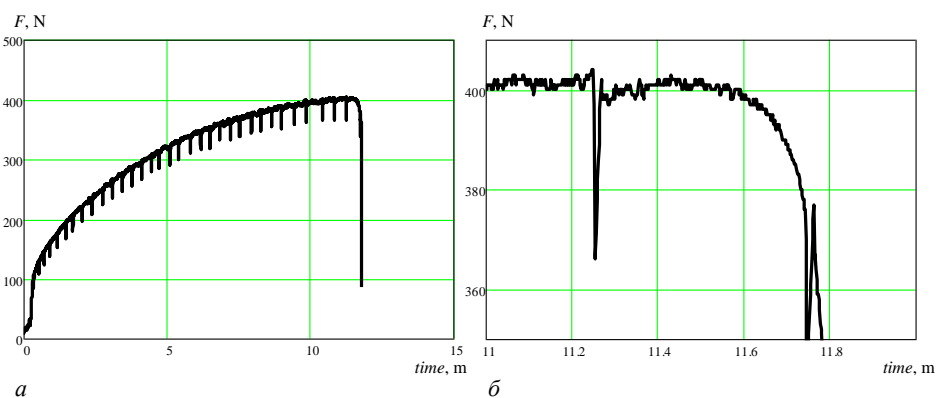


Рисунок 1. – Стенд для исследования влияния вибрации на деформации исследуемого образца (1) на испытательной машине (2). Образец закреплен через изолятор (3). Испытательная машина создает статическое продольное растяжение, измеряемое датчиком (4). Для создания ЭПЭ и вибрации на образец подают импульсы тока от формирователя (5). Продольную и поперечную вибрации контролируют датчиком механических колебаний (6). Ток через образец контролируют бесконтактным датчиком магнитной индукции (7). Датчики (4), (6), (7) и формирователь (5) подключены к устройству связи (8) с компьютером (9)



*a* – полная диаграмма; *б* – область разрушения

Рисунок 2. – Диаграмма зависимости механического растягивающего усилия  $F$  от времени для образца из медной фольги шириной 3 мм



*a* – полная диаграмма; *б* – область разрушения

Рисунок 3. – Диаграмма зависимости механического растягивающего усилия от времени для образца из латунной фольги шириной 3 мм

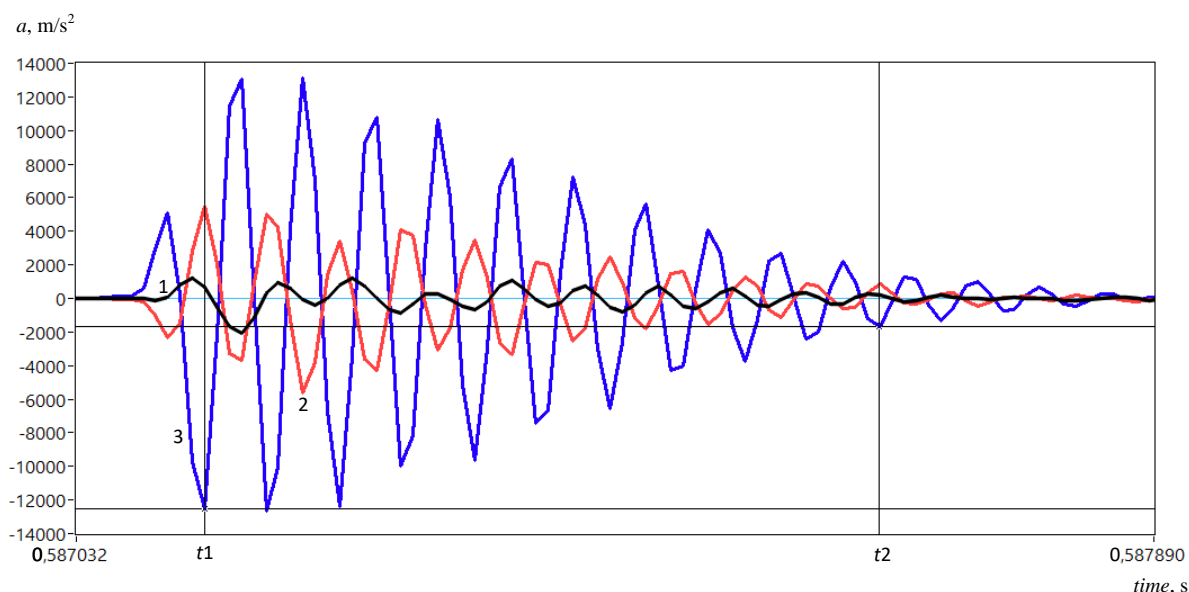


этому закону сила линейно связана с деформацией тензорезистора в датчике. Высокочастотные вибрации характеризуются крайне малыми величинами и незаметны для датчика перемещения. В то же время такой датчик перемещения и его измерительный канал не рассчитаны на контроль очень быстрых изменений. Таким образом, измерение статического нагружения выполняется на временных масштабах в секунды и десятки секунд, циклические колебания в материале происходят на временных масштабах в миллисекунды, а динамическое действие электрического импульса на материал проводника характеризуется процессами с длительностью в единицы и десятки микросекунд. Эта особенность контроля динамики происходящих процессов должна быть учтена при проведении измерений. Кроме того, вибрационный отклик может быть представлен как в единицах перемещения, так и в единицах ускорения (виброперегрузки). Такие представления связаны между собой операциями двойного интегрирования (дифференцирования), при которых результат преобразования пропорционален квадрату частоты. Характерные времена и частоты процессов, как было отмечено, отличаются на несколько порядков и отклик в виде перемещения будет по форме сильно отличаться от отклика по виброперегрузке. Поэтому для измерения быстрых циклических процессов вибрационного нагружения при проведении экспериментальных исследований использованы дополнительные каналы контроля виброперегрузки с высокочастотными акселерометрами инерционного типа.

Хотя основные динамические силы и ускорения в образцах действуют вдоль его оси и совпадают с направлением растягивающей силы, а также направлением протекания импульсного тока, в экспериментах необходимо контролировать поперечные ускорения, поскольку жесткость образца в поперечном направлении существенно ниже жесткости в продольном направлении и виброакустический отклик в поперечном направлении может превосходить по амплитуде осевые виброперегрузки.

Для контроля динамики изменения тока через образец во время действия электрического импульса использован высокочастотный бесконтактный датчик магнитной индукции на основе эффекта Холла. Хотя тепловое действие одиночных импульсов электрического тока малой длительности не вызывает какого-нибудь нагрева проводника, такой нагрев (в пределах единиц градусов) можно контролировать дополнительным быстродействующим инфракрасным пирометром.

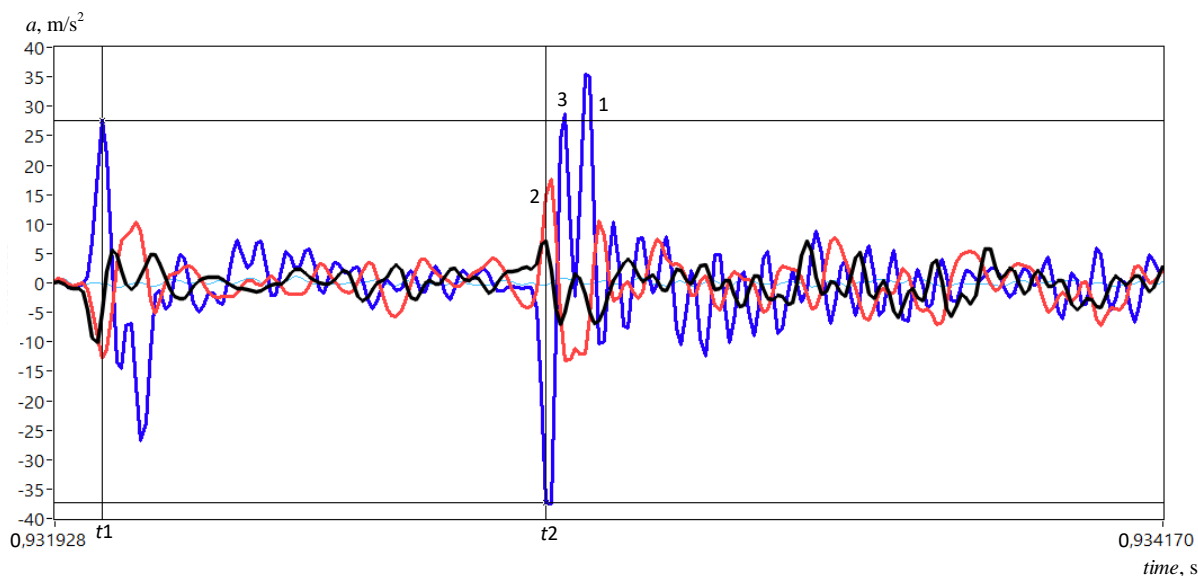
**Результаты исследования.** На рисунке 6 в качестве примера представлены три ортогональные компоненты сигналов ускорения ( $m/s^2$ ) для пространственной вибрации испытываемой стальной пластины (эксперимент S\_072) с периодом колебаний 53,7 мкс и частотой 18,62 кГц.



Три ортогональные компоненты ускорения для пространственной вибрации: продольная (1); поперечная вдоль плоскости образца (2); поперечная перпендикулярно плоскости образца (3).  
Образец из стали толщиной 0,5 мм

Рисунок 6. – Вибрационный отклик на действие одиночного электрического импульса

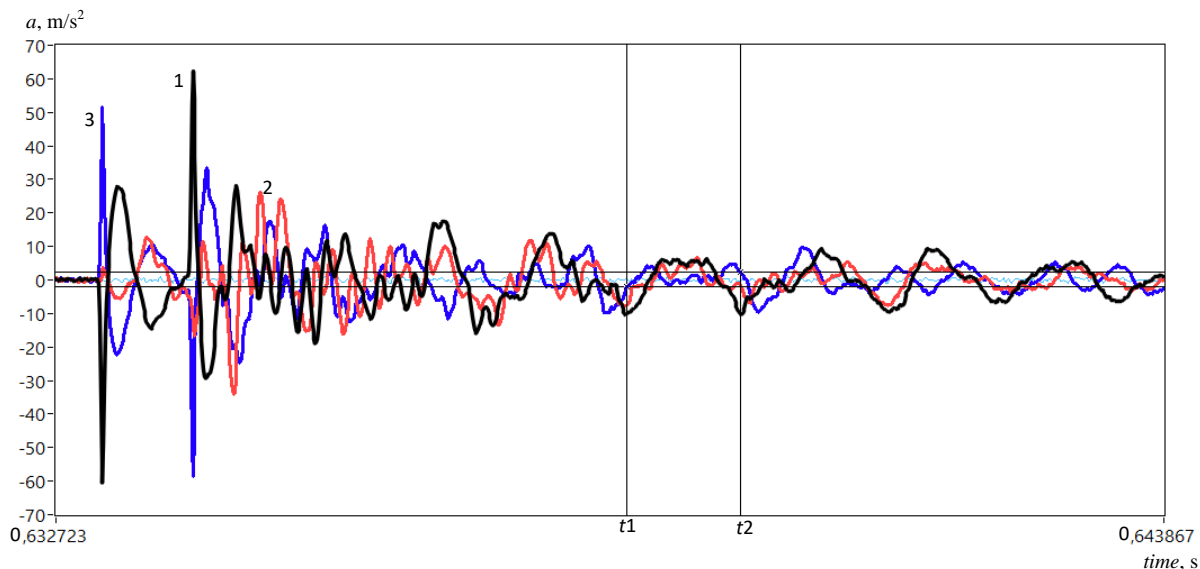
На рисунке 7 показан вибрационный отклик для образца из стали диаметром 3 мм (эксперимент S3\_048). Амплитуда ускорения для такого образца существенно более низкая, что объясняется другой геометрией и отсутствием магнитных свойств у стали этой марки. Другие особенности данного вибрационного отклика – хорошо выраженные ударные процессы для переднего и заднего фронтов, имеющие противоположные знаки. Длительность импульса 898 мкс. Период затухающих колебаний после окончания импульса 103 мкс (частота 9,7 КГц).



Три ортогональные компоненты ускорения для пространственной вибрации: продольная (1); поперечная вдоль плоскости образца (2); поперечная перпендикулярно плоскости образца (3).  
Образец из стали диаметром 3 мм

Рисунок 7. – Вибрационный отклик на действие одиночного электрического импульса

На рисунке 8 приведен вибрационный отклик для образца из меди Cu3a773 диаметром 3 мм. Период колебаний 1142 мкс (частота 876 Гц).

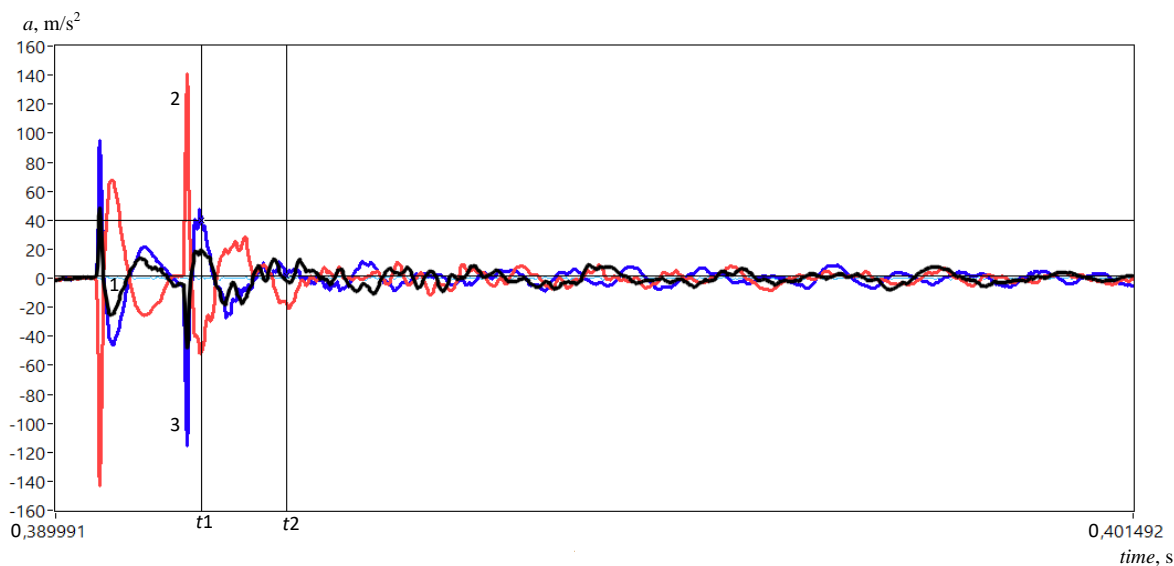


Три ортогональные компоненты ускорения для пространственной вибрации: продольная (1); поперечная вдоль плоскости образца (2); поперечная перпендикулярно плоскости образца (3).  
Образец из меди шириной 3 мм

Рисунок 8. – Вибрационный отклик на действие одиночного электрического импульса

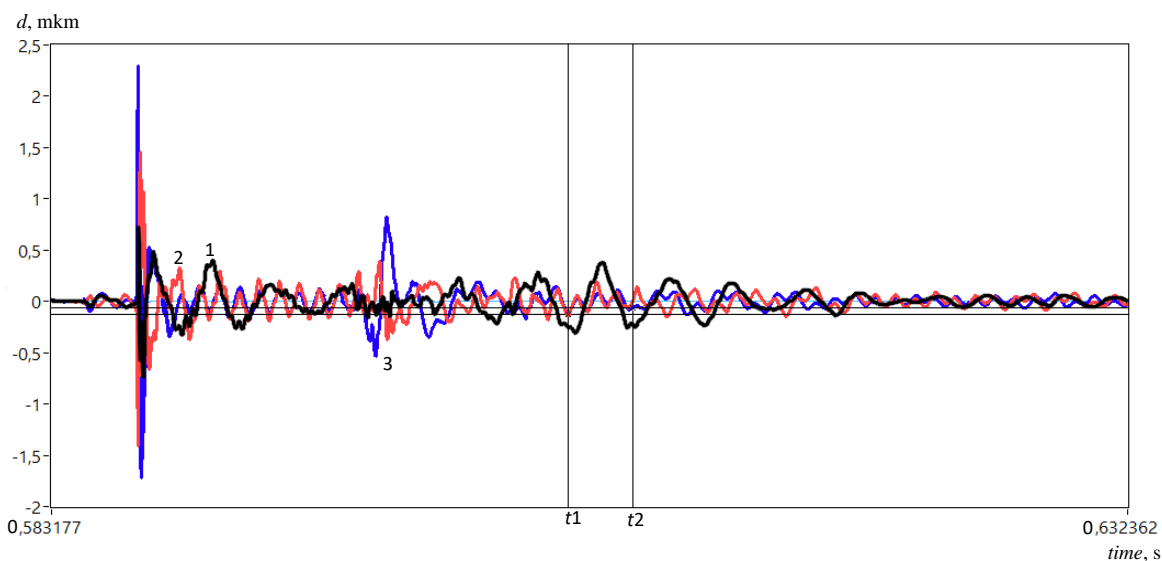
Кроме рассмотренных металлов, аналогичные результаты получены для образцов из латуни. На рисунке 9 показаны данные эксперимента Lat3a782: период 998 мкс (частота 1,002 Гц).

Для ускорений, представленных на рисунке 6, можно получить двойным интегрированием соответствующие сигналы динамического перемещения. Такие перемещения представлены на рисунке 10. Доминирующими для них являются пиковые ударные перемещения в моменты начала и окончания электрического импульса, а доминирующая частота колебаний после окончания импульса равна 3387 Гц. Форма сигналов виброперемещения имеет значительные отличия от формы сигналов вибрационного ускорения.



Три ортогональные компоненты ускорения для пространственной вибрации: продольная (1); поперечная вдоль плоскости образца (2); поперечная перпендикулярно плоскости образца (3).  
Образец из латуни шириной 3 мм

Рисунок 9. – Вибрационный отклик на действие одиночного электрического импульса



Доминирующее значение периода колебаний в продольном направлении 338 Гц (период 2960 мкс)

Рисунок 10. – Вибрационные перемещения для эксперимента S\_072

Приведенные примеры показывают, что в исследуемых образцах из стали, меди и латуни вибрационный отклик в виде перемещения и ускорения может иметь различную форму, а амплитуды могут при этом различаться на несколько порядков. Также существенно, что для колебательных процессов характерен большой разброс значений по частотам колебаний в виде волн после окончания импульса. Кроме того, доминирующим может быть как отклик в виде ударных процессов, связанных с моментами начала переднего и заднего фронтов электрического импульса, так и колебания в материале проводника, затухающие после окончания действия электрического импульса. Такие колебания можно рассматривать как результат интерференции колебаний, возбуждаемых ударными процессами на переднем и заднем фронтах. Получение максимального виброакустического отклика, соответствующего максимальному эффекту акустического смягчения в материале, требует выбора параметров воздействия для электрического импульса, изменяемого в очень широких пределах. Выбор таких параметров для оптимизации технологического процесса обработки металлов давлением с применением электропластического эффекта требует в этих условиях их адаптации на основе измерительной информации, получаемой путем измерения низкочастотной вибропространственной вибрации, которую преобразуют в высокочастотные пространственные колебания либо оценивают как виброперегрузку или ускорение.

**Заключение.** Электроимпульсное воздействие на металлические заготовки при обработке металлов давлением позволяет при минимальных затратах дополнительного оборудования и энергии получить возможность управления технологическим процессом с применением электропластического эффекта. При этом можно управлять амплитудными и частотными свойствами виброакустического отклика на действие электрического импульса. Воздействие электрического импульса на металл аналогично процессам вибрационного и акустического смягчения, которые изменяют структуру металла и улучшают его пластические свойства, что приводит к релаксации остаточных механических напряжений в металлах и сплавах с моно- и поликристаллической, аморфной, композитной и порошковой структурами.

Для получения максимального вибрационного воздействия на обрабатываемый материал электроимпульсное воздействие должно обеспечивать режимы, близкие к образованию механических резонансов. Получение таких режимов на практике затруднено изменением геометрии заготовки при обработке, а также значительным влиянием крепления заготовки и присоединенными массами инструмента, привода и т. п. Максимальное амплитудное воздействие достигается адаптивным изменением параметров электрических импульсов по длительности и периоду при помощи датчика виброперегрузок, установленного вблизи области деформирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Progress on the Effect and Mechanism of Ultrasonic Impact Treatment on Additive Manufactured Metal Fabrications / L. Sun, L. Huang, P. Wu et al. // *Crystals*. – 2023. – Vol. 13, iss. 7. – 995. – DOI: [10.3390/cryst13070995](https://doi.org/10.3390/cryst13070995).
2. Effect of Ultrasonic Vibration on Tensile Mechanical Properties of Mg-Zn-Y Alloy / W. Yang, Z. Xu, F. Xiong et al. // *Crystals*. – 2024. – Vol. 14, iss. 1. – P. 39-1–39-21. – DOI: [10.3390/cryst14010039](https://doi.org/10.3390/cryst14010039).
3. Givi M., Ghasemi A. H., Abbasi M. The effect of friction stir vibration processing on microstructure and mechanical properties of Al5052/SiC surface nano composite // *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*. – 2019. – Vol. 6, iss. 1. – P. 1–11.
4. Sutton A. P., Todorov T. N. Theory of electroplasticity based on electromagnetic induction // *Physical review materials*. – 2021. – Vol. 5, iss. 11. – P. 113605-1–113605-19. – DOI: [10.1103/PhysRevMaterials.5.113605](https://doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.5.113605).
5. The Effect of Direct Electric Current on the Plastic Behavior of AA7075 Aluminum Alloy in Different States of Hardening / Dobras, D., Bruschi, S., Simonetto, E. et al. // *Materials*. – 2021. – Vol. 14, iss. 1. – P. 73-1–73-13. – DOI: [10.3390/ma14010073](https://doi.org/10.3390/ma14010073).
6. Bathias C., Paris P. C. Gigacycle Fatigue in Mechanical Practice. – 1<sup>st</sup> ed. – CRC Press, 2004. – 328 p. – DOI: [10.1201/9780203020609](https://doi.org/10.1201/9780203020609).
7. Белецкий Е. Н. Поврежденность конструкционной стали в условиях смешанных мод нагружения после предварительного циклического нагружения // *Физико-химия и технология неорганических материалов: сб. трудов XIX Рос. ежегод. конф. мол. науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), 18–21 окт. 2022 г., Москва*. – М.: Буки Веди, 2022. – С. 75–77.
8. Ленк А., Рениц Ю. Механические испытания приборов и аппаратов. – М.: Мир, 1976. – 276 с.
9. Морозенко В. Н., Кузнецов Е. В. Резонансный вибропластический эффект // *Металлы*. – 2000. – № 3. – С. 104–107.
10. Мисоченко А. А., Столяров В. В. Применение импульсного тока в процессах деформационной обработки материалов // *Машины, технологии и материалы для современного машиностроения: сб. тез. докл. конф., посвященной 85-летию Ин-та машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, 23 нояб. 2023 г., Москва; под ред. акад. Р. Ф. Ганиева*. – М.: ИМАШ РАН, 2023. – С. 138.
11. Модель прохождения ультразвука в среде с усталостными дефектами / В. Д. Сарычев, С. В. Коновалов, В. Е. Громов и др. // *Дефекты структуры и прочность кристаллов: Всерос. конф., 4–7 июня 2002 г., Черногловка*. – Черногловка, 2002. – С. 27.
12. Скворцов О. Б., Сташенко В. И., Троицкий О. А. Электропластический эффект и взаимодействие электрического импульса с проводником // *Письма о материалах*. – 2021. – Т. 11, № 4(44). – С. 473–478. – DOI: [10.22226/2410-3535-2021-4-473-478](https://doi.org/10.22226/2410-3535-2021-4-473-478).
13. Савенко В. С., Троицкий О. А. Физические и технологические основы электропластической деформации металлов: монография. – Мозырь: МГПУ им. И. П. Шамякина, 2016. – 208 с.

#### REFERENCES

1. Sun, L., Huang, L., Wu, P., Huang, R., Fang, N., Xu, F., & Xu, K. (2023). Progress on the Effect and Mechanism of Ultrasonic Impact Treatment on Additive Manufactured Metal Fabrications. *Crystals*, 13(7), 995. DOI: [10.3390/cryst13070995](https://doi.org/10.3390/cryst13070995).
2. Yang, W., Xu, Z., Xiong, F., Yang, H., Guo, X., & San, H. (2024). Effect of Ultrasonic Vibration on Tensile Mechanical Properties of Mg-Zn-Y Alloy. *Crystals*, 14(1), 39. DOI: [10.3390/cryst14010039](https://doi.org/10.3390/cryst14010039).
3. Givi, M., Ghasemi, A. H., & Abbasi, M. (2019). The effect of friction stir vibration processing on microstructure and mechanical properties of Al5052/SiC surface nano composite. *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*, 6(1), 1–11. (In Persian, abstr. in Engl.)
4. Sutton, A. P., & Todorov, T. N. (2021). Theory of electroplasticity based on electromagnetic induction. *Physical review materials*, 5(11), 113605. DOI: [10.1103/PhysRevMaterials.5.113605](https://doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.5.113605).



5. Dobras, D., Bruschi, S., Simonetto, E., Rutkowska-Gorczyca, M., & Ghiotti, A. (2021). The Effect of Direct Electric Current on the Plastic Behavior of AA7075 Aluminum Alloy in Different States of Hardening. *Materials*, 14(1), 73. DOI: [10.3390/ma14010073](https://doi.org/10.3390/ma14010073).
6. Bathias, C., & Paris, P. C. (2004). *Gigacycle Fatigue in Mechanical Practice* (1<sup>st</sup> ed.). CRC Press. DOI: [10.1201/9780203020609](https://doi.org/10.1201/9780203020609).
7. Beletskii, E. N. (2022). Povrezhdennost' konstruktsionnoi stali v usloviyakh smeshannykh mod nagruzheniya posle predvaritel'nogo tsiklicheskogo nagruzheniya. Fiziko-khimiya i tekhnologiya neorganicheskikh materialov. In *XIX Rossiyskaya ezhegodnaya konferentsiya molodykh nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunar. uchastiem)* (75–77). Moscow: Buki Vedi. (In Russ.).
8. Lenk, A., & Renitts, Yu. (1976). *Mekhanicheskie ispytaniya priborov i apparatov*. Moscow: Mir. (In Russ.).
9. Morozenko, V. N., & Kuznetsov, E. V. (2000). Rezonansnyi vibroplasticheskiy effekt. *Metally*, (3), 104–107. (In Russ.).
10. Misochenko, A. A., & Stolyarov, V. V. (2023). Primenenie impul'snogo toka v protsessakh deformatsionnoi obrabotki materialov. Mashiny, tekhnologii i materialy dlya sovremennogo mashinostroeniya. In R. F. Ganiev (Eds.), *Sbornik tezisev dokladov konferentsii, posvyashchennoi 85-letiyu Instituta mashinovedeniya im. A. A. Blagonravova RAN* (138). Moscow: IMASH RAN. (In Russ.).
11. Sarychev, V. D., Kononov, S. V., Gromov, V. E., & Efimova, I. E. (2002). Model' prokhozhdeniya ul'trazvuka v srede s ustalostnymi defektami. In *Defekty struktury i prochnost' kristallov* (27). Chernogolovka. (In Russ.).
12. Skvortsov, O. B., Stashenko, V. I., & Troitskii, O. A. (2021). Elektroplasticheskiy effekt i vzaimodeistvie elektricheskogo impul'sa s provodnikom [Electroplastic effect and interaction of an electrical impulse with a conductor]. *Pis'ma o materialakh [Letters on Materials]*, 11(4), 473–478. DOI: [10.22226/2410-3535-2021-4-473-478](https://doi.org/10.22226/2410-3535-2021-4-473-478).
13. Savenko, V. S., & Troitskii, O. A. (2016). *Fizicheskie i tekhnologicheskie osnovy elektroplasticheskoi deformatsii metallov*. Mozyr': MGPU im. I. P. Shamyakina. (In Russ.).

Получена 22.11.2024

## SHOCK-WAVE PROCESSES IN METALS DURING MECHANICAL TREATMENT USING THE ELECTROPLASTIC EFFECT

**O. SKVORTSOV, V. STASHENKO**

*(Mechanical Engineering Research Institute of the RAS, Moscow, Russia)*

**V. SAVENKO**

*(Mozyr State Pedagogical University named after I. P. Shamyakin)*

*When processing metals by pressure, various types of additional physical influence are used in the form of heating, mechanical shock, vibration, acoustic ultrasonic irradiation, and electric pulse influence. Such impacts, in particular, are associated with manifestations of the oscillatory motion of material particles, which can be considered as a trigger for the movement of dislocations and structural inhomogeneities of the material. Such inhomogeneities can be in conditions of a residual mechanical stress state, which, under oscillatory influence, leads to their movement and transition to a more stable state. Such processes are accompanied by improved mechanical properties and deformation processes with increased plasticity. The work examines some features of the manifestation of such oscillatory processes that arise under additional external influences, which can be used in the development of metal forming technologies in order to reduce resistance to deformation and improve the structure of materials.*

**Keywords:** *electroplastic effect, acoustic softening, dislocations, impact, vibration, vibration overload, deformation.*