

ЛИТЫЕ КОБАЛЬТОВЫЕ БЫСТРОРЕЖУЩИЕ СТАЛИ

Н. Д. ТЮТЁВА

При подборе рационального состава быстрорежущей стали приходится увязывать хорошие режущие свойства с возможностью подвергать сталь ковке и обрабатывать резанием. При этом приходится жертвовать режущими свойствами в пользу хорошей обрабатываемости. Известно, например, что повышение содержания углерода в быстрорежущей стали весьма благоприятно влияет на стойкость инструмента, но ухудшает ковкость и увеличивает твердость после отжига. Введение в сталь некоторых других элементов оказывает такое же действие на сталь. Технология изготовления литого инструмента много проще и дешевле технологии изготовления кованого, именно:

„При установившейся в настоящее время технологии процесс изготовления инструмента из кованой быстрорежущей стали является весьма длительным и трудоемким.

Элементы этого процесса:

- а) выплавка стали и разливка ее в слитки;
- б) отжиг слитков;
- в) обдирка слитков;
- г) ковка слитков на заготовку;
- д) отжиг кованой заготовки;
- е) механическая обработка инструмента;
- ж) закалка и отпуск инструмента;
- з) шлифовка, заточка инструмента.

Приведенный перечень технологических операций говорит о сложности процесса изготовления инструмента из кованой заготовки, требующего участия ряда цехов и загрузки дефицитного оборудования и агрегатов. Одновременно нужно иметь в виду, что изготовление инструмента из кованой заготовки сопровождается большим количеством отходов быстрорежущей стали. Например, при ковке слитка на заготовку отходы составляют не менее 35—40% веса слитка. Если же считать потери стали от слитка к готовому инструменту, то они достигают 70—75% от исходного веса слитка. Таким образом, в инструментальном производстве образуется большое количество отходов быстрорежущей стали в виде обрубков—при ковке; стружки—при механической обработке; в виде заготовок, забракованных при механической и термической обработке инструмента, а также в виде ломаного и изношенного инструмента. Использование этих отходов, в особенности стружки, невелико и последняя на большинстве заводов лежит мертвым грузом. Кроме того, создание требуемой геометрии инструмента при изготовлении его из кованой заготовки связано со сложной механической обработкой, выполняемой на разнообразных станках. Сокращение задолженности станков при изготовлении инструмента позволит сэкономить значительное количество труда и средств.

Чтобы оценить значение этой проблемы, достаточно указать, что по данным второй Всесоюзной конференции инструментальщиков парк стан-

ков инструментального производства определяется в количестве 20% от общего парка станков машиностроительной промышленности. Из изложенного следует, что вопрос коренной рационализации инструментального производства имеет большую актуальность и нуждается в скорейшем разрешении.

Ряд указанных выше вопросов находит свое разрешение при изготовлении режущего инструмента путем отливки его в форму. При этом некоторые операции, неизбежные в случае применения ковеной заготовки, совершенно исключаются [1].

Процесс изготовления литого инструмента по принятой нами технологии заключается в следующем:

- а) выплавка стали и заливка,
- б) термическая обработка—отпуск,
- в) шлифовка, заточка.

„По сравнению с процессом изготовления инструмента из ковеной заготовки здесь исключаются операции отжига слитков, обдирка их перед ковкой, ковка слитков на заготовку, сокращается объем механической обработки. Таким образом, разгружается дефицитное оборудование, сокращаются затраты труда, уменьшаются отходы быстрорежущей стали, благодаря значительному уменьшению припусков на механическую обработку, и весь технологический цикл изготовления инструмента сокращается“ [1].

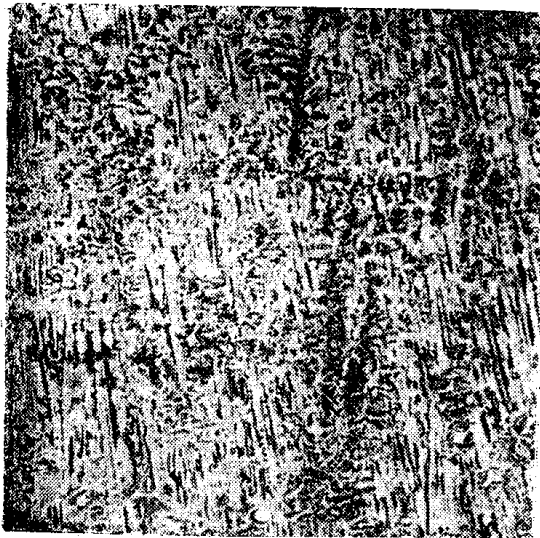
Все эти соображения привели к мысли об изготовлении инструмента путем отливки.

При изготовлении инструмента литьем представляется возможность произвольно менять химический состав литой стали, повышая содержание

углерода или вводя такие дополнительные легирующие элементы, как кобальт, бор, молибден или увеличивая количество вольфрама.

В первых плавках мы пытались повышать содержание углерода, вводя в тигель графит в различных количествах. Графит в порошке упаковывался в конверт из жести и в таком виде вносился в тигель. Легировать сталь углеродом таким способом не удалось. Химическим анализом плавов не обнаружено повышения содержания углерода в плавках, легированных графитом.

Второй способ легирования углеродом предложен профессором А. Н. Добровидовым. По этому способу содержание углерода повышается за счет прибавления в шихту чугуна, специально выплавленного для этой цели.



Фиг. 1

Изготовление синтетического чугуна: отходы быстрорежущей стали укладывались в тигель попеременно с электродным боем. После расплавления сталь перемешивалась угольным электродом в течение 20 минут. В результате получили очень хрупкие белые чугуны с содержанием углерода от 3,8 до 5,0%. Микроструктура синтетического чугуна представлена на фиг. 1.

Легирование кобальтом осуществлялось добавлением в шихту 5, 10, 15% кобальта.

Таблица 1

Химический состав плавков в процентах

| № плавки | C | W | Cr | Y | Co |
|----------|------|-------|------|------|-------|
| 1 | 0,76 | 17,95 | 3,18 | 1,02 | 15,00 |
| 2 | 0,78 | 15,95 | 3,60 | 1,15 | 3,00 |
| 3 | 0,75 | 16,73 | 3,80 | 1,08 | 5,00 |
| 4 | 0,76 | 15,95 | 3,52 | 1,07 | 10,00 |
| 5 | 0,76 | 14,68 | 3,28 | 1,00 | 15,00 |
| 6 | 0,77 | 16,84 | 3,71 | 1,10 | 5,00 |
| 7 | 0,80 | 17,00 | 3,60 | 1,00 | 10,00 |
| 8 | 1,21 | 22,00 | 3,60 | 1,00 | 10,00 |
| 9 | 1,40 | 24,00 | 3,60 | 1,00 | 10,00 |
| 10 | 1,22 | 17,00 | 3,60 | 1,00 | 10,00 |

Влияние кобальта на свойства быстрорежущей стали

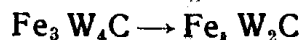
На основании работ, изучающих влияние кобальта на свойства быстрорежущей стали, можно сказать следующее: кобальт повышает температуру отпуска быстрорежущей стали, например, после отпуска при 700° в стали с 15,65% кобальта, как указывает академик Гудцов [2], значения твердости соответствуют $R_c = 61-62$ против $R_c = 54$ для стали без кобальта. Кобальт понижает устойчивость аустенита в сталях с содержанием кобальта более 9%. Это объясняется тем, что „кобальт сильно повышает скорость перемещения атомов углерода в кристаллических решетках аустенита“ [2]. Кобальт вызывает процесс дисперсионного твердения α -фазы, идущего особенно интенсивно в феррите, легированном кобальтом.

Повышение красностойкости быстрорежущей стали под влиянием кобальта общеизвестно. Повышение красностойкости тем более эффективно, чем выше температура закалки. Кобальт дает с железом твердые растворы замещения.

„Измерение периода решетки α -фазы показало, что по мере увеличения содержания кобальта период решетки уменьшается (с 2,8665 до 2,8650 ангстрем), что указывает на замещение атомов железа атомами кобальта“ [2].

„Химический анализ карбидного осадка отожженной стали обнаружил присутствие кобальта в карбиде. В присутствии кобальта происходит процесс обеднения карбида вольфрамом и обогащения вольфрамом твердого раствора (аустенита).

Ход процесса:



Можно предполагать, что часть атомов железа в карбиде будет замещена атомами кобальта“ [2].

Следовательно, кобальт увеличивает растворимость карбидов в аустените. Академик Гудцов и инж. Гельфанд [2] делают следующие выводы из своей работы:

1. Кобальт способствует более выгодному перераспределению вольфрама в стали, уменьшая его концентрацию в избыточном карбиде и увеличивая в α -фазе, чем повышает легированность мартенсита вольфрамом. С этим, вероятно, связано значительное увеличение растворимости карбидов в аустените.

Большая легированность мартенсита вольфрамом и является, очевидно, причиной повышенной красностойкости кобальтовой быстрорежущей стали.

2. Обнаруженное уменьшение в присутствии кобальта параметра решетки α -фазы (мартенсита) должно затруднить выделение из α -раствора карбидов. Учитывая, однако, что изменение параметра относительно невелико, этому факту следует придать второстепенное значение.

3. Повышение красностойкости кобальтовой стали частично может быть объяснено также и тем, что в присутствии кобальта большее развитие получает процесс дисперсионного твердения α -фазы, приводящий к повышению твердости.

Термическая обработка ножей торцевых фрез

Термическая обработка литых ножей заключалась только в отпуске. Предполагается, что ножи получали закалку в процессе охлаждения в кокиле. Результаты изменения твердости по Роквеллу при трехкратном отпуске с различных температур даны в табл. 2.

Таблица 2

Твердость по Роквеллу (R_c) ножей торцевых фрез после трехкратного отпуска по часу

| № плавки | Первый отпуск $t=560^\circ\text{C}$ | Второй отпуск $t=570^\circ\text{C}$ | Третий отпуск $t=580^\circ\text{C}$ |
|----------|--|--|--|
| 1 | 66 | 67 | 67 |
| 2 | 62 | 65 | 66 |
| 3 | 63 | 65 | 66 |
| 4 | 67 | 67 | 66 |
| 5 | 65 | 67 | 68 |
| 6 | 63 | 66 | 66 |
| 7 | 67 | 68 | 64,5 |

Примечание: После первого отпуска ножи охлаждались на воздухе, после второго и третьего—охлаждение вместе с печью.

Твердость ножей торцевых фрез после трехкратного отпуска по часу.

I отпуск 580° охлаждение на воздухе,

II отпуск 600° охлаждение на воздухе,

III отпуск 620° охлаждение вместе с печью.

Для повышения вязкости ножам был дан более высокий отпуск (см. табл. 4).

После отпуска с $t=645^\circ$ ножи плавки № 5 дали максимальную стойкость, что объясняется повышением вязкости кобальтовой стали при отпуске с $t=645^\circ$. При испытании ножей той же плавки после отпуска с $t=580^\circ$ ножи характеризовались повышенной хрупкостью.

Таблица 3

Значения твердости после
III отпуска с $t=620^\circ$

| № плавков | Твердость по Роквеллу R_c |
|-----------|-----------------------------------|
| 1 | 67 |
| 2 | 65 |
| 3 | 66 |
| 4 | 66 |
| 5 | 67 |
| 6 | 67 |
| 7 | 68 |
| 8 | 66 |

Таблица 4

Твердость по Роквеллу ножей торцевых фрез после пятикратного
отпуска по часу

| № плавков | I отпуск 600° | II отпуск 610° | III отпуск 620° | IV отпуск 640° | V отпуск 645° |
|-----------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | 67 | 67 | 67 | 65 | — |
| 2 | 67 | 68 | 67 | 63 | — |
| 3 | 66 | 66 | 66 | 64 | 64 |
| 4 | 67 | 67 | 68 | 64 | 63,5 |
| 5 | 67 | 67 | 67 | 65 | 65 |

Результаты испытаний ножей

Испытанию подвергались восемь различных марок кобальтовых литых сталей. Стойкость литых ножей сравнивалась со стойкостью ковanej быстрорежущей стали (РФ-1) с твердостью $R_c = 65$.

Испытание ножей торцевых фрез было проведено по стали ШХ-15 с твердостью $H_s = 200$ при глубине резания 3 мм и подаче 0,274 мм/об.

Геометрия режущих элементов была следующей: углы в продольной плоскости (параллельной оси фрезы)

передний угол $\gamma_1 = +10^\circ$,

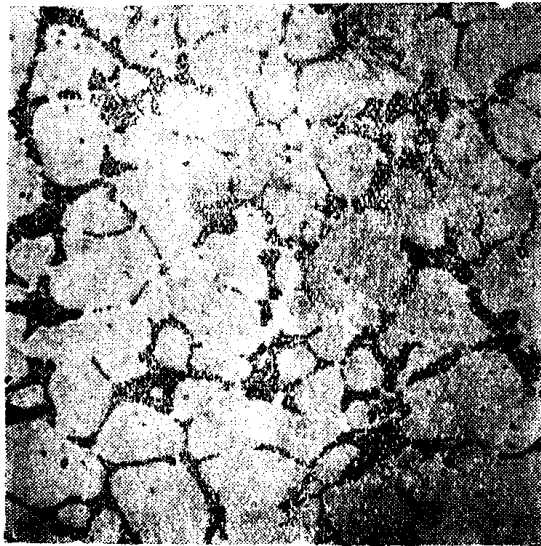
задний угол $\alpha_1 = +13^\circ$.

Углы в поперечной плоскости (перпендикулярной оси фрезы):

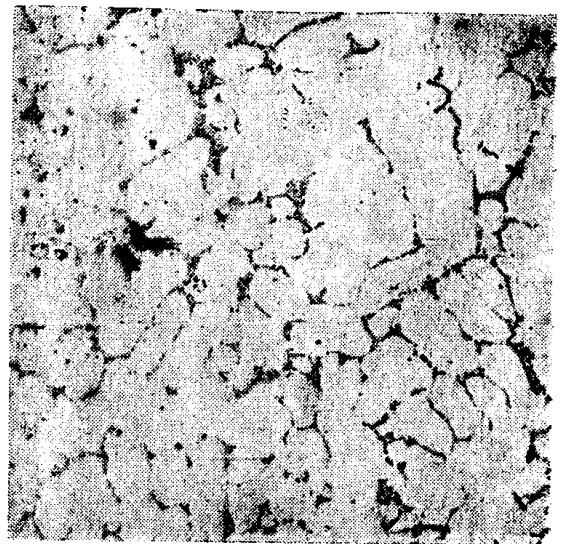
передний угол $\gamma_2 = +10^\circ$,

задний угол $\alpha_2 = +10^\circ$.

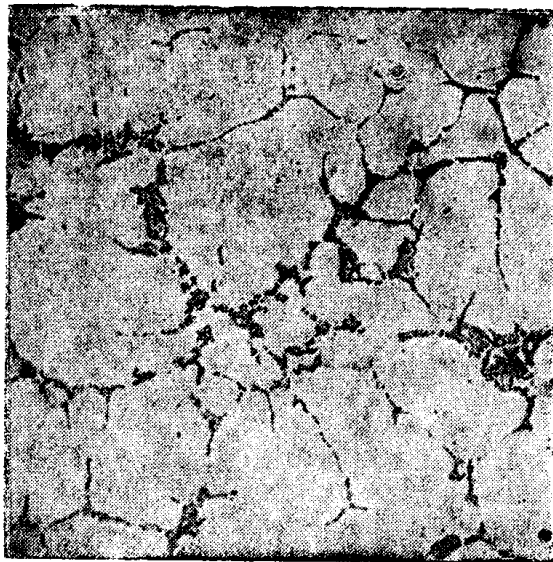
Испытания дали следующее соотношение стойкости при одинаковых скоростях резания (см. табл. 4).



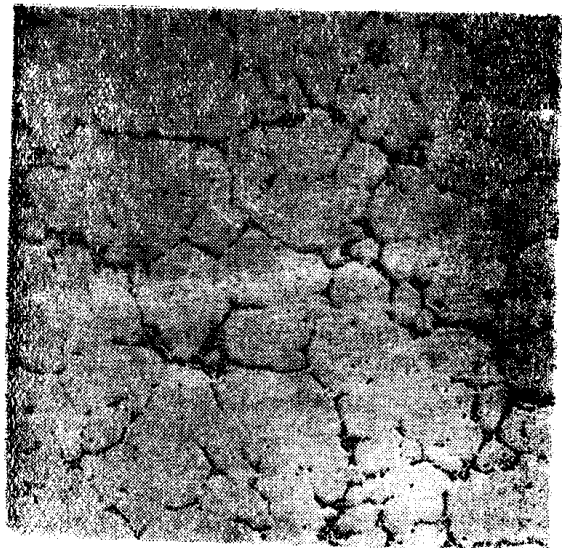
Фиг. 2



Фиг. 3

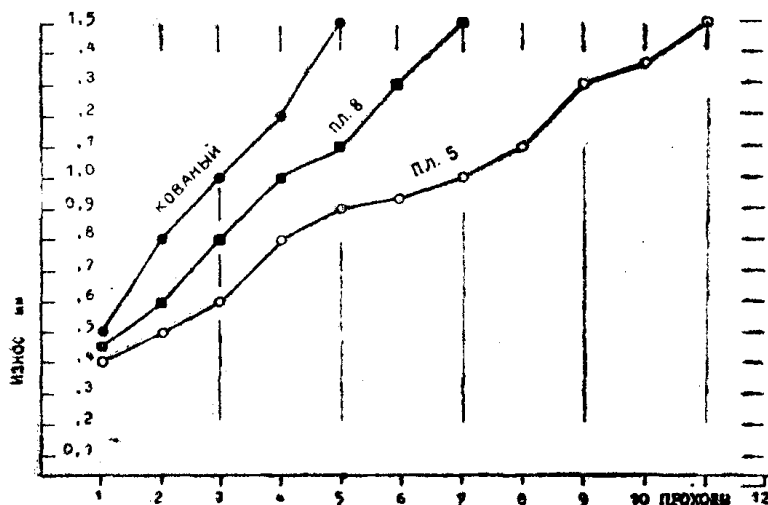


Фиг. 4



Фиг. 5

Таким образом, испытание литого инструмента показало, что можно создать литой инструмент не только не уступающим по стойкости кованому,



Фиг. 6

но и значительно его превосходящим (см. график испытаний фиг. 6, сводную таблицу испытаний 6 и 5).

Таблица 5

| Резец | Стойкость в % |
|---------|---------------|
| Кованый | 100 |
| № 1 | 120 |
| № 5 | 220 |
| № 6 | 120 |
| № 8 | 140 |

Анализ микроструктуры

Микроструктура после литья (охлаждение после отливки в металлические формы заменяет операцию закалки)—первичные карбиды в виде ледебуритного кружева очень тонкого строения. На фиг. 2—структура стали плавки № 8 непосредственно после литья. Микроструктура после отпуска: ледебуритная эвтектика достаточно тонкого строения и вторичные карбиды (см. фиг. 3, 4, 5).

Таблица 6

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА
испытаний ножей торцевых фрез некоторых плавок.

Обрабатываемый материал — сталь ШХ-15. Глубина резания 3 мм. Число оборотов $n = 48$ об/мин.

| № плавки | Температура отпуска | R_c | ШХ-15 H_v | Диаметр фрезы в мм. | Износ лезвия за один проход (в течение 8 минут) | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------------|-------|----------------|---------------------|---|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1 | 580° | 67,5 | 200 | 165 | 0,5 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | — | — | — | — | — |
| | 620° | | 187 | 166 | 0,5 | 0,7 | 1,3 | 1,5 | — | — | — | — | — | — | — |
| | 640° | | 187 | 164 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,5 | — | — | — | — | — |
| 5 | 580° | 68,5 | 187 | 165 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 0,93 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,35 | 1,5 |
| | 620° | | | 165 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,05 | 1,1 | 1,3 | 1,4 | 1,55 |
| | 640° | | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 6 | 580° | 64 | 199 | — | 0,7 | 0,8 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | — | — | — | — | — | — |
| | 620° | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 640° | | 187 | 168 | 0,6 | 0,8 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | — | — | — | — | — | — |
| 8 | 580° | 65,5 | 199 | 168 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,5 | — | — | — | — | — |
| | 620° | | 187 | 168 | 0,45 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | — | — | — | — |
| | 640° | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Кованый нож | | 65 | 200 | 168 | 0,45 | 0,7 | 1,0 | 1,3 | 1,7 | — | — | — | — | — | — |
| | | 65 | 187 | 168 | 0,5 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,5 | — | — | — | — | — | — |

Выводы

1. В процессе испытаний резанием подобран режим термической обработки (отпуска). Оптимальная температура отпуска 640—650°.
2. Данными испытаний определено: образцы после термообработки должны иметь твердость не выше 65—66 по Роквеллу (шкала С).
3. Наивысшую стойкость показали ножи плавки № 5 (0,76% С, 14,68% W, 3,28% Cr, 1,0% V, 15% Co).
4. Химический состав плавки № 5 можно считать оптимальным для кобальтовой литой стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ревис И., Кватер И. и др.—Литой инструмент, Машгиз, 1945.
2. Гудцов Н. Т., Гельфандт К. М.—Влияние кобальта на свойства быстрорежущих сталей, Изв. АН СССР, вып. 1, 1947.