

В. С. ИВАНОВА, Ч. В. КОПЕЦКИЙ, А. М. МАРКОВ,
В. Л. ОРЖЕХОВСКИЙ

ЭФФЕКТ «ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕГО» ДЕЙСТВИЯ МАТРИЦЫ НА ВОЛОКНО ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

(Представлено академиком А. М. Самариным 24 III 1970)

При деформировании композиционных материалов, содержащих высокопрочные волокна в качестве армирующей составляющей, может происходить заметное изменение механических свойств материалов волокна и матрицы по сравнению с их механическими свойствами при деформации в свободном состоянии. Изменение механических свойств волокна и матрицы обусловлено специфическими условиями нагружения волокна и условиями напряженного состояния составляющих композиции, а именно:

1) В металлах, армированных высокопрочными волокнами, нагрузка передается через матрицу, при этом, если волокно обладает некоторой пластичностью в исходном состоянии, при деформировании композиции в пластической области возникают поперечные напряжения из-за различия коэффициентов Пуассона материалов волокна и матрицы, а в момент развития сосредоточенной деформации — гидростатическая компонента сжатия ⁽¹⁾.

2) Распределение растягивающих напряжений вдоль волокна неоднородное: максимальные растягивающие напряжения возникают в середине волокна и убывают к его концам ⁽²⁾.

Ранее ⁽³⁾ было показано, что в случае, когда волокна хрупкие, в процессе деформации композиционного материала происходит их дробление на сегменты равной длины, близкой к критической. Этот процесс дробления при малых объемных долях волокон приводил к повышению прочности и пластичности матрицы из-за более однородной деформации всего деформируемого объема.

В настоящей работе показано, что если высокопрочные волокна обладают некоторой пластичностью при деформации в свободном состоянии, то дробление волокна отсутствует, и наблюдается заметное повышение его пластичности (рис. 1), выражающееся в образовании множества шеек, расположенных примерно на равных расстояниях.

Образование множества шеек на волокне можно объяснить перераспределением растягивающих напряжений композиционного материала. Это образование может происходить в следующей последовательности. Первоначально шейка образуется в середине волокна, так как в соответствии со схемой Пигота здесь действуют максимальные напряжения растяжения. Волокно при этом разделяется (перевязывается шейкой) на два сегмента. В этот момент должно произойти перераспределение растягивающих напряжений на участке волокна, находящегося в области пластической деформации, поскольку в момент образования шейки возникает гидростатическая компонента сжатия, приводящая к повышению несущей способности объема, охваченного сосредоточенной деформацией. Максимальные растягивающие напряжения при этом должны возникнуть в середине сегментов слева и справа от первой шейки. Затем на волокне образуются еще две шейки, что инициирует дальнейшее перераспределение напряжений.

Если максимальные растягивающие напряжения возникают каждый раз по середине сегментов, то число шеек должно определяться законом геометрической прогрессии, подобно числу циклов дробления волокна при

деформации жестких волокон в пластичной матрице:

$$n = \frac{2}{3} l_f \tau / d_f \sigma_f - 1, \quad (1)$$

где l_f — длина волокна, τ — прочность связи на границе раздела волокно — матрица, d_f — диаметр волокна, σ_f — предел прочности волокна.

Перераспределение напряжения и образование шеек заканчивается в тот момент, когда расстояние между шейками достигает значений, близ-

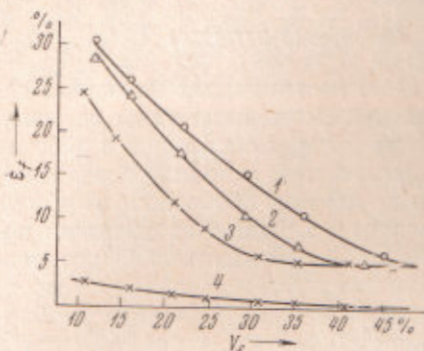


Рис. 1. Зависимость относительного удлинения вольфрамового волокна ϵ_f от объемной доли V_f и температуры при деформации его в никелевой матрице. 1 — 200°, 2 — 400°, 3 — 600°, 4 — 20°

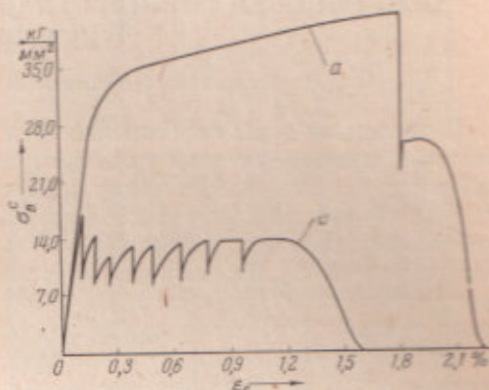


Рис. 2. Кривая деформации композиции никель — вольфрам при т. исп. 20° с WNi_4 (б) и без WNi_4 (а)

ких к критической длине волокна, определяемой соотношением

$$l_c = d_f \sigma_f / 2\tau. \quad (2)$$

Окончательное разрушение волокна происходит в наиболее нагруженном сечении волокна.

Для экспериментальной проверки соотношения (1) было проведено сопоставление числа шеек, образующихся на вольфрамовой проволоке при деформации ее в никелевой матрице, с расчетным значением (по формуле (1)). Было установлено хорошее соответствие расчетных и экспериментальных результатов:

l_f , мм	d_f , мм	σ_f , кг/мм²	l_c , мм	τ , кг/мм²	l_d , мм	Число шеек
25	1,4	95	5,5	11	6	4 (расч.) 4 (эксп.)

Таким образом, проведенные эксперименты подтвердили теоретический анализ и показали:

1) Если армирующее волокно хрупкое в исходном состоянии или на границе раздела имеется переходный слой, охрущивающий волокно, то при деформации композиционного материала оно дробится на короткие сегменты, а кривая деформации имеет зубчатый характер (рис. 2б). В этом случае прочность и пластичность композиционного материала значительно ниже, чем материала, армированного волокнами той же прочности, но обладающего некоторой пластичностью.

2) Если армирующее волокно в исходном состоянии обладает некоторой пластичностью, то при деформации композиционного материала оно дробиться не может, а наблюдается заметное повышение пластичности и общее повышение прочности и пластичности композиции. Кривая деформации таких материалов имеет плавный характер (без зубчатости) (рис. 2а).

Поступило
23 VI 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Волокнистые композиционные материалы, Сборн. под ред. С. З. Бокштейна, М., 1967. ² М. R. Piggot, Acta metallurgica, 14, № 11, 1423 (1966). ³ В. С. Иванова, Л. М. Устинев, Физика и химия обработки материалов, № 2 (1969).