

УДК 621.746.047

Хитько А. Ю., Иванова Л. Х., Шапран Л. А., Алексеенко А. С.

ВЫБОР И ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РОЛИКОВ МНЛЗ

Постановка проблемы. В Украине в рамках разработки «Национальной программы развития ГМК Украины до 2020 года» предлагалось ввести в строй на Украине 23 машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) [1].

Одним из основных приоритетов для решения этих проблем является создание новых материалов для рабочих органов МНЛЗ, в частности роликов МНЛЗ.

На отечественных заводах применяли разные как по конструкции, так и по типам сплавов ролики, например, кованные ролики из низколегированных сталей 32Х2Н2МА и Р2М. Зарубежные фирмы («Кубота», Япония; «Демаг», ФРГ; «Юзинор», Франция и др.) поставляют в настоящее время большинству металлургических предприятий европейских стран центробежнолитые ролики. Наружный слой таких роликов изготавливают из легированной стали (12 % Cr, 2 % Ni, до 1 % Mo), а сердцевину – из мягкой углеродистой стали. Стойкость таких роликов в 2–8 раз превышает стойкость кованных роликов.

В настоящее время на отечественных МНЛЗ, как и за рубежом, кованные ролики изготавливают из низколегированных хромо-молибден-ванадиевых сталей. Эти ролики подвергаются ремонту наплавкой. Кроме того, на комбинате «Азовсталь» проводили промышленное опробование составных роликов, бандажированных кольцами и провололочной обмоткой.

Ролики различных секций зоны вторичного охлаждения криволинейных МНЛЗ в процессе эксплуатации подвергаются различным температурным и механическим нагрузкам, при этом по мере удаления от кристаллизатора уменьшаются температурные нагрузки и возрастают механические [2–7].

В соответствии с изменением температуры сляба служебные свойства материала роликов должны подбираться дифференцированно. У роликов, ближайших к кристаллизатору секций, основным видом износа является образование кольцевых трещин и налипание. Это требует применения материалов с повышенной термостойкостью. По мере снижения температуры сляба увеличивается абразивный износ поверхности роликов. Допустимый износ по диаметру роликов МНЛЗ составляет 4–5 мм.

Кроме того, все сплавы для изготовления роликов должны быть теплостойкими, то есть сохранять достаточный уровень твердости, износостойкости и прочности при повышенных температурах [8].

Получение ролика с учетом предъявляемых требований к конструкции и материалам возможно с использованием для бочки (или бандаж) двухслойных или биметаллических центробежнолитых полых заготовок. Для рабочего слоя роликов целесообразно применять материалы с высоким сопротивлением термическому, абразивному и коррозионному разрушению, для внутреннего – материалы, обеспечивающие высокую конструкционную прочность ролика [9].

Использование центробежнолитых биметаллических заготовок для бочек роликов имеет ряд преимуществ:

- возможность получения биметалла из конструкционных сплавов и сплавов со специальными свойствами;
- возможность подбора коэффициентов термического расширения материалов биметалла таким образом, что при любых режимах эксплуатации в рабочем слое обеспечиваются сжимающие напряжения и тем самым избежать образование сквозных кольцевых трещин, так как их развитие прерывается на границе слоев;

- получение охлаждаемой полости роликов заданных размеров непосредственно при литье;

- снижение металлоемкости роликов и уменьшение расхода легированной стали.

Таким образом, аналитический обзор по роликам в СНГ показывает, что работы по созданию сплавов для роликов, отвечающих условиям их эксплуатации, являются актуальными.

Целью работы были выбор и оптимизация химического состава материалов для роликов МНЛЗ.

При выборе химического состава сталей рабочего слоя роликов и определении структурного класса этих сталей учитывали следующие требования:

- получение структуры, стабильной в зоне рабочих температур поверхности ролика при длительной эксплуатации (290–820 К);

- отсутствие фазовых превращений в этом диапазоне температур, что должно уменьшить склонность к налипанию материала слябов;

- незначительное развитие структурных превращений и устойчивость механических свойств при кратковременных нагревах до 970–1120 К в случае останковки МНЛЗ и отсутствия охлаждения;

- сохранение при длительной эксплуатации достаточно высокой твердости, прочности и ударной вязкости;

- хорошие антикоррозионные свойства.

Основные результаты исследования. Были выбраны два класса сталей: аустенитно-карбидная 20X25N19C2Л и мартенсито-ферритная 17X12МФЛ, для внутреннего слоя в обоих случаях первоначально использовалась сталь 20Л. Технология литья биметаллических заготовок с использованием исследованных сталей была освоена на НЮТЗ.

Для решения поставленных задач был применен комплекс современных методов, включающий планирование и оптимизацию экспериментов, методы химического, металлографического, дилатометрического анализов, а также исследования физико-механических свойств.

После кристаллизации сталь 20X25N19C2Л практически не испытывала фазовых превращений. В рабочем слое заготовки структура состояла из разновеликих зерен аустенита, преимущественно ориентированных в направлении теплоотвода. Количество, так называемой, X-фазы в образцах не превышало 5 %. Карбидная фаза была изолирована и сосредоточена, как правило, в углах зерен, иногда образовывала сравнительно развитую сетку. Карбидная фаза представляла собой сложнолегированный ледебурит с разным морфологическим строением. Переход между слоями был резко выражен.

Микроструктура внутреннего слоя биметаллов 20X25N19C2Л-20Л состояла из зернистого перлита, типичного для хромистых низколегированных сталей, и феррита. При этом отсутствовали четкие выделения феррита по границам зерен, а сами границы были размыты. На дилатограмме определили критические точки – $A_{c1} = 700$ °С; $A_{c3} = 840$ °С; разделить начало выделения феррита и начало перлитного превращения четко не удалось, превращения заканчивались при 390 °С, что позволило предполагать наличие в структуре некоторого количества бейнита.

После термической обработки существенных изменений структуры биметалла 20X25N19C2Л – 20Л не наблюдали. Имело место поглощение лишних зерен в легированном слое, более дифференцированно проявлялась структура верхнего бейнита во внутреннем слое.

Исследование микроструктуры биметалла 17X12МФЛ – 20Л по сечению заготовки показало следующее. Известно, что стали с 12–14 % хрома не испытывают промежуточного превращения. Дилатограмма показала, что после выделения феррита в интервале 850–692 °С, сталь не испытывала существенных превращений до температуры 360 °С, то есть до начала мартенситного превращения. Точка M_n для этой стали лежала высоко – 360 °С, M_k – при 158 °С.

Структура феррита у поверхності була представлена різко розрваною сіткою, доволно грубою. Кількість феррита закономірно зменшувалося від поверхності заготовки до переходної зони, що пов'язано, ймовірно, з ликвацией вуглецю в процесі затвердження. Така ликвация підтверждалася послідовним аналізом заготовки. Утворення мартенситної структури супроводжувалося значительним ростом сталі в інтервалі 360–158 °С, що викликало формування значительних напружень в області еластичного стану сталі.

При охолодженні сталі внутрішнього шару чітко проявлялися точки $A_3 = 775$ °С і $A_1 = 595$ °С, внаслідок чого в структурі спостерігалася чітко виражена сітка феррита. Ймовірно, чітка сітка феррита во внутрішньому шарі спостерігається при вмісті хрому менше 1,5 % (біметалл 17Х12МФЛ-20Л), при більш високих вмістах хрому (2,0–4,5 %) сітка стає розмитою (біметалл 20Х25Н19С2Л-20Л). Продукти розпаду аустеніта во внутрішньому шарі складалися, переважно, з зернистого перліта і бейніта.

Після проведеної термообробки в легированному шарі залишалася сітка феррита. Вона кілька утонялася, обрамлялася виділенням малих зернистих карбідів, помітно, карбідів молибдену і ванадію, нерозчинених при нагріві під обробку. Продукти отпуск мартенсіта мали зернисту структуру, з певною орієнтацією по колишнім иглам мартенсіта. Во внутрішньому шарі сітка феррита утонялася, спостерігалися місцеві розриви, продукти розпаду аустеніта – зернистий перліт і бейніт.

Вплив хімічного складу сталі 20Х25Н19С2Л на механічні властивості заготовок (в литому стані) проводили методом симплекс-решетчатого планування. Вивчали вплив хрому, нікелю і кремнію, як основних легируючих елементів в даній сталі. План експерименту і результати спроб наведені в табл. 1 і 2.

Таблиця 1

План експерименту

Опыт	Хімічний склад сталі в масштабі					
	кодированном (доли единицы)			натуральном (в % по массе)		
	Si	Cr	Ni	Si	Cr	Ni
1	1	0	0	3,0/2,93	23,0/23,3	18,0/18,2
2	0	1	0	2,0/2,07	27,0/26,8	18,0/18,5
3	0	0	1	2,0/1,96	23,0/23,5	20,0/18,7
4	2/3	1/3	0	2,7/2,63	24,3/24,6	18,0/17,8
5	1/3	2/3	0	2,3/2,32	25,6/25,3	18,0/18,3
6	0	2/3	1/3	2,0/2,04	25,6/25,1	18,7/18,9
7	0	1/3	2/3	2,0/1,95	24,3/24,0	19,3/19,5
8	2/3	0	1/3	2,7/2,71	23,0/22,8	18,7/18,2
9	1/3	0	2/3	2,3/2,24	23,0/23,4	19,3/18,9
10	1/3	1/3	1/3	2,3/2,31	24,3/23,9	18,7/19,1

Примечание: числитель – заданное значение, знаменатель – реализованное значение

На основании полученных данных были рассчитаны уравнения регрессии в виде полинома неполной третьей степени (с учетом значимых коэффициентов), которые использовали для построения диаграмм «состав – свойства» (рис. 1).

$$\sigma_B = 506 X_1 + 516 X_2 + 466 X_3 + 81 X_1 X_2 - 33,8 X_2 X_3 + 103,5 X_1 X_2 (X_1 - X_2) - 15,8 X_1 X_3 (X_1 - X_3) + 42,8 X_2 X_3 (X_2 - X_3) + 472,5 X_1 X_2 X_3 ;$$

$$\sigma_{0,2} = 296 X_1 + 268 X_2 + 241 X_3 + 33,8 X_1 X_2 + 211,5 X_1 X_3 + 389,3 X_1 X_2 (X_1 - X_2) - 171 X_1 X_3 (X_1 - X_3) + 27 X_2 X_3 (X_2 - X_3) + 38,3 X_1 X_2 X_3 ;$$

$$\delta = 25,6 X_1 + 30,8 X_2 + 55,2 X_3 + 10,3 X_1 X_2 + 18,2 X_2 X_3 - 97,7 X_1 X_2 (X_1 - X_2) + 47,7 X_1 X_3 (X_1 - X_3) + 17,8 X_2 X_3 (X_2 - X_3) + 46,2 X_1 X_2 X_3 ;$$

$$KCV = 19,5 X_1 + 20,4 X_2 + 25,4 X_3 + 78,5 X_1 X_2 + 99 X_1 X_3 + 78,8 X_2 X_3 - 27,7 X_1 X_2 (X_1 - X_2) - 18,4 X_2 X_3 (X_2 - X_3) + 46,2 X_1 X_2 X_3.$$

Таблица 2

Результаты опытов

Опыты	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	KCV, кДж/м ² ·10 ⁻²
1	506	296	25,6	19,5
2	516	266	30,8	20,4
3	466	241	55,2	25,4
4	535	323	22,4	35,2
5	523	256	38,6	39,6
6	495	261	44,3	38,2
7	472	248	49,8	42,6
8	492	312	38,6	42,5
9	481	319	41,4	46,4
10	519	277	57,3	49,1

Оценка результатов механических испытаний стали 20X25H19C2Л в литом состоянии показала следующее:

- предел прочности (σ_B) изменялся от 466 до 535 МПа, а предел текучести ($\sigma_{0,2}$) от 241 до 323 МПа, при достаточно высокой пластичности, ударная вязкость при этом изменялась в довольно широких пределах;

- максимальные значения предела прочности и предела текучести в исследованном интервале обеспечивались при пониженном содержании хрома и повышенных содержаниях кремния и никеля;

- для относительного удлинения и ударной вязкости наблюдались явно выраженные экстремумы, которые соответствуют области 25,5 % хрома, 19,2 % никеля и 2,6 % кремния.

Неоднородность механических свойств литого металла заготовок частично объясняется смешиванием материала наружного и внутреннего слоев в процессе литья, а также существованием значительных структурных напряжений, возникающих при образовании игольчатых структур (мартенсит, бейнит).

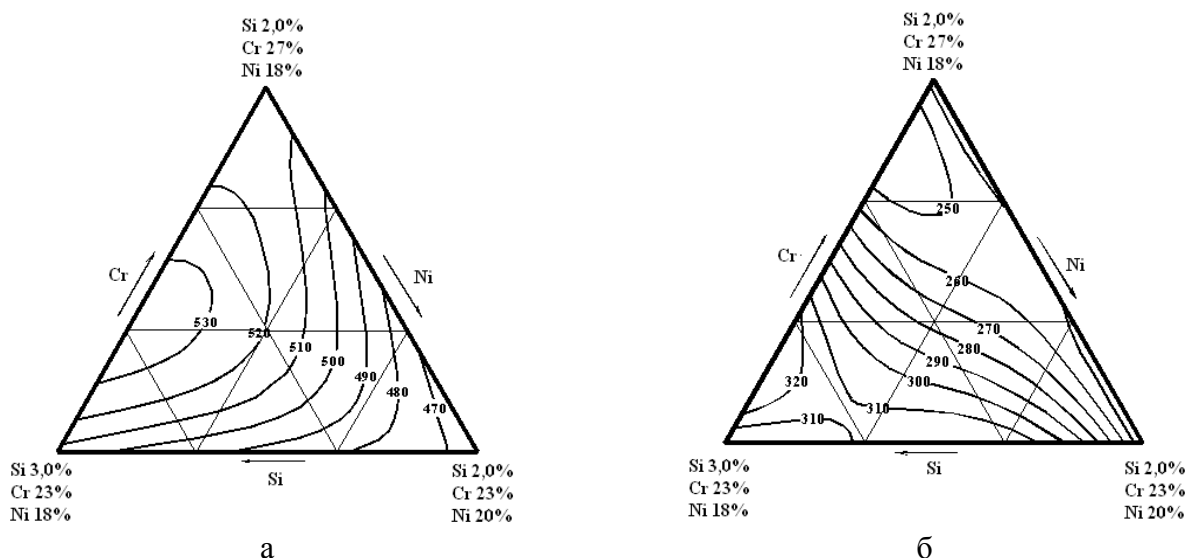


Рис. 1. Влияние химического состава стали 20X25N19C2Л на предел прочности (а) и предел текучести (б)

ВЫВОДЫ

Исследованы структура и механические свойства материалов для центробежнолитых роликов МНЛЗ. Сталь 20X25N19C2Л рекомендуется использовать для рабочего слоя роликов ближних к кристаллизатору секций. Оптимальные содержания легирующих элементов в стали – 25,5 % хрома, 19,2 % никеля и 2,6 % кремния.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепція розвитку гірничо-металургійного комплексу України до 2000 та 2020 років / Міністерство промисловості України, Національна академія наук України, Державний комітет України з питань науки та технологій. – Д. : УкрДіпромет, 1995. – 32 с. – (Препринт / УкрДіпромет 1995-3).
2. Гостев А. А. Совершенствование работы роликового аппарата зоны вторичного охлаждения МНЛЗ : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.04.04 / А. А. Гостев. – Екатеринбург, 1994. – 28 с.
3. Хитько Л. А. Выбор сплавов и разработка технологии центробежного литья биметаллических заготовок для роликов МНЛЗ / Л. А. Хитько // Теория и практика металлургии. – 1998. – № 4. – С. 33 – 34.
4. Шапран Л. А. О стойкости роликов зоны вторичного охлаждения слябовых МНЛЗ / Л. А. Шапран, Л. Х. Иванова // Східно – Європейський журнал передових технологій. – 2009. – № 2. – С. 10 – 15.
5. Иванова Л. Х. Выбор оптимального сочетания свойств материала для центробежнолитых биметаллических роликов МНЛЗ / Л. Х. Иванова, Л. А. Шапран // Теория и практика металлургии. – 2009. – № 1–2. – С. 49 – 52.
6. Шапран Л. О. Розробка та освоєння технології виготовлення біметалевих відцентрово литих роликів машин безперервного лиття заготовок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04/ Шапран Людмила Олександрівна; Націон. метал. акад. України. – Дніпропетровськ, 2009. – 18 с.
7. Хитько А. Ю. Выбор материала бандажей для роликов МНЛЗ / А. Ю. Хитько, Л. Х. Иванова, Л. А. Адаменко, В. А. Кунах // Теория и практика металлургии. – 2012. – № 5–6. – С. 120 – 121.
8. Проведение испытаний с целью выявления причин отказов и разработка варианта подшипникового узла роликов МНЛЗ, обеспечивающего работоспособность в условиях повышенных нагрузок и температур (отчет), 082401, № 80027756, ДМетИ, Кравченко Г. Ф. Днепропетровск, 1980. – 60 с.
9. Разработать и внедрить технологию изготовления составных роликов с литыми двухслойными бандажами для МНЛЗ отчет У813070003, № 01830028474, ДМетИ, Адамов И. В., Днепропетровск, 1985. – 145 с.