

А.С. ПЕТРОСЯН, Л.З. ГАЛСТЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ,
АРМИРОВАННОЙ В ПРОДОЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ**

Даны теоретические аспекты композиционных материалов (КМ), упрочненных дискретными волокнами. На основе модельных исследований процессов экструзии порошково-волокнистых композиций выявлена сверхвысокая пластичность металлических волокон. Установлены общие закономерности процессов экструзии порошково-волокнистых композиций в зависимости от угла исходной ориентации волокна, угла матрицы, отношения длины волокна к диаметру и степени обжата, которые обеспечивают получение металлических КМ с беспористой структурой, а следовательно, с максимальным уровнем механических свойств.

Ключевые слова: композиционный материал, металлические волокна, экструзия, механические свойства, порошковая матрица.

Введение. Научно-технический прогресс выдвигает повышенные требования к материалам. В первую очередь, это касается материалов, используемых в динамических конструкциях, где требуются не только высокая прочность, но и малая масса. КМ представляет собой высокопрочный или высокомодульный материал, называемый армирующим компонентом, который соединяется со вторым материалом, называемым матрицей, что позволяет осуществлять изготовление необходимой инженерной конструкции и передавать внешние нагрузки несущему упрочняющему компоненту.

КМ по своей природе включают две или более различные фазы. Эти фазы должны быть совместимы друг с другом как физически, так и химически [1].

Композиционный материал с металлической матрицей имеет ряд преимуществ, которые имеют важное значение при использовании конструкционных материалов. Эти преимущества создаются благодаря комбинации следующих свойств: высокой прочности, высокого модуля упругости, ударной вязкости, малой чувствительности к изменениям температуры или тепловым ударам, высокой поверхностной стойкости и малой чувствительности к поверхностным дефектам, высокой электро- и теплопроводности, хорошей воспроизводимости свойств, а также хорошей технологичности основы при конструировании, производстве, обработке давлением и формоизменении, соединении и окончательной механической обработке. Прочность матрицы особенно важна для обеспечения свойств композиционного материала в участках, расположенных вдали

от армирующего компонента под некоторым углом к направлению его расположения [2]. Установлено, что армирование волокнами дает возможность получать наиболее эффективное упрочнение в системах с металлической матрицей. Хотя требования к армирующим компонентам изменяются в зависимости от используемого сплава-матрицы, некоторые их свойства являются почти универсальными. От армирующих компонентов требуются высокая прочность волокна, высокий модуль упругости, легкость изготовления и низкая стоимость, хорошая химическая стабильность, воспроизводимость или постоянство свойств, сопротивление повреждениям или истиранию.

Мак Дэниелс и др. [2] для установления связи прочности композиции со свойствами компонентов использовали выражение

$$\sigma_C^* = \sigma_F V_F + \sigma_M V_M, \quad (1)$$

где σ_C - предел прочности композиционного материала, выраженный через напряжение, отнесенное к исходной площади; σ_F - среднее напряжение на всех волокнах; σ_M - среднее напряжение матрицы при разрушении; V_F и V_M - объемные доли волокна и матрицы. Если отсутствует пористость или третья фаза, то $V_F + V_M = 1$

Методы исследования. При проведении исследований в качестве исходных материалов были использованы волокна из стали (сталь 55), а в качестве материала матрицы - порошковое железо и хром. Известно, что если все волокна имеют приблизительно одинаковую прочность, а матрица не может выдержать нагрузку при разрушении волокна, то σ_F может быть приравнена к средней прочности волокна, а σ_M определяется как напряжение матрицы при деформации, равной деформации волокна при разрушении. Этот случай был исследован Мак Дэниелсом и др. [2] в системе, состоящей из волокон вольфрама в медной матрице. На рис. 1 графически представлена зависимость прочности композиции от объемной доли волокна. Прочность композиции равна $\sigma_C = V_M \sigma_{M_1}$ (при $V_F < V_{F^*}$) или $\sigma_C = V_F \sigma_{F_1} + V_M \sigma_{M_2}$ (при $V_F \geq V_{F^*}$), где σ_{M_1} - предел прочности матрицы при растяжении; σ_{M_2} - напряжение в матрице при деформации разрушенного волокна; V_{F^*} - критическое объемное содержание волокна [2]

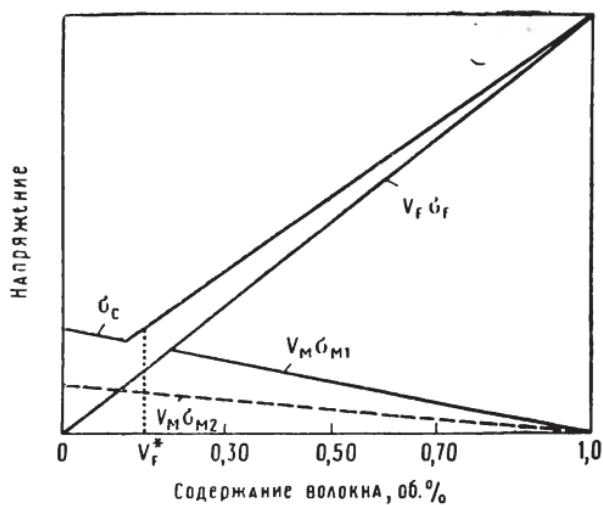


Рис. 1. Правило аддитивности прочности хрупкого волокна в пластической матрице

Можно видеть, что уравнение (1) справедливо для объемной доли волокна, большей критической объемной доли V_F^* . При малых объемных долях армирующих волокон матрица может выдерживать нагрузку после того, как все волокна разрушатся, и вышеуказанное предположение не будет справедливо. Этот случай не имеет значения для технических конструкционных композиций, так как эффект армирования волокнами не обеспечивает необходимого повышения прочности.

С точки зрения получения требуемого комплекса физико-механических свойств, КМ, армированные дискретными волокнами, в ряде случаев более предпочтительны, чем КМ с нитевидными волокнами (рис. 2, 3).

В настоящей работе нами были экспериментально установлены закономерности экструзии порошково-волокнистых композиций на модельных образцах в зависимости от соотношения l_0 / d_0 (l_0, d_0 - длина и диаметр волокна до экструзии) и степени обжатия λ .

Режим экструзии: для медных образцов $t_3 = 850^{\circ}C$, для железных образцов $t_3 = 1100^{\circ}C$, продолжительность нагрева $\tau_3 = 15...20$ мин (рис.4).

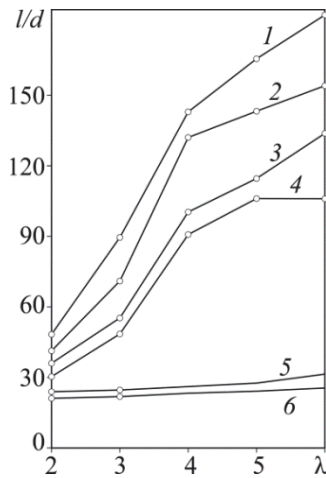


Рис. 2. Удлинение волокон композиции $\text{Cu}-\text{Fe}^*$ после экструзии при различных степенях обжатия $\lambda : l_0 / d_0 = 20$; угол матрицы $\beta = 60^\circ$; α_u – угол исходной ориентации волокна, 1 – $\alpha_u = 0^\circ$; 2 – 30° ; 3 – 60° ; 4 – 150° ; 5 – 120° ; 6 – 90°

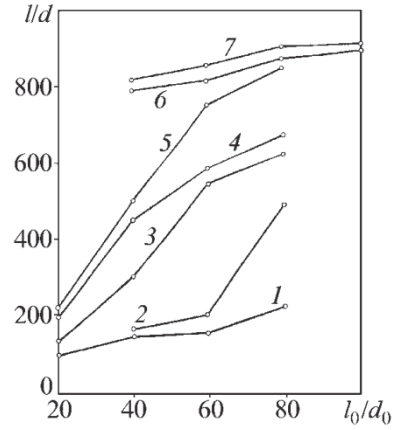


Рис. 3. Удлинение волокон различных композиций после экструзии: 1,3-Cu-Fe*; 2,5,6-Fe-Fe*; 4-Fe-Cu*; 1, $\alpha_u = 150^\circ$; 3-5- 30° 6, 7- 0° ; $\beta = 60^\circ$, $\lambda = 4$



Рис. 4. Технологии получения композиционных материалов экструзией

Анализ кривых 1-7 (рис. 3) показал, что с увеличением безразмерного параметра l_0 / d_0 волокна в процессе экструзии удлиняются, т.е. значения l / d возрастают. Для всех значений $l_0 / d_0 = 20 \dots 100$ и $\alpha_u = 0 \dots 150^\circ$ наименьшему соотношению $l_0 / d_0 = 20$ соответствует $l / d = 100$ [3]. Это дает

основание утверждать, что за исходное соотношение l_0/d_0 можно принять $l_0/d_0 \approx 20$, так как после экструзии это значение возрастает и достигает $l/d = 80 \dots 100$. При таких значениях прочностные свойства максимальны и близки к композиционным материалам с непрерывными волокнами. Очевидно, что чем меньше l_0/d_0 , тем легче решается вопрос приготовления шихты. Порошок и длина волокна “соизмеримы”.

И еще одна существенная особенность: чем меньше l_0/d_0 , тем легче осуществляется ориентация волокна в направлении экструзии. Это означает, что прочностные свойства композиционного материала возрастают (рис. 5).

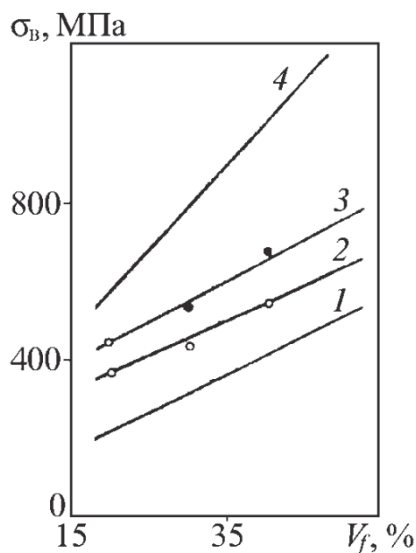


Рис. 5. Зависимость предела прочности композиционных материалов при растяжении от объемного содержания V_f волокон: 1, 4 - расчетные значения для материалов на основе меди, армированной волокнами стали ($\sigma_s = 1000$ МПа) и вольфрама ($\sigma_s = 2200$ МПа); 2, 3 - экспериментальные значения для экструдированных композиций $Cu-Fe^*$ и $Cu-Mo^*$

Удлинение волокон в процессе экструзии значительно уменьшает их диаметр. Это, с одной стороны, увеличивает их прочность, с другой – позволяет использовать проволоки (или нитевидные “усы”) больших диаметров, что дешевле, при этом легче осуществляется их мерная резка (табл.).

Таблица

Механические свойства композиций и материалов матрицы, полученные при оптимальных режимах экструзии

Материал	χ , мкм	$(\sigma_B)_{K'}$, МПа	δ , %	ψ , %	Микротвердость зоны взаимодействия, МПа
Cu	-	248...252	45...52	75...81	-
<Cu-Сталь>	2...4	390...400	35...40	68...70	2500
<Cu-Mo*>	-	400...450	30...33	45...48	2000...2600
Fe	-	320...360	22...30	38...43	-
<Fe-Mo*>	-	420...440	18...22	36...39	1700...2000

Заключение. Экструзия является наиболее эффективным методом компактирования армированных материалов, при котором деформация волокна (как правило, удлинение) положительно влияет на прочность композиции: при объемной доле волокон 20...25% достигается максимальная прочность, тогда как при других методах компактирования порошково-волокнистых композиций объемное содержание волокон составляет 35...45%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р. Новые композиционные материалы.- Киев: Вища школа, 1977. - 312 с.
2. Современные композиционные материалы / Под ред. И.Л. Светлова. - М.: Мир, 1970.- 672 с.
3. Гукасян В.С., Петросян А.С. Исследование механических свойств композиционных материалов, армированных дискретными волокнами // Заготовительные производства в машиностроении.-2009. - № 4. - С.41-47.

Հ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Լ.Ձ. ԳԱԼՍՅԱՆ

ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՄԱՅՐԱԿՈՎ ԵՐԿԱՅՆԱԿԱՆ ՈՒՂՈՒԹՅԱՄԲ ԱՄՐԱՆՎՈՐՎԱԾ ԿՈՄՊՈԶԻՑԻՈՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ներկայացված են ընդհատվող թելքերով ամրանավորված կոմպոզիցիոն նյութերի տեսական ասպեկտները: Մոդելային հետազոտությունների հիման վրա արտամղման գործընթացում բացահայտված է փոշեկոմպոզիցիոն նյութերում մետաղական թելքերի գերբարձր պլաստիկությունը: Բացահայտվել են արտամղման գործընթացի ընդհանուր օրինաչափությունները՝ կախված թելքերի ելքային կողմնորոշումից, մայրակի անկյունից, լարի երկարության և տրամագծի հարաբերությունից և սեղմման աստիճանից, որոնք ապահովում են մեխանիկական հատկությունների առավելագույն արժեքներ:

Առանցքային բառեր. կոմպոզիցիոն նյութ, մետաղական թելքեր, էքստրուզում, մեխանիկական հատկություններ, փոշեմետաղական մայրակ:

H.S. PETROSYAN, L.Z. GALSTYAN

**INVESTIGATING THE STRENGTH OF COMPOSITE MATERIALS
WITH A METALLIC MATRIX REINFORCED IN THE LONGITUDINAL
DIRECTION**

Theoretical aspects of composite materials reinforced by discrete fibers are given. Based on model investigations of extrusion processes of powder-fiber composites, the superhigh plasticity of metallic fibers is revealed. General regularities of the extrusion processes of powder- fiber composites, depending on the angle of initial fiber orientation, the matrix angle, the relationship of the fiber length to the diameter and the percent reduction, providing the production of metallic composite nonporous materials and therefore with maximum level of mechanical properties are established.

Keywords: the composite material, metal fibers, extrusion, mechanical properties, powder matrix.

ՀՏԴ 621.762

Հ.Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Լ.Ն. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

**ԱՏ-ՈՒՑ ԿԱՐԳԻ ԱՄՐԱՆԱՅԻՆ ՊՈՂՊԱՏԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԸ ԵՎ ԿՐԿՆԱԿԻ
ՏԱՔԱՑՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՆՐԱ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԿՐԱ**

Դիտարկվել է 5սո մակնիշի ԱՏ-ՈՒՑ կարգի ամրանային պողպատի տաքացման ազդեցությունը նրա կառուցվածքի և մեխանիկական հատկությունների վրա: Որպես հիմնական ջերմամշակում նախատեսված է մխումը ինքնարձակումով, որը հաջորդում է գլոցման գործընթացին: Բացահայտված են մեխանիկական հատկությունների փոփոխությունները, ինչը հիմնավորվում է կառուցվածքային փոփոխություններով: Բերված են նաև համեմատական տվյալներ համանման ջերմային մշակում անցած ԱՏ-VI կարգի 10-18 մմ տրամագծերով ամրանների համար: Աղյուսակային տվյալներով ներկայացված են առավել տարածված լարերի տեսակները՝ ըստ տրամագծերի և մեխանիկական հատկությունների:

Առանցքային բառեր. ամրանային պողպատ, ջերմային մշակում, մեխանիկական հատկություններ, կառուցվածքային վերլուծություն, մակրոկառուցվածք:

Ներածություն. Գլոցման տեխնոլոգիային հաջորդող միման գործընթացի ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ ձողերի մակերևութային շերտը մխվում է ջրում՝ ստանալով մարտենսիտային կառուցվածք: Այդ շերտի խորությունը կախված է ջրի սառեցման արագությունից և փոփոխվում է մեկից մինչև մի քանի մմ: Մակերևութային շերտի արագացված սառեցումից հետո մետաղի