

**В. С. САВЕНКО, С. Н. КУПРАЦЕВИЧ**  
УО МГПУ им. И. П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

## **ВЛИЯНИЕ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ СУПЕРПОЗИЦИИ ПОЛЕЙ НА ПЛАСТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ**

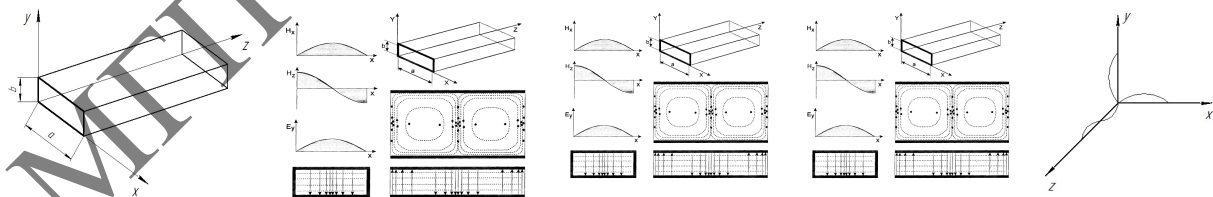
При действии коротких импульсов тока высокой плотности в деформированном выше предела упругости металле увеличивается подвижность дислокаций при токовом воздействии. Стимулирование пластической деформации и улучшение механических свойств металлов при внешних энергетических воздействиях в том числе СВЧ-излучение, как составляющая суперпозиции полей, используются в различных технологиях обработки металлов и сплавов давлением. Очевидно, что электропластическое действие импульсов тока носит комбинированный характер. К механизмам электропластической деформации (ЭПД) относят:

- давление и увлечение «электронным ветром» зон пластической деформации, одиночных и скоплений дислокаций;
- появление сил электрон-фононного увлечения точечных дефектов и дислокаций в процессе электропластической деформации металла (ЭПДМ);
- влияния вибраций кристаллической решетки за счет действия динамического пинч-эффекта на деформируемый металл;
- возможно также действие спинового разупрочнение металла (СРМ) за счет влияния на механические свойства твердого тела электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).

Для реализации СРМ в кооперативном эффекте ЭПД необходимо чтобы магнитное поле импульсного тока и внешнее магнитное поле СВЧ-излучения были скрещены. Кроме того образцы должны находиться в условиях активной деформации растяжением или сжатием с постоянной скоростью или в состоянии релаксации напряжений без снятия нагрузки для того, чтобы в них генерировались и по возможности накапливались свежие дислокации.

В связи с этим целесообразно рассмотреть влияние СВЧ-излучения при суперпозиции полей на пластическую деформацию металла в условиях действующих одновременно с СВЧ-излучением импульсов электрического тока, что подтвердит наличие фактора спинового разупрочнение металла.

Для изучения влияния СВЧ-излучения на механические свойства металлов в условиях пластической деформации растяжением и действии импульсов тока была выбрана частота 2,45 ГГц, используемая только прямоугольных волноводах. Конфигурация поля в волноводе может иметь очень сложную форму. Теоретические расчеты волнового механизма позволяют свести сложную структуру поля к набору относительно простых типов, из которых можно воссоздать любую конфигурацию существующих в волноводе полей. Распространяемые по волноводу электромагнитные волны условно можно разделить на два основных типа. Волны, имеющие составляющую электрического поля вдоль направления распространения и не имеющие магнитной, относятся к Е-типу. И наоборот, волны, имеющие магнитную составляющую вдоль направления распространения и не имеющие электрической, относятся к Н-типу. Селекцию типов можно осуществить подбором размеров  $a$  и  $b$ , чтобы распространились только необходимые типы волны (рисунок 1).



**Рисунок 1. – Структура электромагнитного поля в прямоугольном волноводе для волны типа  $H_{10}$**

На практике в качестве рабочих волн обычно используется волны типа  $H_{10}$ . Равенство нулю второго индекса в названии волны  $H_{10}$  говорит о том, что вдоль узкой стенки поле однородное и не изменяется. Следует отметить, что отсутствует не само поле, а лишь его изменение. Таким образом, размер  $b$  не влияет ни на структуру распределения полей в волноводе, ни на его критическую частоту. Теоретическое и экспериментальное рассмотрение волновых процессов этого типа является основным для прямоугольного волновода, так как рабочий тип волны для подавляющего большинства задач волновых процессов является основной по определению (рисунок 2).

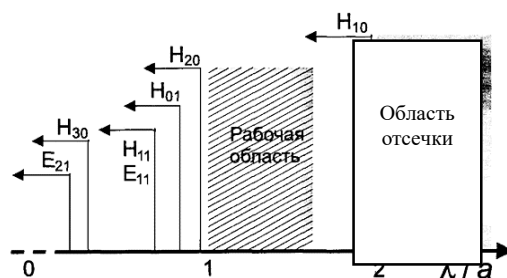


Рисунок 2. – Диаграмма распределения критических длин волн, наиболее близких к основному типу

Типичная конструкция подключения магнетронного генератора к волноводу показана на рисунке 3а.

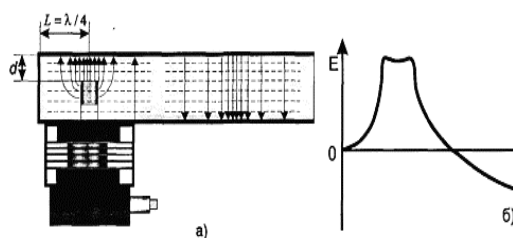


Рисунок 3. – Подключение магнетрона к волноводу (а) и распределение напряженности электрического поля по длине  $Z$  волновода (б)

Передачу электромагнитного (ЭМ) излучения от источника СВЧ-излучения – магнетрона к деформируемому образцу осуществлялся с помощью волновода прямоугольного сечения. Электромагнитная энергия излучалась магнетроном с помощью антенны в виде электрода, который входил в волновод и располагался на расстоянии примерно в четверть длины волны  $\lambda$ .

Прямоугольный волновод с одной стороны был ограничен металлической стенкой магнетрона и излучал электромагнитные волны (ЭМВ) во всех направлениях – прямые в направлении нагрузки деформируемого образца и обратные в противоположном направлении к глухой стенке волновода, которые после отражения складывались (рисунок 3а). Для стандартных волноводов должно выполняться соотношение  $b/a < 0,5$ . При  $\lambda/a < 2$  в волноводе распространяется единственный вид волн типа  $H_{10}$ , которые целесообразны к использованию. По длине волны можно подобрать размеры сторон  $a$  и  $b$  [1–3]. Расстояние от электрода до оси деформируемого образца было кратным длине волны  $\lambda$ . В этом случае значение напряженности электрического поля на образце максимально (рисунок 3б). За образцом на расстояние  $\lambda/4$  волновод ограничивался глухой стенкой. Длина волновода от одной глухой стенки до другой составила  $\lambda + \lambda/2$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Савенко, В. С. Вклад пондеромоторных факторов в реализацию электропластической деформации / В. С. Савенко, О. А. Троицкий, А. Г. Силивонец // Известия НАН РБ. Сер. физ.-техн. наук. – 2017. – № 1. – С. 85–91.
2. Savenko, V.S. The contribution of the ponderomotive factors in the phenomenon of electroplasticity of deformational magnesium / V. S. Savenko, A.G. Silivonec, S.A. Ermokovec // Materials of the XII International scientific and practical conference, «Modern scientific potential – 2016». Volume 19. Technical sciences. Physics, February 28 – March 7. – Sheffield : Science and education LTD, 2016. – S. 90–92.
3. Савенко, В. С. К расчету пондеромоторных факторов в электропластической деформации / В. С. Савенко, О. А. Троицкий, А. Г. Силивонец // XII Всерос. семинар-совещание «Инженерно-физические проблемы новой техники», Москва, 20–22 апреля 2016 г. – Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – С. 38–41.