

И. Ф. Кирчу, Т. В. Степанова, Ф. И. Кирчу*, П. Н. Кирильченко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев;

*Национальный авиационный институт, Киев;

**ММК им. Ильича, Мариуполь

Теплостойкая безмолибденовая сталь с нитридванадиевым упрочнением для роликов слябовой МНЛЗ

Приведены результаты исследований влияния комплексного легирования марганцем, азотом и ванадием на прокаливаемость, жаростойкость, теплостойкость и микроструктуру Fe-Cr стали перлитного класса. Установлено, что хромомарганцевая сталь, легированная азотом и ванадием, может быть полноценным аналогом теплостойким Cr-Mo-V сталям перлитного класса при изготовлении роликов слябовых МНЛЗ.

Ключевые слова: теплоустойчивая сталь, нитридванадиевое упрочнение, ролики МНЛЗ

Качество поверхности непрерывнолитой слябовой заготовки, ее соответствие геометрическим параметрам зависят от состояния рабочей поверхности бочки роликов радиального и криволинейного участков роликовой проводки МНЛЗ. Их работа связана с комплексным воздействием таких неблагоприятных факторов, как градиент температуры по сечению бочки (до 470 °С) и длине (до 220 °С); цикличность нагрузки, вызванная устранением выпячивания широких граней сляба; высокотемпературный абразивный и гидроабразивный износ; ударные нагрузки при прохождении холодного конца заготовки [1, 2]. При этом поверхность бочки ролика постоянно контактирует с химически активными легкоплавкими оксидами металлов натрия и калия, входящими в состав разливочной шлаковой смеси, и окалиной заготовки, нагретых до температур 700-1100 °С. Это приводит к налипанию и намотке на ролик окарины. В результате такое сочетание неблагоприятных факторов ведет к разупрочнению, охрупчиванию и интенсивному окислению металла поверхностного слоя ролика, образованию сетки разгара и кольцевых трещин на его поверхности [3, 4]. Следовательно, стали для роликов МНЛЗ должны комплексно сочетать высокую теплостойкость, разгаро- и износостойкость, усталостную долговечность и прочность в интервале температур 20-600 °С [5].

Не менее важным условием выбора стали для роликов является ее свариваемость, поскольку ролики, отработавшие регламентный срок эксплуатации, подвергают восстановительному ремонту путем наплавки поверхности бочки более жаростойкой, износостойкой и коррозионностойкой сталью с целью снижения удельных расходов на обслуживание роликовой проводки.

Для изготовления роликов в зарубежной и отечественной практиках эксплуатации МНЛЗ нашли широкое применение теплостойкие Cr-Mo-V стали перлитного класса марок 25X1M1Ф и 25X2M1Ф, содержащие, %: Mo – 1,1-1,2, V – 0,25-0,50, Ni – до 0,6. Однако, существующий уровень стойкости кованных роликов уже сдерживает прогресс в повышении производительности МНЛЗ и снижении удельных расходов на ее обслуживание. Так, бесперебойная работа МНЛЗ на протяжении года требует 3-4 замены роли-

ковой проводки радиального и 1-2 замены криволинейного участков. При этом до 10 % роликов преждевременно выводится из эксплуатации в результате кольцевых трещин, 13-24 – разгара рабочей поверхности, 66-74 % – высокотемпературного износа рабочей поверхности бочки [1, 4].

Исследование характера разрушений кованных роликов из стали марки 25X1M1Ф с криволинейного и радиального участков показало, что причинами образования кольцевых трещин и сетки разгара являются структурная и карбидная неоднородности, вызванные высокой степенью дендритной ликвации молибдена и ванадия (до 40 %), способствующей образованию бейнита, и нестабильное значение равновесной растворимости молибдена в α -твердом растворе в интервале температур 520-560 °С, изменяющейся в зависимости от времени выдержки с 0,6 до 0,1-0,2 % [6, 7]. Это ведет преимущественно к зернограничному выделению карбидов молибдена и ванадия, делает стали склонными к отпускной хрупкости второго рода, способствует снижению их термоусталостной прочности. Кроме того, послыное исследование химического и фазового составов окарины, снятой с поверхности бочки ролика, показало наличие в прилегающем к поверхности ролика слое легкоплавких оксидных фаз MoO_3 , V_2O_5 , являющихся активными окислителями, разжижителями защитной окисной пленки ролика и окарины заготовки. Необходимо отметить и тот факт, что стали марок 25X1M1Ф и 25X2M1Ф предназначены для изготовления крепежных деталей, эксплуатируемых при статических нагрузках в атмосфере дымовых газов, водяного пара при температурах до 510 и 550 °С соответственно [8].

Известно, что однородность физико-механических свойств стали в разных сечениях, теплостойкость, жаростойкость, термоусталостная стойкость и усталостная долговечность зависят от склонности легирующих элементов к образованию дендритной химической неоднородности, их влияния на стойкость аустенита к переохлаждению, стабильность значений их равновесной растворимости в α -твердом растворе, устойчивости упрочняющих карбидных фаз к коагуляции при температурах эксплуатации.

Задачу повышения прочностных свойств, ударной вязкости, их однородности в различных сечениях, усталостной долговечности в металлоизделиях из конструкционных Fe-Cr-Mo-(Ni) сталей при одновременном снижении или устранении их легирования дефицитными элементами – молибденом, никелем и ванадием решали применением Fe-Cr-Mn сталей, дополнительно микролегированных азотом и ванадием. Не менее важным также есть и то, что легирование азотом и ванадием в стехиометрическом соотношении повышает термоусталостную и термомеханическую прочность Cr-Ni-Mo штамповых сталей в диапазоне температур 550-650 °С [9].

Однако, хотя марганец более эффективно, чем молибден и ванадий повышает стойкость аустенита к переохлаждению и имеет меньшую степень дендритной ликвации (15 %), по активности к кислороду он значительно превосходит хром, никель, молибден и ванадий. Кроме того, марганец существенно снижает термостабильность упрочняющих фаз – карбидов [6]. Этот факт может негативно влиять на жаростойкость и теплостойкость Fe-Cr-Mn сталей.

В данной работе исследовали возможность замены стали марок 25X1M1Ф и 25X2M1Ф на низколегированную сталь марки 25X2Г1АФ, содержащую, в %: 0,22-0,29 С; 0,17-0,37 Si; 1,10-1,30 Mn; 1,60-2,20 Cr; 0,09-0,15 V; 0,014-0,018 N; S ≤ 0,025; P ≤ 0,030. Сталь выплавляли в индукционной печи, разливали в сухую земляную форму на слитки массой 1,5 кг, которые ковали на заготовки под образцы, степень уковки слитка – 3. Температуру аустенитизации образцов под закалку определяли расчетным путем из условия обеспечивания содержания твердорастворного азота в количестве, достаточном для реализации процесса эффективного дисперсионного упрочнения стали VN-фазой и нерастворившейся долей VN-фазы, достаточной для стабилизации мелкого зерна аустенита. Образцы на жаростойкость и теплоустойчивость после закалки отпускали на твердость 26 HRC, соответствующую верхнему допустимому пределу для роликов МНЛЗ. Прокаливаемость стали определяли торцевой закалкой образцов в воде по ГОСТ 5657-69 с температур 850 и 950 °С. Жаростойкость определяли согласно ГОСТ 6130-71 по потере массы образца при температурах 550 и 650 °С. Образцы нагревали в засыпке из железной окалины, снятой с поверхности бочки ролика. Теплоустойчивость определяли по времени снижения твердости образца на 2 HRC после выдержки в печи при 550 °С. Результаты исследований оценивали в сравнении со сталью марки 25X2M1Ф (ГОСТ 10500-63).

Одной из важных функций марганца и азота является повышение устойчивости аустенита к переохлаждению при $\gamma \rightarrow \alpha$ -фазовом превращении, а нитридов ванадия и алюминия – измельчение зерна аустенита и его стабилизация при повышенных температурах, дисперсионное упрочнение стали, предотвращение зернограничного выделения карбидных фаз при $\gamma \rightarrow \alpha$ -фазовом превращении и распаде пересыщенного твердого раствора при долговременной тепловой нагрузке.

При этом нужно учитывать, что нитриды ванадия и алюминия способствуют снижению устойчивости аустенита к переохлаждению. Это является главной причиной ограничения применения сталей с нитридным упрочнением для толстостенных изделий, которые эксплуатируются при повышенных температурах в условиях циклической нагрузки.

На рис. 1 приведены зависимости прокаливаемости стали марок 25X2Г1АФ и 25X2M1Ф. Характер изменения твердости образцов из стали марки 25X2Г1АФ после торцевой закалки показал, что повышение температуры аустенитизации способствует увеличению глубины зоны полумартенситной прокаливаемости (твердость стали 48 HRC) в 1,8 раза. При этом твердость поверхности образца на расстоянии 85 мм от торца составляет в обоих случаях 42 HRC. В то же время для стали марки 25X2M1Ф глубина зоны полумартенситной прокаливаемости при закалке от 850 °С в 2 раза меньше, чем в стали марки 25X2Г1АФ и практически отсутствует при закалке от 950 °С, а твердость поверхности образца на расстоянии 85 мм от торца составляет 38 и 36 HRC соответственно. Необходимо отметить, что размер зерна аустенита при температуре 950 °С стали марки 25X2Г1АФ соответствует 8-9 баллам, а 25X2M1Ф – 7-8 баллам. Отличие в прокаливаемости и размерах аустенитного зерна стали марок 25X2Г1АФ и 25X2M1Ф – результат, во-первых, более эффективного повышения марганцем и азотом устойчивости аустенита к переохлаждению, во-вторых, – образования более дисперсных и термодинамически устойчивых VN и AlN-фаз, чем в случае легирования стали молибденом и ванадием. Этот факт является важным, поскольку позволяет уменьшить разницу значений физико-механических свойств по сечению бочки ролика.

Ранее отмечалось, что марганец может отрицательно влиять на жаростойкость и теплоустойчивость стали в интервале температур эксплуатации роликов. Однако из рис. 2 и 3 видно, что потеря массы образца после 70 ч выдержки при температурах 550 и 650 °С в 1,6 раза меньше у стали марки

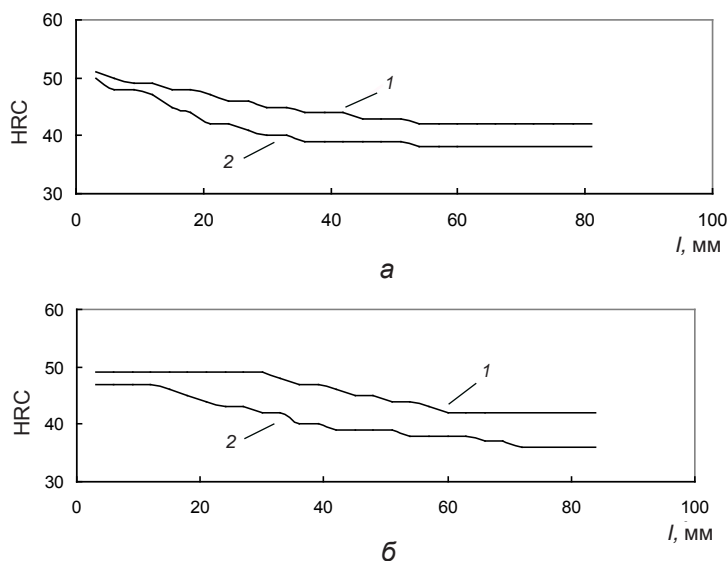


Рис. 1. Прокаливаемость сталей: 1 – сталь марки 25X2Г1АФ; 2 – сталь марки 25X2M1Ф. Температура закалки, °С: 850 (а), 950 (б)

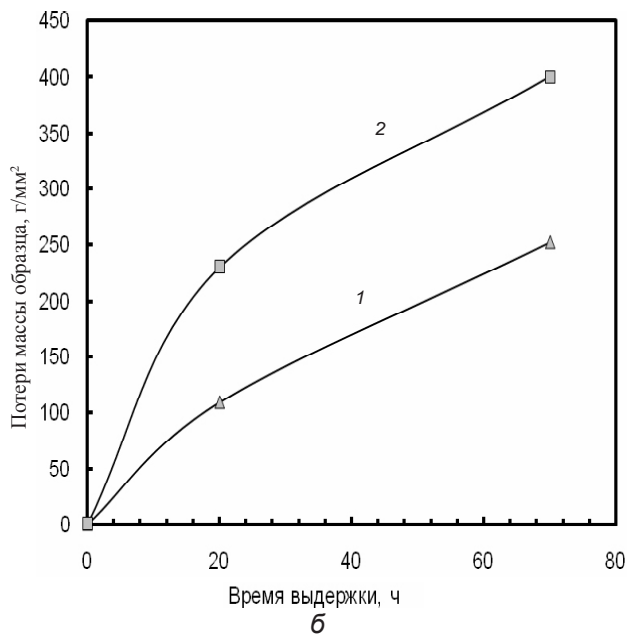
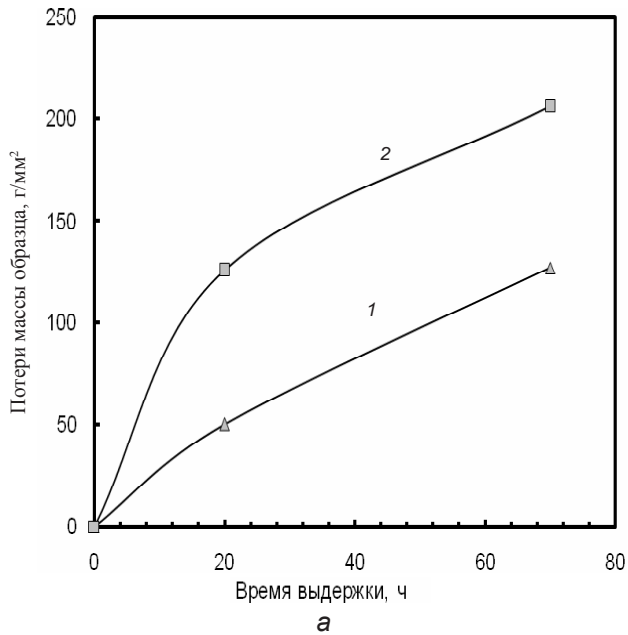


Рис. 2. Зависимость изменения массы образца при выдержке в железной окалине: 1 – сталь марки 25X2Г1АФ; 2 – сталь марки 25X2М1Ф. Температура выдержки, °С: 550 (а), 650 (б)

25X2Г1АФ, а время снижения твердости при температуре выдержки 550 °С в 4,4 раза больше, чем у стали марки 25X2М1Ф. Исследованиями микроструктуры и электролитически выделенных вторичных фаз из образцов стали марки 25X2Г1АФ установлено, что до тепловых выдержек марганец находится в твердом растворе и частично в соединении MnS, азот связан в дисперсные нитриды VN стехиометрического состава, равномерно выделившихся внутри зерна, хром находится в твердом растворе и частично в карбидах $(FeCr)_3C$, $(FeCr)_7C_3$, выделившихся внутри зерна. После тепловых выдержек в составе вторичных фаз были обнаружены легированные марганцем карбиды $(MnFe)_3C$ и нитрид AlN, выделившиеся внутри зерна. Микроструктура стали марок 25X2Г1АФ и 25X2М1Ф после 310 ч выдержки при 550 °С – зернистый перлит 6 баллов, однако у стали марки

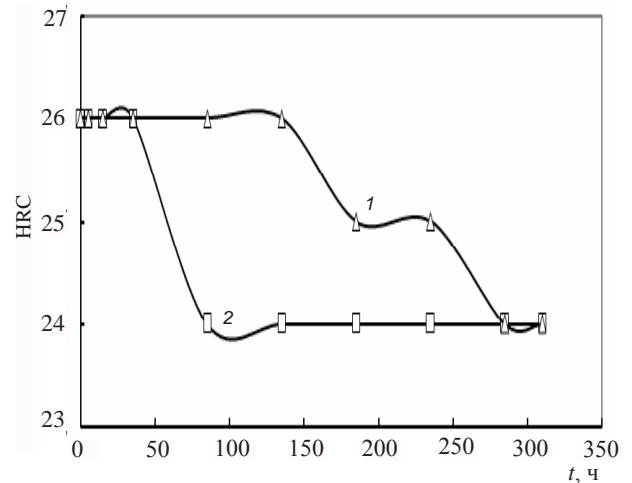


Рис. 3. Изменение твердости сталей в зависимости от времени выдержки при температуре 550 °С: 1 – сталь марки 25X2Г1АФ, 2 – сталь марки 25X2М1Ф

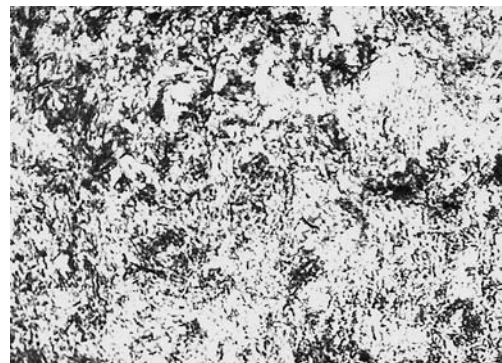


Рис. 4. Микроструктура стали марок 25X2Г1АФ (а) и 25X2М1Ф (б) после 310 ч тепловой выдержки при 550 °С

25X2Г1АФ она более однородна, чем у стали марки 25X2М1Ф (рис. 4).

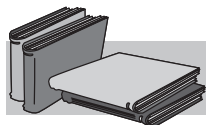
Выводы

Из вышеизложенного видно, что комплексное легирование Fe-Cr конструкционных сталей марганцем, азотом и ванадием в стехиометрическом соотношении более эффективно повышает устойчивость аустенита к переохлаждению (при $\gamma \rightarrow \alpha$ -фазовом превращении), однородность микроструктуры, прокаливаемость стали, чем совместное легирование молибденом, никелем и ванадием. Установлено, что

легирование марганцем в количестве, которое обеспечивает соотношение хрома к марганцу в пределах 1,4-1,8, не снижает жаростойкость Fe-Cr стали, а, наоборот, повышает ее; нитридванадиевая фаза более эффективно, чем карбиды ванадия, измельчает и

стабилизирует аустенитное зерно при $\alpha \rightarrow \gamma$ -фазовых превращениях, повышает теплостойкость стали.

Таким образом, разработанная сталь марки 25X2Г1АФ может быть полноценным аналогом теплостойким Cr-Mo-V сталям перлитного класса при изготовлении роликов слябовых МНЛЗ.



ЛИТЕРАТУРА

1. Опыт применения роликов, бандажированных центробежнолитым биметаллом на слябовой МНЛЗ металлургического комбината им. Ильича / А. А. Ларионов, Н. В. Сабанский, Э. Н. Шебаниц и др. // *Металл и литье Украины*. – 1997. – № 2-4. – С. 31-33.
2. Повышение стойкости и надежности роликовых проводок слябовых криволинейных МНЛЗ / Г. А. Николаев, А. Г. Кузельный, Е. А. Иванов и др. // *Процессы разливки, модифицирования и кристаллизации стали и сплавов*. – Волгоград: Всесоюзная конференция. по проблемам слитка. – 1990. – Ч. 2. – С. 80-82.
3. Усовершенствование оборудования МНЛЗ / А. П. Бочек, В. В. Климанчук, П. Н. Фентисов и др. // *Металлургическая и горнорудная пром-сть*. – 2002. – № 10. – С. 74-76.
4. Повышение ресурса работы некоторых узлов МНЛЗ / А. П. Бочек, В. В. Климанчук, П. Н. Кирильченко и др. // *Состояние и основные пути развития непрерывной разливки стали на металлургических предприятиях Украины*. – Харьков, 2001. – С. 67-70.
5. Карлинский С. Е., Денисов Ю. В. Исследование свойств стали марок 25X1M1Ф, 24XM1Ф, 3X13 в условиях статического и циклического нагружений при нормальных и повышенных температурах // *Совершенствование процессов непрерывной разливки стали*. – Киев, 1985. – С. 63-66.
6. Ершов Г. С., Позняк Л. А. Микронеоднородность металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1985. – С. 101-264.
7. Пигрова Г. Д. Влияние длительной эксплуатации на карбидные фазы в Cr-Mo-V сталях // *МитОМ*. – 2003. – № 3. – С. 6-9.
8. Материалы в машиностроении: Справочник / Под ред. И. В. Кудрявцевой, Ф. Ф. Химушина – М.: Машиностроение, 1968. – Т. 3. – С. 83-108.
9. Бабаскин Ю. З., Шипицын С. Я., Кирчу И. Ф. Конструкционные и специальные стали с нитридной фазой. – Киев: Наук. думка, 2005. – 371 с.

Анотація

Кірчу І. Ф., Степанова Т. В., Кірчу Ф. І., Кирильченко П. Н.

Теплостійка безмолібденова сталь із нітридванадієвим зміцненням для роликів слябової МБЛЗ

Наведено результати досліджень впливу комплексного легування марганцем, азотом і ванадієм на прогартваність, жаростійкість, теплостійкість та мікроструктуру Fe-Cr сталі перлітного класу. Встановлено, що хромомарганцева сталь, яка легована азотом і ванадієм може бути повноцінним аналогом теплостійким Cr-Mo-V сталям перлітного класу при виготовленні роликів слябових МБЛЗ.

Ключові слова

теплостійка сталь, нітридванадієве зміцнення, ролики МБЛЗ

Summary

Kirchu I., Stepanova T., Kirchu F., Kirilchenko P.

The heatproof steel strengthened by VN without Mo for slab rollers

The results of researches of influencing of the complex alloying by a manganese, nitrogen and vanadium on hardenability, thermal stability, heatproof and the microstructure of Fe-Cr perlite steels are reduced. It is set that the Fe-Cr steel alloyed by nitrogen and vanadium can be a valuable analogue heatproof of Cr-Mo-V perlite steels for making of the slab rollers.

Keywords

heatproof steel, strengthening by VN, slab rollers

Поступила 22.12.09