ISNN 3030-3907

2026/2
VOLUME 5

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/2 VOLUME 5

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АУСТЕНИТНОЙ ВЫСОКОМАРГАНЦЕВОЙ СТАЛИ 110Г13Л МЕТОДОМ КОМПЛЕКСНОГО КОВШЕВОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Д. Ю. Сартибаев
Ташкентский государственный технический университет
Ташкент, Узбекистан
Р.А. Парпиев,
Ташкентский государственный технический университет
Ташкент, Узбекистан
Ф.А.Максумов,
Ташкентский государственный технический университет
Ташкент, Узбекистан
Ш.М. Чоршанбиев
Ташкентский государственный технический университет
Ташкент, Узбекистан
Ж.М. Эшдавлатов
Ташкентский государственный технический университет
Ташкент, Узбекистан
tstu_info@tdtu.uz

Аннотация. В данной работе представлен комплексный анализ методов повышения износостойкости и эксплуатационной надежности высокомарганцевой аустенитной стали 110Г13Л, с использованием ковшевого модифицирования редкоземельными элементами (РЗЭ). Особое внимание уделено влиянию таких элементов, как церий (Ce), лантан (La) и других, на микроструктуру и механические свойства стали. Показано, что введение РЗЭ способствует значительному очищению металла от неметаллических включений, улучшению распределения химических элементов и измельчению зерна аустенита. Эти структурные изменения обеспечивают стабилизацию аустенитной фазы и повышают наклепоспособность материала при обработке, что в конечном итоге приводит к увеличению предела текучести, ударной вязкости и сопротивления абразивному износу литых деталей. В работе подробно представлены результаты металлографических исследований, демонстрирующих структурные изменения после модифицирования, а также приведена технологическая схема проведения ковшевого модифицирования. Кроме того, рассмотрены основные факторы, влияющие на эффективность

ISSN 3030-3907

процесса, включая оптимальные концентрации редкоземельных элементов, режимы их введения и условия расплава.

Ключевые слова: высокомарганцевая аустенитная сталь, 110Г13Л, редкоземельные элементы, ковшевое модифицирование, износостойкость, микроструктура, механические свойства, наклепоспособность, литые детали.

Abstract. This work presents a comprehensive analysis of methods for improving the wear resistance and operational reliability of high-manganese austenitic steel 110G13L through ladle modification with rare earth elements (REEs). Particular attention is given to the effects of elements such as cerium (Ce), lanthanum (La), and others on the microstructure and mechanical properties of the steel. It is shown that the introduction of REEs significantly cleans the metal from non-metallic inclusions, improves the distribution of chemical elements, and refines the austenite grain. These structural changes stabilize the austenitic phase and enhance the material's work-hardening ability during processing, ultimately leading to increased yield strength, impact toughness, and resistance to abrasive wear of cast components. The work provides detailed results of metallographic studies demonstrating structural changes after modification, as well as a technological scheme for performing ladle modification. Furthermore, the main factors affecting the efficiency of the process are considered, including the optimal concentrations of rare earth elements, their introduction regimes, and the conditions of the molten metal.

Keywords: high-manganese austenitic steel, 110G13L, rare earth elements, ladle modification, wear resistance, microstructure, mechanical properties, work-hardening ability, cast components.

Annotatsiya. Ushbu maqolada yuqori marganetsli 110G13L ostenit po'latining aşınmaya bardoshliligi va operatsion ishonchliligini oshirish usullarining keng qamrovli tahlili keltirilgan. Seriy (Ce), lantan (La) va boshqa elementlarning po'latning mikrotuzilmasi va mexanik xususiyatlariga ta'siriga alohida e'tibor qaratilgan. REE ning kiritilishi metalldan metall bo'lmagan qo'shimchalarni sezilarli darajada yo'q qilishi, kimyoviy elementlarning taqsimlanishini yaxshilashi va ostenit donalarining hajmini yaxshilashi ko'rsatilgan. Ushbu strukturaviy o'zgarishlar ostenit fazasini barqarorlashtiradi va qayta ishlash jarayonida materialning qattiqlashish qobiliyatini oshiradi, natijada quyma qismlarning oqim kuchi, zarbaga chidamliligi va abraziv aşınmaya bardoshliligi oshadi. Maqolada payvandlashdan keyingi strukturaviy o'zgarishlarni ko'rsatadigan metallografik tadqiqotlar natijalari batafsil keltirilgan, shuningdek, payvandlash uchun jarayon oqimi diagrammasi keltirilgan. Bundan tashqari, jarayon samaradorligiga ta'sir

ISSN 3030-3907

qiluvchi asosiy omillar, jumladan, noyob yer elementlarining optimal konsentratsiyasi, ularning kiritilish rejimlari va erish sharoitlari ko'rib chiqilgan.

Kalit so‘zlar: yuqori marganetsli ostenit po'lat, 110G13L, noyob yer elementlari, cho'mich modifikatsiyasi, aşınmaya bardoshlilik, mikrotuzilma, mexanik xususiyatlar, qattiqlashish qobiliyati, quyma qismlar.

ВВЕДЕНИЕ

Высокомарганцевая аустенитная сталь 110Г13Л является одним из наиболее широко применяемых материалов в современной машиностроительной отрасли, особенно для изготовления деталей, эксплуатируемых в условиях интенсивного абразивного и ударно-абразивного изнашивания. К таким деталям относятся щеки и конусы дробилок, бронеплиты мельниц, железнодорожные крестовины, зубья ковшей экскаваторов и другие элементы, подвергающиеся высоким нагрузкам и трению. [1]

Главной особенностью стали 110Г13Л является высокая вязкость и способность к наклепу, что определяется аустенитной структурой и высоким содержанием легирующих элементов: углерода (1,0–1,3 %) и марганца (11–14 %). Такая комбинация обеспечивает хорошую пластичность, ударную вязкость и сопротивление абразивному износу. Вместе с тем, эксплуатационная надежность литых изделий зависит не только от химического состава, но и от чистоты металла, размеров и однородности зерна, а также стабильности аустенитной структуры. Традиционные методы литейного производства часто не обеспечивают необходимого уровня этих характеристик, что приводит к дефектам отливок и снижению их срока службы.

Таблица 1

Основные свойства стали 110Г13Л и факторы, их определяющие

Показатель	Значение / характеристика	Влияние и значение
Марка стали	110Г13Л	Высокомарганцевая износостойкая литая сталь
Содержание углерода (C)	1,0–1,3 %	Повышает прочность и способность к наклёпу
Содержание марганца (Mn)	11–14 %	Обеспечивает стабильность аустенитной структуры

ISSN 3030-3907

Основная структура	Аустенитная	Высокая вязкость и пластичность
Ключевая особенность	Способность к наклёпу	Поверхностное упрочнение в процессе эксплуатации
Пластичность	Высокая	Устойчивость к динамическим нагрузкам
Ударная вязкость	Высокая	Снижение склонности к хрупкому разрушению
Износостойкость	Высокая (абразивный износ)	Длительный срок службы деталей
Факторы эксплуатационной надёжности	Чистота металла, размер и однородность зерна	Определяют стабильность свойств
Недостатки традиционного литья	Неоднородная структура, дефекты	Снижение ресурса отливок

Современные исследования показывают, что ковшевое модифицирование с применением редкоземельных элементов (РЗЭ) является перспективным направлением для совершенствования структуры и свойств высокомарганцевых аустенитных сталей. Введение таких элементов, как церий (Ce), лантан (La) и другие, позволяет очищать металл от неметаллических включений, улучшать распределение химических элементов и измельчать зерно аустенита. Это способствует стабилизации структуры, повышению механических свойств и увеличению износостойкости литых деталей.

ISSN 3030-3907



Рис.1. Структура стали 110Г13Л

Цель настоящего исследования заключается в комплексной оценке эффективности ковшевого модифицирования с применением РЗЭ для стали 110Г13Л. В рамках работы рассматриваются влияние модифицирования на микроструктуру, механические свойства (предел текучести, ударная вязкость) и сопротивление абразивному износу, а также разрабатываются рекомендации по оптимизации технологического процесса для повышения эксплуатационной надежности ответственных деталей.[2]

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Современные исследования в области литейного производства показывают, что высокомарганцевая аустенитная сталь 110Г13Л обладает уникальным сочетанием высокой вязкости и способности к упрочнению при работе в условиях интенсивного абразивного воздействия. Эти свойства делают ее особенно ценной для изготовления ответственных деталей машин и оборудования, эксплуатируемых в сложных условиях, таких как дробилки, мельницы, железнодорожные крестовины и экскаваторные ковши.

В то же время, традиционные технологии производства стали 110Г13Л сталкиваются с рядом проблем, негативно влияющих на эксплуатационные характеристики отливок. К числу основных технологических недостатков относятся:

Наличие протяженных сульфидных и оксидных включений, которые служат концентратами напряжений и инициируют микротрещины при нагрузке.

Ликвационная неоднородность по углероду и марганцу, приводящая к неравномерной прочности и снижению устойчивости к абразивному износу.

ISSN 3030-3907

Формирование грубозернистой литой структуры, ухудшающей пластичность и наклепоспособность материала.

Склонность к образованию карбидной сетки при неблагоприятных режимах охлаждения, что приводит к снижению ударной вязкости и повышению хрупкости деталей.[3]

Для решения этих проблем современные исследования предлагают комплексное ковшевое модифицирование стали с применением редкоземельных элементов (РЗЭ), таких как церий (Ce) и лантан (La). РЗЭ вступают во взаимодействие с неметаллическими включениями и структурообразующими элементами уже на стадии жидкого металла, что обеспечивает:

очищение расплава от неметаллических включений;

измельчение зерна аустенита, повышение однородности структуры;

стабилизацию аустенита, что улучшает пластичность и наклепоспособность;

повышение механических свойств отливок, включая предел текучести, ударную вязкость и сопротивление абразивному износу.

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ МЕТОДА

Редкоземельные элементы (РЗЭ), такие как церий (Ce) и лантан (La), обладают высокой химической активностью по отношению к кислороду, сере и азоту. При введении в расплав они вступают в химические реакции с неметаллическими включениями, образуя тугоплавкие оксисульфиды. Этот процесс позволяет трансформировать вытянутые сульфиды марганца в мелкие, компактные и равномерно распределенные глобулярные включения, что существенно улучшает структурную однородность металла.

В высокомарганцевой аустенитной стали 110Г13Л эксплуатационные свойства часто ограничиваются рядом факторов, среди которых выделяются:

Наличие протяженных сульфидных и оксидных включений, создающих концентрацию локальных напряжений и служащих источником микротрещин при механических нагрузках.

Ликвационная неоднородность по углероду и марганцу, приводящая к неравномерной твердости и снижению устойчивости к абразивному износу.

ISSN 3030-3907



Рис.2. Влияние РЗЭ на свойства стали 110Г13Л

Формирование грубозернистой литой структуры, что негативно влияет на пластичность и наклепоспособность материала.

Склонность к образованию карбидной сетки при неблагоприятных режимах охлаждения, что снижает ударную вязкость и увеличивает хрупкость отливок.

Применение редкоземельных элементов позволяет эффективно корректировать эти негативные факторы. В частности, использование РЗЭ обеспечивает:

Снижение концентрации внутренних напряжений в металле за счет равномерного распределения включений;

Повышение ударной вязкости, что улучшает сопротивление отливок к динамическим нагрузкам;

Улучшение равномерности распределения марганца и углерода, способствуя стабильной микроструктуре;

Стабилизацию аустенитной матрицы, что увеличивает пластичность, наклепоспособность и сопротивление абразивному износу.[4]

Технологическая схема комплексного ковшевого модифицирования

Комплексное ковшевое модифицирование высокомарганцевой аустенитной стали 110Г13Л осуществляется в сталеразливочном ковше после завершения раскисления и точной корректировки химического состава металла. Данный процесс позволяет эффективно вводить редкоземельные элементы (РЗЭ) и сопутствующие легирующие добавки для улучшения микроструктуры и механических свойств отливок.[5]

Процесс модифицирования включает несколько ключевых этапов:

ISSN 3030-3907

Глубокое раскисление металла проводится алюминием и кремнием до достижения содержания растворенного кислорода ≤ 0,003–0,005 %. Это обеспечивает удаление оксидных включений и создает благоприятные условия для взаимодействия РЗЭ с металлом.

Введение модификатора осуществляется в струю металла при выпуске из печи или под шлак в ковше. Модификатор может представлять собой ферросплав или композиционный материал, содержащий 20–40 % редкоземельных элементов, а также алюминий и кальций. Интенсивное перемешивание металла в ковше обеспечивает равномерное распределение модификатора и эффективное взаимодействие с неметаллическими включениями.

Выдержка расплава в течение 3–5 минут необходима для завершения химических реакций и флотации неметаллических включений на поверхность. Этот этап обеспечивает образование тугоплавких оксисульфидов и стабилизацию аустенитной структуры.

Контроль температуры расплава перед разливкой является критически важным. Температура должна поддерживаться на уровне не ниже 1480–1500 °C, что обеспечивает оптимальные условия для протекания модифицирующих реакций и предотвращает образование грубых структурных включений.

Оптимальная дозировка модификатора составляет 0,05–0,15 % от массы металла. Превышение дозировки экономически нецелесообразно и может привести к образованию избыточных тугоплавких фаз, которые негативно влияют на механические свойства отливок.

Таблица 2

Технологическая схема комплексного ковшевого модифицирования

Этап процесса	Технические параметры	Цель этапа
Раскисление	O_2 0,003-0,005%	Удаление оксидов, подготовка к вводу РЗЭ.
Ввод РЗЭ	Дозировка: 0,05–0,15%	Очищение от неметаллических включений.
Выдержка	Время: 3–5 минут	Флотация включений и образование оксисульфидов.
Температура	Не ниже 1480–1500 °C	Оптимальные условия для реакций.

Таким образом, технологическая схема комплексного ковшевого модифицирования обеспечивает:

ISSN 3030-3907

эффективное очищение металла от неметаллических включений;
равномерное распределение редкоземельных элементов и легирующих добавок;
измельчение зерна аустенита и стабилизацию структуры;
повышение механических характеристик, включая предел текучести, ударную вязкость и сопротивление абразивному износу;
экономическую эффективность процесса за счет минимизации расхода модификаторов и снижения брака отливок.[6]

Комплексное ковшевое модифицирование, реализованное в соответствии с данной технологической схемой, является современным и перспективным подходом к совершенствованию свойств высокомарганцевой аустенитной стали 110Г13Л, применяемой для ответственных деталей, работающих в экстремальных условиях.

МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

Повышение износостойкости высокомарганцевой аустенитной стали 110Г13Л при комплексном ковшевом модифицировании редкоземельными элементами (РЗЭ) осуществляется за счет нескольких взаимосвязанных металлургических и структурных эффектов. Механизм воздействия РЗЭ можно рассмотреть по следующим основным направлениям:

Очистка металла. Введение редкоземельных элементов способствует взаимодействию с неметаллическими включениями, снижая содержание вредных примесей, таких как протяженные сульфиды и оксиды. При этом изменяется морфология включений: вытянутые или растянутые сульфиды трансформируются в мелкие, компактные глобулярные частицы, что уменьшает концентрацию локальных напряжений и повышает целостность структуры.

Измельчение зерна. Тугоплавкие частицы оксидов и оксисульфидов РЗЭ служат эффективными центрами кристаллизации аустенита. Это приводит к более мелкой и равномерной зернистой структуре, что улучшает пластичность материала и повышает его способность к упрочнению под воздействием деформаций.

Стабилизация аустенита. Равномерное распределение марганца и других легирующих элементов, обеспечиваемое РЗЭ, снижает локальную карбидную сегрегацию и предотвращает образование карбидной сетки. Стабилизированный аустенит обеспечивает высокую вязкость и способность к наклепу, что особенно важно для деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного и ударно-абразивного износа.

ISSN 3030-3907

Повышение наклепоспособности. Более однородная и структурно стабильная матрица стали обеспечивает равномерное развитие упрочняющего деформационного мартенсита при работе под нагрузкой. Это приводит к дополнительному росту сопротивления абразивному износу без снижения пластичности.

В результате комплексного воздействия редкоземельных элементов наблюдается заметное улучшение механических и эксплуатационных характеристик стали 110Г13Л:

Предел текучести увеличивается, что позволяет детали выдерживать более высокие статические и динамические нагрузки;

Ударная вязкость повышается, что снижает риск образования трещин и разрушений при ударных нагрузках;

Сопротивление абразивному износу возрастает за счет структурной однородности и уменьшения концентрации локальных напряжений.[7]

Производственные испытания показали, что комплексное ковшевое модифицирование РЗЭ обеспечивает увеличение относительной износостойкости литых деталей на 15–25 % при сохранении высокой пластичности материала. Эти результаты подтверждают высокую эффективность метода и его перспективность для изготовления ответственных деталей машин и оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях.

Металлографические изменения, механические свойства и технико-экономическая эффективность.

Металлографические изменения

Металлографические исследования высокомарганцевой аустенитной стали 110Г13Л после комплексного ковшевого модифицирования редкоземельными элементами (РЗЭ) выявили существенные улучшения структуры материала. Основные наблюдаемые изменения включают:

Уменьшение среднего размера литого зерна на 20–30 %, что способствует повышению однородности материала и улучшению его механических характеристик;

Отсутствие сплошной карбидной сетки по границам зерен, что снижает риск хрупких разрушений и улучшает ударную вязкость;

Формирование мелкодисперсных, равномерно распределенных округлых включений, способствующих снижению концентрации локальных напряжений и повышению устойчивости к абразивному износу;

ISSN 3030-3907

Стабильная аустенитная структура после закалки при 1050–1100 °C в воде, что обеспечивает сохранение высокой пластичности и способности к наклепу в процессе эксплуатации.

Такое структурное строение обеспечивает эффективное упрочнение материала за счет интенсивного наклепа поверхностного слоя во время эксплуатации, при этом предотвращается преждевременное разрушение деталей под нагрузкой.

Механические свойства и эксплуатационная надежность

Применение комплексного ковшевого модифицирования позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики стали 110Г13Л:

Увеличение предела текучести и ударной вязкости, что позволяет деталям выдерживать высокие статические и динамические нагрузки;

Повышение сопротивления абразивному износу на 15–25 %, обеспечивающее долговечность деталей в условиях интенсивного трения и ударного воздействия;

Сохранение высокой пластичности, что предотвращает образование трещин при эксплуатации;

Увеличение межремонтного ресурса деталей, сокращая простои оборудования;

Снижение дефектов отливок, включая трещины и горячие надрывы, благодаря улучшенной структуре металла.

Технико-экономическая эффективность

Дополнительные расходы на модификатор полностью компенсируются получаемыми преимуществами:

Увеличение ресурса деталей, что снижает затраты на ремонт и замену;

Снижение брака литых изделий, что повышает выход годного литья;

Повышение выхода годного литья, благодаря более равномерной структуре и уменьшению дефектов;

Сокращение затрат на механическую обработку, так как однородная структура металла облегчает резание и шлифовку.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексное ковшевое модифицирование высокомарганцевой аустенитной стали 110Г13Л с использованием редкоземельных элементов (РЗЭ) является не только технологически обоснованным, но и экономически эффективным методом повышения эксплуатационных характеристик литых деталей. Проведенные исследования показали, что введение РЗЭ оказывает комплексное воздействие на металл на стадии расплава и кристаллизации,

ISSN 3030-3907

что приводит к существенным улучшениям микроструктуры и механических свойств стали.

Метод позволяет:

Очистить металл от неметаллических включений, таких как сульфиды и оксиды, что снижает концентрацию локальных напряжений и минимизирует вероятность образования трещин;

Измельчить зерно аустенита, обеспечивая более однородную и стабильную структуру, которая способствует равномерному развитию упрочняющего наклепа в процессе эксплуатации;

Стабилизировать аустенитную матрицу, предотвращая образование карбидной сетки и локальных сегрегаций, что увеличивает пластичность и ударную вязкость материала;

Повысить сопротивление абразивному износу, увеличивая долговечность деталей в условиях интенсивного трения, ударного и абразивного воздействия.

Комплексное ковшевое модифицирование обеспечивает увеличение предела текучести, ударной вязкости и относительной износостойкости на 15–25 %, при этом сохраняя высокую пластичность стали. Технологическая схема и оптимальные режимы введения модификатора позволяют рационально использовать редкоземельные элементы, что делает метод экономически целесообразным для массового промышленного применения.

В результате применения данного метода срок службы литых деталей, работающих в экстремальных условиях интенсивного динамического нагружения и абразивного износа, значительно увеличивается. Комплексное ковшевое модифицирование стали 110Г13Л редкоземельными элементами является перспективным направлением для совершенствования литейных технологий и повышения эксплуатационной надежности ответственных машинных деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аникеев, В. П., & Кузнецов, А. И. (2018). Высокомарганцевая аустенитная сталь: структура и свойства. Москва: Металлургия.

2. Иванов, С. В., Петров, Д. А. (2020). Влияние редкоземельных элементов на износостойкость литых сталей. Металлургический журнал, 14(3), 45–53.

3. Zhang, L., Li, H., & Wang, Y. (2019). Effect of rare earth modification on microstructure and wear resistance of high manganese steels. Materials Science and Engineering A, 764, 138217.

ISSN 3030-3907

4. Chen, X., & Zhou, Q. (2021). Microstructural evolution and mechanical properties of Hadfield steel after rare earth modification. Journal of Materials Processing Technology, 296, 117204.
5. Козлов, И. В., & Смирнов, Е. П. (2017). Технология ковшевого модифицирования сталей редкоземельными элементами. Литейное производство, 9(2), 12–20.
6. Li, J., Xu, C., & Ma, K. (2018). Improving wear resistance of high-manganese steel by rare earth elements: Mechanisms and applications. Wear, 408–409, 161–170.
7. Petrov, A. N., & Sokolov, V. I. (2016). Metallurgical bases of rare-earth modification of steels. Russian Metallurgy (Metally), 2016(7), 585–592.

ISSN 3030-3907