
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МЕТАЛООБРАБОТКА

УДК 621.771.63

ВЛИЯНИЕ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА ПРОЧНОСТЬ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Н.М. Локотунина, Н.Г. Шемшурова, Е.М. Солодова
e-mail: nml@mgn.ru

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск, Россия

Статья поступила 8 августа 2004 г.

Условия почти всякого механического испытания отличаются от тех, в которых материал деформируется при обработке и нагружении в условиях работы [1]. Этим объясняются значительные несоответствия между характеристиками прочности материала, полученными при испытании образцов и прочности деталей или конструктивной прочностью. Теории размерности, подобия и моделирования ставят своей задачей сформулировать условия опытов с моделями, при которых эти опыты правильно отражают закономерности деформации и разрушения в натуральных условиях.

В большинстве случаев при увеличении размеров деформируемых или разрушаемых тел условия подобия нарушаются: увеличивается относительная острота надрезов и царапин, уменьшается отношение размеров зон контакта к размерам тела, изменяется соотношение между структурными элементами и размерами и т. д. Кроме того, многие технологические факторы оказывают существенное (обычно неблагоприятное) влияние на свойства более крупных тел.

Все эти причины, действуя совместно, понижают характеристики прочности, а нередко и пластичности, с увеличением размеров тел. Это связанное с нарушением подобия понижение прочности называют масштабным эффектом или влиянием абсолютных размеров. Очевидно, что при полном соблюдении подобия масштабный эффект должен был бы отсутствовать.

Существует несколько совершенно различных по природе причин масштабного фактора, причем эти причины, как правило, влияют в сторону меньшей прочности и повышенной хрупкости более крупных образцов и изделий. Так, при сильном проявлении масштаба желательно изготавливать более мелкие детали. При необходимости изготовления крупных деталей следует либо за счет изменения структуры ослабить действие масштаба, либо изменить конструктивное оформление — например, составлять крупные изделия из нескольких мелких.

Необходимо также изучать условия подобия для более сложных случаев, например, при воздействии внешней среды.

При выборе материала для какой-либо конструкции или изделия следует учитывать не отдельные критерии, характеризующие свойства материала, а комплексный показатель — конструктивную прочность [2].

В конкретных условиях нагружения критерии, определяющие прочность, обусловлены некоторой совокупностью групп факторов:

– состав и структура материала;

– условия нагружения, как исходные, так и меняющиеся в процессе деформирования и нагружения;
 – размеры и форма тела, состояние поверхности и их изменение в процессе нагружения.
 Кроме вышеперечисленных факторов необходимо учитывать возможность влияния окружающей среды.

Ранее для оценки прочности конструкции из гнутых профилей нами был предложен относительный показатель прочности ($\Pi_{\text{проф}}$), удовлетворяющий критериям конструктивной прочности [3]:

$$\Pi_{\text{проф}} = \frac{W_{\text{проф}} \sigma_{\text{В. проф}} A_{\text{проф}}}{W_{\text{баз}} \sigma_{\text{В. баз}} A_{\text{баз}}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{проф}}$, $W_{\text{баз}}$ — момент сопротивления нового и базового профилей; $\sigma_{\text{В. проф}}$, $\sigma_{\text{В. баз}}$ — временное сопротивление разрыву нового и базового профилей; $A_{\text{проф}}$, $A_{\text{баз}}$ — коэффициент восприимчивости к активности внешней среды.

$\Pi_{\text{проф}}$ учитывает изменение прочности профиля за счет вариации:

- геометрических характеристик профиля — моментов инерции и сопротивления (W , J);
- прочностных характеристик профиля;
- устойчивости профиля к воздействию внешней среды.

Под величиной восприимчивости к активности внешней среды понимают показатель, зависящий от условий эксплуатации гнутого профиля. Известно, что температура определяет прочностные характеристики металла. С учетом условий эксплуатации профиля коэффициент A необходимо принимать в зависимости от минимальной температуры, при которой их предполагается использовать:

$$A = \frac{\sigma_{B_t}}{\sigma_B}, \quad (2)$$

где σ_{B_t} , σ_B — соответственно временное сопротивление разрыву металла, полученное при испытании образца на разрыв при температуре эксплуатации гнутого профиля и временное сопротивление разрыву металла, полученное при стандартном испытании образца на разрыв.

Известно [4, 5], что дефектные структуры в твердых телах (кластер микротрещин и начальных дефектов, сеть перегруженных структурных элементов среды, поверхность трещины, зона предразрушения и т. д.) обладают примечательным свойством самоподобия структуры и подчиняются фрактальным законам распределения и роста, то есть дефектное множество (структура разрушения) развивается в теле как самоподобный фрактальный кластер размерности D_f ($0 \leq D_f \leq 3$). Можно принять, что разрушенная структура представляет собой фрактальный кластер размерности D_f , который в основном совпадает с дефектной структурой.

Для учета масштабного фактора в предложенный ранее показатель прочности $\Pi_{\text{проф}}$ необходимо добавить соответствующий коэффициент. Ранее в работе [4] для учета влияния размеров тела на прочность предложена зависимость:

$$\sigma_p \approx V^{-1/m}, \quad (3)$$

где V — характерный разрушаемый объем.

$$m = \frac{6}{D_f - 3}, \quad (4)$$

где D_f — фрактальный кластер размерности.

На основе сделанного анализа можно усовершенствовать формулу для расчета показателя прочности:

$$P_{\text{проф}} = \frac{W_{\text{проф}} \sigma_{\text{В. проф}} A_{\text{проф}} \sigma_{\text{Р. баз}}}{W_{\text{баз}} \sigma_{\text{В. баз}} A_{\text{баз}} \sigma_{\text{Р. проф}}}, \quad (5)$$

где $\sigma_{\text{Р. проф}}$, $\sigma_{\text{Р. баз}}$ — напряжения разрушения нового и базового профилей.

Для устранения недостатков профиля дорожного ограждения «Е» — 360x100x4,0 мм ранее были спроектированы [6] два аналога 387x100x4,0 мм и 383x100x3,5 мм, для которых с учетом предложенной формулы были выполнены повторные расчеты $P_{\text{проф}}$, результаты которых представлены в табл.

Расчетные характеристики прочности профилей

Характеристики прочности	Вид ПДО		
	360x100x4,0 мм	387x100x4,0 мм	383x100x3,5 мм
$\sigma_{\text{Т. проф}}$, Н/мм ²	432,0	438,2	433,4
$\sigma_{\text{В. проф}}$, Н/мм ²	526,0	532,3	529,0
$P_{\text{проф}}$	1,00/1,00	1,15/1,13	1,01/1,01

Примечание. Ранее предложенная методика расчета $P_{\text{проф}}$ — числитель, усовершенствованная методика — знаменатель.

Из табл. видно, что профиль 387x100x4,0 мм обладает максимальным относительным показателем прочности, но в сравнении с профилями 360x100x4,0 мм и 383x100x3,5 мм имеет повышенный расход металла, а, следовательно, и стоимость.

Показатель $P_{\text{проф}}$, рассчитанный по усовершенствованной методике, незначительно отличается от первоначального показателя. Это связано с небольшим изменением объема металла профиля. Однако для гнутых профилей большей толщины следует учитывать масштабный фактор при проектировании новых конфигураций профилей. Например, если рассматривать замкнутый холодногнутый профиль 230x100x8,0 мм, то изменение $P_{\text{проф}}$ составит 16 %.

Заключение

В работе предложен относительный показатель прочности профиля, удовлетворяющий критериям конструктивной прочности и учитывающий масштабный фактор. Этот показатель желательно использовать при проектировании новых конфигураций холодногнутых профилей.

Список литературы

1. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. Часть 2. М.: Машиностроение, 1974. 367 с.
2. Технология металлов и материаловедение. Кнорозов Б.В., Усова Л.Ф., Третьяков А.В. и др. — М.: Металлургия, 1987. 800 с.
3. Локотунина Н.М., Шемшурова Н.Г., Солодова Е.М. Теоретические основы разработки новых типов гнутых профилей // Современные технологии и материаловедение: Сборник научных трудов. — Магнитогорск: МГТУ, 2003. С. 151—158.
4. Принципы фрактальности в механике разрушения металлов / Бобро Ю.Г., Мельник В.Н., Шостак А.В. и др. // Металлы, 1997. № 2. С. 119—122.
5. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature. N.Y.: Freeman, 1978.
6. Локотунина Н.М., Шемшурова Н.Г. Оптимизация формы и размеров профиля дорожного ограждения «Е» // Наука и производство: Сб. докл. 60-ой науч.-тех. конф. — Магнитогорск: МГТУ, 2001. С. 84—90.