

УДК 534.232+537.311.5+539.374/5+539.4+620.179.16

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧНОСТЬЮ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**Сташенко В.И., Скворцов О.Б.***Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва***Ключевые слова:** деформация, электрический импульс, обработка металлов давлением, вибрация, ударный отклик, акселерометр.**Аннотация.** В работе рассмотрена возможность контроля процессов электропластичности металлов при обработке их давлением по ударно-вибрационному отклику. Такой контроль позволяет учесть комплексное влияние внешних и внутренних влияющих факторов. Аппаратурный контроль изменений амплитуды и фазы колебаний в таком отклике обеспечивает не только контроль процесса деформирования, но и оптимизации этих процессов за счет управления параметрами электроимпульсного воздействия.**CONTROL OF ELECTROPLASTICITY IN METALS AND ALLOYS****Stashenko V.I., Skvortsov O.B.***Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow***Keywords:** deformation, electric pulse, metal pressure processing, vibration, shock response, accelerometer.**Abstract.** This paper examines the possibility of monitoring the electroplasticity of metals during pressure processing using the shock-vibration response. This monitoring allows for the complex influence of external and internal factors to be taken into account. Hardware-based monitoring of changes in the amplitude and phase of vibrations in this response not only monitors the deformation process but also optimizes these processes by controlling the parameters of the electric pulse effect.

Повышение эффективности производства при обработке металлов давлением возможно за счет электропластического эффекта (ЭПЭ), который значительно снижает сопротивление металла деформации и улучшает его свойства [1]. Воздействие на металл переднего и заднего фронтов электрического импульса (ЭИ) длительностью $T_{II} = t_1 - t_0$ создает в нем ударные вибрации в противоположных направлениях (рис. 1).

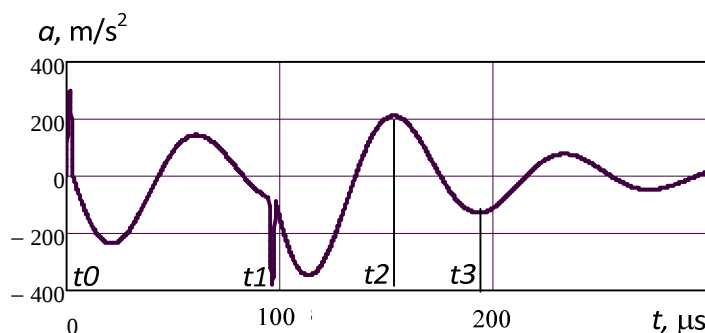


Рис. 1. Вибрационный отклик металла на действие ЭИ

Основную характеристику вибрации поверхностных слоев металла a – ускорение определяли пьезоэлектрическим акселерометром АП19 [2]. Ударные механические импульсы на его фронтах ЭИ возникали независимо от характеристик металла или сплава и внешних условий, влияющих на процесс обработки. Механические импульсы вызывали затухающие вибрации в металлическом материале, вибрационного отклика (рис. 1). Наличие такого отклика можно использовать при ОМД, например, волочением. Генератор ГПИ подает электрические импульсы на волоку В и заготовку через контакт К. Вибрацию контролируют пьезоакселерометр ПА и микроконтроллер МСРU (рис. 2).

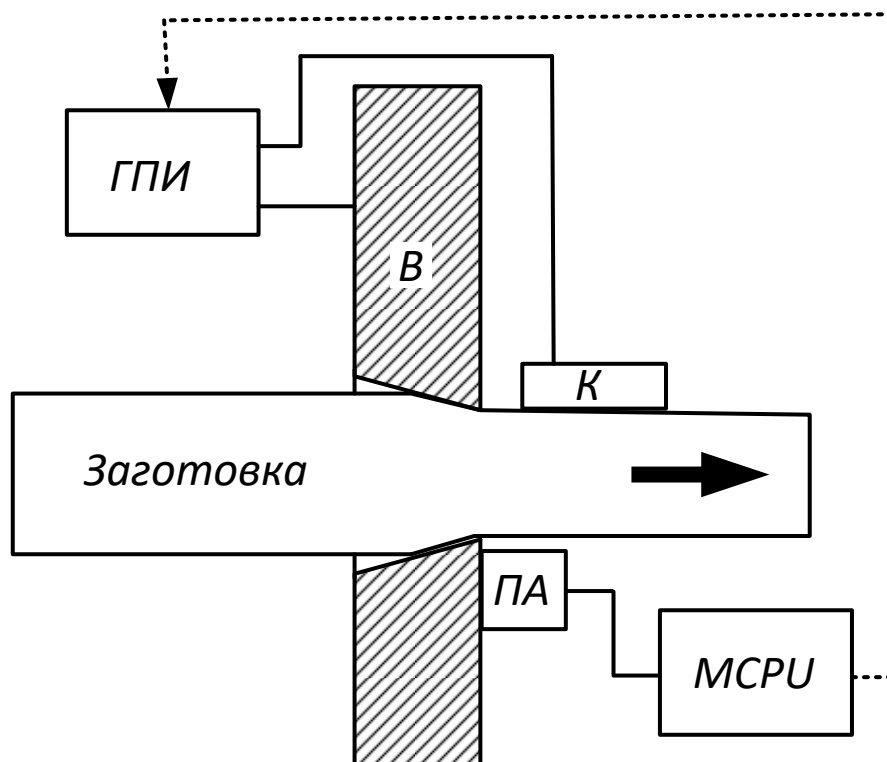


Рис. 2. Обработка металлической заготовки методом волочения

Импульсное электрическое воздействие вызывает виброакустический отклик, что является ключевым условием для проявления ЭПЭ [3]. Такая особенность ЭПЭ указывает на его сходство с физическими процессами в металлах при ОМД с использованием акустического смягчения. Акустическое смягчение при высокочастотной вибрации помогает понять физические процессы в металле при электропластическом эффекте.

При малых длительностях электрического импульса (менее 50 мкс) амплитуда виброакустического отклика плавно увеличивается из-за снижения влияния самоиндукции и скин-эффекта. Экспериментально установлено, что диапазон длительностей от 50 мкс до 299 мкс, оптимален для проявления ЭПЭ [1, 2]. При этом вклад тепловых эффектов незначителен и механизм проявления ЭПЭ является атермическим [3]. С увеличением длительности импульса тепловыделение значительно возрастает, что может привести к термопластическим изменениям. Однако это нежелательно с энергетической точки зрения, так как сильный нагрев ухудшает свойства металла.

Для достижения наилучшего эффекта в ЭПЭ важно получить максимальный виброакустический отклик. Это можно сделать, измеряя временные характеристики колебаний, такие как полупериод, и выбирая оптимальную длительность электрического импульса по размаху ускорения несинусоидального вибрационного отклика $a_{p,p}$ от длительности полупериода T_B к длительности электрического импульса T_H .

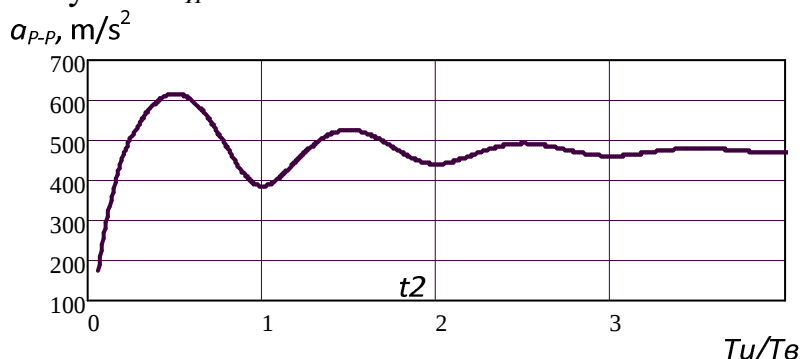


Рис. 3. Зависимость размаха ускорения $a_{p,p}$ от T_H/T_B . Начало отсчета полупериода от t_2 до точки 3

Вибрации в металле после завершения электрического импульса затухают гораздо дольше самого импульса. Это делает электропластический эффект полезным при больших скважностях электрических импульсов.

Вибрационный отклик дает ценные сведения об электропластичности, что позволяет управлять деформацией, регулируя длительность и частоту электрических импульсов. Эти данные важны для выбора оптимальных режимов и разработки новых технологий обработки металлов и сплавов давлением.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания FFGU-2024-0021.

Список литературы

1. Троицкий О.А. Электропластический эффект в металлах. – М.: Изд-во «Ким Л.А.», 2021. – 467 с.
2. Сташенко В.И., Скворцов О.Б., Троицкий О.А. Электродинамические процессы в проводниках при воздействии электрическими импульсами // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2021. – №1. – С. 39-47.
3. Sutton A.P., Todorov T.N. Theory of electroplasticity based on electromagnetic induction // *Physical review materials*. 2021, vol. 5, no. 11, p. 113605. DOI: 10.1103/PhysRevMaterials.5.113605.
4. Патент № 2845944 РФ. Способ механической обработки металлической заготовки с использованием электропластического эффекта / О.Б. Скворцов, В.И. Сташенко. – Заявка №2024121566 от 30.07.2024; опубл. 28.08.2025, Бюл. №25.

Сведения об авторах:

Сташенко Владимир Иванович – к.ф.-м.н., в.н.с.;

Скворцов Олег Борисович – к.т.н., с.н.с.