

**Влияние условий цементации и термической обработки  
на изменение твердости по толщине карбидизированного слоя  
на стали X12Ф1**

Муха М.Н.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Карбидизация в стандартном (бондюжском) карбюризаторе не обеспечивает равномерного науглероживания высоколегированных сталей. Одной из причин неудовлетворительной цементации этих сталей в средах, содержащих смесь газов CO-CO<sub>2</sub>, является образование плотной оксидной пленки на поверхности сталей, которая препятствует науглероживанию.

Характерной особенностью цементации высоколегированных инструментальных сталей является внутреннее окисление. Образование окисленного слоя на поверхности стали ухудшает механические характеристики. Это основной дефект цементованного слоя легированных сталей, так называемая “темная составляющая”.

Внутреннее окисление высокохромистых сталей можно предотвратить подбором состава насыщающих сред. Введение в смесь веществ-восстановителей [1, 2] уменьшает окислительную способность среды.

В данной работе насыщение исследуемых образцов проводили из порошковых синтезированных средах.

По данным авторов [3, 4] структура цементованных высокохромистых сталей типа 20X13 и X12 характеризуется повышенным количеством карбидов на поверхности, уменьшающихся по мере продвижения вглубь образца. Цементация таких сталей в ряде карбюризаторов сопровождается образованием на поверхности темной зоны, отличающейся повышенной травимостью и низкой твердостью. Распределение микротвердости по толщине слоя на стали 20X13, охлажденной после цементации (950°C, 8ч, карбюризатор с 30% ацетата натрия) с контейнером на воздухе, а также подвергнутой повторной закалке с 850°C показало, что микротвер-

дость темной зоны в первом случае составляет 250 HV<sub>0,1</sub>, а после закалки повышается до 400-450 HV<sub>0,1</sub>. Толщина зоны составляет 100-150 мкм.

Изменение микротвердости по толщине карбидизированного слоя на стали X12Ф1 в зависимости от условий цементации в используемых нами средах и последующей закалки с 850°C показано в таблице 1 и на рис. 1. Данные дюрOMETрического анализа позволяют утверждать, что обработка высокохромистых сталей в специально разработанных порошковых средах позволяет избежать образования темной (окисленной) зоны. Так, микротвердость на расстоянии от 0 до 200 мкм плавно изменяется от 620 до 540 HV<sub>0,1</sub> у незакаленной стали и, соответственно, от 1170 до 1060 HV<sub>0,1</sub> у термообработанного образца. Наблюдается равномерное снижение микротвердости по всей толщине карбидизированного слоя, причем микротвердость поверхностной зоны слоя термообработанной стали значительно превышает микротвердость карбидизированной, но не закаленной стали.

Следует отметить, что наличие и количество изотермических выдержек при разных температурах в процессе цементации высокохромистых сталей не оказывает существенного влияния на изменение микротвердости по толщине карбидизированного слоя (табл. 1).

Особый интерес представляет изучение изменения твердости HRC по толщине карбидизированного слоя, что связано с необходимостью доводки (шлифовки) термоупрочненного и подвергнутого последующей закалке и отпуску изделия из высокохромистой стали до требуемых размеров.

С этой целью были проведены следующие исследования:

- образцы из стали X12Ф1 с размерами 30x30x90 мм обработали в используемой нами среде по режиму 1050°C (16 ч)+950°C (4 ч), что позволило получить карбидизированный слой толщиной 2,5 мм;
- повторно закалку проводили с температур 800-1050°C в масле, отпуск при 200-500°C;
- твердость HRC по толщине слоя определялась на приборе Роквелл с поверхности после сошлифовки слоя через каждые 0,1 мм. (Полученные результаты проиллюстрированы на рис. 3).

Таблица 1.

Изменение микротвердости по толщине карбидизированного слоя на стали X12Ф1 в зависимости от условий цементации в среде "Besto" и последующей термообработки

| Режим цементации<br>°C (ч)  | Режим термической обработки,<br>°C  | Толщина слоя,<br>мм | Микротвердость, HV <sub>0,1</sub> |      |      |      |      |     |     |      |
|---|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|-----|-----|------|
|   |                                     |                     | Расстояние от поверхности в мкм   |      |      |      |      |     |     |      |
|   |                                     |                     | 0                                 | 50   | 200  | 300  | 500  | 600 | 800 | 3000 |
| 1000 <sup>0</sup> C<br>(6 ч)  | без т.о.                            | 1200                | 620                               | 600  | 540  | 520  | 510  | 490 | 460 | 460  |
| 1000 <sup>0</sup> C<br>(6 ч)  | закалка<br>850 <sup>0</sup> C,<br>м | 1200                | 1170                              | 1120 | 1060 | 1020 | 970  | 950 | 850 | 680  |
| 1050 <sup>0</sup> C<br>(3 ч)  | закалка<br>850 <sup>0</sup> C,<br>м | 1000                | 1290                              | 1230 | 1170 | 1020 | 920  | 900 | 800 | 720  |
| 1050 <sup>0</sup> C(3ч)+<br>800 <sup>0</sup> C(4ч)+<br>700 <sup>0</sup> C(2ч) | закалка<br>850 <sup>0</sup> C,<br>м | 1000                | 1290                              | 1250 | 1190 | 1060 | 960  | 990 | 680 | 700  |
| 1050 <sup>0</sup> C(3ч)+<br>900 <sup>0</sup> C(4ч)+<br>700 <sup>0</sup> C(2ч) | закалка<br>850 <sup>0</sup> C,<br>м | 1050                | 1260                              | 1230 | 1170 | 960  | 930  | 890 | 680 | 680  |
| 1050 <sup>0</sup> C(3ч)+<br>750 <sup>0</sup> C(2ч)+<br>900 <sup>0</sup> C(2ч) | закалка<br>850 <sup>0</sup> C,<br>м | 1020                | 1200                              | 1020 | 100  | 1020 | 1000 | 780 | 730 | 710  |

Изменение твердости HRC по толщине слоя на стали X12Ф1 после карбидизации в используемой нами порошковой среде в зависимости от температуры закалки представлено на рис. 3. С удалением от поверхности твердость на образцах, закаленных с температур 800, 850, 900<sup>0</sup>C плавно уменьшается, причем чем выше температура закалки, тем менее стремительно падение твердости HRC. На образце, закаленном с 950<sup>0</sup>C наблюдается увеличение твердости с 64 до 65-66 HRC на глубину до 2,0 мм.

Изменение твердости HRC по толщине слоя на стали X12Ф1 в зависимости от температуры отпуска после карбидизации и закалки с температур 850<sup>0</sup>C и 950<sup>0</sup>C представлено на рис. 2. При закалке с 850<sup>0</sup>C при любой температуре отпуска наблюдается плавное снижение твердости HRC с удалением от поверхности образца на глубину до 2,0-2,4 мм: от 65 до 54 HRC при температуре отпуска 200<sup>0</sup>C

и, соответственно, от 54 до 46 HRC при 500°C (рис. 2а). Если закалку проводить с температуры 950°C, то изменение твердости HRC по толщине карбидизированного слоя на всей его протяженности практически не наблюдается (рис. 2б): 64-65 HRC при отпуске 200°C и 56-55 HRC при отпуске 500°C.

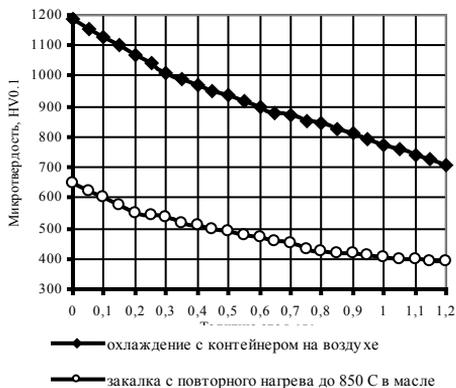
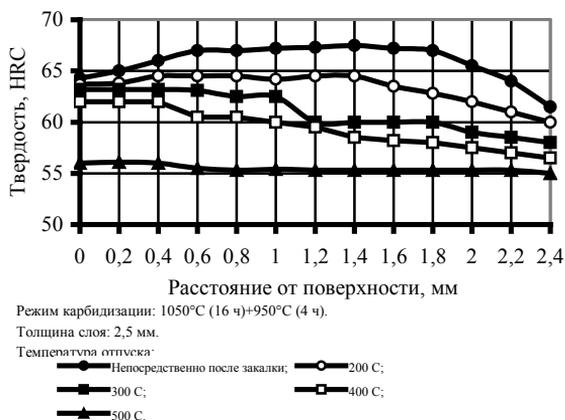


Рис. 1. Изменение микротвердости HV<sub>0,1</sub> по толщине слоя на стали X12Ф1 после цементации при 1000°C, 6 ч в карбюризаторе "Besto" и последующей термообработки



а)



б)

Рис. 2. Зависимость твердости HRC по толщине слоя на стали X12Ф1 от температуры отпуска после карбидизации в среде "Besto" и последующей закалки с температуры 850°C (а) и 950°C (б)

Учитывая, что допуски на механическую обработку обычно не превышают 0,1-0,5 мм, оптимальным режимом последующей термообработки предварительно карбидизированной стали X12Ф1 для достижения максимальной твердости HRC на сошлифованной поверхности следует считать закалку с 850-900°C в масле и отпуск на 180-200°C.

Таким образом, в данной работе, установлено распределение микротвердости по толщине карбидизированных слоев до и после термообработки. Микротвердость покрытия с удалением от поверхности меняется, соответственно, от 620 до 460 и от 1200 до 680 HV<sub>0,1</sub>. Установлено влияние условий цементации и последующей термической обработки на изменение твердости HRC по толщине карбидизированного слоя на стали X12Ф1. Цементация высокохромистых сталей приводит к изменению химического состава поверхности, а значит и к изменению прокаливаемости стали. Поэтому при толщине слоя 1,5 мм и выше при закалке с 850-900 °C

(отпуск 200<sup>0</sup>С) на глубине до 0,5-1,0 мм сохраняется максимальная твердость до 65-67 HRC.

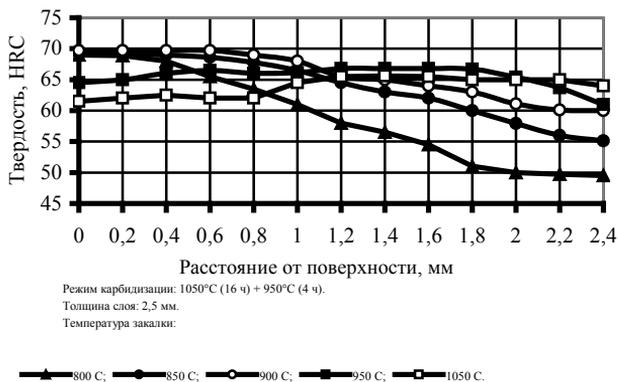


Рис. 3. Изменение твердости HRC по толщине слоя на стали X12Ф1 после карбидизации в среде "Besto" в зависимости от температуры последующей закалки в масле

#### Литература

1. А.с. 606899 (СССР). Состав для цементации в твердом крбюризаторе / В.А. Бойко и др. – Заявл. 5.01.77. № 2440697: Опубл. 25.04.78.
2. А.с. 908947 (СССР). Способ ускоренной цементации стальных изделий / П.В. Перменев. – Заявл. 11.03.79, № 2736062/22-02; Опубл. Б.И. 1982, № 8, МКИ С23с 9/10.
3. Шпилов А.Д., Михеев В.Г. Цементация хромистой нержавеющей стали. – "МиТОМ", 192, № 6, С. 32-37.
4. Ляхович Л.С., Пучков Э.П., Прецкайло Ф.Я. – МиТОМ, 1977, № 2, С. 52-53.