

# ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ УПРОЧНЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОЛУТЕПЛОСТОЙКОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ X12M

Е. А. Астапов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель Е. П. Поздняков

**Введение.** Основным параметром, определяющим ресурс работы штампового инструмента, является его износостойчивость, т. е. способность поверхностного слоя материала противостоять зарождению и распространению трещин контактной усталости. Механизм такого разрушения сопровождается появлением на контактной поверхности деформирующего инструмента сколов и питтингов, нарушающих гравюру изделия [1], [2]. Чтобы противостоять износу, штамповый инструмент подвергают различным видам химико-термической обработки. Широкое распространение среди них получили процессы азотирования или низкотемпературной нитроцементации. Второй способ отличается дешевизной процесса по сравнению с азотированием и особенно актуален в условиях единичного или мелкосерийного производства [3].

В данной работе приведены исследования структуры и твердости поверхностных слоев полутеплостойкой инструментальной стали X12M, полученных при помощи низкотемпературной нитроцементации в течение 17 и 140 ч.

**Объекты и методы исследований.** Объектом исследований являлись диффузионно-упрочненные слои полутеплостойкой инструментальной стали X12M. Предварительная термическая обработка всех партий образцов представлена в таблице.

## Режимы термической обработки образцов из стали X12M

| Режим термической обработки |                          | Номер партии образцов |       |       |
|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|-------|-------|
|                             |                          | 1 (◆)                 | 2 (○) | 3 (●) |
| Закалка                     | Первый подогрев, °C      | 425                   |       |       |
|                             | Второй подогрев, °C      | 825                   |       |       |
|                             | Окончательный нагрев, °C | 1170                  | 1140  | 1040  |
|                             | Охлаждающая среда        | воздух                |       | Масло |
|                             | Криогенная обработка     | -196                  |       | -196  |
| Отпуск, °C                  |                          | 550 (3 раза)          |       | 200   |
| Твердость, HRC              |                          | 58–60                 | 60–61 | 65–66 |

Финишной операцией упрочнения стали X12M являлась низкотемпературная нитроцементация. В целях оценки влияния азота на структурные и дюрметрические изменения температура насыщения составляла 520–560 °C с длительностью процесса 17 и 140 ч. При таких температурах в поверхность образцов диффундирует преимущественно азот [3], [4]. Нитроцементация проводилась в твердом карбюризаторе на ос-

нове древесного угля с добавлением карбамида. Определение твердости осуществлялось на приборах Роквелла ТК-2М и ПМТ-3. Исследование микроструктуры проводилось на поперечных шлифах при помощи оптического микроскопа Метам РВ-22. Травление образцов осуществлялось в 3-процентном растворе  $\text{HNO}_3$  в  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ . Для определения количества избыточных фаз в материале использовалась программа ImageMagick.

**Результаты исследования и их обсуждение.** После термической обработки минимальное значение твердости 1-й партии образцов составило 58HRC, 2-й – 60HRC, 3-й – 65HRC. Повышение твердости материала объясняется снижением температуры нагрева под закалку, после которой снижается количество остаточного аустенита.

Микроструктура всех партий образцов из стали X12M после нитроцементации представляет собой мартенситную матрицу (рис. 1). Различие режимов предварительной термической обработки не повлияло на структурные изменения после 17-часовой нитроцементации. Во всех исследованных случаях на поверхности материала отмечено наличие тонкой корочки –  $\epsilon$ -фазы. Текстурированный рисунок распределения первичных карбидов унаследован от заготовки. Увеличение длительности нитроцементации с 17 до 140 ч приводит к образованию по границе бывшего аустенитного зерна сетки, представляющей собой  $\gamma'$ -фазу, а также мелких включений карбонитридного типа. Глубина ее распространения находится в пределах 30–100 мкм. Увеличение длительности диффузионного процесса приводит к легированию азотом первичных карбидов, что выражается в потемнении их границ (рис. 1, б–г).

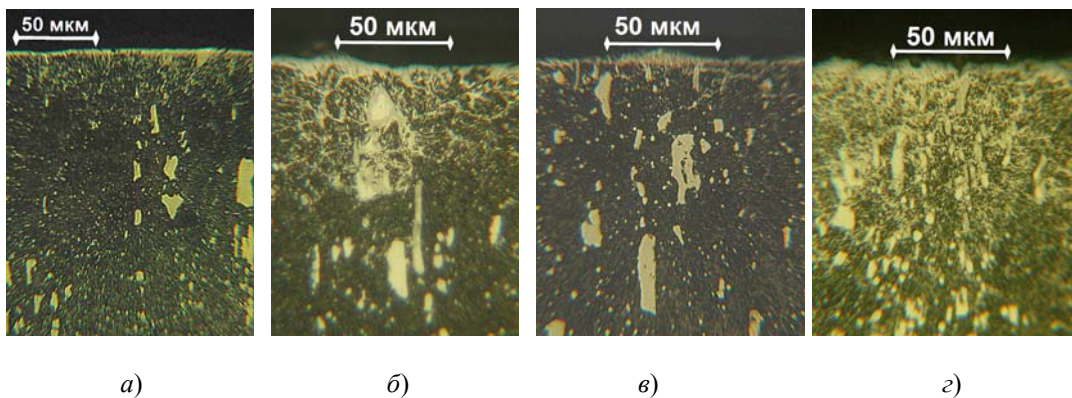


Рис. 1. Распределение нитридных включений ( $\gamma'$ -фазы) и наружный слой  $\epsilon$ -фазы в поверхностном слое образцов из стали X12M после:  
а – 17-часовой нитроцементации; б–г – 140-часовой нитроцементации

Количество избыточных фаз на поверхности образцов глубиной 100 мкм после 17-часовой нитроцементации составило 12,0 % (рис. 1, а). Насыщение образцов при 140 ч привело к значительному увеличению количества карбонитридов: для 1-й партии до 27,8 % (рис. 1, б), для 3-й партии до 42,3 % (рис. 1, г). Данный параметр не изменил количество избыточной фазы у 2-й партии образцов, которая равна 12 % (рис. 1, в).

Исследования графиков распределения микротвердости показали, что после 17-часовой нитроцементации поверхностная твердость образцов 1-й и 2-й партий имеет достаточно высокие значения и составляет 9000 МПа (рис. 2, а). Распределение микротвердости образцов 1-й и 2-й партий полностью совпадает. Микротвер-

дость сердцевины 1-й и 2-й партий находится в пределах 5800–6000 МПа. Максимальное значение твердости на поверхности материала 3-й партии имеет пониженное значение – 7700 МПа, а в сердцевине – 5000–5200 МПа. Указанные различия в твердости сердцевины возникли из-за температуры закалки (см. таблицу). Увеличение температуры закалки приводит к повышению теплостойкости материала, что позволяет сохранить повышенную твердость сердцевины после нитроцементации [5]. Общая глубина диффузионного-упрочненного слоя для всех партий образцов не превышает 200 мкм.

Изменение длительности нитроцементации с 17 до 140 ч привело к увеличению общей глубины слоя до 300 мкм. При этом произошло значительное снижение поверхностной твердости образцов, которая составила 7600–7700 МПа (рис. 2, б). Несмотря на идентичные значения твердости на поверхности слоя, микротвердость сердцевины имеет различия. Так у 1-й партии образцов указанный параметр превысил 6000 МПа, в то время как у 2-й и 3-й партий находится в пределах 5600–5800 МПа.

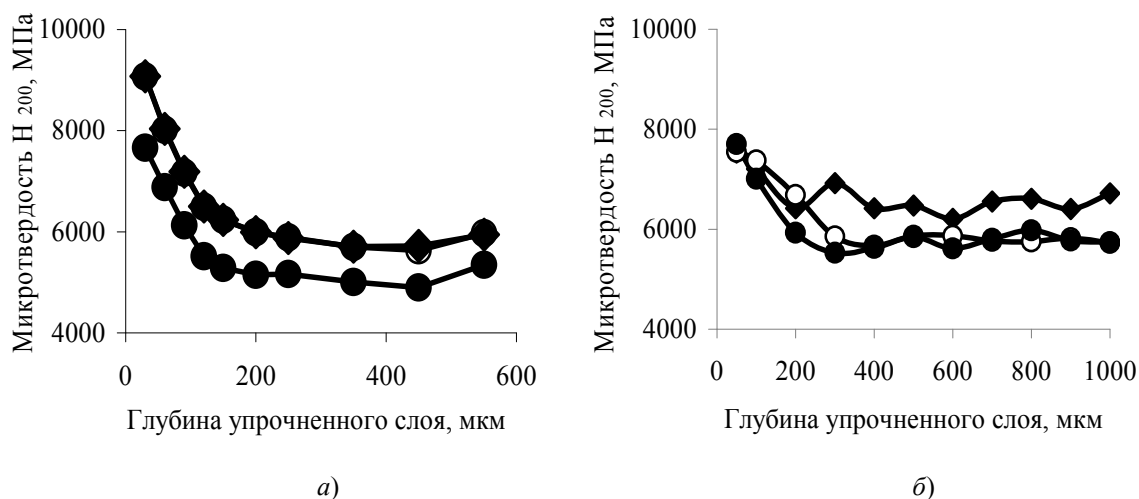


Рис. 2. Распределение микротвердости по сечению образцов, упрочнение которых проводили в течение 17 (а) и 140 (б) ч:  
 ◆ – партия 1; ○ – партия 2; ● – партия 3

**Заключение.** Рассмотрены структура и фазовый состав стали X12M, полученные при различных режимах термической обработки, а также после воздействия низкотемпературной нитроцементации. Проведение нитроцементации позволило получить поверхностную твердость образцов на уровне 9000 МПа, а также достаточно высокую твердость сердцевины не ниже 5600 МПа, а в некоторых случаях превышающих 6000 МПа. Увеличение длительности нитроцементации с 17 до 140 ч приводит к появлению сетки ( $\gamma'$ -фазы) по границам зерен и снижению поверхностной твердости материала. Указанные структурные и дюрOMETрические изменения могут привести к значительному снижению контактной прочности диффузионно-упрочненного слоя при исследовании образцов на контактную усталость.

#### Литература

1. Малушин, Н. Н. Повышение качества и долговечности рабочих валков станов холодной прокатки плазменной наплавкой теплостойкими сталями / Н. Н. Малушин // Материалы 13-й Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. – СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2011. – Ч. 1. – С. 203–209.

**Секция II. Материаловедение и технология обработки материалов** *113*

---

2. Alfredsson, B. A Study on Contact Fatigue Mechanisms : Doctoral Thesis no. 44, 2000 / Alfredsson Bo. Department of Solid Mechanics Royal Institute of Technology, Stockholm, 2000. – 27 p.
3. Самохоцкий, А. И. Технология термической обработки металлов / А. И. Самохоцкий, Н. Г. Парфеновская. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 311 с. : ил.
4. Летова, О. В. Азотисто-углеродистая паста для нитроцементации стали при низких и высоких температурах / О. В. Летова // Технология металлов. – 2011. – № 9. – С. 25–27.
5. Конструкционные материалы : справочник / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1990. – 688 с.