

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ
С МОЛИБДЕНОМ В ЛИТОМ СОСТОЯНИИ**

И. О. ХАЗАНОВ, В. Ф. ЖИДОБИН

(Представлена профессором А. Н. Добровидовым)

Необходимость изучения свойств инструментальных сталей в литом состоянии обусловлена постоянно увеличивающимся объемом использования в промышленности литого инструмента. С технико-экономической точки зрения литой инструмент обладает по сравнению с инструментом, изготовленным из кованных заготовок, целым рядом преимуществ:

- 1) меньшая стоимость материала и возможность использования отходов инструментальных сталей внутри предприятия;
- 2) возможность подшихтовки стали с целью изменения ее химического состава, а, следовательно, и свойств в желаемом направлении;
- 3) возможность изготовления деталей самой сложной конфигурации, которая трудно достижима при механической обработке;
- 4) повышенная в ряде случаев стойкость.

Стали для горячих штампов должны обладать достаточной стабильностью формы, высокой износостойкостью при повышенных температурах и термостойкостью. Увеличение износостойкости при нагреве возможно за счет повышения устойчивости против отпуска и прочностных характеристик при нагреве, а также в результате увеличения количества избыточных карбидов [1]. Но так как эти стали должны обладать достаточной вязкостью, указанный выше путь может быть использован только в исключительных случаях. В связи с этим возникает вопрос, какие же возможности предоставляются техникой легирования (без увеличения содержания углерода) для повышения формоустойчивости и, в связи с этим, износостойкости инструмента при нагреве. Известно, что сталь с 0,3—0,4% углерода и 2% хрома при содержании вольфрама 8—10% очень чувствительна к термическим ударам и легко растрескивается, поэтому инструменты, изготовленные из такой стали, быстрее выходят из строя из-за образования глубоких трещин, чем из-за потери размеров вследствие износа [2]. Повысить сопротивление стали термическим ударам можно при легировании ее молибденом [3].

В настоящей работе изучалось влияние молибдена на свойства сталей при дополнительном легировании штамповых сталей 5ХНВ и 4Х8В2, а также при замене вольфрама молибденом в стали 4Х2В8 (в пропорции 2:1) до полного вытеснения вольфрама. Стали выплавлялись на индукционной установке с кислым тиглем. Шихтой служили отходы инструментальных сталей и 60%-ный ферромolibден. Разливка сталей производилась в металлические формы. Химический состав сталей приведен в табл. 1.

Твердость стали 5ХНВ в литом состоянии (после отпуска 300°C с выдержкой 6 часов для снятия напряжений) изменяется в зависимости от содержания молибдена от 31 НРС до 41 НРС. Минимальную твердость имеет сталь 5ХНВ без добавки молибдена. Наибольшую — сталь с содержанием 1,90 и 2,72% молибдена. Сталь 4Х8В2 после отливки и такого же отпуска имеет твердость 56—57 НРС независимо от содержания в ней молибдена. Так как при литье в кокиль сталь 5ХНВ не получает твердости, необходимой для штампового инструмента небольших размеров, то ее структура в состоянии непосредственно после отливки не исследовалась.

Таблица 1*

| Номера плавков | Химический состав, % | | | | | |
|----------------|----------------------|------|------|------|------|------|
| | C | Cr | W | Mo | Ni | V |
| 1 | 0,52 | 0,69 | 0,98 | — | 1,38 | — |
| 2 | 0,56 | 0,70 | 1,23 | 1,00 | 1,51 | — |
| 3 | 0,55 | 0,74 | 1,03 | 1,90 | 1,49 | — |
| 4 | 0,54 | 0,68 | 1,12 | 2,72 | 1,37 | — |
| 5 | 0,35 | 7,77 | 2,27 | 0,98 | — | — |
| 6 | 0,40 | 7,10 | 2,28 | 2,32 | — | — |
| 7 | 0,41 | 7,08 | 2,10 | 2,94 | — | — |
| 8 | 0,36 | 7,01 | 2,24 | 4,69 | — | — |
| 9 | 0,32 | 1,92 | 8,21 | — | — | 0,52 |
| 10 | 0,38 | 2,02 | 6,17 | 1,27 | — | 0,48 |
| 11 | 0,40 | 2,19 | 3,90 | 2,20 | — | 0,51 |
| 12 | 0,42 | 2,28 | 1,88 | 3,22 | — | 0,45 |
| 13 | 0,30 | 1,95 | — | 4,07 | — | 0,54 |
| 14 | 0,43 | 4,87 | 0,71 | 1,02 | — | 1,07 |
| 15 | 0,50 | 1,90 | 2,14 | 2,06 | — | 0,46 |
| 16 | 0,48 | 1,99 | 2,23 | 2,12 | — | 1,44 |

*) Содержание марганца, кремния, серы, фосфора во всех плавках и содержание ванадия в плавках 1—8 соответствует ГОСТ 5950-63.

Структура стали 4Х8В2 после отливки — мелкоигльчатый мартенсит; кристаллы мартенсита окружены неравномерной сеткой «светлой» составляющей, имеющей утолщения в стыках зерен и вид прожилок по границам зерен. Структура имеет явно выраженное дендритное строение. На основании данных измерения микротвердости основного твердого раствора (мелкоигльчатого мартенсита) и «светлой» составляющей высказано предположение [4], что «светлая» составляющая представляет собой более легированный скрытокристаллический мартенсит.

С увеличением содержания молибдена от 0,98 до 4,69% (плавки 5—8) значительно измельчается зерно стали. Сетка «светлой» составляющей несколько утолщается. Дендритное строение структуры сохраняется.

Структура плавков 9—13 после отливки также состоит из мартенсита и «светлой» составляющей. В структуре плавков 9 и 13 количество «светлой» составляющей меньше; появляются участки повышенной травимости. Они, как правило, расположены в стыках зерен и окружены «светлой» составляющей. В структуре отожженной и закаленной стали

эти участки отсутствуют. Это дает основание полагать, что они являются результатом неравновесной кристаллизации стали.

В качестве предварительной термической обработки был выбран изотермический отжиг с нагревом до 860°C и изотермической выдержкой при 750°C для сталей плавков 5—16 и при 700°C для сталей плавков 1—4. Твердость сталей в отожженном состоянии (плавки 1—8) возрастает с увеличением содержания молибдена с 215 НВ в стали 5ХНВ без добавки молибдена до 241 НВ при содержании молибдена 2,72% и со 192 НВ до 217 НВ при содержании молибдена в стали 4Х8В2 0,98 и 4,69%. Твердость сталей плавков 9—13 уменьшается по мере замены вольфрама молибденом с 207 НВ в стали с 8% вольфрама (0% молибдена) до 141 НВ в стали с 4% молибдена (0% вольфрама).

Микроструктура сталей плавков 1—4 в отожженном состоянии — зернистый перлит и участки избыточного феррита. С увеличением содержания молибдена количество избыточного феррита возрастает; отчетливее выражается дендритное строение. Участки избыточного феррита образуют оси дендритов. Структура плавков 5—16 в отожженном состоянии — сорбитообразный перлит и карбиды.

При выборе оптимального режима окончательной термической обработки было опробовано по шесть температурных режимов закалки для каждой стали. За оптимальные были приняты температуры закалки, обеспечивающие максимальную твердость без наличия в структуре

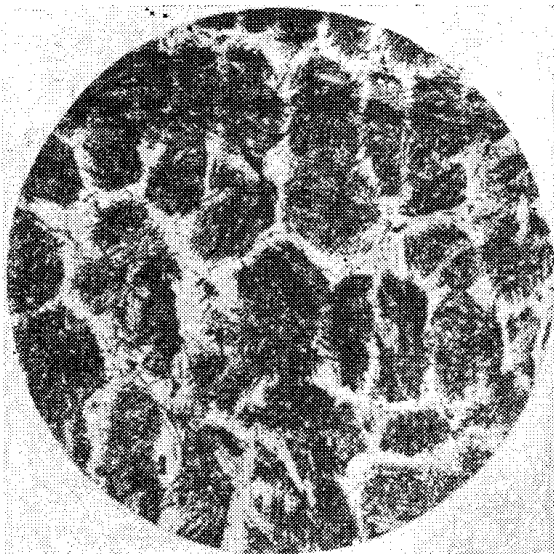


Рис. 1. Микроструктура стали плавки 15 в состоянии после отливки, х 440. Травление 3%-ным раствором азотной кислоты в спирте

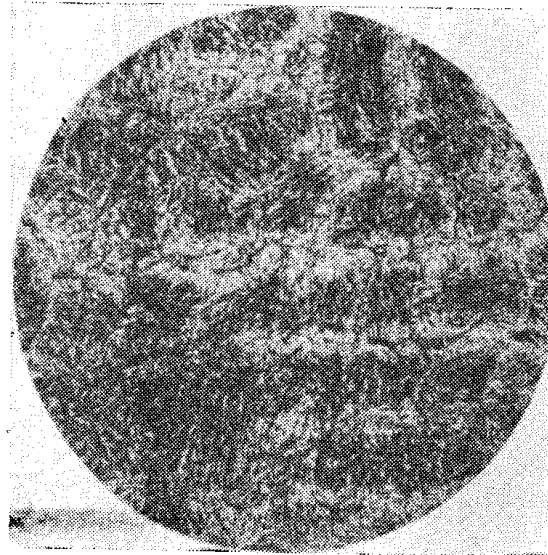


Рис. 2. Микроструктура стали плавки 15 после закалки с температуры 1200°C в масле, х 440. Травление 3%-ным раствором азотной кислоты в спирте

признаков перегрева. Для сталей плавков 1—4 температурный интервал закалки равен 880—970°C; для сталей плавков 5—8 — 1050—1150°C и для сталей плавков 9—16 — 1100—1200°C. Анализ изломов и микроструктуры закаленных образцов показал, что при нагреве до указанных температур исследованные стали не склонны к перегреву.

Микроструктура сталей плавков 1—4 в закаленном состоянии — мартенсит и карбиды. С увеличением содержания молибдена возрастает количество карбидов, и игольчатость мартенсита становится выраженной менее отчетливо.

Основной структурой сталей плавков 5—16 в закаленном состоянии является мартенсит, зерна которого окружены сеткой «светлой» составляющей. Принципиальной разницы между микроструктурой сталей

в литом и закаленном состояниях нет (рис. 1 и 2). Разница лишь в том, что «светлая» составляющая в закаленном состоянии травится сильнее. Это свидетельствует о некотором выравнивании структуры при отжиге и нагреве под закалку.

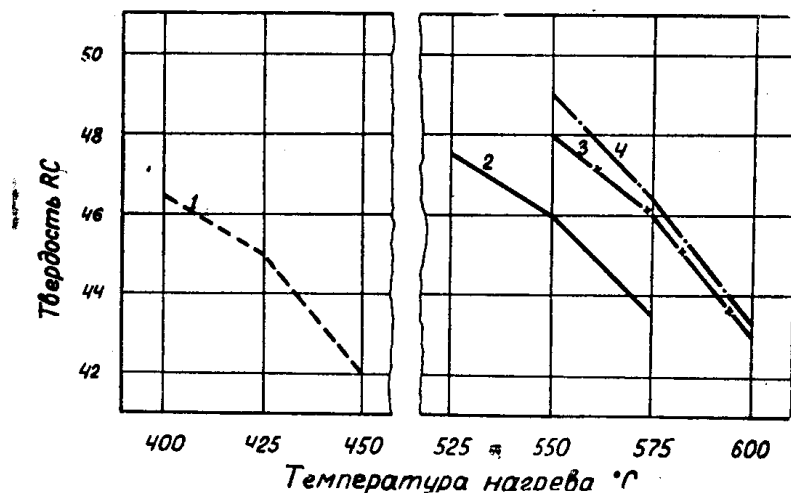


Рис. 3. Теплостойкость стали 5XNB в зависимости от содержания молибдена. Цифры у кривых — номера плавков

Последовательный отпуск образцов, закаленных с оптимальных температур, показал, что стали плавков 5—16 склонны ко вторичному твердению. У сталей плавков 5—8 пик вторичной твердости лежит в интервале температур 500—550°C.

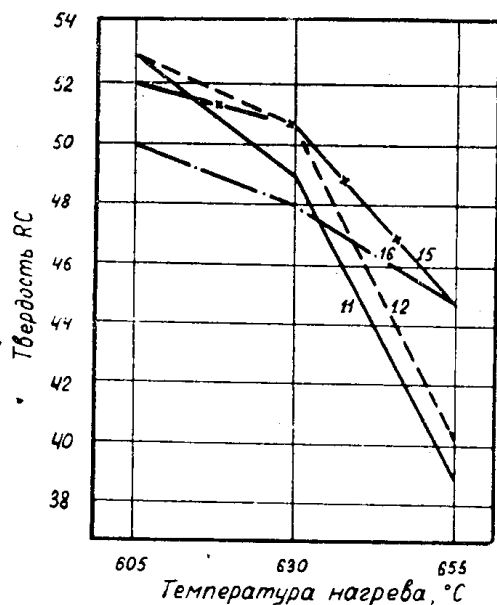


Рис. 4. Влияние содержания углерода и ванадия на теплостойкость сталей. Цифры у кривых — номера плавков

Увеличение содержания молибдена с 0,98% (плавка 5) до 4,69% (плавка 8) повышает теплостойкость на 25°C (560 и 585°C соответственно).

С увеличением легированности молибденом пик вторичной твердости смещается к верхнему значению указанного температурного интервала. Сталь плавков 9—16 имеют максимальную вторичную твердость в интервале температур 550—600°C. Увеличение содержания молибдена в стали 5XNB до 2,72% (плавка 4) вызывает замедление разупрочнения стали при отпуске в интервале температур 500—550°C. Очевидно, здесь также начинают сказываться процессы дисперсионного твердения.

Теплостойкость сталей плавков 1—4 с увеличением содержания молибдена возрастает с 425°C (плавка 1) до 585°C (плавка 4) (рис. 3). Влияние молибдена на теплостойкость сталей плавков 5—8 проявляется в меньшей степени.

Стали плавков 9—12 имеют теплостойкость 630—640°C. Пониженную теплостойкость (590°C) имеет сталь плавки 13. Этому в значительной мере способствовало низкое содержание углерода в этой стали. Наибольшую теплостойкость имели стали плавков 15 и 16 (рис. 4) Эти стали близки по составу к сталям плавков 11 и 12 и отличаются от них содержанием углерода (плавка 15) и содержанием углерода и ванадия (плавка 16).

За теплостойкость принималась температура, при нагреве до которой в течение 6 часов сталь сохраняет твердость 45 HRC.

Для механических испытаний образцы сталей всех плавков отпускались на твердость 50—51 HRC. Испытания на изгиб и ударную вязкость проводились на стандартных образцах. Средние значения предела прочности при изгибе и ударной вязкости (в обоих случаях испытывалось по 5—6 образцов) приведены в табл. 2.

Таблица 2

| Номера плавков | $\sigma_{изг.}$ кг/мм ² | a_n кгм/см ² | Номера плавков | $\sigma_{изг.}$ кг/мм ² | a_n кгм/см ² |
|----------------|---------------------------------------|------------------------------|----------------|---------------------------------------|------------------------------|
| 1 | 143 | 1,0 | 9 | 275 | 1,5 |
| 2 | 250 | 1,4 | 10 | 270 | 1,5 |
| 3 | 244 | 1,5 | 11 | 294 | 1,5 |
| 4 | 260 | 1,5 | 12 | 293 | 1,4 |
| 5 | 170 | 1,0 | 13 | 270 | 1,4 |
| 6 | 200 | 1,5 | 14 | 266 | 1,75 |
| 7 | 185 | 1,6 | 15 | 251 | 1,25 |
| 8 | 180 | 1,25 | 16 | 250 | 1,25 |

Введение в сталь 5ХНВ 1% молибдена повышает ударную вязкость с 1,0 до 1,4 кгм/см² и предел прочности при изгибе со 143 до 250 кг/мм². Увеличение содержания молибдена до 2,72% практически не приводит к дальнейшему повышению механических характеристик этой стали.

Дополнительное легирование стали 4Х8В2 молибденом повышает ударную вязкость и предел прочности при изгибе, но влияние молибдена проявляется в этом случае меньше, чем в стали 5ХНВ.

Вывод

Повышение механических характеристик и теплостойкости литых штамповых сталей 5ХНВ и 4Х8В2 можно достигнуть дополнительным легированием этих сталей молибденом. Оптимальным содержанием молибдена следует считать: в стали 5ХНВ — 1%, в стали 4Х8В2 — 2,3 ÷ 2,5%.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Бунгардт, О. Мюльдерс. Черные металлы, 3, 27, 1966.
2. I. Elfmarg. Metal Treatment and Drop Forging, vol. 33, N 250, 1966.
3. А. П. Гуляев, С. Л. Рустем, Г. Н. Орехов, Г. П. Алексеева. Металловедение и термическая обработка металлов, 7, 2, 1958.
4. И. О. Хазанов, Ю. М. Лозинский. Известия ТПИ, 162, 270, 1967.