

УДК 621.78.04: 658.588

**ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЛИТЫХ МАРГАНЦОВИСТЫХ СТАЛЕЙ**

Д.А. МИРЗАЕВ, Ю.Д. КОРЯГИН, К.Ю. ОКИШЕВ  
e-mail: dj@mananan.tu-chel.ac.ru

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Статья поступила 6 июля 1999 г.

Увеличение срока службы быстроизнашивающихся деталей машин — важнейшая проблема современного машиностроения. Особенно важно обеспечить достаточно длительные сроки службы таких деталей в горнорудной, угольной, цементной и других отраслях промышленности, связанных с переработкой высокоабразивного минерального сырья (руды, угля, песка и др.). Длительность эксплуатации деталей машин и других изделий, их надежность и долговечность во многих случаях обеспечивается износостойкостью материалов, из которых они изготовлены.

Одним из наиболее широко применяемых износостойких материалов является марганцовистая аустенитная сталь Гадфильда (110Г13Л), служащая для изготовления деталей, износ которых сопровождается ударами и большими давлениями. В частности, на Коркинском электровозоремонтном заводе (КЭВРЗ) эта сталь используется для получения литых зубьев ковшей экскаваторов, днищ ковшей, звеньев гусениц экскаваторов, а также бронеплит дробилок.

Анализ эксплуатации изделий, поставляемых заводом на Коркинский угольный разрез показал, что отливки зубьев ковшей экскаваторов отличались относительно небольшой долговечностью (при работе экскаватора на вскрыше) по сравнению с отливками зубьев производства Асбестовского ремонтно-механического завода. Зубья, изготовленные на КЭВРЗ, при эксплуатации часто ломались в зоне соединения перемычки и корпуса зуба. Излом, как правило, был крупнокристаллическим и характеризовался наличием усадочных пор. При этом следует отметить, что режим термической обработки не был нарушен и соответствовал рекомендованному в литературе [1]. По-видимому, разрушение изделий в зоне соединения перемычки с корпусом обусловлено не нарушением режима термической обработки, а влиянием других факторов, в том числе и металлургических.

В настоящей работе исследовалось влияние химического состава (соотношения концентраций марганца и углерода), вредных примесей (фосфора) и температуры разлива на механические свойства и износостойкость аустенитных марганцовистых сталей с целью повышения долговечности изготавливаемых из них изделий.

Известны литературные данные [2], свидетельствующие о резком ухудшении всего комплекса свойств стали 110Г13Л при повышенном содержании фосфора, предельная концентрация которого в стали, согласно ГОСТ 977–88, составляет 0,12%. Для оценки влияния фосфора были выплавлены в индукционной печи слитки массой 4 кг стали 110Г13Л (1,06...1,13%С, 12,8...13,1%Mn) с различной концентрацией фосфора от 0,21 до 0,012%. При плавке использовали электролитический марганец, переплавленный в вакууме. Слитки проковывали на

прутки диаметром 15 мм, которые подвергали закалке в воде от температуры 1100 °С (время выдержки 1 час). Из прутков изготавливали разрывные и ударные образцы.

Результаты механических испытаний образцов различных плавок представлены на рис. 1. Установлено, что повышение содержания фосфора от 0,012 до 0,2% сопровождается резким снижением механических характеристик (предела прочности, относительного удлинения и сужения, ударной вязкости).

Для нормальной эксплуатации зубьев ковша экскаватора ударная вязкость стали должна превосходить 150 Дж/см<sup>2</sup>. При комнатной температуре этому значению ударной вязкости соответствует содержание фосфора 0,14% (рис. 1, б). Однако в случае эксплуатации изделий при температурах –40 °С и ниже содержание фосфора не должно превышать 0,05%.

Химическим анализом промышленных плавок на КЭВРЗ установлено, что содержание фосфора в них колебалось от 0,065 до 0,09%. Такую концентрацию следует признать недостаточно низкой для надежной работы зубьев при отрицательных температурах. Содержание фосфора должно составлять 0,04...0,05%, а в идеале уменьшаться до 0,02%. В этом случае не только резко увеличится сопротивление ударным нагрузкам при отрицательных температурах, но и сопротивление абразивному износу благодаря повышению предела прочности (рис. 1).

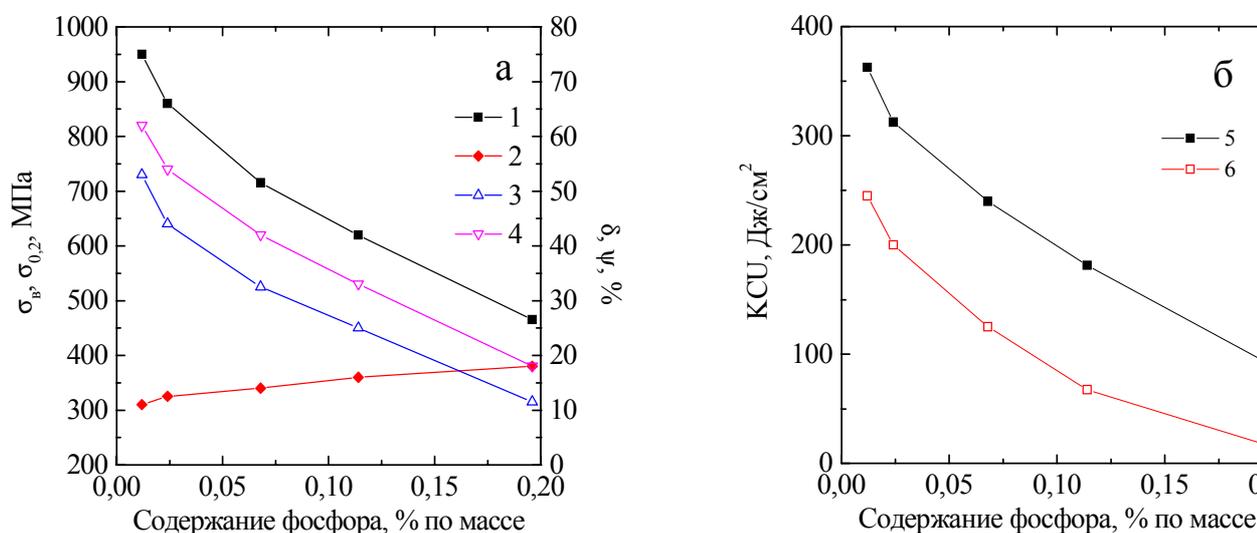


Рис. 1. Влияние содержания фосфора на механические свойства стали 110Г13Л.

1 —  $\sigma_B$ ; 2 —  $\sigma_{0,2}$ ; 3 —  $\delta$ ; 4 —  $\psi$ ; 5 — KCU<sup>+22</sup>; 6 — KCU<sup>-40</sup>

В литературе недостаточно полно рассмотрена проблема оптимального соотношения концентраций марганца и углерода в стали 110Г13Л, хотя исследования в этом направлении были проведены Б.Б. Винокуром и С.Е. Кондратюком с сотрудниками [3], а также М.А. Филипповым [4]. Между тем, согласно ГОСТ 977–88, содержание углерода и марганца можно варьировать от 0,9 до 1,5% и от 11,5 до 15,0% соответственно.

Для оценки оптимального соотношения марганца и углерода, причем в более широком интервале по сравнению с ГОСТ 977–88, было проведено 6 серий лабораторных плавок с концентрациями марганца 6,1...6,5; 8,6...9,2; 10,3...11,0; 13,0...13,4; 14,8...15,5; 17,4...18,2%. Содержание углерода в каждой серии изменяли от 0,55 до 1,7%. Отливки представляли собой стержни диаметром 30 мм. Термическая обработка отливок заключалась в нагреве до 1090±10 °С, выдержке продолжительностью 2 часа и закалке в воду. Для всех сталей были проведены ударные испытания при +22 и –40 °С, а также испытания на износ по схеме Бринелля–Хаворта в условиях истирания образцов кварцевым песком. За единицу износостойкости в этих экспериментах принята износостойкость стали, содержащей 1,1%С и 13%Мn.

Установлено, что для любого содержания марганца ударная вязкость (KCU) изменяется при увеличении содержания углерода по кривой с максимумом (рис. 2), то есть существует

концентрация углерода, зависящая от содержания марганца, при которой ударная вязкость максимальна. В частности, для концентрации марганца 13% оптимальное содержание углерода составляет 0,85...1,00%. Увеличение содержания марганца повышает ударную вязкость при всех исследованных концентрациях углерода за исключением самых высоких — 1,5...1,7%. Наибольшее значение KCU наблюдается для стали с 18%Mn, содержащей 0,6...0,7%C.

Следует отметить, что и стали с пониженным содержанием марганца 10,3...11,0%, и даже 8,6...9,2%, при правильном выборе концентрации углерода (1,0% и соответственно 1,3%) имеют ударную вязкость более 150 Дж/см<sup>2</sup> и, в принципе, могут быть применены как более дешевые материалы.

Ударная вязкость исследованных марганцовистых сталей при отрицательных температурах приведена на рис. 3. И в этом случае повышение содержания марганца увеличивает ударную вязкость. Для сталей с пониженным содержанием марганца (до 10%) наибольшая ударная вязкость наблюдается при повышенной концентрации углерода (1,4%).

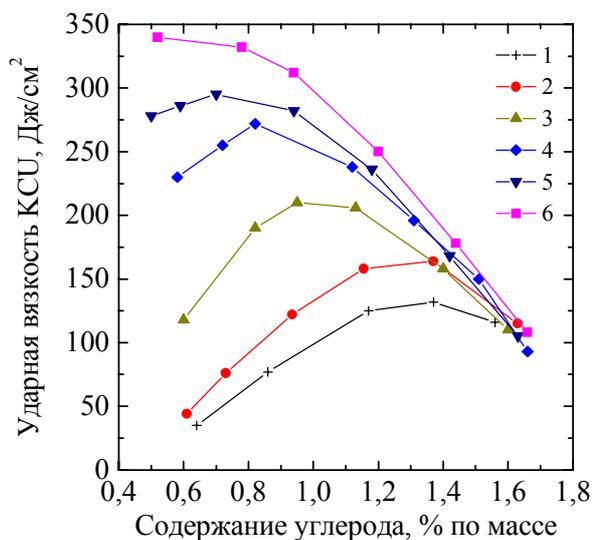


Рис. 2. Влияние содержания углерода и марганца на ударную вязкость аустенитных марганцовистых сталей. Содержание марганца, % по массе:

- 1 — 6,1...6,5%; 2 — 8,6...9,2%;
- 3 — 10,3...11,0%; 4 — 13,0...13,4%;
- 5 — 14,8...15,5%; 6 — 17,4...18,2%

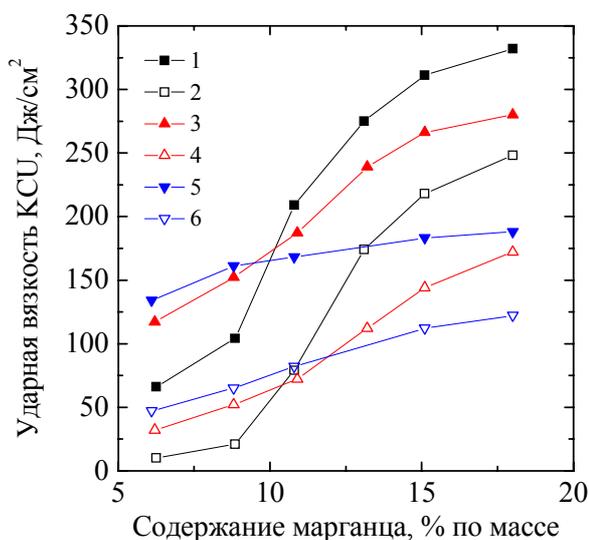


Рис. 3. Ударная вязкость марганцовистых сталей при комнатной и отрицательных температурах.

- Сталь с 0,8%C: 1 — KCU<sup>+22</sup>, 2 — KCU<sup>-40</sup>;
- сталь с 1,1%C: 3 — KCU<sup>+22</sup>, 4 — KCU<sup>-40</sup>;
- сталь с 1,4%C: 5 — KCU<sup>+22</sup>, 6 — KCU<sup>-40</sup>

Влияние состава марганцовистых сталей на абразивную износостойкость показано на рис. 4. Максимальной износостойкостью обладают стали с 6%Mn. В этих сталях при истирании образуется поверхностный α-мартенсит, резко увеличивающий твердость поверхности. При увеличении содержания марганца износостойкость снижается. Рост концентрации углерода увеличивает износостойкость.

Таким образом, стали с пониженным содержанием марганца также могут эффективно использоваться для изготовления ряда износостойких деталей (бронеплиты, днища ковша, звенья гусениц), ударное воздействие на которые при эксплуатации не столь велико, как на зубья ковша.

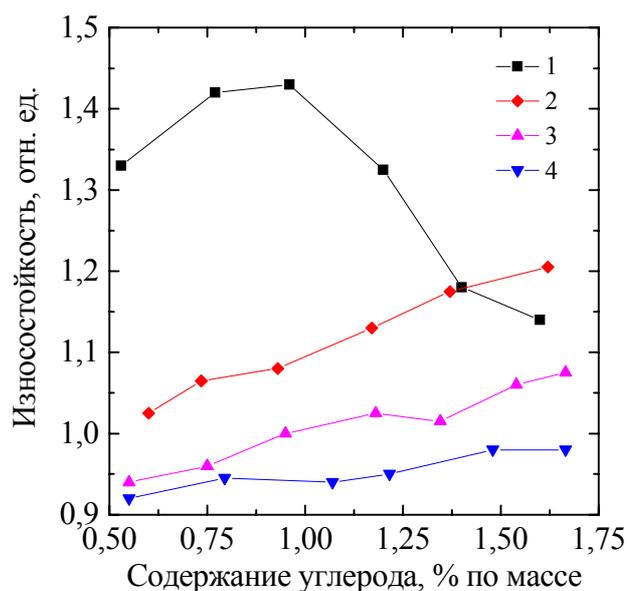


Рис. 4. Влияние состава на износостойкость при абразивном износе марганцовистых сталей. Содержание марганца, % по массе:

1 — 6%; 2 — 9%; 3 — 13%; 4 — 15%

Помимо состава, заметное влияние на свойства отливок оказывает температура разливки стали 110Г13Л в форму. Проведенные исследования показали, что с понижением температуры разливки стали механические свойства отливок улучшаются. В частности, для температур разливки 1500, 1470, 1440 и 1385 °С ударная вязкость стали 110Г13Л составляла 180, 200, 230 и 270 Дж/см<sup>2</sup>, а порог хладноломкости отливок, залитых при этих температурах, был равен -12, -20, -30 и -70 °С соответственно. Разливка стали при температуре 1420 °С обеспечивает получение в отливке после термической обработки зерна 5...7 балла. Повышение температуры до 1450 и 1480 °С снижает балл зерна до 4...5 и 3...4 с соответствующим снижением ударной вязкости. Однако чрезмерное понижение температуры разливки может привести к появлению брака по снякам и недоливкам. Экспериментально установлено, что оптимальная температура заливки равна

$$t_{\text{залив}} = 1480 - 0,65\delta,$$

где  $\delta$  — толщина стенки в отливках. Несколько иные, но все же близкие рекомендации в своих работах дает П.Ф. Парасюк [4]: для толщины  $\delta = 25...80$  мм  $t_{\text{залив}} = 1425$  °С, а для  $\delta = 80...110$  мм  $t_{\text{залив}} = 1410$  °С. Поскольку на КЭВРЗ фактическая температура заливки превышает 1500 °С, то это обстоятельство очевидно является одной из причин появления термического узла и грубокристаллического излома.

## Заключение

Таким образом, в работе получены результаты, использование которых в технологическом процессе выплавки, заливки и термической обработки отливок зубьев ковшей экскаваторов позволяют существенно улучшить качество и соответственно увеличить долговечность указанных выше изделий.

Для получения качественных износостойких отливок из высокомарганцовистых сталей типа 110Г13Л следует обеспечить понижение содержания фосфора (не более 0,05%), выдерживать концентрацию углерода в интервале 0,85...1,00%, которому соответствует максимальная

ударная вязкость и осуществлять заливку с температуры жидкого металла в районе 1410...1430 °С с целью исключения грубой крупнокристаллической структуры в отливках.

### Список литературы

1. Власов В.И., Комолова Е.Ф. Литая марганцовистая сталь. — М.: Металлургия, 1963.
2. Давыдов Н.Г. Высокомарганцовистая сталь. — М.: Металлургия, 1982. — 273 с.
3. Винокур Б.Б., Кондратюк С.Е., Луценко Г.Г., Касаткин О.Г. Влияние содержания марганца и углерода на свойства высокомарганцовистой стали. // Металлы. 1986. — № 2. — С. 123—127.
4. Филиппов М.А. Разработка новых износостойких и немагнитных сталей на основе исследования фазовых превращений в марганцовистом аустените. Докт. диссерт. Екатеринбург: УПИ. — 1993. — 667 с.
5. Парасюк П.Ф. Повышение долговечности литых деталей из аустенитных сплавов. // Строительные и дорожные машины. — 1971, № 4. — С. 30—32.