

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЛИТЫХ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

И. О. ХАЗАНОВ, Ю. М. ЛОЗИНСКИЙ, В. Ф. ЖИДОБИН

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

В настоящее время в отечественной и зарубежной литературе появляются работы, связанные с исследованием возможности применения сталей типа быстрорежущих для штампового инструмента. Особенно перспективным в этом отношении может быть применение подобных сталей для изготовления активных деталей горячевысадочных штампов в литом состоянии [1, 2]. Высокая теплостойкость быстрорежущих сталей, сочетающаяся с повышенной прочностью при высоких температурах, может быть использована при изготовлении пуансонов и матриц из этих сталей, у которых в процессе работы рабочие кромки испытывают большие удельные давления и разогреваются до высоких температур.

Однако существенным недостатком литых быстрорежущих сталей являются пониженные пластические свойства ( $\delta$ ,  $a_k$ ), обусловленные особенностями литой структуры и наличием в стали значительного количества карбидов.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния режимов отжига (температуры и времени выдержки), а также температуры последующей закалки и отпуска на структуру и свойства исследуемых сталей. В настоящей работе были исследованы стали следующего состава (табл. 1).

Выплавка стали производилась на высокочастотной установке в кислом тигле. Вес плавки 2 кг. Образцы отливались в металлические формы-трефы, которые обеспечивают получение отливок без наличия в них усадочных дефектов. При таком методе отливки образцов усадочная рыхлость концентрируется в среднем сечении фор-

Таблица 1

№ плавки	Химический состав, %			
	c	cr	v	w
1	0,31	2,36	0,21	7,77
2	0,47	3,85	2,30	9,50
3	0,70	3,68	1,13	9,06
4	1,00	4,26	1,90	9,09
5	0,33	4,09	1,27	19,96
6	0,47	3,60	1,13	17,97
7	0,66	4,09	1,50	17,15
8	1,02	3,73	1,06	17,15

\* В выполнении экспериментальной части работы принимала участие инженер Овчаренко Г. Н.

мы, а из здоровой части отливки отрезаются образцы для испытаний. Для уменьшения глубины обезуглероженного слоя на поверхности образцов при нагреве они засыпались мелкой стружкой из быстрорежущей стали. После отжига поверхность образцов обрабатывалась в размер, при этом исключалась полностью возможность наличия обезуглероженного слоя.

В литературе имеются рекомендации по выбору температур отжига быстрорежущих сталей, например, от  $790^{\circ}$  до  $900^{\circ}\text{C}$  [3, 4, 5]. Некоторые исследователи указывают на то, что твердость литой быстрорежущей стали снижается только после высокотемпературного нагрева, и рекомендуют для снижения твердости нагрев до  $1260\text{--}1280^{\circ}\text{C}$  в соляных ваннах с охлаждением на воздухе.

Н. Т. Гудцов и С. А. Казеев [7] показали, что длительной выдержкой литой быстрорежущей стали при температурах, близких к температуре закалки, можно очень сильно изменить ее структуру, приблизив к структуре ковальной стали. Ю. А. Геллер [8] указывает на то, что для предупреждения порчи теплостойкости, усиливающейся с повышением температуры отжига, вольфрамовые стали целесообразно отжигать не выше  $860^{\circ}\text{C}$ . Порча теплостойкости объясняется тем, что при повышении температуры и времени выдержки карбиды промежуточного типа, например,  $\text{M}_{23}\text{C}_6$ , превращаются в стабильные карбиды (например,  $\text{M}_6\text{C}$  или  $\text{MC}$ ). При нагреве под закалку эти карбиды не растворяются в аустените даже при очень высоких температурах, вследствие чего уменьшается его легированность [9].

Отжиг при сравнительно низком нагреве не растворяет первичные карбиды, но, вызывая коагуляцию, может улучшить структуру [8]. В настоящей работе для плавок 1—4 применялись следующие температуры отжига:  $1150$ ,  $1200$ ,  $1250^{\circ}\text{C}$ . Время выдержки при  $1150^{\circ}$  — 3 часа, а при  $1200^{\circ}$  и  $1250^{\circ}$  — 1, 3, 6 часов. Для плавок 5—8 применялись следующие температуры отжига:  $1200$ ,  $1250$ , и  $1280^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность выдержки при каждой температуре составляла 1, 3 и 6 часов. После высокотемпературного отжига производился дополнительный изотермический отжиг, стандартный для быстрорежущих сталей.

Как видно из табл. 2, литые стали исследованного состава имеют общую тенденцию к снижению твердости при повышении температуры отжига и при увеличении времени выдержки. Второй отжиг, следующий за высокотемпературным, по нормальному стандартному режиму для кованных сталей подобного состава приводит к некоторому дополнительному снижению твердости. Данные табл. 2 показывают, что при увеличении содержания углерода и легирующих элементов в стали твердость литой стали после стандартного отжига значительно выше твердости стали, отожженной по двойному режиму.

Как следует из сравнения твердости при различных выдержках при температуре высокой ступени, несмотря на существенное снижение ее при увеличении времени выдержки, повторный стандартный отжиг не дает такого же эффекта и твердость после повторного отжига изменяется с очень малыми колебаниями (до  $20\text{--}25\text{ НВ}$ ), преимущественно в сталях с повышенным содержанием углерода. Разница в твердости после стандартного и двойного отжига достигает  $70\text{ НВ}$  и более. Как показали исследования микроструктуры стали, отожженной только по стандартному режиму и по двойному режиму отжига, разница в микроструктурах замечается весьма существенная.

На рис. 1 представлена микрофотография структур стали плавки 7 в литом состоянии, отожженной только по стандартному режиму и отожженной по двойному режиму (нагрев до высокой температуры с выдержками от 1 до 6 часов, а затем стандартный отжиг с нагревом

Таблица 2

№ плавки	Твердость в литом состоянии, HRC	Режим 1 отжига, °С, часы	Твердость после 1 отжига, HB	Твердость после двойного отжига	Твердость после станд. отжига, HB
1	2	3	4	5	6
1	46	1150,3	229	167	192
		1200,1	229	170	
		1200,3	207	170	
		1200,6	182	163	
		1250,1	255	156	
		1250,3	187	162	
		1250,6	190	162	
2	35	1150,3	156	156	209
		1200,1	152	156	
		1200,3	152	151	
		1200,6	152	152	
		1250,1	149	147	
		1250,3	143	147	
		1250,6	148	150	
3	60	1150,3	187	174	229
		1200,1	178	179	
		1200,3	170	170	
		1200,6	170	158	
		1250,1	187	170	
		1250,3	167	162	
		1250,6	170	170	
4	56	1150,3	290	211	270
		1200,1	285	211	
		1200,3	290	197	
		1200,6	255	199	
		1250,1	260	207	
		1250,3	229	187	
		1250,6	229	197	
5	30	1200,1	217	217	341
		1200,3	217	217	
		1200,6	207	207	
		1250,1	217	222	
		1250,3	207	211	
		1250,6	200	200	
		1280,1	217	217	

## Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
6	36	1200,1	197	197	241
		1200,3	200	197	
		1200,6	187	192	
		1250,1	187	192	
		1250,3	177	187	
		1250,6	183	183	
		1280,1	192	197	
7	58	1200,1	241	229	302
		1200,3	217	211	
		1200,6	222	200	
		1250,1	241	207	
		1250,3	229	197	
		1250,6	187	179	
		1280,1	235	207	
8	59	1200,1	363	241	329
		1200,3	285	234	
		1200,6	229	211	
		1250,1	285	229	
		1250,3	241	217	
		1250,6	217	197	
		1230,1	302	222	

до 860°C, выдержка 3 часа, охлаждение до 750°C, выдержка 5 часов, а затем медленное охлаждение со скоростью 20—30°/час до 600°C с последующей выдочей на воздух).

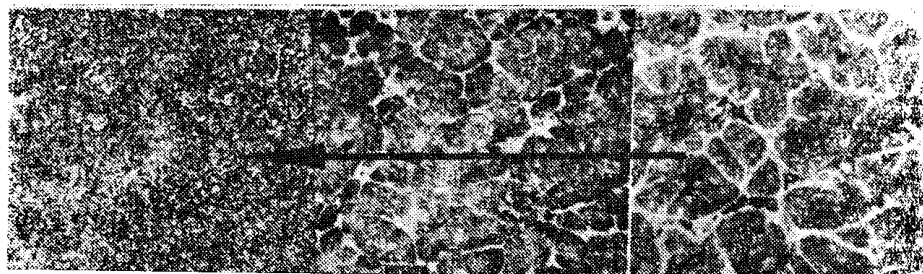


Рис. 1. X 340. Изменение структуры литой стали плавки 7 после стандартного и двойного отжига

Из микрофотографий (рис. 1) ясно видно, что стандартный отжиг весьма незначительно сказывается на микроструктуре литой стали. Основное влияние стандартного отжига сводится лишь к сфероидизации вторичных карбидов и диффузионному выравниванию состава твердого

раствора. Карбидная сетка после стандартного отжига остается практически неизменной, что при последующем нагреве под закалку снижает растворимость первичных карбидов в твердом растворе. Как видно из левой части микрофотографии на рис. 1, структура литой стали, отожженной по двойному режиму отжига, почти не имеет следов скелетной ориентации первичных карбидов. Структура имеет равномерное строение по составу, а карбиды полностью сфероидизированы. Подобная же

Таблица 3

№ плавки	Режим отжига (тем-ра в °С, время выдержки в час.)	Твердость HRC после отпуска при температуре, °С		
		580	610	640
4	а) стандартный отжиг	63	57	45
	б) двойной отжиг:			
	$t_1=1150, \tau=3$	63	58	53
	$t_1=1200, \tau=1$	63,5	60	56,5
	$t_1=1200, \tau=3$	63,5	60	53
	$t_1=1200, \tau=6$	62,5	58	54
	$t_1=1250, \tau=1$	63	59	55
	$t_1=1250, \tau=3$	63	61	57,5
	$t_1=1250, \tau=6$	63	58	54
5	а) стандартный отжиг	25	28	37
	б) двойной отжиг:			
	$t_1=1200, \tau=1$	27	32	36
	$t_1=1200, \tau=3$	29	43	40
	$t_1=1200, \tau=6$	25	35	37
	$t_1=1250, \tau=1$	23	30	39
	$t_1=1250, \tau=3$	27	34	39
	$t_1=1250, \tau=6$	27	41	39
	$t_1=1280, \tau=1$	26	34	36
8	а) стандартный отжиг	64,5	61,5	56
	б) двойной отжиг:			
	$t_1=1200, \tau=1$	65	62	55
	$t_1=1200, \tau=3$	64	61	57
	$t_1=1200, \tau=6$	58	54	49
	$t_1=1250, \tau=1$	62	56	49
	$t_1=1250, \tau=3$	60	54	48,5
	$t_1=1250, \tau=6$	58	53	48
	$t_1=1280, \tau=1$	63	61	54

микроструктура наблюдалась во всех плавках, отожженных по двойному режиму. Причем увеличение времени выдержки при высокой степени не улучшает микроструктуры стали. При увеличении выдержки при высокой температуре наблюдается значительное укрупнение карбидов, что не может улучшить механических свойств стали и ее красностойкости [8].

В табл. 3 приводятся результаты сравнения зависимости твердости литой, предварительно отожженной по стандартному режиму стали, а также отожженной по двойному режиму, а затем закаленной и отпущенной стали. Такие же данные приводятся и на графиках для плавки 1, 3 и 7 (рис. 2, 3, 4).

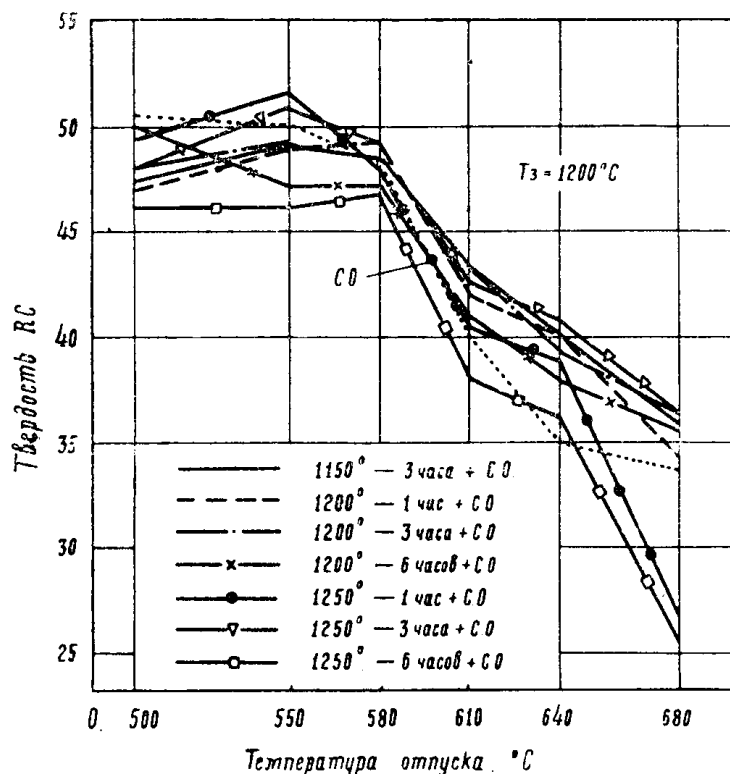


Рис. 2. Влияние температуры отпуска продолжительностью 1 час на твердость стали плавки 1, предварительно отожженной по указанным режимам (С. О. — стандартный отжиг)

Как видно из графиков и табл. 3, стали плавки 1, 3, 7 и 8 при увеличении времени выдержки при отжиге при температуре высокой степени получают склонность к снижению красностойкости после их окончательной термической обработки. Наиболее приемлемым для сталей этих плавки может быть принят двойной отжиг с кратковременной выдержкой (1 час) при первом высоком нагреве и последующим стандартным отжигом. Из графиков (стали плавки 1, 3, 7) и табл. 3 (стали плавки 4, 5) видно, что после одного стандартного отжига красностойкость литых сталей даже несколько снижается по сравнению с красностойкостью этих же сталей, предварительно отожженных по двойному режиму.

Исследование механических свойств сталей плавки 1, 3, 4, 7, 8, предварительно отожженных только по стандартному режиму отжига и по двойному режиму (табл. 4), показало, что применение предварительного двойного отжига для литых сталей состава, подобного плавкам 1, 3, 4, 7, 8, дает возможность несколько повысить их ударную вязкость и предел прочности. Прочность и ударная вязкость определялись в стали с твердостью 49—52 HRC, так как нами преследовалась цель использовать эти стали для изготовления горячевысадочного инструмента. Как видно из табл. 4, ударная вязкость и предел прочности стали, отожженной по двойному режиму, хотя и очень незначительно, но повысились по

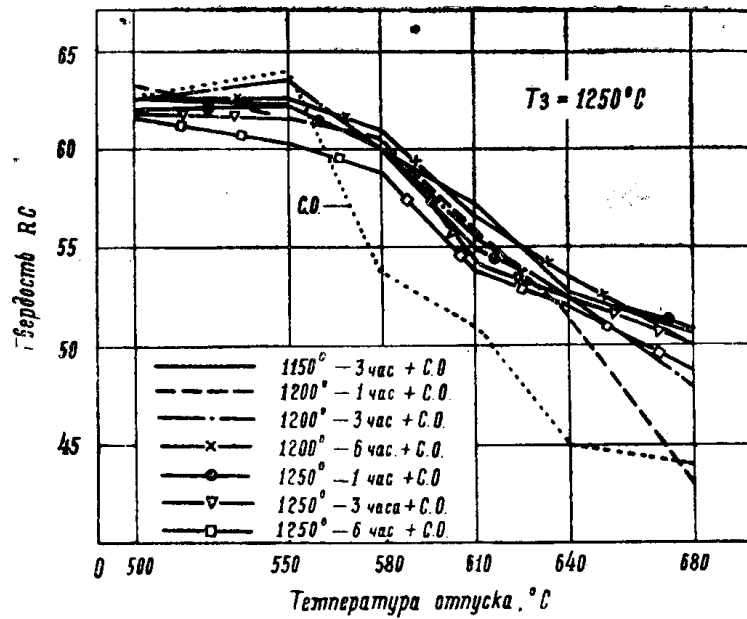


Рис. 3. Влияние температуры отпуска продолжительностью 1 час на твердость стали плавки 3, предварительно отожженной по указанным режимам (С. О. — стандартный отжиг)

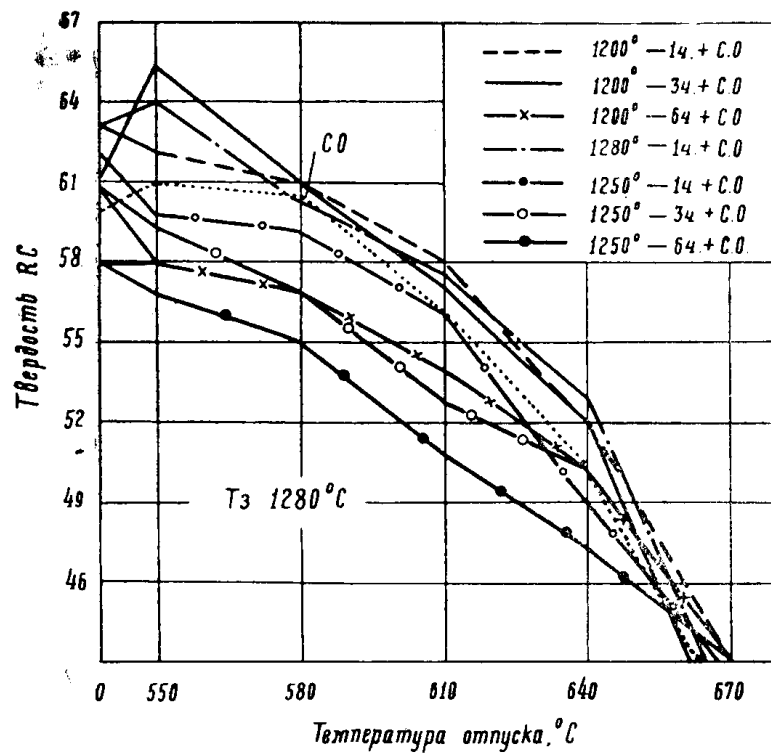


Рис. 4. Влияние температуры отпуска продолжительностью 1 час на твердость стали плавки 7, предварительно отожженной по указанным режимам. (С. О. — стандартный отжиг)

сравнению со сталью, отожженной по стандартному режиму. Испытания проводились для каждой точки на 5 образцах. Ударная вязкость определялась на стандартных образцах  $10 \times 10 \times 55$  мм с надрезом, предел прочности при растяжении — на образцах с диаметром рабочей части 6 мм.

Таблица 4

№ плавки	Режим отжига, в °С, в часах	Тем-ра закалки, °С	Тем-ра отпуска, °С	HRC	$\sigma_{в}$ , кг/мм <sup>2</sup>	Ак, кгм/см <sup>2</sup>
1	Стандартный	1200	550	50	165	1,22
	Двойной ( $t_1=1250$ , $\tau=3$ )	1200	560	50	185	1,70
3	Стандартный	1250	620	49	78	0,33
	Двойной ( $t_1=1150$ , $\tau=3$ )	1250	690	50	89	0,35
4	Стандартный	1200	620	52	82	0,24
	Двойной ( $t_1=1250$ , $\tau=3$ )	1200	690	52	86	0,35
7	Стандартный	1280	640	50	78	0,27
	Двойной ( $t_1=1250$ , $\tau=1$ )	1280	640	50	83	0,28
8	Стандартный	1240	660	49	75	0,21
	Двойной ( $t_1=1250$ , $\tau=1$ )	1240	660	49	79	0,24

Как следует из полученных в настоящей работе результатов, предварительный двойной отжиг литой стали повышает ее красностойкость и механические свойства. В настоящей работе подтвердились результаты, полученные ранее в работе Таничевой О. Н. [6] по определению влияния высокотемпературного отжига на красностойкость быстрорежущей стали. В нашем случае всякое повышение механических свойств литой стали еще более ценно, чем для кованой, так как литая быстрорежущая сталь по сравнению с кованой аналогичного состава имеет меньшую прочность и ударную вязкость.

Как показали производственные испытания прошивных пуансонов из стали плавки 1, для штамповки колец подшипников типа 304 и 208, их стойкость составила в среднем 55 тыс. вырубков, что значительно превышает стойкость аналогичного инструмента, изготовленного из кованой стали 3Х2В8.

Для определения эффективности использования сталей типа быстрорежущих для изготовления литых штампов горячего деформирования металлов целесообразно провести их стойкостные испытания. Наиболее перспективными для этой цели могут быть стали плавки 3, 5, 7.



## Выводы

Как показали результаты проведенных исследований, применение двойного отжига для литых быстрорежущих сталей имеет следующие преимущества перед стандартным отжигом:

- а) значительно снижается твердость стали (на 50—80 НВ);
- б) заметно повышается красностойкость стали, на 50°C и более в зависимости от состава стали;
- в) использование двойного отжига приводит к улучшению обрабатываемости литых заготовок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. А. Геллер. Современные штамповые стали для горячей штамповки, пресования и вытяжки. Материалы семинара по повышению стойкости штампов горячей и холодной штамповки. М., 1965.
2. В. Н. Сайкина. Новая технология термической обработки пуансонов из быстрорежущей стали. *Металловедение и термическая обработка*, № 5, 1964.
3. С. Г. Кооп. Термическая обработка быстрорежущей стали. *Металлургиздат*, 1956.
4. В. М. Доронин. Термическая обработка углеродистой и легированной стали. *Металлургиздат*, 1956.
5. А. П. Гуляев. Свойства и термическая обработка быстрорежущей стали. *Машгиз*, 1939.
6. О. Н. Таничева. *Металловедение и термическая обработка металлов*, № 9, 1964.
7. Н. Т. Гудцов, С. А. Казеев. К вопросу о природе быстрорежущей стали. *Металлургиздат*, 1930.
8. Ю. А. Геллер, Ю. И. Караванов. *Станки и инструмент*, № 7, 1960.
9. Э. Гудремон. *Специальные стали*, т. 2, 1960.