



The aim of the present work is development of high-manganese steel, which could provide high level of mechanical characteristics and wear resistance of details of mining and mining-processing equipment operating in terms of abrasive wear with slight impact loads.

М. С. ШРАМКО, В. П. КАРГИНОВ, А. В. МАЛЫЙ, А. Д. ЛЕЩЕНКО,
В. И. МИНАКОВА, В. Н. ЯЩЕНКО, НПКП «ПАРАМИ», г. Запорожье

УДК 621.74

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ВЫСОКОМАРГАНЦЕВОЙ СТАЛИ

На ОАО «Полтавский ГОК» (Украина) для мелкого дробления руды, классифицируемой как «высшей степени крепости» по шкале М.М. Протодьяконова, используются конусные дробилки КМДТ-2200. Подвижная и неподвижная брони этой дробилки изготавливаются из стали 110Г13Л (ГОСТ 977-88). Их эксплуатация происходит в условиях ударно-абразивного изнашивания с преобладанием абразивного изнашивания. Установлено, что из-за повышенного износа преждевременно выходят из строя 90–98% броней и 2–10% — по причине поломок.

Поэтому цель настоящей работы — разработка высокомарганцевой стали, которая обеспечивала бы высокий уровень механических свойств и износостойкости деталей горнодобывающего и горноперерабатывающего оборудования, эксплуатируемого в условиях преимущественно абразивного изнашивания с незначительными ударными нагрузками.

Для выбора матричного состава разрабатываемой высокомарганцевой стали была произведена математическая обработка массива промышленных данных предприятий Украины и России (ОАО «Днепропетровский стрелочный завод», ОАО «Керченский стрелочный завод», ОАО «Криворожский центральный рудоремонтный завод», ОАО «Чебоксарский агрегатный завод», ОАО «Оскольский завод металлургического машиностроения»). С помощью компьютерной программы Statistika & Analysis [1] были получены многопараметрические зависимости механических свойств стали 110Г13Л от концентрации основных химических элементов (С, Мn, Si, P, S):

$$\sigma_B = 540 - 264,34C + 47,41Mn - 82,61Si - 25,0P - 2154S, \text{ МПа}, \quad (1)$$

$$\sigma_{0,2} = 453,2 - 182,8C + 21,0Mn - 26,65Si - 2,01P - 401,6S, \text{ МПа}, \quad (2)$$

$$\delta = 16,917 - 33,85C + 4,98Mn - 8,0Si - 0,98P - 74,45S, \%, \quad (3)$$

$$\Psi = 35,6 - 212,81C + 1,62Mn - 5,4Si - 0,22P - 41,2S, \%, \quad (4)$$

$$KCU = 33,18 - 16,35C + 1,42Mn - 10,30Si - 0,05P - 15S, \text{ кгс} \cdot \text{м/см}^2. \quad (5)$$

Оценка значимости параметров показала, что содержания углерода и марганца являются основными параметрами, влияющими на механические свойства высокомарганцевой стали 110Г13Л. Так как концентрации Si, P, S в исследуемом массиве данных находились практически на одном уровне, было проанализировано влияние изменения содержания марганца и углерода на показатели механических свойств высокомарганцевой стали (рис. 1, 2).

Полученные данные свидетельствуют о том, что с увеличением концентрации марганца от 9 до 17% наблюдается повышение всего комплекса показателей механических свойств.

Наиболее высокие значения σ_B , $\sigma_{0,2}$, δ , Ψ при повышении содержания углерода от 0,9 до 1,4% находятся в области концентраций 1,15–1,35%. В этих пределах происходит минимальное снижение показателя ударной вязкости высокомарганцевой стали.

Как видно из рис. 1, экстремальная точка выходит за область обрабатываемых значений. Поэтому для определения содержания марганца, отвечающего максимуму механических свойств, был произведен статистический анализ влияния отношения Mn/C на показатели σ_B , KCU (в основном эти два показателя определяют стойкость деталей из высокомарганцевой стали (рис. 3).

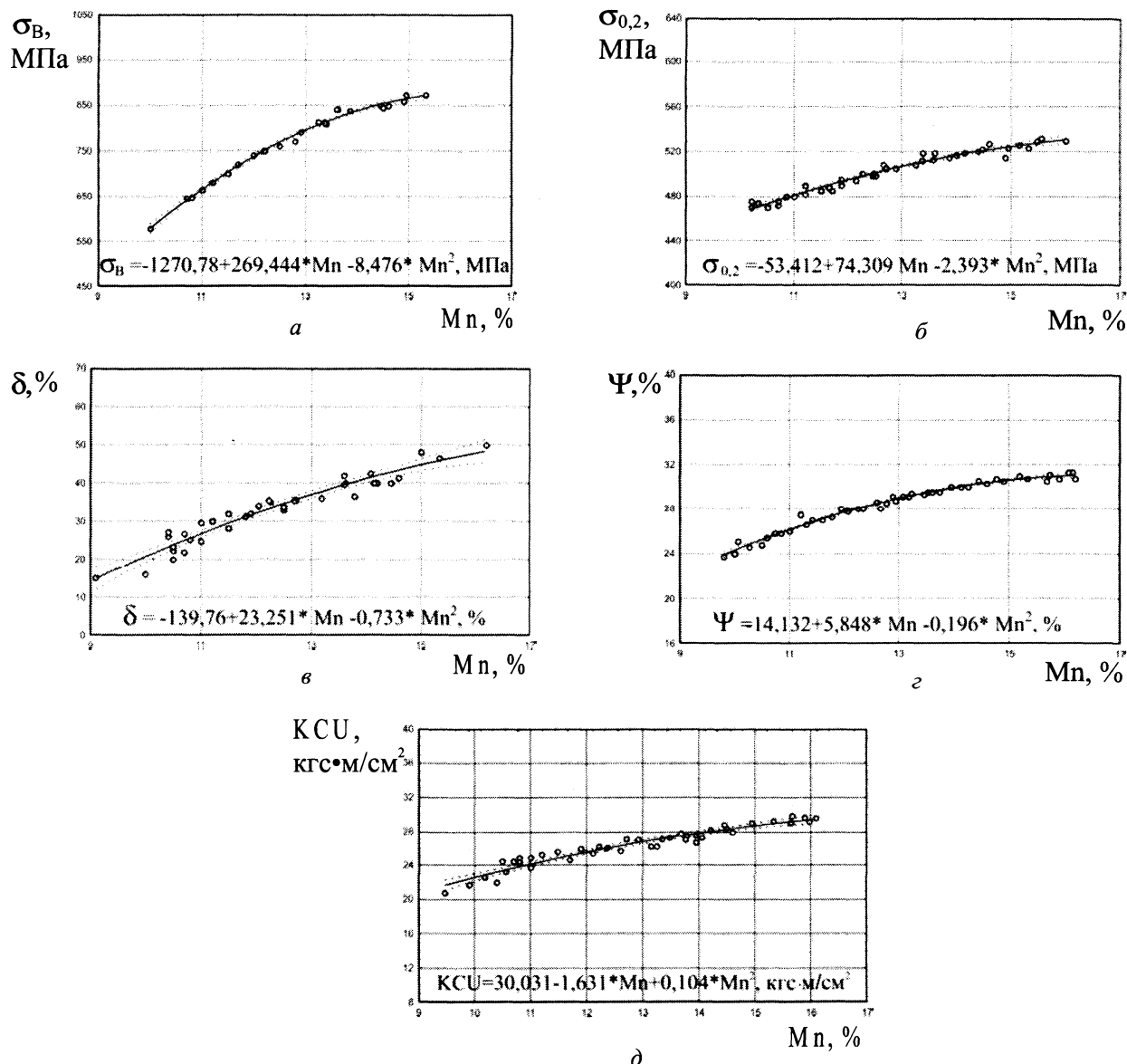


Рис. 1. Влияние содержания марганца на механические свойства высокомарганцевой стали

Математические зависимости, описывающие влияние отношения Mn/C на σ_B и KCU, выражены в виде полинома второй степени:

$$\sigma_B = -366,855 + 150,82 \text{Mn}/\text{C} - 4,147(\text{Mn}/\text{C})^2, \text{ МПа}, \quad (6)$$

$$\text{KCU} = -24,318 + 7,759 \text{Mn}/\text{C} - 0,285(\text{Mn}/\text{C})^2, \text{ кгс} \cdot \text{м} / \text{см}^2. \quad (7)$$

Для определения отношения Mn/C, обеспечивающего максимальные значения σ_B , KCU, выражения (6) и (7) были продифференцированы по Mn/C. В результате получены следующие значения отношения Mn/C для σ_B , KCU соответственно: $\text{Mn}/\text{C} = 18,18$; $\text{Mn}/\text{C} = 13,61$.

Подставляя в полученные выражения значения концентрации углерода 1,15 и 1,35%, определяем концентрационную область по марганцу, соответствующую максимальным значениям σ_B и KCU: $\text{Mn} = 20,9 - 24,5\%$; $\text{Mn} = 15,65 - 18,4\%$.

На основании проведенных расчетов была спрогнозирована высокомарганцевая сталь, содержащая 1,1–1,4% C и 16,0–20,0% Mn, которая обеспечит высокие прочностные и пластические характеристики.

Согласно данным работы [2], введение в высокомарганцевую сталь хрома до 1,6% повышает ее износостойкость в условиях абразивного изнашивания на 20–25%. В [3] отмечено, что брони для дробилок среднего и мелкого дробления, отлитых из стали 110Г13Х2Л (содержащей 1,2–1,7% Cr), обладают более высокой износостойкостью в условиях абразивного изнашивания, чем брони из стали 110Г13Л.

Для изучения характера влияния содержания хрома на комплекс механических свойств разработанной высокомарганцевой стали были проведены плавка металла в печи ИСТ-60 и фракционная разливка. Содержание марганца и углерода

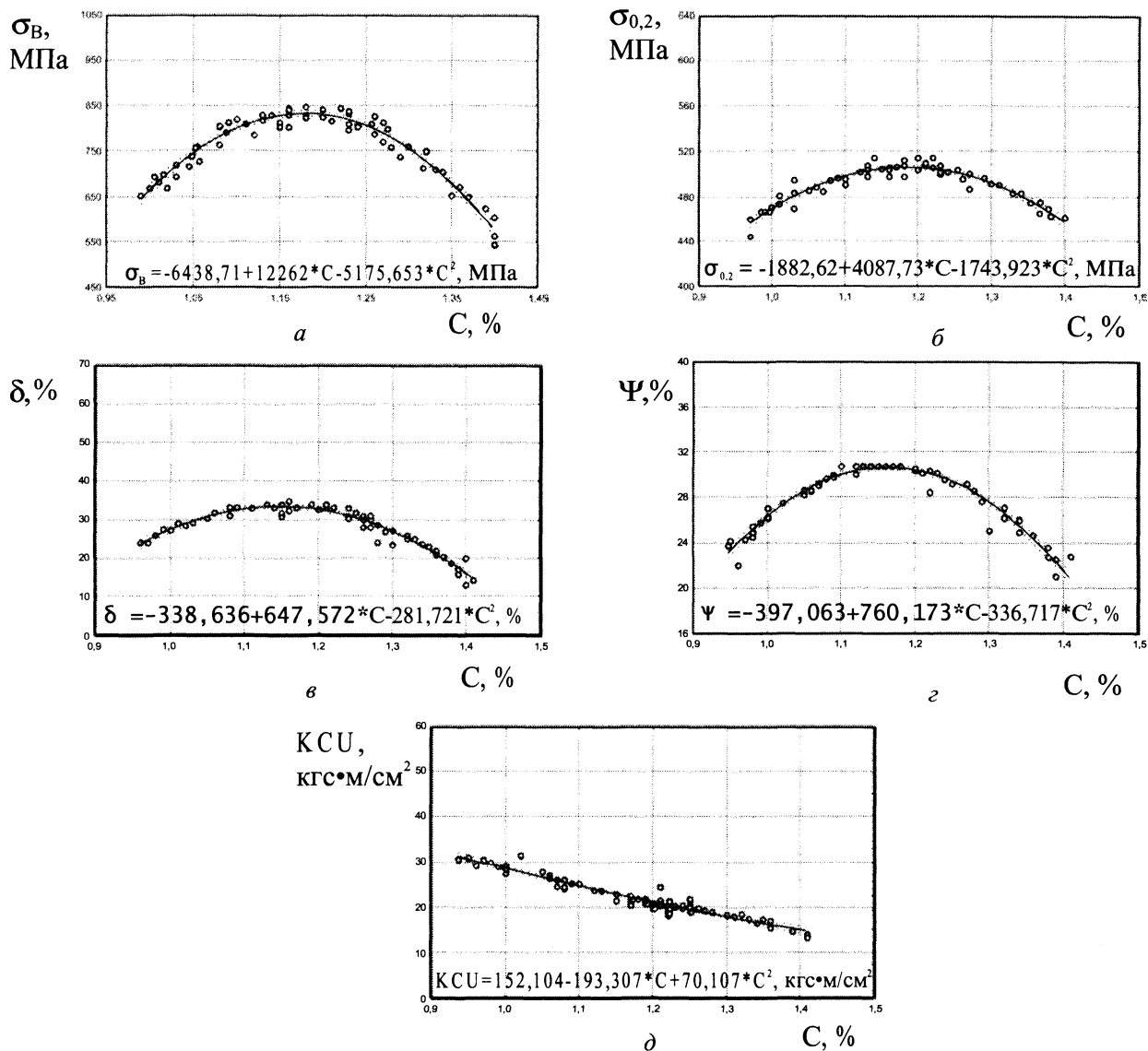


Рис. 2. Влияние содержания углерода на механические свойства высокомарганцевой стали

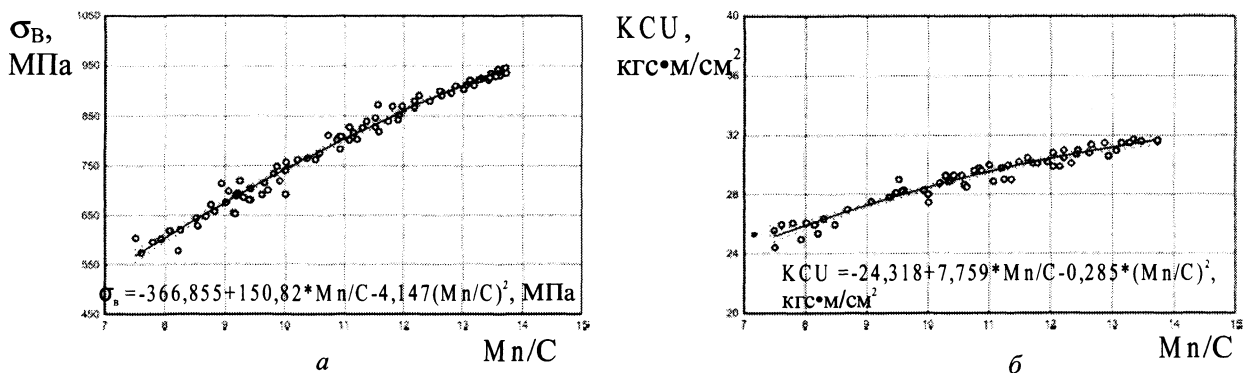


Рис. 3. Влияние отношения Mn/C на σ_B (а) и КСУ (б)

в исследуемых образцах металла составляло соответственно 16,4–16,7 и 1,23–1,25%. Результаты обработки экспериментальных данных приведены на рис. 4.

Показано, что повышение содержания хрома от 0,9 до 3% приводит к увеличению предела прочности и снижению ударной вязкости высокомарганцевой стали. При этом допустимые зна-

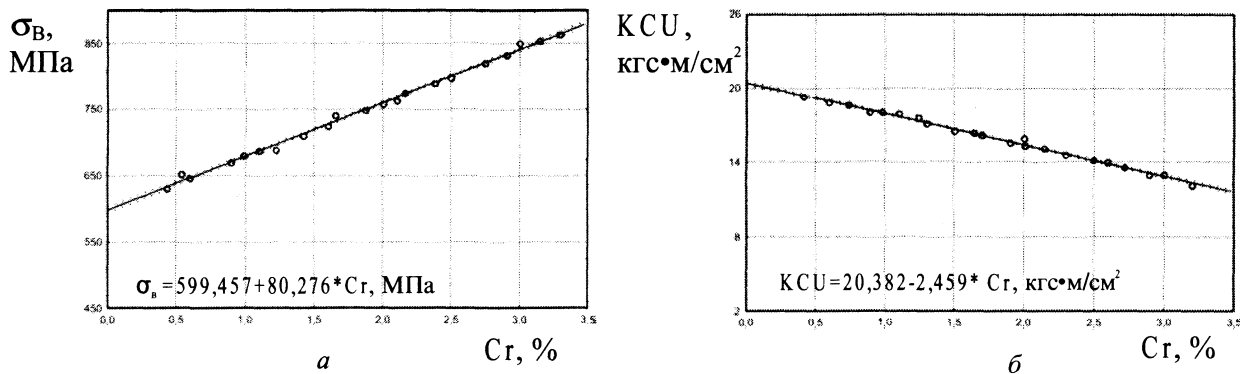


Рис. 4. Влияние содержание хрома на σ_B (а) и KCU (б) высокомарганцевой стали

чения ударной вязкости ($\geq 15 \text{ кгс} \cdot \text{м} / \text{см}^2$) находятся в интервале концентраций хрома 0,9–2,0%, что достигается за счет резерва пластичности и вязкости матрицы.

На основании термодинамических расчетов, проведенных в работе [4], было установлено, что в структуре высокомарганцевой стали, содержащей 1,1–1,4%С, 16,0–20,0%Mn, 1,0–2,0%Cr, возможно выделение карбидов на основе хрома M_7C_3 , $M_{23}C_6$, равновесные температуры которых составляют соответственно $T_{Cr_7C_3} = 760\text{--}800^\circ\text{C}$; $T_{Cr_{23}C_6} = 815\text{--}865^\circ\text{C}$.

С учетом полученной равновесной температуры карбида Cr_7C_3 был разработан режим термической обработки, заключающийся в предварительном нагреве до температур, обеспечивающих

растворение карбидов цементитного типа и выделение специальных карбидов хрома M_7C_3 с последующим нагревом до температуры $1050\text{--}1100^\circ\text{C}$ с закалкой в воде.

Для исследования сопротивляемости изнашиванию были изготовлены образцы из опытной стали 125Г18Х2Л и стали 110Г13Л (в качестве эталона). Образцы металла из опытной стали 125Г18Х2Л были термообработаны по режиму, обеспечивающему выделение мелкодисперсных карбидов на основе хрома. Металл образцов из стали 110Г13Л был подвергнут стандартной термической обработке. Химический состав исследуемых сталей приведен в табл. 1, а показатели механических свойств исследуемых сталей – в табл. 2.

Таблица 1. Химический состав исследуемых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %						
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Al
110Г13Л	1,3	13,2	0,62	0,112	0,007	0,23	0,028
125Г18Х2Л	1,24	16,6	0,52	0,031	0,012	1,54	0,041

Таблица 2. Показатели механических свойств исследуемых марок сталей

Марка стали	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, кгс·м/см ²
110Г13Л	581	13,1	22,3	6,2
125Г18Х2Л	750	23,7	25,4	17,2

Оценку сопротивляемости изнашиванию проводили по влиянию статической деформации на способность к упрочнению. Для этого производили многократное нагружение поверхности исследуемого образца шариком при нагрузке $P=3000$ кгс (с площадкой для измерения твердости) до его предельного (для данных условий нагружений) состояния. Исследовали изменение твердости от исходной и последовательно с 1-, 2-, 3-, 4-, 5-кратным нагружением. Твердость по Виккерсу измеряли на плоской поверхности в центре этих лунок на приборе АКАНІ с нагрузкой 10 кг.

Способность к упрочнению определяли по формуле:

$$K_{\text{упр}} = (HV_k - HV_{\text{н}}) / HV_{\text{н}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где HV_k – твердость по Виккерсу материала образца после последнего нагружения; $HV_{\text{н}}$ – начальная твердость по Виккерсу материала образца.

Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Исследовали сопротивляемость металла абразивному изнашиванию путем протягивания алмазного индентора в виде пирамиды с углом при вершине 136° по поверхности образца, так как большинство деталей из высокомарганцевой стали в горнодобывающей промышленности работают в условиях ударно-абразивного износа, при котором абразивный материал воздействует на изнашиваемую поверхность подобно резцу [5]. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3. Коэффициент упрочнения и сопротивление исследуемого металла образованию бороздок

Марка стали	Коэффициент упрочнения $K_{сп}$	Сопротивляемость металла образованию бороздок, Н/мм
110Г13Л	44	122,3
125Г18Х2Л	48	151

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 (рис. 5).



Рис. 5. Мелкодисперсная карбидная фаза. $\times 300$

На основании статистического анализа, термодинамических расчетов и проведенных экспериментов была разработана новая марка высокомарганцевой стали 125Г18Х2Л (ТУ У 27.5-13608393-004-2002), обладающая

высоким комплексом показателей механических свойств и повышенной износостойкостью в условиях абразивного изнашивания.

Промышленное испытание комплектов броней, отлитых из стали 125Г18Х2Л на ЗАО «Криворожский завод горного оборудования», в условиях ОАО «Полтавский ГОК», показало увеличение срока службы на 15–25%.

Литература

1. Салин В.Н., Чурилова Э.Ю. Практикум по курсу «Статистика». Учеб. пособ. М.: Социальные отношения, 2002.
2. Плотников Г.Н., Шадров Н.Ш., Красильникова Н.И. Износостойкие стали для литых деталей дробильно-размольного оборудования // Литейное производство. 1994. №1. С. 18–19.
3. Вороненко В.И. Износостойкие аустенитные высокомарганцевые стали // Литейное производство. 1998. №1. С. 19–22.
4. Шрамко М.С., Малый А.В., Мироненко Н.Е. Оптимизация химического состава высокомарганцевой стали для деталей горнодобывающей промышленности // Процессы литья. 2005. № 1. С. 92–101.
5. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970.