

Б.П. Середя, зав. кафедрой, д.т.н., профессор

С.П. Шейко, доцент, к.т.н.

Ю.Н. Пышнограев, доцент, к.ф.-м.н.

Ю.А. Белокоп, доцент, к.т.н.

И.В. Кругляк, доцент, к.т.н.

В.П. Падалка, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ШТАМПОВОЙ СТАЛИ

Запорожская государственная инженерная академия

Результаты досліджень показали, що для штампової сталі найбільш ефективними легуючими елементами є молібден, вольфрам та ванадій. Оптимальна концентрація зазначених легуючих елементів у сталі становить 1,7...2,0 % молібдену, 2,0...2,5 % вольфраму та 1,6...1,8 % ванадію, що забезпечує успішну експлуатацію штампів холодного пресування.

Результаты исследований показали, что для штамповой стали наиболее эффективными легирующими элементами являются молибден, вольфрам и ванадий. Оптимальная концентрация указанных легирующих элементов в стали составляет 1,7...2,0 % молибдена, 2,0...2,5 % вольфрама и 1,6...1,8 % ванадия, что обеспечивает успешную эксплуатацию штампов холодного прессования.

Введение. В настоящее время около 80 % инструмента для обработки металлов и изделий производится из стали Р6М5, пришедшей на смену более высоколегированной стали Р18. Сумма наиболее дорогих и дефицитных легирующих элементов: вольфрама и молибдена в стали Р6М5 составляет 10,5...12 %. В последние годы были проведены исследования [1,2], цель которых заключалась в снижении суммарного содержания вольфрама и молибдена в быстрорежущих сталях. Однако получить стали, обладающие комплексом и технологических свойств стали Р6М5, получить не удалось. В связи с этим представляется перспективным оптимизация состава стали с учетом условий работы штампов.

Постановка задачи. Целью работы является исследование процесса структурообразования при разработке экономнолегированной быстрорежущей стали с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Основная часть исследований. С целью повышения надежности и долговечности штампов из быстрорежущей стали было изучено влияние легирования на структуру и свойства разработанной экономнолегированной быстрорежущей стали. Для анализа было выбрано девять составов, позволяющих в достаточной мере оценить влияние легирующих элементов на структуру стали. Так как по своему влиянию на свойства быстрорежущей стали вольфрам и молибден являются аналогами, при этом эквивалентное соотношение между вольфрамом и молибденом при образовании карбидов составляет $1,5W:1,0 Mo$, то в табл. 1 приведена сумма этих элементов и вольфрамовый эквивалент $D = \sum (W + 1,5 Mo)$.

Таблица 1 – Анализируемые составы сталей

Номер состава	Массовая доля элементов, %				
	<i>W</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>W + Mo</i>	<i>W + 1,5 Mo</i>
1	1,48	2,71	1,77	4,19	5,54
2	3,31	1,63	3,07	4,94	5,76
3	1,41	2,88	3,94	4,29	5,73
4	0,45	5,01	3,08	5,46	7,96
5	2,94	8,32	2,99	11,26	15,42
6	4,65	3,21	4,09	7,86	9,46
7	3,07	4,58	0,71	7,65	9,94
8	4,32	6,94	3,87	11,26	14,73
9	2,98	4,81	4,62	7,79	10,19

Анализ структуры стали, как и следовало ожидать, показал существенное влияние легирующих элементов на количество, морфологию и распределение карбидной фазы. Составы 1,2 и 3, приведенные в табл. 1, позволяют проанализировать влияние ванадия на количество и морфологию карбидной фазы. Эти составы имеют практически одинаковый вольфрамовый эквивалент D , кроме того в составах 1 и 3 примерно равные концентрации вольфрама и молибдена. Установлено, что увеличение содержания ванадия с 1,77 до 3,99 % приводит к значительному росту количества карбидов, прежде всего, мелкодисперсных типа MC . Известно, что ванадий, подобно вольфраму и молибдену, является карбидообразующим элементом. Атомы ванадия замещают в карбиде M_6C атомы вольфрама и молибдена, что позволяет снизить в стали содержание этих дорогих и дефицитных металлов. С этой точки зрения представляет интерес сопоставление составов 7 и 9, в которых при сумме вольфрама и молибдена, составляющей около 7,7 %, концентрация ванадия составляет соответственно 0,71 и 4,62 %. Как видно из рис. 1, рост концентрации ванадия приводит к увеличению количества карбидной фазы, в основном, за счет мелкодисперсных округлых и игольчатых карбидов ванадия.

Увеличение в стали суммарного содержания вольфрама и молибдена с 5,46 до 11,26 % (составы 4 и 5) сопровождается заметным увеличением карбидной фазы. Из ранее проведенных исследований [3] следует, что сталь состава 4 в отожженном состоянии имеет структуру α -твердого раствора и карбиды $Fe_{21}(W,Mo)C_6$ и $Fe_4(W,Mo)_2C$. При этом свойства красностойкости стали сообщает карбид M_6C . При увеличении в стали вольфрама и молибдена (состав 5) основным карбидом в ней становится карбид M_6C , кроме того возрастает степень легирования твердого раствора (рис. 1). Очевидно, этим можно объяснить повышение твердости при температуре 750 °С от 14 до 21 HRC с ростом D от 7,96 до 15,42 %. Сказанное выше подтверждается также при сравнении составов 3 и 8.

Увеличение в стали молибдена при одновременном снижении содержания вольфрама (составы 2 и 4) резко изменяет морфологию и топографию карбидов: уменьшается количество крупных эвтектических карбидов, расположенных на границах зерен, кроме того, появляются скелетообразные карбиды, расположенные как на границах, так и в теле зерна. Полученные результаты подтверждают литературные данные о способности молибдена уменьшать карбидную неоднородность быстрорежущей стали. Вероятно этим, а также увеличением количества карбидов (D возрос с 5,76 до 7,96 %), можно объяснить повышение предела прочности стали с 849 до 899 МПа при температуре 20 °С и с 500 до 590 МПа при температуре 750 °С.

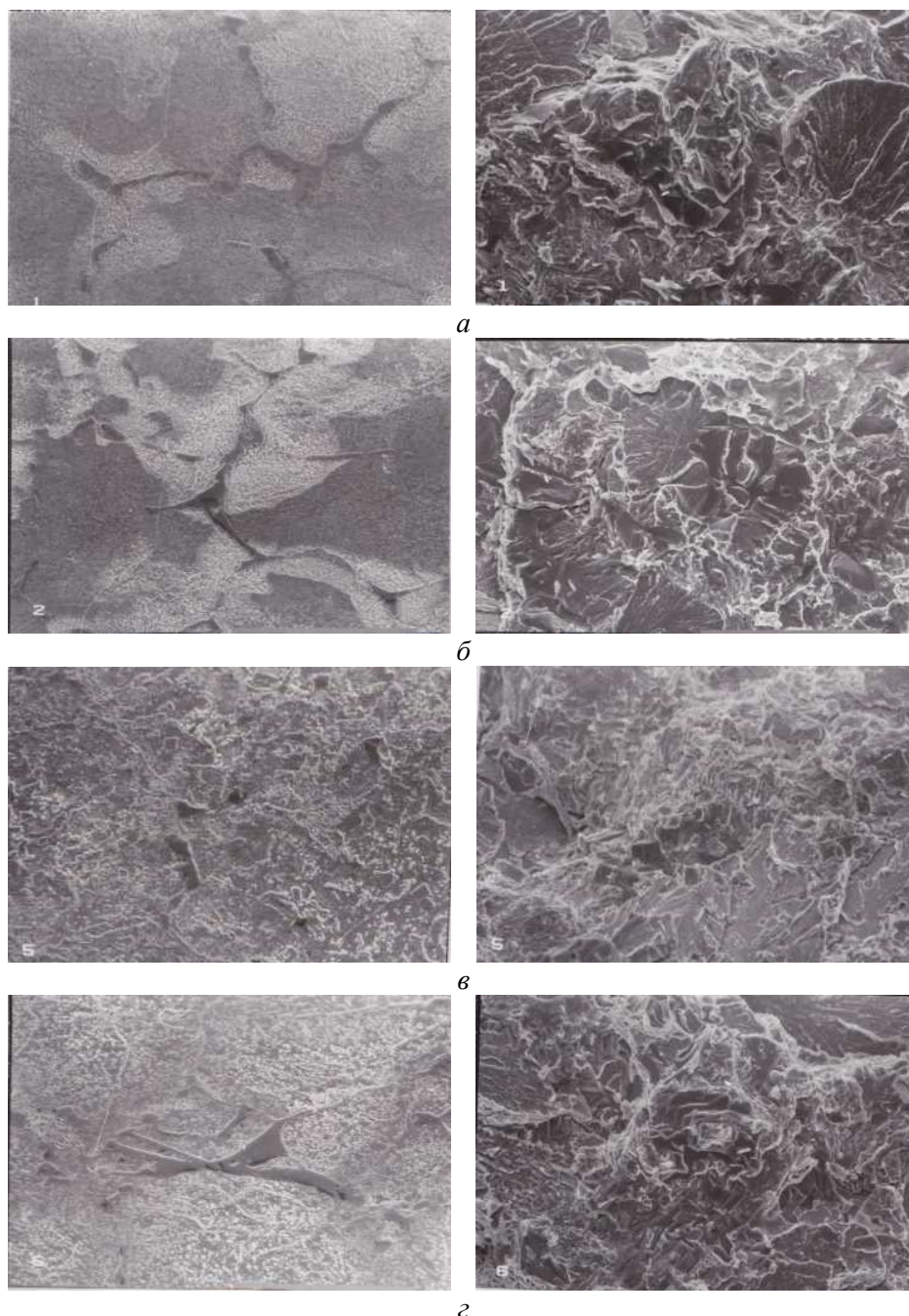


Рисунок 1 – Влияние состава на структуру и строение изломов стали, х 1500:
а - состав № 1; б - состав № 2; в - состав № 5, г - состав № 6

Для более полного и объективного объяснения зависимости свойств стали от легирования возникла необходимость дополнительного анализа карбидной фазы, отличающейся высокой дисперсностью. Установлено, что металл практически всех составов имеет литую структуру ячеистого типа, за исключением составов 4 и 6, в которых структура характеризуется дендритным строением.

Основной структурной составляющей является легированный мартенсит пакетного типа, разрушающийся, как правило, квазисколом, а также сравнительно крупные эвтектические карбиды M_6C и дисперсные карбиды MC на основе ванадия. Эвтектические карбиды типа M_6C имели сравнительно крупные размеры (5...10 мкм), а в отдельных случаях до 20 мкм, и неправильную, чаще всего, вытянутую форму. Они располагаются только в междендритных пространствах. Мелкодисперсные карбиды типа MC имеют размеры до 1 мкм и располагаются в

теле зерна. При этом их плотность у границ зерен значительно выше, чем в центральных зонах зерен. Форма дисперсных карбидов изменяется от сферической до столбчатой и пластинчатой в зависимости от содержания легирующих элементов в стали. Во всех случаях разрушение эвтектических карбидов M_6C и MC происходит чистым сколом, что свидетельствует об их высокой хрупкости.

Легирование оказывает существенное влияние на форму и распределение карбидов. В стали с содержанием 1,5 % вольфрама, 3 % молибдена и 4 % ванадия (состав 3) карбиды имели округлую форму и относительно равномерное распределение в металлической матрице. В стали примерно такого же состава, но с меньшим содержанием ванадия (состав 1), карбиды имеют вытянутую форму и распределяются преимущественно по границам зерен (см. рис. 1). Увеличение содержания вольфрама с 1,5 до 4,65 % при практически неизменном содержании остальных элементов (состав 6) приводит к образованию крупных пластинчатых карбидов.

Наиболее высокую ударную вязкость имеет сталь с суммарным содержанием вольфрама и молибдена 4...4,5 % (составы 2 и 3), а также сталь с 3 % вольфрама и 4,5 % молибдена (состав 7).

Заключение. Результаты исследований показали, что для штамповой стали наиболее эффективными легирующими элементами являются молибден, вольфрам и ванадий. Оптимальная концентрация в стали данных легирующих элементов составляет 1,7...2,0 % молибдена, 2,0...2,5 % вольфрама и 1,6...1,8 % ванадия, что обеспечивает успешную эксплуатацию штампов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шейко, С. П. Ресурсосберегающее производство ножей фидерных питателей стеклоформующих машин / С. П. Шейко, Ю. В. Федько // X науково-техн. конф. студентів, магістрантів та аспірантів і викладачів Запорізької державної інженерної академії : тези доповідей. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА. – 2005. – Т. 1. – С. 57.
2. Серета, Б. П. Разработка и внедрение экономнолегированных быстрорежущих сталей / Б. П. Серета, С. П. Шейко, И. В. Кругляк // X Міжнародна наук.-техн. конф. «Нові конструкційні сталі та стопи і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів : збірка матеріалів. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2005. – С. 112-114.
3. Исследование влияния модифицирования на структуру, характер разрушения и свойства быстрорежущей стали / Б. П. Серета, С. П. Шейко, Ю. А. Белокоп, А. Н. Онищенко // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ, ЗДІА. – Вип. 25. – С. 22-26.

Стаття надійшла до редакції 09.04.2012

р.

Рецензент, проф. В.М. Михайлін