

## МОЛИБДЕН В ЛИТЫХ ВОЛЬФРАМО-МОЛИБДЕНОВЫХ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЯХ

Е. И. МАРР

(Представлена проф. докт. А. Н. Добровидовым)

В инструментальной промышленности в настоящее время имеется тенденция к замене вольфрамовых быстрорежущих сталей молибденовыми и вольфрамо-молибденовыми быстрорежущими сталями. Это объясняется тем, что стали с молибденом имеют лучшее распределение более дисперсных карбидов и высокую механическую прочность по сравнению с вольфрамовыми. Из общего производства быстрорежущих сталей США в настоящее время около 75% составляют молибденовые и вольфрамо-молибденовые стали и лишь 10% вольфрамовые [1]. В последние годы вольфрамо-молибденовые быстрорежущие стали получили широкое распространение и в нашей стране. Всесоюзный научно-исследовательский инструментальный институт рекомендует для применения в отечественной промышленности вольфрамо-молибденовые стали нормальной производительности следующих марок [1]: Р6М3Ф2, Р9М4 и Р12М3.

Таблица 1

№ плавков	Химический состав в процентах					Степень легированности $\Sigma (W + 2M_0)$
	C	Cr	V	W	M <sub>0</sub>	
15	0,74	3,46	2,70	2,04	2,29	7,6
11	0,75	3,84	2,70	2,06	6,83	15,0
12	0,72	3,80	2,56	1,90	8,40	18,7
1	0,92	3,50	2,61	1,90	2,46	6,8
2	0,91	3,06	2,51	1,95	6,50	15,0
3	0,93	3,78	2,51	1,90	8,40	18,7
4	0,94	3,20	2,65	1,82	15,18	32,2
7	1,25	3,61	2,56	1,74	2,46	6,7
8	1,25	3,20	2,56	1,90	6,72	14,9
10	1,29	3,75	2,47	1,94	8,70	18,5

В данной работе исследовалось влияние содержания молибдена и углерода в литых вольфрамо-молибденовых сталях на структуру и некоторые свойства этих сталей. Химический состав данных сталей приведен в табл. 1.

Сталь выплавлялась в лабораторных условиях на высокочастотной установке в кислом тигле емкостью 1 кг. Разливка стали производилась в металлический кокиль с размером образцов 25×11×60 и 11×11×60 мм. При отливке в металлическую форму образцы получали закалку в процессе охлаждения. Твердость сталей в литом (закаленном) состоянии приведена в табл. 2.

Таблица 2

HRC	№ плавки									
	15	11	12	1	2	3	4	7	8	10
В литом состоянии	61,5	62	51	60	61	61	35	53	57	60
После 3-кратного отпуска с оптимальной температуры	64,5	63	50	65	65,5	63,5	35	63,5	67	67,5

Как известно, структура литой быстрорежущей стали при быстром охлаждении может состоять из следующих составляющих:  $\delta$ -фазы, темной составляющей ( $\delta$ -эвтектоид), светлой составляющей (бесструктурный мартенсит и остаточный аустенит) и из сетки карбидной эвтектики. Исследование структуры показало, что  $\delta$ -фаза во всех исследованных сталях отсутствует; сталь плавки 4 имеет ферритную структуру. Структура сталей с содержанием углерода 0,75—0,95% состоит из светлой фазы, окруженной сеткой карбидной эвтектики. Первичные зерна сталей делятся на субзерна, по границам которых располагаются мелкодисперсные карбиды (рис. 1). Темная составляющая ( $\delta$ -эвтектоид) присутствует лишь в сталях с высоким содержанием молибдена, т. е. у сталей плавки 12 (рис. 2) и 3, причем с увеличением в стали содержания углерода (сталь плавки 3) количество темной составляющей уменьшается, что соответствует данным работам [4]. Стали с содержанием углерода 1,25% имеют зерна со структурой крупноигльчатого мартенсита и остаточного аустенита (рис. 3), окруженных сеткой карбидной эвтектики.

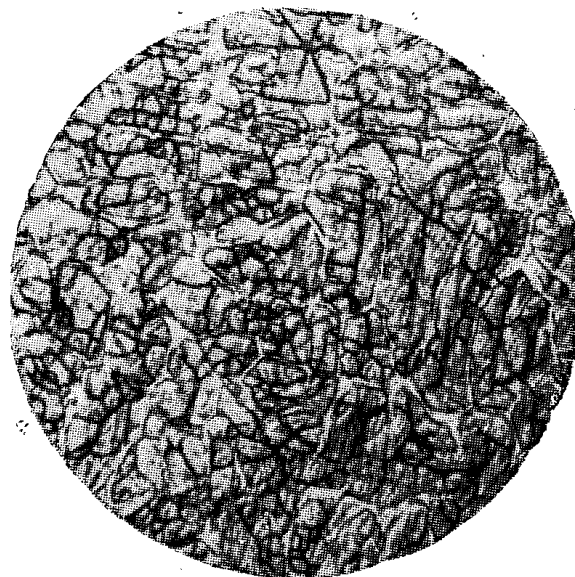


Рис. 1. Микроструктура стали плавки 15 в литом состоянии. × 450

Стали подвергались специальному травлению на карбиды. Для сравнения структуры вольфрам-молибденовых сталей с вольфрамовыми были отлиты стали типа P18 с 1,05 и 1,30% С. Карбидная сетка вольфрам-молибденовых литых сталей (рис. 4), как и у вольфрамовых (рис. 5), располагается по границам первичного зерна, однако у сталей с молибденом она более тонкая, что отмечается и в работе [2]. Существенно отличаются эти стали и строением самой эвтектики. Литые вольф-

рамовые быстрорежущие стали имеют «скелетообразную» форму карбидной эвтектики в результате слияния эвтектических карбидов, вольфрамо-молибденовые — эвтектическую форму (дисперсные карбиды зернистой формы), которая плохо разрешается даже при значительном увеличении ( $\times 600$ ). Следует отметить, что с увеличением содержания молибдена при постоянном содержании углерода сетка карбидной эвтектики несколько утолщается, однако величина зерна при этом уменьшается. С увеличением содержания углерода также наблюдается уменьшение величины зерна.

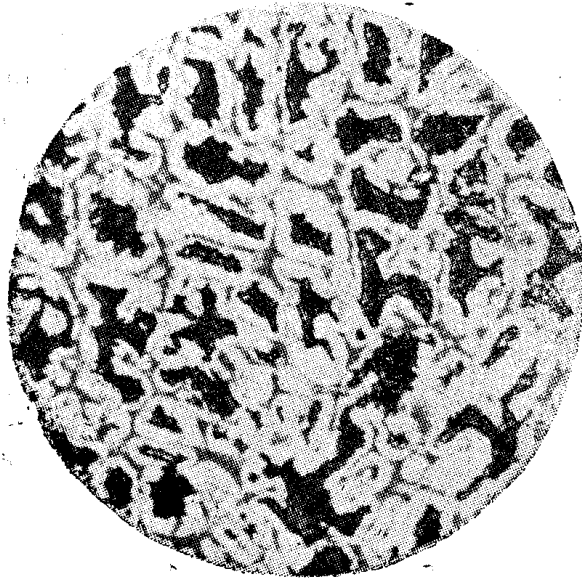


Рис. 2. Микроструктура стали плавки 12 в литом состоянии.  $\times 450$

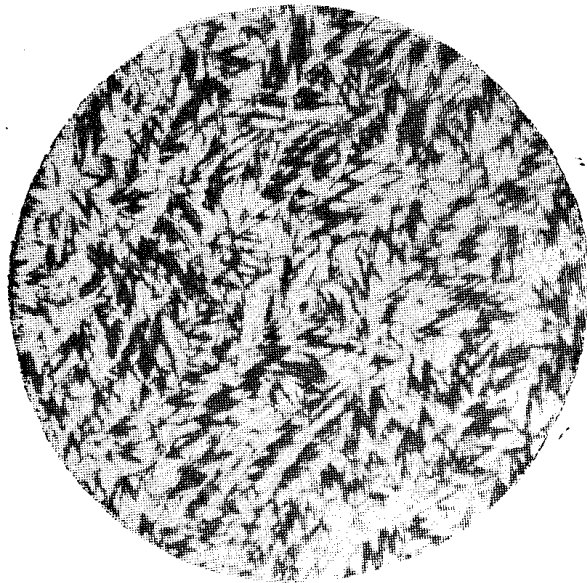


Рис. 3. Микроструктура стали плавки 7 в литом состоянии.  $\times 450$

С целью определения поведения данных сталей при отпуске производился последовательный отпуск в интервале температур  $100-700^{\circ}\text{C}$  по часу. Из анализа микроструктуры, твердости в литом состоянии и поведения при последовательном отпуске следует, что в стали плавки 4 произошло выклинивание  $\gamma$ -области. В стали плавки 12 из-за наличия большого количества темной составляющей (низкая твердость в литом состоянии) при последовательном отпуске не наблюдается эффекта вторичного твердения.

Из хода кривых последовательного отпуска и твердости в литом состоянии следует, что с повышением содержания углерода количество и устойчивость остаточного аустенита повышается; при повышении содержания молибдена при постоянном содержании углерода количество остаточного аустенита уменьшается.

Для выбора оптимальной температуры отпуска данные стали подвергались многократному отпуску по 1 часу при температурах  $520-600^{\circ}\text{C}$  через каждый  $20^{\circ}\text{C}$  и определялась красностойкость 3-кратного отпуска.

Для этой цели образцы сталей трехкратно отпускались по 1 часу в интервале температур  $520-600^{\circ}\text{C}$ . Красностойкость определялась путем замера твердости в холодном состоянии после 4-часового отпуска при температурах  $575-650^{\circ}\text{C}$  через каждые  $25^{\circ}\text{C}$ . Данные по определению красностойкости приведены в табл. 3.

стойкостью сталей в зависимости от температуры 3-кратного отпуска.

Для этой цели образцы сталей трехкратно отпускались по 1 часу в интервале температур  $520-600^{\circ}\text{C}$ . Красностойкость определялась путем замера твердости в холодном состоянии после 4-часового отпуска при температурах  $575-650^{\circ}\text{C}$  через каждые  $25^{\circ}\text{C}$ . Данные по определению красностойкости приведены в табл. 3.

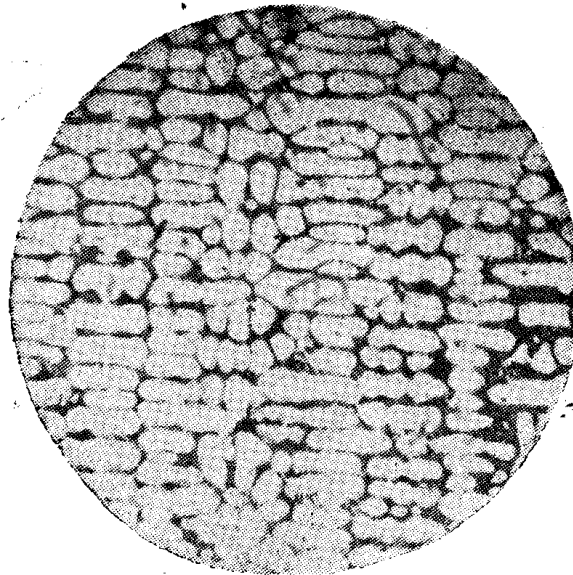


Рис. 4. Микроструктура стали плавки 10 в литом состоянии;  $\times 600$  (травитель: 10 г  $K_3Fe(CN)_6$ , 10 г KOH на 100 мл воды)

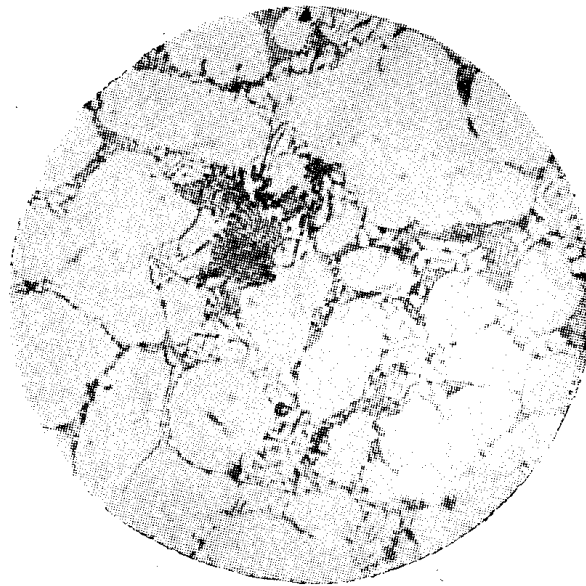


Рис. 5. Микроструктура литой стали P18 с 1,3% C;  $\times 600$  (травитель: 10 г  $K_3(CN)_6$ , 10 г KOH на 100 мл воды)

При определении красностойкости было установлено, что красностойкость исследуемых сталей зависит от температуры предварительного отпуска. С повышением содержания углерода в стали красностойкость повышается.

Таблица 3

№ плавки	15	11	1	2	3	7	8	10
Кр. 58°C	605	580	620	620	590	630	645	635

В результате исследования поведения сталей при многократном отпуске и определения красностойкости было установлено, что для сталей с содержанием углерода 0,75—0,95% следует считать оптимальными температурами отпуска 540—560°C; для сталей с 1,25% С—560—580°C. Максимальное значение твердости достигается в результате 2—3-кратного отпуска по 1 часу при этих температурах. При более высоких температурах отпуска твердость получается несколько меньшей после 1—2 отпусков и резко падает при последующих отпусках. При температурах отпуска ниже рекомендованных требуется большее количество отпусков для достижения максимальной твердости и для сталей с содержанием углерода 1,25%, в связи с большой устойчивостью остаточного аустенита оно равняется 6—7. На рис. 6 приведены графики многократного отпуска для сталей плавки 2 и 8.

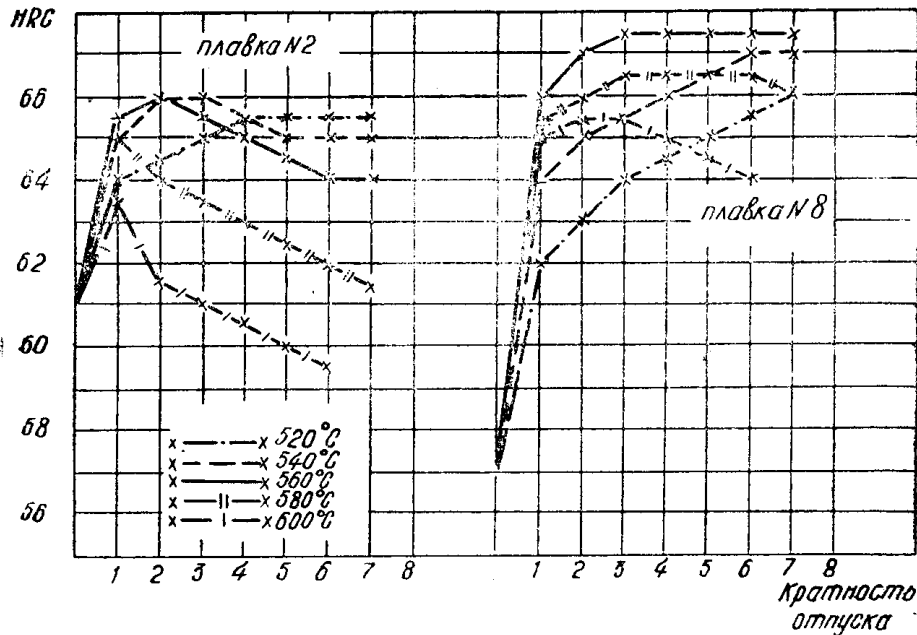


Рис. 6

Данные настоящей работы показывают, что стали плавки 11 и 3 не могут быть использованы для режущего инструмента из-за сравнительно низкой твердости и красностойкости. Это следует, по-видимому, объяснить обеднением твердого раствора углеродом при наличии высокого содержания молибдена в этих сталях. Наилучшими твердостью и красностойкостью обладают стали плавки 2 и 8, что находится в соответствии с данными Ю. А. Геллера [3]. Стали плавки 15, 1 и 7 могут быть

использованы для изготовления режущего инструмента, так как при достаточно низкой легированности они имеют высокую твердость и достаточную красностойкость. Повышение красностойкости при переходе от стали плавки 15 к плавке 7 следует объяснить влиянием углерода.

### Выводы

1. При одинаковой степени легированности литые вольфрамо-молибденовые быстрорежущие стали имеют более тонкую сетку карбидной эвтектики по сравнению с вольфрамовыми сталями.

2. Наилучшими твердостью и красностойкостью из данной серии плавок обладают стали с 2,0% W и 6,5% Mo (плавки 2 и 8), причем с повышением содержания углерода твердость и красностойкость повышаются.

3. В качестве малолегированных быстрорежущих сталей могут быть рекомендованы стали с 2,0W и 2,5% Mo. Эти стали при малой степени легированности имеют сравнительно высокие твердость и красностойкость.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Коссович. Новые инструментальные материалы, улучшающие стойкость режущего инструмента. М., 1965.
2. Г. А. Коссович, Ю. А. Геллер. Митом № 5, 1964.
3. Ю. А. Геллер. Митом № 7, 1965.
4. И. Т. Тихонов. Известия ТПИ, том 68, вып. II, 1951.