

**Аспирант 3 года обучения Корзунова Елена Илларионовна  
лаборатория диффузии**

**Научный руководитель** – к. ф-м. н. Горбачев Игорь Игоревич

**Специальность** 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»

**Тема работы** – Прогнозирование фазового состава и структуры сталей с карбонитридным упрочнением при непрерывном охлаждении.

**Задачи текущего года**

Развитие методов прогнозирования структуры стали, подвергаемой пластической деформации при высоких температурах, с учетом влияния частиц вторых фаз. Реализация предложенных подходов в программном коде. Выполнение модельных расчетов и оценка адекватности работы созданных алгоритмов.

**Результаты, полученные в текущем году**

- Реализован алгоритм для прогнозирования размера зерна при нагреве под прокатку.
- Предложен подход для прогнозирования структуры стали, подвергаемой горячей пластической деформации.
- Проведено сравнение результатов расчетов с имеющимися в литературе экспериментальными данными и показано их хорошее согласие.

**Аспирант 3 года обучения Корзунова Елена Илларионовна  
лаборатория диффузии**

**Апробация работы**

**Статьи**

1. И.И. Горбачев, Е.И. Корзунова, В.В. Попов. Моделирование процесса кристаллизации в малоуглеродистых низколегированных сталях // Физика металлов и металловедение. 2022. Т. 123. № 6. с. 630–636

**За этот год:**

1. Моделирование роста аустенитного зерна в низколегированных сталях при аустенитизации [Текст] / И.И. Горбачев, Е.И. Корзунова, В.В. Попов, Д.М. Хабибулин, Н.В. Урцев // Физика металлов и металловедение. — 2023. — V. 124. — P. 303—309.

**Свидетельство о программах для ЭВМ**

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022612634 / 28.02.2022. Е.И. Корзунова, И.И. Горбачев, В.В. Попов.

**Аспирант 3 года обучения Корзунова Елена Илларионовна  
лаборатория диффузии**

**Тезисы докладов на российских конференциях**

1. Е.И. Корзунова, В.В. Попов, И.И. Горбачев. Прогнозирование количества нитридов титана и сульфидов титана и марганца, образующихся при кристаллизации стали // Тезисы докладов XXI Всероссийской школы-семинара по проблемам физики конденсированного состояния вещества (СПФКС-21), Екатеринбург, 18-25 марта 2021 г. С. 137.

**За этот год:**

1. Е.И. Корзунова. Прогнозирование роста аустенитного зерна сталей с карбонитридным упрочнением [Текст] / Е.И. Корзунова, И.И. Горбачев // XXII Всероссийская школа-семинар по проблемам физики конденсированного состояния вещества (СПФКС-22) памяти М.И. Куркина, Екатеринбург, 24 ноября – 1 декабря, 2022: Тезисы докладов, г. Екатеринбург, ИФМ УрО РАН.- 130 с.

**Тезисы докладов на международных конференциях**

**Приняты тезисы доклада на VII Международную молодежную конференцию в Магнитогорске (30.05 – 03.06.2023)**

**Аспирант 3 года обучения Корзунова Елена Иларионовна  
лаборатория диффузии**

## **Экзамены**

### **Экзамен по философии**

Сдан – «Хорошо»

### **Экзамен по иностранному языку**

Сдан – «Отлично»

### **Методология преподавания в высшей школе**

«Зачтено»

## **Участие в грантах**

Проект РФФ № 22-29-01106 "Прогнозирование фазового состава и структуры низколегированных сталей, подвергаемых горячей деформации" 2022-2023

Руководитель – к. ф-м. н. Горбачев Игорь Игоревич

**Степень участия** – исполнитель;

Хоз. договор № 27/2021 «Разработка математических моделей для прогнозирования фазового состава и структуры низколегированных высокопрочных сталей, формирующихся при разливке на МНЛЗ-6 и термомеханической обработке в технологической линии»

Руководители – В.В. Попов, Ю.Н. Горностырев

Ответственный исполнитель – Горбачев И.И.

**Степень участия** – исполнитель.

**Аспирант 3 года обучения Корзунова Елена Илларионовна**  
**лаборатория диффузии**

**Таблица показателей**

Показатель	Баллы	Кол-во	Сумма
публикации в изданиях ВАК (вышедшие из печати)	20	2(1)	40
публикации в изданиях ВАК (принятые в печать)	5	0	0
свидетельство о программах для ЭВМ, зарегистрированных в установленном порядке	20	1	20
патент	20	0	0
соавторство в монографии	5	0	0
оформленное ноу-хау	5	0	0
публикации в других изданиях (не тезисы)	2	0	0
тезисы доклада на международной конференции	5	0	0
тезисы доклада на российской конференции	2	2(1)	4
участие в конференции с устным докладом	2	2(1)	4
участие в конференции со стендовым докладом	1	0	0
сданный на «отлично» кандидатский экзамен	20	1	20
сданный на «хорошо» кандидатский экзамен	15	1	15
сданный на «удовлетворительно» кандидатский экзамен	10	0	0
участие в грантах в качестве: исполнителя	5	2	10
участие в грантах в качестве: руководителя	10	0	0
Общая сумма			113(24)

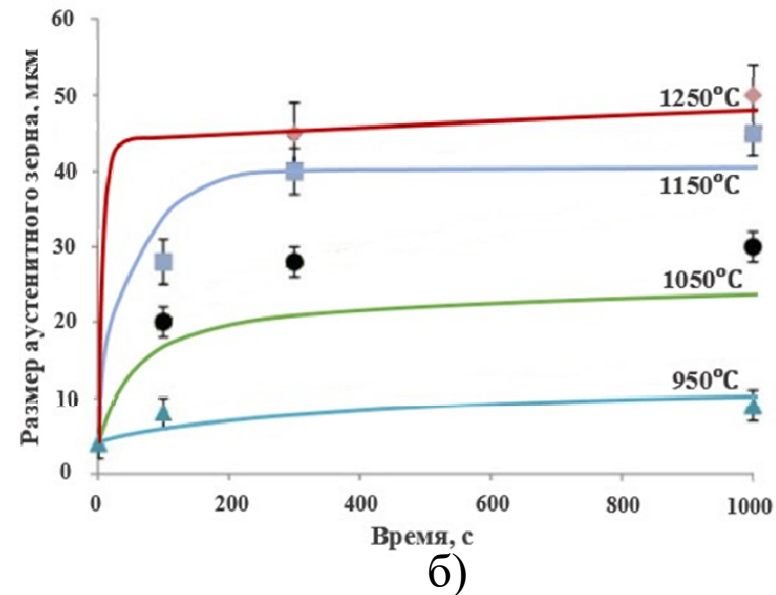
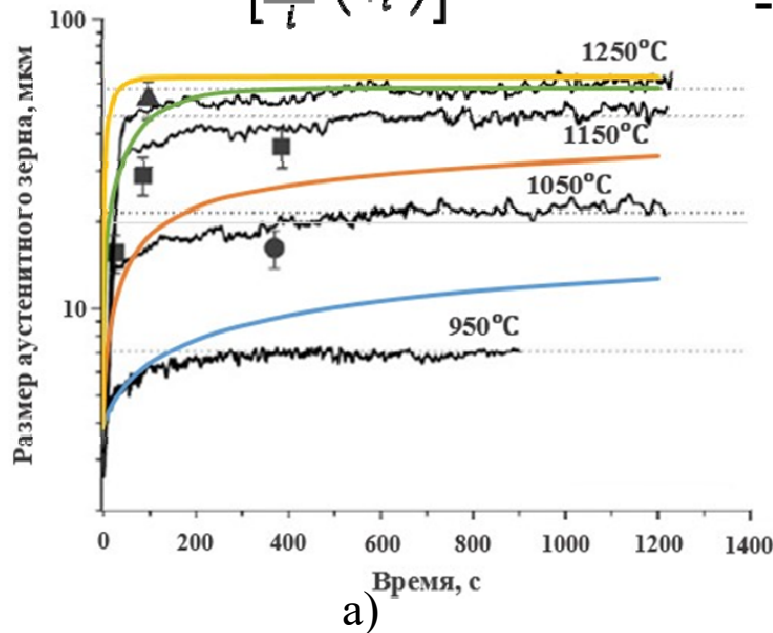
**Аспирант 3 года обучения Корзунова Елена Илларионовна**  
**лаборатория диффузии**

Наработки по теме диссертации.

Прогнозирование размера зерна при нагреве под прокатку

$$\frac{dD}{dt} = M_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \gamma \left(\alpha \frac{1}{D} - \beta \frac{f}{r}\right) \left[\sum_i \left(\frac{f_i^m}{r_i}\right)\right]^{-1}$$

где  $M_0$  – предэкспоненциальный множитель, а  $Q$  – энергия активации движения границы зерна,  $T$  – температура,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $\gamma$  – зернограничная энергия,  $\alpha$  и  $\beta$  – константы,  $D$  – средний диаметр зерна,  $r$  – радиус частиц,  $f$  – объемная доля частиц.



а\* – для стали с составом 0.06 С, 0.034 Nb, 0.012 Ti, 0.005 N (масс.%)

б\*\* – для стали с составом 0.0878 С, 0.0363 Nb, 0.018 Ti, 0.0038 N (масс.%)

\*M. Maalekian et al. Acta Materialia. 60, 1015 (2012).

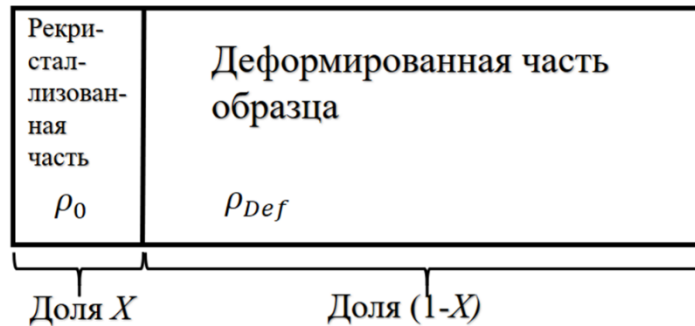
\*\*G. Khalaj et al. Materials Science and Technology. 30, 424 (2014).

**Аспирант 3 года обучения Корзунова Елена Илларионовна**  
**лаборатория диффузии**

Наработки по теме диссертации.

Моделирование изменения фазового состава и структуры при горячей деформации.

Модельное упрощение требующее модернизации\*



$$\rho'_i = \rho_i + \Delta\rho_i,$$

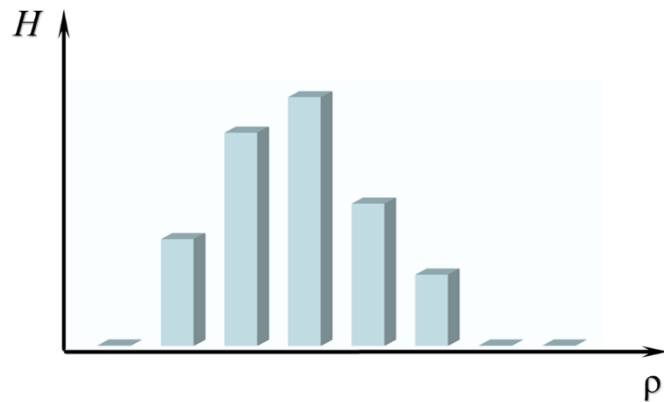
$$H_i = \sum_j H_j X_i^j,$$

где  $X_i^j$  – отношение длины пересечения  $i$ -го и  $j$ -го интервалов. При этом  $j$ -ые интервалы соответствуют гистограмме с изменёнными интервалами  $\rho'_i$ .

$$H_0 = H_0 + H_i \cdot \left(1 - 2^{-\frac{\Delta t}{t_{0.5}}}\right),$$

$$H_i = H_i \cdot 2^{-\frac{\Delta t}{t_{0.5}}}.$$

Предлагаемое решение



Здесь  $\Delta t$  – временной шаг,  $t_{0.5}$  – время половины рекристаллизации.

$$\frac{dD}{dt} = M\gamma \left( \alpha \frac{1}{D} - \beta \sum_i \left( \frac{f_i}{r_i} \right) \right) - \frac{D}{3} \frac{dX}{dt} \ln(N),$$

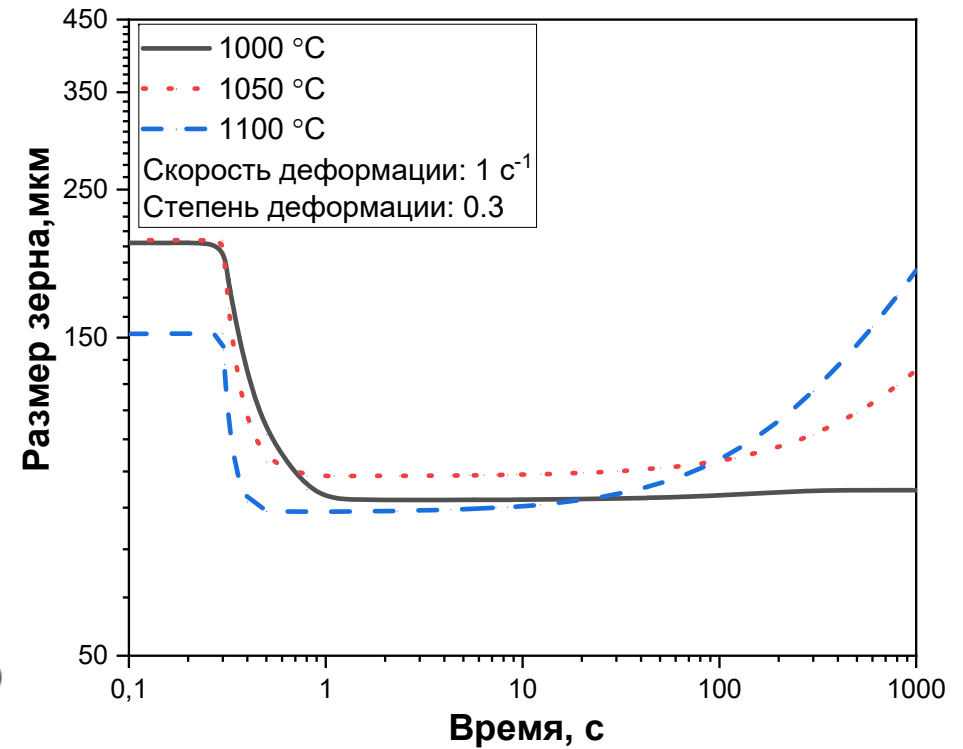
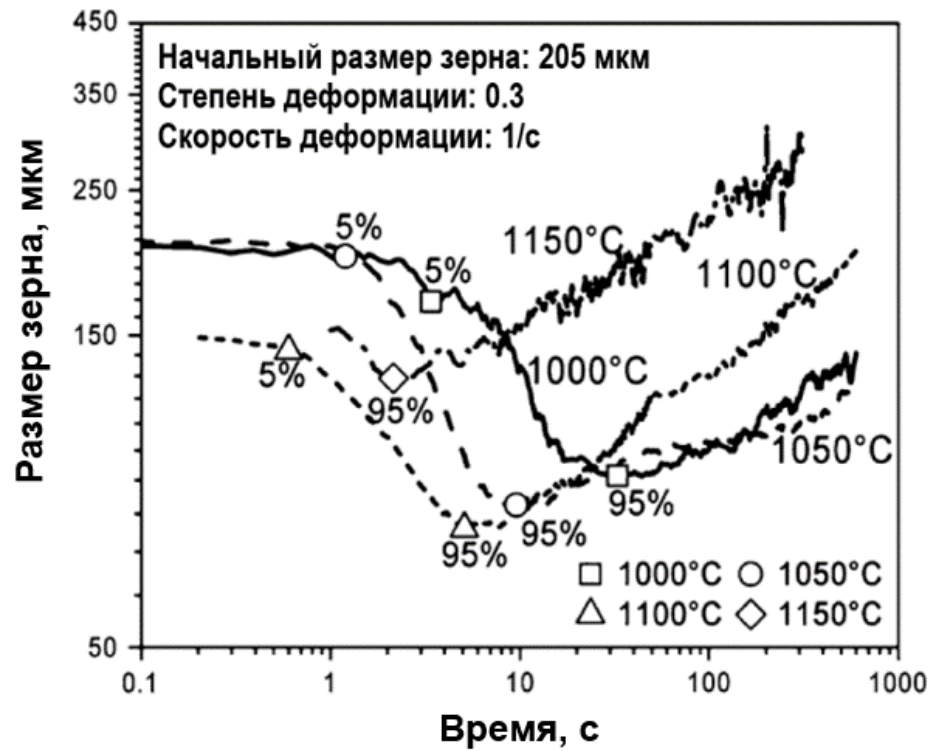
где  $D$  – средний диаметр зерна,  $t$  – время,  $\gamma$  – энергия границы зерна,  $\alpha$  и  $\beta$  – константы,  $f_i$  – объёмная доля выделений вторых фаз радиуса  $r_i$ .  $M$  – подвижность границы зерна,  $X$  – доля рекристаллизованного материала,  $N$  – число рекристаллизованных зёрен, приходящихся на одно старое.

\*И.И. Горбачев и др. //ФММ. – 2018. – Т. 119. – № 6. – С. 582–589.

Аспирант 3 года обучения Корзунова Елена Илларионовна  
лаборатория диффузии

Наработки по теме диссертации

Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными \*



\*Sarkar S et al. // Metall and Mat Trans A. – 2008. – V. 39. – P. 897–907.



**Аспирант 3 года обучения Корзунова Елена Илларионовна**  
**лаборатория диффузии**

**Наработки по теме диссертации**  
**Задачи на текущий год**

Разработка модели для прогнозирования размера ферритного зерна в условиях непрерывного охлаждения и построение термокинетических кривых распада аустенита, с учетом эволюции частиц вторых фаз.