

УДК 621.7.011

В. А. Огородников, А. В. Грушко, А. В. Гуцалюк

ИСТОРИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ ПРИМЕНЕНИЕ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ РАЗРУШЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Винницкий национальный технический университет

В статье обоснован выбор критериев разрушения в задачах обработки металлов давлением, в зависимости от кривизны пути деформирования и скорости накопления повреждений. Полученные инженерные формулы для определения использованного ресурса пластичности при формообразовании шаровых пальцев автомобиля.

ВСТУПЛЕНИЕ

С помощью феноменологических критериев разрушения, применяемых в обработке металлов давлением, оценивают использованный ресурс пластичности в задачах обработки металлов давлением. Однако выбор критериев разрушения для решения различных задач, оценка точности результатов расчета вызывает затруднения методического характера.

Многие процессы холодной обработки металлов давлением сопровождаются сложным нагружением, при этом, следуя терминологии А. А. Ильюшина, они классифицируются как траектории малой, средней и большой кривизны. Применение критериев для указанных процессов оправдано в случаях, когда точность расчетов лежит в пределах точности инженерных расчетов.

Целью данной работы является выбор феноменологических критериев разрушения для оценки использованного ресурса пластичности в процессах, сопровождающихся различной историей деформирования.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Под историей деформирования будем понимать траекторию движения частиц материала в пространстве - накопленная интенсивность деформаций:

$$e_u = \int_0^t \overline{\varepsilon}_u d\tau \quad (1)$$

и безразмерные показатели напряженного состояния, составленные из инвариантов тензора и деватора напряжений. Рассмотрим эти показатели:

- показатель η [1]:

$$\eta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_u}, \quad (2)$$

равный отношению гидростатического давления к интенсивности напряжений;

- показатель χ [2]:

$$\chi = \frac{\sqrt[3]{\sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3}}{\sigma_u}, \quad (3)$$

- показатель μ_σ (параметр Надаи-Лоде):

$$\mu_\sigma = 2 \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}. \quad (4)$$

Будем характеризовать скорость накопления повреждений первой производной от показателей $\frac{d\eta}{de_u}$, $\frac{d\chi}{de_u}$, $\frac{d\mu_\sigma}{de_u}$, а вторая производная от показателей $\frac{d^2\eta}{de_u^2}$, $\frac{d^2\chi}{de_u^2}$, $\frac{d^2\mu_\sigma}{de_u^2}$ характеризует кривизну пути деформирования.

Рассмотрим влияние траекторий деформирования на выбор феноменологических критериев разрушения применительно к различным процессам обработки давлением.

Наиболее простым критерием, не учитывающий влияние истории деформирования, является критерий Г. А. Смирнова-Аляева [1]:

$$\psi = \frac{e_u}{e_p(\eta)} \leq 1. \tag{5}$$

Этот критерий можно применять для процессов пластического деформирования, в которых реализуются траектории деформирования $\eta = const$, $\frac{d\eta}{de_u} = 0$. Критерий В. Л. Колмогорова [3]:

$$\psi = \int_0^{e_p^*} \frac{\bar{\varepsilon}_u de_u}{e_p(\eta)} \leq 1 \tag{6}$$

учитывает историю деформирования и основан на линейной теории накопления повреждений. Этот критерий можно применять для процессов пластического деформирования, когда реализуются траектории деформирования $\frac{d\eta}{de_u} \neq 0$, однако пределы применимости критерия, ограничиваются процессами, в которых суммирование повреждений подчиняется линейным законам.

Критерий В. А. Огородникова [2]:

$$\psi = \int_0^{e_u^*} \left(1 + 0,2 \arctg \frac{d\eta}{de_u} \right) \frac{e_u^{0,2 \arctg \frac{d\eta}{de_u}} de_u}{[e_p(\eta, \chi)]^{1+0,2 \arctg \frac{d\eta}{de_u}}} \leq 1 \tag{7}$$

основан на нелинейной теории накопления повреждений и может применяться для процессов, в которых история деформирования характеризуется траекторией $\frac{d\eta}{de_u}$, $\frac{d\chi}{de_u}$ в более широком диапазоне, величина которого будет определена в настоящей работе.

В работе [2] приведены экспериментальные данные о пластичности цилиндрических образцов из материалов, не образующих шейки при растяжении (стали Р9, Р12, Р18). Цилиндрические образцы подвергали совместному кручению и растяжению, на фоне изменяющегося гидростатического давления, при этом возможно реализовать различные траектории деформирования $\eta = \eta(e_u)$, $\eta = const$, $\chi = const$, $\chi = \chi(e_u)$. На рис. 1 показаны пути деформирования $\eta = \eta(e_u)$, а также диаграмма пластичности стали Р18.

Результаты изложенного выше анализа экспериментальных данных указывают на заметное влияние скорости изменения показателя напряженного состояния в виде параметра $\frac{d\eta}{de_u}$. Если $\frac{d\eta}{de_u}$ возрастает, увеличивается влияние истории деформирования на величину предельных деформаций (e_p выше по сравнению с величиной e_p , определенной по диаграмме пластичности). В случае изменения знака производной $\frac{d\eta}{de_u} < 0$ пластичность падает (по сравнению с величиной e_p , определенной по диаграмме пластичности). Заметим, однако, что функция $\eta = \eta(e_u)$ включает в себя

переменность двух параметров – показателя η и кривизну траектории деформации $H = 1/\rho$ (следуя терминологии А. А. Ильюшина).

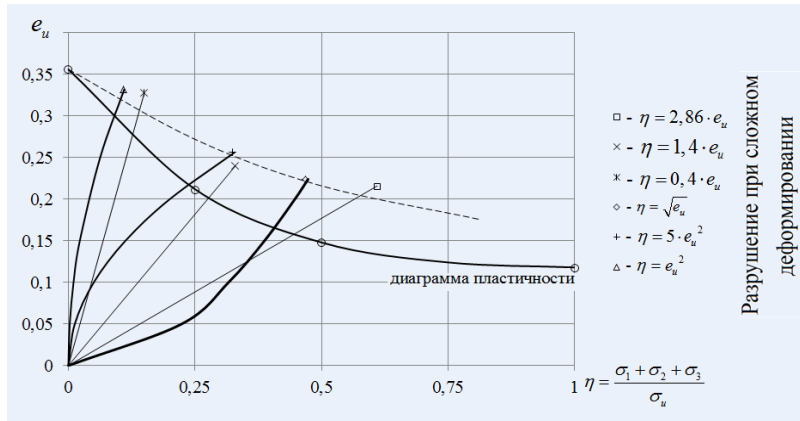


Рисунок 1 – Влияние истории деформирования на пластичность стали P18 [2]

С тем, чтобы выделить влияние каждого параметра, в работе [2] получены зависимости кривизны траектории деформаций $\chi = \chi(e_z)$ от осевой деформации e_z для образцов, деформируемых в условиях сложной деформации $\eta = 2,86 \cdot e_u$, $\eta = \sqrt{e_u}$, $\eta = e_u^2$, $\eta = 1,4 \cdot e_u$. При указанных траекториях кривизна траектории деформации меняется от $H = 8$ до $H = 0,5$, величина предельных деформаций (рис. 2) слабо зависит от кривизны H траектории деформаций. При этом показатель η меняется практически одинаково для путей деформирования $\eta = 2,86 \cdot e_u$, $\eta = \sqrt{e_u}$. Совпадение фактических деформаций при разрушении образцов $\eta = \sqrt{e_u}$ и $\eta = 2,86 \cdot e_u$, а также образцов $\eta = e_u^2$ и $\eta = 1,4 \cdot e_u$ позволяют предположить, что на пластичность основное влияние оказывает скорость изменения показателя η , а не кривизна траектории деформаций. Этот вывод можно отнести к траекториям малой или средней кривизны.

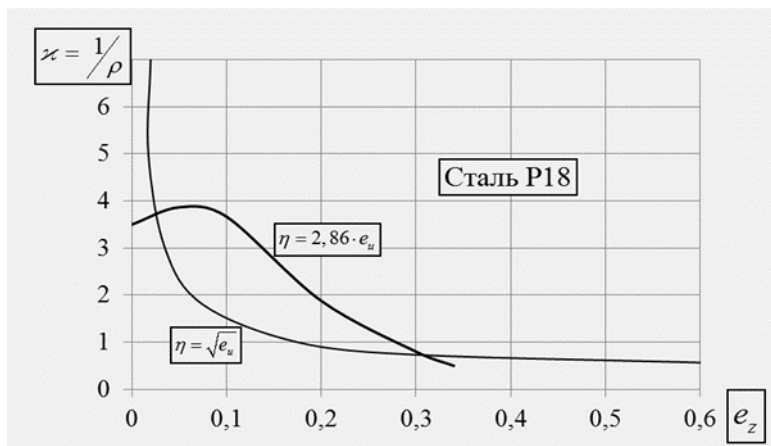


Рисунок 2 – Зависимость кривизны траектории деформаций (%) от осевой деформации e_z цилиндрических образцов, подвергаемых кручению совместно с растяжением [2]

Главным преимуществом задания траекторий нагружения в пространстве безразмерных показателей напряженного состояния заключается в том, что в этом случае вид «пути деформирования» однозначно определяется условиями формоизменения, характерными для заданного процесса и практически не зависят от механических свойств материала [2]. Это позволяет моделировать процессы обработки давлением на модельных материалах, в этом случае необходимо иметь кривые течения $\sigma_u = f(e_u)$ и диаграммы пластичности $e_p = f(\eta, \chi, \mu_\sigma)$ [4].

В работе [2] введен коэффициент ω , отражающие влияние скорости изменения показателя напряженного состояния на пластичность:

$$\omega = \frac{e_p(\eta)}{e_p(\eta = const)} \quad (8)$$

В формуле (8) $e_p(\eta)$ рассчитывают по критериям, или $e_p(\eta)$ отражает фактическую деформацию в момент разрушения; $e_p(\eta = const)$ находят по диаграмме пластичности в месте пересечения диаграммы пластичности с путем деформирования. Таким образом, коэффициент ω отражает влияние истории деформирования на пластичность.

Расчет предельных деформаций по критериям (5), (6), и (7) показал, что если параметр $\frac{d\eta}{de_u}$ возрастает, то растет отклонение фактических деформаций в момент разрушения от расчетных по различным критериям. Так, если $\frac{d\eta}{de_u}$ близок к нулю, то все критерии дают одинаковый результат,

отклонения от фактических деформаций лежат в пределах статистической погрешности. При $\frac{d\eta}{de_u} > 2$ влияние истории деформирования на пластичность достигает 23 %, при этом кривизна траектории деформации $\frac{d^2\eta}{de_u^2}$ оказывает подобное влияние – с ростом кривизны возрастает влияние истории

деформирования на пластичность, в случае, если $\frac{d\eta}{de_u} > 5$, то наиболее близки результаты расчета к экспериментальным дает критерий (7). Критерий (6) показывает отклонение до 25 %, критерий (5) – до 30 %.

Рассмотрим примеры выбора критериев разрушения в задачах обработки металлов давлением. В рассмотренных далее процессах траектории деформирования можно отнести к траекториям малой кривизны ($\eta = const$) и большой кривизны.

2 ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ ЗАГОТОВОК ПРИ ХОЛОДНОЙ ВЫСАДКЕ СФЕРИЧЕСКИХ УТОЛЩЕНИЙ В ЗАКРЫТОМ ШТАМПЕ

Примером технологического процесса, в котором путь деформирования частиц материала практически не изменяется в процессе формоизменения заготовок, является процесс холодной высадки осесимметричных заготовок в закрытом штампе [2].

При холодной объемной штамповке сферических утолщений на боковой поверхности реализуется траектория деформирования близкая к $\eta = const = -1$. На рис. 3 представлена траектория деформирования частиц материала стали Ст45 при холодной высадке. На этом же рисунке показана диаграмма пластичности, построенная с учетом ($I_3(T_\sigma) \neq 0$, кривая 2) и без учета ($I_3(T_\sigma) = 0$) третьего инварианта тензора напряжений. В таблице 1 приведены результаты расчета использованного ресурса пластичности при холодной высадке сферических заготовок. Расчет проводили по критерию Г. А. Смирнова-Аляева [1]. Исходя из предположения о независимости пути деформирования $\eta = \eta(e_u)$ от свойств материала, использованный ресурс пластичности при холодной высадке можно рассчитать следующим образом:

$$e_u = 2 \ln \frac{D_0}{D} m, \quad (9)$$

где $2 \ln \frac{D_0}{D}$ – средняя интенсивность деформаций при высадке; m – коэффициент неравномерности деформаций (в нашем случае $m = 0,806$).

Интенсивность деформаций в момент разрушения $e_p(\eta)$ можно определить по диаграмме пластичности для показателя η в опасной области заготовки.

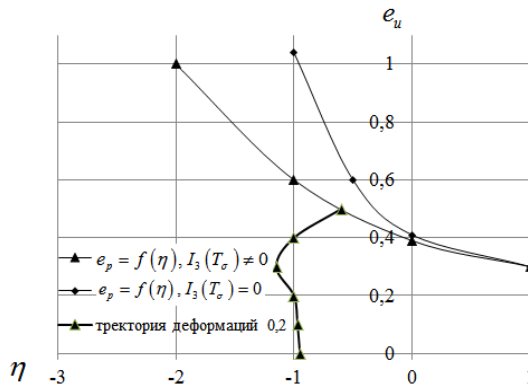


Рисунок 3 – Диаграмма пластичности стали 45 и траектория деформаций при холодной высадке [2]

Таблица 1 – Исползованный ресурс пластичности при холодной высадке[2]

Радиус заготовки r , мм	Среднее напряжение, σ	Показатели напряженного состояния		Исползованный ресурс пластичности		Расхождение ε , %
		η	χ	$\psi, I_3(T_\sigma) \neq 0$	$\psi, I_3(T_\sigma) = 0$	
0	-140	-5,2	-1,67			
1,4	-136	-4,8	-1,56			
2,8	-129	-4,5	-1,46			
4,2	-118	-4,2	-1,33			
5,6	-106	-3,8	-1,2			
7,4	-87	-3,2	-0,97			
8,4	-78	-3,0	-0,90			
9,8	-58	-2,3	-0,63			
11,2	-39	-1,6	-0,33	0	0,829	100
12,8	-18	-0,77	+0,23	0,666	0,964	31
13,3	-13	-0,56	+0,19	0,72	0,923	22

3 ПРОЦЕСС ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ВОЛОЧЕНИЯ

Более сложным процессом обработки давлением, в котором показатель напряженного состояния изменяется существенно, является процесс осесимметричного волочения [5]. На рис. 4 показаны пути деформирования частиц вдоль линий тока для волочения проволоки, из него следует, что частицы металла вдоль линий тока подвергаются сложному нагружению, при этом показатель напряженного состояния изменяется от $\eta = -1,75$ до $0,6$.

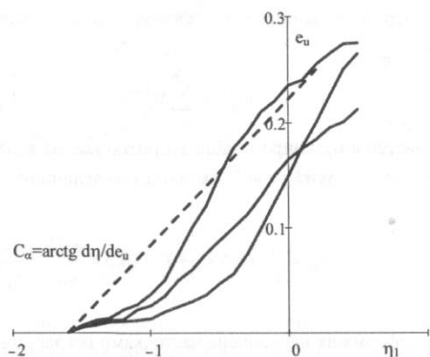


Рисунок 4 – Пути деформирования частиц вдоль линий тока для волочения проволоки [5]

Из [5] следует, что при холодном волочении в опасных, с точки зрения разрушения, зонах очага деформации находятся частицы металла на оси симметрии. На оси симметрии показатель напряженного состояния меняется от $\eta = -1,75$ до $\eta = 0,6$, а коэффициент чувствительности

пластичности для ряда материалов в интервале $1 \geq \eta \geq 0$ изменяется незначительно ($\lambda = \ln \frac{e_p(\eta=0)}{e_p(\eta=1)}$). λ близок к нулю. Поэтому для прогнозирования разрушения заготовок при волочении диаграмму пластичности допустимо строить путем испытания на растяжение, аппроксимируя ее прямой [4]:

$$e_p = 2 \ln \frac{d}{d_{ш}}, \quad (10)$$

где d – начальный (исходный) диаметр проволоки; $d_{ш}$ – диаметр «шейки» разрушенного при растяжении образца.

Если пути деформирования $\eta = \eta(e_u)$ аппроксимировать прямыми с углом наклона к оси e_u : $C_\alpha = \arctg\left(\frac{d\eta}{de_u}\right)$ (рис. 4), то с помощью критерия (7) можно записать соотношение для расчета использованного ресурса пластичности:

$$\psi^{(N)} = \sum_{i=1}^n (1 + 0,2C_\alpha)^{(n,i)} \int_0^{e_u^{(n,i)}} \frac{e_u^{0,2C_\alpha^{(n,i)}} de_u}{[e_p^{(N)}]^{1+0,2C_\alpha^{(n,i)}}} = \sum_{i=1}^{nN} \left(\frac{e_u^{(n,i)}}{e_p}\right)^{0,2C_\alpha^{(n,i)}+1}, \quad (11)$$

где n – количество монотонных i -х этапов деформирования на N -ом переходе волочения; $e_p^{(N)}$ – пластичность при растяжении заготовок подготовленных к N -му переходу волочения; $C_\alpha^{(n,i)}$ – угол C_α на n, i -м монотонном этапе деформирования; $e_u^{(n,i)}$ – накопленная интенсивность деформаций на n, i -м этапе деформирования. На этом этапе формулу (2) проверяли путем эксперимента на примере волочения прутков проволоки из терморазрушаемых сплавов хромель, копель, никель-молибден [4]. С этой целью пластичность определяли растяжением прутков диаметром $D^{(n)}$ в направлении волочения

$e_p' = 2 \ln \frac{D^{(n)}}{d_{ш}^{(n)}}$. Эту же величину можно рассчитать, т. к. условие разрушения в этом случае имеет вид

$$\psi = \frac{e_u}{e_p + \psi^{(n)}}, \quad (12)$$

отсюда

$$e_p' = e_p(1 + \psi^{(n)}). \quad (13)$$

На рис. 5 показано сопоставление ресурса пластичности для одноосного растяжения проволоки.

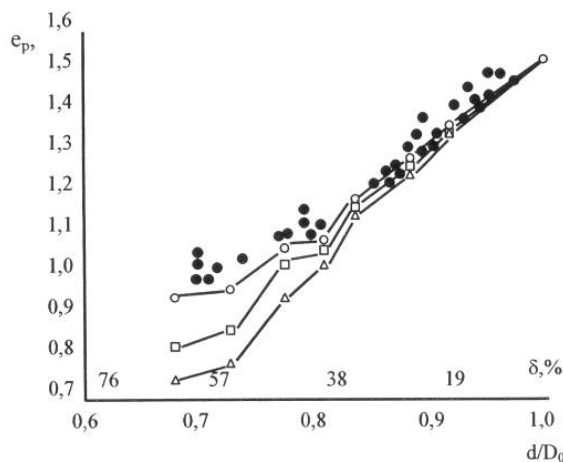


Рисунок 5 – Изменение ресурса пластичности для одноосного растяжения проводов:

- – результаты эксперимента; □ – расчетные значения по Дель–Огородникову;
- – расчетные значения согласно тензорному подходу; Δ – расчетные значения по Колмогорову

Анализ результатов (см. рис. 5) нам позволяет сделать вывод: с увеличением суммарного обжатия, растет расхождение между экспериментальными и расчетными значениями. Установлено также, что при волочении с обжатием ($\delta \leq 0,25$) расхождение между экспериментальными значениями e_p и рассчитанными с помощью критерия (7) не превышает 10 %, при этом расчетные значения меньше экспериментальных. Это обстоятельство позволило определить коэффициент $C_\alpha = \text{arctg} \left(\frac{d\eta}{de_u} \right)$ по формуле [5]:

$$C_\alpha^{(n)} = 5 \left[\frac{\ln(1 - e_p^{(n)}) / e_p^{(n)}}{\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{\delta}{100} \right) / e_p^{(n)} \right)} - 1 \right]. \quad (14)$$

Таким образом, маршрут операции волочения может быть построен с помощью алгоритма, основанного на критерии (7).

Расчет использованного ресурса пластичности проводили на примере исследования технологии волочения проволоки и прутков из термопарных сплавов хромель, копель, алюмель и сплавов системы никель-молибден с различным содержанием молибдена (2...17 ат %). С этой целью определяли пластичность изделия диаметром $D^{(n)}$ для растяжения в направлении волочения:

$$e_p' = 2 \ln \frac{D^{(n)}}{d_u^{(n)}}.$$

Эту же величину можно рассчитать, поскольку условие разрушения в этом случае будет иметь вид:

$$\frac{e_p'}{e_p} + \psi_p^{(n)},$$

откуда

$$e_p' = e_p (1 + \psi_p^{(n)}).$$

Результаты сравнения экспериментальных и расчетных значений представлены на рис. 5. Анализ результатов, показанных на рис. 5, позволяет сделать следующий вывод: с увеличением суммарного обжатия растет различие между экспериментальными и расчетными значениями.

Уменьшение различия между расчетными и экспериментальными значениями e_p' можно достичь, если для прогнозирования разрушения использовать критерии, учитывающие направленный характер накопления повреждений. Пользуясь работой [5], и учитывая, что на каждом n, i -м монотонном этапе деформирования частиц вдоль оси $\beta_{ij} = \text{const}$, находим компоненты тензора повреждаемости:

$$\psi_{ij}^{(n,i)} = \frac{\beta_{ij}^{(n,i)}}{e_p} \int_{e_u^{(n,i-1)}}^{e_u^{(n,i)}} \left(0,5 + \frac{e_u}{e_p} \right) de_u = \frac{\beta_{ij}^{(n,i)}}{2e_p^2} \cdot \left[(e_u^{(n,i)} - e_u^{(n,i-1)}) (e_p + e_u^{(n,i)} + e_u^{(n,i-1)}) \right],$$

где e_p – начальная пластичность заготовок при растяжении [1].

За N переходов компоненты тензора повреждаемости:

$$\psi_{ij}^{(N)} = \sum_{i=1}^{n,N} \psi_{ij}^{(n,i)}. \quad (15)$$

При следующем испытании на растяжение в направлении волочения, компоненты тензора $\psi_{ij}^{(N)}$ изменятся на величину:

$$\Delta\psi_{zz} = \sqrt{\frac{2}{3} \left[0,5 \cdot \left(\frac{e_p'}{e_p} \right)^2 + \left(0,5 + \frac{e_u^{(N)}}{e_p} \right) \cdot \frac{e_p'}{e_p} \right]}, \quad (16)$$

где $e_u^{(N)}$ – деформация, накопленная вдоль оси заготовки за N переходов волочения; e_p' – пластичность проволоки, протянутой за N переходов при растяжении.

Из условия разрушения:

$$\left(\psi_{ij}^{(N)} + \Delta\psi_{ij} \right) \left(\psi_{ij}^{(N)} + \Delta\psi_{ij} \right) = 1 \quad (17)$$

находим, учитывая, что $\psi_{ij} = 0$

$$e_p' = e_p \left(-0,5 - \frac{e_p^{(N)}}{e_p} + \sqrt{\left(0,5 + \frac{e_u^{(N)}}{e_p} \right)^2 + 6\psi_{zz}^{(N)} + 6\psi_{zz}^{(N)2} + 4} \right). \quad (18)$$

Из сравнения расчетных и экспериментальных значений предельных деформаций e_p' при растяжении проволоки после волочения в N переходов (см. рис. 5) видно, что отклонение не превышает 10 % и практически не зависит от величины суммарных обжатий.

ВЫВОДЫ

1) Целесообразность применения критериев разрушения в задачах обработки металлов давлением определяется скоростью накопления повреждений и кривизной – пути деформирования:

а. При значениях параметра $\frac{d\eta}{de_u}$ близким к нулю ($\eta = const$) целесообразно использовать

критерий Г. А. Смирнова-Аляева (1) (например, формирование крутоизогнутых отводов, операций – гибка, штамповка сферических утолщений и др.).

б. При значениях параметра $0,5 \leq \frac{d\eta}{de_u} \leq 1,75$ можно использовать критерий В. Л. Колмогорова

(6). Применение этого критерия целесообразно, если кривизна пути деформирования находится в пределах $0,25 \leq \frac{d^2\eta}{de_u^2} \leq 2$.

в. В случае изменения параметра $\frac{d\eta}{de_u} \geq 2$ наибольшую точность дает критерий

В. А. Огородникова (7). Применение этого критерия целесообразно, если кривизна пути деформирования находится в пределах $\frac{d^2\eta}{de_u^2} \geq 3$.

2) Разработан маршрут волочения проводов основанный на критерии (7), учитывающий скорость накопления повреждений.

Получены инженерные формулы, позволяющие оценивать использованный ресурс пластичности при формообразовании шаровых пальцев автомобиля, изготовленных из материалов с различной прочностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов-Аляев Г. А. Механические основы пластической обработки металлов / Г. А. Смирнов-Аляев. – Л. : Машиностроение, 1978. – 368 с.

2. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. – К. : Вища школа. Главное изд-во, 1983. – 175 с.
3. Колмогоров В. Л. Напряжения. Деформации. Разрушение / Колмогоров В. Л. – М. : Металлургия, 1970. – 272 с.
4. Огородников В. А. Моделирование процесса формообразования крутоизогнутых отводов на основе теории деформируемости / В. А. Огородников, А. В. Грушко. // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тем. зб. наук. праць. – Краматорськ, 2000. – С. 5–10.
5. Огородников В. А. Деформація волочинням і фізико-механічні властивості тонких термодієвних дротів : монографія / В. А. Огородников, О. Ю. Співак, О. В. Грушко. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 112 с.

REFERENCES

1. Smyrnov-Alyayev G. A. Mexanycheskiye osnovi plastycheskoj obrabotky metallov / G. A. Smyrnov-Alyayev. – L.: Mashynostroeny`e, 1978. – 368 s.[in Russian]
2. Ogorodnikov V. A. Otsenka deformiruемости metallov pri obrabotke davleniem / V. A. Ogorodnikov – Kiev: Vischa shkola. Glavnoe izd-vo, 1983. – 175s. [in Russian]
3. Kolmogorov V.L. Napryazheniya. Deformatsiya. Razrusheniye – M.: Metallurgiya, 1970. -272 s.[in Russian]
4. Ogorodnykov V.A. Modelirovaniye processa formoobrazovaniya krutoyzoognutyykh otvodov na osnove teoryi deformiruemyosti / V. A. Ogorodnykov, A. V. Grushko. – Udoskonalennyya procesiv i obladnannya obrobky tyskom v metalurgiyi i mashynobuduvanni: Tem. zb. nauk. pracz – Kramatorsk. – 2000. – с. 5-10.
5. Ogorodnikov V.A. Deformatsiya volochinnyam i fizyko-mexanichni vlastyvoli tonkykh termoparnyyh drotyv: monografiya / V.A. Ogorodnikov, O. Yu. Spivak, O.V. Grushko. – Vinny`cya : VNTU, 2014. - 112 с.

В. А. Огородников, О. В. Грушко, О. В. Гуцалюк

ІСТОРІЯ ДЕФОРМУВАННЯ, ЯКА ВИЗНАЧАЄ ЗАСТОСУВАННЯ ФЕНОМЕНОЛОГІЧНИХ КРИТЕРІЇВ РУЙНУВАННЯ В ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ ТИСКОМ

Винницький національний технічний університет

В статті обґрунтовано вибір критеріїв руйнування в задачах обробки металів тиском, залежно від кривизни шляху деформування та швидкості накопичення пошкоджень; отримані інженерні формули для визначення використаного ресурсу пластичності при формоутворенні шарових пальців автомобіля.

Об'єкт дослідження – процес формоутворення шарових пальців автомобіля.

Мета роботи – вибір феноменологічних критеріїв руйнування для оцінки використаного ресурсу пластичності в процесах, що супроводжуються різною історією деформування. Метод дослідження – емпіричний науковий метод.

В задачах обробки металів тиском часто виникає необхідність вибору критеріїв руйнування для розрахунку використаного ресурсу пластичності і прогнозування руйнування деталі. Встановлено, що доцільність застосування критеріїв руйнування в задачах обробки металів тиском визначається швидкістю накопичення пошкоджень і кривизною шляху деформування. Надані рекомендації з використання критеріїв руйнування залежно від складності виготовлення деталей в процесах обробки металів тиском.

Результати статті можуть бути впроваджені в технології виробництва автомобільних деталей в процесах обробки металів тиском.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – пошук оптимальної технології виробництва деталей автомобіля з мінімальною кількістю бракованих виробів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КРИТЕРІЇ РУЙНУВАННЯ, ПЛАСТИЧНІСТЬ, ШЛЯХ ДЕФОРМУВАННЯ, ВИКОРИСТАНИЙ РЕСУРС ПЛАСТИЧНОСТІ.

Огородніков В. А., доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри Опору матеріалів та прикладної механіки, e-mail: va.ogorodnikov@mail.ru, тел. (0432) 598-184, Україна, 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, корпус 1, кім. 1115

Грушко О. В., доктор технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, професор кафедри Опору матеріалів та прикладної механіки, e-mail: grushko_alex@mail.ru, тел. (0432) 598-519, Україна, 21037, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Гуцалюк О. В., Вінницький національний технічний університет, аспірант кафедри Опору матеріалів та прикладної механіки, e-mail: oleksandrompm@mail.ua, Україна, 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

В. А. Огородніков, А. В. Грушко, А. В. Гуцалюк

ИСТОРИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ ПРИМЕНЕНИЕ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ РАЗРУШЕНИЯ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Винницкий национальный технический университет

В статье обоснован выбор критериев разрушения в задачах обработки металлов давлением, в зависимости от кривизны пути деформирования и скорости накопления повреждений; получены инженерные формулы для определения использованного ресурса пластичности при формообразовании шаровых пальцев автомобиля.

Объект исследования – процесс формообразования шаровых пальцев автомобиля.

Цель работы – выбор феноменологических критериев разрушения для оценки использованного ресурса пластичности в процессах, сопровождающихся разной историей деформирования. Метод исследования – эмпирический научный метод.

В задачах обработки металлов давлением часто возникает необходимость выбора критериев разрушения для расчета использованного ресурса пластичности и прогнозирования разрушения детали. Установлено, что целесообразность применения критериев разрушения в задачах обработки металлов давлением определяется скоростью накопления повреждений и кривизной пути деформирования. Даны рекомендации по использованию критериев разрушения в зависимости от сложности изготовления деталей в процессах обработки металлов давлением.

Результаты статьи могут быть внедрены в технологии производства автомобильных деталей в процессах обработки металлов давлением.

Прогнозные предположения по развитию объекта исследования – поиск оптимальной технологии производства деталей автомобиля с минимальным количеством бракованных изделий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: КРИТЕРИИ РАЗРУШЕНИЯ, ПЛАСТИЧНОСТЬ, ПУТЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЙ РЕСУРС ПЛАСТИЧНОСТИ.

Огородніков В. А., доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри Спротивлення матеріалів та прикладної механіки, e-mail: va.ogorodnikov@mail.ru, тел. (0432) 598-184, Україна, 21021, г. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, корпус 1, ком. 1115

Грушко А. В., доктор технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, професор кафедри Спротивлення матеріалів та прикладної механіки, e-mail: grushko_alex@mail.ru, тел. (0432) 598-519, Україна, 21037, г. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Грушко А. В., доктор технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, професор кафедри Спротивлення матеріалів та прикладної механіки, e-mail: grushko_alex@mail.ru, тел. (0432) 598-519, Україна, 21037, г. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Гуцалюк А. В., Вінницький національний технічний університет, аспірант кафедри Спротивлення матеріалів та прикладної механіки, e-mail: oleksandrompm@mail.ua, Україна, 21021

V. A. Ogorodnikov, O. V. Grushko, O. V. Gutsaliuk

HISTORY OF DEFORMATION, THAT DETERMINES APPLICATION OF PHENOMENOLOGICAL CRITERIA OF DESTRUCTION IN THE PROCESS OF TREATMENT BY PRESSURE

Vinnitsia National Technical University

The choice of criteria fracture in problems of metal forming, depending on the curvature of the path deformation and damage accumulation rate is substantiated in the article; engineering formulas for determining ductility resource used in the shaping of layer car pins are received.

The object of the study is the process of forming laminated car pin.

The purpose is the choice of phenomenological criteria for the evaluation of fracture ductility resource used in processes involving different histories deformation. The method of research is the empirical scientific method.

It is often necessary to choose the criteria for calculating fracture ductility resource used and predicting the destruction of parts in metal forming problems. It has been established that the feasibility of fracture criteria in problems of metal forming is determined by the rate of damage accumulation and the curvature of the path of deformation. Recommendations on use of criteria destruction depending on the complexity of manufacturing parts in metal forming processes are presented.

The results of articles can be introduced in technology of automotive parts in metal forming processes.

The projected assumptions about the object of study are the search for the optimal technology of car parts with a minimum number of defective products.

KEYWORDS: DESTRUCTION CRITERIA, PLASTICITY, WAY DEFORMATION, DUCTILITY RESOURCE .

Ogorodnikov V. A. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Materials and Applied Mechanics, Vinnitsia National Technical University, e-mail: va.ogorodnikov@mail.ru, tel. (0432) 598-184, Ukraine, 21021, Vinnitsia, Khmelnytskyi Highway 95, room. 1115

Grushko O. V., Dr. Sc. (Eng.), Professor, , Professor of the Chair of Materials Resistance and Applied Mechanics, Vinnitsia National Technical University, e-mail: grushko_alex@mail.ru, tel. (0432) 598-519, Ukraine, 21037, Vinnitsia, Khmelnytskyi Highway 95.

Gutsaliuk O. V. – Post-Graduate Student of the Chair of Materials Resistance and Applied Mechanics, Vinnitsia National Technical University, e-mail: oleksandrompm@mail.ua, Ukraine, 21021, Vinnitsya, Khmelnytsky Highway 95.