

## **Влияние неметаллических включений на качество чистовых осей**

**Автор:** Котова Н.А.

**Руководитель:** Стефанович С.В.

Для улучшения качества черновых осей, при выявлении повышенного содержания неметаллических включений в контроле черновых осей и волосовин на готовой продукции исследован химический состав включений, рассмотрен ряд причин их образования и проведены мероприятия по их предотвращению.

Для расширения марочного сортамента и освоения новых видов продукции за период с 2014 по 2018 год ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» освоила производство осевых заготовок из стали марок ОС и ЕА1N. Продукция в виде непрерывнолитой заготовки размером 300 x400 мм поставляется на ОАО «Могилевский металлургический завод» для производства черновых осей. К осевой заготовке предъявляются повышенные требования по макроструктуре и загрязненности неметаллическими включениями. Макроструктура непрерывнолитой осевой заготовки контролируется на каждой плавке в соответствии с ОСТ 14-1-235 в лаборатории ОАО «БМЗ-управляющая компания холдинга «БМК». Содержание неметаллических включений в непрерывнолитой заготовке не оценивается, но требуемый уровень загрязненности неметаллическими включениями гарантируется технологией производства. Содержание неметаллических включений и макроструктура черновых осей, полученных ковкой из осевой непрерывнолитой заготовки, контролируются на ОАО «ММЗ». Несмотря на повышенные требования и жесткий контроль, периодически выявляются недопустимые дефекты (волосовины) на поверхности чистовых осей, из-за которых чистовая ось бракуется. Поэтому при выявлении повышенного содержания неметаллических включений в контроле черновых осей и волосовин на готовой продукции работают в тесном контакте испытательные лаборатории и технологи предприятий.

Существующие способы производства стали не позволяют получить металл, не содержащий неметаллических включений, но корректирующие мероприятия технологии производства позволяют значительно уменьшить их количество. Для улучшения качества осевой заготовки разработана Программа по улучшению качества черновых осей. В рамках Программы подготовлено дополнение к плану работ «Совершенствование производства непрерывнолитого бруса из стали марки ОС».

После изучения состава неметаллических включений (превышающих предъявляемые требования), выявляемых в черновых осях и устанавливая природу их образования, проводятся корректирующие действия, существенно снижающие отсортировку чистовых осей по волосовинам.

### **Структура и свойства поверхностных слоев низколегированных цементуемых сталей 16CrMnS5 и 18ХГТ, выплавляемых ОАО «БМЗ управляющая компания холдинга БМК»**

Василькова С.Ю., Парецкая Е.А., Поздняков Е.П., Радионов А.В.

Научный руководитель Степанкин Игорь Николаевич, заведующий кафедрой «Материаловедение в машиностроении» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого»

**Введение.** Широкое использование цементуемых сталей является общепринятым подходом достижения высокой надежности деталей машин. В настоящее время, наряду с

широко используемыми сталями 18ХГТ, 12ХНЗА, 20ХГНМБ и др., происходит внедрение таких сплавов как 16MnGrS5 и их аналогов, применяемых в производстве деталей машин зарубежными производителями. Использование таких сплавов также связано с интеграцией отечественной металлургической промышленности в общеевропейский рынок и внедрения стандартов DIN EN 10083 и DIN EN10084 для удовлетворения потребностей как внутренних, так и внешних заказчиков. Увеличение объема плавки благоприятно сказывается на качестве характеристик материалов и рентабельности их выплавки, что является одним из аспектов повышения конкурентоспособности отечественной продукции. В тоже время ориентация отечественных инженеров на применение традиционно используемых сплавов, например 18ХГТ, в определенной степени сдерживает внедрение более современных аналогов, например 16MnGrS5. Отмеченное противоречие делает актуальными исследования по сравнительному анализу указанных сплавов в части формирования в их поверхностном слое заданного градиента структуры и свойств.

**Объекты и методики исследований.** Объектами исследований являлись науглероженные слои сталей 16CrMnS5 и 18ХГТ. Цементацию проводили при температуре 920°C в течении 8-ми и 12-ти часов в среде древесного угля модифицированного углекислыми барием. После химико-термической обработки (ХТО) проводили закалку в масле с температуры 860°C и отпуск при температурах 200°C и 400°C в течении 1 часа. Обработку осуществляли на одних и тех же образцах, т.е. для проведения среднего отпуска использовали образцы, предварительно отпущенные при температуре 200 °С. Для анализа структуры одну из поверхностей кубических образцов размерами 20×20 мм шлифовали и полировали, травили в 3...5 %-м спиртовом растворе азотной кислоты. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Метам РВ22. Послойную оценку изменения строения поверхностного слоя и его твердости проводили последовательным механическим удалением с исследуемой поверхности образца слоя материала толщиной порядка 0,1...0,2 мм. Обнаженную для исследований внутреннюю поверхность металла полировали и подвергали дюрометрическим испытаниям на прессе Роквелла ТК-2М при нагрузке 1471 Н. Общее количество исследованных слоев определяли по результату дюрометрических испытаний, отражающих достижение минимальной твердости не менее чем на трех последовательно исследованных внутренних слоях. Их признавали сердцевиной образца, не затронутой химико-термической обработкой.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Микроструктура цементованных образцов представляет собой металлическую матрицу с карбидными включениями. Выявлены различия в морфологии карбидной фазы в металле слоя с заэвтектоидной структурой. В поверхностном слое стали 16CrMnS5 карбидные включения имеют преимущественно глобулярную форму, а в стали 18ХГТ отмечено большое количество продолговатых частиц заостренной формы. Различия сохранились после удаления поверхностного слоя толщиной 0,13...0,14 мм. На указанной глубине карбидная фаза располагается в области границ зерен. В стали 16CrMnS5 цементитный каркас образуется многочисленными разрозненными глобулярными включениями, а в стали 18ХГТ, морфология избыточной фазы больше напоминает сплошную карбидную сетку. Увеличение длительности науглероживания повышает объем карбидной фазы с 36-40 до 52-55%, а глубина заэвтектоидной зоны увеличивается до 0,67 мм (сталь 16CrMnS5) и 0,95. (сталь 18ХГТ).

Увеличение длительности цементации позволяет сформировать так называемую площадку максимальной твердости на графиках распределения твердости по сечению слоев. После закалки с низкотемпературным отпуском твердость поверхностного слоя стали 16CrMnS5 достигает 65HRC<sub>3</sub>, при этом глубина площадки максимальной твердости после 12-ти часового науглероживания около 0,5 мм. Анализ кривых распределения твердости по сечению стали 18ХГТ показывает что науглероживание в любом случае позволяет получить площадку максимальной твердости. После 8-ми часовой цементации её глубина до 0,3 мм, а

после 12-ти часов насыщения этот показатель удваивается. У обоих сплавов наблюдается некоторое снижение твердости непосредственно поверхности в области площадки максимальной твердости на графиках отражающих 12-ти часовое насыщение. При этом в образцах из стали 16CrMnS5 максимально возможная твердость проявляется на глубине 0,29 мм, а в образцах из стали 18ХГТ на глубине 0,14 мм. Подобное явление, по-видимому, связано с образованием остаточного аустенита в поверхностном слое. После проведения среднетемпературного отпуска и распада аустенита, твердость упрочненного слоя описывается либо практически горизонтальным начальным участком, либо пологим графиком. В последнем случае высокая твердость подслоя – 65HRC<sub>3</sub>, свойственная структуре мартенсит + карбиды цементитного типа, после закалки и низкого отпуска, сменяется равномерно убывающей характеристикой для структуры карбиды + троостит. Отмеченная закономерность плавного изменения твердости после закалки и среднетемпературного отпуска оказывается справедливой не только для заэвтектоидной зоны, но и для переходной зоны модифицированного слоя, в которой наблюдается последовательная смена морфологии троостита: мелкодисперсный – мелкоигльчатый – мелкодисперсный.

Отдельного внимания заслуживает оценка прогнозируемого значения величины предела контактной выносливости упрочненного слоя ( $\sigma_{Hlim}$ ), которую можно провести в соответствии с ГОСТ 21354-87, для слоев твердостью выше 56HRC<sub>3</sub> по формуле:

$$\sigma_{Hlim} = 23 \cdot HRC_3 \quad (1)$$

Дополнительное проведение среднетемпературного отпуска при 400°C вызывает снижение твердости до уровня 52...55HRC<sub>3</sub>, что делает применение указанной зависимости не корректным. Указанный нормативный документ допускает оценку предела контактной выносливости упрочненных слоев с твердостью ниже 50HRC<sub>3</sub> по формуле:

$$\sigma_{Hlim} = 17 \cdot HRC_3 + 200 \quad (2)$$

Отметим, что твердость, полученная в результате применения среднетемпературного отпуска, оказалась вне пределов рекомендуемых значений для расчетов по зависимостям (1) и (2). Эта создает предпосылки для использования обеих формул с последующим сравнением полученных результатов, они приведены в таблице.

Таблица – Предел контактной выносливости  $\sigma_{Hlim}$  согласно ГОСТ 21354-87

Марка стали	Предел контактной выносливости, МПа			
	Длительность ХТО - 8 часов		Длительность ХТО – 12 часов	
	3. 860°C + О. 200 °C	3. 860°C + О. 400 °C	3. 860°C + О. 200 °C	3. 860°C + О. 400 °C
16CrMnS5	1495	1265 (1) 1135 (2)	1495	1242 (1) 1118 (2)
18ХГТ	1380	1196 (1) 1084 (2)	1472	1219 (1) 1101 (2)

Значения предела контактной выносливости для цементованных слоев, упрочненных закалкой и низкотемпературным отпуском, оказываются существенно выше, чем при использовании среднетемпературного отпуска в качестве финишной операции термохимической обработки. Подобные различия отражают в первую очередь способность поверхности металла сохранять внешние очертания площадки контакта, что как правило, оказывает существенное влияние на прецизионные характеристики в первую очередь таких деталей как зубчатые колеса. При этом структура упрочненного слоя после закалки и низкотемпературного отпуска всегда содержит определенное количество остаточного аустенита. В такой ситуации возможна интенсификация динамического старения твердого раствора, в результате которой возрастает вероятность зарождения

трещин контактной усталости. Следовательно, применение среднетемпературного отпуска может рассматриваться как один из способов стабилизации структуры твердого раствора и повышения его вязкости, что в свою очередь будет способствовать повышению работы зарождения трещин как контактной, так и объемной усталости, и повышать прочность зубьев, особенно при повышении модуля зацепления.

Сравнительный анализ полученных результатов показывает, что по показателям градиента структуры и твердости по сечению науглероженных слоев стали 16CrMnS5 и 18ХГТ можно считать взаимозаменяемыми аналогами.

### **Ультразвуковой толщиномер А1207 – альтернативная замена ультразвуковому толщиномеру А1209**

**Автор:** Ладорская Яна Юрьевна

**Цель:** Путем сравнения технологических характеристик двух толщиномеров (А1207 и А1209) выбрать наиболее подходящий вариант, как практически, так и экономически для регулярной работы. Выбрать вариант, который обеспечит непрерывную работу контролеров, обеспечит точность замера стенки и легкость в использовании.

**Краткое содержание:** Ультразвуковой толщиномер А1207 предназначен для измерений толщины стенок труб (включая изгибы), котлов, баллонов, сосудов, работающих под давлением, обшивок и других изделий из металлов, с гладкими или грубыми поверхностями. Принцип действия толщиномера состоит на основе эхо импульсного метода. Суть метода заключается в измерении времени двойного прохода ультразвуковых колебаний через изделие от одной поверхности до другой, которое пересчитывается в значение толщины изделия.

Причины замены ультразвукового толщиномера А1209 на А1207:

1. Простота использования. Калибровка (настройка) ультразвукового толщиномера А1209 – это трудоемкий процесс, который осуществляют для каждого типо-размера труб. В течении одной смены (12 часов) размер и марка трубы меняются неоднократно, что ведет к регулярной калибровке прибора. Данная операция занимает часть рабочего времени, а также требует квалифицированного специалиста, так как только дефектоскопист может правильно настроить толщиномер. Ультразвуковой толщиномер А1207 не требует определенных навыков в настройке.

2. Малые габариты и масса. Преобразователь и электронный блок (А1209) соединяются кабелем, что не совсем удобно при использовании прибора (т.к. это затрудняет работоспособность специалиста и прибор может повредиться в процессе использования (например: зацепиться проводами, провода повредились, возможно повредили крепящие элементы, прибор не работает, замена дорогостоящая)). Толщиномер А1207 имеет малые габариты и массу. Преобразователь ПЭП установлен в корпус прибора (никаких проводов). На корпусе есть выступ для упора пальцев, что ведет к удобству при использовании.

3. Продолжительность работы толщиномера А1207 значительно выше, чем у А1209 и составляет 16 часов.

4. Цена прибора. Ультразвуковой толщиномер А1207 в 2,5 раза дешевле чем А1209 (1278/2958 бел.руб.).

**Выводы:** Ультразвуковой толщиномер А1207 обладает всеми необходимыми функциями для трубопрокатного производства ОАО «БМЗ-управляющая компания холдинга «БМК». Он прост в использовании и экономически выгоден.