

УДК 669.14:621.9

Малинов Л. С., Солидор Н. А., Милентьев В. А.

**ВЫБОР МАТЕРИАЛА, ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЕ
ДЕТАЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ
НА ОАО «ММК ИМ. ИЛЬИЧА»**

Повышение срока службы быстроизнашивающихся деталей машин и металлургического оборудования за счет ресурсо- и энергосбережения относится к числу важнейших проблем материаловедения XXI века.

В ФСЛЦ ОАО «ММК им. Ильича» выплавляется сталь 70ХЛ для изготовления деталей металлургического оборудования, в частности, звездочек, колосников дробилок агломерата, боковых плит, распорных балок молотковой дробилки, бронифутеровочных плит и др. Наиболее часто данные детали подвергают нормализации от 860 °С с последующим высоким отпускком при температуре 650 °С в течение 1 ч, что обеспечивает хорошую механическую обработку. Однако долговечность их недостаточна (не превышает 6 месяцев). В связи с этим повышение износостойкости стали 70ХЛ является важной задачей. В данной работе она решалась за счет микролегирования ее ванадием и титаном, поскольку дополнительное введение ванадия и титана в сталь 70ХЛ может быть важным фактором повышения механических свойств и износостойкости, а также проведением термообработки по режимам, которые позволяют получить в структуре наряду с другими составляющими остаточный метастабильный аустенит, претерпевающий в процессе эксплуатации деформационное мартенситное превращение. С учетом этого была предложена сталь 75ХФТЛ, структура, свойства и износостойкость которой сравнивались с серийно применяемой 70ХЛ после различных режимов термической обработки [1–3].

Цель данной работы исследовать увеличение долговечности звездочек и колосников аглодробилок за счет выбора рациональных материалов и технологии упрочнения. Химический состав исследованных сталей представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сталей 70ХЛ и 75ХФТЛ, масс. %

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	V	Ti	P	S
70ХЛ	0,65–0,75	0,55–0,85	0,25–0,45	0,80–1,00	–	–	≤ 0,03	≤ 0,025
75ХФТЛ	0,70–0,80	0,70–1,00	0,35–0,55	0,80–1,00	0,07–0,15	0,07–0,15	≤ 0,03	≤ 0,021

При выборе режима термообработки предложенной стали за основу была принята применяемая в настоящее время технология для стали 70ХЛ на ОАО «ММК им. Ильича»: нормализация от 860 °С с последующим отпускком при 650 °С, 1 ч. В результате проведения термообработки в стали 70ХЛ была получена сорбитная структура, а в стали 75ХФТЛ – мелкозернистая троостосорбитная структура, отличающаяся большой дисперсностью, и карбиды ванадия и титана. В результате новая сталь 75ХФТЛ имеет более высокую твердость (3000–3300 МПа), чем 70ХЛ (2400 МПа), из которой в настоящее время отливаются детали аглодробилок. Испытания на абразивное изнашивание проводилось на установке, типа Бринелля – Хаурта [1]. Абразивом служил морской песок с размером частиц Ø 0,3–0,5 мм. Эталонном служила сталь 70ХЛ после стандартной термической обработки, применяемой на комбинате.

По данным промышленных испытаний эксплуатационная стойкость деталей, отлитых из стали 75ХФТЛ, в 1,83 раза выше (с 6 до 11 месяцев), чем серийных, изготавливаемых из

70ХЛ. Благодаря рациональным технологическим решениям стоимость тонны литья новой стали и применяемой мало отличаются, что является важным фактором при внедрении разработки в производство.

В настоящей работе исследовано влияние температуры последующего отпуска в интервале 450–650 °С, проведенного после нормализации, на структурообразование, износостойкость и механические свойства сталей 70ХЛ и 75ХФТЛ. Так, в результате проведенных исследований установлено, что повышение температуры отпуска с 450 °С до 650 °С после нормализации от 860 °С приводит к снижению твердости исследуемых сталей: в 70ХЛ – с 36 до 30 HRC, а в 75ХФТЛ – с 38 до 32 HRC. Большая дисперсность и присутствие твердых фаз позволяют получить более высокую твердость у стали 75ХФТЛ по сравнению с 70ХЛ. Это обусловлено тем, что ванадий и титан в стали образуют карбиды, которые тяжело коагулируют и, кроме того, тормозят движение дислокаций, инициируемое действием внешних нагрузок, тем самым, сохраняя их повышенную плотность.

В ходе исследований установлено, что сталь 75ХФТЛ имеет большую абразивную износостойкость после нормализации и отпуска при температурах от 450 до 650 °С по сравнению со сталью 70ХЛ: 2,67 и 1,8; 2,4 и 1,35; 1,83 и 1,0, соответственно. Из представленных данных видно, что чем ниже температура отпуска после нормализации в изученных границах, тем выше абразивная износостойкость сталей. Это объясняется тем, что повышение температуры нагрева приводит к коагуляции карбидов и огрублению структуры и, как следствие, вызывает снижение прочностных характеристик (см. табл. 2):

Таблица 2

Механические свойства сталей 70ХЛ и 75ХФТЛ после нормализации от 860 °С, 20 мин и последующего отпуска при различных температурах, 1 ч

Сталь	Температура отпуска, °С	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м ²
70ХЛ	450 °С	831,4	1146,2	8,3	36	0,114
75ХФТЛ		813,0	1146,2	5,7	36	0,160
70ХЛ	550 °С	664,3	1095,3	5,5	36	0,075
75ХФТЛ		677,5	1120,7	5,8	36	0,160
70ХЛ	650 °С	488,0	916,9	8,8	36	0,100
75ХФТЛ		516,0	983,2	8,5	36	0,200

Следует отметить, что механические свойства нормализованной стали 75ХФТЛ при всех температурах отпуска выше, чем стали 70ХЛ. Установлено, что после отпуска при 550 °С сталь 75ХФТЛ обладает оптимальным уровнем механических свойств – при достаточной прочности наблюдаются удовлетворительные характеристики пластичности (в этом проявляется позитивная роль карбидов ванадия и титана).

Из приведенных выше данных можно сделать вывод, что сталь 75ХФТЛ, микролегированная ванадием и титаном, обладает более высоким уровнем эксплуатационных и механических свойств, чем сталь 70ХЛ после всех исследованных режимов термообработки. Снижение температуры нагрева после нормализации от 860 °С с 650 °С до 550 °С обеспечивает оптимальный комплекс механических свойств и абразивной износостойкости исследуемых сталей. Учитывая результаты исследований, можно рекомендовать после проведения нормализации снизить температуру отпуска с 650 °С до 550 °С для деталей, которые не требуют механической обработки, и до 450 °С для деталей, которые работают при нормальных температурах. Следует отметить, что стоимость тонны новой стали и серийной мало отличается, что является важнейшим фактором при внедрении разработки в производство [2–3].

В данной работе рассмотрен также и другой путь повышения долговечности работы звездочек и колосников, а именно – наплавка их рабочей поверхности. В табл. 3 представлен химический состав наплавочных материалов, применяемых на ОАО «ММК им. Ильича» для наплавки быстроизнашивающихся деталей.

Таблица 3

Химический состав наплавленного материала, масс. %

Наплавочный материал	C	Si	Mn	Cr	B	Mo	W	Nb	V	Ti
Т-590	3,0–3,5	2,0–2,5	1,0–1,5	22,0–27,0	0,5–1,5	–	–	–	–	–
Т-620	3,0–3,5	2,0–2,5	1,0–1,5	22,0–24,0	1,0–2,0	–	–	–	–	1,0–1,5
Ледурит-68	5,0–5,7	0,6–0,8	0,2	20,2–22,0	–	5,1–6,7	1,8–1,9	6,1–7,4	0,85–1,00	–

Реализация второго направления работ по упрочнению рабочих поверхностей звездочек и колосников осуществлялась их наплавкой электродами Т-590, Т-620 (см. рис. 1) и порошковой проволокой Ледурит-68 – рабочие поверхности деталей на 1/3 наплавлены в два слоя (сплошная наплавка), остальная поверхность в целях экономии наплавочного материала в один слой сеткой с ячейками 25–30 мм на звёздочки, отлитые из стали 35Л, поскольку она дешевле 70ХЛ и 75ХФТЛ (см. рис. 2). Кроме того, не требуется производить дополнительный высокий подогрев, необходимый в случае легированных сталей, что возможно осуществить в условиях ФСЛЦ ОАО «ММК им. Ильича». Наплавка проведена при следующих режимах: $I = 350-450$ А, $U = 30-34$ В.

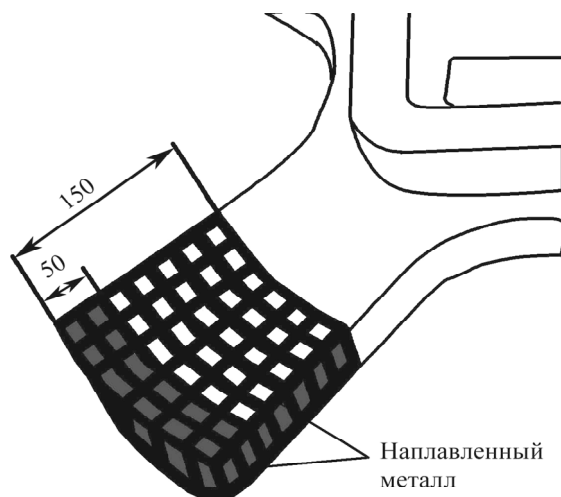


Рис. 1. Предложенная схема наплавки звездочек электродами Т-590 (Т-620)

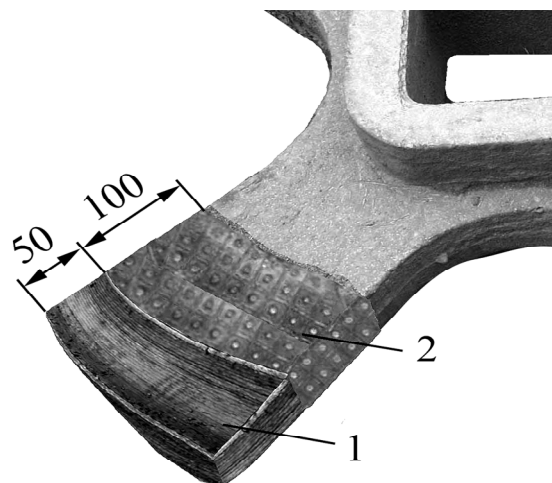


Рис. 2. Схема наплавки звездочек порошковой проволокой Ледурит-68

Лабораторные, а затем и промышленные испытания показали, что наплавка стали 70ХЛ существенно увеличивает её абразивную износостойкость и соответственно долговечность деталей (в 2 раза). Это обусловлено повышенной твердостью (HRC 55-57) наплавленного металла и его сопротивлением окислению при повышенных температурах. С учетом этого при выполнении работы ЦРОА непосредственно на аглофабрике комбината электродами Т-590 были наплавлены 54 звездочки и 3 колосника.

Высокая износостойкость наплавки порошковой проволокой Ледурит-68 по сравнению с таковой при использовании электродов Т-590 и Т-620 обусловлена значительно большим содержанием в ней карбидной фазы (рис. 3, а, б, в). Этому соответствует и более высокая твердость (HRC 67–68) наплавки порошковой проволокой Ледурит-68 по сравнению с 55 HRC (Т-590). Данной порошковой проволокой были наплавлены 9 звездочек, отлитых ФСЛЦ из стали 35Л, более технологичной для наплавки, чем 70ХЛ. Испытания в производственных условиях показали, что износостойкость деталей увеличилась до 23 месяцев, что полностью оправдывает использование дорогостоящего материала Ледурит-68.

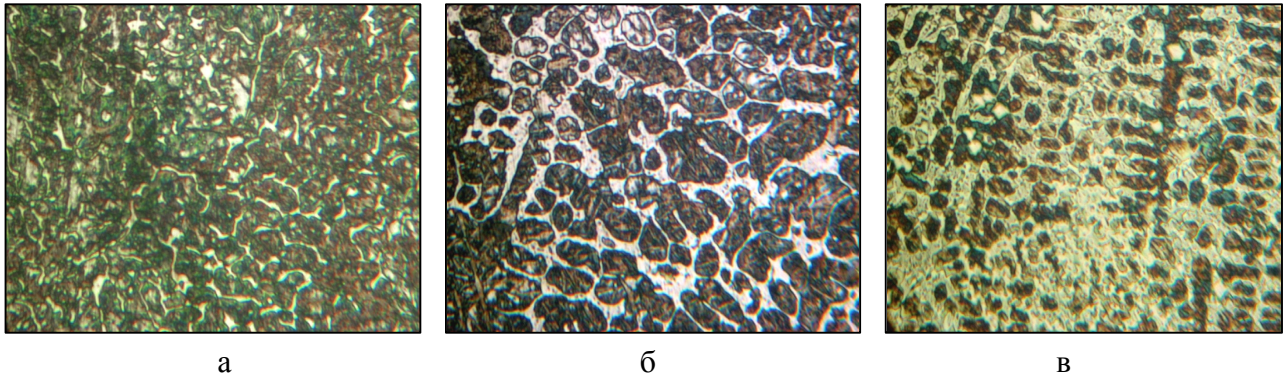


Рис. 3. Микроструктура металла, наплавленного электродами Т-590 (а), Т-620 (б), порошковой проволокой Ледурит-68 (в), $\times 500$

ВЫВОДЫ

1. Долговечность звездочек, отлитых из стали 75ХФТЛ, в 1,83 раза выше, чем серийных из 70ХЛ. Новая сталь может быть внедрена для других деталей, изготавливаемых в настоящее время из 70ХЛ. Применяя наплавку деталей, отлитых из стали 75ХФТЛ, можно повысить их эксплуатационную стойкость ещё в большей степени.
2. Эксплуатационные испытания звездочек и колосников, наплавленных электродами Т-590, показали эффективность такого способа их упрочнения, повышающего долговечность деталей в среднем в два раза.
3. Ожидаемый экономический эффект от внедрения в полном объеме выполненной разработки составит более полумиллиона гривен (530 тыс. грн).
4. При восстановлении по мере необходимости наплавкой деталей аглодриболок непосредственно на аглофабрике срок эксплуатации деталей может быть увеличен до 1,5–2-х лет вместо полугода, как это имеет место в настоящее время. В результате значительно уменьшится количество выплавляемых сменно-запасных деталей аглодриболок, что приведет к сокращению потерь производства, связанных с заменой изнашиваемых деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тененбаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании / М. М. Тененбаум. – М. : Машиностроение, 1966. – 332 с.
2. Влияние микролегирования и термообработки стали 70ХЛ, обеспечивающих повышение её механических свойств и износостойкости / Л. С. Малинов, В. А. Милентьев, В. Д. Гоманюк, Т. В. Еремина // *Инновационные технологии и процессы производства в машиностроении : Международный сборник научных трудов.* – Ростов-на-Дону : ГОУ РГАСХМ, 2008. – С. 32–35.
3. Малинов Л. С. Вплив термічної обробки на структуроутворення, абразивну зносостійкість і механічні властивості сталей 70ХЛ та 75ХФТЛ / Л. С. Малинов, Н. А. Солідор, В. О. Милентьєв // *Университетская наука – 2009 : Международная научно-техническая конференция.* – Мариуполь : ПГТУ, 2009. – Т. 2. – С. 96–97.