

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТПУСКА НА СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ И  
СОПРОТИВЛЕНИЕ РАЗРУШЕНИЮ СВЕРХНИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ  
МАРТЕНСИТНЫХ СТАЛЕЙ**

**Шабалов И.П., Филиппов В.Г., Великоднев В.Я., Чевская О.Н.**

*ФГУП «ЦНИИчермет им.И.П.Бардина», г. Москва, Россия, E-mail: iqs12@yandex.ru  
ООО «Трубные инновационные технологии», г. Москва, Россия, E-mail: pipeintech.com*

Известно, что основными процессами, протекающими при отпуске углеродистых сталей со структурой закаленного мартенсита, являются распад пересыщенного твердого раствора углерода, превращение остаточного аустенита и релаксация остаточных микронапряжений [1,3]. В закаленных на мартенсит легированных сталях, содержащих в качестве легирующих элементов хром, марганец, молибден, ванадий, первая стадия распада мартенсита задержана до 350-400°C и при отпуске до этих температур протекают релаксационные процессы и превращение остаточного аустенита [1]. По этой же причине, отпуск низкоуглеродистых легированных мартенситных сталей до 400°C не вызывает процесса распада мартенсита [2]. Отпуск при более высоких температурах приводит к выделению дисперсной карбидной фазы. Отпуск при 600°C и выше вызывает рост карбидов и развитие процесса полигонизации.

Низколегированные мартенситные стали, обладают высокой прочностью и ударной вязкостью и способностью закаливаться при охлаждении на воздухе, что уменьшает опасность коробления при термической обработке и позволяет получать требуемый уровень свойств, при изготовлении изделий из них горячей прокаткой или ковкой [2]. Однако, для повышения надежности изделий из низкоуглеродистых мартенситных сталей, особенно при эксплуатации в условиях низких климатических температур, необходимо повышение запаса вязкости и хладостойкости, что может быть обеспечено уменьшением содержания углерода и применением высокотемпературного отпуска.

В связи с этим, целью настоящей работы было исследование влияния температуры отпуска на структурное состояние, уровень механических свойств и хладостойкость низкоуглеродистых мартенситных сталей с пониженным содержанием углерода (0,07-0,03%) типа 05X2Г2Б.

Для выяснения природы процессов, протекающих при отпуске сверхнизкоуглеродистых мартенситных сталей (СНМС), проводили исследование влияния температуры отпуска на величину искажений кристаллической решетки  $\Delta a/a$  (ширина рентгеновской интерференционной линии), локальные остаточные микронапряжения, характерные для закаленной стали [3], количество остаточного аустенита и твердость.

Методами рентгеноструктурного анализа исследован фазовый состав стали типа 05X2Г2Б и особенности кристаллического строения  $\alpha$  фазы после отпуска при различных температурах. Исследование проводилось на дифрактометре ДРОН 3 в  $FeK_{\alpha}$  излучении.

Показано, что кроме фазы  $\alpha$ -Fe в образцах стали присутствует остаточный аустенит, содержание которого уменьшается при нагреве выше 200°C (рис.1).

Проведенное исследование показало, что величина искажений решетки  $\alpha$ -Fe, не изменяется при нагреве до 600°C, что по-видимому, является следствием низкого содержания углерода в стали, распад мартенсита при котором частично компенсируется превращением остаточного аустенита. Уменьшение величины  $\Delta a/a$  при нагреве выше 600°C вероятно отражает процессы перестройки дислокационной структуры, приводящие к разупрочнению, наблюдаемому по изменению твердости (рис.1).

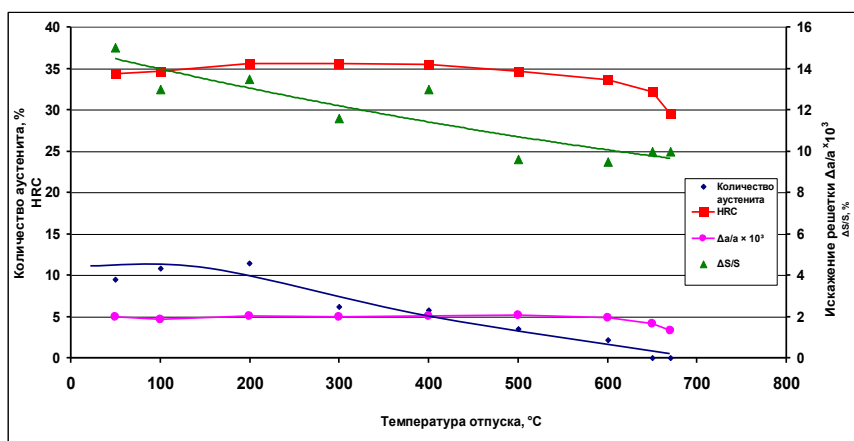


Рисунок 1 – Влияние температуры отпуска на количество остаточного аустенита, твердость HRC, искажения кристаллической решетки  $\Delta a/a$  и уровень локальной концентрации микронапряжений  $\Delta s/s$

Известно, что основной причиной преждевременного хрупкого разрушения закаленной стали являются локальные микронапряжения, связанные с особенностями мартенситного превращения [3]. Оценка показала, что для СНМС, в отличие от остаточных микронапряжений II рода ( $\Delta\alpha/\alpha$ ), уровень которых не изменяется при нагреве до 600°C, локальные напряжения  $\Delta s/s$  при нагреве уменьшаются (рис.1). Снижение уровня локальных микронапряжений при отпуске СНМС, по-видимому, связано с протеканием релаксационных процессов, начинающихся при низком отпуске и завершающихся при температурах выше 500°C. При этом уровень локальных напряжений существенно ниже, чем в легированных закаленных сталях с более высоким содержанием углерода [3].

Поскольку изменение твердости при отпуске СНМС наблюдается выше 600°C, то проводили исследование влияния отпуска при этих температурах на механические свойства, ударную вязкость и хладостойкость.

Установлено, что несмотря на существенное снижение прочностных характеристик в результате высокого отпуска уровень прочностных свойств остается достаточно высоким.

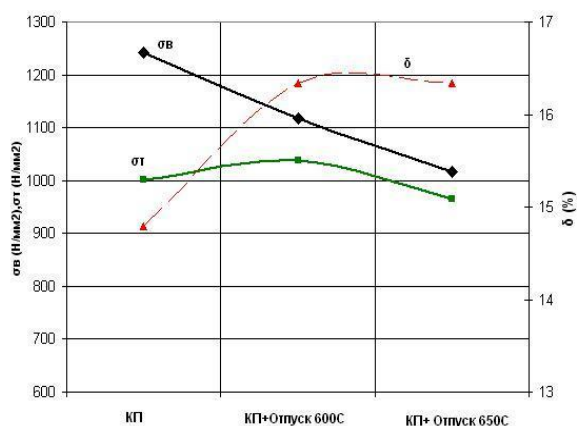


Рисунок 2 – Влияние температуры отпуска после ТМО на механические свойства образцов опытных сталей (средние значения)

Анализ результатов сериальных испытаний ударной вязкости KCV в интервале температур +20-80°C показал, что отпуск после ТМО приводит к повышению значений ударной вязкости и повышает хладостойкость СНМС, снижая температуру T50 в среднем на 50°C (рис.3).

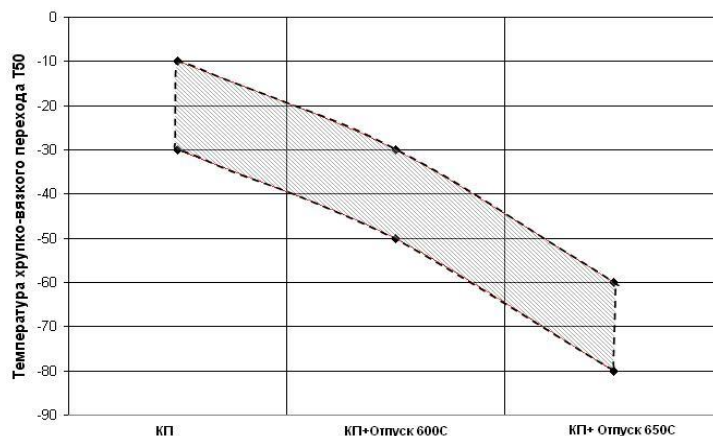


Рисунок 3 – Влияние температуры отпуска после ТМО на температуру T50 вязко-хрупкого перехода опытных сталей

Таким образом, отпуск при температурах 600-650°C улучшает хладостойкость опытной стали при сохранении высоких показателей прочности.

### Выводы

1. Проведен анализ влияния химического состава и режимов обработки на структуру и свойства проката из стали типа 05X2Г2Б и выявлены наиболее существенные факторы состава и технологии, оказывающие значимое влияние на комплекс механических свойств.

2. Показано, что структурное состояние СНМС характеризуется высокой стабильностью при нагреве до 600°C. При этом не изменяется твердость и искажения кристаллической решетки. При нагреве выше 200°C начинается процесс превращения остаточного аустенита при отпуске и релаксация остаточных локальных напряжений, возникающих в результате сдвигового характера мартенситного превращения.

3. Установлено, что отпуск после ТМО в интервале температур 600-650°C приводит к снижению значений временного сопротивления металла. Но при этом существенно повышается ударная вязкость (на 40Дж/см<sup>2</sup>) и снижается температура перехода в хрупкое состояние (на 50°C).

### Список литературы:

1. Курдюмов Г.В., Утевский Л.М., Энтин Р.И. Превращения в железе и стали. М. Наука. 1977. -236 с.
2. Клейнер Л.М., Шацов А.А. Конструкционные высокопрочные низкоуглеродистые стали мартенситного класса. Пермь. ПГТУ. 2008. -303 с.
3. Мишин В.М., Филиппов Г.А. Физика замедленного разрушения стали. Минеральные воды. «Полиграфпром». 2013. -455 с.