

DOI 10.24412/2077-8481-2024-4-74-84

УДК 537.39+539.214+539.219.2+620.178.6+621.77

О. Б. СКВОРЦОВ¹, канд. техн. наук

В. И. СТАШЕНКО¹, канд. физ.-мат. наук

В. С. САВЕНКО², д-р техн. наук, проф.

¹Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН (Москва, Россия)

²Мозырский государственный педагогический университет имени И. П. Шамякина (Мозырь, Беларусь)

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ, ИСПОЛЬЗУЕМОМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Аннотация

Действие электрических импульсов на различные металлы и сплавы сопровождается проявлением электропластического эффекта и виброакустическим откликом. Рассмотрены общие закономерности формирования кинетических процессов в материале проводников из различных металлов и сплавов, получаемые при экспериментальных исследованиях упрругой и пластической деформации.

Ключевые слова:

металл, электрический импульс, удар, вибрация, электропластический эффект, деформация.

Для цитирования:

Скворцов, О. Б. Кинетические процессы в металлах и сплавах при электроимпульсном воздействии, используемом для получения электропластического эффекта / О. Б. Скворцов, В. И. Сташенко, В. С. Савенко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 4 (85). – С. 74–84.

Введение

Переход в область повышенной пластичности позволяет создавать высокотехнологические процессы обработки металлов давлением. Действие электрических и магнитных полей на процессы интенсификации пластической деформации и улучшенные их физико-механические свойства с успехом используются в различных технологиях обработки металлов и сплавов давлением [1]. Ряд авторов изучает различные аспекты реализации деформации при электропластическом эффекте (ЭПЭ) [2, 3]. Однако консенсус, касающийся механизмов, управляющих ЭПЭ, пока не достигнут [4]. Физика процессов действия электрических импульсов на металлы, нагруженные выше предела текучести, вызывает дискуссии в публикуемых материалах исследований.

Электропластический эффект в

металлах возникает в результате дополнительного воздействия на материал короткими (сотни микросекунд) электрическими импульсами в условиях статического и механического нагружения материала. Результатом ЭПЭ является заметное снижение сопротивляемости материала пластическому деформированию. Для реализации ЭПЭ и создания не тепловой активации деформации металла необходимо применять импульсы тока плотностью порядка $10^3 \dots 10^5$ А/мм² и длительностью примерно 10^{-4} с.

В течение длительного времени считалось, что основным механизмом ЭПЭ является кинетическое действие электронов проводимости, создающих эффект «электронного ветра». «Электронный ветер» тока достаточной силы может оказывать влияние на процесс перемещения дислокаций, размножения, а также на формирование дислокационной структуры в деформируемом

металле. Существуют противоречия между направленным характером сил, создаваемых «электронным ветром», и ненаправленным движением дислокаций. Прохождение электрического тока через проводник сопровождается выделением тепла. При ЭПЭ выделение такого тепла крайне мало и не вызывает тепловой деформации материала заметной величины. Тепловые деформации при этом не зависят от направления тока через проводник, но экспериментальные данные показывают, что наблюдаемые динамические деформации прямо связаны с направлением электрического воздействия. Термофлуктуационный вклад в ЭПЭ от «электронного ветра» оказался на четыре порядка меньше наблюдаемого. Эффекты силового действия тока на металл сначала изучались теоретически [4], а затем экспериментально на двойных образцах [5]. Было установлено силовое действие импульсов тока на деформацию кристаллов цинка, находящихся в жидком азоте. Полученные результаты авторы [5–8] объясняли тем, что на деформируемый образец с током силовое действие оказывает пинч-эффект. Собственное магнитное поле тока, охватывающее проводник, действует на движущиеся в продольном направлении электроны, создающие ток. За счет сил Лоренца они смещаются к оси проводника, вызывая сжатие кристаллической решетки металла с частотой следования импульсов тока. Пинч-эффект стимулирует пластическую радиальную деформацию сжатия металла через решеточную подсистему металла. Такое сжатие не зависит от направления величины тока и пропорционально квадрату его амплитуды, что не подтверждается результатами измерений при экспериментах. Экспериментально установлено, что электрические импульсы действуют подобно ультразвуку [2, 8]. В соответствии с теорией пинч-эффект квадратично зависит от амплитуды тока (как и джоулевый эффект теплового действия тока) и радиуса образца [7], что нахо-

дится в противоречии с полярностью ЭПЭ и его линейной зависимостью от амплитуды тока согласно результатам экспериментов [2, 9].

ЭПЭ также влияет на структуру и свойства как моно-, так и поликристаллических, аморфных, нанокристаллических, порошковых и композитных металлов и сплавов. Под действием импульсов тока плотностью порядка 10^3 А/мм² и длительностью 10^{-4} с при растяжении и сжатии в жидком азоте происходит резкое снижение сопротивления кристаллов цинка деформированию и синхронно на поверхности кристаллов появляются свежие полосы скольжения [2]. В [10] приведены результаты экспериментального исследования кинетики развития двойникования в кристаллах висмута при воздействии импульсами тока. Показано, что с ростом плотности тока в импульсе стимулируются процессы генерирования двойникообразующих дислокаций и их трансляция вдоль готовой поверхности раздела, что приводит к дополнительной пластификации кристалла.

Цинк, висмут, сурьма, альфа-железо и другие, деформируясь скольжением и двойникованием, меняют структуру с перестройкой кристаллической решетки в двойниковое положение. Двойникование начинается у концентраторов напряжений на границах скопления частичных дислокаций и развивается с большими скоростями, что приводит к разрушению материала. В условиях электропластичности наблюдается перераспределение деформации двойникованием в окрестностях концентраторов механических напряжений. Развитие двойникования у концентраторов напряжений при возбуждении импульсами тока не только формирует материал в условиях деформации, но и уменьшает избыточную энергию из области концентратора, разряжая дислокационные скопления, а локальный наклеп материала, примыкающего к

концентраторам, снижает уровень напряжений и уменьшает хрупкость материала [11]. В [12] изучалось влияние импульсного тока плотностью $10^4 \dots 10^5$ А/мм² и длительностью 10^{-4} с в условиях многопереходной прокатки магния. Из полученных результатов следует, что размеры зерен и, как следствие, структура материала становится более мелкозернистой, что улучшает служебные характеристики деформируемого магния. В [13] при воздействии импульсов электрического тока на образец из стали 12Х18Н10Т, нагруженный выше предела текучести статической силой продольной относительно оси образца, происходит перестройка ОЦК-структуры с изменением α -фазы, мартенсита и аустенита деформации. Улучшение микроструктуры поверхностного слоя нержавеющей стали в условиях электропластичности достигается созданием мелкозернистого строения с частичной аморфизацией за счет увеличения изотропности кристаллической решетки с изменением прочности. В [14] изучалось влияние электростимулированной деформации на структуру стали 08Х18Н10Т при усталостном малоцикловом нагружении. Установлено, что пластифицирующий эффект имеет многофакторный характер, состоящий из перемещения дислокаций с захваченными ими атомами углерода, а также самих атомов углерода, и приводит к перераспределению углерода на макроуровне и изменяет природу материала на субграницах и границах двойников дислокации, осаждающиеся на них. Эти процессы приводят к резкому уменьшению плотности возможных мест зарождения микротрещин и значительной пластификации стали в условиях усталостного нагружения. Полученные результаты подтверждают концепцию электростимулированной деформации металлов [15]. В [16] проводилось волочение алюми-

ниевой проволоки с ЭПЭ. Установлено, что применение электропластического волочения дает более равновесную структуру, чем обычное волочение. При деформации с ЭПЭ при полярности, когда плюс источника тока подключен до зоны деформации, происходит более существенное измельчение структуры. Уменьшается удельное сопротивление и упрощается процесс изготовления алюминиевой проволоки с улучшенными служебными свойствами, за исключением из технологического цикла операций энергозатратного отжига. Эксперименты, проведенные на алюминиевых и титановых сплавах, слоистых материалах, волокнистых композитах системы Br + Nb и порошковых материалах типа МЧ-1, показали, что предельная пластическая деформация может увеличиваться примерно на порядок, а установленные эффекты нельзя объяснить только традиционным интегральным разогревом материала за счет выделения Джоулева тепла [17]. В [18] проведен анализ действия электропластического эффекта на титановые сплавы. ЭПЭ при прокатке приводит к повышению деформируемости, а также к снижению усилий деформирования, измельчению микроструктуры, а при растяжении он создает скачки напряжения, направление и величина которых зависят от количества фаз, размера зерен, вида и режима тока. В [19] изучалось действие ЭПЭ и ультразвуковой (УЗ) вибрации на образцы из стали при их испытании на растяжение. Действие УЗ-вибрации, как и ЭПЭ, приводит к снижению сопротивления деформации и активации дислокаций, а также фазовым превращениям в материале.

Таким образом, ЭПЭ в значительной степени влияет на структуру и физико-механические свойства многих материалов, что имеет важное практическое значение при решении технологических задач. Однако эксперименталь-

ных данных недостаточно для анализа кинетики пластической деформации металлов при воздействии электрических импульсов на металлы.

Работа посвящена изучению динамики быстропротекающих механических процессов, возникающих в металле, на воздействие импульса электрического тока.

Методика измерений

Одним из наиболее распространенных методов исследований электропластического эффекта является испытание на тестовых машинах статического нагружения [20]. Метод позволяет оценить влияние ЭПЭ на процесс деформирования и разрушения материалов. Недостатком методики является неполная информативность получаемых данных. Она не позволяет получать данные по динамике быстропротекающих механических и электрических процессов в металлических образцах в момент действия электрического импульса [21].

Предлагаемая методика обеспечивает синхронное измерение токов, магнитных полей, динамических сил и кинематических характеристик пространственной вибрации в образцах непосредственно во время действия электрического импульса. Величина электрического тока определялась измерением магнитной индукции $B(t)$ с помощью бесконтактного датчика Холла. Динамику быстропротекающих механических процессов изучали без статического растягивающего усилия, что позволило уменьшить количество влияющих факторов и упростить анализ получаемых результатов. С помощью малогабаритного высокочастотного многокомпонентного акселерометра с малым временем отклика типа АП20 определяли механическое ускорение поверхностных слоев образца $a(t)$ и оценивали

быстропротекающий механический отклик металла на действие электрических импульсов. Для изучения отклика на действие электрических импульсов через образец пропускались как одиночные импульсы, так и пакеты импульсов одной полярности, а также импульсы чередующейся полярности, с целью контроля полярного характера воздействия. Для определения осевых усилий $F(t)$ был использован датчик динамической силы В&К 8200 (рис. 1).

Результаты и их обсуждение

Сигналы от датчиков вибрации (ускорения) a и магнитной индукции B импульса тока при его прохождении по образцу из титана представлены на рис. 2.

Экспериментально установлено, что при внешнем электрическом импульсном воздействии происходит характерный ударный механический отклик металлов, сопровождающийся звуком. Вибрационные скачки возникают в моменты начала переднего и заднего фронтов импульса, переходя в затухающие колебания. Вибрации не связаны с плавным нарастанием тока через образец и с постоянным уровнем тока при его действии.

Согласно полученным данным, амплитуда виброперегрузок на фронтах электрического импульса изменяется скачкообразно. Скачки происходят симметрично и имеют противоположные знаки. Направление отклика зависит от направления внешнего электрического импульса. Размах виброперегрузки слабо зависит от длительности электрического импульса.

Основными характеристиками отклика на действие электрического импульса на металл при возникающих вибрациях являются скорость колебаний в единицу времени (вибрационное ускорение a_v) и ее безразмерная величина –

виброперегрузка (измеряемая в единицах ускорения свободного падения a_0/g). На рис. 3 представлены сигналы виброперегрузок, вызванных действием электрического импульса амплитудой 5 В и длительностью 1000 мкс для титанового образца диаметром 3 мм длиной 150 мм.

Датчик магнитного поля расположен на расстоянии 5 мм от него. B_c (3) – кольцевая магнитная индукция в виде кругового магнитного поля вокруг проводника вблизи его поверхности. B_r (4) – радиальная составляющая индукции магнитного поля в направлении радиуса проводника.

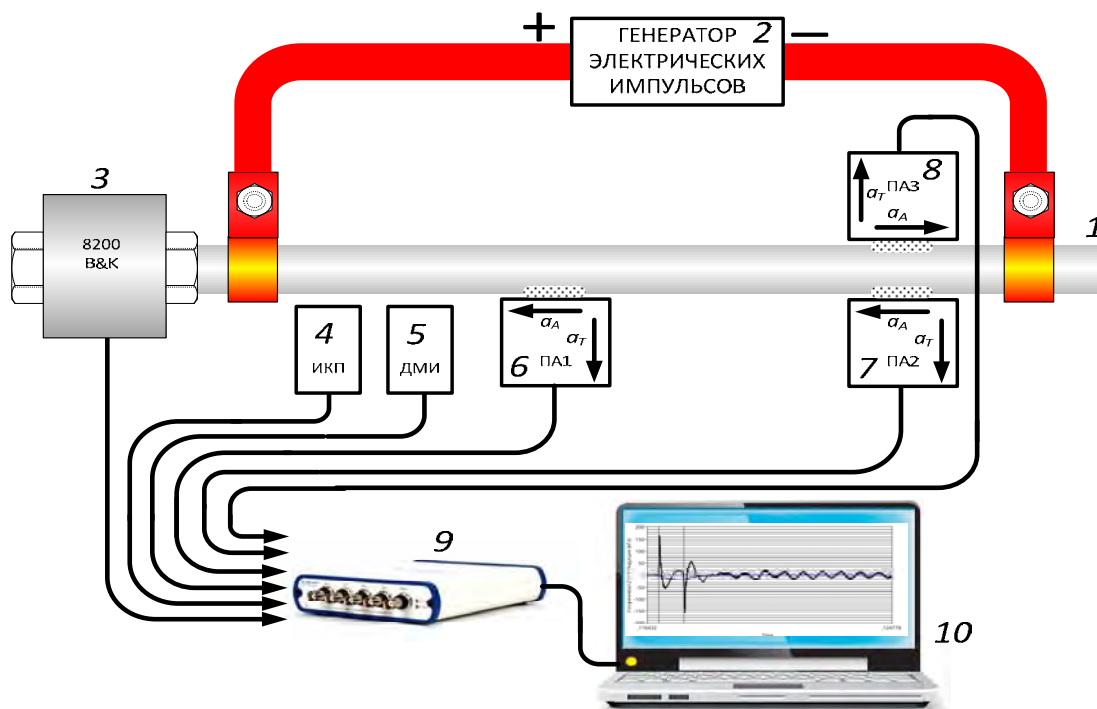


Рис. 1. Установка для исследования виброакустического отклика на действие электрического импульса: 1 – образец металла; 2 – генератор прямоугольных электрических импульсов; 3 – датчик динамической силы; 4 – инфракрасный пирометр; 5 – датчик магнитной индукции; 6–8 – многокомпонентные высокочастотные акселерометры; 9 – модуль сбора данных; 10 – компьютер

Амплитуда формируемых в металле ударных и затухающих волновых колебаний зависит от амплитуды электрического импульса и свойств и геометрии образца, но принципиальной особенностью является возбуждение отклика на механические ударные процессы в начальные моменты фронтов электрического импульса, когда фиксируется максимальное механическое воздействие на материал, которое слабо реагирует на последующие электрические изменения в течение длительности импульса, несмотря на большее значение тока через металл, а следовательно, и усиление таких процессов, как тепло-

вое действие тока, действие «электронного ветра» и действие пинч-эффекта. Амплитудные изменения магнитной индукции, фиксируемые датчиком магнитного поля вблизи поверхности проводника, также зависят от магнитных свойств материала и расстояния от поверхности проводника до датчика магнитного поля и пропорциональны амплитуде электрического воздействия.

На рис. 4 представлены перемещения поверхностных слоев алюминиевого образца диаметром 4 мм при амплитуде напряжения 10 В и длительностью 500 мкс.

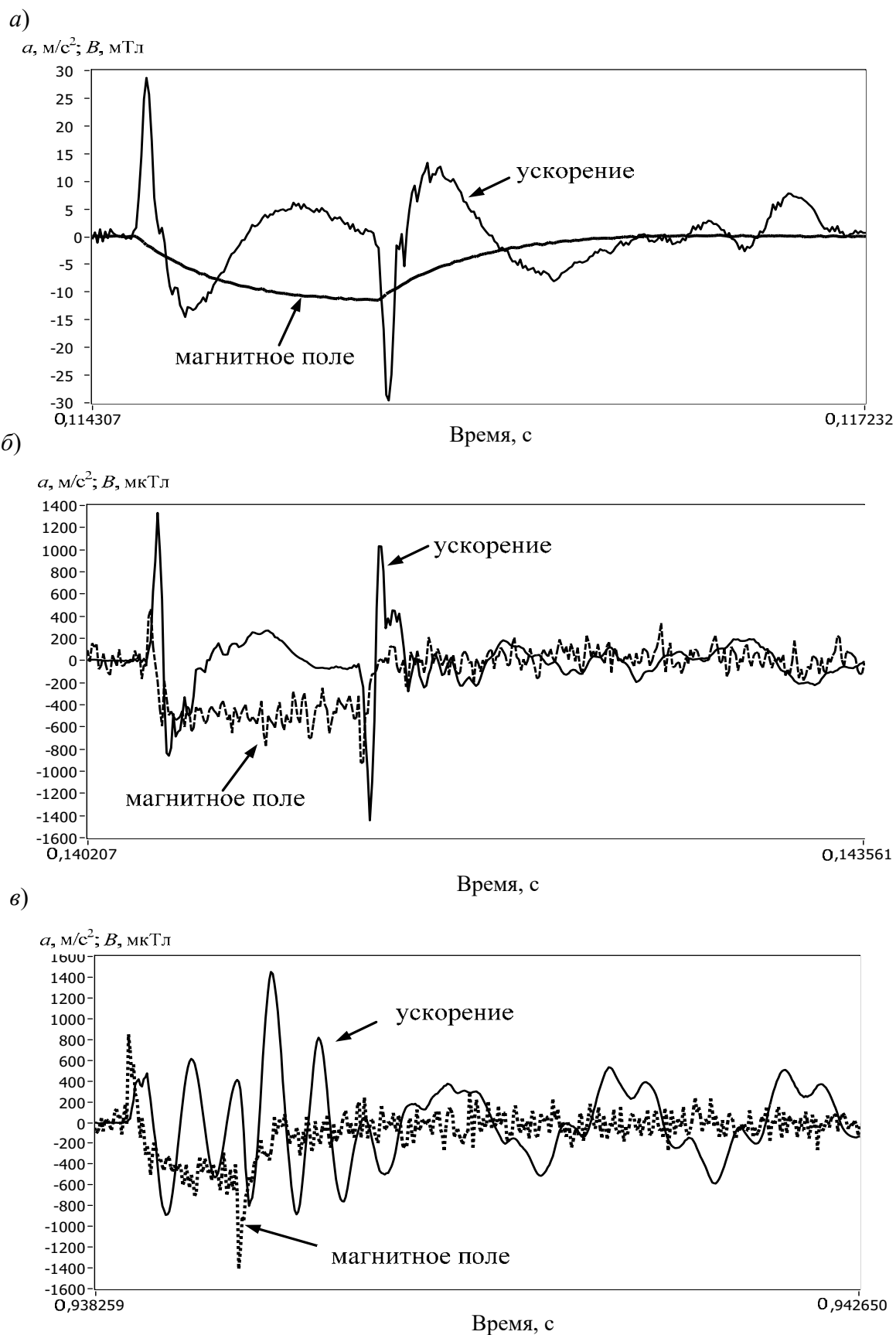


Рис. 2. Временные зависимости сигналов от датчиков вибрации и магнитной индукции для образцов из меди (а), нержавеющей стали (б), титана (в)

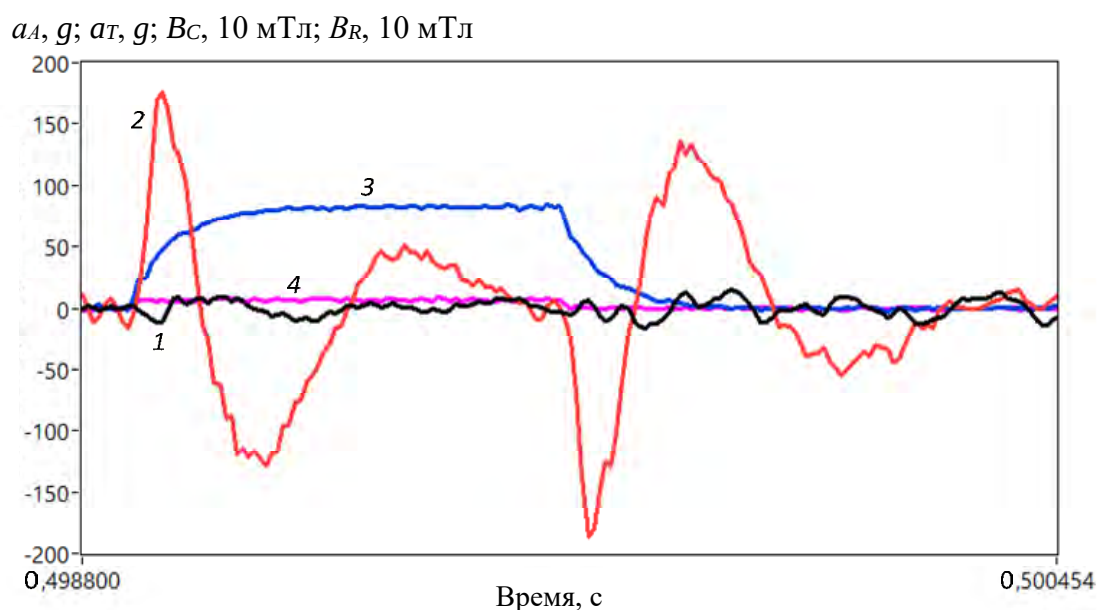


Рис. 3. Сигналы виброперегрузки в осевом (продольном) a_A (1) и в радиальном (поперечном) a_T (2) направлениях

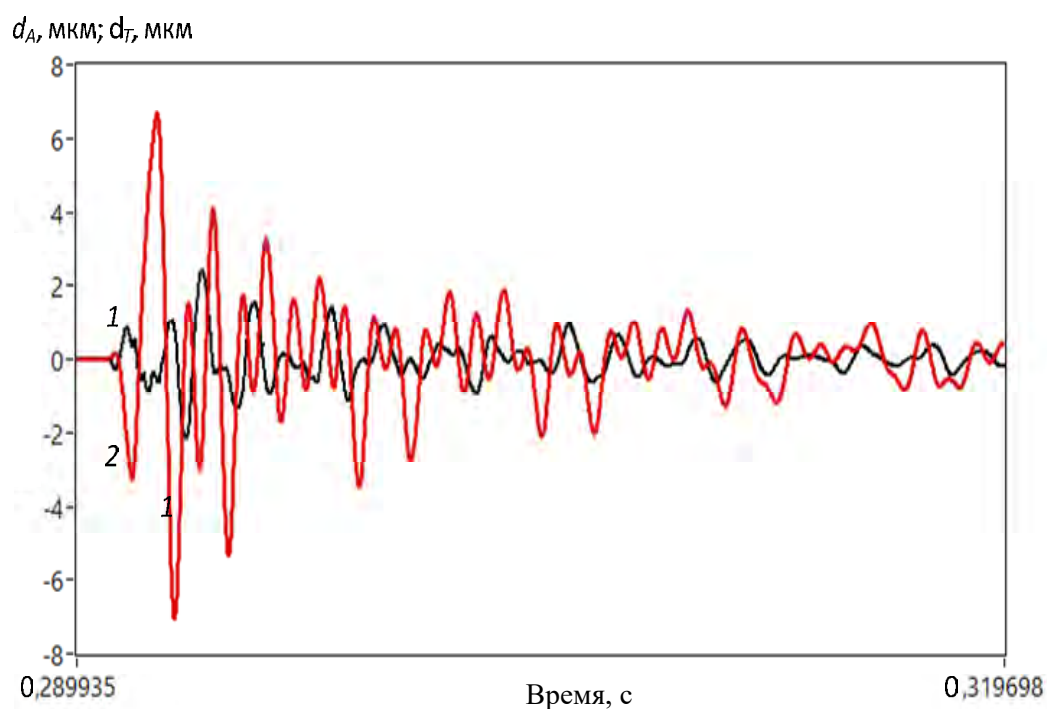


Рис. 4. Продольное (1) и поперечное (2) вибрационное перемещение проводника из алюминия диаметром 4 мм

Важно, что картинка по перемещению поверхностных слоев алюминиевого образца выглядит более наглядно,

чем по ускорению. Кроме того, поперечные колебания больше продольных.

На рис. 5 представлена зависи-

мость между размахом ускорения a для разных материалов и величиной магнитной индукции B (величина плотности тока). Экспериментальные резуль-

таты подтверждают наличие линейной зависимости между ускорением поверхностных слоев и амплитудой тока.

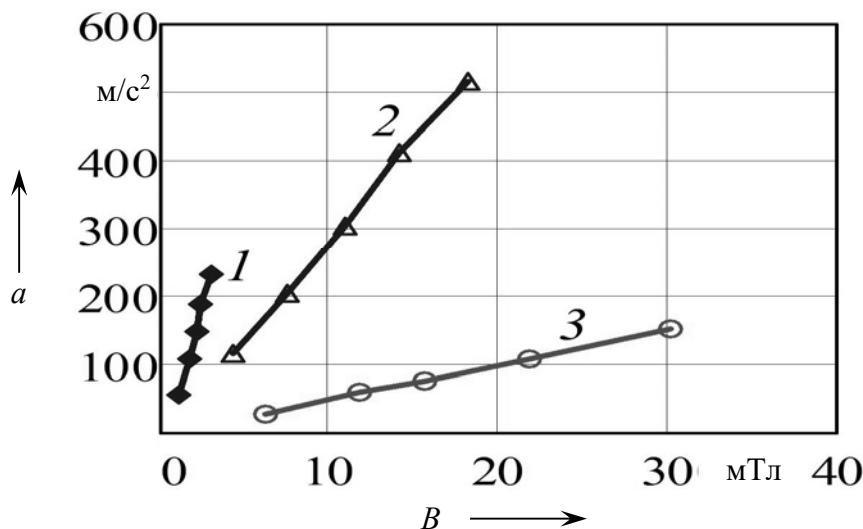


Рис. 5. Зависимость ускорения от магнитной индукции, создаваемой протекающими через образцы диаметром 3 мм длиной 150 мм импульсами электрического тока: 1 – сталь (марки сталь 70); 2 – латунь (Л68); 3 – медь (М1)

Поскольку форма как отклика магнитного поля, так и вибрационных колебаний при исследовании электроимпульсного воздействия существенно не линейна, оценки в виде средних (арифметическое, среднее квадратичное и т. п.) оказываются неудобными при статистической обработке в качестве контролируемых параметров, то использованы оценки по экстремальным параметрам, таким как пиковые, и по размаху. Последние предпочтительнее, поскольку скачкообразные изменения позволяют учесть и зависимость отклика от знака воздействия, что видно, например, для разной полярности отклика на действие переднего и заднего фронтов электрического импульса.

При воздействии пакета электрических импульсов, полярность которых чередуется, изменения в откликах на отдельные импульсы хорошо заметны (рис. 6). Виброакустические отклики на каждый из импульсов и амплитуды ме-

ханических ударных воздействий в начальные моменты фронтов от отдельных импульсов изменяются незначительно. Затухание механических колебаний происходит быстрее по мере нагревания проводника.

Амплитуда как магнитных полей, так и вибрационного отклика, линейно зависит от амплитуды внешнего электрического импульса. Знаки сигналов магнитного поля и вибрационного отклика зависят от знака (направления) внешнего электрического импульса. Можно предположить, что процессы формирования затухающего вибрационного отклика, а также изменения тока и магнитного поля, развиваются параллельно во времени. Их полярности зависят от полярности внешнего электрического импульса. Эти процессы не зависят от тепловых деформаций проводника и деформаций, связанных с влиянием пинч-эффекта. Действие тепловых и пинч-эффектов не зависит от полярности

и пропорционально квадрату величины тока, а их вклад в перемещения в области упругих деформаций является незначительным. Исследования физических

причин формирования вибрационного отклика в материале в настоящее время не учитывают отмеченные особенности происходящих изменений во времени.

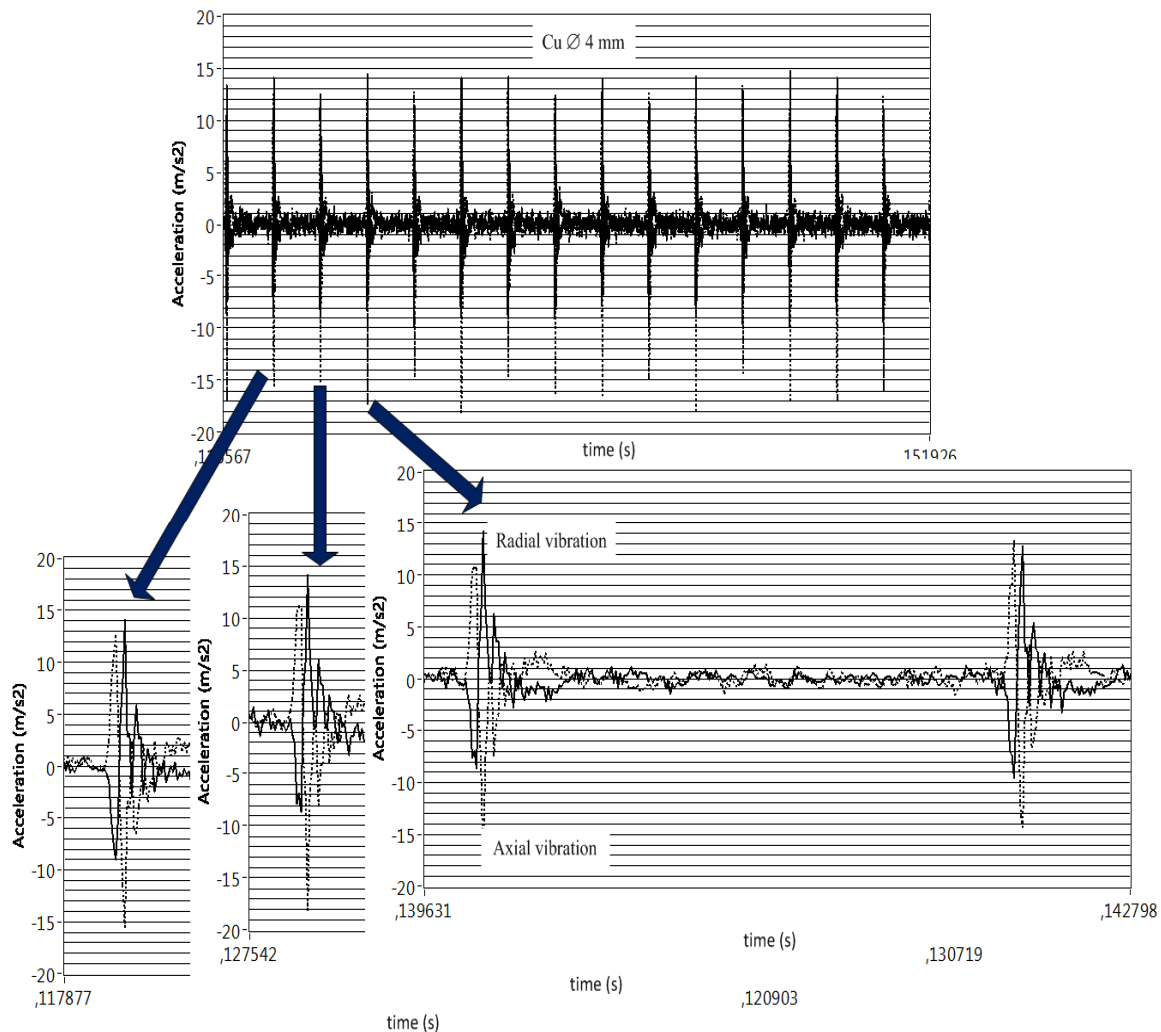


Рис. 6. Вибрационный отклик на действие пакета импульсов одной полярности: медный образец диаметром 1 мм; вибрации с амплитудой до 500...800 g

Внешнее электрическое воздействие электрического импульса на металл во время скин-эффекта приводит к ограничению потока свободных электронов под действием ЭДС самоиндукции и электромагнитная энергия импульса на его фронтах преобразуется в металле в кинетическую энергию материала за счет действия сил Лоренца, вызывая действие радиального механического напряжения сжатия, распределен-

ного по всей боковой поверхности проводника и ограниченной процессом поляризации. Радиальное перемещение свободных электронов при этом за счет тех же сил Лоренца создает осевую динамическую силу, суммируемую по всей длине проводника. Направление такой силы зависит от полярности поступившего ступенчатого изменения электрического поля. Знак такого изменения противоположен для переднего и

заднего фронтов внешнего электрического импульса. В начальные моменты этих фронтов в материале проводника генерируется ударное механическое напряжение. В эти моменты времени ток через проводник еще не успевает сколько-нибудь значительно измениться из-за самоиндукции и скин-эффекта. Последующее изменение тока и магнитного поля не оказывает заметного влияния на изменение величины продольного и поперечного ускорения и связанные с ними продольные и поперечные механические напряжения. Кинетические процессы в материале при этом переходят в затухающие виброакустические колебания.

Выводы

Таким образом, во время изменения тока или магнитного поля, как в случае переднего, так и заднего фронтов, вибрационный отклик имеет вид затухающих колебаний. Направление вибрационного отклика зависит от полярности внешнего электрического им-

пульса и противоположно для отклика на начало переднего и заднего фронтов внешнего электрического импульса. Процессы имеют линейную зависимость амплитудных характеристик вибрационного отклика и амплитуды тока, а также магнитного поля плотности тока, от величины амплитуды электрического импульса. Распространение ударного и затухающего колебательного волновых процессов в материале проводника приводит к активации движения структурных элементов материала проводника и аналогично проявлению ненаправленного эффекта акустического смягчения в материале, снижающего его сопротивление деформации и увеличивающего пластичность. Эти процессы также инициируют движение дефектов и дислокаций в материале. Таким образом, представленные экспериментальные данные подтверждают процессы преобразования электроимпульсного воздействия в кинетические ударно-волновые процессы за счет электродинамических сил.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы / Ю. В. Баранов, О. А. Троицкий, Ю. С. Авраамов, А. Д. Шляпин. – М. : МГИУ, 2001. – 843 с.
2. **Троицкий, О. А.** Фундаментальные и прикладные исследования электропластической деформации металлов / О. А. Троицкий, В. С. Савенко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 375 с.
3. **Троицкий, О. А.** Электропластический эффект в металлах / О. А. Троицкий // Черная металлургия: бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – № 9. – С. 65–76.
4. **Батаронов, И. Л.** Механизмы электропластичности / И. Л. Батаронов // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 10. – С. 93–99.
5. **Троицкий, О. А.** Пластическая деформация металла, вызванная пинч-эффектом / О. А. Троицкий // Известия Академии наук СССР. Серия физическая. – 1977. – № 6. – С. 118–122.
6. **Спицын, В. И.** Моделирование теплового и пинч-эффекта импульсного тока на пластическую деформацию металла / В. И. Спицын, О. А. Троицкий // Доклады Академии наук СССР. – 1975. – № 5. – С. 1070–1073.
7. **Батаронов, И. Л.** Электропластическая деформация металла и динамический пинч-эффект / И. Л. Батаронов, А. М. Рошупкин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1993. – № 8. – С. 57–61.
8. **Савенко, В. С.** Влияние динамического пинч-эффекта на деформацию кристаллов Sb в условиях электропластичности / В. С. Савенко // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 4. Фізіка, матэматыка. – 2015. – № 2. – С. 36–39.
9. Подвижность дислокаций в монокристаллах Zn при действии импульсов тока / Л. Б. Зуев, В. Е. Громов, И. Ф. Курилова [и др.] // Доклады Академии наук СССР. – 1978. – Т. 239, № 1. – С. 84–86.

10. Савенко, В. С. Генерирование и пробег двойниующих дислокаций в условиях электропластичности / В. С. Савенко, А. И. Зеленкевич // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 4. Фізіка, матэматыка. – 2013. – № 1 – С. 44–49.
11. Влияние высокоэнергетических воздействий на модификацию физико-механических характеристик стали / В. С. Савенко, О. А. Троицкий, М. М. Хрущов [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2020. – № 3. – С. 65–75.
12. Савенко, В. С. Гистерезисные явления при локальном контактном деформировании материалов в условиях электропластичности / В. С. Савенко, А. В. Гуненко // Сетевой электронный научный журнал «Вестник ГГУ». – 2017. – № 4. – URL: <http://vestnik-ggu.ru/doc/4saven.pdf> (дата обращения: 20.11.2023).
13. Савенко, В. С. Физические аспекты электропластической деформации металлов / В. С. Савенко, О. А. Троицкий, А. В. Гуненко // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 4. Фізіка, матэматыка. – 2018. – № 2. – С. 40–48.
14. Коваленко, В. В. Структурно-фазовые превращения в нержавеющей стали при электростимулированной малоцикловой усталости: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.07 / В. В. Коваленко. – Новокузнецк, 2001. – 34 с.
15. Электростимулированная малоцикловая усталость / О. В. Соснин, В. Е. Громов, Э. В. Козлов [и др.]. – М. : Недра Коммюникейшн, 2000. – 208 с.
16. Савенко, В. С. Модификация микроструктуры алюминия после электропластической деформации / В. С. Савенко, А. П. Демиденко // Вестник ГГУ. – 2010. – Т. 15, вып. 3. – С. 1244–1246.
17. Беклемишев, Н. Н. О законе деформирования проводящих материалов при действии импульсного электрического тока / Н. Н. Беклемишев, Е. Н. Веденяпин, Г. С. Шапиро // Механика твердого тела. – 1983. – № 6. – С. 151–155.
18. Столяров, В. В. Электропластический эффект в металлах и сплавах / В. В. Столяров // Актуальные проблемы прочности: в 2 т. / А. В. Алифанов [и др.]. – Витебск: ВГТУ, 2018. – Т. 2. – С. 25–45.
19. Chun-Yuan Chen. Effects of ultrasonic vibration on SUS304 stainless steel subjected to uniaxial plastic deformation / Chun-Yuan Chen, Valentino Anok Melo Cristino, Chinghua Hung // Journal of the Chinese Institute of Engineers. – 2018. – P. 1–7.
20. Stolyarov, V. A Pulsed Current Application to the Deformation Processing of Materials / V. Stolyarov, A. Misochenko // Materials. – 2023. – Vol. 16 (18). – P. 6270. – URL: <https://doi.org/10.3390/ma16186270> (date of access: 20.11.2023).
21. Skvortsov, O. B. Electroplastic effect and interaction of an electrical impulse with a conductor / O. B. Skvortsov, V. I. Stashenko, O. A. Troitsky // Lett. Mater. – 2021. – Vol. 11 (4). – P. 473–478. – URL: <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2021-4-473-478> (date of access: 20.11.2023).

Статья сдана в редакцию 19 июня 2024 года

Контакты:

oleg.b.skvorcov@gmail.com (Скворцов Олег Борисович);
vis20-11@rambler.ru (Сташенко Владимир Иванович);
savenko.vladimir195@gmail.com (Савенко Владимир Семенович).

O. B. SKVORTSOV, V. I. STASHENKO, V. S. SAVENKO

KINETIC PROCESSES IN METALS AND ALLOYS UNDER ELECTROPULSE INFLUENCE USED TO OBTAIN AN ELECTROPLASTIC EFFECT

Abstract

The action of electrical impulses on various metals and alloys is accompanied by the manifestation of the electroplastic effect and vibroacoustic response. The paper considers general patterns of formation of kinetic processes in the material of conductors made of various metals and alloys, which have been obtained in the experimental studies of elastic and plastic deformation.

Keywords:

metal, electrical impulse, shock, vibration, electroplastic effect, deformation.

For citation:

Skvortsov, O. B. Kinetic processes in metals and alloys under electropulse influence used to obtain an electroplastic effect / O. B. Skvortsov, V. I. Stashenko, V. S. Savenko // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2024. – № 4 (85). – P. 74–84.