

**ВЛИЯНИЕ НИОБИЯ И МАРГАНЦА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА  
ЛИТОЙ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ**

Д. М. ЛИХОШЕРСТОВ

(Представлено профессором доктором А. Н. Добровидовым)

Влияние ниобия на структуру и свойства литой быстрорежущей стали освещалось нами ранее [1]. В данной статье мы рассматриваем совместное влияние ниобия и марганца на структуру и свойства литой быстрорежущей стали типа Р9 с повышенным содержанием углерода.

Исследования по влиянию марганца на структуру и свойства кованой быстрорежущей стали носят противоречивый характер [2, 3, 4, 5, 6, 7].

Аристов считает, что содержание марганца в быстрорежущей стали РФ1 более 0,4% не может считаться желательным, потому что приводит к понижению режущих свойств [2].

Геллер [6] указывает на то, что марганец понижает температуру перлитного и мартенситного превращений, а также увеличивает количество остаточного аустенита.

Минкевич [3] указывает, что карбиды марганца коагулируют при низкой температуре и не могут способствовать повышению теплостойкости.

В некоторых исследованиях [4] получены однако результаты, противоположные упомянутым.

Браун и др. [4] при добавке в ЭИ 262 2% марганца, а в сталь ЭИ 262 с 4% W 1,2% марганца, получили повышение теплостойкости и режущих свойств. Сталь ЭИ 262 с 2,2% марганца при испытании резанием методом торцевой обточки стали с пределом прочности  $\sigma_b = 65 \text{ кг/мм}^2$  дала повышение экономической скорости резания по сравнению со сталью Р18 на 40%.

Таким образом, единого мнения о влиянии марганца на свойства кованой быстрорежущей стали нет. Для литых быстрорежущих сталей влияние марганца в литературе не освещено. Нужно дополнительное тщательное исследование для уточнения влияния марганца для кованой быстрорежущей стали и установления влияния его на свойства литой быстрорежущей стали.

Марганец ухудшает отжигаемость и поэтому его применение для кованой быстрорежущей стали наталкивается на серьезные затруднения. Литой инструмент можно изготавливать с минимальной механической обработкой (шлифовкой), избегая отжига. Это дает возможность

более широкого применения марганца для литых быстрорежущих сталей.

При исследовании влияния марганца на структуру и свойства быстрорежущих сталей нужно учитывать то обстоятельство, что, если марганец вводится в больших количествах, то из-за низкой температуры образования и коагулирования его карбидов он не сможет повысить теплостойкость и режущую способность.

При такой постановке вопроса, как указывает Минкевич [3], Геллер [6], Меськин [7] марганец является вредным элементом. Но если рассматривать влияние марганца на изменение фаз, на его способность изменять силы связи углерода с другими элементами, например, V, Ti, Nb и др., что приводит к увеличению растворимости этих элементов при закалке, то вполне возможно повышение режущих свойств некоторых составов быстрорежущих сталей, как это обнаружено в выше упомянутых исследованиях [4].

Коган и Энтин, исследуя влияние элементов, образующих труднорастворимые карбиды на распад аустенита в конструкционных сталях [8], пришли к заключению, что под влиянием марганца увеличивается растворимость таких стойких карбидов, как VC, TiC, TaC, NbC и вследствие этого задерживается распад в перлитной области.

Вполне возможно, что аналогичное влияние оказывает марганец и в быстрорежущей стали. В исследованиях [4] фазовый и карбидный анализы не проводились, поэтому наши замечания по вопросу влияния марганца предположительные. Необходимы дополнительные исследования для уточнения высказанного предположения, тем более, что в быстрорежущей стали эффект увеличения растворимости труднорастворимых карбидов может быть очень сильно ослаблен из-за высокой легированности быстрорежущей стали по сравнению с конструкционной.

Исследование влияния марганца и ниобия проведено нами на стали Р9 с повышенным содержанием углерода (1,2%). Такое содержание углерода в стали Р9 взято нами на основании предшествующего исследования [1] как оптимальное для стали с ниобием. Содержание ниобия взято равным 2%, исходя из того расчета, что при таком содержании чувствуется значительное понижение теплостойкости и режущей способности стали Р9 с 1,2% углерода. Составы исследуемых сталей приведены в табл. 1.

Плавка производилась в набивном кварцевом тигле на высокочастотной установке АЗ—43. В качестве шихты использовались отходы стали Р9. Повышение содержания углерода в стали проводили за счет высокоуглеродистой стали Р9. Ферросплавы вводили после расплавления шихты в следующей последовательности: феррохром, ферромарганец, феррованадий и феррониобий. Перед разливкой металл раскисляли алюминием из расчета 0,1% от веса плавки. Разливку металла производили при температуре 1440—1480°.

Для исследования отливались образцы 12×12×120 в металлический кокиль. После отливки образцы проходили отжиг, отпуск, закалку, исследование микроструктуры, измерение твердости после различных режимов термообработки, определение теплостойкости и режущие способности. Результаты исследования излагаются ниже.

Марганец, как известно, расширяет  $\gamma$ -область и усиливает устойчивость аустенита при охлаждении. В литом состоянии твердость стали с повышенным содержанием марганца (0,68—2%) (пл. 30, 50, 90 табл. 1) ниже, чем в стали Р9 с обычным содержанием марганца (0,17% пл. 1) и стали с ниобием (плавка 80).

Повышенное содержание марганца в стали привело к понижению твердости в литом состоянии за счет большего количества остаточного аустенита. Характерно также отметить, что дальнейшее повышение

содержания марганца с 0,68% (плавка 30) до 2% существенно не изменяет величины твердости (табл. 1).

Таблица 1

№ плавки	Химический состав в %					
	C	W	Cr	V	Nb	Mn
80	1,15	9,06	3,98	2,02	1,62	0,17
30	1,17	9,66	3,97	2,40	—	0,68
50	1,11	9,55	4,22	2,50	—	1,50
90	1,17	9,46	3,97	2,36	—	2,0
060	1,16	9,22	4,10	2,15	1,72	0,78
00	1,15	9,10	4,05	2,21	1,80	2,05
P18 ковкая						
1	1,24	9,56	4,16	2,19	—	0,16

Твердость HRC		Отжиг HRC	Теплост. в °C при 58 HRC	Стойкость в % по сравнению со ст. P18	
литое состояние	после 4-кратного отп. 550°			углеродистая ст. 30	нержавеющая 3×13
62,0	65,0	24,5	642	100,0	105,0
56,0	65,0	31,0	640	148,0	100,0
55,0	65,5	38,5	630	191,0	104,0
54,5	64,0	42,5	625	235,0	108,5
62,5	64,0	29,0	647	215,0	154,0
58,0	63,0	41,5	637	360,0	159,0
			625	100,0	100,0
62,0	65,0	24,5	650	97,5	103,0

В стали с содержанием марганца 0,68% (пл. 30) введение 1,72% ниобия (пл. 600) повышает твердость в литом состоянии с 56,0 HRC до 62,5 HRC. В стали с таким же содержанием ниобия, но без увеличенного содержания марганца (пл. 80) твердость примерно такая же (62,0 HRC). Такое изменение твердости свидетельствует о том, что ниобий в данном случае уменьшает устойчивость остаточного аустенита.

Приведенные выше результаты изменения твердости не подтверждают утверждения Гудремона [9] о том, что ниобий в быстрорежущих сталях увеличивает количество и устойчивость остаточного аустенита.

Таким образом, увеличение содержания марганца в литой быстрорежущей стали типа P9 вызывает понижение твердости за счет увеличения количества остаточного аустенита. Введение в такую быстрорежущую сталь с повышенным содержанием марганца ниобия, наоборот, повышает твердость за счет понижения устойчивости остаточного аустенита и делает ее равной твердости стали без повышенного содержания марганца и добавок ниобия, т. е. ниобий в количестве 1,72% в стали P9 компенсирует влияние марганца в количестве 0,68%. В стали с более высоким содержанием марганца (2% пл. 90) добавка 1,80%

ниобия (пл. 00) не смогла полностью скомпенсировать влияния марганца в таком количестве и твердость такой стали повысилась лишь частично с 54,5 HRC (пл. 90) до 58,0 HRC.

При отпуске исследуемых сталей заметно аналогичное влияние марганца и ниобия, что и для литого состояния.

Для стали Р9 с обычным содержанием марганца, а также при добавке ниобия 1,62% (пл. 1,80, табл. 1) максимальная твердость достигается при 3-кратном отпуске  $550 \pm 10^\circ$ . В сталях с повышенным содержанием марганца (пл. 30, 50, 90) даже 4-кратный отпуск не обеспечивает получение максимальной твердости, особенно в стали с 2% марганца. Увеличение содержания марганца повышает устойчивость остаточного аустенита против отпуска.

В сталях с 0,68% марганца и 1,72% ниобия (пл. 060) достаточно 3—4-кратного отпуска для получения максимальной твердости, т. е. как и в литом состоянии ниобий скомпенсировал влияние марганца по увеличению количества и устойчивости остаточного аустенита.

В стали с 2% марганца и 1,80% ниобия (пл. 00), как и в стали с одним марганцем (пл. 90), 4-кратного отпуска недостаточно для получения максимальной твердости. Ниобий в данном случае не смог полностью скомпенсировать влияния марганца.

При отжиге по различным режимам, начиная с  $900^\circ$  вплоть до  $1000^\circ$  с выдержкой 2—3 часа (изотермическая выдержка при  $730\text{—}740^\circ$  3—4 часа) (марганец увеличивает твердость отожженной структуры при высоких содержаниях 1,5% и 2% (пл. 50 и 90 табл. 1). В стали с 0,68% марганца и ниобием (пл. 060) твердость в отожженном состоянии отличается незначительно от пл. 1 и 80, но при 2% марганца (пл. 00) твердость достигает 41,5 HRC (табл. 1).

Таблица 2

*Изменение твердости при отпуске литых сталей*

№ п.п.	Литое состояние	Изменение твердости при отпуске $550 \pm 10^\circ$ —1 час HRC					
		1 отп.	2 отп.	3 отп.	4 отп.	5 отп.	6 отп.
1	62,0	65,0	65,0	65,0	65,0		
80	62,0	64,5	65,0	65,0	65,0		
30	56,0	64,0	64,5	64,5	65,0	65,0	65,0
50	55,0	64,0	65,0	65,0	65,5	65,5	65,5
90	54,5	62,0	63,0	63,5	64,0	64,5	65,0
060	62,5	63,5	64,5	63,5	64,0	63,0	63,0
00	58,0	63,0	63,5	63,0	63,0	62,5	62,5

Характерно отметить также, что быстрорежущие стали с марганцем весьма чувствительны к скорости охлаждения после изотермической выдержки при отжиге. Ускоренное охлаждение вызывает повышение твердости.

Высокая твердость в отожженном состоянии в литых быстрорежущих сталях с марганцем и ниобием ограничивает их область применения из-за трудности механической обработки. Однако для инструментов простой конфигурации, для которых можно применять отливку в металлический кокиль с последующим отпуском и окончательной шлифовкой без обработки резанием, вполне возможно применение таких сталей.

Определение теплостойкости исследуемых сталей производилось по методу А. П. Гуляева [10]. При температурах 575, 600, 625, 650 и  $675^\circ$  производилась выдержка в течение 4 часов и затем замерялась твердость. За величину теплостойкости принималась температура, при кото-

рой твердость снижалась до 58 HRC. Результаты измерения теплостойкости приведены в табл. 1.

Изменение теплостойкости показывает, что марганец понижает теплостойкость литой быстрорежущей стали типа P9. Добавка 0,68% марганца снижает теплостойкость этой стали с 650 (пл. 1) до 640 (пл. 30), а при 2% марганца (пл. 90) до 625°.

Добавка ниобия в быстрорежущие стали с марганцем увеличивает теплостойкость: в стали с 0,68% марганца с 640 до 647° (пл. 060), а в стали с 2% марганца с 625 до 637° (пл. 00).

Комплексная добавка Nb+Mn влияет более благотворно на теплостойкость, чем добавка одного марганца. Если с добавкой марганца в сталь типа P9 (пл. 1 табл. 1) теплостойкость понижается, то с введением Nb+Mn она вновь повышается, оставаясь, однако, ниже уровня теплостойкости стали без добавок (пл. 1), но выше уровня стали с добавкой одного ниобия (пл. 80).

По-видимому, одновременная добавка 0,68% марганца и 1,72% ниобия повысила легированность твердого раствора по сравнению со сталью с 1,62% ниобия (пл. 80) и со сталью 0,68% марганца (пл. 30). За счет повышения легированности твердого раствора возросла соответственно теплостойкость с 642 (пл. 80) до 647° (пл. 060).

Режущая способность исследуемых составов сталей определялась на подрезных резцах сечением  $9 \times 9$  ( $\alpha = 10^\circ$ ,  $\gamma = 18^\circ$ ,  $\varphi = 60^\circ$ ,  $\varphi_1 = 15^\circ$ ) при продольном точении валов из углеродистой стали с твердостью HB=111 кг/мм<sup>2</sup> и из нержавеющей стали с твердостью HB=167—174 кг/мм<sup>2</sup>. Резцы для испытаний после отливки проходили 3-кратный отпуск при 550°—1 час. Твердость колебалась в пределах 62—64 HRC. Режимы резания выбирались такими, чтобы резцы работали в одном случае больше на износ, а в другом случае больше на разогрев режущей кромки. В последнем случае режущая способность определялась в основном теплостойкостью стали.

На углеродистой стали точение производилось при  $V=136$  м/мин,  $S=0,26$  мм/об,  $t=2$  мм, а на нержавеющей стали при  $V=70$  м/мин при той же подаче и глубине резания. В обоих случаях испытание резанием производилось без охлаждения.

При точении по углеродистой стали посадка резца происходила в основном из-за износа режущей кромки, а при точении нержавеющей стали посадка резца происходила вследствие потери теплостойкости. За величину стойкости принималось время работы резца до момента полной потери режущей способности. Испытание проводилось на станке 1A62, позволяющем поддерживать постоянную скорость резания, за счет бесступенчатого регулирования числа оборотов электродвигателя. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Добавка марганца в литую сталь типа P9 в количестве от 0,68% до 2% повышает стойкость при резании.

Комплексная присадка Nb+Mn (пл. 060 и 00) повысила стойкость при резании еще в большей мере, чем добавка только одного марганца.

И в том и в другом случае при точении углеродистой стали повышение стойкости более значительное, чем при точении нержавеющей стали. По-видимому, пониженная теплостойкость литых сталей с марганцем и обусловила получение таких результатов.

## Выводы

1. Добавка марганца в литую быстрорежущую сталь типа P9 в количестве 0,68% до 2% понижает твердость в литом состоянии, требует увеличения количества отпусков для получения оптимальной твердости, повышает твердость сталей в отожженном состоянии, понижает тепло-

стойкость (табл. 1). Все эти явления обусловлены способностью марганца расширять  $\gamma$ -область и увеличивать устойчивость остаточного аустенита, понижать температуру начала перлитного и мартенситного превращений.

2. Введение в литые быстрорежущие стали с марганцем 1,72—1,80% ниобия уменьшает отрицательное влияние марганца, перечисленное выше (п. 1), а при содержании 0,68% марганца сводит его почти на нет.

3. Добавка марганца в количестве 0,68% до 2% в литую быстрорежущую сталь, а также комплексная добавка марганца (0,68% и 2%) и ниобия 1,72—1,8% повышают стойкость при резании. При этом комплексная добавка повышает стойкость в большей мере, чем один марганец.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Д. М. Лихошерстов. Влияние ниобия на структуру и свойства быстрорежущей стали типа Р9. Изв. ТПИ, т. 114, 1963.

2. Н. П. Аристов. Влияние примесей никеля, марганца и меди на технологические и режущие свойства быстрорежущей стали. Сталь, № 7—8, 1941.

3. Н. А. Минкевич. Малолегированные быстрорежущие стали. Metallurgizdat, 1944.

4. М. П. Браун, Г. Л. Куруклис, М. Т. Дурдо. Модифицированная быстрорежущая сталь. Mashgiz, 1956.

5. А. П. Гуляев, М. П. Фадюшина. Красностойкость быстрорежущей стали. Сб. «Методика и практика металлографического исследования инструментальной стали». Mashgiz, 1961.

6. Ю. А. Геллер. Инструментальные стали. Metallurgizdat, 1961.

7. В. С. Меськин. Основы легирования стали. Metallurgizdat, 1959.

8. Л. И. Коган и Р. И. Энтин. О влиянии элементов, образующих труднорастворимые карбиды, на распад аустенита, ДАН СССР, т. ХСIV, № 4, 1954 г.

9. Э. Гудремон. Специальные стали, т. II, 1960.