

МОЛИБДЕН И ВОЛЬФРАМ В ЛИТЫХ БЫСТРОРЕЖУЩИХ  
СТАЛЯХ

Е. И. МАРР, Н. А. ЕРОФЕЕВ

(Представлена секцией металловедения и термической обработки металлов  
научно-технической конференции машиностроителей г. Томска 1967 г.)

В данной работе исследовалось влияние молибдена, вольфрама и углерода на легированность фаз литых молибденовых и вольфрамомолибденовых быстрорежущих сталей.

С этой целью были отлиты группы сталей с различным содержанием углерода, в которых последовательно изменялось содержание молибдена. Состав сталей приведен в табл. 1.

Таблица 1

№ плавки	Химический состав, %				
	C	W	Mo	Cr	V
1	0,98	—	2,52	3,80	2,56
2	1,04	—	6,43	4,18	2,63
3	0,96	—	8,57	3,88	2,48
4	1,05	—	10,77	4,01	2,55
5	1,28	—	2,37	4,20	2,68
6	1,30	—	6,17	3,72	2,58
7	1,27	—	8,30	3,40	2,50
8	1,29	—	9,53	3,89	2,46
9	0,74	2,04	2,29	3,86	2,70
10	0,75	2,06	6,86	3,84	2,70
11	0,72	1,90	8,30	3,80	2,56
12	0,92	1,90	2,46	3,50	2,61
13	0,91	1,95	6,50	3,46	2,51
14	0,93	1,90	8,40	3,78	2,51
15	1,25	1,74	2,46	3,61	2,56
16	1,25	1,90	6,72	3,40	2,56
17	1,29	1,94	8,70	3,75	2,47

Стали выплавлялись на высокочастотной установке. В процессе отливки в кокиль образцы закаливались. Исследуемые стали в литом (закаленном) состоянии были подвергнуты карбидному анализу с ис-

пользованием электролита следующего состава: 100 мл соляной кислоты, 10 г тиосульфата натрия и 75 г хлористого калия на 1 л воды.

По данным карбидного анализа были построены кривые распределения молибдена между фазами молибденовых (рис. 1) и молибденовольфрамовых (рис. 2) быстрорежущих сталей.

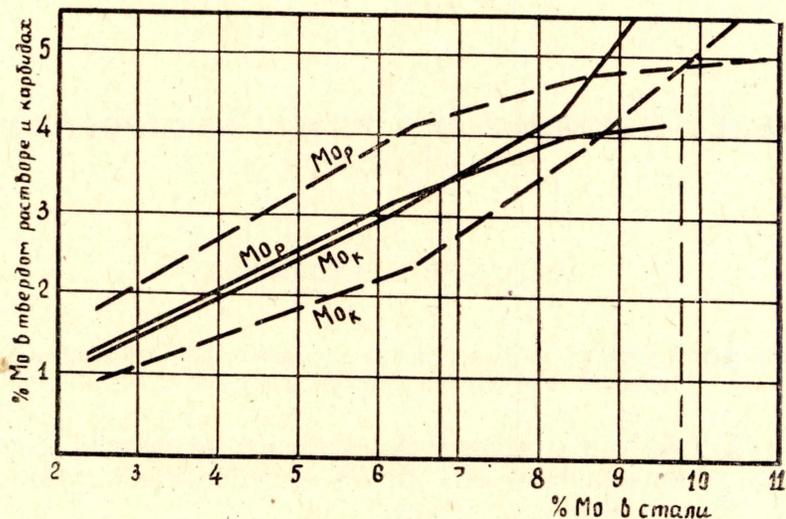


Рис. 1. Кривые распределения молибдена между фазами молибденовых быстрорежущих сталей.

— — — — — сталь с 1,0% С;  
 — — — — — сталь с 1,3% С.

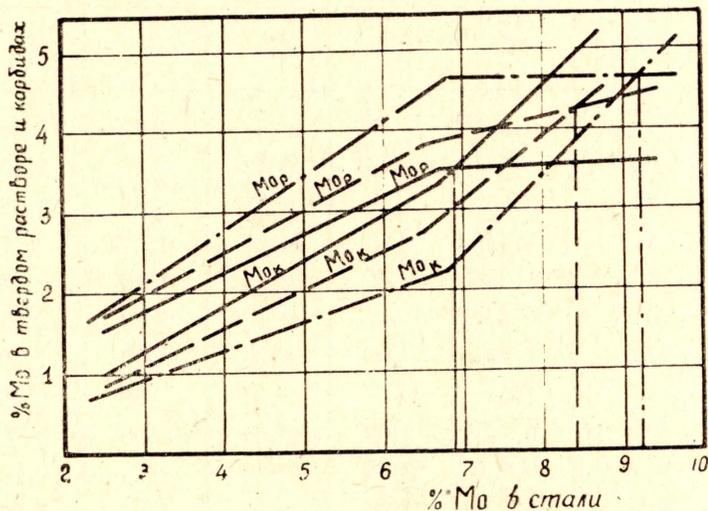


Рис. 2. Кривые распределения молибдена между фазами молибденовольфрамовых быстрорежущих сталей.

— — — — — сталь с 0,75% С;  
 — — — — — сталь с 0,90% С;  
 — — — — — сталь с 1,25% С.

Из анализа (рис. 1) следует, что кривые распределения молибдена между твердым раствором и карбидами пересекаются при различном содержании молибдена в стали. В сталях с содержанием углерода 1,0% кривые распределения пересекаются при 9,75% молибдена в стали, в сталях же с содержанием углерода 1,3% — при 6,6% молибдена в стали.

При содержании молибдена в стали меньше 9,75% с 1,0% углерода и 6,60% молибдена с 1,3% углерода кривые распределения молибдена в твердом растворе располагаются выше кривых распределения в карбидной фазе. Такое распределение молибдена можно назвать «благоприятным» в том смысле, что при указанных условиях концентрация молибдена в твердом растворе больше, чем в карбидах, так как основные свойства быстрорежущей стали определяются составом твердого раствора, а не карбидной фазы.

При содержании молибдена вышеуказанных количеств большая его часть уходит на образование карбидов, а меньшая растворяется в твердом растворе. Такое распределение молибдена между фазами быстрорежущей стали можно считать «неблагоприятным».

При указанном количестве (9,75% молибдена в стали при 1% углерода и 6,6% молибдена с 1,3% углерода) наступает равное распределение молибдена между фазами закаленной молибденовой быстрорежущей стали.

Из кривых распределения молибдена между фазами стали следует, что концентрация молибдена в твердом растворе, а также точки равного распределения молибдена в твердом растворе и карбидной фазе находятся в обратной зависимости от содержания углерода в стали.

Сопоставление данных по распределению молибдена между фазами с теплостойкостью сталей (табл. 2) показывает, что в области «благо-

Таблица 2

№ плавки	Твердость в литом состоянии, RC	Теплостойкость Кр58, °C	% карбидов в литом состоянии	Химический состав карбидов, %	
				W	Mo
1	59,0	615	5,47	—	16,56
2	61,0	625	7,30	—	32,29
3	62,5	580	9,70	—	39,66
4	55,0	—	12,50	—	45,88
5	59,0	635	7,50	—	15,62
6	58,5	645	10,40	—	29,41
7	60,0	650	11,80	—	36,67
8	60,0	655	14,05	—	38,28
9	61,5	610	4,95	11,50	12,94
10	62,0	580	8,00	11,60	26,86
11	51,0	—	11,80	12,37	33,53
12	60,0	625	6,60	12,84	15,20
13	61,0	610	9,50	10,86	28,53
14	61,0	600	12,55	6,58	33,51
15	52,0	635	8,20	11,50	14,72
16	57,0	645	11,50	12,45	28,66
17	60,0	640	14,10	12,37	35,05

приятного» распределения находятся стали с наивысшей теплостойкостью. Такой является сталь с 6,5% молибдена при 1,0% углерода. При содержании молибдена в стали выше этого количества теплостойкость снижается, хотя легированность твердого раствора молибденом продол-

жает непрерывно расти. Последнее следует объяснить обеднением твердого раствора углеродом при дальнейшем повышении содержания молибдена в стали.

При 10,77% молибдена и 1,0% углерода в стали происходит выклинивание  $\gamma$ -области за счет значительного обеднения твердого раствора углеродом.

При более высоком содержании углерода в стали (1,3%) закономерности распределения молибдена между фазами остаются теми же самыми, как и при содержании углерода 1,0%, но теплостойкость непрерывно возрастает с повышением содержания молибдена в стали. Это следует объяснить тем, что теплостойкость стали определяется не только содержанием легирующих элементов в твердом растворе, но и концентрацией углерода в нем. В данных сталях с ростом карбидной фазы не происходит сильного обеднения твердого раствора углеродом, и поэтому теплостойкость не снижается. Однако при более высоких содержаниях молибдена, чем в исследованных пределах, вполне возможно значительное обеднение твердого раствора углеродом и выклинивание  $\gamma$ -области. Последнее подтверждается ростом твердости в закаленном состоянии при повышении содержания молибдена в стали.

Таким образом, более высокая теплостойкость сталей с содержанием углерода 1,3% при «неблагоприятном» распределении молибдена между фазами закаленной стали обеспечивается не только молибденом, но и высокой насыщенностью твердого раствора углеродом. Это указывает на особую роль углерода в повышении теплостойкости быстрорежущих сталей.

Так как с повышением содержания углерода в стали легированность твердого раствора молибденом уменьшается, что следует из рис. 1, то одновременный рост теплостойкости стали и увеличение количества карбидной фазы следует объяснить разделением дополнительно вводимого углерода на две части. Одна часть идет на образование первичных карбидов, увеличивая их количество, тем самым обедняя твердый раствор молибденом, а другая часть растворяется в аустените, повышая теплостойкость стали. Но при высоком содержании углерода в быстрорежущей стали инструмент будет иметь низкую стойкость при резании из-за высокой хрупкости, вызванной сильной карбидной неоднородностью.

Отсюда следует, что для рационального использования легирующего элемента и получения качественного режущего инструмента из быстрорежущей стали необходимо выбирать соотношение между содержанием углерода и легирующего элемента в области «благоприятного» распределения его между фазами закаленной стали.

На рис. 2 приведены кривые распределения молибдена между фазами закаленных молибденовольфрамовых сталей.

Закономерности распределения молибдена между фазами сталей этих групп и влияние углерода на распределение молибдена остаются теми же, что и в молибденовых сталях. Однако введение вольфрама в сталь несколько снижает легированность твердого раствора молибденом и смещает точки равного распределения молибдена в область меньшего содержания молибдена в стали.

Из данных карбидного анализа следует, что при непрерывном повышении содержания молибдена в стали легированность твердого раствора вольфрамом уменьшается, а содержание его в карбидной фазе повышается.

Влияние повышения содержания молибдена в молибденовольфрамовых сталях на красностойкость и другие свойства остаются теми же самыми, что и для молибденовых быстрорежущих сталей.

## Выводы

1. Установлено, что распределение молибдена между фазами закаленной стали зависит от содержания углерода и вольфрама в стали и может быть «благоприятным», «неблагоприятным» и равным.

2. Концентрация молибдена и вольфрама в твердом растворе находится в обратной зависимости от содержания углерода в стали. При непрерывном повышении содержания углерода в стали теплостойкость возрастает, но качество режущего инструмента при таком условии может быть понижено за счет снижения прочности, вызванного сильной карбидной неоднородностью.

3. В области «благоприятного» распределения молибдена между фазами быстрорежущей стали располагаются оптимальные соотношения между содержанием углерода и молибдена в стали, при которых получается наиболее качественный инструмент при рациональном использовании молибдена как легирующего элемента.

4. При повышении содержания молибдена в быстрорежущей стали происходит перераспределение углерода и вольфрама между твердым раствором и карбидной фазой. Твердый раствор обедняется этими элементами, карбидная фаза обогащается ими.

5. При повышении содержания углерода, вольфрама и молибдена в быстрорежущей стали количество карбидной фазы непрерывно растёт.

---