

ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАРГАНЦОВИСТЫХ СТАЛЕЙ

В.М. Колокольцев, П.С. Лимарев

Коренное повышение качества и конкурентно способности выпускаемых оборудования и машин напрямую связано с необходимостью улучшения качества металла и экономии его в машиностроении, а также с созданием новых конструкционных материалов. Поэтому важным является повышение служебных и эксплуатационных характеристик известных и широко используемых в настоящее время сталей.

Особенно остро это касается высокомарганцевых аустенитных сталей, широко применяемых в машиностроении для изготовления деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания. Это обусловлено уникальными свойствами высокомарганцевых аустенитных сталей типа 110Г13Л, в частности, высоким сопротивлением поверхностей в деформированном состоянии абразивному износу в сочетании с высокими пластичностью и прочностью.

В зависимости от условий работы деталей из стали 110Г13Л, к ее химическому составу и механическим свойствам, а также к способам производства предъявляются различные требования. Однако широкие пределы концентраций углерода и марганца при прочих равных условиях не гарантируют постоянства свойств даже для деталей одного и того же назначения, поэтому сложившаяся многолетняя практика литья из высокомарганцевой стали на различных заводах показывает целесообразность регулирования содержания углерода и марганца в зависимости от условий работы отливки.

Для определения оптимального соотношения марганца и углерода в сплава, при котором наблюдались бы высокие механические и специальные свойства, а также имела бы благоприятная микроструктура. Произведен анализ сплавов, подобранных в литературе, с содержанием марганца 1-21% и содержанием углерода 0,1-4,0%

Варьирование концентрациями элементов в столь широких пределах позволило получить все структурные составляющие, характерные для данной системы: феррит, перлит, мартенсит, аустенит, ледебурит и их смеси различной дисперсности. Карбиды представляют собой цементит Fe_3C , либо легированный марганцем цементит $(Fe,Mn)_3C$ с

различным содержанием марганца. Самостоятельных карбидов марганца не обнаружено даже в областях высокого содержания [C] и [Mn]. Для сплавов с соотношением $Mn/C > 4$ содержание Mn в карбиде может достигать 20% и более. Получены адекватные регрессионные зависимости для износостойкости K_i , твердости HB и HV от состава Fe-C-Mn сплавов:

$$K_i = 0,525 + 0,132 \cdot Mn + 1,32 \cdot C + 0,001 \cdot Mn \cdot C - 0,006 \cdot C^2 - 0,248 \cdot Mn^2, \text{ ед};$$
$$HB = 87,302 + 21,293 \cdot Mn + 151,593 \cdot C - 1,753 \cdot Mn \cdot C - 0,866 \cdot Mn^2 - 26,711 \cdot C^2, \text{ ед};$$
$$HV = 86,523 + 21,586 \cdot Mn + 158,656 \cdot C - 1,985 \cdot Mn \cdot C - 0,883 \cdot Mn^2 - 27,805 \cdot C^2, \text{ ед}.$$

Графическая интерпретация зависимостей представлена на рисунках 1, 2.

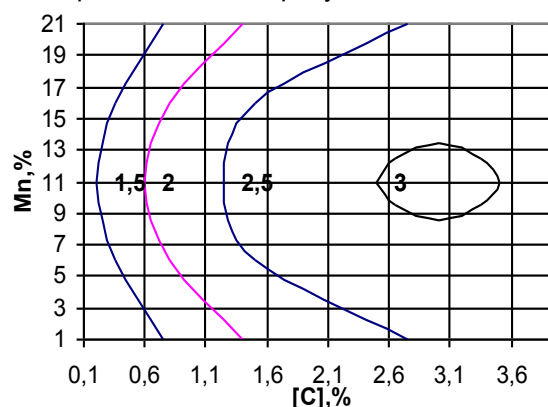


Рисунок 1 – Износостойкость сплавов системы Fe-C-Mn

Цифры у кривых – уровни равной износостойкости

Анализ результатов эксперимента показал, что повышению [C] до 3% при постоянном [Mn] приводит к непрерывному росту K_i . Причем в областях $[C] = 0,6-1,6\%$ наблюдается скачкообразное повышение износостойкости, особенно при $Mn = 6\%$. Это связано с высоким сопротивлением изнашиванию аустенитных и мартенситных фаз, характерных для данных составов. Дальнейшее увеличение [C] приводит к снижению значений износостойкости.

Действие марганца на износостойкость при постоянном содержании углерода носит

экстремальный характер. Максимальной износостойкостью обладают Fe-C сплавы с содержанием марганца 6-11%. Повышение содержания марганца в низкоуглеродистых сплавах несущественно изменяет износостойкость, поскольку при уменьшении количества α-мартенсита, либо его исчезновения, сопротивление изнашиванию оказывает ε-мартенсит. При большом количестве марганца структура становится аустенитной и абразивная износостойкость снижается. Влияние марганца усиливается с повышением содержания углерода.

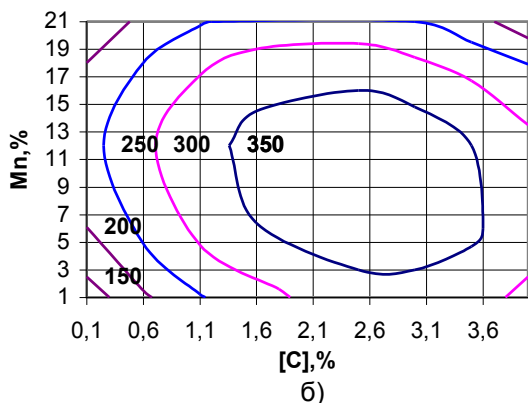
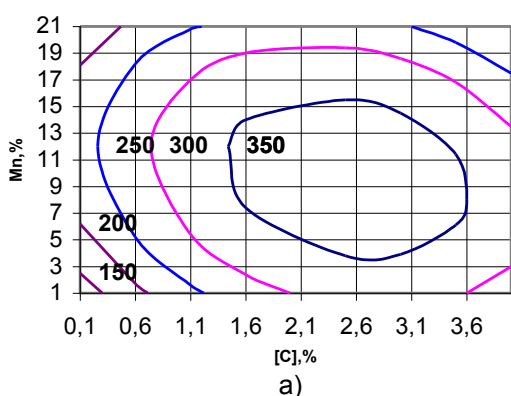


Рисунок 2 – Твердость по Бринеллю (НВ, а) и Виккерсу (НV, б) сплавов системы Fe-C Mn

Цифры у кривых – уровни равной твердости НV

Влияние содержания марганца и углерода на твердость НВ, НV и НRА имеет схожий характер. При увеличении содержания углерода до 1,6%, при постоянном марганце, происходит увеличение твердости, в интервале содержания углерода 1,6-3,5% наблюдается незначительное стабильное увеличение твердости. Максимальной твердостью обладают сплавы с содержанием марганца 6-16%. При содержании марганца 21% влияние уг-

лерода минимально и практически не влияет на изменение твердости.

Способность абразивных частиц внедряться в поверхностный слой отливки и разрушать его при движении можно приближенно оценить по соотношению твердостей испытуемого сплава и абразива (коэффициент твердости $K_{тв} = HV_{спл}/HV_{абр}$). Считается, что критическое значение $K_{тв} = 0,5-0,7$. В случае $K_{тв} < 0,5$ происходит прямое разрушение микрообъемов поверхностного слоя отливки, при $K_{тв} > 0,7$ прямое разрушение маловероятно и процесс изнашивания переходит в многоциклового с резко снижающейся интенсивностью по мере увеличения $K_{тв}$.

В данном исследовании при использовании в качестве абразива электрокорунда с твердостью ~2300 НV коэффициент твердости Fe-C-Mn сплавов изменялся в пределах 0,052-0,177. Разрушение происходило вследствие прямого внедрения частицы электрокорунда в поверхность образца и продвижения по ней. Поверхность разрушения покрыта продольными канавками различной глубины и длины по ходу движения абразивной частицы, что напрямую связано с $K_{тв}$. Чем он выше, тем труднее внедрится частице в поверхностный слой и продвинуться в нем. Это хорошо видно на мягких ($HV \leq 200$ ед) и более твердых ($HV > 300$ ед.) Fe-C-Mn сплавах. Связь $K_{и}$ и $K_{тв}$ исследованных сплавов с высокой точностью описывается уравнением:

$$K_{и} = 0,7106 \cdot e^{8,8523 K_{тв}}$$

И показана на рисунке 3.

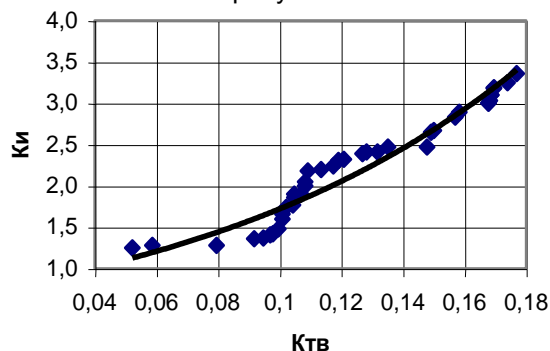


Рисунок 3 – Связь износостойкости Fe-C-Mn сплавов с коэффициентом твердости

В результате проведенных исследований установлены рациональные области концентраций углерода и марганца, которые могут использоваться для разработки специальных износостойких сталей:

$$C = 0,5-1,8\%, Mn = 11,0-17,0\%$$

ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАРГАНЦОВИСТЫХ СТАЛЕЙ

Проведенный полнофакторный эксперимент типа ПФЭ 2² (таблица 1) по влиянию содержания углерода и марганца на свойства стали, позволил получить адекватные математические зависимости свойств стали для сухой песчано-глинистой формы (ПГФ) и кокиля от химического состава:

– ПГФ (сухая)

$$HRC = 61,25 + 0,75 \cdot C + 1,25 \cdot Mn + 2,75 \cdot C \cdot Mn;$$

$$HB = 153 + 5 \cdot C + 3 \cdot C \cdot Mn;$$

$$K_{и} = 1,783 + 0,278 \cdot C + 0,133 \cdot Mn + 0,075 \cdot C \cdot Mn;$$

Mn;

$$HRC_{\text{в лунке отпечатка по HB}} =$$

$$78,5 + 1,5 \cdot C + 4,5 \cdot Mn + 1,5 \cdot C \cdot Mn;$$

$$\sigma_{\text{в}} = 517,25 + 16,75 \cdot C + 0,25 \cdot Mn + 10,25 \cdot C \cdot Mn;$$

Mn.

– кокиль

$$HRC = 58,75 + 2,25 \cdot C + 0,25 \cdot Mn + 0,25 \cdot C \cdot Mn;$$

Mn;

$$HB = 159,25 + 9,75 \cdot C + 4,75 \cdot Mn + 0,25 \cdot C \cdot Mn;$$

Mn;

$$K_{и} = 2,103 + 0,263 \cdot C + 0,003 \cdot Mn + 0,1125 \cdot C \cdot Mn;$$

Mn;

$$HRC_{\text{в лунке отпечатка по HB}} = 79 + 1,5 \cdot C + 3 \cdot Mn + 0,5 \cdot C \cdot Mn;$$

Mn.

$$\sigma_{\text{в}} = 538,25 + 32,75 \cdot C + 25,78 \cdot Mn + 0,75 \cdot C \cdot Mn;$$

Mn.

A* – ПГФ сухая, B* – кокиль.

Химический состав сплавов:

1-[C]=0,5%, [Mn]=15%

2-[C]=0,8%, [Mn]=15%

3-[C]=0,5%, [Mn]=18%

4-[C]=0,8%, [Mn]=18%

5-[C]=0,65%, [Mn]=16,5%.

Свойства и структуру сплавов изучали в литом состоянии. Все исследованные составы имели чисто аустенитную структуру практически без карбидов по границам зерен, что позволяет применять отливки без термической обработки, что существенно удешевляет литье.

Особенностью исследованных сплавов является их способность к упрочнению при действии нагрузки по двойному механизму: за счет деформированного упрочнения аустенита (наклеп) и превращения аустенита в мартенсит.

Данные исследования показали, что наиболее высокими свойствами обладает сталь с содержанием [C]=0.8 % и [Mn]= 18 %.

Данный сплав имеет следующие свойства:

$$K_{и} = 2,28 - 2,38 \text{ ед.},$$

$$HB = 155 - 174 \text{ ед.},$$

$$HRC = 61 - 66 \text{ ед.}, \sigma_{\text{в}} = 524 - 588 \text{ МПа},$$

$$HRC_{\text{в лунке отпечатка по HB}} = 80 - 83 \text{ ед.}$$

Таблица 1 – Свойства исследованных составов стали

№ сплава	K _и , ед.		HB, ед.		HRC, ед.		HRC _{отпеч} чатка по HB, ед.		σ _в , МПа	
	A*	B*	A	B	A	B	A	B	A	B
1	1,46	2,05	145	145	62	56	74	74	490	490
2	1,84	2,15	161	164	58	61	74	78	544	554
3	1,55	1,83	151	154	59	57	86	81	511	521
4	2,28	2,38	155	174	66	61	80	83	524	588
5	2,32	2,31	149	156	61	61	82	81	504	527

Магнитогорский государственный технический университет