

ВМС и SMC – промышленные композиционные конструкционные материалы больших серий

*М. Полоцкий
генеральный директор, фирма Menzolit S.r.l., Италия
michael.polotzki@menzolit.com*

За последние десятилетия композиционные материалы заняли важнейшее место в авиа-космической технике, транспортном и автомобилестроении, электротехнике и других отраслях промышленности. Стекло- и углепластики позволяют в экономически приемлемых рамках реализовать крупногабаритные изделия с высочайшими требованиями к механическим и теплофизическим характеристикам.

Применяемые в настоящее время технологические решения: ручное ламинирование с применением вакуумного или автоклавного формования, RIM, RTM, RIMM, - обладая неоспоримыми преимуществами при производстве мелко- и среднесерийных крупногабаритных изделий, теряют свои экономические преимущества при производстве деталей крупных серий (от 10 тыс. до нескольких миллионов штук в год). Длительные подготовительные процессы раскроя и укладки ткани и/или препрега, продолжительное время отверждения, высокая доля дорогостоящих компонентов, иными словами: высокие прямые производственные затраты, приводят к высокой стоимости конечных изделий и делают их неконкурентоспособными с изделиями из термопластических масс (прямое литье, GMT, LFT).

Разработанные в 50-ые годы смесевые композиционные материалы на основе ненасыщенных полиэфирных смол, стекловолокна и минеральных наполнителей (Sheet Molding Compound, SMC и Bulk Molding Compound, BMC) позволили решить методами композиционной техники проблему производства мало- и среднегабаритных изделий крупных серий. И если SMC (в российской терминологии «препрег») используется в первую очередь при производстве низкопрофильных изделий с высокими требованиями к механической прочности (элементы автомобильных и автотранспортных кузовов, шкафные изделия, сидения на стадионах и на транспорте, детали свето- и электротехнических изделий) путем прямого прессования, то BMC (в российской терминологии «премикс») используется в основном при производстве мало- и среднегабаритных изделий сложной конфигурации (детали автомобильных и тракторных моторов, рефлекторы фар, электротехнические изделия разнообразного назначения, элементы электробытовых приборов).

SMC как материал

SMC представляет собой листовой материал, изготавливаемый непрерывным способом на специальных установках. Основой его является смесь различных компонентов: ненасыщенной полиэфирной смолы, минеральных наполнителей (мел, гидроксид алюминия), компенсаторов усадки, пигментов и катализаторов сшивания. Эта смесь наносится на пленку и подается под режущее устройство, которое обеспечивает подачу фиксированного количества стекловолокна заданной длины. После этого полученный пакет накрывается вторым слоем смеси и сжимается для обеспечения пропитывания

волокна. Полученный материал сматывается в рулоны и направляется в термокамеры для «созревания».

Каждый из компонентов выполняет важную роль в достижении заданных свойств:

- полиэфирная смола является связующим, обеспечивающим в ходе переработки трехмерное сшивание, связь отдельных компонентов и играет важную роль для достижения термомеханических характеристик.

- минеральные наполнители обеспечивают транспортировку стекловолокна при течении материала, позволяют существенно снизить его стоимость и, в случае гидроксида алюминия, существенно повышают огнестойкость материала.

- компенсаторы усадки обеспечивают высококачественную поверхность изделия без утяжек и коробления, что является одним из основных условий использования SMC для кузовных и других видовых изделий.

- стекловолокно обеспечивает механическую прочность изделий.

- катализаторы обеспечивают инициацию химических реакций трехмерного сшивания. Правильный подбор катализаторов является важнейшим условием получения высококачественных деталей без недопрессовок, трещин и раковин.

Переработка

Изготовление крупногабаритных изделий из SMC осуществляется преимущественно методом прямого прессования в стальных обогреваемых формах на гидравлических прессах (Рис. 1 и 2).



Рис. 1



Рис. 2.

Основным требованием к используемым прессам является параллельное ведение плит в процессе прессования, что обеспечивает равномерность толщины детали по всей длине, достигающей 3 и более метров. Широкое использование для изготовления подобных изделий нашли пресса немецкой фирмы Диффенбахер, имеющей многолетний опыт реализации подобных процессов.

Материал нарезается в соответствии со схемой раскроя, укладывается в пакет и, после предварительного разогрева в микроволновой печи, переносится в пресс-форму (Рис. 3).



Рис. 3

При этом решающее значение имеет правильное размещение пакета в форме.

Пресс-форма представляет собой массивное изделие из хромистой стали, в некоторых случаях с дополнительным хромовым покрытием. Обогрев до рабочей температуры 150 – 170 °С осуществляется путем электрического или жидкостного обогрева. Особое значение для повышения качества изделий и снижения брака играет обеспечение равномерного температурного поля по всей поверхности пресс-формы. Контроль внутреннего давления в форме также является важнейшим условием, позволяющим соблюдать технологические параметры процесса.

Процесс отверждения занимает в зависимости от толщины и конфигурации изделия от 2 до 5 минут. После извлечения из пресс-формы, удаления облоя и, при необходимости, механической обработки. Деталь готова для дальнейших вторичных операций: сборка, лакирование, монтаж.

Благодаря высокой термостойкости изделия из SMC могут лакироваться всеми известными системами.

Свойства

Ниже приведены типичные свойства материалов, используемых для изготовления крупногабаритных изделий (элементы кузовов, монтажные и распределительные шкафы и пр.):

Содержание стекловолокна, %	20 - 40
Плотность, г/см ³	1.40 – 1.80
Технологическая усадка, %	-0,1 - +0.25
Прочность на изгиб, МПа	100 - 150
Модуль изгиба, МПа	10.000 – 14.000
Прочность на растяжение, МПа	40 – 100
Ударная вязкость, кДж/м ²	30 – 120
Дугостойкость, сек	180
Электрическая прочность, кВ/мм	18 - 20
Огнестойкость по UL 94	НВ – V0 на 1,6 мм
Термостойкость НВА, °С	250
Температура стеклования, T _с °С	160 - 180
Водопоглощение, %	0.03 - 0.05

В зависимости от конкретного изделия могут использоваться различные типы SMC, отличающиеся по своим характеристикам. Общим для всех является минимальная технологическая усадки, высокая ударная вязкость и возможность лакирования в линии.

Существенными преимуществами изделий из SMC по сравнению со сталью является высокая коррозионная стойкость и низкий удельный вес. При

конструировании подобных изделий необходимо делать упор на возможность интеграции различных функциональных элементов (пункты крепления, ребра жесткости и пр.), что позволяет существенно повысить экономический эффект от использования композита.

Примеры использования

До настоящего времени различными производителями реализованы следующие изделия из SMC:

I) Детали грузовых и легковых автомобилей

- Бампера
- Обтекатели
- Пороги
- Передняя панель
- Крылья
- Боковые панели
- Ступени
- Крышка багажника
- Вертикальные панели
- Внутренние элементы
- Масляные ванны

II) Монтажные и распределительные шкафы

III) Корпуса промышленные и уличных светильников

IV) Детали электротехнического назначения

V) Прочие промышленные применения (внешние элементы эл. погрузчиков)

I. Детали легковых и грузовых автомобилей

1. Элементы кузовов

Использование SMC позволило существенно облегчить кабину грузового автомобиля, объединить различные конструктивные элементы в единые узлы и тем самым добиться значительного экономического эффекта.

Примером применения является целый ряд современных грузовых и легковых автомобилей ведущих европейских производителей (рис. 4 – 6)



Рис. 4. Мерседес Бенц Аксор



Рис. 5. МАН LX



Рис. 6. Рено Лагуна

2. Масляные ванны

Не смотря на высочайшие требования, предъявляемые к масляным ваннам грузовых автомобилей (механическая прочность, ударная вязкость, отсутствие утечек, возможность интеграции различных конструктивных элементов) SMC зарекомендовал себя как материал, отвечающий все этим требованиям и позволяющий в крупносерийных масштабах выпускать подобные изделия . Одним из важнейших преимуществ ванн из композитов по сравнению с металлическими (стальными или алюминиевыми) является существенно более низкий уровень шума.

Серийное производство масляных ванн включает в себя помимо стандартных операций прессования, удаления облоя и механической обработки также 100% контроль отсутствия разброса толщин и микротрещин. На рис. 8 показана масляная ванна автомобиля Мерседес Бенц.



Рис. 7. Масляная ванна Актрос

II. Монтажные шкафы

Использование SMC для изготовления монтажных шкафов имеет почти 50-и летнюю традицию. Первые шкафы из этого материала в Германии были разработаны в конце 50-х годов. С тех пор подобные изделия стали неотъемлемой частью городского ландшафта европейских городов. (Рис. 8 – 10).



Рис. 8. Монтажный шкаф для кабельных сетей



Рис. 8. Монтажный шкаф для счетчиков



Рис. 9. Цоколь

Благодаря высокой прочности и вандамоустойчивости, стойкости к воздействию атмосферных факторов, легкости и гибкости в изготовлении и комплектации, системы подобных шкафов используются в телекоммуникационных и распределительных сетях, включая электрическую энергию, газ и воду.

III. Промышленные и уличные светильники

Еще одной областью применения SMC являются корпуса промышленных и уличных светильников. Использование современных методов переработки, включая литье и автоматизированное прессование, позволяет существенно снизить производственные затраты при сохранении всех преимуществ этого материала по сравнению с термопластами: низкая стоимость сырья, высокая огнестойкость, достигаемая без применения галогенов, фосфора и тяжелых металлов, прочность и атмосфероустойчивость, возможность склеивания и использования различных герметизирующих систем для обеспечения водонепроницаемости готовых изделий (Рис. 10).



Рис. 10. Промышленный светильник для влажных и запыленных помещений

ВМС как материал

Основным отличием ВМС от SMC является технология производства. ВМС представляет собой механическую смесь тех же основных компонентов. При этом применяется более короткое волокно (от 3 до 12 – 15 мм) и более высокая степень наполнения, что обеспечивает, с одной стороны, лучшую текучесть, а с другой стороны, возможность получения материала с более высокой огне- и химической стойкостью. Использование различных типов смол и других основных компонентов (минеральные наполнители, компенсаторы усадки, усиливающие волокна, пигменты и пр.) делают ВМС одним из наиболее разнообразных и многогранных технических конструкционных материалов в мире полимеров и позволяют реализовывать изделия с самыми разнообразными свойствами и характеристиками.

В таблице приведен общий уровень свойств ВМС

Содержание стекловолокна, %	10 - 30
Плотность, г/см ³	1.40 - 2.40
Технологическая усадка, %	-0,1 - +0.25
Прочность на изгиб, МПа	70 - 140
Модуль изгиба, МПа	8.000 – 15.000
Прочность на растяжение, МПа	20 - 60
Ударная вязкость, кДж/м ²	10 - 40
Дугостойкость, сек	180 - 210
Электрическая прочность, кВ/мм	18 - 25
Огнестойкость по UL 94	НВ – V0 на 0,8 мм
Термостойкость НВА, °С	250
Температура стеклования, T _c °С	160 - 210
Водопоглощение, %	0.03 - 0.05

Приведенные ниже характеристики и области применения далеко не исчерпывают всего многообразия изделий из ВМС.

1. ВМС для элементов автомобильных моторов (элементы систем охлаждения и питания, распределительные детали, контрольные элементы, крышки головки блока цилиндров), отличаются высокой тепло- и термостойкостью (рабочие температуры до 220 °С, температура стеклования выше 195 °С), стойкостью к рабочим средам (моторные масла, топливо, охлаждающие и тормозные жидкости, blowby газы и пр.), хорошей механической прочностью и ударной вязкостью.

2. Электротехнические материалы, характеризуются в первую очередь высочайшей дуго- и трекинговой стойкостью, трудногорючи, отвечают по этому показателю требованиям международной классификации UL94 до класса V0 при толщине образца 0,8 мм, обладают хорошими изоляционными свойствами при минимальном влагопоглощении (Рис. 11 – 12).



Рис. 11. Изолятор для сетей до 24 кВ.



Рис. 12. Корпус предохранительного устройства

3. BMC для рефлекторов автомобильных и мотоциклетных фар, обеспечивает максимально точное воспроизведение оптической поверхности оснастки без коробления, обладают высокой термостойкостью и минимальным выделением летучих продуктов («fogging») (рис. 13)



Рис. 13. Рефлектор

4. Материалы для деталей электробытовых приборов, позволяют реализовать изделия в разнообразной цветовой гаммой с глянцевой или структурированной поверхностью, обеспечивают минимальную склонность деталей к пожелтению и окрашиванию при контакте с продуктами питания, обладают высокой стойкостью к моющим веществам (Рис. 14).



Рис. 14. Ручка электропечи

5. BMC для корпусов электромоторов, позволяет изготавливать детали с минимальными допусками (до $\pm 0,03$ мм) без дополнительной механической обработки и обеспечивают высокую электрическую и механическую прочность (Рис. 15).



Рис. 15. Корпусные и функциональные элементы моторов пылесосов.

Одним из важнейших преимуществ BMC как конструкционного материала является гибкость в выборе технологического процесса переработки в готовые изделия. Наряду с классическим прямым и более прогрессивным трансфертным прессованием в стальных обогреваемых формах с ручным или механизированным порционированием и закладкой заготовки в форму, этот материал может также перерабатываться аналогично термопластическим материалам путем прямого литья на специальных литьевых машинах. При этом достигается максимальная степень автоматизации (необслуживаемые машины с роботом – съемщиком изделий, механизированное удаление облоя на струйных агрегатах) и, с учетом короткого (до 12 – 15 сек) времени отверждения, высокая экономичность производства, что имеет решающее значение при производстве деталей миллионных серий (автомобильная промышленность, электробытовые приборы и пр.), делая BMC в полной мере конкурентоспособным с инженерными термопластами, такими как ПА, ПБТ, ПФС.

BMC и SMC относятся к группе термореактивных полимерных материалов, что делает невозможным прямое вторичное использование отходов производства и старых деталей, как это делается при переработке термопластических масс. Однако это не означает, что рекуперация невозможна. В настоящее время разработаны технологии вторичного использования отходов путем их размалывания до размера частиц 0,1 – 1,0 мм и использования полученного сырья в качестве наполнителя при производстве BMC, в дорожном строительстве и т.д. С учетом положительного энергетического баланса и отсутствия вредных продуктов сгорания (галоген- или фосфорсодержащих веществ) возможно сжигание отходов в месте с бытовым мусором в

мусоросжигательных печах для получения энергии, а также использование в качестве сырья в цементной промышленности.

В настоящее время техника и технология переработки и использования SMC и BMC являются одними из наиболее быстроразвивающихся в мире полимерных материалов, и мы надеемся, что предоставленный обзор послужит толчком для поиска новых областей применения этих материала с бесконечными возможностями.