

до 1000 МПа. Характерной ее особенностью является создание условий сжатой среды на выходе проволоки из волоки, при этом привод волочения расположен вне контейнера высокого давления. Установка состоит из ступенчатого контейнера 1, в верхней части которого расположен узел крепления волоки 2 и барабан 3, ось барабана посажена на подшипники 4. В рабочую полость контейнера заливается малосжимаемая жидкость, обладающая хорошими смазочными свойствами. В нижней части контейнера монтируется система шайб 5 и уплотнений 6, набитых консистентной смазкой. В шайбах выполнены отверстия, передающие давление, при этом отверстия каждой шайбы с целью плавного гашения давления не совпадают с отверстиями соседних шайб. Высокая вязкость смазки в нижней ступени контейнера также обеспечивает снижение уровня давления по мере удаления от волоки.

Установка предназначена для работы на гидравлическом прессе ПСУ-10. После заправки в волоку проволоки и установки узла ее крепления в контейнер в нижнюю ступень устройства, гасящую давление, набивают консистентной смазкой, после чего укладывают шайбы и уплотнения. Затем наливают жидкость в рабочую полость контейнера и посредством плунжера 7 создают необходимое давление. С помощью привода 8 создается необходимое усилие волочения микропроволоки, а также осуществляется ее намотка на приемную катушку. Установка легко переналаживается. При съеме узла крепления волоки и замене нижнего уплотнения в полости контейнера можно производить стандартные испытания на растяжение и сжатие под гидростатическим давлением.

УДК 621.771.013

С.М. КРАСНЕВСКИЙ, канд.техн.наук,
Е.М. МАКУШОК, д-р техн.наук (ФТИ АН БССР)

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ОТ СТЕПЕНИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАПАСА ПЛАСТИЧНОСТИ

Предел статической прочности, являющийся гостированной механической характеристикой материала, играет важную роль при определении эксплуатационных характеристик изделий и при расчетах на прочность деталей самого различного типа и назначения. Следовательно, исследование кинетики изменения предела прочности при пластическом деформировании и оценка изменения его в зависимости от степени использования пластических свойств материала позволяет выбирать оптимальные условия процесса обработки давлением и является актуальной задачей.

При пластической деформации происходит зарождение, рост и слияние субмикро-, микро- и макроскопических дефектов, которые уменьшают рабочее (эффективное) сечение образца. Это определяет увеличение удельной нагрузки на единицу площади рабочего сечения и уменьшение прочностных свойств материала в процессе пластического формоизменения и после него.

В последнее время предложен ряд критериев разрушения металлов при пластическом формоизменении, основанных на концепции накопления по-

повреждаемости [1,2]. За меру разрушения принимается параметр повреждаемости Π , меняющийся в процессе деформирования в определенных пределах, критическая величина которого в некоторой точке считается критерием разрушения в этой же точке образца.

В работе [2] за функцию повреждаемости Π при холодном деформировании принимали положительную скалярную величину, которая возрастает при увеличении степени деформации сдвига Λ , равную нулю при отсутствии пластической деформации и равную 1 при разрушении, т.е. когда накопленная деформация достигает своего предельного значения $\Lambda = \Lambda_{\text{пр}}(\sigma^*)$, где $\Lambda_{\text{пр}}(\sigma^*)$ – предельная степень деформации сдвига, накопленная к моменту разрушения; $\sigma^* = \sigma_0/\tau_1$ – показатель напряженного состояния; σ_0 – среднее (гидростатическое) давление; τ_1 – интенсивность касательных напряжений. Функция повреждаемости является в некотором роде интегральной характеристикой, учитывающей накопление в процессе пластической деформации различного вида дефектов.

Рассмотрим образец, подвергающийся пластическому формоизменению, который характеризуется пределом прочности $\sigma_{\text{в}}$. По мере возрастания пути пластического деформирования и степени накопленной деформации сдвига предел прочности будет уменьшаться по сравнению со своим первоначальным значением $\sigma_{\text{в}0}$, характеризующим исходный (неповрежденный) материал.

Применив подход, аналогичный разработанному для анализа накопления повреждаемости при пластическом формоизменении [2], положим, что уменьшение предела прочности пропорционально приращению повреждаемости при пластическом деформировании:

$$\Delta q = -m \Delta \Pi. \quad (1)$$

Здесь $q = \sigma_{\text{в}}/\sigma_{\text{в}0}$ – безразмерный предел прочности; m – массовый коэффициент (по определению q и пределам изменения функции повреждаемости $m = 1$); $\Delta \Pi$ – изменение повреждаемости.

Считая процесс накопления повреждаемости при активном деформировании макроскопически непрерывным, перейдем в уравнении (1) от разностей к дифференциалам:

$$dq = -d\Pi. \quad (2)$$

Для определения повреждаемости Π воспользуемся дифференциальным законом изменения функции повреждаемости, предложенным в работе [2]:

$$\frac{d\Pi}{d\Lambda} = n\Lambda^\alpha, \quad (3)$$

где n – нормирующий множитель; $\alpha = \alpha(\sigma^*)$ – некоторая физическая константа материала, зависящая от термомеханических параметров деформации и определяющая нелинейность накопления повреждаемости при пластическом формоизменении.

С учетом (2) и (3) получим дифференциальное уравнение, определяющее изменение относительного предела прочности в зависимости от степени деформации сдвига, накопленной к рассматриваемому моменту,

$$dq = -n\Lambda^\alpha d\Lambda. \quad (4)$$

Решение уравнения (4) производили с учетом следующих граничных условий:

а) для неповрежденного материала при $\Lambda = 0$ $q = 1$;

б) в момент начала разрушения при $\Lambda = \Lambda_{\text{пр}}$ $q = 0$.

Интегрируя уравнение (4), получим

$$q = - \frac{n}{1 + \alpha} \Lambda^{1 + \alpha} + C. \quad (5)$$

Из граничного условия а) по уравнению (5) найдем $C = 1$. Из граничного условия б) и равенства $C = 1$ по уравнению (5) определим нормирующий множитель:

$$n = \frac{1 + \alpha}{\Lambda_{\text{пр}}^{1 + \alpha} (\sigma^*)}$$

Подставив эти значения в уравнение (5), получим выражение, определяющее изменение предела прочности в зависимости от накопленной деформации сдвига при пластическом формоизменении:

$$\sigma_{\text{в}} = \sigma_{\text{в}0} \left[1 - \left(\frac{\Lambda}{\Lambda_{\text{пр}} (\sigma^*)} \right)^{1 + \alpha (\sigma^*)} \right]. \quad (6)$$

Коэффициент нелинейности накопления повреждаемости α в зависимости от показателя напряженного состояния определяется следующим выражением [2]:

$$\ln [1 + \alpha (\sigma^*)] = (1 + 0,25 \sigma^*) \ln (1 + \alpha_{\text{к}}), \quad (7)$$

где $\alpha_{\text{к}}$ — коэффициент нелинейности накопления повреждаемости, определенный при $\sigma^* = 0$.

Анализ уравнений (6) и (7) показывает, что изменение прочностных свойств материала в зависимости от степени использования запаса пластичности происходит по нелинейному закону, так как $\alpha (\sigma^*) \geq 0$. На начальной стадии пластической деформации до $\Lambda/\Lambda_{\text{пр}} \leq 0,3-0,4$ происходит незначительное уменьшение текущего предела прочности. По мере увеличения степени использования запаса пластичности скорость уменьшения прочностных свойств увеличивается, и при $\Lambda/\Lambda_{\text{пр}} > 0,6$ небольшое приращение пластической деформации вызывает значительное снижение предела прочности, что качественно согласуется с данными других авторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пластичность и разрушение/Под ред. В.Л. Колмогорова и др. — М.: Металлургия, 1977. — 336 с. 2. Красневский С.М., Макушок Е.М., Щукин В.Я. Разрушение металлов при пластическом деформировании. — Минск: Наука и техника, 1983. — 173 с.