

## НАПЛАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ РОЛИКОВ МНЛЗ

Прогресс металлургического производства тесно связан с широким применением технологии непрерывного литья заготовок на машинах МНЛЗ.

Ролики, используемые в МНЛЗ, являются объектом интенсивного воздействия со стороны металла слитка и окружающей среды. Износ в форме абразивного и адгезионного в сочетании с высокотемпературным окислением и коррозией, является причиной разрушения рабочей поверхности роликов. В ходе взаимодействия ролика со слабом наблюдается также усталостное разрушение [1]. Исключительно жесткие условия нагружения роликов в сочетании с требованиями повышения производительности и увеличения выпуска продукции с более высокими требованиями на допуски, заставляет производителей совершенствовать оборудование непрерывного литья заготовок и искать новые материалы для роликов.

Типичные составы сталей для производства роликов МНЛЗ представлены в табл. 1. Как показывает производственный опыт предприятий России и других стран свойства указанных материалов оказываются недостаточными для длительной эксплуатации в подобных условиях [2].

Таблица 1

Химический состав сталей для роликов МНЛЗ

№ п/п	Страна	Содержание элементов, масс.%							Марка
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	
1	Австрия	0,15-0,30	0,20-0,50	0,40-0,70	1,50	0,60-1,00	0,40-1,00	0,50	Böhler Uddeholm AG
2	США	0,18-0,23	0,15-0,35	0,70-0,90	—	0,40-0,60	0,08-0,15	—	AISI 4118
3	ФРГ	0,19	0,20-0,50	1,40-1,70	0,15	—	0,20-0,50	0,20	17MnMoV64
4	Швеция	0,10-0,20	Нет данных	0,4-0,8	0,30	0,7-1,2	0,4-0,5	—	SS 22 16

5	Япония	0,19	0,28	0,70	0,50	0,60	0,25	–	SNCN 2
6	Россия	0,20-0,28	0,17-0,37	0,40-0,70	0,30-0,40	1,50-1,80	0,40-0,60	0,50	24X1M1Ф

Традиционным способом упрочнения рабочей поверхности роликов является электродуговая наплавка. Из-за сочетания и разнообразных видов разрушающих факторов, действующих на ролики, требования к идеальному материалу для наплавки роликов высоки и сводятся к следующему:

- максимальная температурная устойчивость против отпуска (поверхность ролика нагревается до 700 °С);
- высокая коррозионная стойкость и теплостойкость;
- сопротивление зарождению и развитию усталостных трещин;
- высокий уровень стандартных механических свойств, в том числе и твердости после отпуска (300–700 °С);
- соответствие коэффициентов термического расширения материала роликов и наплавленного слоя.

В отечественной и зарубежной металлургии в лабораторных и промышленных условиях испытывалось большое число материалов для наплавки роликов МНЛЗ (табл. 2).

Таблица 2

Типичный химический состав материалов для наплавки роликов МНЛЗ

№	Марка		Содержание элементов, масс.%								HRC
			C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	V	Др.лег.эл-ты.	
1	414 s	W.A.L	0,06	14,0	3,0	1,5	1,5	1,0	0,25	N=0,02	до 43
2	DS	W.A.L	0,30	12,5	-	1,5	1,0	0,4	2,1	W=1,0	до 50
3	420 s	W.A.L	0,25	12,0	-	-	2,1	0,8	-	-	47-50
4	S 101	BCI	0,10	14,0	4,5	1,6	2,5	0,7	0,3	N=0,05	44-46
5	Св-12Х13	ГОСТ	0,10	13,0	0,3	-	0,3	0,5	-	-	38-41
6	414N-0	WAL	0,04	12,5	4,0	0,4	1,2	-	-	N=0,12	43-46
7	15,73	ESAB	0,15	13,0	2,5	1,5	1,2	0,3	-	Nb=0,2	до 50
8	ПП-10Х12Н2ГВТ		0,10	12,5	2,2	-	1,2	0,5	W=1	Ti=0,3	44-46

Чтобы увеличить срок службы роликов, требуются еще более стойкие материалы, способные сопротивляться указанным видам воздействия в течение длительного времени.

Модифицированные нержавеющие наплавочные материалы с содержанием хрома 11–14 %, дополнительно легированные углеродом, никелем, молибденом, ванадием, ниобием и вольфрамом значительно

улучшают эксплуатационные показатели стойкости роликов по сравнению с низколегированными наплавочными материалами.

Поскольку основными и наиболее важными свойствами высокохромистых сталей является их стойкость против коррозии, то при содержании хрома свыше 12 % их сопротивление окислению возрастает.

При содержании углерода свыше 0,22 % в высокохромистых сталях с 12–14 % хрома после наплавки наблюдается интенсивное выделение карбидов хрома. В случае многослойной наплавки эти процессы усиливаются, а выделение карбидов хрома по границам зерен существенно снижает коррозионную стойкость такого слоя. Наплавочные материалы с 12–16 % хрома и углеродом в пределах 0,08–0,20 % являются мартенситными или мартенситно-ферритными, и для обеспечения, кроме прочего, высокой прочности и теплостойкости, их дополнительно легируют никелем до 4%, что позволяет увеличить полноту мартенситного превращения за счет снижения температуры его начала при охлаждении до  $M_H = 250–300$  °С, а конца превращения  $M_K$  до 100–150 °С. Кроме того, никель эффективно снижает содержание  $\delta$ -феррита, разупрочняющего наплавленный металл и снижающего его жаропрочность.

Для применения наплавочных материалов в качестве жаропрочных они должны быть дополнительно легированы элементами, обеспечивающими длительную прочность при высокой температуре, т.е. сопротивление ползучести. В частности, легирование молибденом предотвращает разупрочнение стали и, как следствие, снижение твердости при выдержке в диапазоне 450–600 °С за счет образования фазы Лавеса  $Fe_2Mo$  и повышения прочности по механизму дисперсионного твердения. Образование карбидов  $Mo_7C_3$ , а также карбидов  $Cr_7C_3$  и  $Cr_3C$  задерживает разупрочнение сталей. Однако наибольшая длительная прочность наблюдается, когда молибден находится в твердом растворе, а не в виде карбидов. Наряду с требованиями коррозионной стойкости это накладывает ограничение на содержание углерода в наплавленном металле.

Кроме того, положительное влияние на жаропрочность оказывают как ванадий, так и ниобий, образующие дисперсные карбиды VC и NbC. Ролики МНЛЗ за время эксплуатации работают в диапазоне температур, практически исключающем их коагуляцию и образование карбидов по границам зерен металла роликов, что часто приводит к снижению длительной прочности. Образование высокодисперсных карбидов ванадия (ниобия) происходит в интервале температур 400–500 °С равномерно по телу зерна. Все это позволяет утверждать, что коагуляция карбидов ванадия и ниобия при температурах эксплуатации роликов маловероятна и снижения длительной прочности, поэтому не будет.

Из высоколегированных сталей, наиболее стойкими к коррозии являются аустенитные стали. Они структурно устойчивы при нагреве, что

исключает появления внутренних напряжений, вызванных фазовыми превращениями при термоциклировании.

Однако эти стали не нашли применения в качестве наплавочных материалов для роликов МНЛЗ из-за высокой стоимости, низкого предела текучести и твердости во всем диапазоне рабочих температур, а также низкой теплопроводности и большого коэффициента термического расширения, приводящих к росту объемных термических напряжений

Принципы создания низкоуглеродистых наплавочных материалов основываются на тщательных подборе и проверке эксплуатационной пригодности их составов, а это накладывает ограничения на диапазон их легирования. Оптимальным является состав наплавленного металла, содержащий < 0,10% С, 12,5% Cr, 2–3,5% Ni, < 1,0% Mo, < 0,3% Si (превышение концентрации последних двух элементов ведет к проявлению тепловой хрупкости). Сталь с указанным химическим составом обладает мартенситной или мартенситно-ферритной (до 10 % феррита) структурой, с хорошей теплостойкостью, высокой исходной твердостью и достаточным уровнем прочих служебных свойств при температурах до 1000 °С.

Дальнейшее улучшение свойств наплавленного металла было получено за счет замены части углерода, обычно присутствующего в нержавеющей сталях мартенситного класса, азотом. Нитриды выделяются в мартенситных хромистых сталях при более высоких температурах, чем карбиды, и являются дисперсными. Выделение нитридов происходит не только по границам зерен, но относительно равномерно по телу зерна.

Повышение концентрации азота до 0,2–0,6 % в 12%-ном хромистом наплавленном металле способствует увеличению скорости восстановления защитной пассивной пленки и ее стабилизации, равномерному распределению дисперсных выделений нитридов как внутри, так и по границам зерен, препятствующих росту зерна. Это, в свою очередь, приводит к улучшению коррозионной стойкости, увеличению прочности и показателей ударной вязкости, более высокой устойчивости к термической и термомеханической усталости [3].

#### **Список использованных источников**

1. *Serdar Atamert, Jan J.K. Stekly*. Recent developments in roll cladding materials and techniques by ark welding // *Steel World*. Vol. 1, No. 2. P. 52–69.
2. *Рябцев И.А.* Наплавка деталей машин и механизмов. Киев: Екотехнологія, 2004. 160 с.
3. *Березовский А.В., Балин А.Н., Степанов Б.В.* [и др.] Патент на изобретение РФ № 2294273 от 20.02.07. Порошковая проволока для наплавки.