

Из выплавленных сталей отливались ножи торцевых фрезеров. Разливка каждой плавки производилась в металлические вращающиеся формы и в сухие земляные формы, изготовленные из обычных песчано-глинистых материалов.

Структура сталей

Поскольку структура литых быстрорежущих сталей подробно разобрана в опубликованных работах [1], ограничиваемся кратким описанием структур наших сталей в состоянии литья.

Структура литой быстрорежущей стали складывается из первичных дендритных образований и сетки карбидной эвтектики. Структура литых быстрорежущих сталей зависит от содержания в них углерода, а также от способа литья и отличается большим разнообразием. Кроме карбидной эвтектики, структуру литой быстрорежущей стали в ее основе могут составлять остаточный аустенит, мартенсит и продукты слабо легированного углеродом аустенита, распадающегося выше температур мартенситного превращения. Эти составляющие вследствие ликвационной неоднородности литых сталей могут одновременно присутствовать в различных частях дендритных образований. Кроме того, при литье в землю структура основы быстрорежущих сталей осложняется еще появлением вторичных карбидов, которые выделяются при охлаждении высоколегированного аустенита с высоких температур.

При литье в кокиль значительную долю первичных дендритных образований в сталях с невысоким содержанием углерода (плавки № 1 и 2) составляют продукты распада слаболегированного аустенита. С увеличением в сталях содержания углерода в основе начинает преобладать мартенситная структура (плавки № 4 и 5), которая при дальнейшем увеличении содержания углерода сменяется структурой остаточного аустенита с отдельными довольно крупными иглами мартенсита (плавка № 6). При еще большем содержании в стали углерода иглы мартенсита исчезают, и в основе остается только один остаточный аустенит (плавка № 7). Присутствия вторичных карбидов в структуре основы быстрорежущей стали при литье в кокиль не наблюдается.

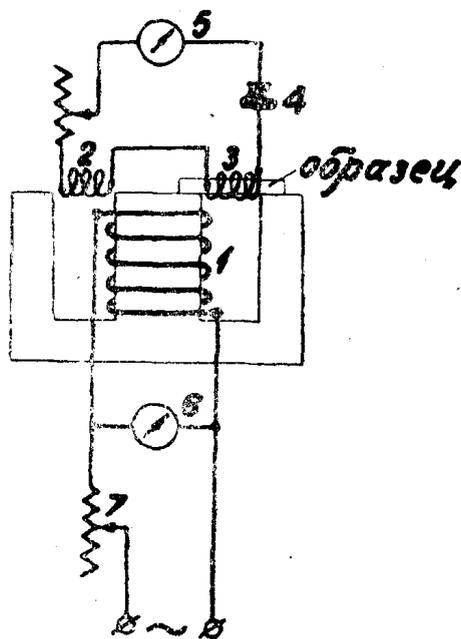
Количество карбидной эвтектики в структуре литой быстрорежущей стали заметно возрастает с увеличением в ней содержания углерода. При малых содержаниях углерода (плавки № 1 и 2) карбидная эвтектика в структуре сталей присутствует в виде тонкой разорванной сетки. При больших содержаниях углерода сетка карбидной эвтектики начинает занимать значительную долю литой структуры. При этом в случае литья в кокиль благодаря высоким скоростям охлаждения карбидная сетка сохраняет характерное эвтектическое строение.

Структура быстрорежущих сталей, отлитых в земляные формы, отличается прежде всего более крупными размерами первичных дендритных образований по сравнению с литьем в кокиль. Благодаря слиянию карбидов сетка утрачивает эвтектическое строение, и в ней происходит образование так называемых „скелетообразных“ форм. Структура основы стали при литье в землю осложняется, как было указано, выделением мелких вторичных карбидов, которые образуют в высокоуглеродистых плавках своеобразный сорбитоподобный фон. В чередовании преобладающих в основе сталей структур с возрастанием в них содержания углерода можно подметить закономерность, аналогичную указанной выше, только с некоторым сдвигом в сторону больших содержаний углерода по сравнению со сталями, литыми в кокиль.

Магнитные свойства и твердость сталей

Исследование магнитных свойств и твердости производилось в процессе последовательных часовых отпусков с температурами 100, 200, 300, 400, 500, 550, 575, 600, 625, 650, 675 и 700°C на образцах с размерами 2×20×30 мм, изготовленных при помощи шлифования с точностью ±0,02 мм. С целью предохранения от окисления при проведении отпусков образцы упаковывались в гильзы и засыпались стружкой. Для построения графиков использовались средние значения твердости от 2—4 измерений.

Измерения магнитных свойств производилось на приборе, принципиальная схема которого приведена на фиг. 1. Сердечник катушки 1, включаемой в сеть переменного тока, имеет Ш-образную форму. В месте разрезов сердечника располагаются две катушки 2 и 3, в которых индуктируется ток встречного направления. При введении образца в одну из катушек выпрямленный купроксом 4 ток вызывает отклонение стрелки гальванометра 5.



Фиг. 1

Исследование образцов производилось за пределами их магнитного насыщения. Напряжение на первичной катушке 1 контролировалось вольтметром 6 и регулировалось на постоянную величину реостатом 7. Измерение магнитных свойств на приборе переменного тока не может претендовать на большую точность, поэтому характеристика магнитных свойств исследуемых сталей нами дается в показаниях прибора без указания процентных количеств магнитной и немагнитной составляющих.

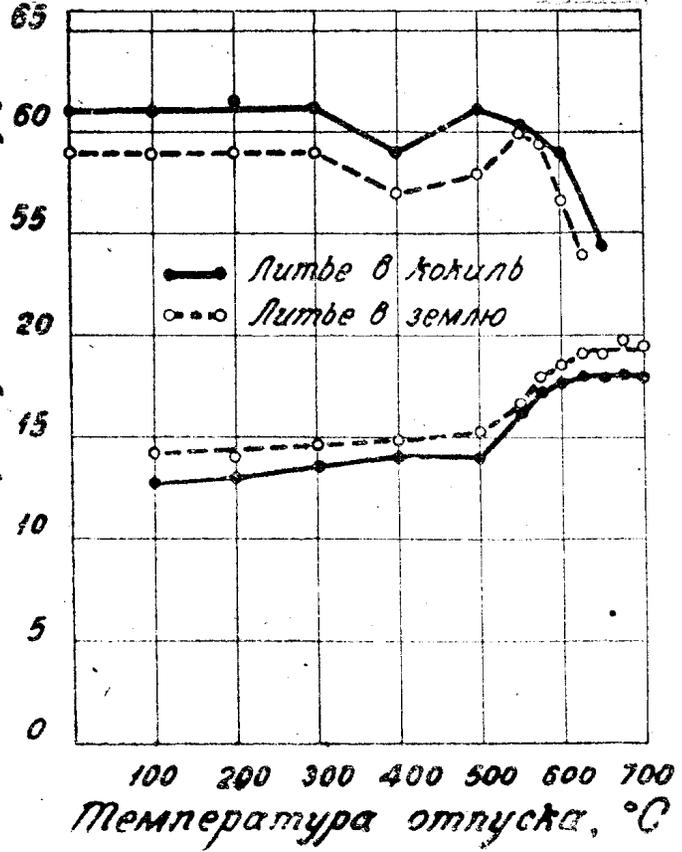
Результаты проведенных исследований изменения твердости и магнитных свойств в процессе последовательных отпусков даны на фиг. 2—8. Обобщение этих результатов дается на графиках фиг. 9, где показано изменение свойств

исследуемых сталей в зависимости от содержания в них углерода.

Кривые графика *a* (фиг. 9) дают изменение исходной твердости сталей в зависимости от содержания в них углерода при литье в кокиль и в землю. Обе кривые имеют явно выраженный максимум. Снижение твердости литых сталей при малых содержаниях углерода связано с присутствием в их структуре участков с сравнительно низкой твердостью. Наличие этих участков отмечалось нами при описании структур. Эти участки представляют собой продукты распада слабо легированного углеродом аустенита, который получается при малых содержаниях в сталях углерода в центральных зонах дендритных образований и распадается выше температур мартенситного превращения. С увеличением содержания углерода легированность аустенита возрастает, и твердость литых сталей повышается. Но, с другой стороны, вместе с увеличением легированности аустенита углеродом в структуре литых сталей возрастает количество остаточного аустенита. Это приводит, в свою очередь, к снижению твердости литых сталей при больших содержаниях в них углерода. Возрастание количества остаточного аустенита с увеличением в сталях содержания углерода показывают также кривые изменения магнитных свойств на графике *e* (фиг. 9).

Магнитные свойства
в показаниях прибора, мв. Твердость, Rc

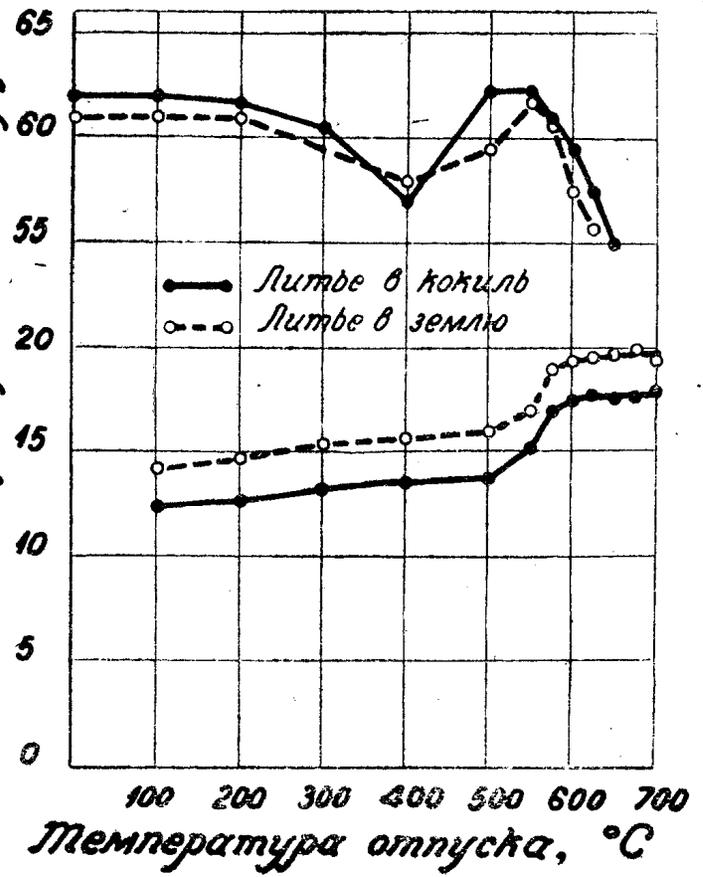
Плавка 1.



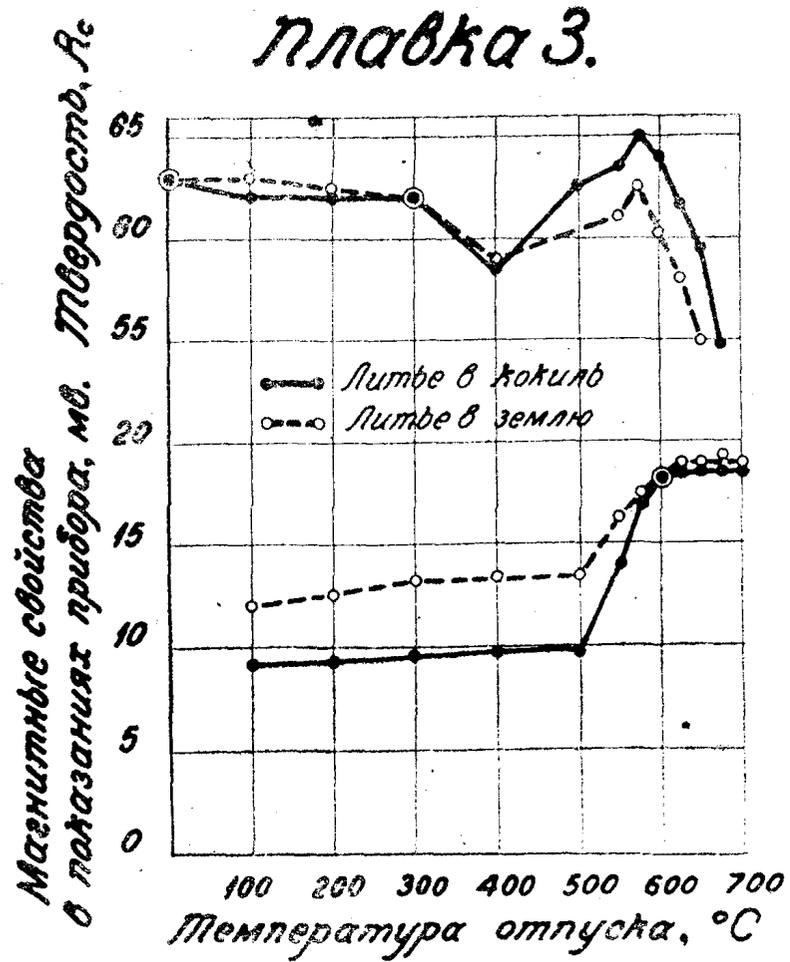
Фиг. 2

Магнитные свойства
в показаниях прибора, мв. Твердость, Rc

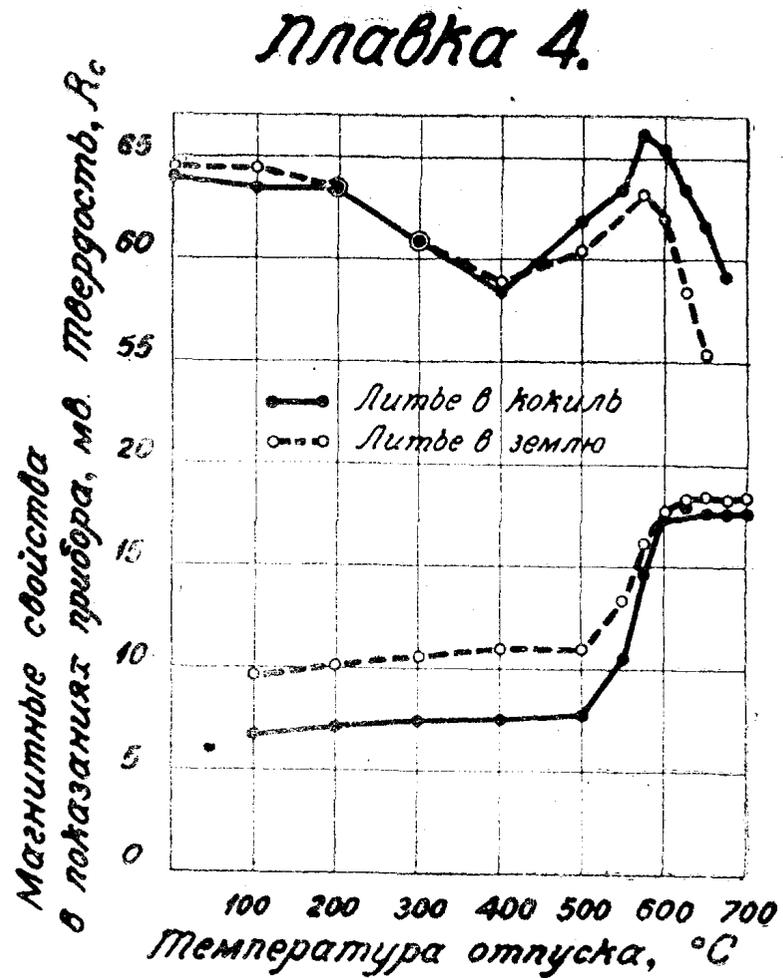
Плавка 2.



Фиг. 3

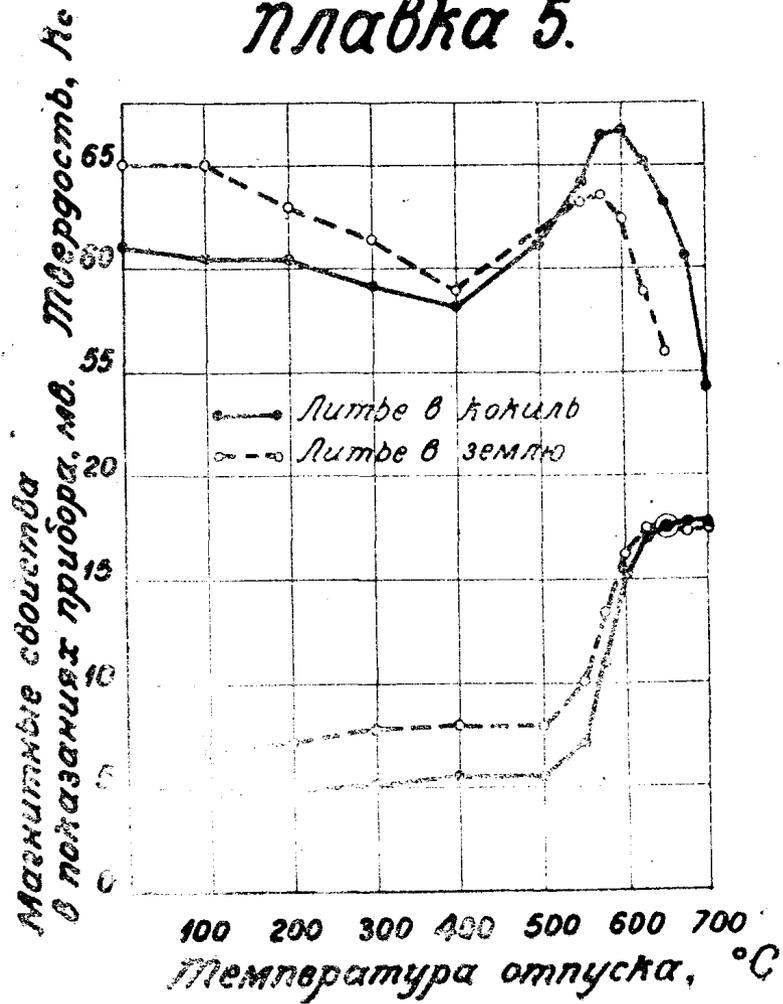


Фиг. 4



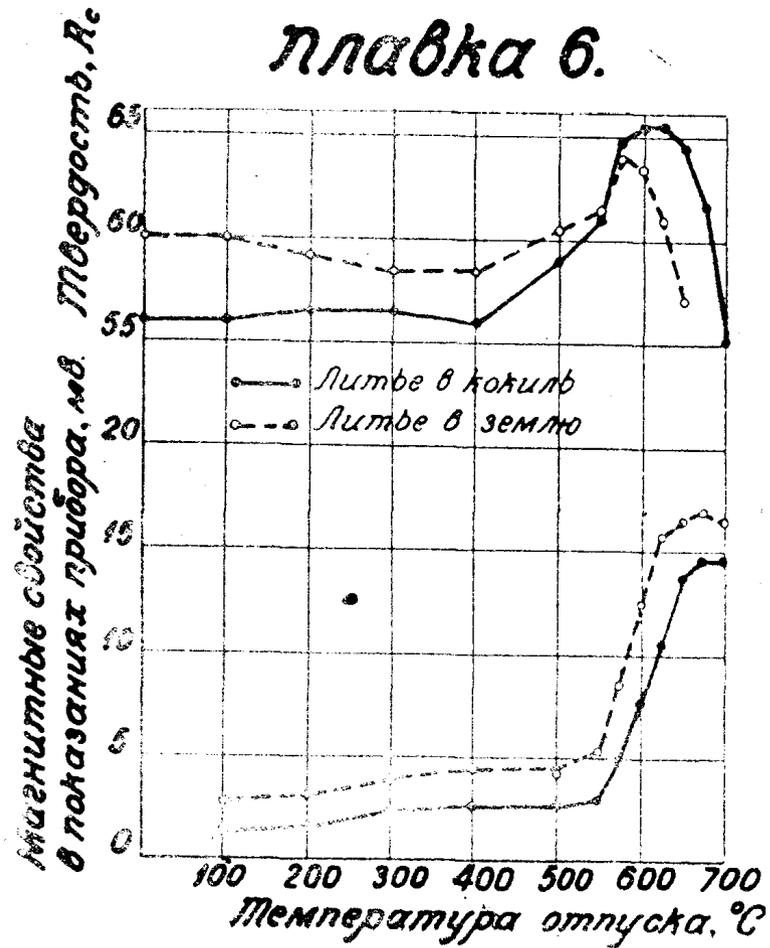
Фиг.

плавка 5.



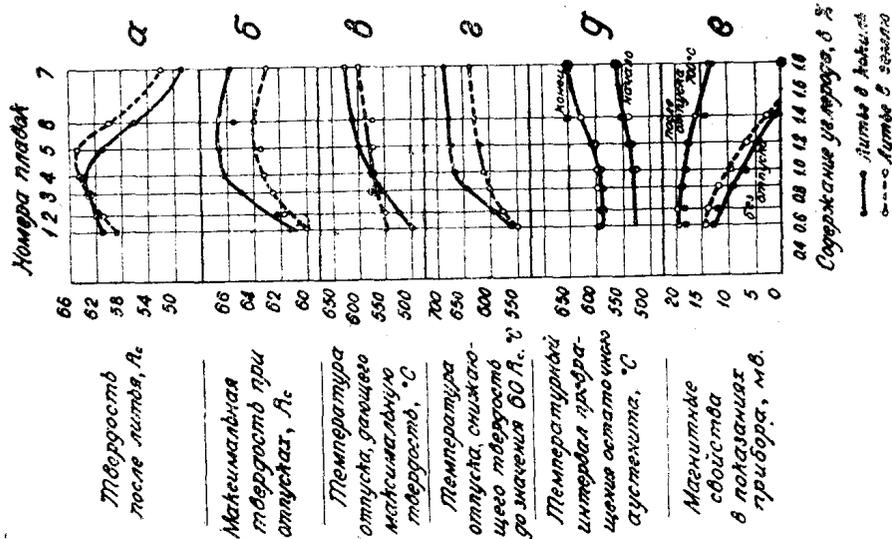
Фиг. 6

плавка 6.



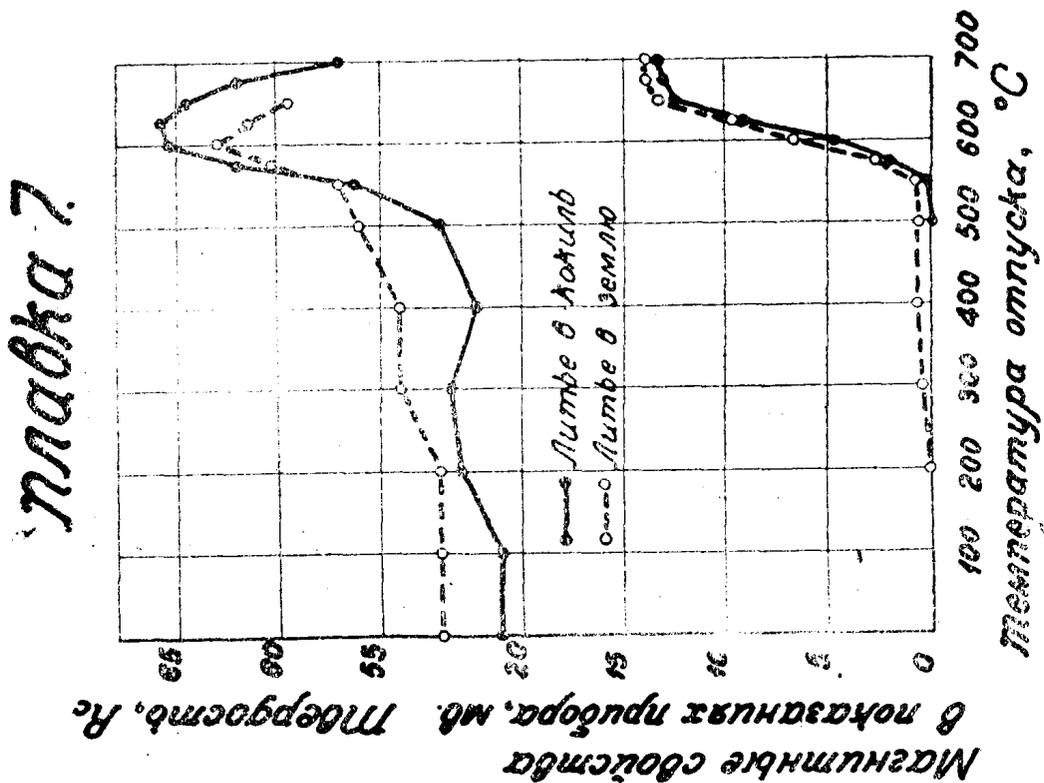
Фиг. 7

График б (фиг. 9) дает зависимость максимальной твердости, достигаемой в интервале температур 500—625°C в процессе последовательных



Фиг. 9

отпусков, от содержания в сталях углерода. График в дает соответственно изменение температуры отпуска, дающего максимальную твердость.



Фиг. 8

При отпусках с температурами выше 500°C в литых быстрорежущих сталях вследствие неоднородности их структуры, обусловливаемой ликвацией, одновременно могут протекать процессы, приводящие как к повышению, так и к снижению ее твердости. В то время как в одних участках литой структуры будет происходить превращение остаточного аусте-

нита в мартенсит, сопровождающееся возрастанием твердости, в других, менее легированных участках могут протекать процессы распада уже образовавшегося мартенсита и укрупнения карбидов, приводящие к снижению твердости. Сначала с увеличением в сталях содержания углерода при отпуске возрастает роль процесса превращения остаточного аустенита в мартенсит, и значение максимальной твердости повышается. Но, с другой стороны, увеличение степени легированности аустенита, как показывает ход кривых на графике *в*, требует более высокой температуры отпуска для его превращения в мартенсит. При этом увеличивается скорость распада мартенсита в менее легированных участках, и, после достижения максимума, кривая наивысшей твердости, получаемой при последовательных отпусках, при дальнейшем увеличении в сталях содержания углерода начинает постепенно снижаться.

Одной из важнейших характеристик быстрорежущих сталей, как материала для изготовления режущих инструментов, является красностойкость. В наших опытах красностойкость исследуемых сталей можно характеризовать значением температуры, при которой кривая изменения твердости в конце последовательных отпусков (фиг. 2—8) снижается до значения $60R_c$. Изменение красностойкости в зависимости от содержания в сталях углерода иллюстрирует график *з* (фиг. 9). При увеличении содержания углерода примерно до 1,0—1,1% наблюдается значительное возрастание красностойкости. При дальнейшем увеличении содержания углерода красностойкость продолжает расти, но значительно медленнее. Такой ход кривых изменения красностойкости, повидимому, связан с тем, что при содержании углерода более 1,0—1,1% исчерпываются возможности легирующих элементов с большой карбидообразующей способностью и в процессе карбидообразования возрастает роль элементов, образующих менее стойкие карбиды. График *з* (фиг. 9) позволяет отметить также значительно более высокую красностойкость сталей, отлитых в кокиль, по сравнению со сталями, отлитыми в землю. Более низкая красностойкость сталей, отлитых в землю, может быть объяснена тем, что в условиях замедленного охлаждения отливки происходит выделение из аустенита вторичных карбидов. Это облегчает процесс укрупнения карбидов при отпуске и приводит к более быстрому снижению твердости. Повидимому, этим же можно объяснить меньшее значение максимальной твердости в процессе последовательных отпусков сталей, отлитых в землю, на графике *б*.

График *д* (фиг. 9) показывает изменение значения температур начала и конца превращения остаточного аустенита в процессе последовательных стпусков в зависимости от содержания в сталях углерода. График *е* дает изменение магнитных свойств сталей в литом состоянии и после последнего отпуска с температурой 700°C. Уменьшение магнитных свойств с увеличением в сталях содержания углерода после последнего отпуска, приводящего практически к полному распаду остаточного аустенита во всех сталях, связано с увеличением в них количеств карбидной фазы.

Выводы

1. Исследование структур литых сталей подтверждает значительные преимущества литья в кокиль. Стали, отлитые в кокиль, имеют мелкозернистую структуру, и в строении карбидной эвтектики даже при больших содержаниях углерода не наблюдается образования „скелетообразных“ форм. Вместе с этим стали, отлитые в кокиль, обладают более высокой красностойкостью и более высокими твердостями после отпуска. Таким образом, кокильное литье, помимо обычных преимуществ при изготовлении литых режущих инструментов, обладает еще и особыми специфическими преимуществами.

2. При соответствующем подборе содержания углерода в сталях можно получить литой инструмент с достаточно высокой твердостью без дополнительной термической обработки, на что также указывали в своей работе Пенский и Разуваева [2]. Однако, поскольку при этом в структуре литой быстрорежущей стали имеется значительное количество остаточного аустенита (фиг. 5 и 6), отказ от операций отпуска следует признать нецелесообразным.

3. С увеличением в литых быстрорежущих сталях содержания углерода возрастает их красностойкость. При этом значительное возрастание красностойкости наблюдается лишь до определенных пределов содержания углерода. Учитывая, что с увеличением содержания углерода возрастает также хрупкость литых быстрорежущих сталей, целесообразно повышать содержание углерода лишь в этих пределах, дающих значительный прирост красностойкости. Из этих соображений для литых быстрорежущих сталей состава ЭИ-262 можно рекомендовать содержание углерода 1,0—1,1%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. А. Лебедев и И. А. Ревис.—Структура и свойства литого инструмента из быстрорежущей стали, Машгиз, 1949.
2. А. П. Пенский и З. Л. Разуваева.—Литой инструмент, не требующий термической обработки, Машгиз, 1946.