

Перспективы использования и совершенствования жаропрочных сталей для производства деталей металлургического производства

¹*АРИНОВА Саня Каскатаевна, PhD, преподаватель, sanya_kazah@mail.ru,

¹КВОН Светлана Сергеевна, к.т.н., профессор, svetlana.1311@mail.ru,

¹ИСАГУЛОВА Диана Аристотелевна, PhD, старший преподаватель, isagulova_diana@mail.ru,

¹КОВАЛЁВА Татьяна Викторовна, м.т.н., докторант, sagilit@mail.ru,

¹АУБАКИРОВ Дастан Рахметоллаевич, м.т.н., докторант, dastan_kstu@mail.ru,

¹Карагандинский технический университет, Казахстан, 100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Проведен сравнительный анализ свойств, стоимости и распространенности различных марок жаропрочных сталей, используемых для производства деталей термических печей. Показано, что наиболее перспективной с позиции цена/качество являются марки 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 09Х18Н9Т, как имеющие относительно низкую стоимость по сравнению с другими жаропрочными марками и достаточную жаропрочность. Уровень развития производства РК позволяет реализовать технологию выплавки данных марок и получения отливок высокого качества. Потенциалом увеличения жаропрочности и снижения себестоимости являются совершенствование состава (частичная замена никеля марганцем), использование ферросплавов казахстанского содержания и микролегирование.

Ключевые слова: жаропрочность, детали термических печей, стоимость, состав, совершенствование свойств.

Введение

Жаропрочность – обязательное требование к материалам, работающим при повышенных температурах и длительном нагружении. В противном случае развивается явление ползучести, которое проявляется в появлении трещин вдоль границ зерен и в конечном итоге приводит к разрушению материала. Жаропрочные материалы широко используются при создании металлургических печей, т.к. большая часть деталей металлургических печей работает при высоких температурах, постоянной нагрузке и, кроме того, часто сопровождается воздействием агрессивной внешней среды (кислотной, окислительной, щелочной и пр.). Вследствие последнего обстоятельства материалы, используемые при создании металлургических печей, в большинстве случаев одновременно обладают жаропрочными, и жаростойкими свойствами.

Большая часть жаропрочных материалов, используемых в металлургической промышленности, относятся к сталям и лишь менее 10% [1] – к сплавам на основе никеля или кобальта. Это связано с высокой стоимостью последних, хотя их жаропрочные свойства превосходят аналогичные свойства сталей. В ранее проведенных исследова-

ниях [2,3] был предложен состав жаропрочного сплава именно для металлургической промышленности, в частности, для изготовления роликов термических печей. Этот сплав по жаропрочным свойствам сопоставим с нимониками, но по стоимости близок к стоимости жаропрочных сталей за счет уменьшения содержания дефицитного никеля. Однако стоимость предложенного сплава все равно остается выше стоимости жаропрочных сталей, что ограничивает его применение. Высокая себестоимость крупногабаритных и тяжелых деталей, изготовленных из предложенного сплава, не оправдывается повышением эксплуатационных свойств.

В настоящее время основными путями совершенствования свойств жаропрочных сталей являются: оптимизация состава сталей; использование сталей в наклепанном состоянии; микролегирование бором или РЗМ; совершенствование технологии выплавки [4].

Целью данной работы является выбор наиболее перспективной по соотношению стоимости и качества, жаропрочной стали, используемой для производства деталей металлургических печей, для дальнейшего совершенствования ее состава и свойств на основании указанных выше путей.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов

На основе информационного анализа [5-11] был составлен перечень некоторых деталей, производимых из жаропрочных сталей методом литья (таблица 1, рисунок 1). В качестве объекта были выбраны термические печи как наиболее распространенные печи металлургического производства, т.к. они используются не только для термообработки, но также и в машиностроении, огнеупорной промышленности и пр. В таблице 1 марки сталей указаны согласно маркировке, принятой на территории СНГ.

На рисунке 2 приведен анализ по распространению жаропрочных сталей в зависимости от структурного класса.

В таблице 1 приведены детали, изготавливаемые

только из сталей аустенитного класса или с дисперсионным или интерметаллидным упрочнением, как наиболее жаропрочные. Как видно из данных таблицы 1, все рассмотренные стали сохраняют жаропрочность до температур 800-900°C, при этом рабочие температуры печи могут значительно превышать этот интервал. Соответственно, срок службы многих деталей составляет всего лишь от 3 до 6 месяцев, что снижает производительность агрегата в связи с заменой деталей и простоем. Резервом повышения срока службы деталей является повышение жаропрочности сталей.

Жаропрочные стали имеют достаточно сложный состав, что определяет их высокую стоимость по сравнению с другими марками. В таблице 2 приведены цены на некоторые жаропрочные

Таблица 1 – Литые детали, изготавливаемые из жаропрочных материалов (для термических печей)

№ п/п	Наименование	Марка стали	Условия работы
1	Реторты шахтных печей	20Х25Н19С2Л	До 650°C
2	Литые детали энергоустановок	12Х18Н12БЛ	До 650°C
3	Печные конвейеры, шнеки, крепежные детали	35Х18Н24С2Л	До 1200°C
4	Короба, подовые плиты термических печей	45Х17Г13Н3ЮЛ	До 900°C
5	Нагревательные элементы печей, камеры сгорания	15Х23Н18Л	До 900°C
6	Крестовины реторт	12Х18Н12М3ТЛ	До 800°C
7	Детали печной арматуры, коллекторы, ящики и крышки травильных корзин, горловины шахтных реторт	12Х18Н9ТЛ	До 800°C
8	Лопатки компрессоров и сопловых аппаратов, шнеки	40Х24Н12СЛ	До 1000°C
9	Приводные барабаны, валы для конвейерных агрегатов	20Х23Н18	До 800°C
10	Диффузоры реторт	20Х25Н19С2Л	До 900°C
11	Звенья цепей конвейерных термоагрегатов	10Х25Н25ТР	До 650°C
12	Крыльчатки шахтных печей	20Х25Н19С2Л	До 900°C
13	Направляющие, ролики, роликовые пути	40Х14РМВ2М	
14	Садочные приспособления для термообработки (корзины, этажерки, стапели и пр.)	20Х25Н19С2Л	До 900°C
15	Загрузочные корзины шахтных реторт	20Х25Н19С2Л	До 900°C



а – крестовина шахтных реторт; б – направляющие в термической печи

Рисунок 1 – Детали из жаропрочных сталей



Рисунок 2 – Доля отливок из жаропрочных сталей

№ п/п	Марка	Поставка	Цена, млн тг/т
1	40X14N14B2M	труба	14,9
2	12X18N10T	лист	1,8
3	08X18N10T	лист	1,07
4	15XM	труба	17,5
5	30XM	труба	15
6	10X25N25TP	лист	35,6
7	08X16N11M3	лист	31
8	95X18-Ш	лист	1432,9

марки сталей, распространенные в РК [12].

Данные таблицы 2 показывают, что стоимость стали напрямую связана с маркой и количеством легирующих, использование дополнительного переplava повышает стоимость стали в десятки раз.

В РК в промышленных масштабах жаропрочные стали не производят, более 90% жаропрочных сталей поставляются из-за рубежа в виде листа, сортового проката или трубы. Производство деталей из жаропрочных сталей, получаемых методом литья, практически не налажено, исключая отдельные частные предприятия.

Такая ситуация определяет полную зависимость от поставок сменных деталей, таких как ролики, направляющие, шнеки, садочные приспособления и пр., не говоря уже о крупногабаритной продукции (реторты, поды и пр.). Выходом из создавшейся ситуации может быть производство

отливок из собственных жаропрочных сталей, обладающих повышенными эксплуатационными свойствами.

Сравнение данных таблиц 1 и 2 показывает, что наименьшей ценой из рассмотренных марок обладают стали марок 12X18N10T, 08X18N10T с жаропрочностью до 800°C. Надо отметить, что данные марки стали обладают также и жаростойкостью, что расширяет круг их использования. Указанные марки имеют структуру легированного аустенита, одним из путей повышения их жаропрочности является совершенствование состава и микролегирование.

Марки 12X18N10T, 08X18N10T и их аналоги (09X18N9T) по сравнению с другими жаропрочными сталями имеют относительно простой состав и, соответственно, более простую технологию выплавки. Основными легирующими элементами являются хром и никель, причем возможна

замена части никеля на марганец, который также является аустенизатором.

В РК налажено собственное производство феррохрома и ферромарганца, а также комплексных ферросплавов, что позволит повысить долю казахстанского содержания при производстве данных марок стали.

Заключение

Проведенный информационный анализ позволил рекомендовать марки 12X18H10T, 08X18H10T, 09X18H9T, как базовые жаропрочные стали для производства ряда деталей термиче-

ских печей. Данные марки являются наиболее перспективными по соотношению цена/качество, т.к. имеют относительно низкую стоимость по сравнению с другими жаропрочными марками и достаточную жаропрочность и жаростойкость. Уровень развития производства РК позволяет реализовать технологию выплавки данных марок и получения отливок высокого качества. Потенциалом увеличения жаропрочности и снижения себестоимости данных марок являются совершенствование состава (частичная замена никеля марганцем), использование ферросплавов казахстанского содержания и микролегирование.

Данные исследования проведены в рамках реализации гранта Комитета науки МОН РК АР09058352 «Разработка и внедрение нового жаропрочного сплава и технологии получения деталей для металлургического производства на его основе».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Целиков А.И. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. – М.: Металлургия, 1988. – 452 с.
2. Авторское свидетельство № 107447, патент РК № 33522, опубликовано бюлл. № 11 от 15.03.2019 // Состав жаропрочного сплава.
3. Исагулов А.З., Ибатов М.К., Куликов В.Ю. и др. Разработка жаропрочного сплава для литых изделий печного оборудования // Литейное производство. 2019. № 11. – С. 12-15.
4. Гольдштейн М.И. и др. Специальные стали. – М.: Изд-во МИСиС, 2005. – 418 с.
5. ГОСТ 977-88
6. Долотов Г.П., Кондаков Е.А. Оборудование термических цехов и лабораторий испытаний металлов. – М.: Машиностроение, 1988. – 336 с.
7. Ляпунов А.И. Оборудование термических цехов. – М.: Монолит, 2002. – 300 с.
8. Авдеев В.А., Друян В.М., Кудрин Б.И. Основы проектирования металлургических заводов: Справочное издание. М.: Интернет Инжиниринг, 2002. – 464 с.
9. Lawal S.A., Adedipe O. An Overview of Advancement in the Application of Heat-Resistant Alloys. In: Martínez L., Kharisova O., Kharisov B. (eds) Handbook of Ecomaterials. Springer, Cham. 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68255-6_132
10. Johanna E., Malin F., Artin F., Markus L., Alex K. Heat Resistant Steel Alloys // <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:826208/FULLTEXT01.pdf>
11. Knežević V., Balun J., Sauthoff G., Inden G., Schneider A. Design of martensitic/ferritic heat-resistant steels for application at 650°C with supporting thermodynamic modelling// Materials Science and Engineering: Vol. 477, Issues 1-2, pp. 334-343. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.05.047>
12. <https://sat.kz/Zharoprochnaya-stal.html>

Пайдалану және жетілдіру перспективалары металлургиялық өндіріс бөлшектерін өндіруге арналған ыстыққа төзімді болаттар

^{1*}АРИНОВА Саня Каскатаевна, PhD, оқытушы, sanya_kazah@mail.ru,

¹КВОН Светлана Сергеевна, т.ф.к., профессор, svetlana.1311@mail.ru,

¹ИСАГУЛОВА Диана Аристотелевна, PhD, аға оқытушы, isagulova_diana@mail.ru,

¹КОВАЛЁВА Татьяна Викторовна, т.ф.м., докторант, sagilit@mail.ru,

¹АУБАКИРОВ Дастан Рахметоллаевич, т.ф.м., докторант, dastan_kstu@mail.ru,

¹Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан, 100027, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Термиялық пештердің бөлшектерін өндіру үшін қолданылатын ыстыққа төзімді болаттардың әртүрлі маркаларының қасиеттерін, құнын және таралуын салыстырмалы талдау жүргізілді. Басқа ыстыққа төзімді маркалармен салыстырғанда салыстырмалы түрде төмен құны және жеткілікті ыстыққа төзімділігі бар 12X18H10T, 08X18H10T, 09X18H9T маркалары баға/сапа тұрғысынан неғұрлым перспективалы болып табылады. ҚР өндірісінің даму деңгейі осы маркаларды балқыту және жоғары сапалы құймаларды алу технологиясын іске асыруға мүмкіндік береді. Ыстыққа төзімділікті арттыру және өзіндік құнын төмендету

элеуеті құрамды жетілдіру (никельді марганецпен ішінара ауыстыру), қазақстандық мазмұндағы ферроқорытпаларды пайдалану және микролегирлеу болып табылады.

Кілт сөздер: отқаберіктік, термиялық пештердің бұйымдары, құны, құрамы, қасиеттерді жетілдіру.

Prospects for Use and Improvement Heat-Resistant Steels for the Production of Metallurgical Production Parts

¹***ARINOVA Saniya**, PhD, Teacher, sanya_kazah@mail.ru,

¹**KVON Svetlana**, Cand. of Tech. Sci., Professor, svetlana.1311@mail.ru,

¹**ISAGULOVA Diana**, PhD, Senior Lecturer, isagulova_diana@mail.ru,

¹**KOVALEVA Tatyana**, Mast. of Tech. Sci., doctoral student, sagilit@mail.ru,

¹**AUBAKIROV Dastan**, Mast. of Tech. Sci., doctoral student, dastan_kstu@mail.ru,

¹Karaganda Technical University, Kazakhstan, 100027, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

*corresponding author.

Abstract. A comparative analysis of the properties, cost and prevalence of various grades of heat-resistant steels used for the production of parts of thermal furnaces is carried out. It is shown that the most promising from the point of view of price/quality are the brands 12X18N10T, 08X18N10T, 09X18N9T, as having a relatively low cost compared to other heat-resistant brands and sufficient heat resistance. The level of development of the production of the Republic of Kazakhstan allows us to implement the technology of smelting these brands and obtaining high-quality castings. The potential to increase the heat resistance and reduce the cost is the improvement of the composition (partial replacement of nickel with manganese), the use of ferroalloys of Kazakhstani content and microalloying.

Keywords: heat resistance, details of thermal furnaces, cost, composition, improvement of properties.

REFERENCES

1. Celikov A.I. i dr. Mashiny i agregaty metallurgicheskikh zavodov. Moscow: Metallurgija, 1988. – 452 p.
2. Avtorskoe svidetel'stvo no. 107447, patent RK no. 33522, opublikovano bjull. No. 11 ot 15.03.2019. Sostav zharoprochnogo splava.
3. Isagulov A.Z., Ibatov M.K., Kulikov V.Ju. i dr. Razrabotka zharoprochnogo splava dlja lityh izdelij pechnogo oborudovanija. Litejnoe proizvodstvo, 2019. No. 11, pp. 12-15.
4. Gol'dshtejn M.I. i dr. Special'nye stali. Moscow, Publ. MISiS, 2005. – 418 p.
5. GOST 977-88
6. Dolotov G.P., Kondakov E.A. // Oborudovanie termicheskikh cehov i laboratorij ispytanij metallov. Moscow: Mashinostroenie, 1988. – 336 p.
7. Ljapunov A.I. // Oborudovanie termicheskikh cehov. Moscow: Monolit, 2002. – 300 p.
8. V.A. Avdeev, V.M. Drujan, B.I. Kudrin. Osnovy proektirovanija metallurgicheskikh zavodov: Spravochnoe izdanie. Moscow: Internet Inzhiniring, 2002. – 464 p.
9. Lawal S.A., Adedipe O. An Overview of Advancement in the Application of Heat-Resistant Alloys. In: Martínez L., Kharissova O., Kharisov B. (eds) Handbook of Ecomaterials. Springer, Cham, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68255-6_132
10. Johanna Ejerhed, Malin From, Artin Fattah, Markus Lindén, Alex Karlstens. Heat Resistant Steel Alloys. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:826208/FULLTEXT01.pdf-51p>
11. V.Knežević, J.Balun, G.Sauthoff, G.Inden,A.Schneider. Design of martensitic/ferritic heat-resistant steels for application at 650°C with supporting thermodynamic modelling. Materials Science and Engineering: Vol. 477, Issues 1-2, pp. 334-343. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.05.047>
12. <https://satu.kz/Zharoprochnaya-stal.html>