

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСОВ ТОКА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ НА ПЛАСТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ СТАЛЬНОГО ПРУТКА

К.В. Кукуджанов¹, С.В. Дмитриев², И.А. Шепелев³, А.И. Габдуллахатов⁴.

¹ Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, 119526 Россия

² Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, Уфа, 450054, Россия

^{3,4} АГТУ "Высшая школа нефти", Альметьевск, 423452, Россия

Email: gabdullahatov@gmail.com

Аннотация

Управляемое изменение пластических свойств конструкционных материалов остается важной задачей физики прочности и материаловедения. Надежность металлических элементов при эксплуатации во многом определяется тем, насколько материал способен перераспределять деформации и снимать локальные напряжения. Традиционные методы термического воздействия действительно позволяют менять механическое состояние металла, но часто за это приходится платить значительным нагревом всего объема образца, ростом зерна и нежелательной перестройкой структуры. В связи с этим особый интерес представляют методы локального и кратковременного воздействия, в частности обработка импульсами тока высокой плотности

Введение

На первый взгляд, это просто короткий электрический импульс. Но за ним стоит сразу несколько связанных процессов: джоулев нагрев, термическое расширение электропластический эффект, а также появление внутренних термомеханических напряжений. Все это вместе может менять сопротивление материала пластическому течению. Однако для практического применения электроимпульсной обработки важно понять, как именно параметры импульса отражаются на деформационном отклике образца, величине остаточной деформации и равномерности изменения его формы.

Целью работы было исследование влияния импульсов тока высокой плотности на пластическую деформацию стального прутка и анализ закономерностей изменения деформационного отклика при различных режимах воздействия

Методика эксперимента

Исследования проводились на установке, показанной на рис. 1. В качестве образцов использовались стальные прутки E71TGS, через которые пропускались импульсы тока высокой плотности с различными амплитудными параметрами. В ходе экспериментов регистрировались продольные деформации образца: его удлинение во время действия импульса и последующее сжатие при охлаждении и релаксации напряженного состояния. Для количественной оценки эффекта определялись величина деформационного отклика, степень его равномерности по длине образцы, а также изменение нагрузочных кривых при различных плотностях тока.

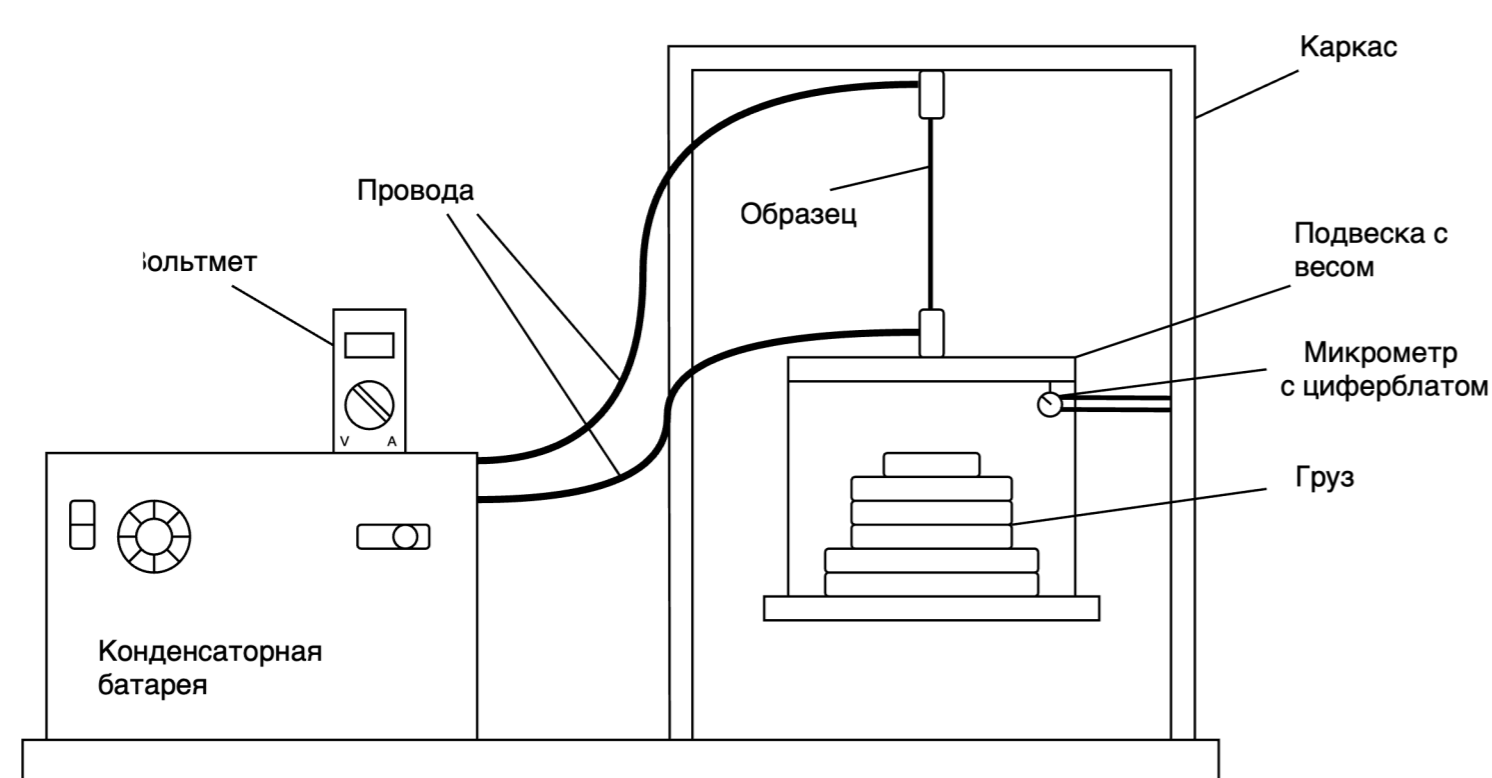


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Результаты

Полученные результаты показывают, что рост плотности тока усиливает деформационный отклик стального прутка и меняет характер его пластического поведения. При меньших плотностях тока отклик в основном связан с обратимым термомеханическим расширением, а при повышении интенсивности воздействия заметнее становится вклад остаточной пластической деформации; вместе с ним проявляется и неоднородность деформационного поля. Представленные на рис. 2 нагрузочные кривые позволяют выделить режимы электроимпульсного воздействия, которые отличаются степенью изменения пластичности материала и устойчивостью формы образца после прохождения импульса.

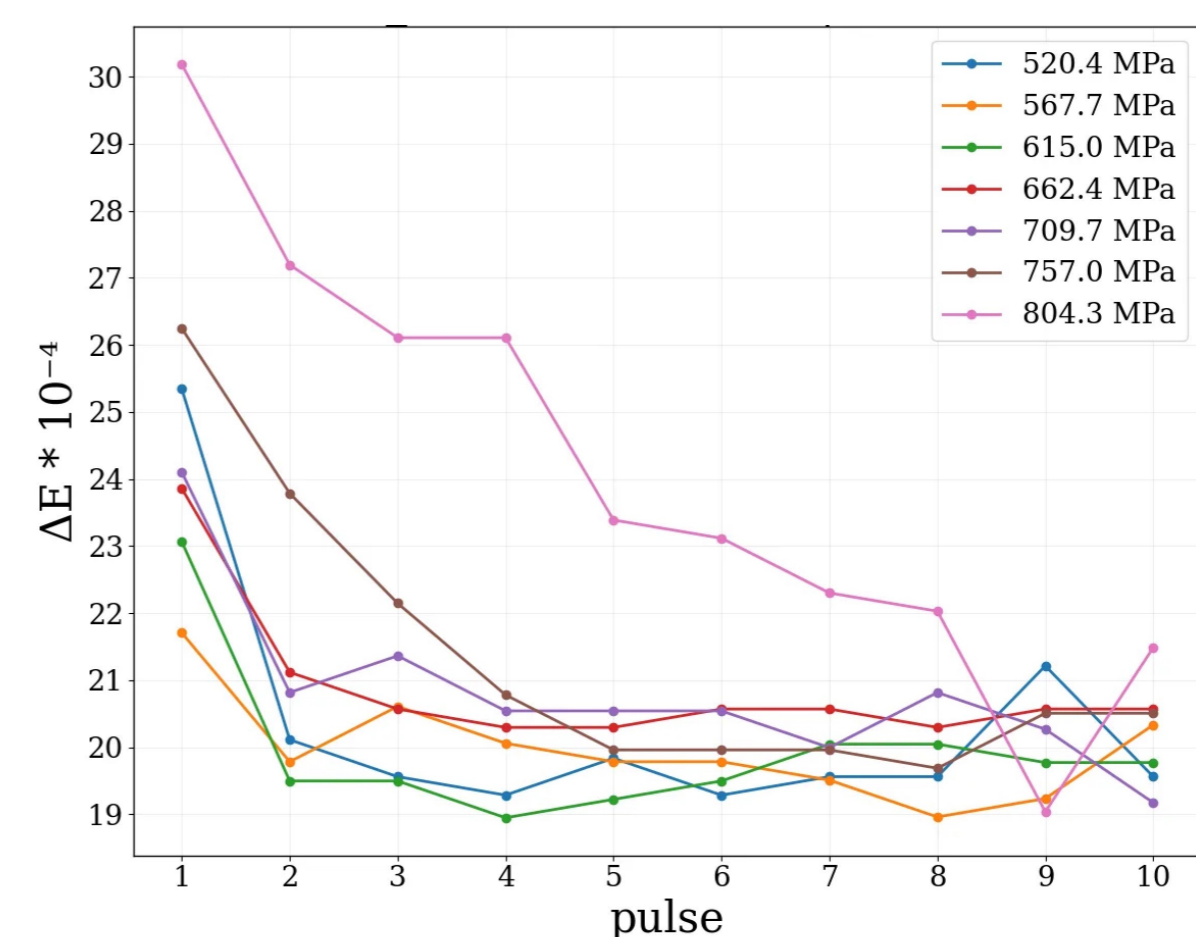


Рис. 2. Зависимость относительной деформации от числа импульсов тока при разных напряжениях в стали.

Выводы

Примечательно, что с прикладной точки зрения такие режимы могут быть полезны не только для управления деформационным поведением металлических элементов, но и для локального воздействия на дефектные зоны, включая области усталостных трещин, где концентрация тока и теплового поля способна способствовать смыканию берегов дефекта и частичному восстановлению структуры металла. Проведенное исследование показывает связь между плотностью импульсного тока и пластической деформацией стального прутка и задает основу для выбора режимов электроимпульсной обработки, ориентированных на контролируемое изменение механического состояния стальных изделий.

Работа выполнена за счет предоставленного в 2025 году Фондом науки и технологий Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и поисковых исследований в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан.

Литература

- К.В. Кукуджанов, Г.Р. Халикова, Е.А. Коржникова, А.В. Ченцов, С.В. Дмитриев, *Mechanics of Solids* 2024, 59, с. 3223-3234.
- А.Ю. Маркина, Д.В. Таров, Е.А. Коржникова, М.В. Хазимуллин, М.Н. Семенова, П.С. Татаринцев, И.А. Якушев, С.В. Дмитриев, *European Journal of Mechanics - A/Solids* 2026, 118.