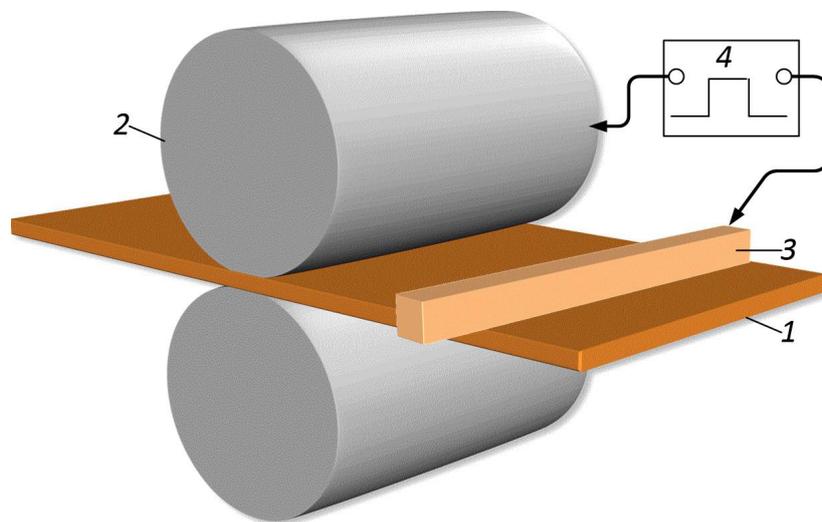


## Supplementary Material

Анализ вибрационного отклика на электрическое импульсное воздействие в установке для обработки металлов давлением с применением электропластического эффекта, показанной на Рис. S1. Экспериментальные исследования были выполнены в условиях исключения заметного влияния таких условий воздействия как повышение температуры, а также действие статических или квазистатических механических нагрузжений. Такая постановка задачи позволила существенно сократить количество влияющих факторов и сконцентрироваться на деталях взаимодействия материала заготовки и внешнего электрического импульса. Эксперименты со статическим одиночным проводником позволяют практически полностью исключить влияние эффекта близости, который связан с проявлением сил взаимодействия проводника с внешними магнитными полями, создаваемыми другими электропроводящими элементами.

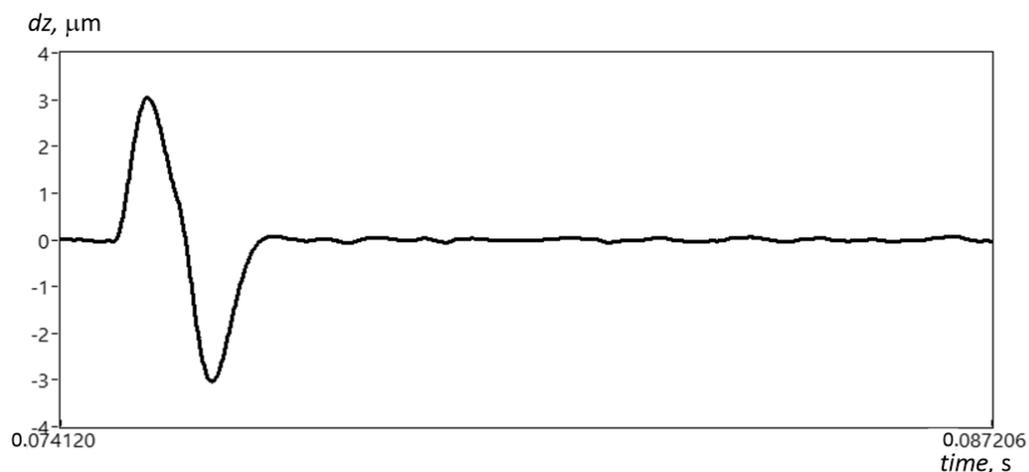
Как показывает анализ вибрационного отклика на действие электрического импульса, его амплитуда зависит от амплитуды внешнего электрического поля. Представленные результаты представлены в виде зависимости от величины магнитного поля. Это связано с возможностью более простого построения гальванически развязанных помехоустойчивых измерений для оценки внешнего электрического воздействия. Кроме того оценка магнитного поля позволяет контролировать ток через проводник. При этом максимальные значения тока и магнитного поля линейно зависят от амплитуды приложенного электрического от внешнего источника напряжения.

Форма сигналов от датчиков магнитного поля и вибрации далека от таких, как меандр или синусоида. Наличие быстрых изменений амплитуды от времени, а также характерных всплесков, и зависящая от полярности асимметрия



**Рис. S1.** (Color online) Обработка металлической пластины 1 давлением инструмента 2 с использованием электропластического эффекта. На шину 3 и инструмент 2 подаются электрические импульсы от генератора 4.

**Fig. S1.** (Color online) Treatment of a metal plate 1 by pressure of tool 2 using the electroplastic effect. Bus 3 and tool 2 are supplied with electrical impulses from generator 4.



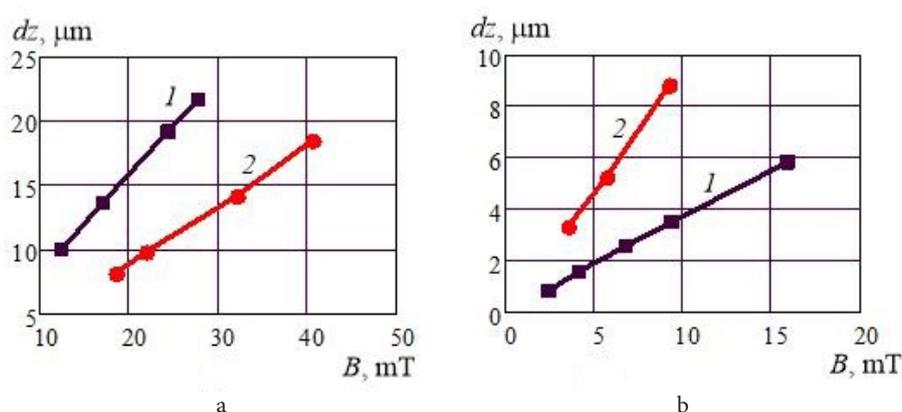
**Рис. S2.** Сигнал вибрационного перемещения в поперечном направлении для проводника из серебра диаметром 2 мм.

**Fig. S2.** Signal of vibrational displacement in the transverse direction for a silver conductor with a diameter of 2 mm.

**Табл. S1.** Значения сдвигового модуля  $G$ , коэффициента внутреннего трения  $\eta$  и собственной частоты резонанса  $F_{VP}$  вибропластического эффекта.

**Table S1.** Values of the shear modulus  $G$ , the internal friction coefficient  $\eta$  and the natural resonance frequency  $F_{VP}$  of the vibroplastic effect

Материал Material	$G$ , ГПа $G$ , GPa	$\eta$ , МПа·с $\eta$ , MPa·s	$F_{VP}$ КГц $F_{VP}$ , KHz
Медь Copper	40.7	0.27	150.7
Алюминий Aluminum	26	0.1	260
Латунь brass	35.2	0.31	113.5
Серебро Silver	29.2	0.14	208.6
Сталь Steel	82	0.24	341.7
Золото Gold	27	0.141	191.5
Свинец Lead	5.6	0.19	294.7
Титан Titanium	41.4	0.8	517.5
Цинк Zinc	36	0.85	423.5



**Рис. S3.** (Color online) Зависимости размаха поперечного перемещения от размаха магнитной индукции: для проводника из серебра (а) и для проводника из нержавеющей стали (б). 1 — проводники круглого сечения 1 диаметром 3 мм; 2 — проводники прямоугольного сечения площадью 2 мм<sup>2</sup>.

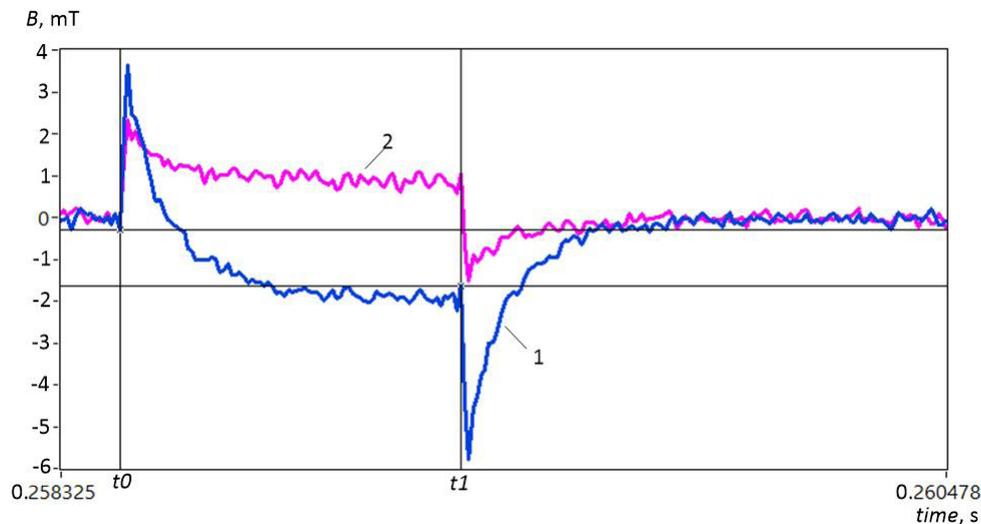
**Fig. S3.** (Color online) Dependences of the range of transverse displacement on the range of magnetic induction: for a conductor made of silver (a) and for stainless steel conductor (b). 1 — a conductor of a circular cross-section with a diameter of 3 mm; 2 — a conductor of rectangular cross-section with an area of 2 mm<sup>2</sup>.

сигнала, не позволяют использовать оценки уровней в виде различных средних значений. В этих условиях предпочтительнее использование для сигналов оценки в виде размаха.

Подавление в сигналах быстроменяющихся составляющих относится и к результатам прямых измерений с использованием датчиков перемещений (проксиметров) и деформации, а также к случаю использования низкочастотных акселерометров, когда контролируемые составляющие вибрации имеют частоты выше частоты установочного резонанса датчика вибрации. Для сигналов перемещений невозможно выделить области быстрых изменений, но общий характер зависимости амплитудных оценок вибрационного отклика от оценок амплитуды электрического импульса сохраняет линейность. Это подтверждается зависимостями, представленными на Рис. S3.

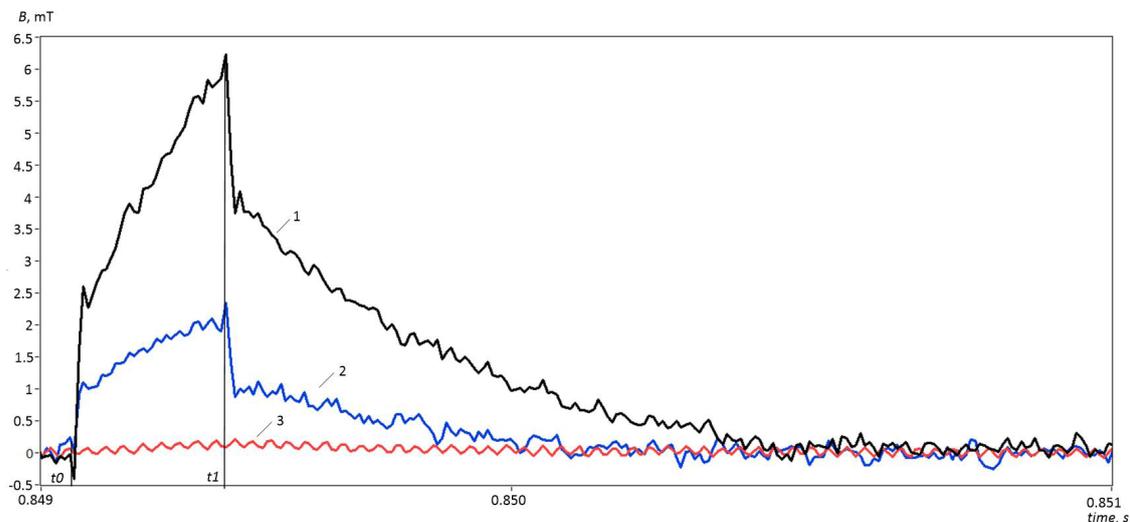
Еще одно явление, связанное с действием электрического импульса, проявляется как наличие всплесков или скачков величины магнитного поля в моменты начала переднего и заднего фронтов электрического импульса. Примеры таких изменений магнитной индукции показаны на Рис. S4 и S5. Если направление такого быстрого и кратковременного изменения совпадает с направлением последующего изменения магнитного поля, то наблюдается скачок величины магнитной индукции. Если эти направления не совпадают, наблюдается кратковременный всплеск. Эти изменения характеризуются высокой достоверностью повторения для каждого выбранного образца, а их амплитуда для таких образцов характеризуется повторяемостью, в зависимости от условий эксперимента может меняться.

Наблюдаемые при экспериментах скачки и всплески магнитной индукции в моменты начала переднего и заднего фронтов, по времени совпадают с моментами ударных возбуждений механических напряжений и могут быть представлены эквивалентными электрическими схемами [9]. Такие зависимости, имеющие похожий вид, характерны для моделей неупругого и вязко-упругого процессов деформации твердого тела [20], а также при изучении процессов деформации с учетом явления наследования [21].



**Рис. S4.** (Color online) Изменение ортогональных компонент магнитной индукции  $B$  при действии прямоугольного электрического импульса на проводник из титана диаметром 3 мм. Длительность импульса  $t_1 - t_0 = 830$  мкс. 1 — круговая компонента магнитной индукции, 2 — осевая компонента магнитной индукции.

**Fig. S4.** (Color online) Change in the orthogonal components of the magnetic induction  $B$  under the action of a rectangular electric pulse on a titanium conductor 3 mm in diameter. Pulse duration  $t_1 - t_0 = 830$   $\mu$ s. 1 — circular magnetic induction component, 2 — axial magnetic induction component.



**Рис. S5.** (Color online) Изменение ортогональных компонент магнитной индукции  $B$  при действии прямоугольного электрического импульса на проводник из меди диаметром 3 мм. Длительность импульса  $t_1 - t_0 = 830$  мкс. 1 — круговая компонента магнитной индукции, 2 — осевая компонента магнитной индукции, 3 — радиальная компонента магнитной индукции.

**Fig. S5.** (Color online) Change in the orthogonal components of the magnetic induction  $B$  under the action of a rectangular electric pulse on a copper conductor 3 mm in diameter. Pulse duration  $t_1 - t_0 = 830$   $\mu$ s. 1 — circular magnetic induction component, 2 — axial magnetic induction component, 3 — radial magnetic induction component.

## Литература/References

20. I. S. Golovin. Internal friction and mechanical spectroscopy of metallic materials: textbook. Moscow, MISiS (2012) 247 p. (in Russian) [И. С. Головин. Внутреннее трение и механическая спектроскопия металлических материалов. Москва, МИСиС (2012) 247 с.]
21. Strength, stability, vibrations. Handbook in three volumes. V.1 (Ed. by I. A. Birger, Ya. G. Panovko). Moscow, Mechanical Engineering (1988) 831 p. (in Russian) [Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Т.1. (под ред. И. А. Биргера, Я. Г. Пановко). Москва, Машиностроение (1988) 831 с.]