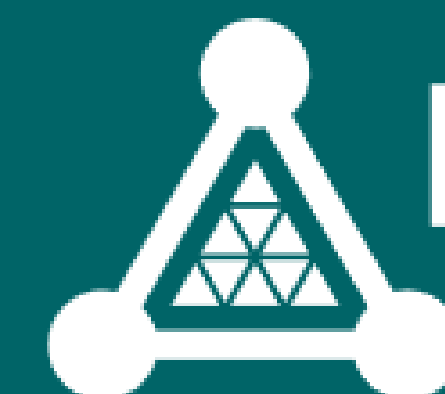


Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана



# Принципы самовосстановления материалов и их будущее в текстильной индустрии

Пономарева Полина Федоровна  
М.Н.С.



**ЦЕНТР НТИ**  
ЦИФРОВОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ  
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ВЕЩЕСТВА

# Что такое самовосстанавливающиеся материалы? И что они восстанавливают?

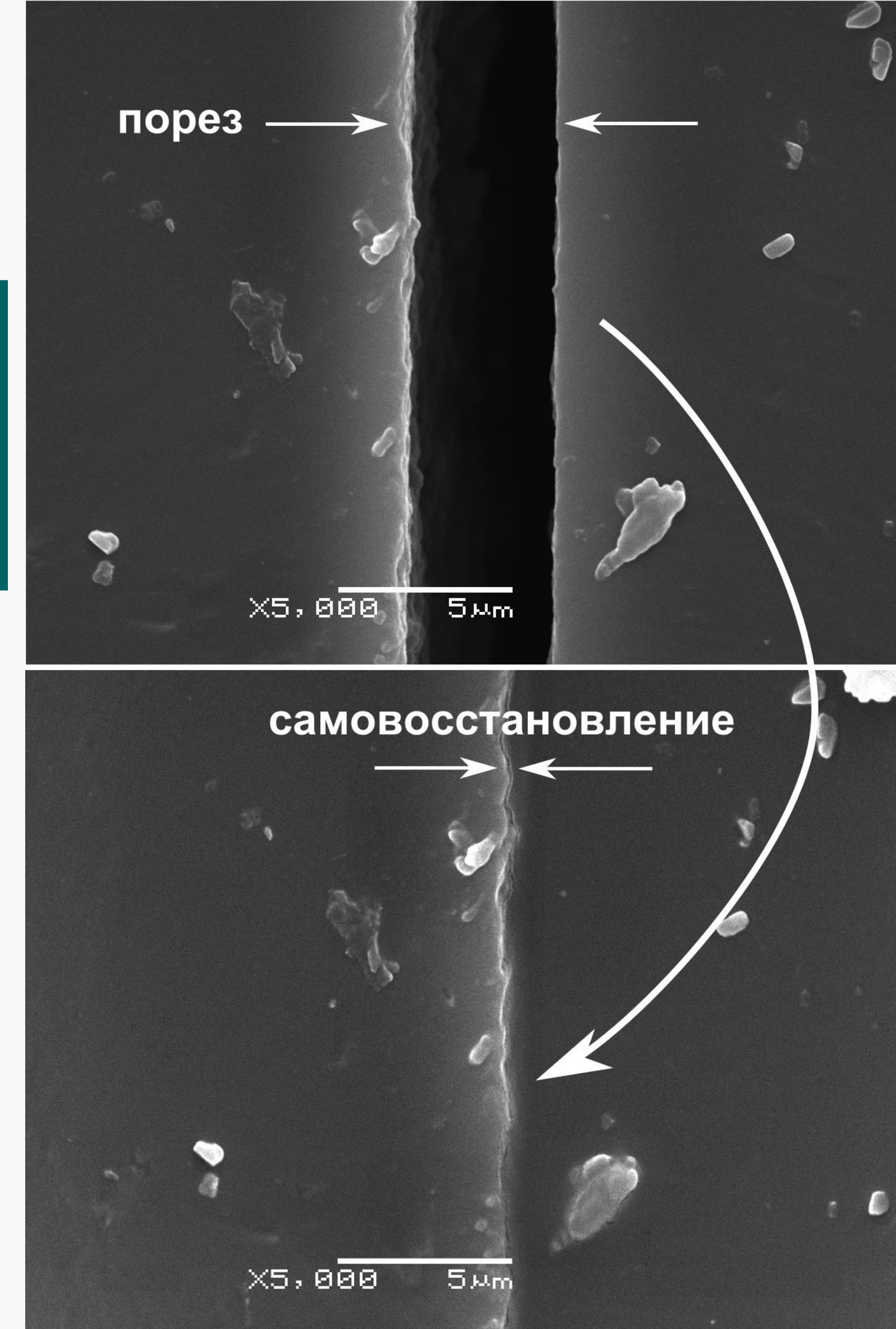
Самовосстановление от англ. *self-healing* – это способность материала восстанавливаться после повреждения как автономно так и под действием внешнего стимула.

Такие материалы могут восстанавливать:

🌀 Свою целостность

💪 Прочность

⚙️ Функциональные свойства (антикоррозионные, защитные, электрические, оптические свойства и т.д.)



# Зачем создавать самовосстанавливающиеся материалы?

## ВЫЗОВ 1

Разрушение материалов в ходе эксплуатации



## ОТВЕТ:

Продления срока службы за счет возможности залечивания повреждений



## ВЫЗОВ 2

Рост затрат на обслуживание инфраструктур



## ОТВЕТ:

Материалы, которые «следят» за собой сами



## ВЫЗОВ 3

Давление со стороны экологии и ограниченности ресурсов



## ОТВЕТ:

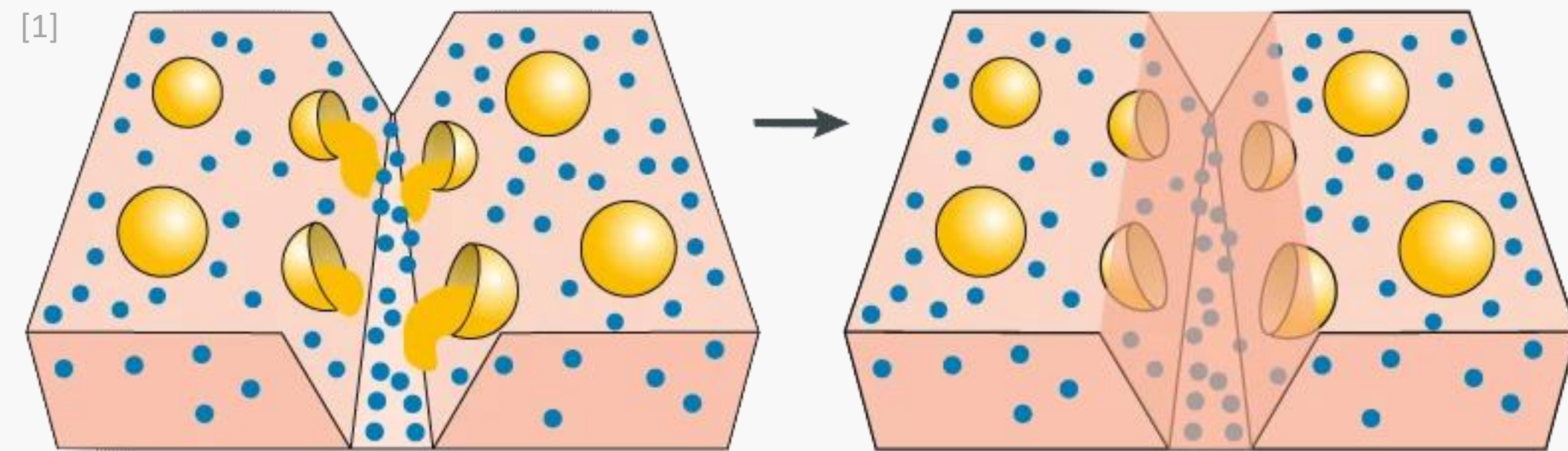
Способность к переработке



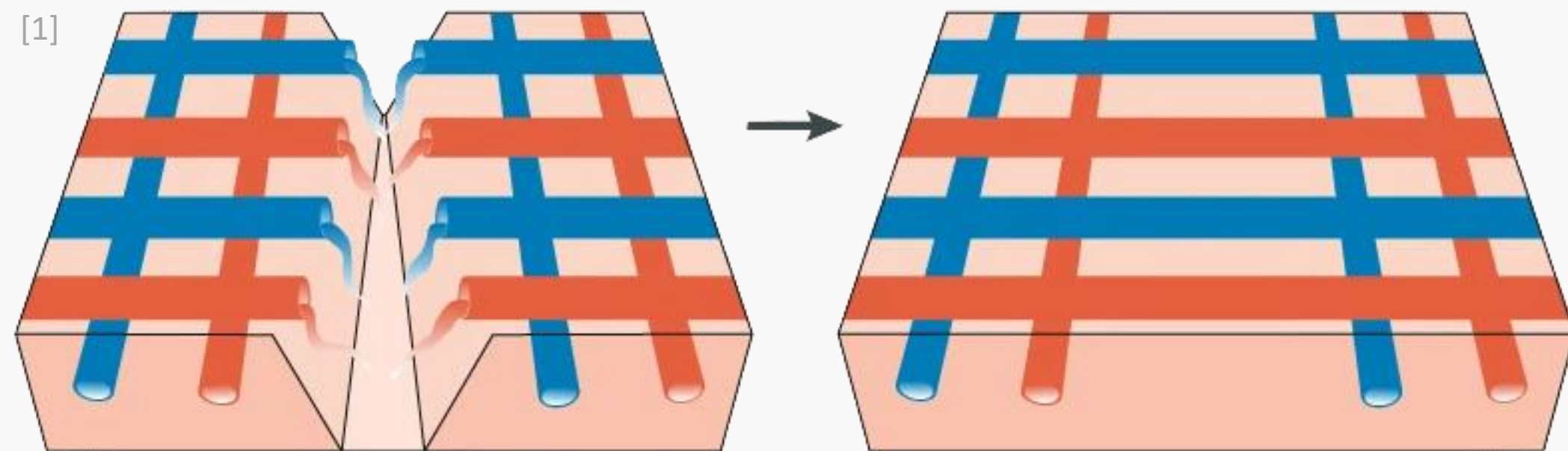
# Как создают самовосстанавливающие полимеры?

## ТИПЫ САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ

### ПРИМЕСНОЕ

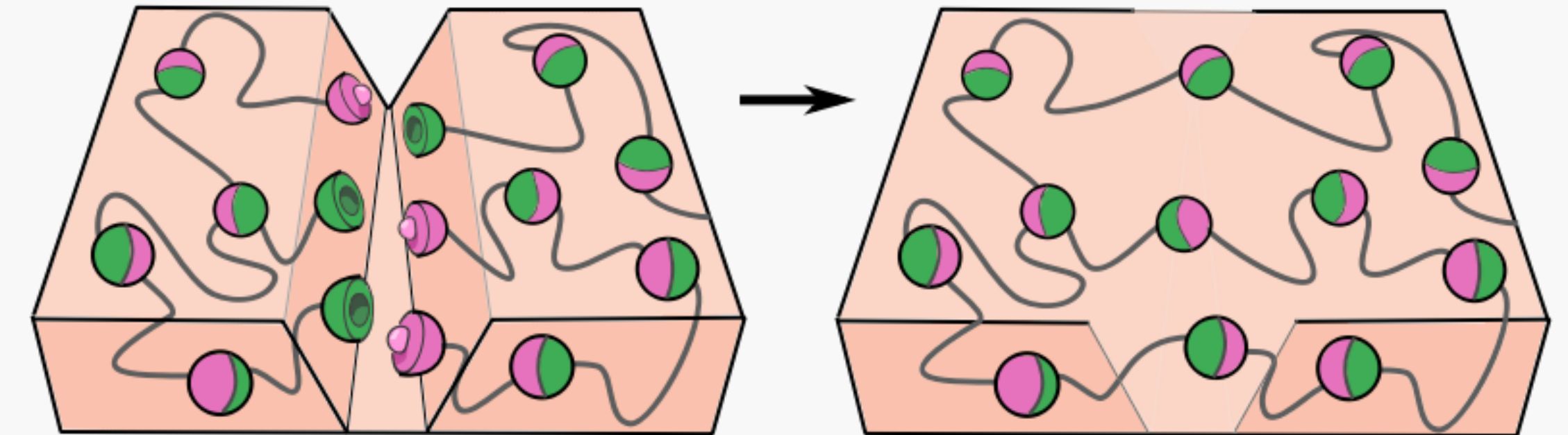


инкапсулирование

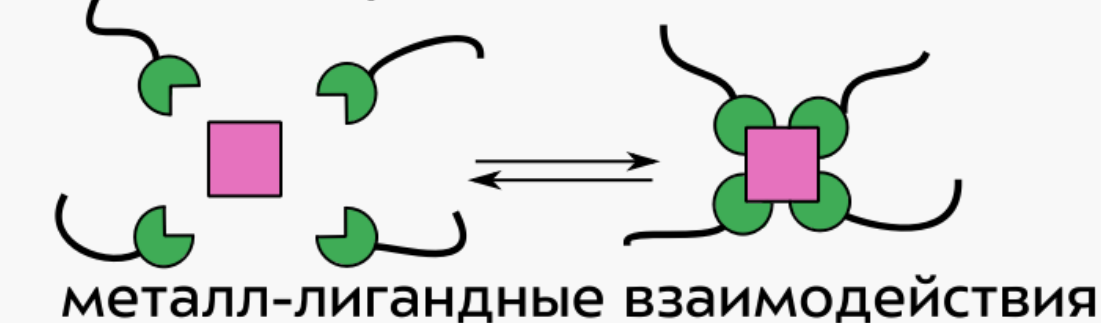
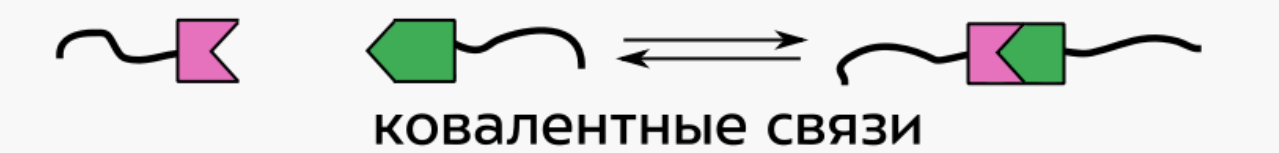


«сосудистые сетки»

### БЕСПРИМЕСНОЕ



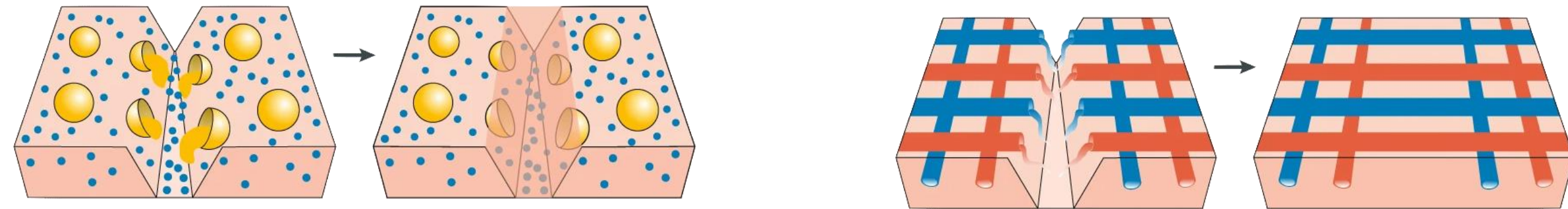
обратимые взаимодействия



# Как создают самовосстанавливающие полимеры?

## ТИПЫ САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ

### ПРИМЕСНОЕ



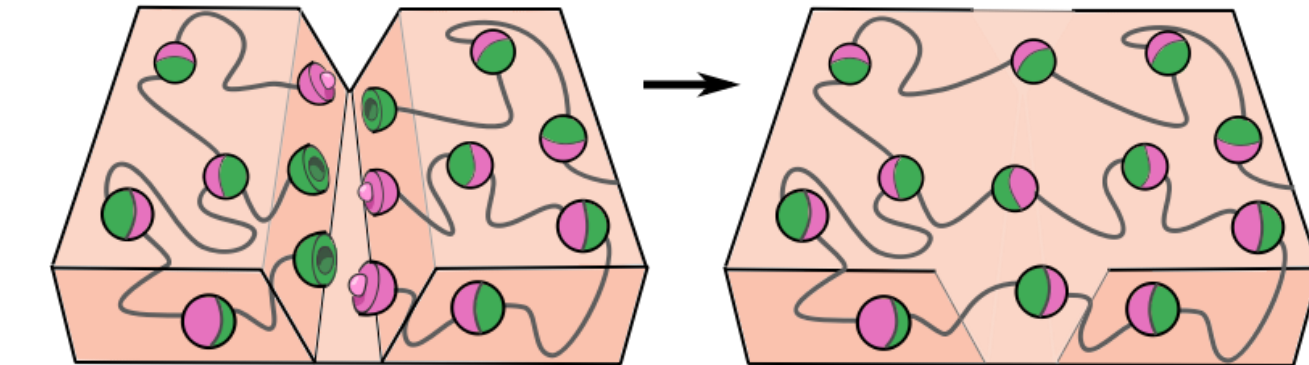
#### Плюсы:

- ✓ Автономный запуск
- ✓ Залечивание больших трещин

#### Минусы:

- ✗ Ослабление материала
- ✗ Один цикл залечивания
- ✗ Неполное восстановление свойств материала

### БЕСПРИМЕСНОЕ



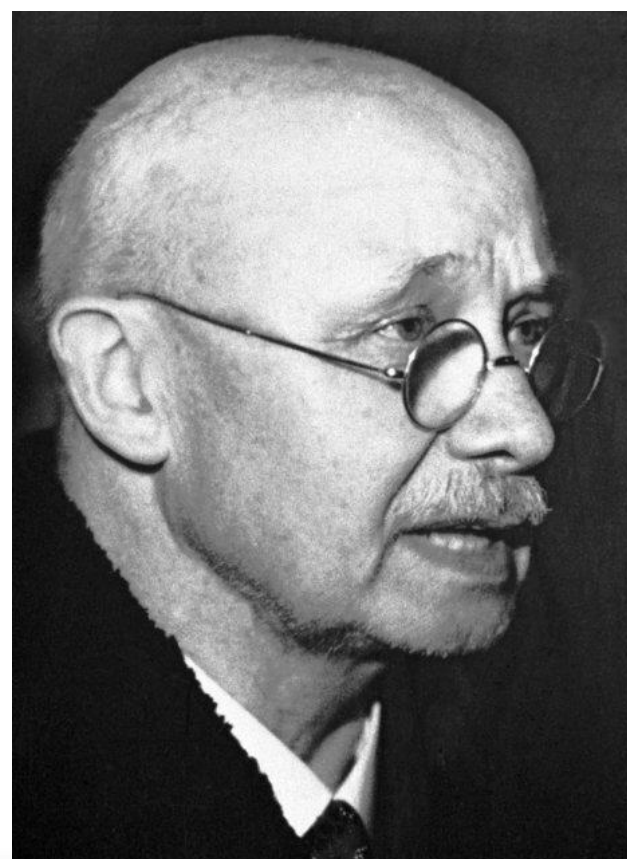
#### Плюсы:

- ✓ Многократное залечивание
- ✓ Высокая степень восстановления свойств
- ✓ Способность к многократной переработке

#### Минусы:

- ✗ Залечивание только микрповреждений
- ✗ Требуется внешний стимул
- ✗ Сложность синтеза

# Термически обратимая реакция Дильса-Альдера



Отто Дильс  
1876-1954



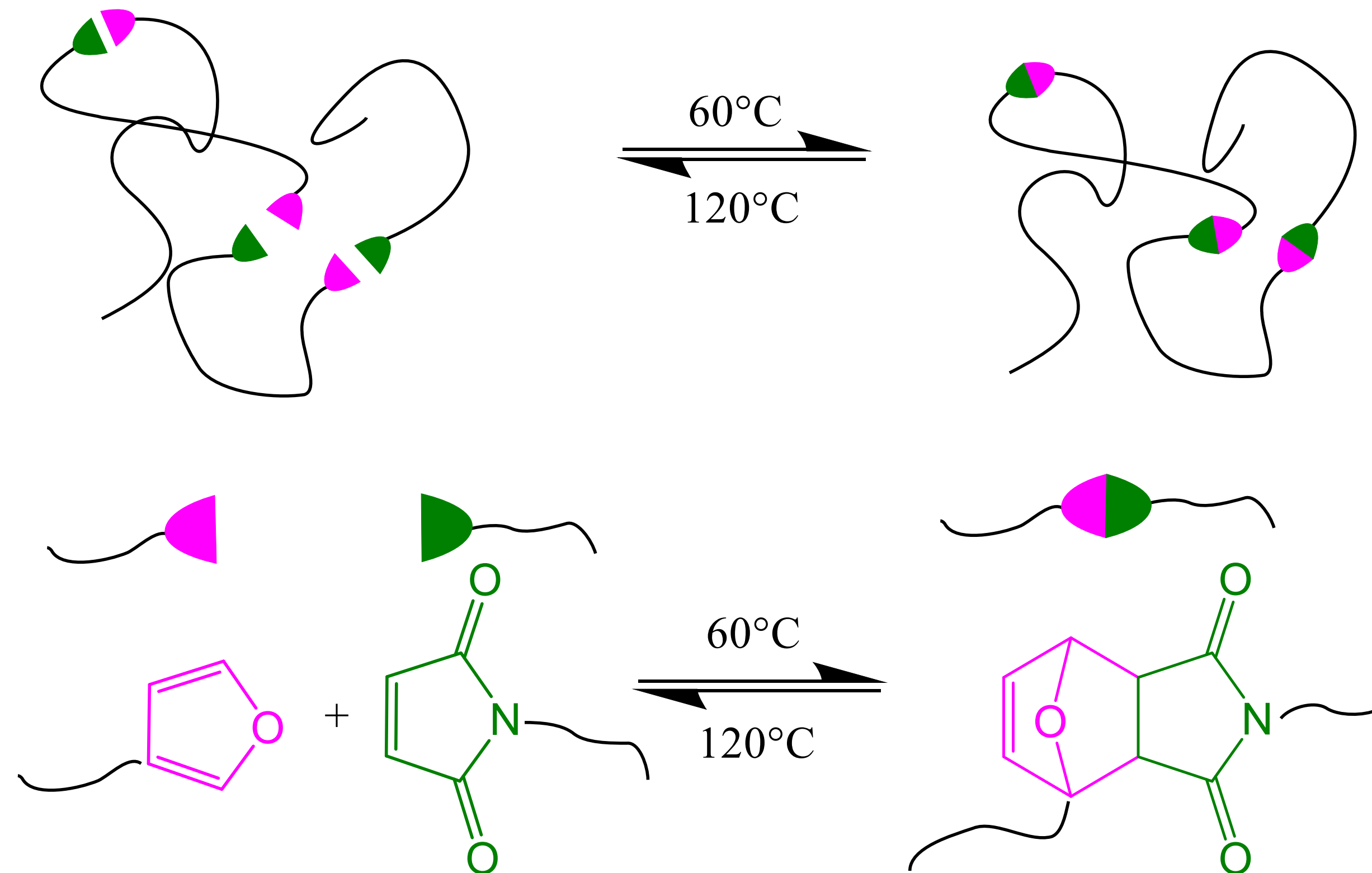
Курт Альдер  
1902-1958

1928 г  
Synthesen in der hydroaromatischen Reihe;  
von Otto Diels und Kurt Alder.

1950 г  
Нобелевская премия по химии  
«за открытие и развитие диенового синтеза».

1960-е  
Исследования первых самовосстанавливающихся  
полимеров на основе реакции Д-А

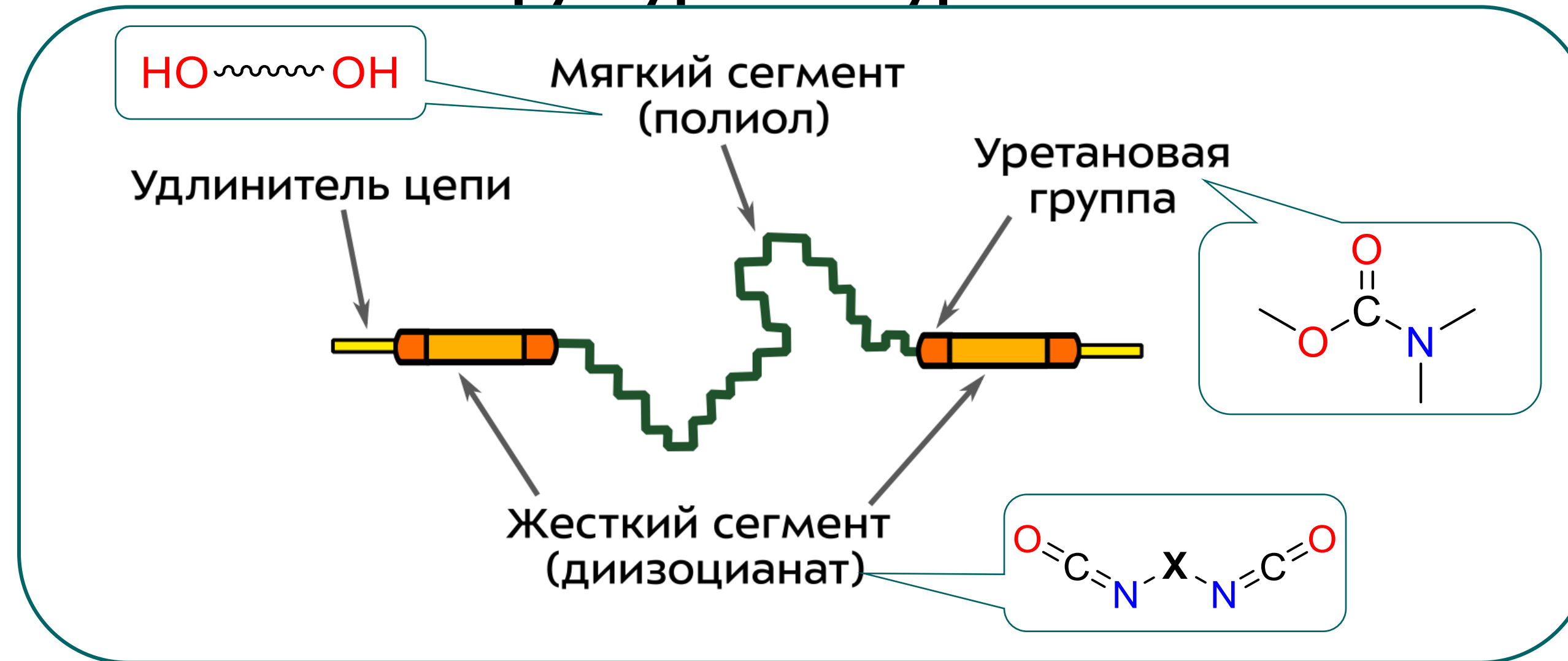
1969 г  
Первый патент  
Cross-linked thermally reversible polymers produced  
from condensation polymers with pendant furan  
groups cross-linked with maleimides  
James M. Craven



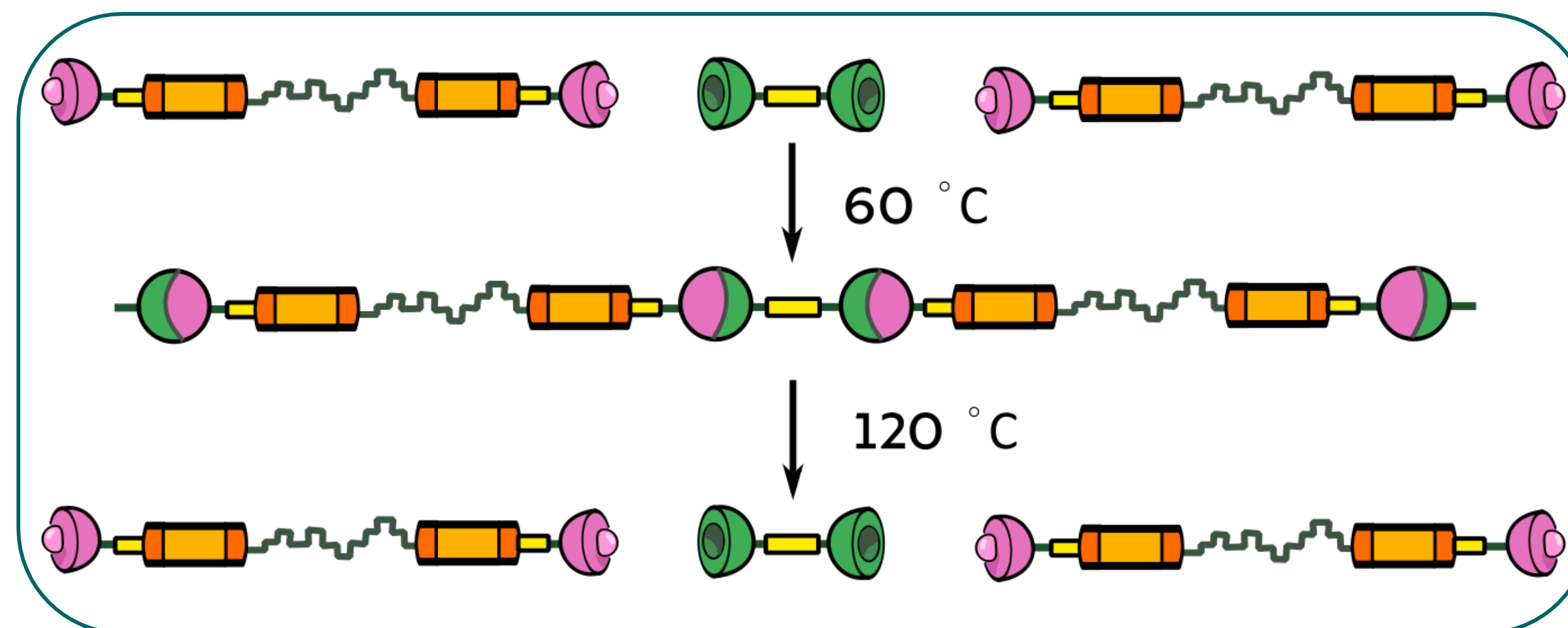
- ⚙️ **Беспримесное самовосстановление**
- 🌡️ **Мягкие условия протекания процесса самовосстановления**
- 📊 **Высокая прочность материала**
- ♻️ **Полная химическая перерабатываемость**

# Самовосстанавливающиеся полиуретаны

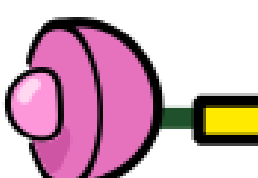
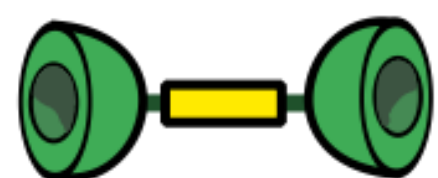
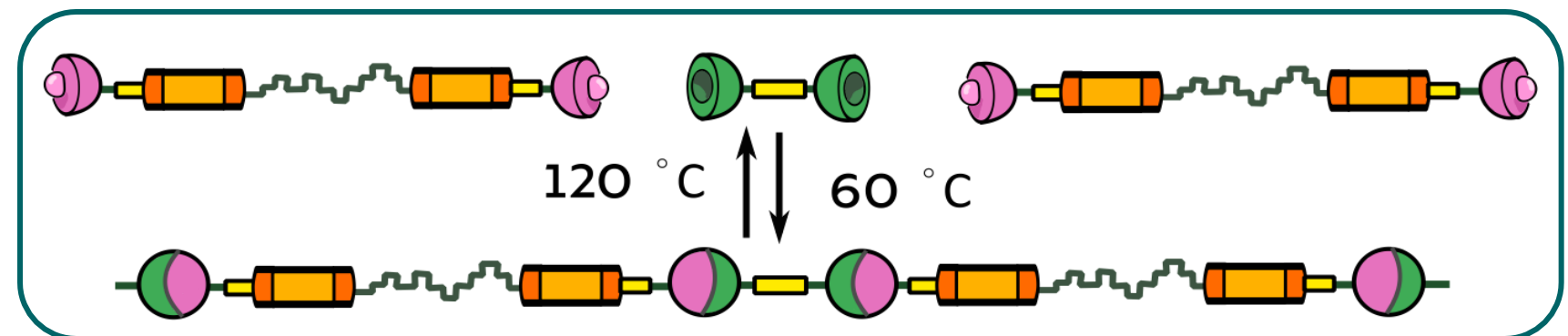
## Структура полиуретана



## Структура самовосстанавливающегося полиуретана



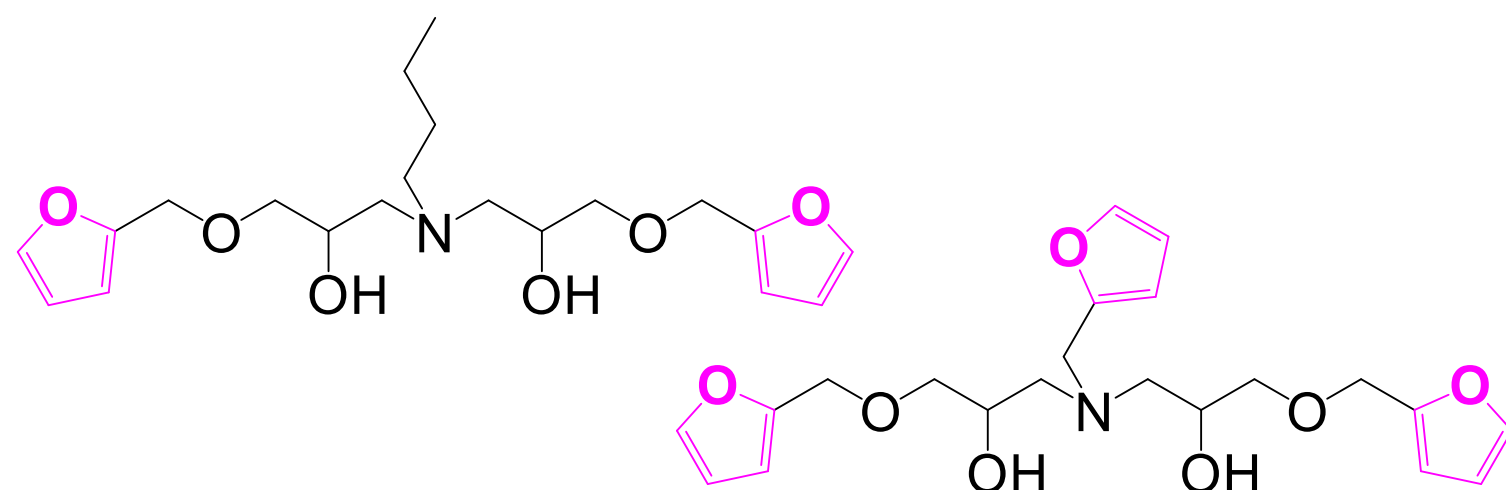
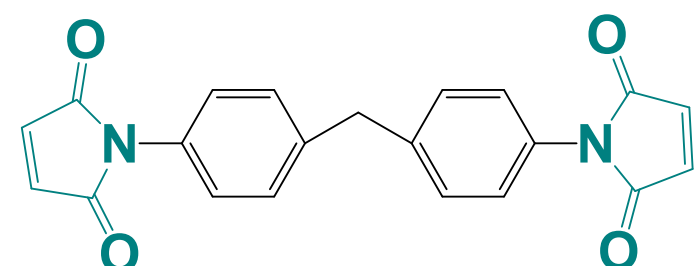
# Самовосстанавливающиеся полиуретаны



## Свойства

[1] Self-Healing Polyurethanes Based on Natural Raw Materials. Polym. Sci. Ser. C 66, 160–171 (2024). <https://doi.org/10.1134/S1811238224600228>

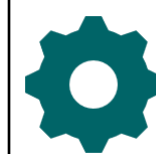
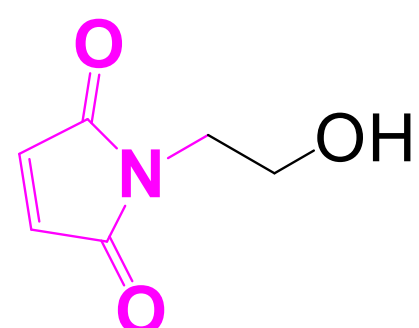
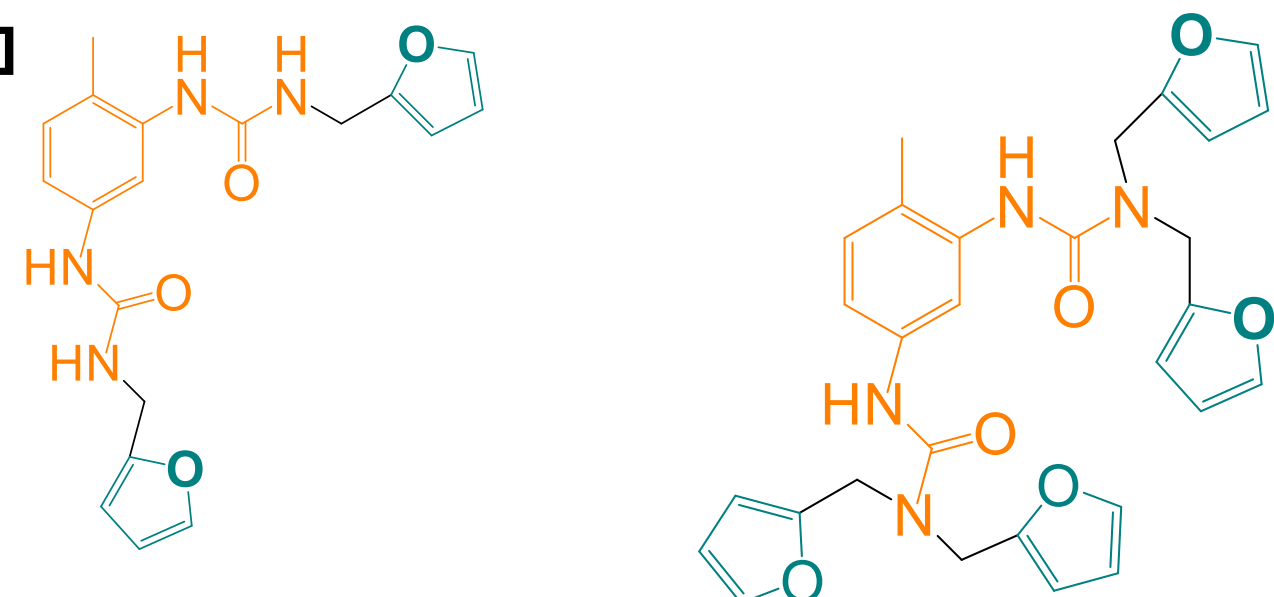
[1]



$E$  от 2,5 до 10,4 МПа  
 $\sigma$  от 2,4 до 11 МПа  
 $\eta$  до 92%

[2] Furan–Urethane Monomers for Self-Healing Polyurethanes. Polymers. 2025; 17(14):1951. <https://doi.org/10.3390/polym17141951>

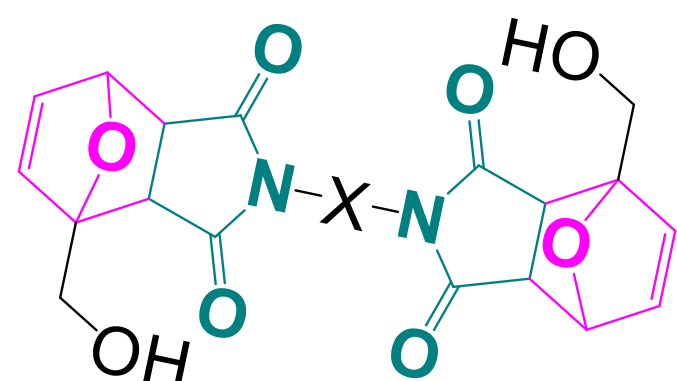
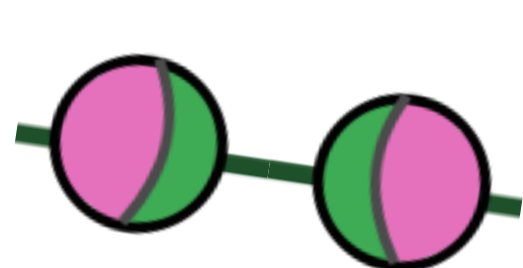
[2]



$E$  от 42 до 110 МПа  
 $\sigma$  от 8 до 20 МПа  
 $\eta$  до 100%

[3] Разработка самовосстанавливающихся полиуретановых материалов с повышенными механическими свойствами и высокой эффективностью их восстановления. Хим.Физика, 2025, том 44, No 11, с. 78–90. <https://doi.org/10.31857/S0207401X25110096>

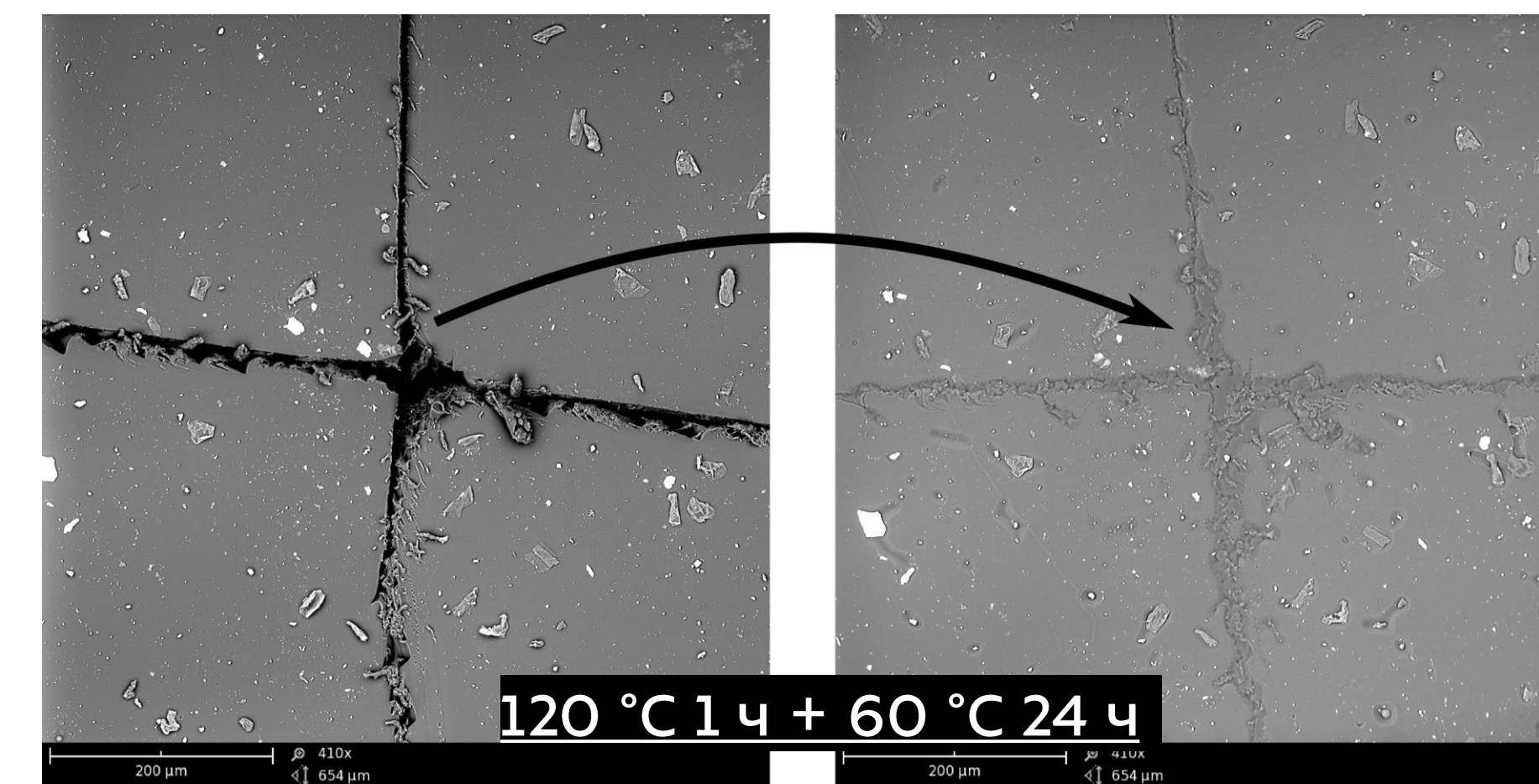
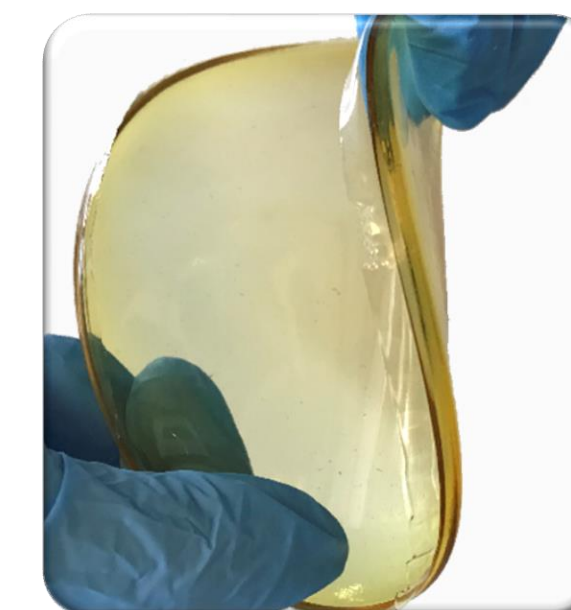
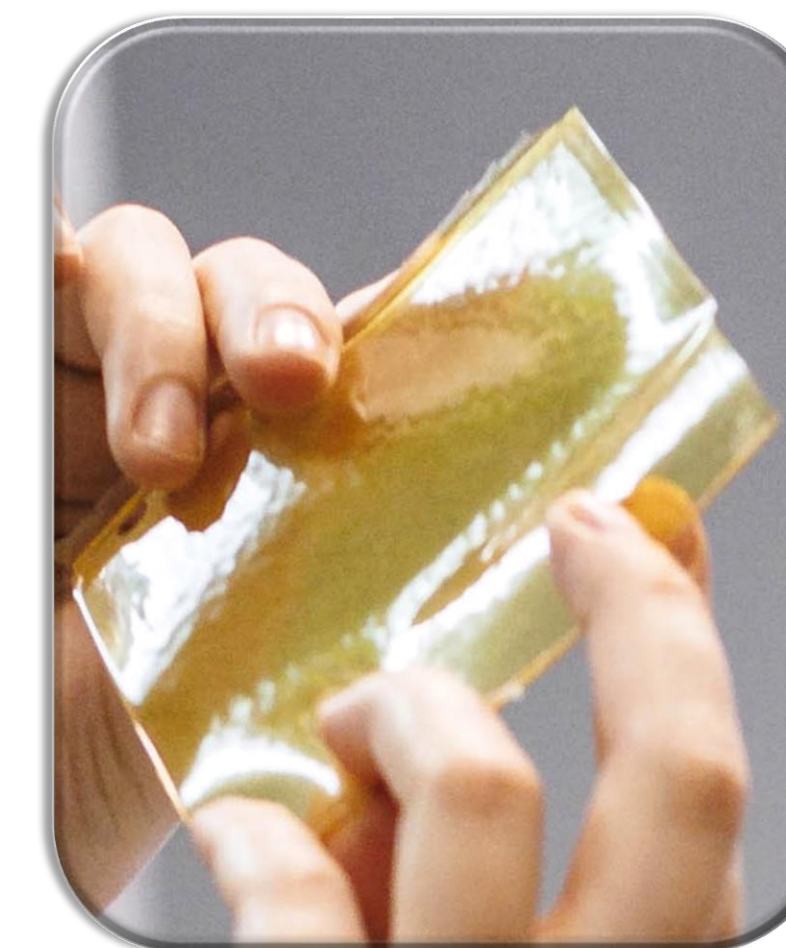
[3]



+Высокое содержание:



$E$  от 1124 до 1465 МПа  
 $\sigma$  от 33 до 44 МПа  
 $\eta$  до 97%

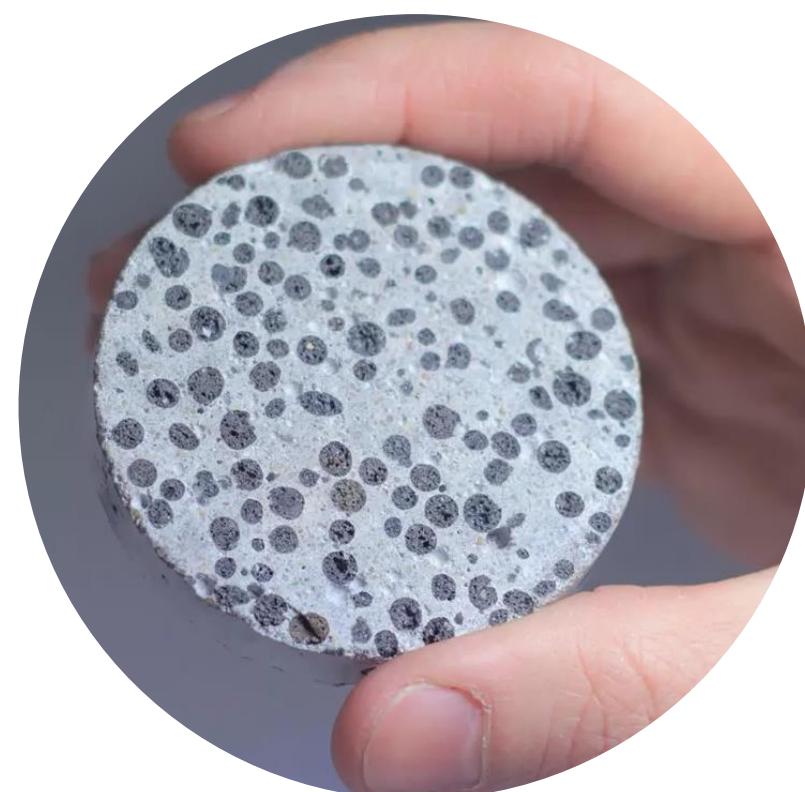


# Области применения самовосстанавливающихся материалов

## Настоящее

Строительство:

Самовосстанавливающийся бетон, защитные полимерные и металлические покрытия



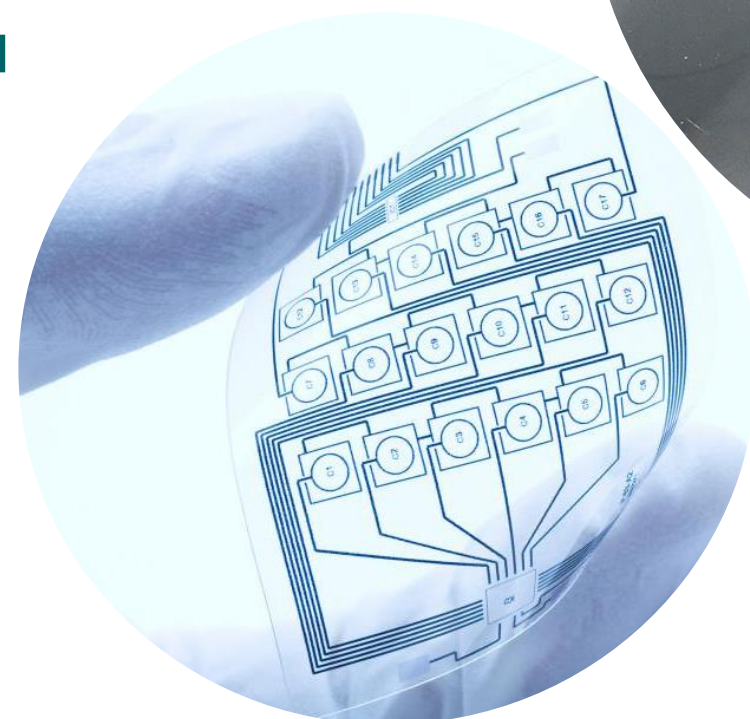
Автомобильная промышленность:

Самовосстанавливающиеся полимерные покрытия (лакокрасочные)



Электроника:

Гибкие электропроводящие элементы



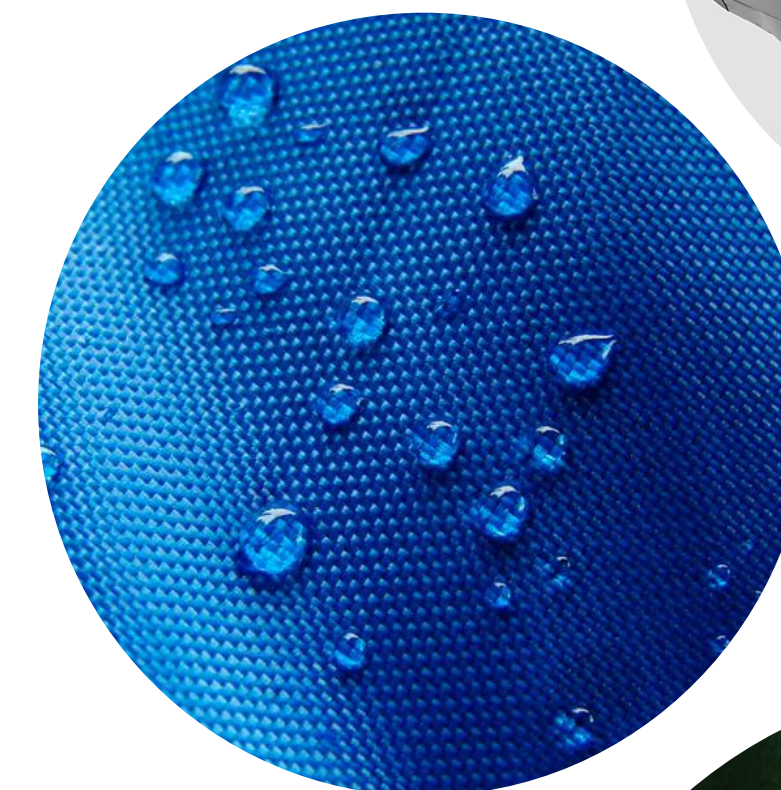
## Будущее

Защитная экипировка и спецодежда



Высокотехнологичные ткани для строительства и транспорта:

Тентовые и мембранные материалы

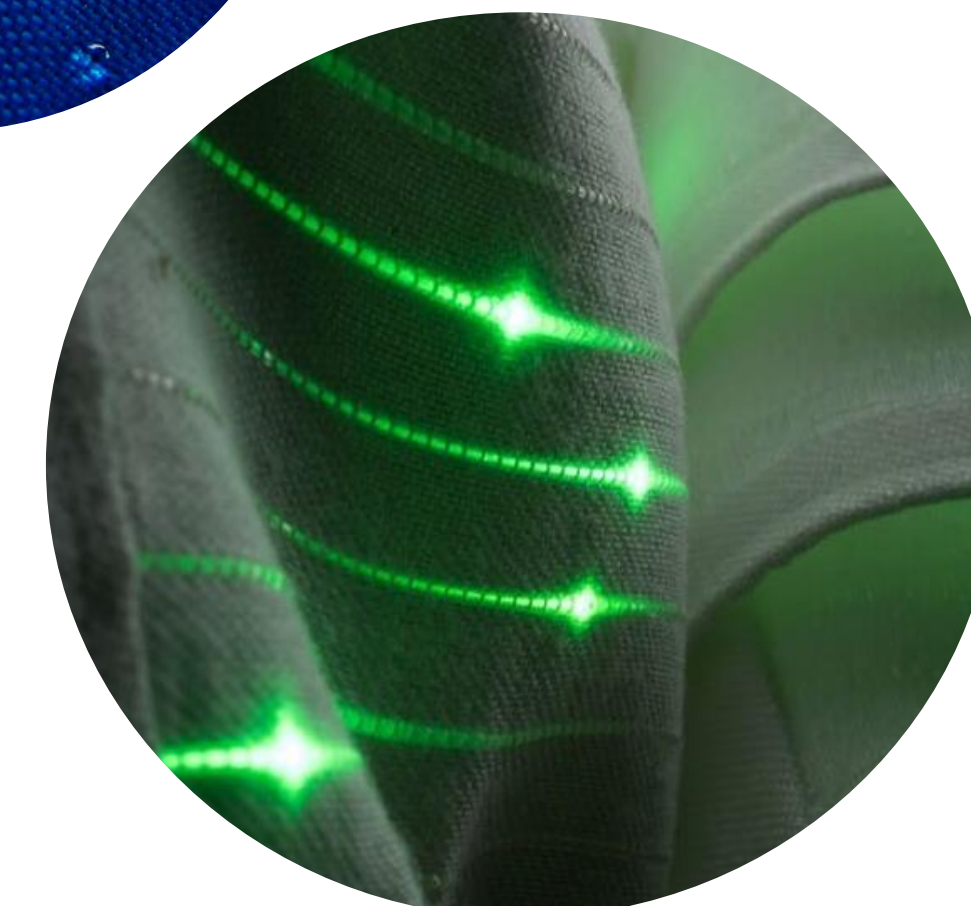


Промышленный текстиль:

Фильтровальные материалы, конвейерные ленты, уплотнители

Носимые технологии:

Электронная текстильная продукция, интегрированные сенсоры





Спасибо за внимание!

Пономарева Полина Федоровна  
[ponomareva@bmstu.ru](mailto:ponomareva@bmstu.ru)  
[Colab: R-3D427-00000-ZY78X](https://colab.research.google.com/drive/1R-3D427-00000-ZY78X)

