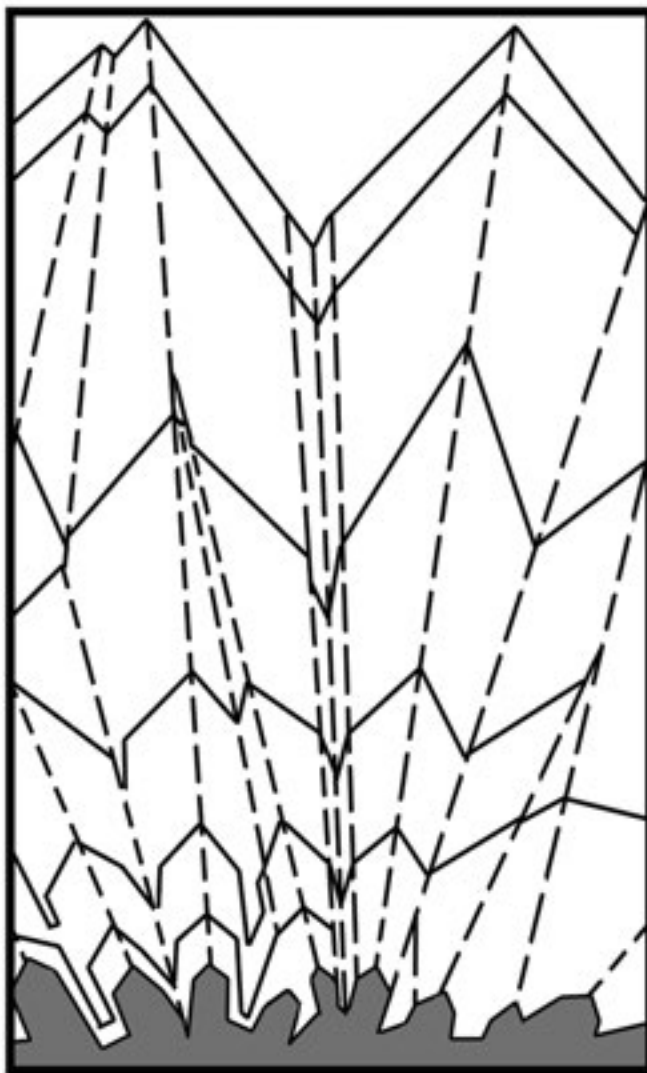




Solidification

computer simulation,
experiments and technology



Abstracts of 9th international conference
Izhevsk, 6–9 April, 2022

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН»
АО Научно-производственное объединение «МКМ»

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ: КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ, ЭКСПЕРИМЕНТ, ТЕХНОЛОГИИ

Тезисы
IX Международной конференции
6–9 апреля 2022 года

УдмФИЦ УрО РАН

Ижевск
2022

УДК 669.017.3:681.3.06 (043.3)
ББК 34.3

Главный редактор П. К. Галенко
Ответственный редактор Л. В. Камаева

К26 Кристаллизация: компьютерные модели, эксперимент, технологии: Тезисы IX Международной конференции. – Ижевск: Изд-во УдмФИЦ УрО РАН, 2022. – 258 с.

Solidification: computer simulation, experiments and technology: Abstracts of the IX internationale conference. – Izhevsk: UdmFRC UB RAS Publ., 2022. – 258 p.

ISBN 978-5-6047339-4-3

Настоящий сборник содержит тезисы докладов участников IX международной конференции «Кристаллизация: компьютерные модели, эксперимент, технологии» (КРИС-2022, 6–9 апреля 2022 года, УдГУ), посвященной актуальным проблемам теории, эксперимента и разработки компьютерных технологий процессов макро- и микроскопической кристаллизации.

Рассмотрены процессы структурообразования в сплавах, процессы высокоскоростной кристаллизации, современные проблемы в областях атомистической динамики, аморфных систем, образования микроструктур и старения сплавов, а также связанные с аддитивными технологиями.

ISBN 978-5-6047339-4-3

УДК 669.017.3:681.3.06 (043.3)
ББК 34.3

© Коллектив авторов, 2022
© УдмФИЦ УрО РАН, 2022

Влияние термодинамического фактора на условия ультразвуковой кавитации парогазовых пузырьков при лазерной обработке металлических образцов

Д. Р. Фатталова¹, С. Л. Ломаев²

¹Удмуртский государственный университет, Институт математики, информационных технологий и физики, 426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская 1

²Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, 426027, Россия, г. Ижевск, ул. им. Татьяны Барамзиной 34

Управление размером и структурой зерна при кристаллизации – важная и актуальная задача для многих областей металлургии. Один из способов влиять на структуру зерна – использование ультразвука в процессе кристаллизации. Данная технология применяется для улучшения качества сварочных швов при электродуговой сварке [1,2], в литейных технологиях [3,4], а в последние годы ведется активная исследовательская работа в контексте применения данных технологий для процессов 3D-печати металлических изделий [5,6].

Одной из основных гипотез, которая встречается в научной литературе – это влияние ультразвука на процесс кристаллизации посредством кавитации парогазовых пузырьков [1-5]. При прохождении волны во время подачи отрицательного давления парогазовые пузырьки, находившиеся в расплавленном материале, расширяются, затем, при положительном давлении, схлопываются, локально возрастают температура и давление, что может приводить к дроблению зерна и появлению новых центров зарождения. Существует резонансная частота, при которой для схлопывания кавитационного пузырька требуется значительно меньшая амплитуда ультразвукового давления, чем в общем случае, когда схлопывание проходит безрезонансном режиме.

Целью данной работы являлось теоретическое исследование влияния термодинамического фактора на условия схлопывания парогазового пузырька. Исследование состояло в численном решении уравнения Нолтинга-Неппайреса [7] для парогазовых пузырьков различных размеров и с различным показателем политропы, которые находятся под воздействием плоской ультразвуковой волны в ванне расплава из стали 316L.

В работе [8] исследовались условия схлопывания. Была предложена модель резонансного схлопывания парогазовых пузырьков, а также были получены рассчитаны условия резонансного схлопывания парогазовых пузырьков в ванне расплава из стали 316L, а также титанового сплава ВТ6. Однако в указанном исследовании не исследовалось влияние термодинамического фактора на изменение пороговых характеристик ультразвука, необходимых для активации процессов кавитационного схлопывания парогазовых пузырьков.

Термодинамические характеристики могут меняться в силу изменения химического состава парогазовых пузырьков, что может обуславливаться наличием примесей в металле или, в газовой среде, где происходит процесс плавления материала. Если пузырек наполнен паром того же вещества, что и

Международная конференция

бассейн расплава, то процесс будет близок к изотермическому, если же присутствуют пузырьки малорастворимых газов – процесс будет нести адиабатический характер.

Математически данные изменения формализуются в различных значениях показателя политропы γ в уравнении Нолтинга-Неппайреса [8], описывающем изменение состояния кавитирующего пузырька в жидкости в рамках сферической модели:

$$R\ddot{R} + \frac{3}{2}\dot{R}^2 = \frac{1}{\rho} \left((P_n + \frac{2\sigma}{R_e} - P_v) \left(\frac{R_e}{R} \right)^{3\gamma} - \frac{2\sigma}{R} - 4\eta \frac{\dot{R}}{R} \right) - (P_n - P_a (-\sin \omega_a t)). \quad (1)$$

где $R = R(t)$ - радиус пузырька, R_e - радиус пузырька без воздействия ультразвука, ρ - плотность жидкости, σ - коэффициент поверхностного натяжения, η - динамическая вязкость жидкости, γ - показатель политропы, P_n - давление насыщенных паров, P_a - амплитуда акустического давления, P_v - статическое давление в жидкости, ω_a - акустическая угловая частота.

Расчеты проводились для пузырьков с различными радиусами в диапазоне $R \in [10^{-7}; 10^{-5}]$ м. Пузырьки меньшего радиуса схлопываются при акустических давлениях, которые практически недостижимы в условиях 3D печати, а пузырьки большего радиуса уже становятся соизмеримы с бассейном расплава при стандартных режимах 3D-печати.

Не только радиус пузырька имеет значение для вычисления подачи нужного давления волны, но и показатель политропы - чем больше показатель, тем давление, прилагаемое для схлопывания пузырька при одинаковой частоте. Ниже приведен график зависимости давления акустической волны при одинаковой частоте ($\omega_a = 24,4 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$) от показателя политропы для пузырька радиус которого 10^{-6} м.

Тенденция возрастания давления с ростом показателя политропы наблюдалась для всех пузырьков во всем диапазоне $R \in [10^{-7}; 10^{-5}]$ м. При переходе от изотермического до адиабатического режима схлопывания рост порогового давления, необходимого для схлопывания парогазового пузырька в резонансном режиме увеличивался до 40%. Зависимость порогового давления от показателя политропы была близка к линейной.

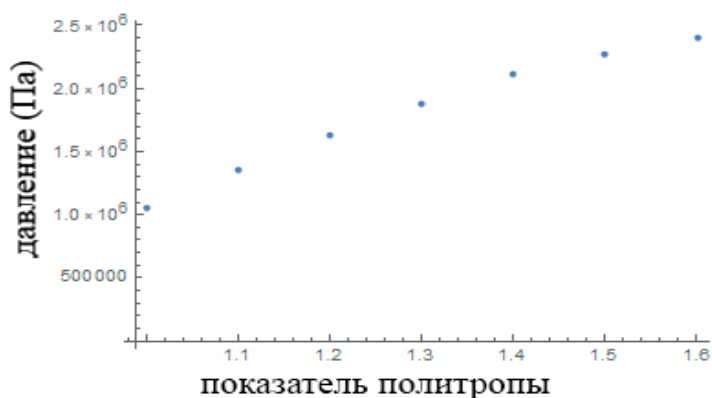


Рисунок 1.
Зависимость порогового значения амплитуды акустического давления ультразвуковой волны от показателя политропы при частоте $\omega_a = 24,4 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ для пузырька в расплавленном железе, радиус 10^{-6} м.

Международная конференция

Таким образом, при расчете режимов ультразвукового воздействия, необходимого для активации кавитационного схлопывания парогазовых пузырьков в бассейне расплава из стали, необходимо учитывать поправку, связанную с термодинамическими факторами процесса кавитации.

- [1] Yuan, T., Kou, S. D. & Luo, Z. Grain refining by ultrasonic stirring of the weld pool. *Acta Mater.* 106, 144–154 (2016).
- [2] Cui, Y., Xu, C. L. & Han, Q. Y. Microstructure improvement in weld metal using ultrasonic vibrations. *Adv. Eng. Mater.* 9, 161–163 (2007).
- [3] Ramirez, A., Qian, M., Davis, B., Wilks, T. & StJohn, D. H. Potency of highintensity ultrasonic treatment for grain refinement of magnesium alloys. *Scr. Mater.* 59, 19–22 (2008).
- [4] Atamanenko, T. V., Eskin, D. G., Zhang, L. & Katgerman, L. Criteria of grain refinement induced by ultrasonic melt treatment of aluminum alloys containing Zr and Ti. *Metall. Mater. Trans. A* 41a, 2056–2066 (2010).
- [5] Todaro C. J. et al. Grain structure control during metal 3D printing by high-intensity ultrasound // *Nature communications*. – 2020. – Т. 11. – №. 1. – С. 1-9.
- [6] Ivanov, I.A., Dub, V.S., Karabutov, A.A. et al. Effect of laser-induced ultrasound treatment on material structure in laser surface treatment for selective laser melting applications. *Sci Rep* 11, 23501 (2021).
- [7] Neppiras E. A., Noltingk B. E. Cavitation produced by ultrasonics: theoretical conditions for the onset of cavitation // *Proceedings of the Physical Society. Section B*. – 1951. – Т. 64. – №. 12. – С. 1032.
- [8] Ломаев С. Л., Гордеев Г. А., Кривилев М. Д. Воздействие ультразвуковой кавитации на процесс кристаллизации при лазерной обработке металлических образцов // *Кристаллизация: компьютерные модели, эксперимент, технологии*. – 2022.

Сопоставление методов предобуславливания

Р. Т. Хазияхметов

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», 426069 Россия, г. Ижевск, улица Студенческая 7

Для определения перспективности использования предобуславливателей вычислительные эксперименты ставились при решении систем линейных алгебраических уравнений тремя методами. Применялись метод сопряжённых градиентов, метод сопряжённых градиентов с диагональным предобуславливателем, метод сопряжённых градиентов с алгебраическим многосеточным предобуславливателем, которые изложены американским специалистом по численной линейной алгебре Джимом Деммелем [1] с использованием вещественных, положительно-определённых матриц, взятых из коллекции разреженных матриц Университета Флорида [2].

Оглавление

От редакции	8
Секция I: Теория и эксперимент процессов затвердевания.	
Рост и морфология кристаллов.....	9
Galenko P.K. Kinetic phase field model versus molecular dynamics: analysis of solidification and melting data.....	11
Александров Д.В., Федотов С.П. О точных аналитических решениях уравнения Смолуховского для коагуляции частиц	14
Маковеева Е.В. К теории остальдова созревания на заключительной стадии фазового перехода.....	16
Son L. Slow relaxation in a binary melt near the liquidus	18
Chitchev N.M., Ryltsev R.E. Modeling multicomponent high-entropy alloys with machine learning and genetic algorithms.....	20
Рыльцев Р.Е., Щелкачев Н.М. Структурная наследственность между жидким и твердым состояниями в задачах предсказания структуры материалов и разработки межчастичных потенциалов	21
Гусакова О.В., Шепелевич В.Г. Особенности влияния многокомпонентного легирования на процессы затвердевания и термические свойства силуминов при различных скоростях охлаждения расплава ³	23
Ryzhov V.N., Gaiduk E.A., Fomin Y.D., Tsiok E.N. Peculiarities of computer simulation of melting of two-dimensional systems.....	25
Мокшин А.В., БГалимзянов Б.Н. Кристаллическое зародышеобразование в стеклах под действием сдвиговой деформации.....	27
Попов В.Н. Моделирование процесса гетерогенного зародышеобразования на сферической частице	28
Титова Е.А. Граничный интеграл задачи роста неосесимметричного дендрита в вынужденном потоке	31
Анкудинов В.Е. Формирование и устойчивость кристаллических структур в двухмодовой модели кристаллического фазового поля	32
Дудоров М.В., Дрозин А.Д., Стрюков А.В., Роцин В.Е. Математическая модель затвердевания эвтектического расплава при скоростном охлаждении на медном вращающемся барабане.....	34
В. А. Копытов В.А., В. Г. Лебедев В.Г., В. И. Ладьянов В.И. Изотермическая фазово-полевая модель γ - α превращений в железе.....	37
Щепелев В.С., Чикова О.А., Вьюхин В.В., Синицин Н.И. Вязкость жидких сплавов Cu-Co	39
Заморянская М.В., Харанжевский Е.В., Галенко П.К., Кириленко Д.А., Яговкина М.А., Орехова К.Н. Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства сплава на основе Pd-Ni-Cu-P	42

Международная конференция

Bokov A.V., Salamatin D.A., Magnitskaya M.V., Krylov V.I., Tsvyashchenko A.V. Magnetic hyperfine field studies in the cubic Laves phases $Y(Fe_{1-x}Ni_x)_2$ synthesized under high pressure	44
Созонова Н.М., Бакиева О.Р. Моделирование формирования атомной структуры поверхности металла при ионном облучении.....	45
Балякин И.А., Рыльцев Р.Е., Ремпель А.А. Переносимость потенциалов на основе искусственных нейронных сетей: пример скандия	47
Писарев В.В., Grossi J.S. Двухтемпературное атомистическое моделирование роста кристалла в металлическом расплаве.....	48
Стерхова И.В., Камаева Л.В., Ладьянов В.И., Щелкачев Н.М. Исследование процессов затвердевания расплавов $(Fe_{0,75}B_{0,15}Si_{0,1})_{100-x}Ta_x$ ($x=0-4$).....	49
Меньшикова С.Г., Щелкачев Н.М., Бражкин В.В. Локальная структура высокотемпературного расплава $Al_{86}Ni_2Co_6Gd_6$ и его затвердевание под высоким давлением	51
Баталова Е.А., Камаева Л.В., Щелкачев Н.М. Влияние ближнего порядка на вязкость и процесс кристаллизации расплавов $Al - Mg$	53
Бердников В.С., Кислицын С.А., Митин К.А., Винокуров В.В., Винокуров В.А. Конвективный теплообмен в расплавах в методе Чохральского в режимах вращения кристаллов и тиглей	56
Kulikova T.V., Bykov V.A., Kovalenko D.A., Ryltsev R.E. Crystallization kinetics in $Cu_{50}Zr_{42.5}Ti_{7.5}$ bulk metallic glass	58
Tsiok E.N., Fomin Yu.D., Gaiduk E.A., Ryzhov V.N. New mechanism of structural transition in 2D Hertzian spheres in the presence of random pinning.....	59
Shchukin I.A., Fomin Yu.D. Crystal structure of a system with three-body interactions in strong confinement.....	60
Хуснутдинов Р.М., Хайруллина Р.Р., Суслов А.А., Ладьянов В.И., Мокшин А.В. Ближний порядок в переохлажденных переходных металлах	61
Галимзянов Б.Н., Доронина М.А., Мокшин А.В. Рост кристаллов в сплаве $Ni_{62}Nb_{38}$ при сверхвысоких давлениях.....	62
Яруллин Д.Т., Галимзянов Б.Н., Мокшин А.В. Прямая оценка кинетических факторов кристаллизации аморфных систем.....	63
Юнусов М.Б., Хуснутдинов Р.М., Мокшин А.В. Первопринципные молекулярно-динамические исследования свойств газовых гидратов	65
Starodubtsev Yu.N., Tsepelev V.S. Isobaric thermal expansivity and isothermal compressibility of liquid metals at melting point	67
Tyagunov A.G., Baryshev E.E., Tyagunov G.V. The influence on niobium and titanium on electrical resistivity in liquid state and solidification of IN718 alloy	69
Бердников В.С., Митин К.А., Кислицын С.А. Эволюция полей температуры в кристалле в процессе выращивания методом Чохральского	71

Международная конференция

Майорова А.В., Куликова Т.В., Котенков П.В., Быков В.А. Новые критерии прогнозирования составов сплавов системы Y-Sc-Co-Al со стеклообразующей способностью.....	75
Бронникова Ю.И., Камаева Л.В., Ладьянов В.И. Исследование процессов кристаллизации расплавов Al-Cu-Co при 15 ат. % Co методом ДТА	76
Куликова Т.В., Быков В.А., Коваленко Д.А., Рыльцев Р.Е. Кинетика кристаллизации объемно-аморфного сплава Gd ₂₀ Ho ₂₀ Sc ₂₀ Co ₂₀ Al ₂₀	77
Голод В.М., Добош Л.Ю. Анализ мезомасштабной дендритной неоднородности при затвердевании многокомпонентных алюминиевых сплавов	79
Гусакова О.В., Шепелевич В.Г. Микроструктура сплава Al-Si легированного металлами при высокоскоростном затвердевании	82
Данилова А.С., С. Г. Меньшикова С.Г., Шушков А.А., Ладьянов В.И. Микроструктура и механические свойства сплава Al ₉₀ Gd ₁₀ после баротермической обработки	85
Бердников В.С., Кислицын С.А., Митин К.А., Гришков В.А. Влияние режимов нестационарного сопряжённого теплообмена на форму фронта кристаллизации в методе Бриджмена-Стокбаргера	86
Латыпов Т.И., Камаева Л.В., Щелкачев Н.М. Влияние концентрации Co на переохлаждения расплавов Al-Cu-Co при 25 атомных % Cu.....	89
Magnitskaya M.V., Kamaeva L.V., Chtchelkatchev N.M., Suslov A.A., Tsvyashchenko A.V. Structural transformations and thermal stability of RhGe synthesized under high temperature and pressure	90
Бердников В.С., Кислицын С.А., Митин К.А., Гришков В.А., Михайлов А.В. Влияние нестационарного сопряжённого теплообмена на форму фронта кристаллизации в методе горизонтальной направленной кристаллизации	92
Бельтюков А.Л., Русанов Б.А., Ягодин Д.А., Мороз А.И., Стерхов Е.В., Сон Л.Д., Ладьянов В.И. Релаксация в аморфизирующихся расплавах Al-R (R = Ce, Sm)	94
Salamatin D.A., Bokov A.V., Sidorov V.A., Surowiec Z., Magnitskaya M.V., Chtchelkachev N.M., E. V. Altynbaev E.V., Skanchenko D.O., Wiertel M., Budzynski M., Tsvyashchenko A.V. The crystal and magnetic properties of the FeRhGe ₂ compound	96
Торопова Л.В., Асеев Д.Л., Осипов С.И., Иванов А.А. Математическое моделирование нелинейной динамики затвердевания бинарного расплава с двухфазной зоной.....	99
Фархутдинов А.Р. Исследование однокомпонентной системы Леннард-Джонса при низких скоростях охлаждения методами молекулярной динамики и регрессионного анализа	100

Международная конференция

Khairullina R.R., Sazanov A.V., Khusnutdinoff R.M. Electrofreezing of Supercooled Water in Graphene Nanoconfinement	101
Чаусов Ф.Ф., Суксин Н.Е., Холзаков А.В., Ломова Н.В., Казанцева И.С. Кластерная структура кристаллических фаз по данным ТГА/ДТА в изодиморфном ряду замещения $[Cu_xNi_{(1-x)}\{N(CH_2PO_3)_3\}]Na_4 \cdot nH_2O$ ($x = 0 \dots 1$).....	104
Chitchev N.M., R. E. Ryltsev R.E. The uncertainty of glass transition temperature in molecular dynamics simulations and numerical algorithm for its unique determination	107

Секция II: Металлургические и литейные технологии. Системы САПР.

Метод фазового поля и расчет микроструктур.	109
Панов А.Г., Шаехова И.Ф., Болдырев А.В., Болдырев С.В. О величинах теплофизических свойств и влиянии их разброса на моделирование изотермической закалки высокопрочных чугунов с шаровидным и вермикулярным графитом.....	111
Кондрашов Е.Н., Коновалов Л.В. Автоматизация управления печью ВДП при выплавке сплавов на основе титана.....	113
Иванов И.А., Дуб А.В., Дрёмов В.В., Купер К.Э., Кривилев М.Д., Черепецкая Е.Б., Дуб В.С. Новые теоретические и экспериментальные данные о затвердевании как двухстадийном процессе	116
Зинченко С.А. Технология смягчающей обработки блюмов из стали 25X17H2Б-Ш	119
Мурадян О.С. Особенности кристаллизации высокоазотистых сталей.....	122
Колесниченко И.В., Мамыкин А.Д., Мандрыкин С.Д., Халилов Р.И. Генерация течения с помощью электромагнитных сил в цилиндрическом объеме с жидким металлом в ходе кристаллизации	126
Кропотин Н.В., Галенко П.К., Фанг Й., Сейринг М., Липпманн С., Фрайберг К., М. Реттенмайр М., Пиномаа Т., Проватас Н., Дж. Гао Моделирование формирования микроструктуры при затвердевании никелевого суперсплава Инконель 718	128
Любимова Т.П., Паршакова Я.Н. Влияние высокочастотных вибраций на морфологическую неустойчивость фронта кристаллизации	129
Shurygin D.A., Levkov L.Ya., DubV.S., Orlov S.V., Ulyanov M.V., Terekhin D.K. Influence of special solidification conditions of steel ingots on the formation of their structure and characteristics of non-metallic inclusions	130
Уткина К.Н., Левков Л.Я., Житенев А.И., Федоров А.С., Сапунов А.Л., Бурда А.В. Исследование влияния условий кристаллизации на формирование структуры супердуплексных сталей	131

Международная конференция

Груздь С.А., Самсонов Д.С., Кривилев М.Д. Математическая модель течения припоя за счет сил смачивания при его плавлении в алюминиевой трубке в условиях микрогравитации	132
Мальгинов А.Н., Дуб В.С., Иванов И.А., Колпишон Э.Ю., Тохтамышев А.Н., Соловьева М.С. Особенности затвердевания крупных кузнечных слитков, полученных методом сифонной разлики, по сравнению со слитками, залитыми сверху, выявленные при математическом моделировании	134
Лосев Г.Л., Мамыкин А.Д. Управление процессом направленной кристаллизации посредством изменения фаз токов линейной индукционной машины	137
Шутов И.В., Королев М.Н., Кривилев М.Д. Исследование особенностей структурообразования при смачивании поверхности АМг3 расплавом припоя Zn-Al-Cu при высокотемпературной пайке	138
Лебедев В.Г. О перераспределения примеси на границах фаз растворов.....	140
Камильянова А.А., Лебедев В.Г., Ладьянов В.И. Макроскопическая модель сегрегации примеси в бинарных растворах	142
Русаков К.А., Кондрашов Е.Н., Ледер М.О. Проявления ликвационных эффектов в титановых слитках ВДП	144
Лебедева А.А., Лебедев В.Г., Галенко П.К. Предел резкой границы для ИСМ-модели в концентрированных растворах	145
Обухов А.А., Лебедев В.Г. Численный алгоритм моделирования уравнений ИСМ-модели фазового поля.....	148
Ворошилов Е.С., Мосина Р.М., Кривилев М.Д. Математическое моделирование консолидации порошка 03X17H14M2 (316L) при лазерном сплавлении.....	150
Мосина Р.М., Гильмутдинов В.Ф., Кузьмин И.М. Расчёт эффективных теплофизических и механических свойств сплавов 03X17H14M2 и ВТ6 на основе метода пространственного осреднения.....	153
Камаева Л.В., Суслов А.А., Баталова Е.А., Шутов И.В., Бражкин В.В. Особенности кристаллизации сплавов Al-Cu-Fe при давлении 5ГПа.....	155
Кондратьев Н.С., Трусов П.В., Подседерцев А.Н., Макаревич Е.С., Няшина Н.Д. Описание эволюции зеренной структуры в результате динамической рекристаллизации с применением расширенной многоуровневой статистической модели.....	156
Корнева М.А., Жиляев П.А. Исследование процесса роста зерен в Ni-Cu сплавах методом молекулярной динамики	157
Байкузин И.И., Салтыков И.Р., Шутов И.В. Сравнительный анализ влияния концентрации Zn на структурообразование при контактном сплавлении припоя Zn-Al со сплавом АМг	159

Международная конференция

Коробейников С.А., Лебедев В.Г., Ладьянов В.И. О фазово-полевом описании формирования стехиометрических фаз в бинарном растворе на мезоскопических масштабах	160
Салтыков И.Р., Байкузин И.И., Шутов И.В. Исследование структурно-фазовых характеристик зоны контактного сплавления припоя Zn-Cu-Al с подложкой АМГЗ	162
Сапегина И.В., Лубнин А.Н., Ладьянов В.И. Структура и свойства литых сплавов Nb–5мас%Si–x мас%Al (x=1, 3).....	164
Дуб В.С., Тохтамышев А.Н., Толстых Д.С., Мальгинов А.Н., Руцкий Д.В., Косырев К.Л., Иванов И.А., Дуб В.А. Влияние примесей и теплофизических условий затвердевания на литую структуру конструкционных сталей.....	165

Секция III: Междисциплинарные вопросы.

Скоростное затвердевание. Аддитивные технологии.	169
Мажукин В.И., Шапранов А.В., Демин М.М. Континуальная модель гомогенного плавления металлов.....	171
Makarov A.V., Sirosh V.A., Kharanzhevskiy E.V., Volkova E.G., Soboleva N.N., Gaviko V.S. Effect of nanoscale inclusions in amorphous boron-based ceramic coatings formed by high-speed solidification of ceramic melt during short-pulse laser deposition on abrasive wear resistance	172
Русанов Б.А., Сидоров В.Е., Svec Sr. D., Janickovic D. Особенности подготовки расплавов Al-Ni-Co-R к быстрой закалке	175
Бельтюков А.Л., Меньшикова С.Г., Ладьянов В.И. Роль редкоземельных металлов в возникновении релаксационных процессов в расплавах Al-ПМ-РЗМ.....	176
Черепанов А.Н., Черепанова В.К., Бублик В.В. Влияние нанодисперсных порошков на растекание и кристаллизацию металлической капли на пористой подложке.....	178
Мажукин А.В., Шапранов А.А., Мажукин В.И., Королева О.Н. Кинетические стадии кристаллизации/плавления сильно переохлажденных/перегретых гранцентрированных и объемноцентрированных кубических металлов. Атомистическое моделирование	181
Крюкова О.Н., Князева А.Г. Двухуровневая модель управляемого синтеза композита на подложке	183
Букрина Н.В., Князева А.Г. Модель синтеза интерметаллидного композита из порошковой прессовки смеси Ni и Ti в режиме теплового взрыва	185
Назаренко Н.Н., Князева А.Г. Оценка напряжений в цилиндрическом образце с покрытием при кратковременном тепловом воздействии.....	187

Международная конференция

Васильев С.В., Свиридова Е.А., Ткач В.И. Влияние нестационарного характера процесса зарождения на термическую устойчивость аморфного состояния в сплаве Fe ₄₈ Co ₃₂ P ₁₄ V ₆	190
Еремина М.А., Ломаева С.Ф., Харанжевский Е.В., Бельтюков А.Н. Высокоскоростное селективное лазерное спекание механосплавленных порошков W-Fe: фазовый состав, микроструктура и свойства износостойких покрытий	193
Харанжевский Е.В., Ипатов А.Г., Писарева Т.А. Структура и механические свойства сплавов Ni-ZrO ₂ , полученных высокоскоростным затвердеванием сильноперегретого расплава	195
Неулыбин С.Д., Щицын Ю.Д., Овчинников И.П., Юрченко А.Н., Мосягин И.А. К вопросу о снижении дефектности и повышении качества заготовок из алюминиевых сплавов при аддитивном формировании	196
Черепанов А.Н., Дроздов В.О., Филиппов А.А. Влияние наночастиц TiN на структуру и механические свойства лазерного соединения пористой стали с монолитной	198
Елькин И.А., Барышев О.Б., Бельтюков А.Н., Чулкина А.А. Получение анодов Ta конденсаторов с помощью электроимпульсного спекания	200
Долгушева Е.Б. Молекулярно-динамический расчет решеточной теплопроводности ГЦК Ti и Zr	202
Вахрушев А.В., Федотов А.Ю., Северюхина О.Ю., Сидоренко А.С. Оценка влияния дефектов структуры на магнитные свойства нанопленок спинтроники	205
Цыганков А.А., Галимзянов Б.Н., Мокшин А.В. Формирование пористой структуры в аморфном никелиде титана	208
Иванова П.А., Смирнова К.В., Иванов А.Н., Шутов Д.А., Рыбкин В.В. Некоторые закономерности образования твердой фазы в растворах нитратов железа и кобальта под действием тлеющего разряда	209
Васильев С.В., Свиридова Е.А., Ткач В.И. Количественное описание кинетики неизотермической кристаллизации металлического стекла Fe ₄₈ Co ₃₂ P ₁₄ V ₆	212
Ломаев С.Л., Гордеев Г.А., Кривилев М.Д. Воздействие ультразвуковой кавитации на процесс кристаллизации при лазерной обработке металлических образцов	215
Menshikova S.G., Afkalikova V.Yu., Vasin M.G, Ohara K. High-energy X-ray diffraction study of Al ₇₀ Cu ₃₀ and Al ₉₀ Y ₁₀ liquid alloys	218
Гавриленко О.О., Кривилев М.Д., Харанжевский Е.В. Анализ трещинообразования на микроуровне для композиционных покрытий на основе карбида и нитрида бора	220

Международная конференция

Душина А.Ю., Ольшанская Т.В. Закономерности процессов кристаллизации при многослойной проволочной наплавке стали 308LSi высококонцентрированным источником энергии.....	222
Иванов И.А., Юдин А.В., Жармухамбетов А.С., Бубнёнков Б.Б. Оценка влияния параметров СЛС на структуру и свойства стали 08X18H10T с помощью системы контроля температуры области сплавления (СКТОС)	225
Королева О.Н., Демин М.М., Мажукин В.И., Алексашкина А.А. Неравновесные характеристики теплообмена меди в области фазового перехода плавление-кристаллизация	227
Макаров А.В., Степченков А.К., Соболева Н.Н., Вопнерук А.А., Котельников А.Б., Коробов Ю.С. Влияние отжига на структуру и микромеханические характеристики NiBSi/WC и NiBSi/Cr покрытий, сформированных высокоскоростным газопламенным напылением.....	229
Пермяков Г.Л., Ольшанская Т.В. Исследование влияния стратегии аддитивного выращивания на анизотропию механических свойств заготовок из алюминиевых сплавов.....	232
Русанов Б.А., Сидоров В.Е., Svec P., Svec Sr. P., Janickovic D. Особенности кристаллизации аморфных сплавов Al-Ni-Co-R (R = Nd,Sm,Gd,Tb,Yb)	235
Бельтюков А.Л., Мороз А.И., Русанов Б.А., Сидоров В.Е., Ладьянов В.И. Вязкость стеклообразующих сплавов Al-Ni-Co-Tb.....	237
Степченков А.К., Макаров А.В., Харанжевский Е.В., Коробов Ю.С., Окулов А.В., Завалишин В.А., Гохфельд Н.В. Микромеханические свойства наплавленных импульсным лазером CrFeNi покрытий, легированных карбидом бора B ₄ C.....	238
Фатталова Д.Р., Ломае С.Л. Влияние термодинамического фактора на условия ультразвуковой кавитации парогазовых пузырьков при лазерной обработке металлических образцов	241
Хазияхметов Р.Т. Сопоставление методов преобуславливания	243
Shutov D.A., Smirnova K.V., Ivanov A.N., Rybkin V.V. Plasma-solution synthesis of zinc oxide doped with cadmium	246
Оглавление.....	249

Научное издание

Кристаллизация: компьютерные модели, эксперимент, технологии

Тезисы

IX Международной конференции
6–9 апреля 2022 года, г. Ижевск, УдГУ

Редакционная коллегия:

П. К. Галенко (гл. ред.), д.ф.-м.н., проф., Ун-та Фридриха Шиллера, г. Йена
А.Л. Бельтюков, к.ф.-м.н., в.н.с. УдмФИЦ УрО РАН
Л.В. Камаева (отв. ред.), к.ф.-м.н., в.н.с. УдмФИЦ УрО РАН
М. Д. Кривилев, д.ф.-м.н., зав. лаб., УдГУ
В. Е. Анкудинов, к.ф.-м.н., н.с., ИФВД РАН, г. Москва
Е. В. Харанжевский, д.т.н., проф., УдГУ

Авторская редакция

Подписано в печать 31.03.2022 Формат 60×84 1/16.
Уч.-изд. л. 15,5. Тираж 120 экз.

Издательство Удмуртского федерального исследовательского центра УрО РАН
426067, г. Ижевск, ул. Т.Барамзиной, 34.

Отпечатано в Типографии Издательского центра «Удмуртский университет»
426034, Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 2