

# ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОВАННЫХ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ МАРТЕНСИТНЫХ СТАЛЕЙ

**Матыгуллина И.В.**

*Руководитель – к.т.н. профессор Иванов А.С.*

ПГТУ, г. Пермь

e-mail: Irina\_matygullin@mail.ru

Низкоуглеродистые мартенситные стали (НМС) находят в последнее время все более широкое применение в промышленности. Для расширения сферы применения НМС в условиях контактного трения необходима разработка технологий их поверхностного упрочнения. Одним из широко применяемых методов повышения износостойкости является химико - термическая обработка, в частности цементация. Настоящая работа посвящена изучению формирования науглероженного поверхностного слоя в процессе цементации низкоуглеродистой мартенситной стали 12Х2Г2НМФТ, отличающейся наиболее высокой прочностью среди сталей этого класса.

Газовую цементацию проводили в шахтной печи Ц-75 при температуре 910°C, подача карбюризатора 80-100 кап/мин, время насыщения 4 часа. Последующая термическая обработка производилась в печах типа СНОЛ. Микроструктуру исследовали на микроскопе НЕОРНОТ-32, фотографирование проводили с помощью фотокамеры – приставки Nikon coolpix при увеличении x200 и x500. Твердость измеряли по методу Роквелла на приборе ТК-2М в соответствии с ГОСТ 9013-59. Микротвердость измеряли по ГОСТ 9450-76 на микротвердомере ПМТ-3 с нагрузкой 50г. Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре ДРОН-3 в монохроматизированном медном излучении. Послойный химический анализ проводили на эмиссионном квантометре ARL-31.000.

Химический состав стали 12Х2Г2НМФТ приведен в таблице 1.

Таблица 1

Сталь	Содержание элемента, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Ti
12Х2Г2НМФТ	0.13	0.24	2.24	2.39	1.38	0.45	0.1	0.04

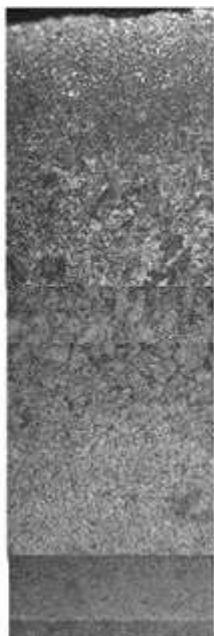
Структуру цементованного слоя на стали 12Х2Г2НМФТ можно условно разделить на три зоны. В первой поверхностной зоне наряду с остаточным аустенитом на глубине до 100 мкм образуется большое количество карбидов. При продвижении вглубь слоя происходит уменьшение количества и размеров глобулярных карбидов. Во второй зоне на расстоянии от поверхности 200 – 300 мкм расположена аустенитная зона. В третьей зоне на глубине 600 мкм в связи с уменьшением концентрации углерода количество остаточного аустенита

снижается, в структуре появляется крупноигольчатый мартенсит, плавно переходящий в структуру пакетного мартенсита основы.

Одним из вариантов уменьшения количества остаточного аустенита является проведение высокого отпуска перед закалкой. Для снижения количества остаточного аустенита после цементации перед окончательной закалкой применяют высокий отпуск при  $620^{\circ}\text{C}$  с выдержкой в течение 30 мин. При этом происходит выделение дисперсных карбидов из твердого раствора, который обедняется легирующими элементами и углеродом, что приводит к уменьшению степени легирования аустенита, образующегося при последующем нагреве под закалку. Вследствие этого мартенситные точки  $M_n$  и  $M_k$  повышаются, что приводит к уменьшению содержания остаточного аустенита в цементованном слое после закалки. На стали 12Х2Г2НМФТ значение микротвердости поверхности составляет 5500 МПа. Падение микротвердости, связанное в исходном состоянии после цементации с наличием прослойки остаточного аустенита, в случае высокого отпуска объясняется образованием на данной глубине мягкой ферритокарбидной смеси. Исчезает провал значений микротвердости, наблюдаемый после цементации и связанный с аустенитной зоной, и распределение микротвердости выглядит плавным постепенным переходом к микротвердости основы (3000 МПа).

Близкий уровень механических свойств после полной (твердость поверхности 60 HRC) и неполной (62 HRC) закалки позволяет понизить температуру закалки, что уменьшит уровень внутренних напряжений в стали. Для оценки возможности применения неполной закалки для стали 12Х2Г2НМФТ после цементации необходимо исследование процессов формирования структуры цементованного слоя при закалке из МКИ. Для этого после высокого отпуска провели закалку от температур 740 и  $770^{\circ}\text{C}$  с охлаждением в масле и на воздухе.

Структура и свойства цементованного слоя после закалки от 740 и  $770^{\circ}\text{C}$  идентичны, рисунок 1. Твердость слоя составляет после охлаждения на воздухе и в масле 58-59 HRC и 60-62 HRC соответственно. В структуре слоя слабо просматриваются структурные зоны цементованного слоя до термообработки соответственно расположенные от поверхности в глубину образца. Однако разделение этих зон выражено значительно менее резко, чем после цементации, что объясняется уменьшением количества аустенита и образованием мелкодисперсного мартенсита, равномерно распределенного по всему сечению слоя. Экстремально распределенный аустенит, максимальное количество которого достигает 38-40% на глубине 200-300 мкм, не приводит к образованию «провала» микротвердости. Микротвердость равномерно снижается от 9000-10000 МПа до 4000 МПа на глубине порядка 1000 мкм.



б

а

Рисунок 1 - Микроструктура стали 12Х2Г2НМФТ после ц-во-з 740 воздух (а), распределение микротвердости (б) и остаточного аустенита (в)

Эксплуатационные свойства цементованных сталей зависят не только от структуры и свойств цементованного слоя, но в большой степени и от свойств сердцевины детали. Недостаточная прочность сердцевины и зоны остаточного аустенита может приводить к деформации подслоной зоны при приложении нагрузки, к росту внутренних напряжений в слое и его разрушению.

С уменьшением разницы в содержании углерода в поверхностном слое и основе, уменьшается разница в изменении удельного объема цементованного слоя и сердцевины и снижается уровень сжимающих напряжений в слое. Однако чрезмерное упрочнение сердцевины снижает ее вязкость, трещиностойкость и предел выносливости цементованных изделий. Микроструктура основы цементованной стали 12Х2Г2НМФТ представляет собой пакетный мартенсит, твердость основы стали после цементации 39 НРС. После закалки цементованных образцов микроструктура основы стали 12Х2Г2НМФТ практически не изменяется. При охлаждении в масло с температуры закалки 740<sup>0</sup>С в основе, как и при охлаждении на воздухе формируется структура пакетного мартенсита, твердость 39-38 НРС. Таким образом, закалка от температуры межкритической области с охлаждением на воздухе применима для стали 12Х2Г2НМФТ в поверхностно упрочненном цементованном состоянии.