

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИТЬЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

А.С. Челушкин, Р.В. Дашкин (г. Уфа, Россия)

Совершенствование техники требует новых материалов с более высокими свойствами. Одними из таких материалов являются композиционные материалы (КМ). Появившись в начале как специализированные, узконаправленные материалы, сейчас КМ находят все более широкое применение.

Композиционные материалы различаются по конструктивному (в соответствии с геометрией арматуры и ее расположением в матрице), материаловедческому (по материалу арматуры, матрицы и других компонентов), по методу получения изделий из КМ и другим признакам.

Например, композиционные материалы по природе компонентов различают: по материалу матрицы и армирующих элементов. Общее название КМ, как правило, происходит от материала матрицы. Материалы с матрицей из пластика и керамики называют соответственно полимерными и керамическими, а материалы с металлической матрицей – металлическими КМ. Металлическая матрица по сравнению с матрицами из пластика существенно повышает упругость и прочность композита, сохраняя эти свойства почти до температуры плавления. Кроме того, металлические КМ обладают пониженной воспламеняемостью и высокой работоспособностью в условиях вакуума, облуживания.

Свойства композиционного материала и его работоспособность в значительной мере зависят от принятых технологических режимов, которые в свою очередь, выбираются исходя из метода получения КМ, поэтому методам изготовления КМ придается большое значение. Известно много технологических схем изготовления полуфабрикатов и изделий с композиционной структурой, например, пропитка волокон жидким металлом в вакууме или под давлением, намотка или укладка волокон, лент или жгутов с последующей пропиткой под давлением, нанесение покрытий на волокна (плазменное, электролитическое, химическое и др.) с последующим пресованием, диффузионная сварка пакетов, полученных намоткой волокон на фольгу, сварка взрывом, компактирование и т.д.

Следует отметить, что значительное место, в машиностроении среди других КМ занимают композиционные материалы, полученные методами литья. Литейные методы получения КМ обладают рядом существенных

преимуществ, главные из которых: возможность получения композиционных изделий сложной конфигурации с минимальной последующей механической обработкой либо вообще без нее; ограниченное силовое воздействие на хрупкие компоненты; широкая номенклатура компонентов, используемых для создания композитов, упрощенное аппаратное обеспечение, высокая производительность; возможность механизации, автоматизации. Кроме этого, при помощи литейных методов можно изготавливать такие КМ, которые другими методами изготовить либо невозможно, либо нерационально.

Существующие методы получения литых композиционных материалов основаны на предварительном получении армирующего компонента, вне процесса получения КМ. Кроме того, для существующих методов необходима предварительная подготовка и установка наполнителя перед совмещением с матрицей, что усложняет процесс создания КМ. Помимо этого существует опасность смещения положения армирующих элементов от заданного положения в матрице. Значительное силовое воздействие на армирующий элемент, может вызвать нарушение целостности компонента. В свою очередь недостаточные давление, продолжительность и температура операции совмещения могут привести к недостаточному сцеплению наполнителя с матрицей. Наконец, размеры получаемой заготовки predeterminedены длиной армирующего волокна. Сказанное накладывает ограничения на параметры указанных процессов.

На кафедре М и ТЛП УГАТУ разрабатывается новый вариант получения литого композиционного материала, который позволит в значительной степени снять указанные ограничения. В основе разрабатываемой схемы лежит принцип введения тонких струй расплава армирующего компонента в расплав матрицы. Струи расплава армирующего материала при затвердевании образуют систему упрочняющих волокон в твердой матрице.

Принципиальная схема процесса представляется в следующем виде (рисунок 1). Армирующий материал 1 находится в тигле 3, где поддерживается заданная температура, с помощью нагревательного устройства 7, и уровень расплава металла.

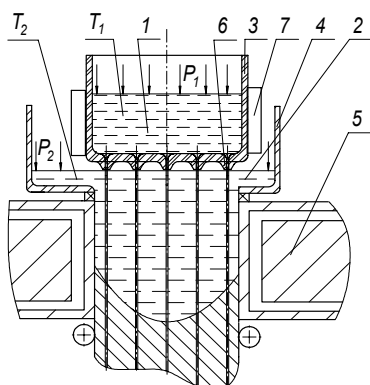


Рисунок 1 – Принципиальная схема получения слитка с композиционной структурой

Тигель с армирующим материалом находится внутри другого тигля 4, предназначенного для матричного расплава 2; в нем так же поддерживается заданная температура и заданный уровень металла. В дно тигля 3 вмонтированы керамические цилиндрические насадки 6, через которые происходит истечение армирующего материала в материал матрицы 2, движущийся в полости кристаллизатора 5, где происходит охлаждение и затвердевание слитка.

Физическая картина предлагаемого метода представляется в виде движения струй упрочняющего компонента в расплаве матрицы, с последующими остыванием, кристаллизацией и затвердеванием. В этом случае условно можно выделить гидравлический и термический аспекты процесса. Истечение струй, движение струй, движение жидкой матрицы, относятся к гидравлическому аспекту. Теплопередача, изменение температурного поля, связанные с этим кристаллизация и усадочные явления – к термическому. Теоретическое описание полной картины процесса формирования композиционного материала по предложенному варианту требует изучения каждого аспекта в отдельности и взаимосвязи.

Получение слитка композиционной структуры требует устойчивого процесса течения струй армирующего компонента в жидкой среде (матрице) и последующее затвердевание армирующего и матричного компонента.

Известно, что вследствие, ряда возмущающих причин: турбулентности, эллиптичности насадка, шероховатости сопла, влияния сил поверхностного натяжения, вязкости и т.п., форма струй нарушается. Увеличение

пульсации и развитие возмущения поверхности может привести к нарушению устойчивого движения струи, и распаду струи.

Поэтому необходимо исследовать картину течения струй, с целью выяснения времени устойчивого течения струи. За это время необходимо реализовать затвердевание армирующего компонента.

Экспериментальное изучение форм распада показывает, что при малых скоростях истечения струй жидкости развиваются и вызывают распад ассиметричные колебания (рисунок 2а).

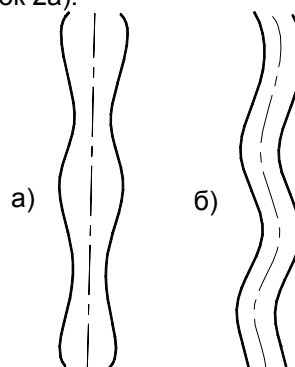


Рисунок 2 – Формы колебания струй: а – ассиметричные, б – волнообразные.

При увеличении скорости истечения, в результате взаимодействия с окружающей средой, устойчивость струи снижается из-за волнообразных колебаний (рисунок 2б), приводящих струю к распаду. И, наконец, при больших скоростях истечения происходит распыление струи. Поэтому оценивая критический период распада струи и критическую скорость истечения армирующего материала, можно прогнозировать длину устойчивого участка струи.

Существующие критериальные уравнения, предназначены для расчета критической скорости истечения, периода распада, и длины устойчивой части струи сформулированы в результате анализа экспериментальных данных полученных на легких жидкостях (типа масел) для случая истечения в атмосферу. Поэтому существующие закономерности не могут использоваться без экспериментальной проверки для случая истечения плотной вязкой жидкости в другую плотную вязкую жидкость, с последующей кристаллизацией и затвердеванием.

Таким образом, анализ имеющихся литературных данных показывает, что сложность общей картины определяется множеством факторов влияющих на процесс, точная

формализованная взаимосвязь между которыми пока не установлена. Отметим, что проведение экспериментальных работ по исследованию процесса получения волокнистого композиционного материала на реальном промышленном оборудовании и с реальными машиностроительными материалами весьма дорого; многофакторность и многовариантность процесса требует большого объема экспериментальных работ и, соответствующих материальных затрат. Следовательно, целесообразно выполнять весь необходимый объем исследований на доступных, недорогих, и удобных для работы материалах. Подобрать которые целесообразно на основе математического моделирования, в частности на основе метода подобия.

На кафедре М и ТЛП сформулирована, адаптированная к предложенному процессу, детерминистическая математическая модель совместного движения струй армирующего материала и жидкой матрицы. На основе обработки детерминистической математической модели методом обобщенных переменных получен ряд комплексов:

$$\frac{r \cdot w_1 \cdot \rho_1}{\mu_1}; \frac{\mu_1 \cdot w_1}{\sigma}; \frac{\Delta P}{\rho_1 \cdot w_1^2}; \frac{w_1^2}{g \cdot r}; \frac{w_1 \cdot t_1}{r}; \frac{\rho_1}{\rho_2}; \frac{\mu_1}{\mu_2}; \frac{w_2}{w_1},$$

которые определяют гидравлический аспект процесса формирования литого композиционного материала.

Комплексы согласуются с комплексами, полученными другими исследователями методом размерности.

Для моделирования процесса были подобраны порядка 30 пар доступных и недорогих моделирующих материалов с низкой температурой плавления.

За оригинал моделирования взята пара «сталь-алюминий», так как по сравнению с остальными металломатричными композитами её составляющие наиболее доступные, технологичные и недорогие, в то же время имеющиеся композиции имеют высокую абсолютную (до 1700 МПа) и удельную (до 35 км) прочность при комнатной температуре, а так же значительно превосходят при температурах 350-400 °С все алюминиевые материалы. Кроме того, система сталь-алюминий обладает повышенным сопротивлением распространению трещин и имеет высокие прочностные характеристики при криогенных температурах.

Проведена серия экспериментов на выбранных моделирующих парах. Исследована пара «сплав Вуда - гидролизированный раствор этилсиликата (ГР ЭТС40) с целью моделирования течения, охлаждения и затвердевания системы. Моделирование затвердевания системы происходит потому, что сплав Вуда является металлическим материалом и кристаллизуется при комнатных температурах, затвердевание матрицы моделирует процесс гелизации ГР ЭТС40. В целом моделируется формирование слитка с композиционной структурой. В результате получено несколько образцов моделирующих композиционную структуру. Результаты выполнения серии экспериментов подтверждают возможность получения КМ предложенным способом.