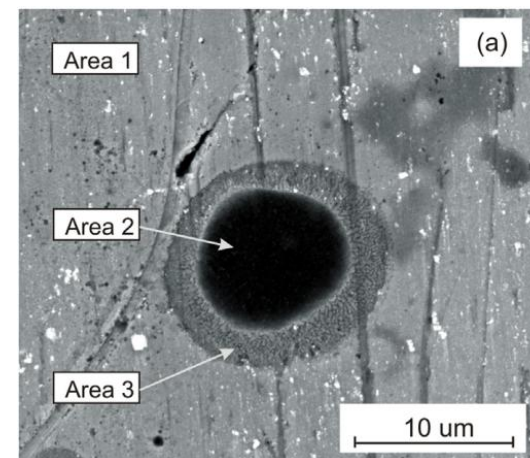
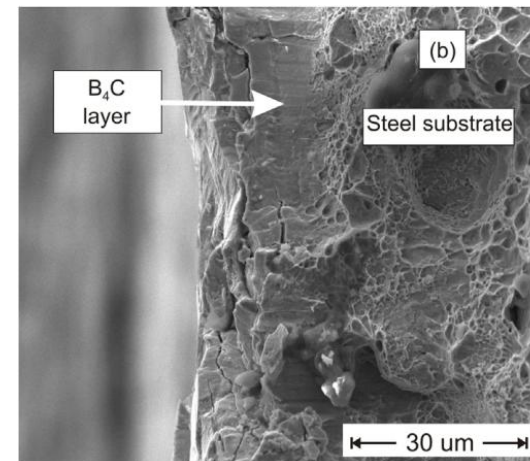


### Существующие сложности в постановке задачи расчета мехсвойств сплавов с учетом микроструктуры

- Многообразие деформационного поведения металлических сплавов
- Эффект неметаллических включений и упрочняющих фаз
- Влияние термомеханической обработки
- Зависимость механических свойств изделий от зеренной и субзеренной структуры

Цель сообщения: рассмотрение подходов и перспективных решений для расчета механических свойств металлических изделий с учетом их структурно-фазовых характеристик

**Кривилев Михаил Дмитриевич**  
**Удмуртский государственный университет,**  
**г. Ижевск**



Kharanzhevskiy, Ipatov, Krivilyov,  
Makarov et al., 2021, Surf. Coat. Tech

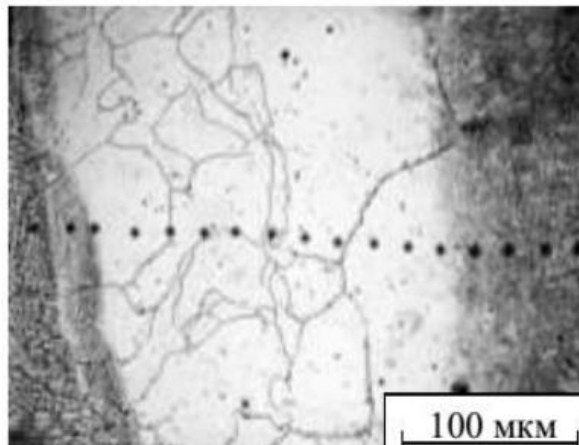
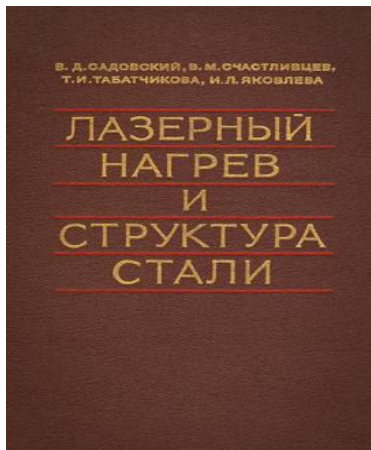
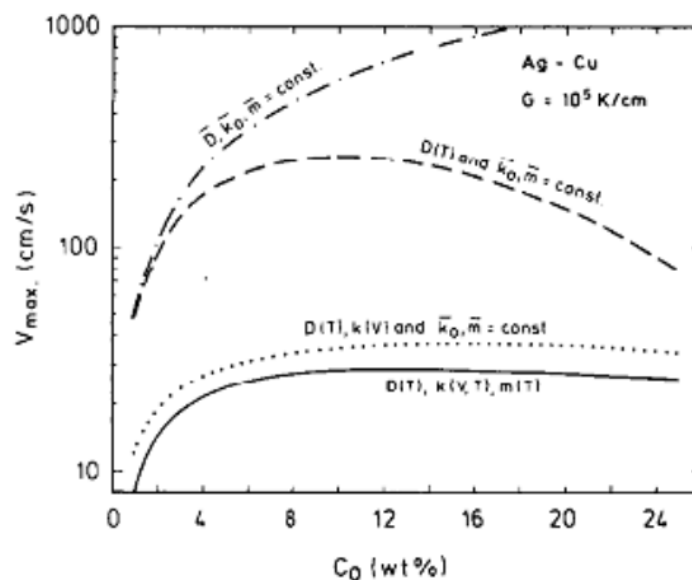


Рис. 2. Структура зоны воздействия лазерного излучения в стали 37ХН3А, предварительно закаленной от 1200°C.

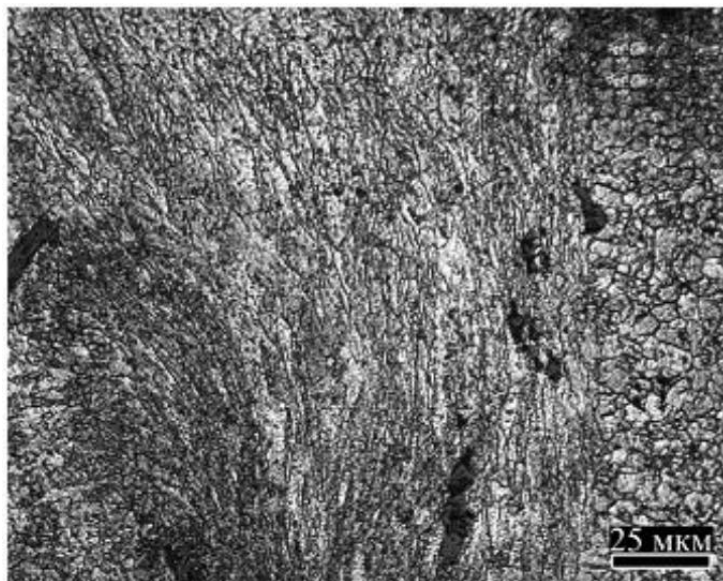
В.Д. Садовский



В. Курц

# Микроструктуры при СЛМ

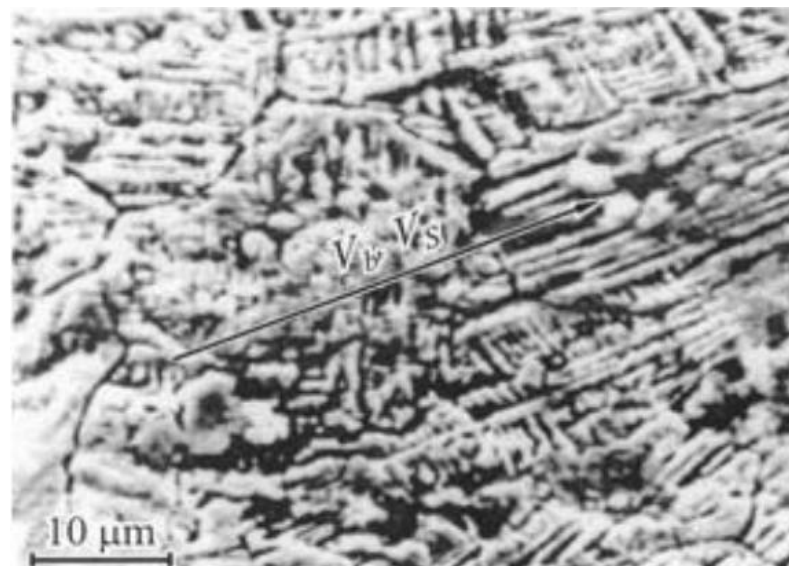
## Пластические течения на микро- и мезоуровнях



В образцах СЛС железа протяженные и искривленные каналы мезо-и микропластического течения, заполненные неравноосными деформированными зернами

Б.К. Барахтин, А.С. Жуков, М.В. Старицын и др.  
Санкт-Петербургский морской технический университет

Центральные кристаллы дендритов, расположенные в плоскости поверхности образцов. Фотографии получены СЭМ поверхности при  $V_b = 1$  см/с



Haranzhevskiy et al., Mater. Sci. Eng. A, 2004



# Диаграмма микроструктур

## Взаимосвязь режимов кристаллизации и микроструктуры

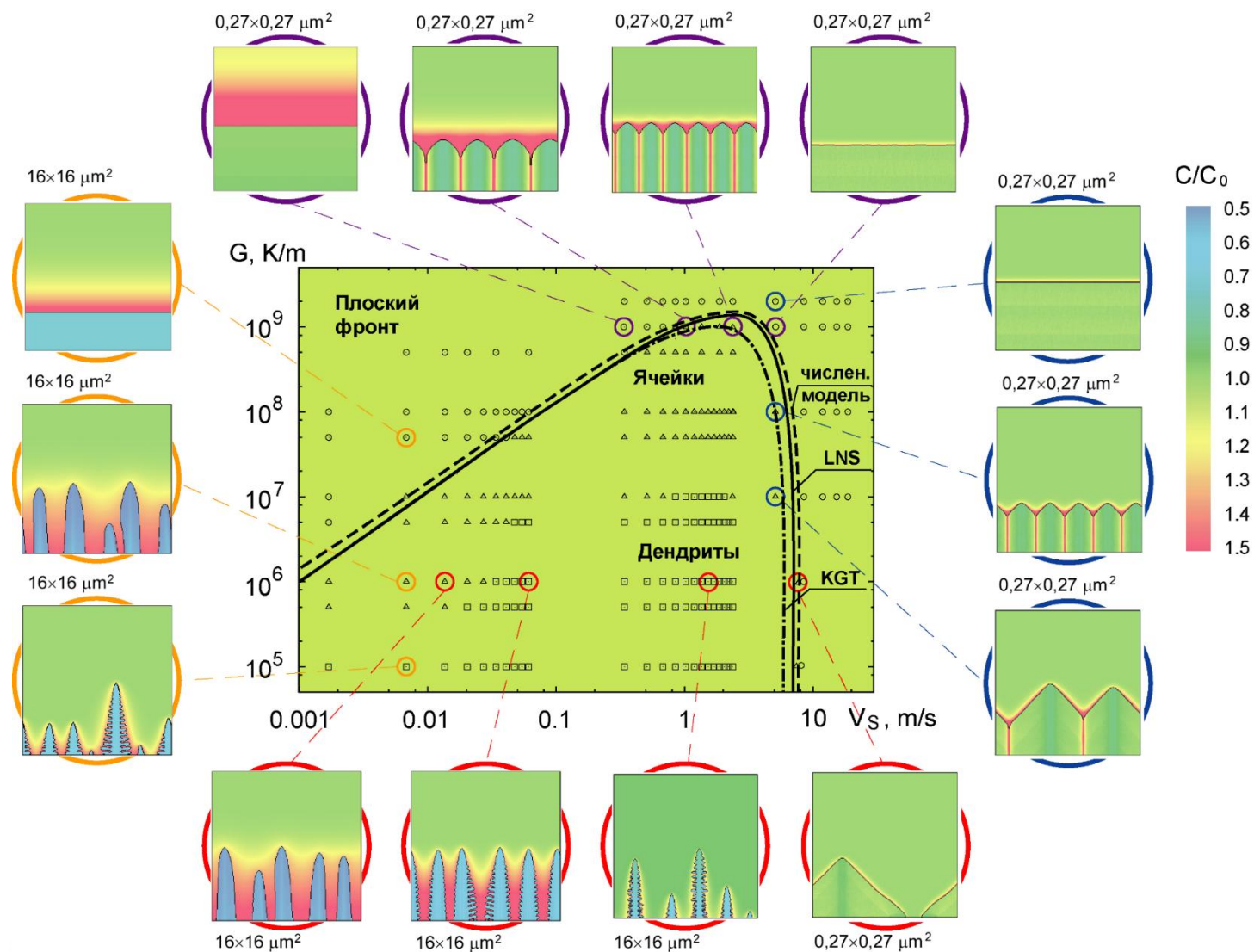
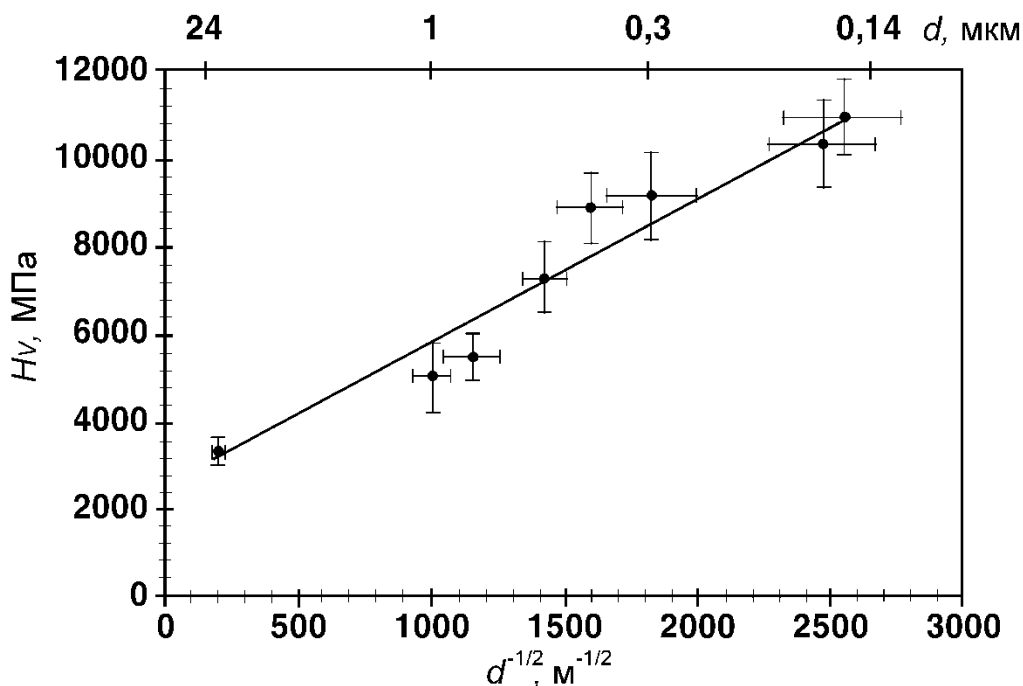


Диаграмма отбора микроструктур, рассчитанная для стали 45 и построенная в координатах  $V — G$

Показано вырождение дендритной структуры вблизи скорости абсолютной морфологической устойчивости

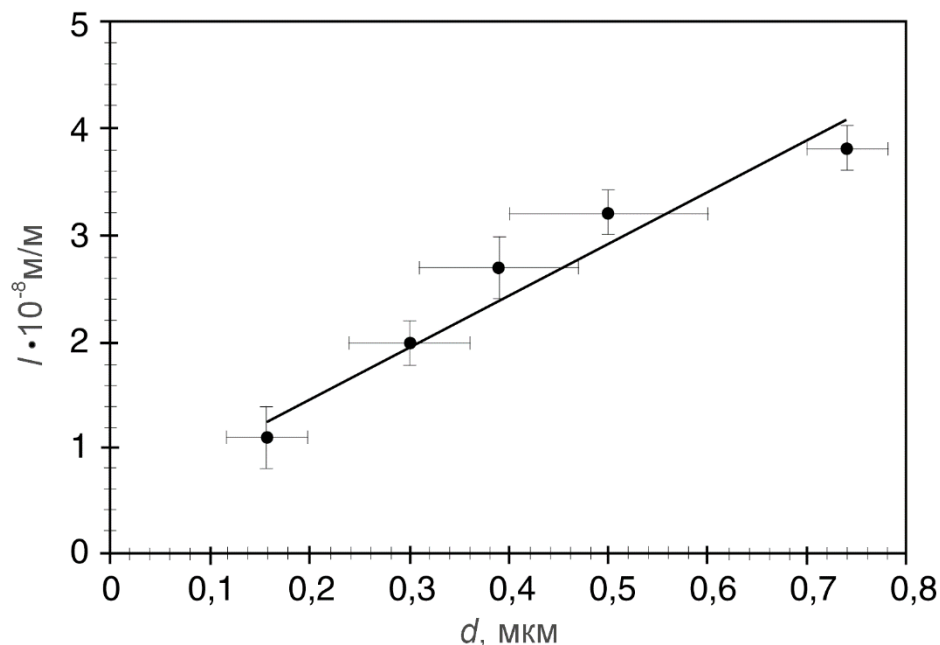
Кривилев и соав.,  
Вестник УдГУ, 2005

Зависимость микротвердости  $H_V$  слоев после лазерной высокоскоростной перекристаллизации стали 45 от  $d^{-1/2}$  ( $d$  – поперечная толщина ствола дендрита/ячейки)



Petch, The cleavage strength of polycrystals // Journal Iron Steel Inst., 1953

Зависимость величины относительного износа  $I$  от размера  $d$  элемента структурной составляющей в зоне оплавления при лазерной высокоскоростной перекристаллизации

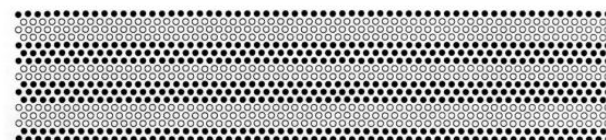
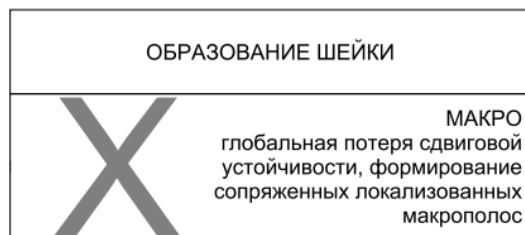
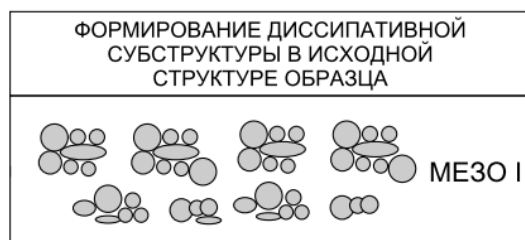


Ломаев, Харанжевский, Кривилев, 2002

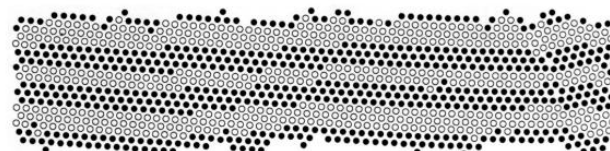
# Макромеханические свойства

## Прочность и пластичность поликристаллитов

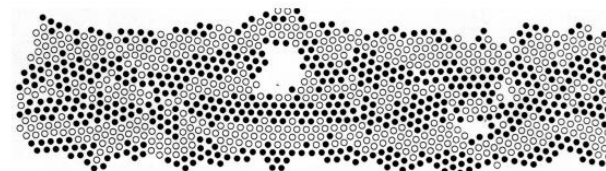
Работы В.Е. Панина, В.А. Лихачева, Р.З. Валиева и других выдающихся отечественных исследователей внесли определяющий мировой вклад в развитие мезомеханики материалов



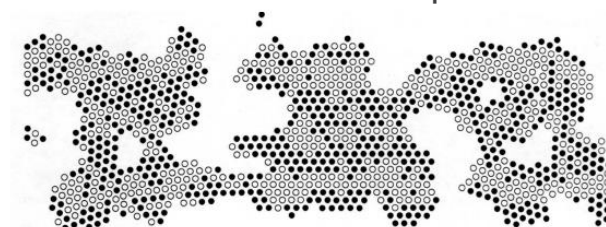
Исходное состояние



Появление остаточных деформаций

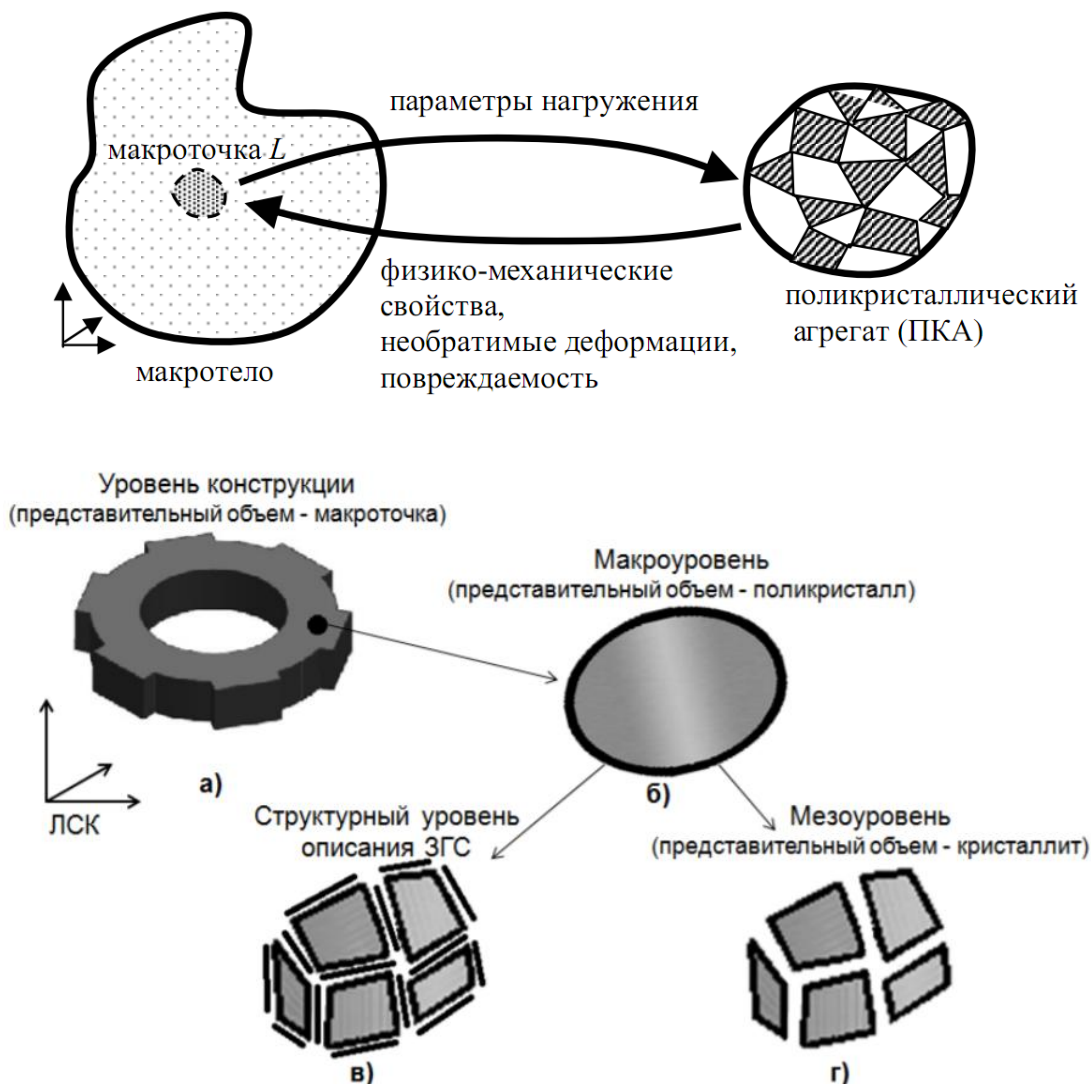


Появление пор



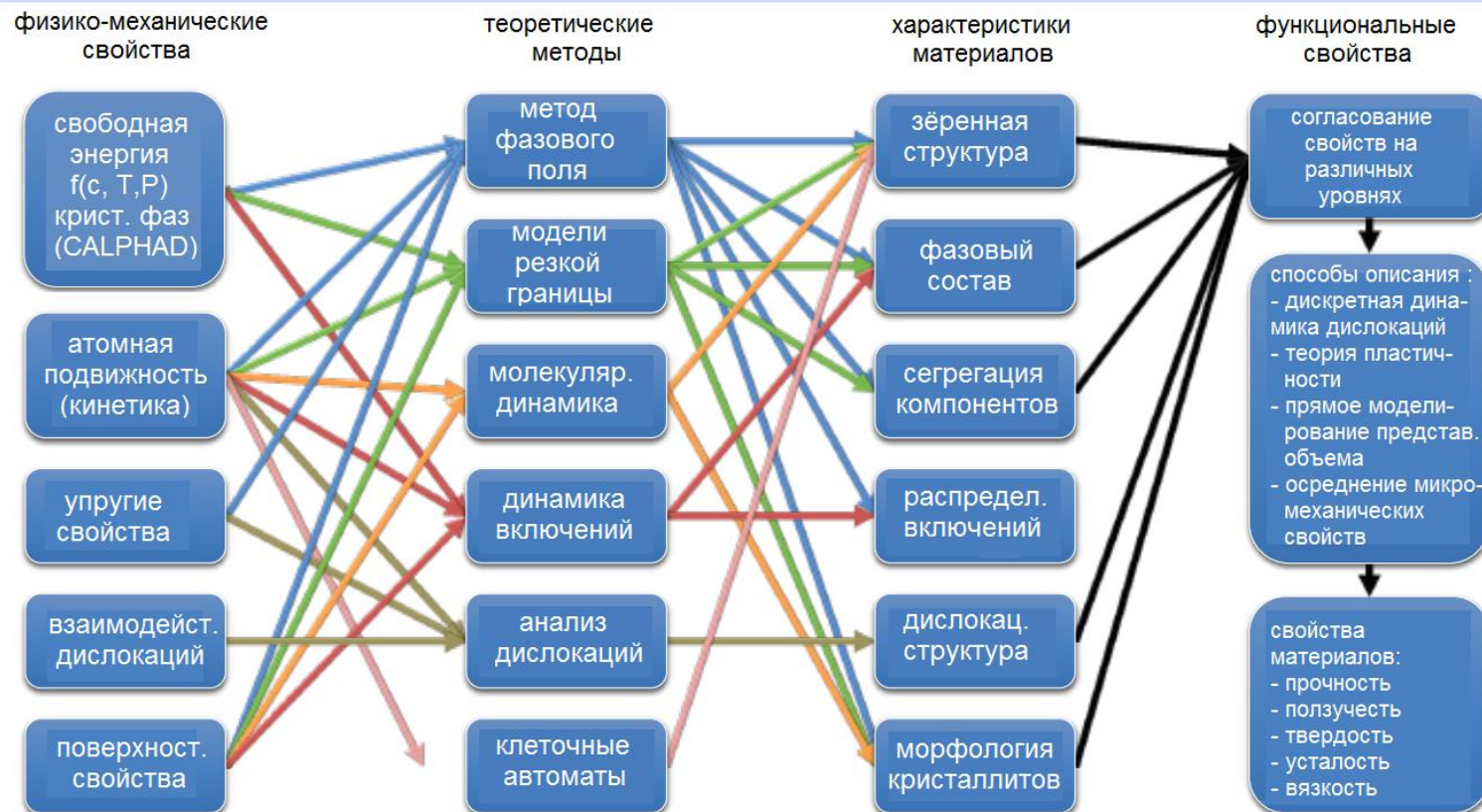
Разрушение

- Работы С.Д. Волкова (Екатеринбург), Б.Е. Победря (МГУ), Ю.В. Соколкина (Пермь) — пионерские работы по механике композитов
- Научные школы С.Г. Псахье (Томск), П.В. Трусова (Пермь), П.В. Макарова (Томск) — многоуровневых моделей деформации поликристаллических материалов
- Прямое/статистическое моделирование поликристаллов — В.А. Романова (Томск), А.И. Швейкин (Пермь)





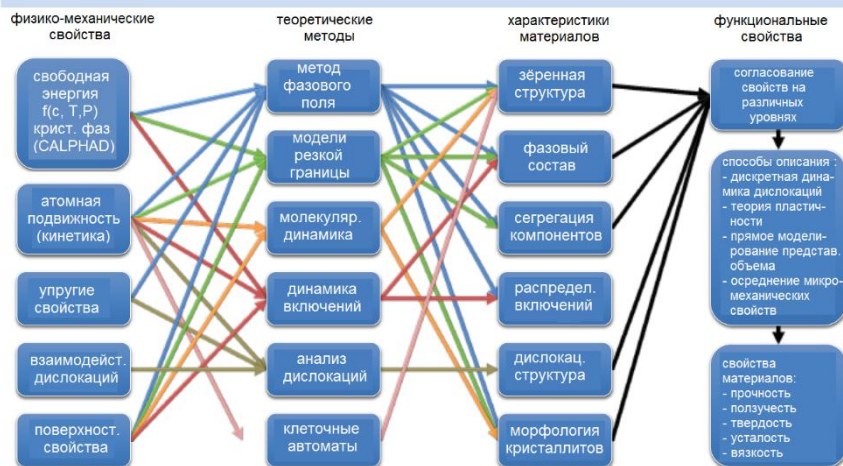
## ВЗАИМОСВЯЗЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ, МИКРОСТРУКТУРЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ НА РАЗЛИЧНЫХ МАСШТАБНЫХ УРОВНЯХ



Modeling Across Scales: A Roadmapping Study for Connecting Materials Models and Simulations Across Length and Time Scales. — NIST, 2015



## ВЗАИМОСВЯЗЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ, МИКРОСТРУКТУРЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ НА РАЗЛИЧНЫХ МАСШТАБНЫХ УРОВНЯХ

Поликристаллические  
металлические материалы

- Накоплен большой задел в области механики ДТТ
- Развиты физические и математические модели кристаллизации и полиморфных превращений
- Хорошо разработаны модели ab-initio и МД расчетов на атомном уровне

- Логичное связывание различных подходов в рамках многоуровневых моделях позволит создать верифицированные расчетные методики
- Методики позволят определять деформационного поведения материалов в широком диапазоне условий эксплуатации