

УДК 669:15'24:621.785.6

Чейлях А.П.¹, Прекрасный С.В.², Климанчук В.В.³, Кирильченко П.Н.⁴

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННОГО ЖАРСТОЙКОГО СПЛАВА ДЛЯ КОЛОСНИКОВ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ МАШИН

Разработанный экономнолегированный жаростойкий сплав 65X20Г2С2АЮТЛ в условиях термоциклирования по механическим свойствам не уступает применяющимся в производстве более дорогим высокохромистым жаростойким сталям и чугунам.

Многие жаростойкие и износостойкие сплавы, применяемые в настоящее время на многих предприятиях для изготовления колосников спекательных тележек агломашин металлургического оборудования, содержат значительное количество (25 – 30 %) хрома, некоторое количество 1,5 – 2 % остроредукционного в Украине никеля [1 – 4]. Массовое воспроизводство сменных деталей требует значительного расхода этих и других легирующих компонентов, что не всегда экономически оправдано. Поэтому проблемы экономии легирующих компонентов при массовом производстве сменных деталей агломерационного оборудования и повышения их надежности и эксплуатационной долговечности весьма актуальны для многих металлургических предприятий.

Целью настоящей работы является разработка состава нового экономнолегированного жаростойкого сплава для колосников спекательных тележек агломашин с целью экономии хрома и дорогих легирующих компонентов при сохранении на высоком уровне их эксплуатационной долговечности.

В данной работе исследовались хромистые жаростойкие сплавы ЧХ28, ЧХ24ТЛ и 75Х28Н2СЛ, широко используемые в промышленности, в частности, для производства колосников спекательных тележек. Эти сплавы содержат хром, как основной легирующий элемент в количестве от 22 до 30 %, что обеспечивает достаточную жаростойкость, горяче-абразивную и газо-абразивную износостойкость колосников при температурах эксплуатации до 1000 °С. Для реализации поставленной цели, разработан состав нового экономнолегированного жаростойкого сплава 65X20Г2С2АЮТЛ.

В представленном материале использовались металлографический метод, испытания свойств на динамический изгиб образцов без надреза, испытания абразивной износостойкости в абразивной изнашивающей среде чугунной дроби по методике аналогичной [5] но в сочетании с естественным разогревом образцов в процессе изнашивания ориентировочно до 400-450 °С.

Микроструктура используемых материалов в литом состоянии и нового сплава показаны на рис. 1 и 2. В структуре чугуна ЧХ28Л наблюдаются крупные зерна феррита и крупные скопления карбидов (Cr, Fe)₇C₃, а в структуре чугуна ЧХ24ТЛ также видны скопления колоний карбидов (Cr, Fe)₇C₃ и выделенные по всей структуре дисперсные карбиды титана.

Учитывая ферритообразующий характер влияния хрома, для получения аустенитной матрицы в сплавах на основе Fe-Cr-Mn его содержание не должно превышать 15 % [6, 7]. Поэтому структура сплава 65X20Г2С2АЮТЛ представляет собой ферритную матрицу, армированную карбидами типа (Cr, Fe)₂₃C₆ в количестве до 10 – 15 %. Поскольку сплав содержит относительно невысокое количество углерода (до 0,75 %), содержание хрома в ферритной матрице будет достаточным для обеспечения необходимой жаростойкости.

¹ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

²ПГТУ, аспирант

³ОАО «ММК им. Ильича», канд. техн. наук

⁴ОАО «ММК им. Ильича», инж.

Легирование кремнием и алюминием способствует повышению жаростойкости, а титаном и азотом упрочнению сплава. Марганец в небольшом количестве введен для стабилизации некоторого количества аустенита.

Значения твердости образцов всех испытанных марок сплавов коррелируют с содержанием углерода в сплаве, а также с количеством карбидной фазы: чем больше в сплаве содержится углерода, тем выше твердость этого сплава. Таким образом, сплав 65X20Г2С2АЮТЛ имеет наименьшую твердость (HRC 24), а чугуны ЧХ28 наибольшую – HRC 44.

В соответствии с циклическим характером изменения температуры колосников во время работы в агломашине [8, 9], исследовано влияние термоциклической обработки (ТЦО) с близкими параметрами термоциклирования, имитирующими в определенной степени условия эксплуатации колосников – нагрев образцов в камерной электропечи до 700 °С, выдержка 25 мин., охлаждение на воздухе до температуры 30-70 °С в течение 20-30 мин. в зависимости от количества обрабатываемых одновременно образцов. После 20, 40 и 60 циклов ТЦО отбирались образцы от каждой марки сплава для последующих исследований и испытаний.

Под действием термоциклов ускоряются процессы диффузии атомов внедрения (С, N) [10]. Неоднородность химического состава литого металла, большое количество дефектов микроструктуры, которые неизбежно возникают при литье, способствуют увеличению скорости диффузии.

В структуре применяющихся стали 75X28H2СЛ и чугунов ЧХ28, ЧХ24Т в результате многократных кратковременных выдержек при 700 °С образуются участки обогащенные и обедненные легирующими элементами, что в конечном счете приводит к образованию карбидов и карбонитридов хрома, возможно также образование и σ -фазы. Параллельно с образованием карбидов развиваются процессы их сфероидизации и коалесценции. Эти процессы оказывают влияние на изменения состава и свойств матричной фазы. Микроструктура стали 75X28H2СЛ и нового сплава 65X20Г2С2АЮТЛ после 60 термоциклов показана на рис. 3.

Несколько иначе происходят изменения в структуре разработанного сплава 65X20Г2С2АЮТЛ. Этот сплав содержит меньшее количество хрома, чем рассмотренные выше чугуны ЧХ24ТЛ, ЧХ28 и сталь 75X28H2СЛ, а Mn, Si, N и Al растворены в α -твердом растворе,

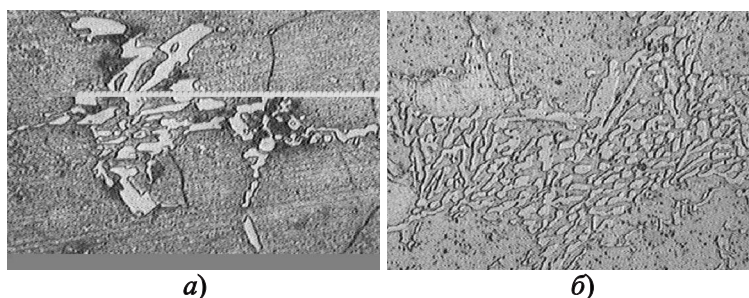


Рис. 1 - Микроструктура сплавов применяющихся в ОАО “ММК им. Ильича” для изготовления колосников спекательных тележек агломашин: а) ЧХ28; б) ЧХ24ТЛ × 800

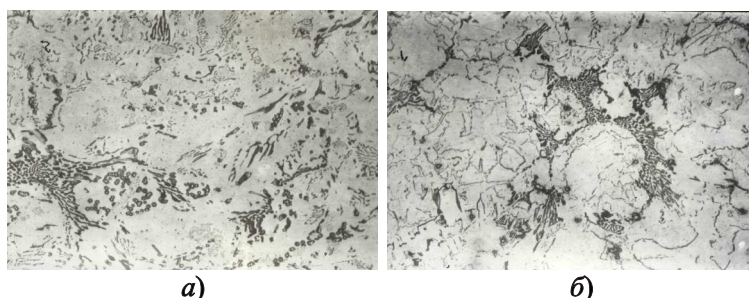


Рис. 2 - Микроструктура стали 75X28H2СЛ (а) и нового сплава 65X20Г2С2АБТЛ (б) в литом состоянии: × 500

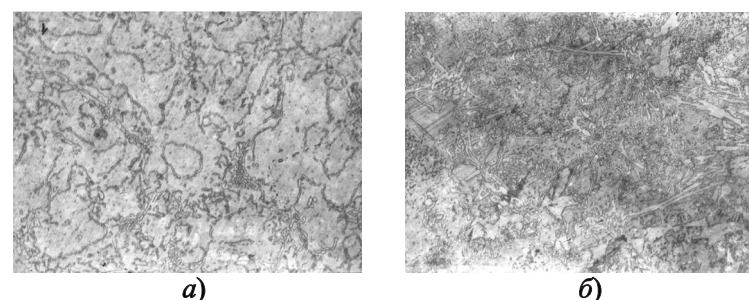


Рис. 3 - Микроструктура исследованных сплавов после 60 термоциклов: а) 65X20Г2С2АЮТЛ; б) 75X28H2СЛ × 500

что способствует дополнительному твердорастворному упрочнению ферритной матрицы. При ТЦО вероятно происходит перераспределение легирующих элементов в неравновесных условиях, способствующее выделению при охлаждении отливок некоторых элементов из твердого раствора в виде нитридов алюминия, а также σ -фазы. Здесь также имеют место процессы сфероидизации и коалесценции выделяющихся частиц.

Термоциклическая обработка, вызывающая изменения в микроструктуре всех исследованных сплавов, оказывает существенное влияние на механические свойства. Изменение твердости образцов сплавов после ТЦО приведено на рис. 4.

В высокохромистых чугунах ЧХ24ТЛ, ЧХ28 и стали 75Х28Н2СЛ с увеличением количества циклов ТЦО твердость снижается. Это связано с выделением из твердого раствора вторичных фаз и их коалесценцией. Следует заметить, что наиболее интенсивно твердость снижается у чугунов ЧХ24ТЛ и ЧХ28Л, что вероятно связано с более высоким содержанием углерода и хрома в твердом растворе матрицы.

В стали 75Х28Н2СЛ содержится меньше углерода, чем в чугуне ЧХ28Л и больше хрома, чем в ЧХ24ТЛ, поэтому твердый раствор содержит большое количество растворенного в нем хрома и значительно меньшее количество растворенного углерода. В результате этого ниже вероятность связывания углерода в карбид, затрудняется его коалесценция, поэтому снижение твердости происходит менее интенсивно.

Совершенно иначе изменяется твердость нового экономнолегированного сплава 65Х20Г2С2АЮТЛ: она возрастает с увеличением количества термоциклов ТЦО и при 40 циклах достигает максимального значения. Повышение твердости сплава связано с дисперсионным твердением за счет выделения дисперсных карбидов, карбонитридов хрома и нитридов алюминия. Процесс выделения дисперсных частиц вероятно идет медленнее, чем в рассмотренных выше сплавах ЧХ24ТЛ, ЧХ28Л и 75Х28Н2СЛ, что обусловлено меньшим содержанием углерода в разработанном сплаве. В результате этого процессы разупрочнения (коалесценция избыточных фаз) протекают менее интенсивно, в связи с чем, твердость сплава начинает снижаться только после 40 термоциклов и снижается в меньшей степени, чем в чугунах ЧХ28Л, ЧХ24ТЛ и даже чем в стали 75Х28Н2СЛ.

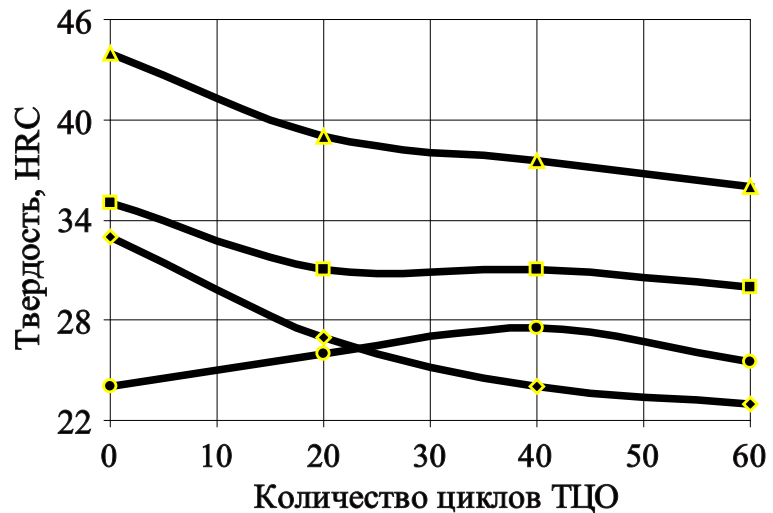


Рис. 4 - Влияние ТЦО на изменение твердости испытанных образцов

● — 65Х20Г2С2АЮТЛ ■ — 75Х28Н2СЛ
▲ — ЧХ28Л ◆ — ЧХ24ТЛ

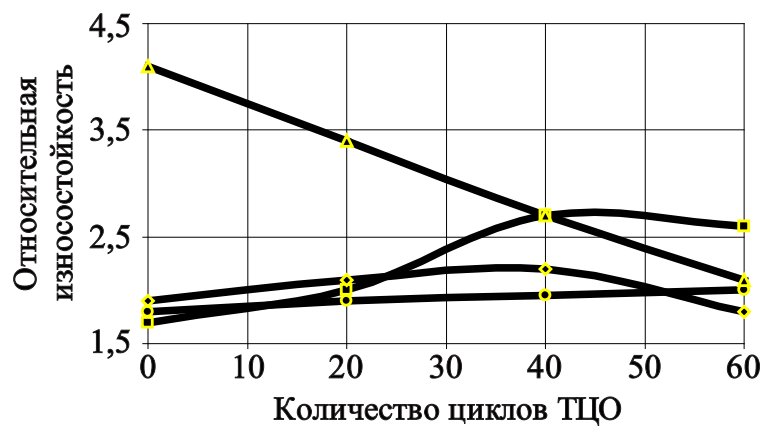


Рис. 5 - Влияние ТЦО на относительную износостойкость исследованных сплавов

● — 65Х20Г2С2АЮТЛ ■ — 75Х28Н2СЛ
▲ — ЧХ28Л ◆ — ЧХ24ТЛ

Влияние ТЦО на изменение ударной вязкости сплавов приведено в таблице. Ударная вязкость образцов чугуна ЧХ28Л после 20 циклов ТЦО несколько увеличивается с 39 до 59 кДж/м². Её повышение связано с разупрочнением твердого раствора, повышением вязкости за счет обеднения феррита легирующими элементами. Однако после 40 циклов ударная вязкость снижается, что может быть связано с выделением σ -фазы по границам зерен.

Таблица 1 – Ударная вязкость исследованных сплавов после ТЦО, кДж/м²

Марка материала	Количество циклов, шт.			
	литое	20	40	60
65X20Г2С2АЮТ	40,5	50,0	85,0	95,0
ЧХ28	39,0	59,0	40,0	–
ЧХ24Т	–	89,0	–	–

Относительная износостойкость чугуна ЧХ28Л линейно уменьшается с увеличением количества циклов ТЦО (рис. 5). Это можно объяснить разупрочнением сплава, а также выкрашиванием хрупкой карбидной фазы [11]. Это облегчается за счет нарушения связи карбид – матрица под действием частых теплосмен, так как возникают термические напряжения из-за разницы коэффициентов термического расширения карбидной фазы и ферритной матрицы.

Относительная износостойкость стали 75X28Н2СЛ при ТЦО до 40 циклов, увеличивается с 1,7 до 2,5, после чего при 60 циклах она снижается. Первое связано с дисперсионным твердением и упрочнением матрицы, а снижение – с развитием процессов коалесценции и уменьшением упрочняющего эффекта избыточных фаз. В отличие от известных сплавов износостойкость разработанного сплава 65X20Г2С2АЮТЛ по мере термоциклирования постепенно непрерывно возрастает, достигая уровня износостойкости чугуна ЧХ24ТЛ (см. рис. 5). Это можно объяснить метастабильностью структуры, реализацией термомодеформационных фазовых превращений, связанных с непрерывным дисперсионным упрочнением в процессе ТЦО, что позволяет рассчитывать на повышение ресурса работы колосников.

Определенную роль в повышении долговечности колосников наряду с износостойкостью играет жаростойкость материала. Очевидно, жаростойкость сплавов с меньшим содержанием углерода 75X28Н2СЛ и 65X20Г2С2АЮТЛ будет превосходить жаростойкость чугунов ЧХ28Л и ЧХ24Л, содержащих большее количество углерода, связывающего основной элемент – хром в карбиды. К тому же, как было показано выше в процессе ТЦО износостойкость ЧХ28Л непрерывно и в значительной степени снижается до уровня сплавов с понижением содержания углерода. Следовательно, последние будут обладать лучшим сочетанием горячей абразивной износостойкости и жаростойкости, превосходящих свойства высокоуглеродистых сплавов (ЧХ28Л и ЧХ24ТЛ).

Производственные испытания в условиях аглофабрики ОАО «ММК им. Ильича» колосников спекательных тележек агломашин из разработанного экономнолегированного сплава показали, что их эксплуатационная стойкость соответствует стойкости колосников из более дорогих высокохромистых сплавов, содержащих 25-30 % хрома. При этом разработанный сплав 65X20Г2С2АЮТЛ является экономнолегированным и недорогим, по сравнению со сталью 75X28Н2СЛ и чугунами ЧХ24ТЛ и ЧХ28Л.

Дальнейшие исследования в данном направлении позволяют оптимизировать составы жаростойких сплавов для обеспечения высокой жароизносостойкости при повышенных температурах.

Выводы

1. Разработанный экономнолегированный жаростойкий сплав 65X20Г2С2АЮТЛ, содержащий на 25 – 30 % меньшее количество хрома в сравнении с применяющимися жаростойкими сплавами (75X28Н2, ЧХ28Л, ЧХ24ТЛ) не уступает им по механическим свойствам.
2. Термоциклическое воздействие при ТЦО (аналогичное циклическому изменению температуры колосников в процессе эксплуатации) в интервале температур 700↔20 °С обуславливает структурные изменения, связанные с распадом твердых растворов и выделением избы-

точных фаз: карбидов, карбонитридов и σ -фазы, вызывает снижение ударной вязкости, а в разработанном сплаве 65X20Г2С2АЮТЛ – ее повышение.

3. ТЦО снижает относительную абразивную (горячую) износостойкость в стандартном чугуна ЧХ28Л, но вызывает ее повышение в экономнолегированном сплаве 65X20Г2С2АЮТЛ, что обусловлено метастабильностью его структуры и реализацией термомодеформационных фазовых превращений.
4. Использование метастабильности структуры нового сплава 65X20Г2С2АЮТЛ можно обеспечить ресурс долговечности и надежности деталей, поскольку в процессе ТЦО увеличивается относительная износостойкость и ударная вязкость.
5. Промышленные испытания опытной партии колосников из сплава 65X20Г2С2АЮТЛ показали, что его эксплуатационная стойкость не уступает стойкости применяющихся сплавов. При этом новый сплав дешевле, так как содержит на 20 – 30 % меньше хрома.

Перечень ссылок

1. *Гольдштейн М.И.* Специальные стали / *М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векслер.* – М.: МИСИС, 1999. – 408 с.
2. *Петров Л.А.* Исследование высокотемпературной коррозии чугунов ЧС5Ш, ЧХ28 и ЧЮ22Ш / *Л.А. Петров, А.И. Беляков, В.А. Таржуманова* // *МиТОМ.* – 2000. – № 7. – С. 43 – 46.
3. Влияние термообработки на фазовый состав, структуру, механические свойства, жаростойкость и износостойкость сталей (24-50)Х24Г(1-3)СФТЛ / *Л.С. Малинов, А.П. Чейлях, А.Б. Гоголь и др.* // *Металл и литье Украины.* – 2003. – № 1 – 2. – С. 20 – 21.
4. *Материалы в машиностроении: Справочник, Т 4* / *И.В. Кудрявцев.* – М.: Машиностроение, 1969. – С. 176 – 180.
5. А.с. 1820300 СССР, МКИ G01N3/56/ Установка для испытаний на ударно-абразивное изнашивание.
6. *Баннх О.А.* Принципы легирования хромомарганцевых аустенитных сталей для работы при повышенных температурах / *О.А. Баннх* // *МиТОМ.* – 1980. – № 7. – С. 7 – 10.
7. Аустеніт, ферит та $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення в Cr-Mn-(Ni)-N жароміцних сталях / *С.Я. Шипицин, Ю.З. Бабаскін, Ш.Ф. Кірчу та ін.* // *Металознавство та обробка металів.* – 2001. – № 4. – С. 3 – 9
8. *Справочник агломератчика.* – К.: Техніка, 1964. – С. 315 – 316.
9. *Вовк А.А.* Пособие агломератчика / *А.А. Вовк, Г.А. Чичиянц.* – К.: Техніка, 1990, С. 104 – 105, 120 – 121.
10. *Федюкин В.В.* Термоциклическая обработка материалов и деталей машин / *В.В. Федюкин, В.К. Смаголинский.* – Л.: Машиностроение, 1989. – 225 с.
11. *Цытин И.И.* Белые износостойкие чугуны / *И.И. Цытин.* – М.: Металлургия, 1983. – 176 с.

Рецензент: М.А. Шумилов
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 11.03.2008