

## Лабораторная работа №1

### Изучение классификации легированных сталей

Цель работы: изучить классификацию легированных сталей в отожжённом и нормализованном состояниях

В основу этой классификации положена микроструктура стали, которая получается после отжига второго рода и нормализации (табл. 1)

Таблица 1

Классификация легированных сталей по микроструктуре после отжига и нормализации

Классификация после отжига		Классификация после нормализации	
Класс	Структура	Класс	Структура
Перлитный	Доэвтектоидные стали: перлит и феррит. Эвтектоидные стали: перлит. Заэвтектоидные стали: перлит и карбиды вторичные	Перлитный	Доэвтектоидные стали: сорбит и феррит; сорбит; троостит. Эвтектоидные стали: сорбит, троостит. Заэвтектоидные стали: сорбит и карбиды вторичные; сорбит; троостит.
Карбидный (Ледебуритный)	Карбиды эвтектические (или карбиды первичные и эвтектические), карбиды вторичные и феррит.	Карбидный (ледебуритный)	Карбиды эвтектические (или карбиды первичные и эвтектические), карбиды вторичные и мартенсит.
Ферритный	Феррит; феррит с карбидами.	Ферритный	Феррит; феррит с карбидами
Аустенитный	Аустенит; аустенит с карбидами.	Аустенитный	Аустенит; аустенит с карбидами
-	-	Мартенситный	Мартенсит и аустенит остаточный; мартенсит, карбиды и аустенит остаточный.
-	-	Бейнитный	Бейнит ( $\geq 65-70\%$ ), мартенсит, аустенит остаточный.

Режимы отжига или нормализации назначают в связи с критическими точками стали. Выдержка должна обеспечить получение гомогенного состояния. Охлаждение после отжига – с печью, после нормализации – на спокойном воздухе, то есть после отжига получается состояние равновесное, а после нормализации – неравновесное.

К перлитному классу относятся доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные стали, структура которых приведена в табл.1. При нагреве и охлаждении они испытывают фазовые превращения. Химический состав: 0,1-2%(масс.)С и 0,5-7%(масс.) - суммарное количество легирующих элементов. Это самый распространённый класс сталей. Например: конструкционные стали (ГОСТ 1050-88), инструментальные легированные стали (ГОСТ 5950 - 2000), автоматные (ГОСТ 1414-75), рессорно-пружинные (ГОСТ 14959-79) и др. Основной структурный признак при определении класса стали - наличие перлита после отжига, сорбита и троостита после нормализации. Эти структуры выявляются химическим травлением (табл. 2).

Таблица 2

Травители для выявления микроструктуры различных классов сталей.

Класс стали	Травитель	Травление
Перлитный	1)1-5 см <sup>3</sup> азотной кислоты, 100 см <sup>3</sup> этилового спирта (или воды); 2)2-5г пикриновой кислоты, 100 см <sup>3</sup> этилового спирта	Химическое травление в течение нескольких секунд.
Ферритный	1) те же травители, что и для перлитного класса; 2) те же травители, что и для аустенитного класса	- -
Мартенситный	10-15 см <sup>3</sup> азотной кислоты, до 100 см <sup>3</sup> этилового спирта.	Химическое травление от нескольких секунд до минут.

Класс стали	Травитель	Травление
Карбидный (ледебуритный)	20 см <sup>3</sup> соляной кислоты, 1 г хлористой меди, 65 см <sup>3</sup> этилового спирта, 15 см <sup>3</sup> дистиллированной воды	Химическое травление 2-10 минут.
Мартенситный	10-15 см <sup>3</sup> азотной кислоты, до 100 см <sup>3</sup> этилового спирта.	Химическое травление от нескольких секунд до минут.
Бейнитный	Те же травители, что и для перлитного класса.	Химическое травление в течение нескольких секунд.
Аустенитный	1) 20 г медного купороса, 100 см <sup>3</sup> соляной кислоты, 100 см <sup>3</sup> спирта или воды (раствор Марбле); 2) 50 см <sup>3</sup> соляной кислоты, 25 см <sup>3</sup> серной кислоты, 10 г сернокислой меди, 50 см <sup>3</sup> воды.	Химическое травление от нескольких секунд до минут.

К ферритному классу относятся стали, у которых полностью отсутствуют фазовые  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  превращения и в микроструктуре такой стали наблюдается феррит (например: анизотропная и изотропная электротехнические стали, ГОСТ 21427.1-83, ГОСТ 21427.2-83) или феррит с карбидами (например: нержавеющие стали 15X28, 08X18T1, ГОСТ 5632-72).

К аустенитному классу относятся стали, содержащие 0,1-1,0%(масс.) С и около 12-40%(масс.) суммарного количества легирующих элементов, которые снижают температуру начала мартенситного превращения  $M_n$  ниже комнатной. Аустенитный класс сталей отличается от всех других отсутствием ферромагнитных свойств. К микроструктурным признакам этого класса следует отнести наличие двойников и полос скольжения в зернах аустенита. Типичные представители этого класса: нержавеющая сталь 10X18Н9Т (ГОСТ 5632-72) и аустенитная марганцовистая сталь (сталь Гадфильда) (ГОСТ 988-77).

К карбидному (ледебуритному) классу относятся стали с высоким содержанием углерода (0,7-2,0% (масс.)) и карбидообразующих легирующих элементов (6-20%(масс.)). Двойное название класса отражает ход кристаллизации сталей. В одном случае она связана с выделением из жидкости карбидов первичных, а затем образованием эвтектики лебуритного типа. Во втором случае эвтектика ледебуритного типа может формироваться сразу. Всё это будет строго определяться химическим составом сплава. В том и другом случае карбиды первичные и карбиды эвтектические будут в несколько раз превышать по размерам карбиды вторичные и эвтектоидные. Именно это явится основным структурным признаком сталей этого класса.

К сталям карбидного (ледебуритного) класса относятся быстрорежущие стали Р9, Р18, Р6М5 (ГОСТ 19265-73), стали для инструмента холодной штамповки Х12, Х12ВМ, Х12Ф1 (ГОСТ 5950-2000).

Перлитный, ферритный, аустенитный и карбидный (ледебуритный) классы сталей обнаруживаются и после отжига, и после нормализации. Мартенситный и бейнитный классы получают только после нормализации.

К сталям мартенситного класса относятся стали, закаливающиеся на мартенсит на спокойном воздухе из-за малой критической скорости заковки, так называемые самозакаливающиеся стали. В этих сталях содержится около 0,2-0,7%(масс.)С и 10-15%(масс) суммарного количества легирующих элементов. К сталям мартенситного класса относятся «сильхромы»: 40Х10С2, 40Х10С2М, нержавеющей стали 20Х13,30Х13, 40Х13, высокохромистая сталь 95Х18 (ГОСТ 5632-72) и др. Характерным микроструктурным признаком сталей этого класса является наличие пакетного или игольчатого мартенсита и аустенита остаточного. В некоторых случаях в сталях с содержанием углерода более 0,7%(масс.) в результате традиционного травления морфология мартенсита под оптическим микроскопом не выявляется. Однозначный ответ даёт исследование реплики или фольги на электронном микроскопе. В этом

случае очень важным становится измерение твёрдости. Косвенно по твёрдости можно судить о наличии этого класса.

К сталям бейнитного класса относятся стали с содержанием углерода 0,005-0,20%(масс.) и суммарным количеством легирующих элементов 2-6%(масс.). Это малоуглеродистые низко- и среднелегированные стали. Строение бейнита может быть разнообразным: пакетным, зернистым. Отличить его от мартенсита пакетного поможет существенная разница в химическом составе сталей этих классов и твёрдость. У стали мартенситного класса она должна быть повыше. Представителями сталей бейнитного класса являются стали для изготовления труб, для энергетического машиностроения и др.

#### Методика проведения работы

Работа выполняется на образцах следующих марок сталей, прошедших нормализацию:

- 1) 3312, 15X28, 08X18T1;
- 2) ст.40, 50, 40X, 40XH, У8, У10, У12, ХГ, ШХ15;
- 3) 17Г2С;
- 4) 40X9С2, 20X13, 40X13;
- 5) 08X18Н9Т, 110Г13;
- 6) Р6М5, Р18, Х12ВМ, Х12Ф1.

#### Порядок выполнения работы

1. Каждому студенту выдаётся один образец одной марки стали, для которого он определяет по ГОСТ химический состав, критические точки и назначает режим нормализации. Всё это он записывает в табл. 3.

Таблица 3

#### Выбор режима нормализации

№ п/п	Марка стали	Химический состав, %(масс.)										Критические точки	Режим нормализации	
		С	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	Ni	S	P			
										не более				

2. Осуществляют нормализацию в лабораторной печи.
3. После нормализации образец зачищают на 0,2 мм и на нём приготавливают шлиф.
4. В табл. 2 подбирают травитель и осуществляют травление.
5. Производят фотографирование микроструктуры образца.
6. Измеряют твёрдость на приборе Роквелла по шкале С или В.
7. По полученным результатам определяют класс стали и его применение, их заносят в табл. 4 и обсуждают.

Таблица 4

Определение класса стали

№ п/п	Марка стали	Травитель и режим травления	Структура после нормализации	Твёрдость	Класс стали	Применение

Отчёт должен содержать краткое описание классов сталей, табл. 3 и 4.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют классификации сталей по структуре?
2. После каких термических обработок приняты эти классификации?
3. Каковы достоинства и недостатки этих классификаций?
4. Каково назначение сталей различных классов?
5. Какой принцип положен в основу классификации сталей по ГОСТ?

Библиографический список

1. Специальные стали / М.И.Гольдштейн [ и др.]. – М.: Металлургия, 1985. – 407 с.
2. Материаловедение / Ю.П.Солнцев [ и др.]. – СПб: ХИМИЗДАТ, 2004. – 734.с.
3. Металлография железа. Т.2. [Текст] / Под ред. Ф.Н.Тавадзе. – М.: Металлургия, 1972, - 284 с.

## Лабораторная работа №2

### **Влияние термической обработки на структуру и свойства легированной инструментальной стали для горячей и холодной обработки давлением**

Цель работы: изучить влияние температуры закалки и отпуска на структуру и твёрдость штамповых сталей.

Сталь для штампового инструмента (ГОСТ 5950-2000) разделяют на две группы:

- а) для деформации металла в холодном состоянии: X6BФ, X12, X12BM, X12Ф1;
- б) для деформации металла в горячем состоянии: 7X3, 5XHM, 5XHB, 5XGM, 4X5B2ФС, 3X2B8Ф, 4X2B5MФ.

Инструментальные стали для холодной штамповки должны обладать высокой твёрдостью, износостойкостью, прочностью, удовлетворительной вязкостью.

Инструментальные штамповые стали холодного деформирования металла (штамповка, вытяжка, гибка) высокоуглеродистые (0,9-2,0%(масс.)), высокохромистые (6-12%(масс.)), относятся к карбидному классу. В равновесном (отожжённом) состоянии структура этих сталей мелкозернистый перлит и карбиды хрома. В процессе нагрева под закалку и выдержки карбиды растворяются в аустените, и он легируется углеродом, хромом и другими элементами. Повышение температуры нагрева под закалку стимулирует этот процесс. С повышением температуры аустенизации с 950°C до 1200°C количество карбидов в стали X12Ф1 уменьшается с 9%(масс.) до 1%(масс.), а концентрация углерода и хрома в аустените возрастает с 0,2%(масс.) и 3%(масс.) до 1,2%(масс.) и 11%(масс.) соответственно. Мартенситный интервал легированного аустенита снижается. Как следствие этого, стали типа

X12, закалённые с высоких температур, имеют повышенное количество аустенита остаточного. Например, после закалки с температуры 1100°C сталь X12Ф1 имеет 90% аустенита остаточного. После немедленной обработки холодом остаётся только 20-25% аустенита. В случае задержки обработки холодом (на несколько часов) количество остаточного аустенита сохраняется до 40-45%. Присутствие небольших количеств аустенита остаточного снижает твёрдость стали. На практике обработку холодом заменяют трёхкратным отпуском по одному часу при температуре 500-540°C.

Таким образом, стали типа X12 можно обрабатывать на первичную и вторичную твёрдость. Обработка на первичную твёрдость включает в себя закалку с относительно низких температур 950 -1000°C, получение при этом мартенсита, карбидов эвтектических и вторичных, а также небольшого количества аустенита остаточного. Обработка на вторичную твёрдость включает в себя закалку с достаточно высоких температур 1150-1200°C, получение при этом мартенсита, карбидов эвтектических и вторичных, а также значительного количества аустенита остаточного. Поэтому в первом случае вслед за закалкой делают низкий отпуск, а во втором случае - трёхкратный высокий. Твёрдость стали, получаемая после таких обработок, сопоставима и составляет 60-64 HRC.

ГОСТ 5950-2000 рекомендует режимы термической обработки сталей типа X12 на первичную твёрдость. В нём также приведены кривые изменения твёрдости в зависимости от температуры отпуска основных марок сталей. Это значительно упрощает грамотное назначение режимов термической обработки сталей.

Инструментальные стали для горячего деформирования (ГОСТ 5950-2000) должны обладать высокой прочностью, теплостойкостью, достаточной вязкостью, высоким сопротивлением термической усталости, хорошей окалиностойкостью, высокой прокаливаемостью.



Инструментальные штамповые стали для горячего деформирования имеют сравнительно невысокое содержание углерода - 0,3-0,5%(масс.). В отожжённом состоянии они имеют дисперсную перлитную структуру. После закалки и отпуска они приобретают сорбитную или троосто-сорбитную структуру с твёрдостью 35-45 HRC. Стойкость штампового инструмента горячего деформирования определяется сохранением твёрдости при рабочих температурах.

Принцип легирования таких сталей основан на тормозящем влиянии легирующих элементов на процессы, происходящие при отпуске мартенсита. Это влияние может быть двояким. Такие элементы, как вольфрам, кремний, молибден, ванадий, титан вводят для уменьшения разупрочнения отпущенного мартенсита, так как они повышают температуру рекристаллизации феррита и тем самым тормозят рост феррито-карбидной смеси и задерживают коагуляцию карбидов. Введение карбидообразующих элементов (хрома, молибдена, вольфрама, ванадия, титана и др.) обуславливает образование в процессе распада мартенсита мелкодисперсных карбидов, которые упрочняют матрицу и увеличивают износостойкость.

Штамповые стали разделяются на нетеплостойкие, сильно снижающие твёрдость при отпуске 400°C, полутеплостойкие, имеющие при таком отпуске твёрдость 40-45 HRC, и теплостойкие стали, сохраняющие твёрдость 40-45 HRC до высоких (500-600° C) температур отпуска.

#### Методика проведения работы

Работа выполняется на образцах инструментальных штамповых сталей:

- 1) для деформирования металла в холодном состоянии: X12Ф1;
- 2) для деформирования металла в горячем состоянии: 5ХНМ.

Студенты получают стали X12Ф1 и 5ХНМ.

Сталь X12Ф1 обработана по следующим режимам:

1) температура закалки 1150°C, отпуск одно-, двух- и трёхкратный в течение часа при температурах: 500, 550, 600, 650°C,

2) температура закалки 1000°C, отпуск в течение часа при температурах: 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600°C.

Сталь 5ХНМ обработана по следующему режиму:

температура закалки 850°C, отпуск в течение часа при температурах: 200, 300, 400, 500, 550, 600, 650°C.

### Порядок выполнения работы

1. Студенты разбиваются на три подгруппы. Две подгруппы изучают на стали Х12Ф1 влияние обработки на вторичную твёрдость (режимы 1) и на первичную твёрдость (режимы 2). Третья подгруппа изучает влияние температуры отпуска на структуру и свойства стали 5ХНМ.

2. По ГОСТ они определяют химический состав сталей и заносят его в табл. 1.

Таблица 1

### Химический состав стали

№ п/п	Марка стали	Химический состав, %(масс.)								
		С	Mn	Si	Ni	Cr	W	Mo	S	P
1	Х12Ф1									
2	5ХНМ									

3. На полученных образцах они приготавливают шлифы, производят травление и изучают микроструктуру. Микроструктуру снимают цифровым фотоаппаратом. Затем измеряют твёрдость на приборе Роквелла по шкале С после закалки и различных режимов отпуска. Полученные данные заносят в табл. 2 и 3.

Таблица 2

## Микроструктура и твёрдость стали X12Ф1

после закалки с температуры 1150°С и высокого отпуска

№ образца	Температура отпуска, °С	Кратность отпуска	Микроструктура	Твёрдость HRC
	500	1		
	500	2		
	500	3		
	550	1		
	550	2		
	550	3		
	600	1		
	600	2		
	600	3		
	650	1		
	650	2		
	650	3		

Таблица 3

## Микроструктура и твёрдость стали X12Ф1

после закалки с температуры 1150°С и однократного отпуска

№ образца	Температура отпуска, °С	Микроструктура	Твёрдость HRC
	150		
	200		
	250		
	300		
	350		
	400		
	450		
	500		
	550		
	600		

Таблица 4

Микроструктура и твёрдость стали 5ХНМ  
после закалки с температуры 850°С и отпуска

№ образца	Температура отпуска, °С	Микроструктура	Твёрдость HRC
	200		
	300		
	400		
	450		
	500		
	550		
	600		
	650		

4. По полученным данным табл. 2 строят графики зависимости твёрдости HRC от температуры отпуска и кратности отпуска, по данным табл. 3 и 4 – от температуры отпуска и объясняют их.

5. Из полученных результатов для стали X12Ф1 выбирают режимы обработки на первичную и вторичную твёрдость, обеспечивающие высокую твёрдость штампового инструмента 62-64 HRC, и приводят фотографии этих структур. Сравнивают полученные результаты с рекомендациями ГОСТ 5950-2000.

6. Из полученных результатов для стали 5ХНМ выбирают температуры отпуска, обеспечивающие твёрдость 40-45 HRC, и приводят фотографии этих структур. Сравнивают полученные результаты с рекомендациями ГОСТ 5950-2000.

7. По результатам табл. 3 и 4 для сталей X12Ф1 и 5ХНМ определяют теплостойкость этих сталей X12Ф1 и 5ХНМ.

#### Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляют к сталям для холодной и горячей обработки давлением?
2. Каковы принципы легирования инструментальных штамповых сталей для холодной и горячей обработки давлением?

3. Что такое теплостойкость сталей?

4. Каковы особенности обработки сталей карбидного класса на первичную и вторичную твёрдость?

5.Какой термической обработке подвергают стали для горячей обработки давлением?

6. Какой термической обработке подвергают стали для холодной обработки давлением?

#### Библиографический список

1. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали [Текст] / Ю.А. Геллер. – М.: Металлургия, 1975. - 527 с.

2. ГОСТ 5950-2000. Прутки, полосы и мотки из инструментальной стали. Общие технические условия. [Текст]: Введён 2002.01.01 – Минск: Изд-во стандартов, 2001. – 39 с.

3.Материаловедение / Ю.П. Солнцев [и др.]. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2004. – 734 с.

4. ГОСТ 19265-73. Прутки и полосы из быстрорежущей стали [Текст]: Введён 1975.01.01. – М: Изд-во стандартов, 1986.- 36 с.

## **Влияние термической обработки на структуру и свойства инструментальной быстрорежущей стали**

Цель работы: изучить влияние различных режимов закалки и отпуска быстрорежущей стали на микроструктуру, твёрдость и теплостойкость (красностойкость).

Теплостойкие быстрорежущие стали P18, P12, P9, P6M5, P10Ф2, P18K5Ф2, P9K10, P9M4K8 (ГОСТ 19265-73), применяемые для инструмента, работающего при больших скоростях резания, являются высоколегированными сплавами. В их состав входят: вольфрам 6-18%(масс), молибден 2-9%(масс.), кобальт 5-10%(масс.), хром 3-5%(масс.), ванадий 1-5%(масс.). Углерод вводится в пределах 0,75-1,5%(масс.). Общее содержание легирующих элементов доходит до 25-30%(масс.).

Основное свойство быстрорежущих сталей - теплостойкость (красностойкость) - способность стали сохранять высокую твёрдость до температур 600-650 °С. Уменьшение твёрдости при нагреве связано с распадом мартенсита и коагуляцией карбидов. Поэтому теплостойкость в этих сталях обеспечивается присадками вольфрама (от 6%(масс.)) и молибдена (от 3%(масс)), так как под их влиянием замедляется скорость коагуляции дисперсных сложных карбидов типа  $Me_2C$ ,  $MeC$ ,  $Me_7C_3$ , а распад мартенсита смещается к более высоким температурам отпуска. Эти же элементы (вольфрам и молибден) в кобальтовых сталях образуют при отпуске интерметаллиды и усиливают эффект дисперсионного твердения. По сопротивлению коагуляции в порядке уменьшения эти фазы можно расположить в следующий ряд:

1. Интерметаллиды  $Me'_7Me_6''$  -  $(Fe,Co)_7(W,Mo)_6$ ;
2. Карбиды  $Me_2C - (W,Mo,Cr)_2C$ ;

3. Карбиды  $MeC - (V, W, Mo)_n C$ ;

4. Карбиды  $Me_{23}C_6 - (Fe, Cr)_{21} (W, Mo)_n C_6$ .

Тип упрочняющей фазы, выделяющейся при отпуске, зависит от соотношения легирующих элементов и углерода в твёрдом растворе после закалки. Если соотношение ( в атомных долях)  $Me/C = \sum(V, W, Mo)_n / C$  близко к 2, то преобладающей фазой будет карбид  $Me_2C$ . С увеличением этого соотношения наряду с  $Me_2C$  появляются интерметаллиды  $Me_7Me_6$ , а с уменьшением – возрастает доля карбида  $Me_{23}C_6$ . При температуре отпуска выше  $600 - 700^\circ C$  карбид  $Me_2C$  превращается в карбид  $Me_6C$ .

Введение кобальта приводит к уменьшению скорости диффузии элементов и тормозит распад мартенсита при нагреве. Кобальт, находящийся в твёрдом растворе, приводит к увеличению теплопроводности стали, что значительно понижает температуру режущей кромки стали, предохраняет тем самым её от затупления. Он также приводит к увеличению растворимости сложных высоколегированных карбидов, и основа стали обогащается углеродом, хромом, вольфрамом, молибденом и другими элементами, в результате чего усиливается эффект дисперсионного твердения.

Хром вводится в быстрорежущую сталь главным образом для увеличения прокаливаемости, так как он снижает критическую скорость закалки.

Ванадий образует карбиды типа  $MeC$ , повышает твёрдость стали и устойчивость против коагуляции карбидов при отпуске. Так как температура диссоциации карбидов ванадия лежит выше температуры закалки быстрорежущей стали, то они отвечают за сдерживание роста аустенитного зерна (10-9 номер). Шлифуемость быстрорежущей стали определяется главным образом количеством, размером и распределением карбидов ванадия. В связи с чем у большинства быстрорежущих сталей количество ванадия не превышает 2%(масс.).

Для придания быстрорежущей стали оптимальных свойств необходимо перевести наибольшее количество легирующих элементов из карбидов в

твёрдый раствор, что осуществляется при нагреве под закалку. Оптимальная температура закалки высоко вольфрамовых сталей - 1240-1290°C. По ГОСТ 19265-73 температура нагрева под закалку составляет: для стали P18 – 1270-1290°C, стали P12 – 1240-1260°C, стали P9 – 1220-1240°C.

Существенное влияние на процессы диссоциации карбидов и легирования аустенита оказывает выдержка при нагреве под закалку, которая принимается исходя из размеров и назначения инструмента. Необходимо учитывать, что высокие температуры закалки 1220-1290°C стали при длительных выдержках могут привести к резкому росту зерна и оплавлению границ зерен.

Нагрев под закалку быстрорежущих сталей производится в хлорбариевых ваннах с предварительными подогревами до 500-550°C и 800-850°C для уменьшения тепловых и структурных напряжений. Выдержка принимается из расчёта прогрева образцов и гомогенизации аустенита. Нагрев под закалку можно проводить в печах с силитовыми нагревателями. В этом случае необходимо предусмотреть защиту металла от окисления и обезуглероживания.

Быстрорежущие стали закаливаются, как правило, в масле. Рекомендуются также проводить ступенчатую закалку в расплавленных солях при температуре 450-550°C.

В структуре закалённой быстрорежущей стали сохраняется до 30-40% остаточного аустенита, присутствие которого понижает твёрдость стали и делает структуру неустойчивой. Закалённая быстрорежущая сталь в дальнейшем обрабатывается по одному из двух режимов:

а) трёхкратный отпуск при температуре 550-570°C по одному часу (ГОСТ 19265-73), охлаждение на воздухе;

б) обработка холодом при температуре -70÷ -80°C и последующий однократный отпуск в течение одного часа при температуре 550-570°C, охлаждение на воздухе.

Такая обработка стимулирует вторичную мартенситную реакцию, и количество аустенита остаточного снижается до 5-7%. Кроме аустенита



остаточного в структуре быстрорежущей стали находятся мартенсит отпуска, карбиды эвтектические (или первичные), карбиды вторичные. Твёрдость составляет 61-65 HRC, повышается красностойкость.

В процессе отпуска закалённой быстрорежущей стали происходит несколько основных процессов, которые обычно протекают одновременно и частично накладываются друг на друга. Первые стадии отпуска до 300-400°C вызывают распад тетрагонального мартенсита и частично – остаточного аустенита. В интервале температур 400-550°C происходит выделение из твёрдого раствора карбидов и интерметаллидов, существенно обедняющих остаточный аустенит, что в свою очередь повышает мартенситную точку. В процессе охлаждения при отпуске при достижении температуры мартенситного превращения происходит превращение остаточного аустенита в мартенсит – вторичная закалка, приводящая наряду с дисперсионным твердением к повышению твёрдости. Сам эффект дисперсионного твердения зависит от температуры аустенизации, т.е. полноты растворения карбидов в твёрдом растворе.

#### Методика проведения работы

Работа выполняется на образцах быстрорежущей стали Р6М5.

После отжига 850°C образцы были подвергнуты следующим обработкам:

1. Предварительные подогревы в течение 15-20 минут при 500-550 и 780-800°C, при нагреве на температуру закалки 1220°C, охлаждение в масле, отпуск одно-, двух- и трёхкратный с выдержкой один час при температуре 550°C.
2. Предварительные подогревы в течение 15-20 минут при 500-550°C и 800-850°C, при нагреве на температуру закалки 1220°C, охлаждение в масле, отпуск однократный при температурах 200, 300, 400, 500, 550, 600, 650°C.

## Порядок выполнения работы

1. По ГОСТ 19265-73 студенты определяют химический состав заданной марки стали и заносят его в табл. 1.

Таблица 1

### Химический состав быстрорежущей стали

№ п/п	Марка стали	Химический состав, %(масс.)										
		C	W	Mo	V	Cr	Co	Mn	Si	Ni	S	P
		Не более										

2. Полученные образцы маркируют.

3. На образцах готовят шлифы, производят травление в 4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте, изучают и фотографируют микроструктуру, оценивают карбидную неоднородность при увеличении (90-100<sup>x</sup>), а также измеряют твёрдость на приборе Роквелла по шкале С. Полученные данные заносят в табл. 2 и 3.

Таблица 2

### Влияние кратности отпуска стали Р6М5, закалённой с температуры 1220 °С, на микроструктуру и твёрдость

№ п/п	Температура отпуска, °С	Крат- ность отпуска	Твёрдость HRC	Микро- структура,	Карбидная неодно- родность в баллах
	550				
	550				
	550				

Влияние температуры отпуска стали Р6М5, закалённой с температуры 1220 °С,  
на микроструктуру и твёрдость

№ п/п	Температура отпуска, °С	Твёрдость HRC	Микроструктура	Карбидная неоднородность в баллах
1	-			
2	200			
3	300			
4	400			
5	500			
6	550			
7	600			
8	650			

4. По полученным результатам строят графики зависимости в координатах твёрдость HRC – кратность отпуска (табл. 2), твёрдость HRC – температура отпуска (табл. 3), сравнивают их с требованиями ГОСТ 19265-73 и объясняют. Затем делают выводы о соответствии режима обработки стали требованиям ГОСТ 19265-73.

#### Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляют к быстрорежущим сталям?
2. Какие элементы используют при легировании этих сталей для обеспечения высокой твёрдости и красностойкости?
3. Как должна строиться термическая обработка, чтобы свойства стали были наилучшими? Какие параметры термической обработки определены ГОСТ19265-73?
4. Какие процессы происходят при термической обработке?

5. Какие параметры микроструктуры быстрорежущей стали оценивают по ГОСТ19265-73?

#### Библиографический список

1. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали [Текст] / Ю.А. Геллер. – М.: Металлургия, 1975. - 527с.
2. Кремнёв Л.С. Теория легирования быстрорежущих сталей / Кремнёв Л.С.// МиТОМ. - 1991. - №6. С.11-13.
3. Материаловедение / Ю.П. Солнцев [и др.]. – Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2004. – 734 с.
4. ГОСТ 19265-73. Прутки и полосы из быстрорежущей стали [Текст]: Введён 1975.01.01. – М: Изд-во стандартов, 1986.- 36 с.

## Лабораторная работа №4

### **Влияние термической обработки на структуру и свойства аустенитной стали 110Г13Л**

Цель работы: изучить влияние термической обработки на структуру и твёрдость стали 110Г13Л.

Аустенитная марганцовистая сталь 110Г13Л (сталь Гадфильда) обладает высоким сопротивлением износу при одновременном воздействии высоких давлений или ударных нагрузок. Она применяется для корпусов вихревых и шаровых мельниц, щёк дробилок, трамвайных и железнодорожных стрелок и крестовин, гусеничных траков, зубьев ковшей экскаваторов.

Основным требованием по ГОСТ 977-88 для этой стали является соблюдение норм химического состава: 0,9 -1,4%(масс.) С, 11,5-15%(масс.)Mn, 0,3-1,0%(масс.)Si,  $\leq 0,12\%$ (масс.)P,  $\leq 1\%$ (масс.)Cr,  $\leq 1\%$ (масс.)Ni,  $\leq 0,3\%$ (масс.)Cu.

В литом состоянии сталь имеет неоднородную структуру. Аустенитные зерна окружены заэвтектоидными карбидами и эвтектоидными образованиями трооститного типа.

Сущность термической обработки литой (кованой) стали заключается в том, чтобы растворить карбиды, гомогенизировать аустенит и зафиксировать эту структуру быстрым охлаждением. Поэтому термическая обработка стали 110Г13Л называется аустенизацией, заключается в нагреве до температур 1050-1100°C, выдержке и охлаждении в воде.

Марганцевый аустенит имеет высокую способность к упрочнению в процессе холодной пластической деформации. В исходном (аустенитном) состоянии твёрдость стали составляет 200-220 НВ. Пластическая деформация (статическое и динамическое обжатие) на 60-70% повышают твёрдость до 550-

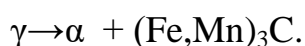
600 НВ. Пластическая деформация в марганцевом аустените осуществляется путём скольжения дислокаций по плоскостям  $\{111\}$ , а также за счёт двойникования. Кроме того в процессе деформации возможно образование около 1% мартенсита деформации.

Марганцевый аустенит нестабилен. В зависимости от температуры распада происходят следующие фазовые и структурные превращения:

1. Выпадение заэвтектоидных карбидов по границам зёрен. Марганцевая аустенитная сталь – заэвтектоидный сплав. Превращение начинается с выпадения по границам зёрен карбидных частиц  $(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{C}$ . Эти структурные образования растут и могут образовывать непрерывную карбидную сетку.

2. Образование пластин карбидов внутри зёрен. Эти структурные превращения наблюдаются только в высокоуглеродистой ( $>1\% \text{C}$ (масс.)) марганцевой стали. Рост пластин начинается от цементитных выделений и происходит во всём температурном интервале  $300-900^\circ \text{C}$ . Пластины, образованные в интервале  $400-700^\circ \text{C}$ , комплексные и состоят из  $\alpha$ -фазы и цементита  $(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{C}$ . Пластины, образованные выше  $700^\circ \text{C}$  и ниже  $400^\circ \text{C}$ , являются цементитными.

3. Эвтектоидное превращение. После выделения заэвтектоидных карбидов и образования комплексных пластин начинается эвтектоидное превращение по реакции:



Образование феррито-карбидной смеси эвтектоидной природы протекает при температуре  $400-700^\circ \text{C}$ .

В некоторых случаях для того, чтобы получить мелкое зерно аустенита перед закалкой проводят изотермический отжиг отливок при  $900-950^\circ \text{C}$  с выдержкой при  $550^\circ \text{C}$ , при которой из аустенита выделяется большое количество мелких карбидов в наиболее растворимой форме – в виде пластин и игл и происходит образование  $\alpha$  – фазы. При нагреве стали с такой структурой на  $1100^\circ \text{C}$  происходит перекристаллизация  $\alpha$  – фазы, полное растворение мелких карбидов и образование мелкозернистого аустенита.

Порядок выполнения работы

1. Получить коллекцию образцов из стали 110Г13Л, прошедшую различную обработку, приведённую в табл. 1.

Таблица 1

Термическая обработка стали 110Г13Л

№ образца	Обработка		
	Литьё	Изотермический отжиг: температура нагрева 950°C, 30 мин., t – температура изотермического превращения, 30 мин	Закалка 1100°C, охлаждение в воде
1	+	-	-
2	+	700°C	-
3	+	500°C	-
4	+	300°C	-
5	+	700°C	+
6	+	500°C	+
7	+	300°C	+
8	+	-	+

2. Определить химический состав выданной стали 110Г13Л по ГОСТ 977-88 и занести данные в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав стали 110Г13Л

№	Марка стали	Химический состав, %(масс.)											
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Ti	V	W	S	H	
п/п												не более	

3. Приготовить шлифы на полученных образцах и выявить травлением микроструктуру. Травить в 3%-ном растворе азотной кислоты на воде до появления чёрной плёнки. Затем при полировании плёнку удалить так, чтобы тонкая структура была видна. Полученную структуру сфотографировать. Номер зерна определить по ГОСТ 5639-82. На всех образцах измерить твёрдость. Полученные данные занести в табл. 3.

Таблица 3

Влияние обработки на структуру и твёрдость стали 110Г13Л

№ образца	Микроструктура, x100	Номер зерна	Твёрдость HRC
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

4. Проанализировать и объяснить полученные результаты. Рекомендовать обработку, позволяющую получить в стали минимальный размер зерна.

#### Контрольные вопросы

1. Чем легируют сталь Гадфильда?
2. Какого класса по структуре сталь Гадфильда?
3. Каким способом получают сталь Гадфильда?
4. Какой окончательной термической обработке её подвергают?
5. Чем объясняется высокая износостойкость стали Гадфильда?
6. Где согласно ГОСТ 977-88 используют сталь Гадфильда?



### Библиографический список

1. Специальные стали / М.И.Гольдштейн [ и др.]. – М.: Металлургия, 1985. – 407 с.
2. Металлография железа. Т.2. [Текст] / Под ред. Ф.Н.Тавадзе. – М.: Металлургия, 1972, - 284 с.
3. ГОСТ 977-88. Отливки стальные. Общие технические условия [Текст]: 01.01.1990. – М. Изд-во стандартов, 1989.- 33с.

## Лабораторная работа №5

### **Влияние термической обработки на структуру и свойства нержавеющей сталей**

Цель работы: изучить микроструктуру и свойства нержавеющей сталей после термической обработки.

Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали и сплавы обладают стойкостью против электрохимической и химической коррозии (атмосферной, почвенной, щелочной, кислотной, солевой), межкристаллитной коррозии, коррозии под напряжением и др.

Для защиты от коррозии широко применяется явление пассивации поверхности, вызванное преимущественным торможением анодных процессов за счёт образования на поверхности бездефектных тонких и прочных оксидных плёнок. Переход от активного состояния к пассивному связан с ростом электродного потенциала.

К элементам, способствующим этому процессу, относятся алюминий, кремний и хром. Алюминий и кремний способствуют повышению хрупкости стали. Они применяются реже. Основным легирующим элементом коррозионно-стойких (нержавеющих) сталей является хром, количество которого должно быть около 12%(масс.). Введение хрома в больших количествах кроме пассивации твёрдого раствора позволяет нержавеющей сталям получить достаточную конструкционную прочность при обычных и повышенных температурах. В большинстве случаев эти стали являются теплоустойчивыми, а при дополнительном легировании - жаростойкими или жаропрочными. Нержавеющие стали согласно ГОСТ 56327с 12-28%(масс.)Cr в зависимости от структуры могут быть ферритного, феррито-мартенситного и мартенситного классов.

Стали с содержанием хрома 12-28%(масс.) и углерода до 0,1%(масс.) относятся к ферритным (08X13, 08X17T, 15X28).

Стали с повышенным содержанием углерода (0,10-0,12 %(масс.)) имеют частичное  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращение и после закалки имеют структуру мартенсита и феррита (12X13).

Стали с содержанием углерода более 0,12%(масс.) имеют полное  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращение и после закалки становятся чисто мартенситными (20X13, 30X13, 40X13).

Термическая обработка сталей ферритного класса проводится с минимизацией таких нежелательных явлений, как хрупкость при 475°C, выделение  $\sigma$ -фазы и склонность к межкристаллитной коррозии (МКК). Таковой в зависимости от условий производства и эксплуатации могут быть отжиг при 560-800°C или закалка с нагревом в интервале температур 870-950°C в течение часа с охлаждением в воде.

Нержавеющие стали мартенситного класса подвергают закалке и отпуску. Несмотря на то, что критическая точка  $A_{c1}$  хромистых сталей с 13%(масс.) хрома соответствует 820°C, нагрев под закалку осуществляется в интервале температур 1000-1050°C для растворения карбидов. Температура отпуска лежит в пределах 200-700°C в зависимости от назначения изделия. После высокого отпуска рекомендуется охлаждение в масле во избежание отпускной хрупкости второго рода.

Стали, содержащие 12-25%(масс.) хрома и 5-20%(масс.) никеля - аустенито –мартенситного, аустенито-ферритного, аустенитного классов (ГОСТ 5632-72).

Общим недостатком большинства нержавеющей сталей является их склонность к межкристаллитной коррозии. Это связано с наличием в сталях значительного количества до 0,1-0,3%(масс.) углерода. Глубокое рафинирование по углероду в современных металлургических агрегатах приводит к окислению стали. Для того чтобы забрать углерод из твёрдого

раствора и не дать ему связаться с хромом в карбид  $Me_{23}C_6$ , вводят сильные карбидообразующие элементы: молибден, титан, ниобий. обеднение твёрдого раствора по хрому привело бы к потере пассивирующей способности стали и ухудшению коррозионной стойкости.

В хромоникелевых аустенитных сталях возможны следующие фазовые превращения:

- 1) образование карбидных, карбонитридных фаз и  $\sigma$  – фазы при нагревах в интервале  $650-850^{\circ}C$ ;
- 2) растворение этих фаз при нагреве до температур  $1000-1200^{\circ}C$ ;
- 3) образование  $\delta$  – феррита при высокотемпературных нагревах;
- 4) образование  $\alpha$  - и  $\epsilon$ - мартенситных фаз при охлаждении и пластической деформации.

Выделение карбидных и карбонитридных фаз происходит преимущественно по границам зёрен, что снижает пластичность стали и сопротивление её межкристаллитной коррозии. К резкому охрупчиванию приводит образование  $\sigma$  – фазы.

Присутствие в структуре стали  $\delta$  – феррита приводит к хрупкости при горячей прокатке стали, поэтому отношение  $Cr/Ni \leq 1,8$ . Это гарантирует образование не более 10-15%(масс.)  $\delta$  – феррита.

Термическая обработка нестабилизированных титаном и ниобием хромоникелевых аустенитных сталей (например, 10X18H9) заключается в закалке из однофазной аустенитной области от  $1000^{\circ}C$  в воду. Стали, стабилизированные титаном и ниобием (например, 10X18H9Т), закаляются из двухфазной области аустенита и специальных карбидов  $TiC$  или  $NbC$ , причём температура закалки составляет  $1000-1100^{\circ}C$ . Недостатками закалки являются: высокая температура нагрева, быстрое охлаждение, что может привести к короблению детали, поэтому в некоторых случаях она заменяется на стабилизирующий отжиг. Для нестабилизированных и стабилизированных сталей он проводится при  $850-950^{\circ}C$ .

Стандартные испытания на склонность сталей к межкристаллитной коррозии согласно ГОСТ 6032-2003 проводятся при кипячении в растворе концентрированной  $H_2SO_4$  ( $55 \text{ см}^3$ ) и  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  (110г) в течение 15-60 часов. После кипячения образец из листовой стали проверяют на звук при падении на стальную плиту с высоты 250 мм. При потере стального звука металл бракуют. При хорошем стальном звуке пластину дополнительно загибают на  $90^\circ$  до появления трещин

#### Методика выполнения работы

Работа выполняется на сталях 08X18T, 20X13, 08X18H9, 08X18H9T после различных термообработок.

Сталь 08X18T была подвергнута отжигу при  $840^\circ\text{C}$ .

Сталь 20X13 была подвергнута закалке с температуры  $1000^\circ\text{C}$ , охлаждению в воде и на воздухе, а затем отпуску при температурах 200, 300, 400, 500, 600,  $700^\circ\text{C}$ , охлаждению с печью.

Стали 08X18H9, 08X18H9T были закалены в воде с температуры  $1050^\circ\text{C}$ . Затем они были подвергнуты испытаниям на межкристаллитную коррозию по ГОСТ6032-2003.

#### Порядок выполнения работы

1. Студенты получают образцы заданных марок сталей 08X18T, 20X13, 08X18H9, 08X18H9T и расшифровывают их по ГОСТ 5632-72.. Приводят назначение этих марок сталей. Полученные данные заносят в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав и назначение нержавеющей сталей

№ п/ п	Марки стали	Химический состав, %(масс.)											Назначение	
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Al	Nb	Mo	S	P		
											не более			

2. На каждом образце приготавливают шлиф, подбирают травитель и режим травления. Образцы травят и фотографируют. Результаты заносят в табл. 2

Таблица 2

Режимы травления нержавеющей стали

№ п/п	Марка стали	Состав травителя и время травления	Микроструктура

3. После различных обработок измеряют твёрдость на стали 20Х13 на приборе Роквелла по шкале С и результаты заносят в табл. 3. Затем строят график зависимости твёрдости НРС от температуры отпуска и объясняют его, после чего сравнивают полученные данные с литературными.

Таблица 3

Влияние режимов термической обработки на твёрдость стали 20Х13

№ п/п	Твёрдость стали после различных режимов термической обработки							
	Закалка в воде с 1000°С,	Закалка на воздухе с 1000°С	Закалка в воде с 1000°С и отпуск, °С					
			200	300	400	500	600	700

4. На сталях 08Х18Т, 08Х18Н9, 08Х18Н9Т после стандартной обработки по ГОСТ 6032-2003 делают шлифы, травят, фотографируют и определяют склонность к межкристаллитной коррозии. Данные заносят в табл. 4. Исходя из полученных данных, делают заключение о склонности этих сталей к межкристаллитной коррозии и объясняют полученные результаты.

Определение склонности сталей 08X18T, 08X18H9, 08X18H9T к  
межкристаллитной коррозии

№ п/ п	Марка стали	Термообработка	Микроструктура	Номер зерна по ГОСТ 5639-82	Склонность к МКК
	08X18T	Отжиг 840°С			
	08X18H9	Закалка в воде с 1050°С			
	08X18H9T	Закалка в воде с 1050°С			

Контрольные вопросы

1. Какой элемент и в каких количествах вводят в сталь для получения коррозионной стойкости?
2. На какие классы по структуре делятся нержавеющие стали?
3. Какой термической обработке подвергаются нержавеющие стали ферритного, мартенситного и аустенитного классов?
4. Какие фазовые и структурные превращения происходят в нержавеющих сталях в зависимости от состава и условий термообработки?
5. Каков механизм межкристаллитной коррозии и каковы меры борьбы с ним?
6. Где в зависимости от своего структурного состояния используются нержавеющие стали?

Библиографический список

1. Специальные стали / М.И. Гольдштейн [ и др.]. – М. Металлургия, 1985. – 407 с.

2. Структура и коррозия металлов и сплавов [Изоматериал]: атлас / Е.А. Ульянин [ и др.]. – М. Металлургия, 1989. – 400с.
3. Акшенцева, А.П. Металлография коррозионно-стойких сталей и сплавов [Текст]: справочник / А.П. Акшенцева. – М.: Металлургия, 1991. – 288 с.
4. ГОСТ 5632-72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки [Текст]: Введён 1975.01.01 - М: Изд-во стандартов, 1975 – 56 с.
5. ГОСТ 6032-2003. Стали и сплавы коррозионно-стойкие. Методы испытания на стойкость к межкристаллитной коррозии [Текст]: Введён 2005.01.01. – М: Национальные стандарты, 2007. – 27 с.



## Лабораторная работа №6

### Металловедческая экспертиза

Цель работы: дать заключение относительно качества исследуемого материала, соответствия его свойств уровню требований ГОСТ или технических условий, рекомендовать в случае брака конкретные пути по его исправлению.

Металловедческая экспертиза играет важную роль во многих областях науки и техники. Это касается контроля технологии производства, качества продукции на заводах-поставщиках и заводах-потребителях, решения спорных вопросов, связанных с выходом из строя тех или иных конструкций или узлов, при криминалистических исследованиях материалов.

Проведение металловедческой экспертизы, как правило, связано с осуществлением ряда действий. Исследователь получает изделие с браком и экспертное задание, в котором приводятся основные сведения об изделии, его химическом составе, условиях работы и т.д. В самом общем случае методика исследования включает в себя следующие пункты:

1. Установление на материале детали места дефекта.
2. Подробное изучение условий работы, анализ требований чертежа детали и тех условий, в которых данный дефект был получен.
3. Отбор проб на исследование по ГОСТ 7564-73[1].
4. Разрезка проб на образцы для определения химического состава, механических свойств, макро- и микроструктуры стали.

5. Определение химического состава и сравнение его с составом по ГОСТ для данной марки стали.

6. Макроструктурный анализ.

1) Визуальный и с помощью микроскопа МБС-2 осмотр образцов с целью обнаружения возможных дефектов на поверхности детали, в зоне разрушения и в самом изломе детали[2,3].

2) Изучение характера излома.

3) Фотографирование излома и обнаруженных дефектов в зоне разрушения.

4) Снятие серных отпечатков.

5) Травление образцов на макроструктуру.

6) Оценка макроструктуры по ГОСТ 10243-75 [4].

7) Фотографирование макроструктуры детали.

7. Микроструктурный анализ.

1) Приготовление микрошлифов.

2) Просмотр нетравленных микрошлифов (оценка загрязнённости стали неметаллическими включениями по ГОСТ 1778-70[5], обнаружение микродефектов, изучение характера микродефектов).

3) Выявление микроструктуры шлифа травлением в соответствующих реактивах [6-8].

4) Оценка микроструктуры травленных шлифов по ГОСТ 5639-82 [8], 5640-68 [9], 8233-56 [10], 3443-77 [11], 21073.0-75 [12], 21073.1-75[13],

определение обезуглероженного слоя по ГОСТ 1763-68 [14] и других структурных изменений в зоне дефекта.

5) Фотографирование микроструктуры [15].

8. Определение механических свойств детали согласно ГОСТ или технических условий на исследуемый объект.

9. Измерение твёрдости или микротвёрдости в зоне разрушения и в бездефектном месте по ГОСТ 9012-59 [16], 9013-59 [17], ГОСТ 2999-75[18].

10. Обработка результатов исследования (ГОСТ 11.004-74[19], ГОСТ 8.207-76[20]).

11. Составление отчёта (ГОСТ 7.32-81[21]), который должен содержать следующее:

1) Цель исследования.

2) Методику исследования (кратко).

3) Результаты исследования и их объяснение.

4) Выводы и рекомендации.

Приведённая методика исследования подробна, но она не является исчерпывающей, так как проведение экспертизы, как и любой другой творческой работы, не может быть ограничено определёнными рамками. В связи с этим остановимся на примерах проведения экспертизы из практики.

## ПРИМЕРЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ

ЭКСПЕРТИЗА №1. После нитроцементации шестерни из стали 30ХГТ твёрдость поверхности соответствовала 54-55 HRC<sub>Э</sub>, твердость сердцевины 28-30 HRC<sub>Э</sub>. Выяснить причину снижения твёрдости в поверхностном слое.

Решение.

1. Химический состав шестерни соответствует ГОСТ 4543-71, %(масс.): 0,20-0,30 %C, 0,80-1,00 %Mn, 0,20-0,30% Si, 1,1-1,2% Cr, 0,04-0,08% Ti.

2. Осмотр внешней поверхности шестерни никаких дефектов не выявил.

3. Согласно ОСТ23.4.52-83[22] проведено определение глубины нитроцементованного слоя, микроструктуры поверхностного слоя и сердцевины детали непосредственно после нитроцементации.

1) Для определения глубины нитроцементованного слоя и микроструктуры от шестерни были отрезаны два образца (по два зуба шестерни в каждом).

2) Образец для определения глубины нитроцементованного слоя был подвергнут отжигу в защитной атмосфере в лабораторной печи при 850 °С, выдержка 1 час.

3) На этом образце приготавливаем микрошлиф таким образом, чтобы эвольвентный профиль зуба был в плоскости шлифа.

4) После травления образца в 4%-ном растворе азотной кислоты на спирте при увеличении 100 определяем расстояние в миллиметрах от

поверхности зуба до места в структуре, где находится 50% перлита и 50% феррита. Это расстояние есть глубина слоя и оно равно 1,1 мм.

5) На шлифе образца, травленном в 2%-ном растворе азотной кислоты, прошедшем весь цикл обработки, определяем в десяти полях зрения при увеличении 400 по шкале 1 тёмную составляющую. Её количество соответствует 5-6 баллу.

Затем полируем этот шлиф, травим его на микроструктуру в 4%-ном растворе азотной кислоты на спирте и при увеличении 400 изучаем структуру поверхностного слоя и сердцевины детали, характеризуем её по соответствующим шкалам ОСТ 23.4.52-82 [22].

В поверхностном слое:

- а) троостита не обнаружено;
- б) аустенит остаточный соответствует 7 баллу по шкале 5;
- в) карбонитриды соответствуют 3-4 баллу по шкале 7.

В сердцевине зуба шестерни количество феррита соответствует 1 баллу по шкале 8.

4. Анализ полученных результатов показал следующее.

Макроструктурный анализ брака не выявил. Глубина нитроцементованного слоя не выходит за рамки требований.

Микроструктурный анализ показал, что все параметры структуры уложились в рамки требований ОСТ 23.4.52-82 [22], кроме тёмной составляющей. По тёмной составляющей получен брак – её количество соответствует 5-6 баллу. Она

уменьшает твёрдость и прочность поверхностного слоя. Это основная причина снижения твёрдости поверхностного слоя до уровня 54-55 HRC<sub>Э</sub>. Образованию этого дефекта способствует повышенная концентрация азота в слое (свыше 0,4%), что связано с завышенной температурой нитроцементации или выдержкой при ней. Это приводит к образованию микропористости в поверхностном слое, а при наличии кислорода в диффузионной зоне – к окислению металла.

### Выводы

Для предотвращения образования тёмной составляющей нужно:

- 1) Вводить аммиак в рабочее пространство печи только после полного восстановления атмосферы в печи и достижения однофазного состава диффузионной зоны стали.
- 2) Ограничить подачу аммиака.
- 3) Увеличить углеродный потенциал атмосферы в конце процесса насыщения.

ЭКСПЕРТИЗА №2. Провести экспертизу поломки коленчатого вала из стали, химический состав которой приведен ниже:

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0,40- 0,42	0,20- 0,30	1,6-2,0	0,030	0,030	0,25	0,25	0,25

Решение.

1. Химический состав приведенной марки стали соответствует 40Г2 (ГОСТ 4543-71), где немного завышено количество марганца:

по ГОСТ 4543-71 – 1,40-1,80% Mn;

в стали – 1,60-2,00% Mn.

2. Макроструктурный анализ разрушенной поверхности вала позволил выявить крупнокристаллический излом.

3. Для понимания причины крупнокристаллического излома были приготовлены микрошлифы. Вал был разрезан параллельно своей оси на три части, отстоящие друг от друга на равных расстояниях. Каждая часть пересекала поверхность разрушения. Было приготовлено три шлифа.

4. После травления в горячем концентрированном растворе пикриновой кислоты с ПВА при увеличении 100 был определен номер бывшего аустенитного зерна на каждом шлифе в десяти полях зрения. Зеренная разобщенность соответствовала 3-4 номеру (ГОСТ 5639-82).

5. Микроструктура всех трех шлифов была однородна и соответствовала сорбицированному перлиту отпуска с твердостью  $\approx 18 \text{ HRC}_3$ .

#### Выводы

1. В приведенной марке стали содержание марганца больше чем требуется по ГОСТ 4543-71 на 0,2% по верхнему и нижнему пределу.

2. В окончательной чистовой обработке могли быть допущены нарушения:

1) При закалке завышена температура, вследствие чего было получено крупное зерно 3-4 номера;

2) Температура отпуска была завышена, вследствие чего был получен сорбидизированный перлит отпуска с твердостью  $\approx 18 \text{ HRC}_{\text{Э}}$ .

#### Рекомендации

1) Заменить сталь 45Г2 на наследственно мелкозернистую 45ХФА.

2) Понизить температуру закалки до уровня  $A_{N_3} + 30-50 \text{ }^\circ\text{C}$ , а температуру отпуска до 500-530  $^\circ\text{C}$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 7564-97. Сталь. Общие правила отбора проб, заготовок, образцов механических и технологических испытаний [Текст]: Введен 1999.01.01. –М: Изд-во стандартов, 2004. -15с.

2. Дефекты стали [Текст]: справочник/ под ред. С.М. Новокщеновой и М.И. Виноград, –М.: Металлургия, 1984. –200 с.

3. Атлас дефектов стали [Текст]: [Изоматериал]–М.: Металлургия, 1979. – 186 с.

4. ГОСТ 10243-75. Метод испытаний и оценки макроструктуры [Текст]: Введен 1978.01.01. –М: Изд-во стандартов, 1985 .-29 с.



5. ГОСТ 1778-70. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений [Текст]: Введен 1972.01.01. –М: Издательство стандартов, 1970.-26 с.
6. Коваленко, В.С. Металлографические реактивы[Текст] /В.С. Коваленко. –М.: Металлургия, 1970. –133 с.
7. Беккерт, М. Справочник по металлографическому травлению [Текст]/ М Беккерт, Х. Клемм. –М.: Металлургия, 1979. –336 с.
8. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна [Текст]: Введен 1983.01.01. –М: Издательство стандартов, 1988.-23 с.
9. ГОСТ 5640-68. Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты [Текст]: Введен 1970.01.01. –М: Издательство стандартов, 1968.-8 с.
10. ГОСТ 8233-56. Сталь. Эталоны микроструктуры [Текст]: Введен 1957.01.01. –М: Издательство стандартов, 1956.-4 с.
11. ГОСТ 3443-87. Отливки чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры [Текст]: Введен 1977.07.01. –М: Издательство стандартов, 1987.-42 с.
12. ГОСТ 21073.0-75. Металлы цветные. Определение величины зерна, общие требования [Текст]: Введен 1976.07.01. –М: Издательство стандартов, 2002.-8 с.

13. ГОСТ 21073.1-75. Металлы цветные. Определение величины зерна методом сравнения со шкалой микроструктур [Текст]: Введен 1976.07.01. –М: Издательство стандартов, 1975.-4 с.

14. ГОСТ 1763-68. Сталь. Методы определения глубины обезуглероженного слоя [Текст]: Введен 1973.07.01. –М: Издательство стандартов, 1994.-3 с.

15. ГОСТ 25536-82. Металлы. Масштабы изображений на фотоснимках при металлографических методах исследования [Текст]: Введен 1984.01.01. –М: Издательство стандартов, 1982.-4 с.

16. ГОСТ 9012-59. Металлы. Методы испытаний. Измерение твёрдости по Бринеллю [Текст]: Введен 1960.01.01. –М: Издательство стандартов, 2004.-40 с.

17. ГОСТ 9013-59. Металлы. Методы испытаний. Измерение твёрдости по Роквеллу [Текст]: Введен 1969.01.01. –М: Издательство стандартов, 1991.-13 с.

18. ГОСТ 2999-75. Металлы и сплавы. Методы измерения твёрдости по Виккерсу [Текст]: Введен 1976.07.01. –М: Издательство стандартов, 1986.-30 с.

19. ГОСТ 11.004-74. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения [Текст]: Введен 1975.07.01. –М: Издательство стандартов, 1981.-20 с.

20. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений [Текст]: Введен 1977.01.01. –М: Издательство стандартов, 1976.-13 с.

21. ГОСТ 7.32-81. Отчет о научно-исследовательской работе. Общие требования и правила оформления [Текст]: Введен 2002.07.01. –М: Издательство стандартов, 2001.-19 с.

22. ОСТ 23.4.52-83. Сталь цементованная и нитроцементованная для зубчатых колёс. Методы контроля качества микроструктуры и толщины слоя [Текст]: Введен 1986.01.01. – Волгоград, типография Волгоградского сельскохозяйственного института, 1985.-18 с.