

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

И. И. БЕКЛЕМИШЕВ, Е. И. ВЕДЕНИЯНИ, Г. С. ШАШРО

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСА ТОКА НА РЕСУРС ПЛАСТИЧНОСТИ
 ПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Влияние импульсного тока на процесс разрушения исследовалось многими авторами. При этом установлено, что высокоэнергетический импульс тока оказывает существенное влияние на процесс разрушения (до появления дефекта Гриффитского размера) и развитие самого макродефекта [1, 2].

Данная работа посвящена исследованию влияния импульса тока на дефектность кристаллической структуры до появления макродефекта критического размера. В основу критерия образования последнего положим физическую модель накопления повреждаемости материала в процессе пластической деформации. Примем за макроскопические параметры, определяющие процесс разрушения при развитой пластической деформации — ϵ'' ; параметр K , характеризующий вид напряженного состояния; удельную энергию импульса тока q , идущего на увеличение пластичности материала, которое не может быть объяснено интегральным разогревом материала; параметр η , характеризующий повреждаемость образца. Определим теперь каждую из введенных величин. За меру пластической деформации примем работу, совершаемую напряжениями на приращениях пластической деформации:

$$dP = \sigma_{ij} de''_{ij}, \quad (1)$$

где σ_{ij} , e''_{ij} — компоненты тензоров напряжения и пластической деформации. Параметр K определим как [3]

$$K = \sigma/T, \quad (2)$$

где $\sigma = 1/3\sigma_{ij}\delta_{ij}$; δ_{ij} — единичный тензор; $T = 1/2(\sigma_{ij}\sigma_{ij})^{1/2}$ — интенсивность напряжений. Параметр q определим теперь как

$$dq = M \left(\frac{\tau - \tau^*}{\tau^*} \right) \cdot \mu(\tau) \cdot d\tau, \quad (3)$$

где функция $M(\tau)$ оценивается экспериментально и для нее справедливо

$$M(\tau) = 1; \quad 0 \leq \tau \leq \tau^*, \quad 0 < M \leq 1, \quad \text{если } \tau^* \leq \tau < \infty, \quad (4)$$

где τ — физическое время действия импульса; τ^* — характерное время реализации физических процессов, приводящих к изменению дефектности кристаллической структуры и не связанных с интегральным разогревом материала.

В (3) $\mu(\tau)$ — мощность импульса, которая вычисляется как

$$\mu(\tau) = j_x \cdot j_x \cdot r_{kl}, \quad (5)$$

где r_{kl} — тензор сопротивления второго ранга, относительно которого в общем виде примем гипотезу

$$r_{kl} = r_0 (\delta_{kl} + \beta \cdot \delta_{kl}^p), \quad (6)$$

где $\beta(q)$ — параметр, определяющий влияние импульса тока на изменение проводимости, которая однозначно связана с его повреждаемостью. Использование тензора второго ранга r_{kl} позволяет записать критерий разрушения для широкого класса анизотропных материалов, обладающих как деформационной анизотропией, так и конструктивной. Кроме этого примем, что механизм влияния импульса тока связан с его перераспределением на микродефектах с концентрацией электрического тока, а, следовательно, температурного поля на них [4]. Это определяется как разными значениями проводимостей материала и дефектов, так и их геометрией. Введем новый параметр χ , определяющий внутреннее состояние материала

$$d\chi = z_{ij} de_{ij}^p - dq, \quad dP > 0, \quad \chi \geq 0, \quad d\chi \geq 0. \quad (7)$$

Примем еще одну гипотезу, согласно которой образование макродефекта наступает всегда при одном и том же значении повреждаемости η , но при разных значениях K и $\chi_0(q)$, где χ_0 — значение структурного параметра в момент образования макродефектов. Эта гипотеза проверялась экспериментально. С этой целью проводились исследования по замеру проводимости образца в момент начала макроскопического разрушения. Как известно, удельная электропроводность γ однозначно связана с повреждаемостью. Эксперименты проводились на сплаве М-1 с использованием известной методики замера электропроводности. На рис. 1 представлены результаты при разных значениях K , которые подтверждают с точностью до ошибки эксперимента ($\delta \sim 5\%$) гипотезу относительно значения параметра η_0 . Пунктиром обозначены значения проводимости материала γ_0^{-1} при образовании макродефекта. На рис. 2 представлено влияние параметров χ и K на повреждаемость η . Представленные результаты экспериментов позволяют определить параметр η из кинетического уравнения

$$q > 0, \quad d\eta = [C_1 - z_1 C_2 \gamma_0 - z_2 C_3 \gamma_0] d\chi / d\gamma_0 \cdot dP > 0, \quad (8)$$

где $C_1(q, \chi)$, $C_2(k; q; \chi)$, $C_3(q; \chi)$, $\gamma_0(k; q)$ — функции, определяемые экспериментально. При этом первое слагаемое учитывает развитие микродефектов при пластической деформации, второе — их залечива-

ние за счет вида напряженного состояния, а третье определяет немо-
 нотное действие импульса тока, что является обобщением результатов
 экспериментов. На рис. 3 представлены результаты экспериментов по
 исследованию влияния импульса тока в момент образования макроде-
 фекта при деформации сплава М-1. В (8) операторы соответственно
 определены как

$$x_1(K) = \begin{cases} 1, & dP > 0, \quad K < 0, \\ 0, & dP > 0, \quad K > 0; \end{cases} \quad x_2(q) = \begin{cases} +1, & 0 < q \leq q_{\max}, \\ -1, & q_{\max} < q < \infty, \end{cases} \quad (9)$$

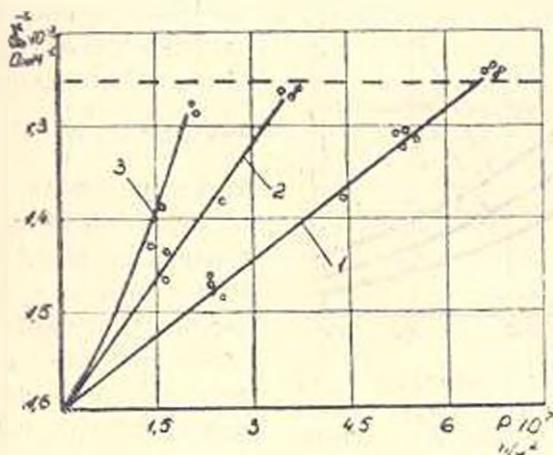


Рис. 1. Экспериментальная проверка гипотезы о значении сопротивления σ_0^{-1} в момент разрушения при значениях параметра $K = 0,58$ (1), $K = 0$ (2), $K = -0,58$ (3) от P .

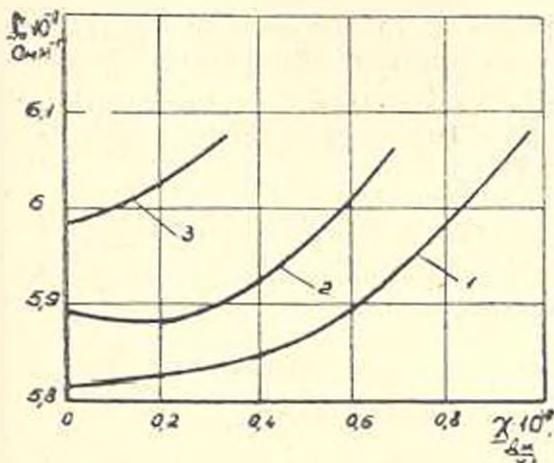


Рис. 2. Зависимость сопротивления σ_0 от параметров $K = 0,58$ (1), $K = 0$ (2), $K = -0,58$ (3) и λ .

где q_{\max} — значение удельной энергии импульса, соответствующее мак-
 симальному увеличению предельной степени деформации в результате

действия импульса тока. Согласно результатам, представленным на рис. 1, должно существовать уравнение

$$\gamma_0 = [C_1 - x_1 \cdot C_2 \cdot \gamma_0 - x_2 \cdot C_3 \cdot \gamma_0] \gamma_0 \quad (10)$$

Сопоставляя (9) и (10) и результаты работы [3], определяем ресурс пластичности материала

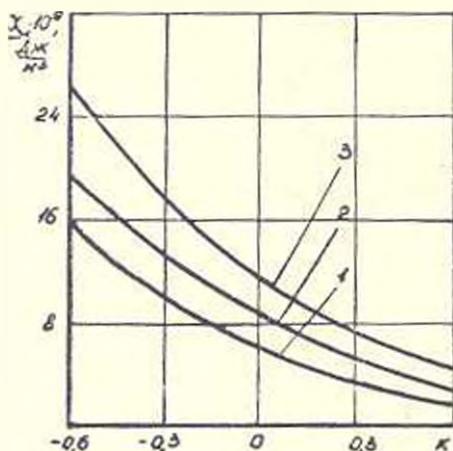


Рис. 3. Зависимость параметра λ_0 в момент появления макродефекта от вида напряженного состояния K и удельной энергии $q = 0,2 \cdot 10^8$ Дж/м³ (1), $q = 0,6 \cdot 10^8$ Дж/м³ (2), $q = 10^8$ Дж/м³ (3).

разрушения. Вторая схема нагружения состояла в кручении образца до определенного значения деформации сдвига, растяжении его до заданной деформации с последующим его разрушением при кручении. Импульс тока с удельной энергией $10^8 \leq q \leq 10^{12}$ Дж/м² и длительностью $\tau \sim 10^{-1}$ с создавался на различных этапах деформирования. Параметры, определяющие процесс разрушения, оценивались следующим образом:

$$P_{\text{раст}} = \sigma \cdot \epsilon_{\text{ост}}; \quad P_{\text{кр}} = \tau \cdot \gamma_{\text{ост}}, \quad (12)$$

где σ , τ — напряжения в образце при растяжении и кручении; $\epsilon_{\text{ост}}$, $\gamma_{\text{ост}}$ — остаточные деформации

$$\epsilon = \ln(d/d_0); \quad (13)$$

$$\gamma = \lg \varphi, \quad (14)$$

d_0 — начальный диаметр образца, а φ — угол наклона линии, нанесенной предварительно на образующую образца параллельно его оси. Удельная энергия импульса тока q определялась:

$$q = \frac{I_{\text{имп}}^2 \tau}{V}, \quad (15)$$

$$\Psi = \int_0^1 \chi ds / \chi_0 [K, q] < 1, \quad (11)$$

где Ψ — степень использования пластичности материала (его ресурс), учитывающий действие импульса тока, а $t = \frac{\tau - \tau^*}{\tau^*}$ — безразмерное время.

Критерий разрушения (11) проверялся экспериментально. С этой целью были проведены эксперименты при разных значениях параметров K и q . Использовались две схемы нагружения. Согласно первой гладкий образец растягивался до определенной величины остаточной деформации с последующим кручением до

где \bar{j} и τ регистрировались экспериментально. Параметр χ вычисляли согласно формуле

$$\chi = P - q. \quad (16)$$

Затем была получена экспериментальная зависимость $\chi_0(K, q)$ (рис. 3). После этого подсчитывался ресурс пластичности при различных комбинациях параметров χ , K , q . Сравнение данных, полученных согласно критерию (11) и экспериментам, представлено в таблице. Эксперименты проводились на образцах из сплава М-1 с параметрами при растяжении и кручении $\varnothing 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $l \sim 10^{-4} \text{ м}$, а при осадке $\varnothing 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и $l \sim 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Расхождение между теорией и данными эксперимента составили $\delta \sim 15\%$.

Таблица

q	N/N	$\chi_0 \cdot 10^3$ Дж/м ³	φ_1	φ_2	η_3	η_1			
0	1	1.04	8,8	—	9,84	0,2	0,88	—	1,08
	11	2,8	1,4	3,3	7,5	0,46	0,14	0,55	1,15
τ_{max}	1	0,6	2,8	—	3,4	0,2	0,65	—	0,85
	11	1,3	0,8	1,6	3,7	0,44	0,18	0,5	1,12

Ин-т проблем механики
АН СССР

25.111.1983

Կ. Կ. ԲԵԿԼՍՏՆԵՎ, Ե. Ե. ՎԵՒՆՅԱՊԻՆ,

Փ. Ս. ՇԱՊԻՐՈ

ՀԱՍԱՆՔԻ ԻՄՊՈՒԼՍԻ ԱՉԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԱՂՈՐԳԻՉ ՆՅՈՒԹՆԵՐԻ ՊԼԱՍՏԻԿՈՒԹՅԱՆ ՌԵՍՈՒՐՍԻ ՎՐԱ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Վնասվածքների կուտակման սկզբունքի հիման վրա պահվի պլաստիկ դեֆորմացիաների դեպքում առաջարկված է բայբայան շափանիչ՝ հաշվի առնելով հոսանքի բարձր կներդեպիկական իմպուլսի աղղկությունը:

Ներկայացված են շափանիչի փորձարարական ստուգման արդյունքները, որոնք ցույց են տալիս առնական է փորձնական տվյալների բավարար համընկնելը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Финкель В. М., Головин Ю. И., Слетков А. А. О возможности торможения быстрых трещин импульсами тока.— Докл. АН СССР, 1976, т. 277, № 1, с. 848—851.
2. Финкель В. М., Головин Ю. И., Слетков А. А. Разрушение вершины сильных электромагнитных полей.— Докл. АН СССР, 1977, т. 237, № 2, с. 325—327.
3. Колмогоров В. Л.— В кн.: «Напряжения, деформации, разрушение».— М.: Металлургия, 1970, 230 с.
4. Кудряцов В. А., Партоп В. З., Рубинский В. Л. Магнитно-упругое поле в теле с полубесконечным разрезом.— ПММ, 1980, т. 44, вып. 5, с. 916—922.