

## ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ И УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА НИКЕЛЬ ПРИ ОДНООСНОМ РАСТЯЖЕНИИ

<sup>1</sup>Царенко Ю.В., <sup>1</sup>Рубаник В.В., <sup>1</sup>Луцко В.Ф., <sup>1</sup>Багрец Д.А., <sup>1</sup>Лесота А.В.,  
<sup>2</sup>Столяров В.В., <sup>2</sup>Угурчиев У.Х.

<sup>1</sup>Институт технической акустики НАН Беларуси, г. Витебск, [labpt@vitebsk.by](mailto:labpt@vitebsk.by)

<sup>2</sup>Институт машиноведения РАН, г. Москва, [vlstol@mail.ru](mailto:vlstol@mail.ru)

Использование различных физических воздействий позволяет в значительной мере интенсифицировать технологические процессы получения и обработки материалов и в большинстве случаев получать результаты, недостижимые при традиционной технологии. К числу таких воздействий, дающих наибольший эффект, относятся концентрированные потоки энергии [1, 2], в т.ч. ультразвуковые колебания и воздействие импульсным током. Представляет значительный интерес исследование совместного действия обоих эффектов на металлы и сплавы.

Для проведения данных исследований нами была подготовлена установка для обработки проволочных образцов при растяжении. Проведены исследования влияния ультразвуковых колебаний на механическое поведение проволочных образцов никеля НП-2 при одноосном растяжении. Амплитуду ультразвуковых смещений изменяли путем, как регулирования электрической мощности преобразователя, так и выбором бустеров с разными коэффициентами трансформации смещений. В работе использовали бустеры полуволновой длины.

На первом этапе были выполнены эксперименты на проволоке из никеля НП-2 диаметром 1,6 мм предварительно отожженной в вакууме при температуре 1000 °С. Длительность ультразвукового воздействия на образец изменяли от 1 до 5 с, а амплитуду смещений от 5 до 20 мкм. На образцы воздействовали импульсом тока плотностью  $j = 120 \text{ А/мм}^2$ , длительностью импульса  $2 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ .

Для оценки нагрева образцов с помощью прибора NEC9100 (погрешность 0,2 °С) были выполнены тепловизионные измерения поверхности растягиваемой проволоки НП-2 при воздействии импульсами электрического тока (рисунок 1). Плотность электрического тока в импульсе составляла  $160 \text{ А/мм}^2$ , скорость подачи импульсов составляла 3 имп/с.

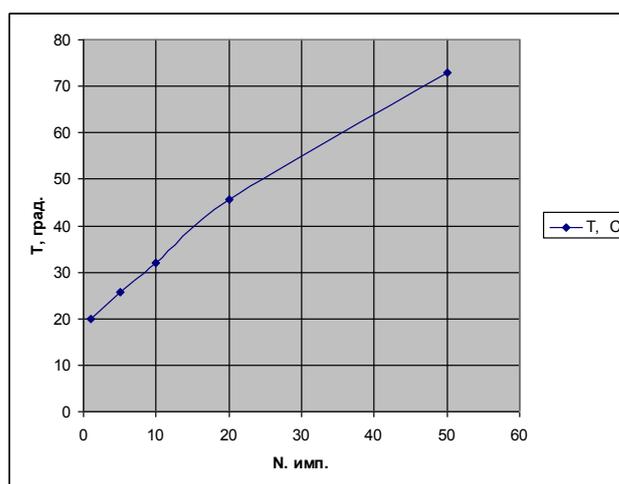


Рисунок 1 - Зависимость температуры нагрева проволоки НП-2 при растяжении от количества импульсов тока

С ростом количества импульсов до 50, температура образца достигает 70 °С, при этом график изменения несколько отличается от линейного, что связано с ростом тепловых потерь с увеличением температуры образца. При воздействии на образец никеля НП-2 импульсным током плотностью  $60 \text{ А/мм}^2$  его температура повышается до 200 °С в течение 40 с (рисунок 2).

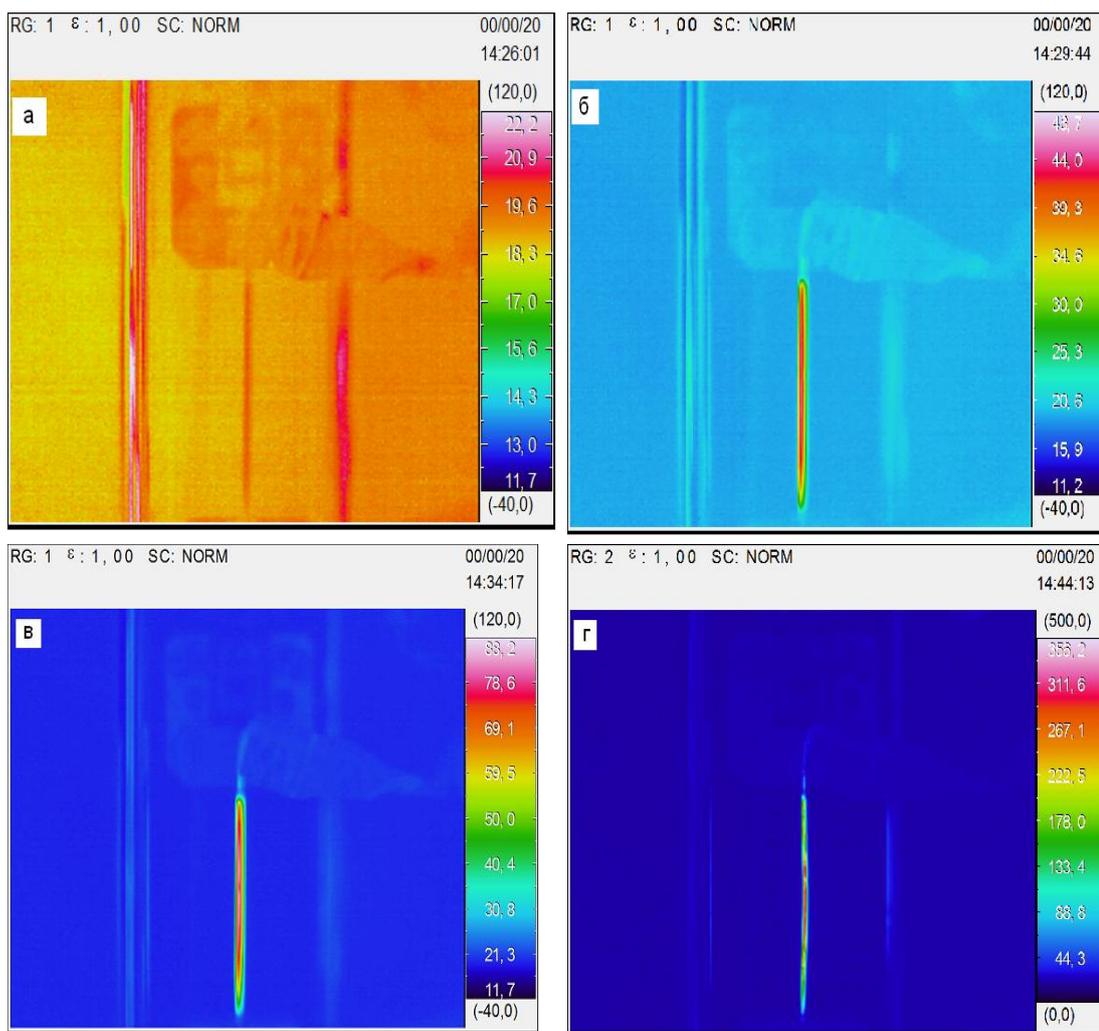


Рисунок 2 - Термограммы проволоки НП-2 после воздействия импульсами электрического тока: а – исходное состояние, б – 20 импульсов, в – 50 импульсов, г - импульсным током плотностью  $60 \text{ A/mm}^2$  в течение 40 с

Воздействие импульсного тока и ультразвука на механическое поведение проволочных образцов никеля при одноосном растяжении проводили поочередно, сначала импульсным током, а затем ультразвуком с амплитудой смещений 20 мкм. Воздействие импульсного тока в процессе деформирования металла приводит к снижению напряжения течения металла в момент подачи импульсов, т.е. проявляется электропластический эффект, а при наложении ультразвука наблюдается акустопластический эффект. В результате проведенных исследований установлено, что под действием УЗК наблюдается снижение напряжения течения для никелевой проволоки более чем на 200 МПа, в то время как под действием импульса тока до 25 МПа.

Далее были проведены эксперименты по совместному действию электропластического и акустопластического эффектов на особенности поведения проволоки НП-2 при растяжении. Скорость растяжения проволочных образцов составляла 5 мм/мин. Импульсы тока подавали после включения ультразвука, амплитуда смещений на торце волновода составляла 5 мкм.

Поскольку в данном случае интенсивность ультразвука была меньшей, чем в первом случае, снижение напряжений течения металла за счет УЗК составляло 100 - 120 МПа, а снижение за счет импульсного тока до 20 МПа. Необходимо отметить, что в данном случае наблюдается дополнительное снижение напряжения течения проволоки за счет импульсов тока при одновременном воздействии УЗК, т.е. происходит суммарный эффект от обоих воздействий. Аналогичный результат

наблюдали и при растяжении никелевой проволоки при амплитуде смещений 10 мкм, длительность воздействия УЗК – 5 с (рисунок 3).

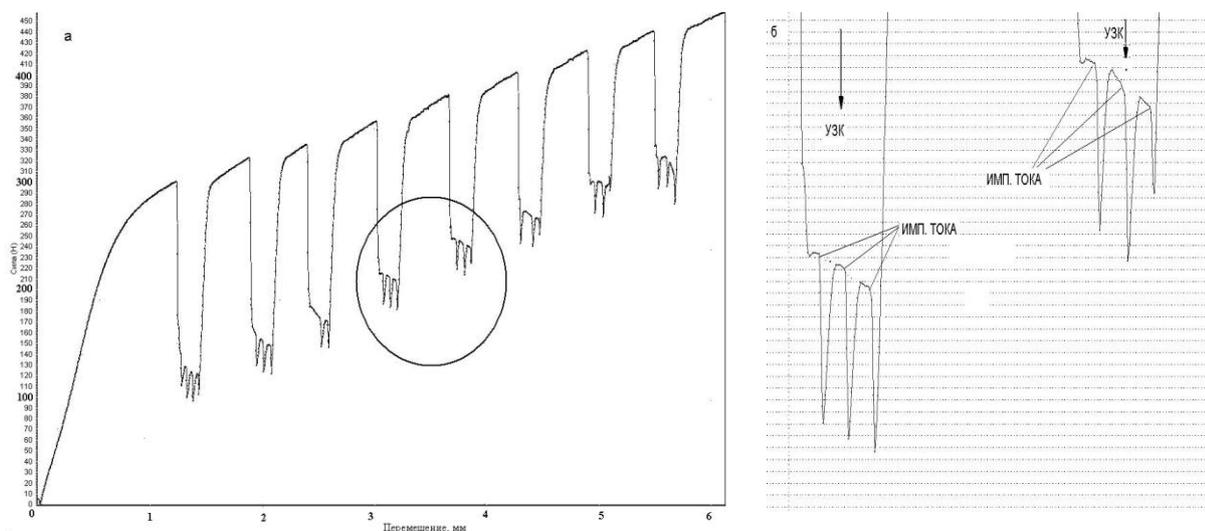


Рисунок 3 - Кривая растяжения проволоки НП-2 при воздействии УЗК (10 мкм) и импульсов электрического тока (а); увеличенная выделенная область снижения усилия деформирования образца (б)

Из рисунка 3-б видно, что во время воздействия УЗК на металл наблюдается дополнительное снижение растягивающей нагрузки за счет действия отдельных импульсов электрического тока, причем величина снижения нагрузки практически остается постоянной. Для предварительно упрочненной проволоки влияние УЗК и импульсов тока на снижение усилия деформирования уменьшается.

Установлено, что за счет импульсов тока при одновременном воздействии ультразвука наблюдается суммарный эффект по снижению напряжения течения проволоки НП-2 от обоих воздействий, что подтверждает и дополняется результаты авторов [3 - 6]. При этом величина снижения напряжений деформирования проволоки от электропластического эффекта в несколько раз ниже, практически на порядок, чем от воздействия ультразвука. Это вызывает сомнения в перспективах его самостоятельного промышленного использования для обработки материалов.

#### Литература

1. Троицкий, О.А. Ультразвуковое электропластическое плущение металла / О.А. Троицкий // Вестник научно-технического развития. - № 10. - т.26. - 2009. - С.42-49.
2. Клубович В.В., Рубаник В.В., Царенко Ю.В. Ультразвук в технологии производства композиционных кабелей. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 293 с.
3. Kozlov A.V., Mordyuk B.N., Chernyashevsky A.V. On the additivity of acoustoplastic and electroplastic effects. Mater. Sci.&Eng. -A190 - 1995 - P.75-79.
4. Siva K.W., Ngana H.W., Jones I.P. New insight on acoustoplasticity-ultrasonic irradiation enhances subgrain formation during deformation. Int J Plast, 2011. - V27/ -№5) – P. 788–800.
5. Stolyarov V. V., Tsarenko Yu. V., Rubanik V. V. Features of the deformation behavior under pulse current and ultrasound in materials with phase transformation // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 447 (2018), 012048 doi:10.1088/1757899X/447/1/012048.
6. Мисоченко А.А, Царенко Ю.В., Рубаник В.В., Столяров В.В. Комбинация эффектов импульсного тока и ультразвука в сплаве с памятью формы при растяжении//Ультразвук: проблемы, разработки, перспективы. Материалы Международной научной конференции – Уфа: РИЦ БашГУ. – 2017. - С.41-43.