

УДК 62:004.891.3

**В.А. Зорин**

д-р техн. наук, проф., МАДИ,

тел.: 8(499)155-01-55,

e-mail: madi-dm@list.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ КАПСУЛИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И РЕМОНТЕ МАШИН  
ТРАНСПОРТНО-СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы обеспечения работоспособности деталей машин в процессе эксплуатации с помощью микрокапсул, содержащих ремонтные полимерные материалы. Предлагается метод восстановления работоспособности деталей в процессе эксплуатации транспортно-технологических машин под действием ремонтного полимерного материала, попадающего в зону повреждения в результате разрушения капсул, находящихся в рабочей зоне или на поверхности детали сопряжения.

**Ключевые слова:** капсулированные материалы, работоспособность, транспортно-технологические машины.

**Введение**

Повышение энергоемкости, усложнение конструкции транспортных, технологических и строительных машин, интенсификация нагрузочных режимов их эксплуатации вызывают необходимость разработки новых конструкционных материалов, способных обеспечить необходимые прочностные характеристики и эксплуатационные свойства деталей. Проблема повышения устойчивости деталей к трещинообразованию под воздействием эксплуатационных нагрузок является одной из важнейших,

поскольку именно кинетика роста трещины в конечном итоге во многом определяет долговечность деталей машин транспортно-строительного комплекса. Одним из способов увеличения долговечности и эффективности использования машин транспортно-строительного комплекса является использование при их производстве и ремонте капсулированных материалов, обеспечивающих возможность восстановления работоспособности деталей в процессе эксплуатации.

### **Применение капсулированных полимерных материалов**

Данные материалы могут применяться при производстве и ремонте различных деталей и узлов машин транспортно-строительного комплекса путём их введения в рабочие зоны сопряжений, обладающих высокой степенью повреждаемости. Жидкий ремонтный полимерный материал вводится в состав капсул. При разрушении капсул под действием динамических нагрузок высвобождается ремонтный полимерный материал, обеспечивающий восстановление работоспособности поврежденной поверхности детали.

Разработкой технологии получения капсул занимаются специалисты в самых различных областях: в авиации, машиностроении, сельском хозяйстве, медицине. Использование технологии капсулирования обеспечивает возможность сохранения в течение длительного времени эксплуатационных свойств материалов, находящихся внутри капсул, поскольку они изолированы оболочкой капсулы от всех видов внешних воздействий. Технология капсулирования широко применяется при производстве некоторых типов клеевых материалов, например, анаэробных, которые в капсулированном виде наносятся на поверхности деталей резьбовых соединений.

В настоящее время промышленно производятся полимерные материалы с наполнителями в виде полых микросфер, которые

представляют собой шарики правильной формы диаметром до 500 мкм и толщиной стенок 2–20 мкм. Основное назначение таких наполнителей – снижение плотности клеевого материала. Наибольшее применение нашли микросферы из алюмосиликатов, которые представляют собой полые сферические частицы диаметром от 30 до 350 мкм с толщиной стенки от 2 до 10 мкм (стенки сфер сплошные, не пористые) [1].

Для реализации предлагаемого метода необходимо не только выявить участки деталей сопряжений, наиболее подверженные повреждениям в процессе работы, но также оценить механизм будущего разрушения. Процессы разрушения материалов протекают на различных структурных уровнях. На первой стадии имеют место процессы накопления повреждений на наноуровне. Для их нейтрализации необходимо иметь капсулы, соизмеримые с размерами образующихся дефектов. На второй стадии имеет место рост магистральной трещины, и для ее ликвидации применяемые на первой стадии нанокапсулы не подходят, поскольку они содержат недостаточно ремонтного материала. Для этого в материал вводятся капсулы с полимерными ремонтными материалами, которые имеют два типа размеров: макро, в несколько мм и нано (или субмикро), равные сотым или тысячным долям миллиметра. В процессе нагружения капсул, в них будут развиваться процессы разрушения, которые протекают на разных структурных уровнях: макро- и нано. С помощью нанокапсул можно локализовать возникающие наноповреждения, тогда как с помощью макрокапсул – можно нейтрализовать макроразрушения, в результате которых образуется магистральная трещина.

При создании капсулированных полимерных материалов возникают две группы задач. Первая группа задач относится к технологии обеспечения равномерного распределения капсул в материале. Эти задачи во многом схожи с задачами обеспечения равномерности распределения

различных дисперсных наполнителей в полимерных композиционных материалах (в том числе и при введении нанодисперсных или волокнистых наполнителей) и рядом авторов успешно решены за счет использования ультразвукового оборудования. Вторая группа задач связана с расчетом геометрических размеров капсулы (в первую очередь толщины ее стенки и диаметра) и определению свойств материалов, находящихся внутри капсул.

Для расчета геометрических размеров капсул, позволяющих обеспечить эффект восстановления работоспособности детали, была разработана модель капсулы и расчетным методом в программе Femap определены свойства материала, из которого она может быть изготовлена.

Таблица 1

Свойства материалов капсулы

№ модели капсулы	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Модуль упругости, Па
1	2,5	0,5	$10^8$
2	2,5	0,5	$10^9$
3	2,5	0,5	$10^{11}$
4	1	0,5	$10^8$
5	1	0,5	$10^9$
6	1	0,5	$10^{11}$
7	2,5	1	$10^8$
8	2,5	1	$10^9$
9	2,5	1	$10^{11}$

В настоящей работе для расчетов использовались данные (табл. 1), которые задавались исходя из минимально допустимых геометрических размеров капсул, которые могут быть получены на сегодняшний день с использованием серийных технологий капсулирования. Теоретически возможно получение капсул и меньшего размера, однако при этом стоимость таких материалов существенно возрастает, и их применение становится экономически нецелесообразным.

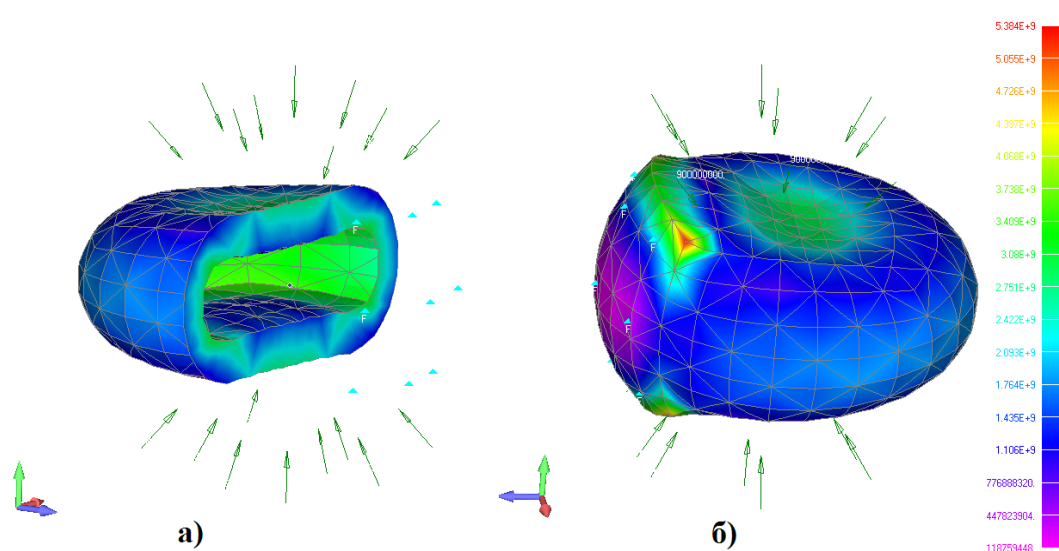


Рис. 1. Напряженно-деформированное состояние пустой капсулы

Первоначально моделировалась одна пустая капсула (рис. 1). Установлено, что внешние нагрузки (превышающие предел прочности материала самой капсулы), которые прикладывались в виде распределенной силы к одной из полусфер капсул, приводят к ее разрушению. Процесс моделирования напряженно-деформированного состояния пустой капсулы был необходим для того, чтобы оценить адекватность модели.

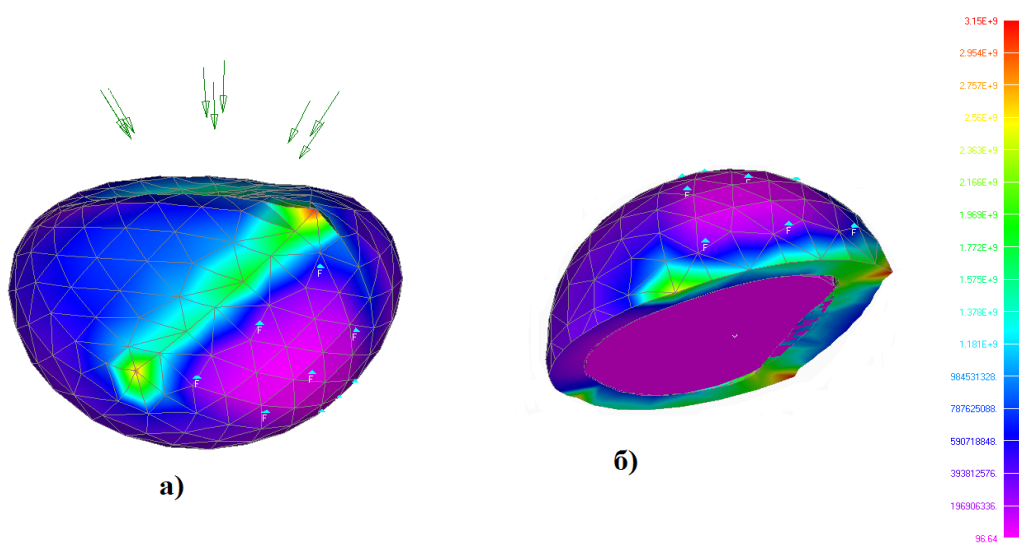


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние капсулы, содержащий ремонтный материал

При введении в состав капсулы полимерного ремонтного материала (рис. 2) наблюдается изменение формы капсулы и повышение значения прикладываемой внешней нагрузки, необходимой для ее разрушения.

В результате проведенных расчетов установлено, что с увеличением модуля упругости материала капсулы увеличивается величина напряжения, вызывающего разрушение капсулы. Аналогичным образом изменяется напряжение и с увеличением толщины стенки самой капсулы. Вместе с тем уменьшение диаметра капсулы не приводит к изменению напряженно-деформированного состояния.

Основными проблемами реализации предлагаемого метода восстановления работоспособности деталей машин транспортно-строительного комплекса в эксплуатации являются обоснование геометрических размеров и состава материалов капсул. Процесс формирования капсул должен обеспечивать их наполнение необходимым объёмом ремонтного полимерного материала и целостность в процессе эксплуатации изделия. Однако, возникновение повреждения рабочей поверхности детали должно привести к немедленному разрушению капсул и заполнению микротрещины ремонтным полимерным материалом, обеспечивающим восстановление работоспособности детали без перерывов в работе машины [2, 3].

### **Заключение**

Применение капсулированных полимерных материалов при производстве и ремонте деталей и узлов позволит в значительной степени повысить уровень безотказности машин, сократить простои в ремонте, обеспечить повышение безопасности эксплуатации и в целом повышение эффективности использования машин транспортно-строительного комплекса.

Работа проводится в рамках договора №\_1/2.4 программы стратегического развития ФГБОУ МАДИ на период 2012–2016 гг.

### **Литература**

1. Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульев А.А., Ошмян В.Г. Полимерные композиционные материалы. Долгопрудный: Интеллект, 2010. 352 с.
2. Зорин В.А., Баурова Н.И. Применение интеллектуальных материалов при производстве, диагностировании и ремонте машин. М., МАДИ, 2011. 173 с.
3. Баурова Н.И., Зорин В.А. Способ диагностирования состояния конструкции с использованием капсулированных материалов. Патент на изобретение №2439518 от 10.01.2012.

### **References**

1. Bazhenov S.L., Berlin A.A., Kul'ev A.A., Oshmjan V.G. *Polimernye kompozicionnye materialy* (Polymer composite materials), Dolgoprudnyi, Intellekt, 2010, 352 p.
2. Zorin V.A., Baurova N.I. *Primenenie intellektual'nyh materialov pri proizvodstve, diagnostirovanii i remonte mashin* (Application of smart materials in the production, diagnosis and repair of machinery), M., MADI, 2011, 173 p.
3. Baurova N.I., Zorin V.A. Sposob diagnostirovaniya sostojaniya konstrukcii s ispol'zovaniem kapsulirovannyh materialov. Patent na izobretenie №2439518 ot 10.01.2012.

**V. Zorin**

*The use of encapsulated polymeric materials in the production and repair of vehicles transport and construction complex*

**Abstract.** The article considers the issues of ensuring the health of machine parts during operation using microcapsules containing polymer repair materials. Method of recovery of the parts during operation of transport and technological machines under repair polymeric material falling within the zone of damage resulting from the destruction of capsules that are in the working area or the surface mates.

**Key words:** encapsulated materials, health, transport and technological machines.