



*It is shown that the developed steel 125G18X2L has higher level of mechanical characteristics and wear resistance as compared to steel 110G13L.*

М. С. ШРАМКО, А. В. МАЛЫЙ, НПКП «Парамы»

УДК 669.14.018:699.046.554

## ВЫСОКОМАРГАНЦЕВАЯ СТАЛЬ, ОБЛАДАЮЩАЯ ВЫСОКОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ В УСЛОВИЯХ АБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

Среди многочисленных марок сталей, применяемых для производства фасонного литья, высокомарганцевая сталь занимает особое место и является самой распространенной легированной сталью для отливок. Однако, несмотря на многолетний опыт производства высокомарганцевой стали на отечественных и зарубежных заводах, широкие исследования проведенные за годы ее производства, все-таки имеются большие резервы повышения ее качества.

Анализ причин выхода из строя различных литых деталей из высокомарганцевой стали позволил условно разделить эти отливки на три характерные группы [1]. К первой группе относятся отливки, работающие в абразивной среде при сравнительно небольших удельных нагрузках. Во вторую группу входят отливки, работающие в абразивной среде при значительных ударных нагрузках и удельных давлениях. К третьей группе следует отнести отливки, работающие в абразивной среде при весьма значительных знакопеременных нагрузках и удельных давлениях.

В первую группу входят такие отливки, как футеровки различных мельниц (при работе в элеваторном режиме), траки сельскохозяйственных машин и др. Основным показателем качества для таких отливок является высокая износостойкость при допустимом невысоком уровне механических свойств. Такие отливки, как правило, выходят из эксплуатации по причине полного износа. Замена стали 110Г13Л со стабильным аустенитом на стали 110Г10Л, 110Г8Л с метастабильным аустенитом для деталей, работающих в условиях преимущественного абразивного изнашивания, хотя и приводит к увеличению их износостойкости, но повышает вероятность выхода из строя по причине поломок [2].

Ко второй группе относятся такие отливки, как бронефутеровки конусных и щековых дробил-

лок, зубья ковшей экскаваторов, дренажные черпаки, футеровки мельниц самоизмельчения, работающие с шаровой загрузкой и т.д. Сталь, предназначенная для подобных отливок, должна обладать высокой износостойкостью и одновременно высоким уровнем механических свойств. Наиболее перспективным для этой группы является дополнительное легирование высокомарганцевой стали карбидообразующими элементами Ti, Zr, V, Cr с целью повышения ее износостойкости в условиях абразивного изнашивания [3–6].

Наиболее характерными представителями третьей группы отливок являются траки гусеничных машин с резинометаллическим шарниром, в которых трение скольжения в проушинах заменено внутренним трением резиновой втулки. Сталь, предназначенная для изготовления таких отливок, должна прежде всего обладать высоким уровнем механических свойств, хладостойкостью, усталостной прочностью, которые и будут определяющими в надежности и долговечности деталей.

Для быстроизнашивающихся деталей горнообогатительного и горноперерабатывающего оборудования была разработана высокомарганцевая сталь [7]. Состав высокомарганцевой стали был разработан таким образом, что содержание углерода и марганца обеспечивают высокий уровень пластичности и ударной вязкости металла, а содержание хрома достаточно для выделения в процессе термической обработки специальных карбидов на основе хрома типа  $M_7C_3$ , повышающих износостойкость.

Для предложенной марки стали был разработан режим термической обработки, обеспечивающий растворение карбидов цементитного типа и выделение специальных карбидов на основе хрома  $M_7C_3$  [8].

В табл. 1 приведены химический состав и механические свойства сталей 125Г18Х2Л и

Таблица 1. Химический состав и механические свойства исследуемых марок стали

Марка стали	Содержание элементов, %							Механические свойства			
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Al	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCU, кгс/см <sup>2</sup>
125Г18Х2Л	1,24	16,6	0,52	0,051	0,012	1,54	0,021	836	44,9	54,2	35,0
110Г13Л	1,3	13,2	0,62	0,062	0,007	0,23	0,028	683	27,3	30,6	14,5

110Г13Л (была выбрана в качестве эталона). Выплавка исследуемых сталей произведена в лабораторной индукционной печи ИСТ-160. Заливку металла проводили в песчаные формы. Температура заливки составляла 1420°С. Исследуемые образцы металла из стали 125Г18Х2Л были подвергнуты термической обработке по режиму, описанному в работе [8]. Образцы металла из стали 110Г13Л были термообработаны по стандартному режиму для данной марки.

С помощью микрорентгеноспектрального анализа определили состав карбидной фазы как в нетермообработанном, так и в термообработанном

состоянии (рис. 1). Карбидная фаза стали 125Г18Х2Л в нетермообработанном состоянии в среднем содержит 67% Fe, 26,5% Mn, 3,5% Cr, а стали 110Г13Л – 80,5% Fe, 16,5% Mn. По стехиометрии ее можно классифицировать как (Fe, Mn, Cr)<sub>3</sub>C для металла образцов из стали 125Г18Х2Л и (Fe, Mn)<sub>3</sub>C для металла образцов из стали 110Г13Л. Причем в микроструктуре металла образцов из стали 110Г13Л по границам аустенитных зерен присутствует фаза, в состав которой, кроме железа, марганца и углерода, входит фосфор, среднее содержание которого составляет 18%. Это позволяет классифицировать данную фазу как карбофосфидную эвтектику.

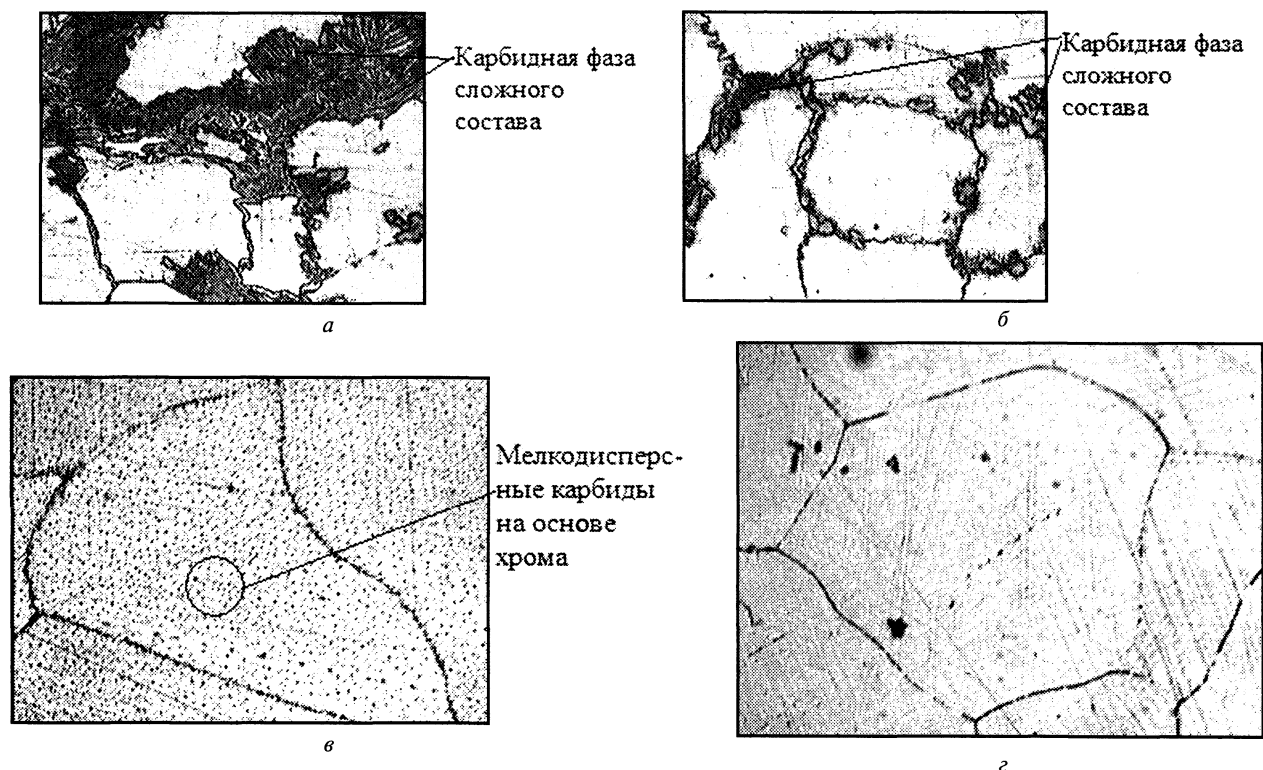


Рис. 1. Микроструктура исследуемого металла в нетермообработанном и термообработанном состоянии: а – микроструктура металла образцов из стали 125Г18Х2Л в нетермообработанном состоянии; б – микроструктура металла образцов из стали 110Г13Л в нетермообработанном состоянии; в – микроструктура металла образцов из стали 125Г18Х2Л в термообработанном состоянии; г – микроструктура металла образцов из стали 110Г13Л в термообработанном состоянии. х300

Подсчет объемных долей фаз на компьютерном анализаторе изображений AutoScan 2.00 показал, что доля карбидной фазы для металла образцов из стали 125Г18Х2Л составляет 30,5%, а для металла образцов из стали 110Г13Л – 23,2%. Больше содержание карбидной фазы в металле образцов из стали 125Г18Х2Л вызвано более высоким содержанием марганца и хрома. Из

анализа состава и объемной доли карбидной фазы в стали 125Г18Х2Л следует, что 1,07% хрома (при общем содержании в стали 1,54% Cr) находится в карбидах (Fe, Mn, Cr)<sub>3</sub>C. Данное распределение хрома между матрицей и карбидной фазой должно дополнительно способствовать выделению специальных карбидов на основе хрома M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> в процессе проведения термической обработки.

После термической обработки микроструктура металла стали 125Г18Х2Л состояла из аустенита и равномерно расположенных в объеме зерна мелкодисперсных карбидов, а микроструктура металла стали 110Г13Л — из аустенита (рис. 1). Состав карбидной фазы в стали 125Г18Х2Л: 25–91% Cr; 1,5–21,1% Mn; 6,5–51,2% Fe. Площадь карбидных частиц находилась в пределах 2,1–10,2 мкм<sup>2</sup>.

Износостойкость разработанной стали в сравнении со сталью 110Г13Л определяли на лабораторном оборудовании (рис. 2), имитирующем реальные условия работы отливок, при котором абразивный материал воздействует на изнашиваемую поверхность подобно резцу (конусные и щековые дробилки, шаровые мельницы и т.п.) [9]. Для оценки сопротивляемости стали силовому воздействию абразивных материалов использовали метод бороздования поверхности образцов алмазным индентором в виде пирамиды с углом при вершине 136°. Сопротивляемость стали образова-

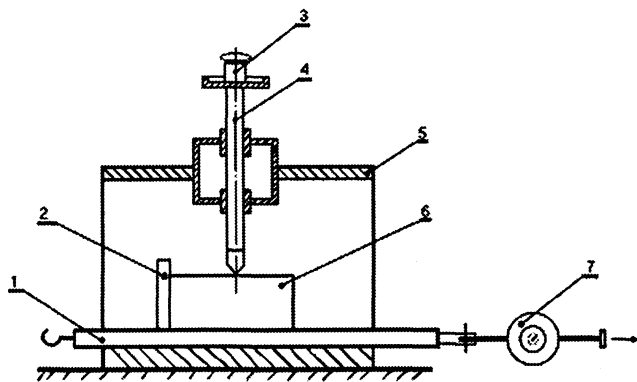


Рис. 2. Приспособление для исследования сопротивляемости металла образованию бороздок твердыми инденторами: 1 — протяжная площадка (стол); 2 — упор; 3 — груз; 4 — шток с индентором; 5 — корпус приспособления; 6 — образец металла; 7 — динамометр

нию бороздки определяли как отношение нагрузки на индентор (Н) к ширине бороздки (мм). Результаты исследования приведены в табл. 2.

Таблица 2. Сопротивляемость металла образованию бороздок в высокомарганцевых сплавах

Марка стали	Сопротивляемость металла образованию бороздок, Н/мм
125Г18Х2Л	151
110Г13Л	122,3

Высокая склонность к упрочнению и сопротивляемость изнашиванию металла образцов из стали 125Г18Х2Л по сравнению с образцами металла стали 110Г13Л объясняются наличием в структуре мелкодисперсных специальных карбидов, равномерно расположенных по зерну. Многочисленные твердые дисперсные включения карбидов в матрице являются центрами блокирования дислокаций в процессе деформирования металла абразивными частицами, что повышает сопротивляемость износу и способствует увеличению склонности к упрочнению высокомарганцевой стали.

Таким образом, разработанная сталь 125Г18Х2Л обладает более высокими уровнем механических свойств и износостойкости по сравнению со сталью 110Г13Л.

На ЗАО «Криворожский завод горного оборудования» из разработанной марки высокомарганцевой стали 125Г18Х2Л были залиты конусные брони для дробилок ККД 1500 и КМДТ 3000 и термообработаны по специальному режиму. По данным горнообогатительных комбинатов стойкость экспериментальных броней была на 30–40% выше, чем броней, изготовленных из стали 110Г13Л.

### Литература

1. Шрамко М.С., Сажнев В.Н., Кудин В.Т. Конструкционная высокомарганцевая сталь // Збірник наукових праць ІХ міжнародної науково-технічної конференції «Неметалеві вclusions і гази у ливарних сплавах». Запоріжжя: ЗДТУ, 2000.
2. Сажнев В.Н., Федьков В.А., Федьков Г.А. Износостойкие аустенитные стали с пониженным содержанием марганца. Запорожье, 1984.
3. Власов В.И., Комолова Е.Ф. Литая высокомарганцевая сталь. М., 1963.
4. Атабеков Е.У., Монгайт. Износостойкость стали 110Г13Л, модифицированной карбидообразующими элементами // Металл. 1975. №2. С. 12–16.
5. Плотников Г.Н., Шадров Н.Ш., Красильникова Н.И. Износостойкие стали для литых деталей дробильно-размольного оборудования // Литейное производство. 1994. №1. С. 18–19.
6. Вороненко В.И. Износостойкие аустенитные высокомарганцевые стали // Литейное производство. 1998. №1. С. 19–22.
7. Шрамко М.С., Малый А.В., Лещенко А.Д., Мироненко Н.Е. Высоко марганцева сталь для виготовлення виливків деталей гірничо-збагачувального обладнання // Пат. 8557.
8. Шрамко М.С., Малый А.В. Высокомарганцевая сталь для быстроизнашивающихся деталей горнообогатительного и горноперерабатывающего оборудования. VII Международный научно-технический конгресс «Экономический путь к высококачественному литью»: Тез. докл. 7–9 июня 2005г. С. 112–114.
9. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970.