

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

*Посвящается 100-летию
со дня рождения ректора СМИ,
доктора технических наук,
профессора Н.В.Толстогузова*

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
«Металлургия – 2021»**

***Труды
XXII Международной научно-практической конференции***

10 – 11 ноября 2021 г.

Часть 1

**Новокузнецк
2021**

Редакционная коллегия

д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, к.т.н. Е.Н. Темлянцева,
д.т.н., доцент В.В. Зимин, д.т.н., профессор А.Г. Никитин,
к.э.н., доцент Ю.С. Климашина

М 540 Металлургия : технологии, инновации, качество : труды XXII Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Часть 1 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2021. – 326 с. : ил.

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и наукоёмким технологиям металлургических процессов, обработки металлических материалов: литейное производство, обработка давлением, термическая обработка.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Правительства Кузбасса
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»
АО «Русал-Новокузнецк»
АО «Кузнецкие ферросплавы»
АО «НЗРМК им. Н.Е. Крюкова»
Ляонинский университет науки и технологии, г. Аньшань, КНР
ОАО «Черметинформация»
Издательство Сибирского отделения РАН
Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»
Журнал «Вестник СибГИУ»
Журнал «МАТЕС Web of Conferences »
Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»
АО «Кузбасский технопарк»
Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук
Совет молодых ученых Кузбасса

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ОТЛИВОК ПОСЛЕ ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ПРОЦЕССЕ ЛИТЬЯ

Приходько О.Г.¹, Деев В.Б.², Прусов Е.С.³, Куценко А.И.¹,
Пономарева К.В.¹, Сметанюк С.В.², Сокорев А.А.²

¹Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, prihodko_og@rambler.ru, aik_mail@mail.ru,
kiraponomareva525@mail.ru

²Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Москва, Россия, deev.vb@mail.ru, smetanyuk.sv@mail.ru, sokorev@ic-ltm.ru

³Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, Россия, eprusov@mail.ru

Аннотация. Проведен обзор особенностей кристаллизации и формирования структуры алюминиевых сплавов и отливок, обработанных внешними воздействиями в процессах литья. Показано, что технологии внешнего воздействия на расплав является эффективным средством изменения структуры, механических и литейных свойств отливок и слитков.

Ключевые слова: внешние физические воздействия, формирование структуры и свойств, алюминиевые сплавы, литейные свойства, вибрация.

CRYSTALLIZATION AND STRUCTURE FORMATION OF ALUMINUM ALLOYS AND CASTINGS AFTER EXTERNAL PHYSICAL ACTIONS IN THE CASTING PROCESS

Prihodko O.G.¹, Deev V.B.², Prusov E.S.³, Kutsenko A.I.¹,
Ponomareva K.V.¹, Smetanyuk S.V.², Sokorev A.A.²

¹ Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, prihodko_og@rambler.ru , aik_mail@mail.ru,
kiraponomareva525@mail.ru

²National Research Technological University "MISIS",
Moscow, Russia, deev.vb@mail.ru , smetanyuk.sv@mail.ru , sokorev@ic-ltm.ru

³ Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich
and Nikolai Grigoryevich Stoletov, Vladimir, Russia, eprusov@mail.ru

Abstract. A review of the features of crystallization and formation of the structure of aluminum alloys and castings, treated by external influences in the casting process is carried out. It is shown that the technology of external action on the melt is an effective means of changing the structure, mechanical and casting properties of castings and ingots.

Keywords: external physical influences, formation of structure and properties, aluminum alloys, casting properties, vibration

При изучении процесса затвердевания необходимо принимать во внимание все особенности теплообмена между отливкой и формой. В частности, должны быть учтены характер течения жидкого металла, выделение теплоты кристаллизации в материале отливки, особенности механизма процесса затвердевания сплавов, геометрические и физические свойства отливки и формы, свойства зазора между ними, изменение зазора в процессе охлаждения отливки и нагрева формы, изменение физических коэффициентов материалов отливки и формы и т.д. Однако учет всех перечисленных факторов связан с большими затруднениями экспериментального и теоретического характера. В общем случае экспериментальные методы распадаются

ся на две большие группы. В первую группу входят методы, охватывающие непосредственный эксперимент с основным объектом исследования – отливкой. Вторая группа соответствует методам аналогии, которые можно условно определить как методы «моделирования».

Общей проблемой при расчете процессов затвердевания является необходимость учета движущейся границы раздела фаз, резкой для чистых металлов и размытой для сплавов, затвердевающих в интервале температур. В реальных условиях литья для всех технических металлов и сплавов характерна дендритная форма роста кристаллов. В этой связи, степень развития указанных дефектов строения литых металлов и сплавов определяется структурой фронта кристаллизации и, следовательно, теми процессами, которые обуславливают формирование кристаллического строения отливки из данного металла или сплава. Поэтому важнейшие свойства реальных отливок практически целиком определяются их кристаллическим строением. Для отливок и слитков типичным является кристаллическое строение, состоящее из трех макроструктурных зон: периферийной, мелкозернистой (зоны «замороженных» кристаллов), зоны столбчатых (шестоватых) кристаллов и центральной зоны равноосных кристаллов. Наружный слой отливок со случайно ориентированными кристаллами, выросшими на начальной стадии затвердевания в условиях взаимной конкуренции, называют еще резкоохлажденной зоной [1]. Наружный слой становится неотчетливым при увеличении температуры заливаемого металла, т. к. образующиеся при заливке на стенках формы кристаллы оплавляются сильно перегретым жидким металлом.

В большинстве случаев литья требуется избежать столбчатой структуры и получить мелкозернистое строение отливок. В работе [2] проведен анализ теорий кристаллизации, объясняющих механизм образования равноосных кристаллов. Проблема кристаллизации отливок представляется, прежде всего, как проблема управления процессом формирования кристаллического строения отливок с целью получения заданного строения и, следовательно, заданных служебных и технологических свойств отливок.

Хорошо известно, что принудительные колебания и перемешивание расплава во время затвердевания (ультразвуковые и механические колебания, продувка газами, наложение вращающихся магнитных полей, взаимодействующих электромагнитных полей) очень эффективно измельчает структуру при затвердевании, но механизм измельчения зерна изучен недостаточно. Полагают, что при наличии колебаний зерно измельчается главным образом в результате разрушения дендритных кристаллов.

В 1878 г. Д.К. Чернов предложил идеи способов постоянного перемешивания расплава во время затвердевания его в изложнице: постоянное и сильное сотрясение изложницы, вращение изложницы с быстрым и прерывистым изменением направления. Первый способ был осуществлен в 1910 г. В.В. Лермантовым и затем В.И. Тыжновым. Опыты показали значительное увеличение плотности, измельчение кристаллического зерна и улучшение свойств литой стали.

Второй способ был осуществлен С.Е. Розенфельдом, С.Б. Юдиным и М.М. Левиным в 1951 г. Периодическое и резкое изменение скорости вращения изложницы вызывает сильное перемешивание расплава и приводит к полному уничтожению зоны столбчатых кристаллов и улучшению механических свойств отливок из аустенитных сталей.

Идея динамического затвердевания отливок и слитков получила практическое воплощение и в других способах перемешивания кристаллизующегося расплава: заливка в наклонную изложницу и несимметричная заливка изложниц сверху; перемешивание расплава в изложнице шомполом; пропускание через расплав газа, ультразвуковое воздействие, перемешивание расплава вращающимся магнитным полем – способ успешно использующийся при непрерывном литье слитков, воздействие электрического тока и др.

В.Д. Добаткин дает следующее объяснение изменению структуры и свойств отливок и слитков при вынужденном движении расплава: любое перемешивание расплава ускоряет процесс охлаждения его в форме, следовательно, ускоряется и начало равноосной кристаллизации, в результате сокращается зона столбчатых кристаллов и измельчается зерно в центральной части слитка.

В.О. Гагегн-Торн в своей теории предполагает, что перемешивание расплава независимо от способа перемешивания мешает образованию сплошной корки на свободной поверхности расплава, залитого в изложницу, а также на поверхности стенки изложницы. Свободные кристаллы, появляющиеся на поверхности стенок и свободной поверхности расплава, при перемешивании разносятся по всему объему расплава и являются затравками для равноосной кристаллизации.

Н.И. Хворинов считает, что при перемешивании расплав разрушает фронт кристаллизации, обломки кристаллов разносятся по всему объему расплава и становятся затравками кристаллизации расплава впереди фронта кристаллизации. При увеличении интенсивности движения (вибрация), число обломков возрастает, что вызывает сокращение столбчатой зоны и приводит к измельчению зерна в отливках и слитках.

По теории А. Оно [1] имеется два фактора воздействия вибрации на структуру затвердевания. Первый фактор состоит в том, что колебания способствуют смачиванию расплавом поверхности формы, а это в свою очередь облегчает теплоотвод от расплава через стенку формы. Но поскольку в обычных условиях поверхность расплава покрыта оксидными пленками, то трудно ожидать однородного его контакта с этой стенкой. Колебания разрушают покровные пленки, облегчают смачивание поверхности формы, в результате скорость охлаждения расплава увеличивается, т. е. облегчается зарождение кристаллов, вследствие этого измельчается структура наружного слоя слитков. Второй фактор заключается в том, что наложение колебаний способствует разобщению шейкообразных кристаллов со стенкой литейной формы. Если металлический расплав содержит достаточно растворенного вещества для формирования дендритных кристаллов при затвердевании, то принудительные колебания могут способствовать формированию равноосных кристаллов.

Когда металл затвердевает в вибрирующей форме, то колебания должны быть эффективны лишь постольку, поскольку они способствуют разобщению кристаллов со стенкой формы в области контакта стенки с поверхностью расплава. Если форма вибрирует во время заливки металла, то вызванное вибрацией волновое движение поверхности расплава будет способствовать разобщению кристаллов со стенкой формы до тех пор, пока не образуется стабильная твердая корочка. Так как верх твердой корочки имеет выступающую часть на уровне свободной поверхности расплава, и выступающие дендриты могут быть источником поставки равноосных кристаллов, то наложение поверхностных колебаний на расплав в форме эффективно даже в период после формирования твердой оболочки, т. е. после завершения заливки расплава.

Имеются основания предполагать, что вибрация наиболее эффективна для разобщения кристаллов со стенкой в начальный период затвердевания [1]. Так, при вибрации у макроструктуры затвердевшего слитка появилась тенденция формирования зоны равноосных кристаллов. Металл, затвердевший в форме, которую подвергали вибрации до тех пор, пока толщина твердой корочки не достигла приблизительно 5 мм, имел такую же структуру, как и в случае застывания в вибрирующей форме в течение всего периода затвердевания. Если же форму поддерживали в стационарных условиях до тех пор, пока толщина твердой корочки не достигала ~10 мм и затем подвергали вибрации до завершения затвердевания, то в окончательной макроструктуре не наблюдали тенденции к формированию равноосной области. Структура в этом случае была подобна структуре металла, затвердевшего в стационарных условиях.

Описанные эксперименты ясно показали, что наложение вибраций наиболее эффективно в начальный период затвердевания, поскольку в этот период они стимулируют отделение кристаллов от мест их зарождения на стенке формы.

Ввиду того, что отделившиеся кристаллы могут расплавляться в горячей жидкости при очень высокой температуре заливки, то вибрацию металла следует осуществлять непрерывно до тех пор, пока температура расплава не снизится до определенного уровня, при котором отделившиеся кристаллы могут сохраниться, т. е. не расплавиться полностью [1].

Кроме измельчения зерна, вибрация способствует очищению расплава от газов и твердых неметаллических включений. Д.К. Чернов указывает, что «достаточно произвести

сравнительно небольшое движение расплава» для всплывания газового пузыря.

Процесс очистки алюминиевых сплавов рассмотрен в работе [3]. По мнению авторов вибрация и ультразвук способствуют удалению из жидких силуминов водорода за счет увеличения его диффузионной подвижности в расплавах. Инерционные колебания при вибро-воздействии будут передаваться пузырькам, и способствовать их удалению из расплава. Кроме того, вибрация усиливает эффект модифицирования доэвтектических силуминов натрием. Авторами предполагается, что это происходит из-за более равномерного распределения в расплаве модифицирующих добавок. Существует и несколько других предположений, хотя единой стройной теории нет.

В работе [4] экспериментально подтверждено мнение о том, что вибрационное взаимодействие на расплав связано с теплофизическими условиями его затвердевания. При формировании кристаллических структур вибрационная энергия расходуется не только на разрушение ветвей дендритов и создание в системе дополнительных центров кристаллизации, но и на повышение интенсивности теплоотвода от расплава к стенкам изложницы. Это приводит к повышению темпа кристаллизации расплава и значительному (на 25 – 30 %) ускорению затвердевания слитка.

В исследовании [5] описан разработанный станок объемной вибрации. Отливки, получаемые по предложенной технологии, имеют плотную равномерную и мелкозернистую структуру, не имеющую газовых и усадочных пороков, неоднородности по химическому составу и обладает стабильно высокими прочностными и служебными свойствами.

Рассмотрена [6] схема образования кристаллов в расплаве с позиции механизма разделительной диффузии компонентов и описан модифицирующий эффект внешних воздействий. Показано, что физические воздействия способствуют гомогенизации расплава, что препятствует диффузии компонентов, которая в свою очередь способствует увеличению времени кристаллизации и измельчает структуру.

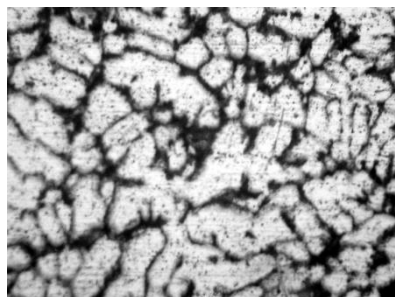
Следует отметить, что кроме вибрации и перемешивания расплава на структуру полученных слитков оказывают влияние и другие факторы: методы и способы заливки расплавов в форму, материал литейной формы, модифицирующие добавки, температура заливаемого расплава и формы и т. д.

Таким образом, вибрационный метод литья для улучшения качества отливок и слитков известен и используется уже давно. Наряду с опытами промышленного использования вибрации выполнены многочисленные исследования воздействия вибрации на строение и свойства отливок и слитков. Однако в этих исследованиях толкование сущности происходящих явлений и процессов, а также практические выводы и рекомендации часто не согласуются между собой, а иногда и противоречат друг другу и требуют дополнительного теоретического и экспериментального изучения.

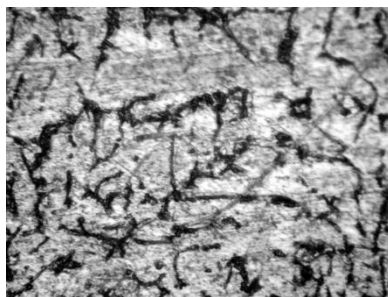
В общем, эти разногласия сводятся к двум точкам зрения: увеличение числа центров кристаллизации в расплаве достигается за счет механического разрушения фронта кристаллизации и разрушения дендритных осей под действием упругих сил и явления кавитации; увеличение скорости зарождения центров кристаллизации происходит от волнового давления и разрежения и за счет уменьшения вязкости и поверхностного натяжения расплава при вибрационном воздействии, возникновение зародышей твердой фазы происходит за счет сил вязкого трения вибрируемого расплава с растущими кристаллами.

В лабораторных условиях выполнено [6-10] исследование влияния различных режимов вибрационной обработки расплава на плотность и твердость отливок, изготавливаемых в песчано-глинистых формах. Эксперименты проводились на образцах двух типов с приведенным размером 5 и 6 мм соответственно. Было показано, что вибрация эффективно влияет на процесс кристаллизации. Растет скорость охлаждения отливок за счет образования более плотного контакта металл-форма, увеличивается предельное расширение в литейных Al-Si сплавах, за счет выделения кристаллов кремния из жидко-твердой области в твердо-жидкую область. Отливки, полученные при помощи вибрации, имеют плотную, равномерную и мелкозернистую структуру. Также было экспериментально установлено, что для отли-

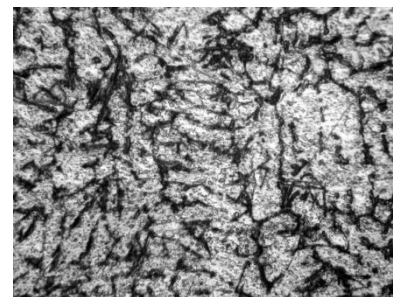
вок диаметром 30 мм из доэвтектических алюминиевых сплавов наиболее оптимальной является резонансная частота 50 Гц. Доказано, что вибрационное воздействие с оптимальными параметрами существенно влияет на процесс кристаллизации алюминиевых сплавов. Зерно измельчается на 25-40 %, твердость по Бринеллю возрастает на 6-14 %, относительное удлинение возрастает на 30 - 40 %, временное сопротивление разрыву возрастает на 6 - 15 %. Исследования показали, что виброобработка на оптимальных резонансных частотах позволяет повысить плотность металла на 8-12 % и снизить процент брака по герметичности с 15 до 7 %. На рисунке 1 представлены результаты металлографических исследований на образцах с приведенным размером 5 мм, отлитых с различной частотой вибрации.



Без вибрации x100



*Вибрация с частотой 8,7 Гц
x100*



*Вибрация с частотой 50 Гц
x100*

Рисунок 1 – Влияние частоты вибрации на структуру алюминиевых отливок

Выводы: Рассмотрены механизмы формирования мелкозернистой структуры отливок и слитков; проведен краткий анализ экспериментальных и теоретических исследований влияния внешних физических воздействий в процессе затвердевания на формирование структуры и свойства отливок. Проведено экспериментальное исследование, подтверждающее эффективное влияние вибрационного воздействия с оптимальными параметрами обработки на процесс кристаллизации алюминиевых сплавов.

Библиографический список

1. Затвердевание металлов. Оно А. – Токио, 1976, Пер. с англ. М.: Металлургия, 1980. – 152 с.
2. Деев В.Б., Куценко А.И., Приходько О.Г., Прусов Е.С., Сокорев А.А. Влияние внешних воздействий на процессы кристаллизации сплавов и затвердевания отливок // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии : сборник научных трудов. – Москва ; Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – Вып. 42. – С. 28-36.
3. Иванцов А. А., Крушенко Г. Г. О механизме влияния упругих колебаний на алюминево-кремниевые сплавы. //Литейное производство. – 2003. – № 2. – С. 2-4.
4. Найдек В. Л., Эльдарханов А. С., Нурадинов А. С., Таранов Е. Д. О механизме воздействия вибрации на кристаллизацию и структурообразование сплавов.//Литейное производство. 2003. – № 9. – С. 13 – 15.
5. Чебышев В. А. Станок объемной вибрации. // Литейное производство. – 2003. – № 7. – С. 21-22.
6. Селянин И.Ф., Деев В.Б., Цецорина С.А., Приходько О.Г. О механизме кристаллизации металлических расплавов // Известия вузов. Черная металлургия. – 2009. – № 11. – С. 46-48.
7. Селянин И.Ф., Куценко А.И., Морин С.В., Хамитов Р.М., Приходько О.Г. Жидкотекучесть алюминево-кремниевых сплавов под действием вибрации //Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. / Под общей ред. Кулакова С.М. / СибГИУ. – Новокузнецк, 2004. - Вып. 8. – С 244.
8. Селянин И.Ф., Деев В.Б., Куценко А.И., Приходько О.Г., Махина О.В. Особенности модифицирующей обработки металлических расплавов вибрацией и ультразвуком // Вестник горно-металлургической секции РАЕН: сб. науч. тр. Вып. 31. – Москва-Новокузнецк: Сиб-

ГИУ, 2013. – С. 49-52.

9. Selyanin, I.F., Deev, V.B., Belov, N.A., Prikhodko, O.G., Ponomareva, K.V. Physical modifying effects and their influence on the crystallization of casting alloys. Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2015. 56(4), pp. 434-436.

10. Деев В.Б., Приходько О.Г., Пономарева К.В., Куценко А.И., Сметанюк С.В. Определение параметров кристаллизации литейных сплавов, полученных по ресурсосберегающим технологиям с использованием физических воздействий // Металлургия: технологии, инновации, качество «Металлургия – 2017»: труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч.1. 15-16 ноября 2017 г. / под ред. Е.В. Протопопова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – С. 165-168.

СОДЕРЖАНИЕ

ПАМЯТИ НИКОЛАЯ ВАСИЛЬЕВИЧА ТОЛСТОГУЗОВА <i>Рожихина И.Д.</i>	4
СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	9
ЛЕГИРОВАНИЕ И МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВОВ ПРИРОДНЫМИ И ТЕХНОГЕННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ <i>Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Прошунин И.Е., Голодова М.А., Дмитриенко В.И.</i>	9
ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОГО КОНЦЕНТРАТА ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ РУД КУЗБАССА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИИ В МЕТАЛЛУРГИИ <i>Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Голодова М.А., Ходосов И.Е.</i>	18
АНАЛИЗ ШЛАКОВОГО РЕЖИМА ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ <i>Павлов А.В., Спирин Н.А., Бегинюк В.А., Косаченко И.Е.</i>	26
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОКУСКОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ	32
<i>Берсенов И.С., Брагин В.В., Солодухин А.А., Поколенко А.Ю., Бардавелидзе Г.Г., Спирин Н.А.</i>	32
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАВЛЕНИЯ НИОБИЙСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ В ЖИДКОЙ СТАЛИ <i>Жучков В.И., Заякин О.В., Кель И.Н.</i>	37
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ПРОДУВКЕ НЕЙТРАЛЬНЫЙ ГАЗОМ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СТАЛИ <i>Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Запольская Е.М., Полях О.А.</i>	42
ПОЛУЧЕНИЕ КРЕМНИЯ И ФЕРРОСИЛИЦИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКОЙ И ОБРАЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ <i>Ёлкин К.С., Рожихина И.Д., Ёлкин Д.К.</i>	46
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ <i>Громов В.Е., Шлярова Ю.А., Коновалов С.В., Воробьев С.В., Семин А.П., Бессонов Д.А.</i>	50
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ НА АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ <i>Гизатулин Р.А., Лепихов В.С., Шароватых Д.Ю.</i>	54
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ В МЕТАЛЛУРГИИ ЦИНКА <i>Козлов П.А.</i>	57
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ СПЛАВОВ ИЗ БЕДНЫХ КАРБОНАТНЫХ И ОКСИДНЫХ РУД В АГРЕГАТЕ СЭР <i>Рыбенко И.А., Цымбал В.П., Kongoli F.</i>	66
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВСПЕНИВАНИЯ 350-ТОННОЙ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ НИЗКОМАРГАНЦОВИСТЫХ ЧУГУНОВ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Полях О.А., Чернышева Н.А., Козьминых Р.А.</i>	73
КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАФИНИРОВАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ПРОДУВКЕ НЕЙТРАЛЬНЫМ ГАЗОМ В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ <i>Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Запольская Е.М., Полях О.А.</i>	78
ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА НА «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Леонтьев А.С., Рыбенко И.А.</i>	82

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ИНДУКЦИЕЙ 0,3 ТЛ НА ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО СВИНЦА <i>Серебрякова А.А., Загуляев Д.В., Шляров В.В.</i>	261
ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПОРШНЯ ИЗ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА АК5М2 <i>Прудников А.Н., Фастыковский А.Р., Прудников В.А.</i>	266
ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ ЛИСТОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 1424БТ, АМг5М, Д16, 5182 ПРИ СОЕДИНЕНИИ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ <i>Ахкильгов Г.В., Носова Е.А.</i>	271
ВЛИЯНИЕ МАРГАНЦА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛИТКОВ ИЗ НАВОДОРОЖЕННЫХ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ <i>Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Попова М.В., Фастыковский А.Р.</i>	276
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ СТРУКТУР В СЛОИСТОЙ АЛЮМИНИЙ-ТИТАНОВОЙ ЗАГОТОВКЕ, ПОЛУЧЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОКАТКИ И ОТЖИГА <i>Штырова А.А., Носова Е.А.</i>	281
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗЕРВА СИЛ ТРЕНИЯ КАЛИБРОВ, ФОРМИРУЮЩИХ СОЧЛЕНЕННЫЙ ПРОФИЛЬ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРОДОЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ <i>Фастыковский А.Р., Вахроломеев В.А.</i>	286
СИЛОВЫЕ УСЛОВИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ В РОЛИКОВЫХ ВОЛОКАХ <i>Фастыковский А.Р., Осколкова Т.Н., Юрьев А.Б., Прудников А.Н.</i>	290
УВЕЛИЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ЗАГОТОВОЧНЫХ И СОРТОВЫХ СТАНОВ <i>Фастыковский А.Р., Леонтьев В.В., Губарев Е.И., Перминов Д.А., Зайков И.Г.</i>	296
ОСОБЕННОСТИ СИЛОВОГО БАЛАНСА УНИВЕРСАЛЬНЫХ КАЛИБРОВ СОВРЕМЕННЫХ РЕЛЬСОБАЛОЧНЫХ СТАНОВ <i>Фастыковский А.Р., Добрянский А.В., Дорофеев В.В.</i>	299
ВОПРОСЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Князев С.В., Куценко А.И., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Куценко А.А.</i>	304
АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ИЗ ОТБРАКОВКИ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК <i>Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В.</i>	309
КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ОТЛИВОК ПОСЛЕ ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ПРОЦЕССЕ ЛИТЬЯ <i>Приходько О.Г., Деев В.Б., Прусов Е.С., Куценко А.И., Пономарева К.В., Сметанюк С.В., Сокорев А.А.</i>	316

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2021»

Труды XXII Международной научно-практической конференции

Часть 1

Под общей редакцией А.Б. Юрьева

Технический редактор	Г.А. Морина
Компьютерная верстка	Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 20.10.2021 г.

Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 18,95 Уч.-изд. л. 21,19 Тираж 300 экз. Заказ № 234

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ