

**ОСОБЕННОСТИ РОСТА ЗЕРНА ПРИ ЗАКАЛКЕ  
ЦЕМЕНТОВАННОГО СЛОЯ СТАЛИ 16MNGRS5  
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ**

**Е. П. Поздняков, Е. А. Парецкая, А. В. Мартьянов, С. Г. Папко**

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

**А. В. Радионов**

*ОАО «Гомсельмаш» – управляющая компания холдинга»,  
Республика Беларусь*

**А. А. Серафимович**

*ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга БМК», г. Жлобин,  
Республика Беларусь*

Научный руководитель И. Н. Степанкин

**Введение.** Диверсификация продукции отечественного металлургического комбината – «БМЗ – управляющая компания холдинга БМК» является одним из важных аспектов инновационной политики предприятия. Одно из направлений эффективного совершенствования современной бизнес-модели – постоянное освоение новых марок сталей, востребованных как в дальнем, так и ближнем зарубежье [1]. Один из таких сплавов – сталь 16MnCrS5, производимая в соответствии с EN10084, является заменителем широко известной стали 18ХГТ ГОСТ 4543–71. Мотивация предприятия, обусловленная устойчивым спросом западных партнеров на сплавы, соответствующие европейским нормативам, диктует необходимость вовлечения в круг потребителей стали 16MnCrS5 отечественных машиностроительных холдингов. Такой подход, с одной стороны – обеспечивает приемлемые с металлургической точки зрения качественные характеристики и рентабельность производства данного сплава. С другой, позволяет унифицировать инжиниринговые разработки в области машиностроительного производства между белорусскими и зарубежными предприятиями.

Цель исследования – изучение влияния режимов термохимической обработки стали 16MnGrS5 на морфологию и свойства ее науглероженных слоев.

**Объекты и методики исследований.** Объектом исследований являлись науглероженные слои стали 16MnGrS5. Цементацию в течение 8 ч при температуре 920 °С проводили в универсальной камерной печи с CASEMASTER AFS-242436, выдерживая значение углеродного потенциала на уровне 1,2 % в пересчете на массовую долю данного элемента в рабочей среде.

Поверхностную закалку токами высокой частоты осуществляли с использованием генератора ВЧГ-160. Объемную закалку проводили непосредственно из печи цементации с подстуживанием деталей до температуры 840 °С. Закалочная среда – масло. Температура отпуска – 200 °С, длительность – 1 ч.

Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Метам РВ22. Травление микрошлифов осуществляли реактивом Каллинга и реактивами на основе хлорного железа и соляной кислоты.

**Результаты исследований и их обсуждение.** С технологической точки зрения оба названных сплава относятся к классу цементуемых сталей, в цикле обработки которых важное значение имеют практически все этапы. Особого внимания заслуживает режим термической обработки после цементации, в результате которого формируются окончательные свойства поверхностного слоя. По экономическим соображениям в последовательности переходов науглероживание–закалка–отпуск мо-

жет использоваться закалка ТВЧ. В результате существенно сокращается операционное время и не требуется больших энергетических затрат на использование камерных печей для объемной закалки. Кроме того, сердцевина металла приобретает высокую вязкость, благодаря тому, что режим предыдущей обработки – цементации, по своему результату в отношении к внутренним слоям металла близок к полному отжигу. Одним из основных недостатков закалки ТВЧ является высокая вероятность неконтролируемого повышения температуры аустенитизации, что неблагоприятно сказывается на росте зерна металла. Сравнительный анализ химического состава сталей 18ХГТ ГОСТ и 16MnCrS5 показывает, что в составе первого сплава присутствует до 0,09 % титана, сдерживающего рост зерна и снижающего вероятность перегрева при высокоэнергетических воздействиях. Отсутствие титана во втором сплаве требует учета склонности зерна к росту и актуализации режима закалки в направлении предотвращения перегрева поверхностного слоя.

Влияние обоих режимов закалки цементованного слоя стали 16MnCrS5 было изучено в условиях ОАО «Гомсельмаш» – управляющая компания холдинга». В соответствии с базовой технологией деталь «Цапфа» № КЗК-12-0290640 после науглероживания подвергали закалке (ТВЧ) и низкотемпературному отпуску. После чего сопрягаемую поверхность детали (защищенную от науглероживания) соединяли дуговой сваркой с остальными элементами сборочного узла. Окончательной операцией являлась механическая обработка (шлифование) наружной цилиндрической поверхности в зоне упрочненного слоя. В результате проведенной обработки отмечены случаи самопроизвольного отделения шлифованного поверхностно-упрочненного слоя (рис. 1). С момента окончания механической обработки до возникновения трещин проходило от нескольких часов до нескольких суток. В отдельных партиях деталей доля бракованных изделий достигала 30 %.

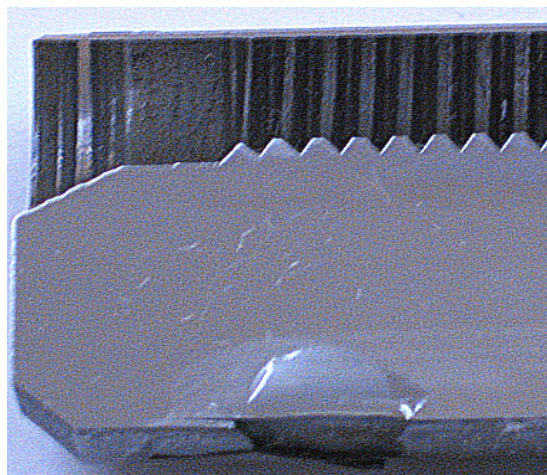


Рис. 1. Область структурных исследований в окрестности подповерхностных трещин детали «Цапфа» № КЗК-12-0290640

Анализ структуры поверхностного слоя показал, что в результате закалки ТВЧ возникал аномальный рост зерна упрочненного слоя. Продольные размеры отдельных структурных составляющих достигали 100 и более мкм, что соответствует 3–4-му баллу зерна согласно ГОСТ 5639. Межзеренные границы твердого раствора не могут быть описаны классическими категориями иллюстрации правильных гео-

метрических фигур. Они имеют морфологию, близкую к ледебуритной эвтектике железоуглеродистых сплавов с содержанием углерода свыше 2 % (рис. 2, а).

Внутризеренная структура, изученная с помощью травления реактивами на основе хлорного железа и соляной кислоты, отличалась игольчатым мартенситом, а также имела область высокого содержания остаточного аустенита в непосредственной близости к траектории продвижения трещины, отделяющей наружный упрочненный слой от сердцевины металла. Указанная зона практически не подвержена травлению. Размеры отдельных игольчатых кристаллов твердого раствора достигают величины порядка 8–10 мкм, что согласно ГОСТ 8233 классифицируется как среднеигольчатый мартенсит. Выявленные особенности фазового состава упрочненного слоя свидетельствуют о возникновении значительного градиента свойств из-за высокого содержания остаточного аустенита, а также снижения вязкости металла вследствие перегрева. Основными причинами отслоения упрочненного слоя после проведения шлифования стали высокие по величине остаточные напряжения сжатия. Совокупность всех технологических операций способствовала постепенному повышению их величины. Это обусловлено тем, что механическая обработка слоя, содержащего большое количество остаточного аустенита, всегда сопровождается его динамическим старением и превращением в мартенсит. Большой удельный объем  $\alpha$ -фазы усиливает внутренние деформации наружного слоя, вызывая его выпучивание, которое в процессе старения сопровождается отслоением металла. Дополнительным неблагоприятным фактором, снижающим прочность сцепления сердцевины и наружного слоя, является утонение последнего в процессе шлифования. Его собственная жесткость уменьшается, и он теряет способность выполнять роль наружного бандажа, имеющего достаточную конструкционную прочность.

Альтернативная технология объемной закалки была применена с учетом выявленных выше структурных дефектов. Это позволило обеспечить высокую точность температуры нагрева –  $840 \pm 5$  °С по всему сечению упрочненного слоя и детали в целом. Остальные переходы термической операции не изменяли. Поверхностный слой приобрел структуру среднеигольчатого мартенсита с равномерно распределенными кристаллами остаточного аустенита (рис. 2, б). Признаков перегрева не обнаружено. Последующая шлифовка упрочненных деталей не сопровождалась возникновением подповерхностных трещин, все детали из партии соответствовали требованиям контроля качества.

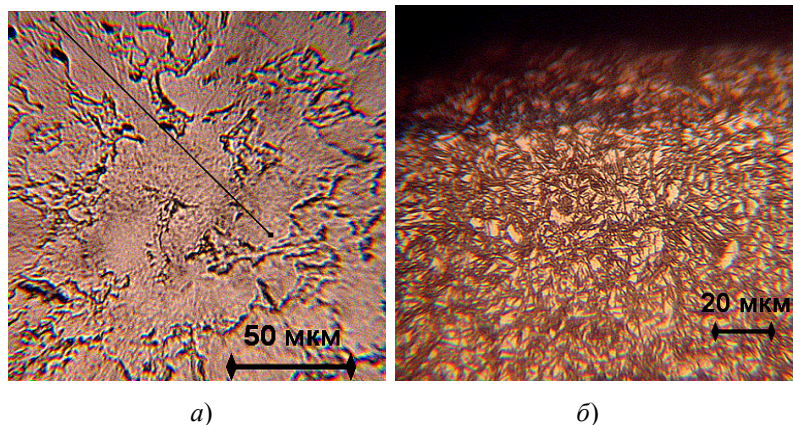


Рис. 2. Структура упрочненного слоя стали 16MnCrS5 после травления реактивом Каллинга: а – закалка ТВЧ; б – объемная закалка

**Заключение.** Полученные результаты показали, что в процессе термохимической обработки стали 16MnCrS5 важным технологическим параметром является температура аустенитизации науглероженного слоя перед закалкой. Точное соблюдение режима нагрева, достигнутое при объемной закалке, позволило избежать перегрева упрочненного слоя, который был зарегистрирован в случае закалки ТВЧ. Это в свою очередь устранило причину отслоения наружной поверхности детали после ее шлифовки.

#### Л и т е р а т у р а

1. Перетягина, Е. А. ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга БМК»: визитная карточка Республики Беларусь / Е. А. Перетягина // Знак качества. – 2018. – № 1. – С. 6–9.