

**Высокотемпературная вакуумная цементация – эффективный способ повышения производительности химико-термической обработки и улучшения условий труда**

Чичин А.Н.

Научный руководитель Кукареко В.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Использование высокотемпературной вакуумной цементации (ВВЦ) является перспективным способом снижения энергоемкости химико-термической обработки (ХТО) деталей трансмиссий автотракторной техники при одновременном повышении их эксплуатационной надежности и улучшении условий труда [1]. Процесс вакуумной цементации имеет ряд преимуществ перед традиционными методами, а именно: отсутствие газоприготовительных установок и приборов контроля углеродного потенциала; возможность эффективного регулирования профиля распределения углерода в цементированном слое; уменьшение удельного расхода электроэнергии и технологического газа; отсутствие кислород - содержащих компонентов в атмосфере, что исключает внутреннее окисление деталей. При этом достигается значительное сокращение длительности процесса ХТО в результате проведения его при высокой температуре. Так, в частности, увеличение температуры цементации от 950 °С до 1000 и 1050 °С приводит к уменьшению времени насыщения углеродом до глубины слоя 1,5 мм соответственно в ~ 2 и ~ 3 раза.

В настоящее время на ОАО «МТЗ» ХТО зубчатых колес проводится на оборудовании «ModulTherm 7/1» фирмы «ALD Vacuum Technologies GmbH». Опыт использования технологии вакуумной ХТО на линии «ModulTherm 7/1» по сравнению с обработкой в безмуфельных агрегатах показал экономическую выгоду ВВЦ с точки зрения роста производительности (905 и 342 кг/ч соответственно), снижения продолжительности цикла цементации на толщину слоя 1,0-1,4 мм (5,8 и 17,5 ч), исключения операции очистки деталей после закалки и необходимости утилизации промасленной окалины, вывода из процесса закалочного масла, снижения практически до нуля брака обрабатываемых изделий, резкого сокращения времени вывода термического оборудования на рабочий температурный режим [2]. Кроме этого, существенно улучшились условия труда обслуживающего персонала, а также снизилась экологическая нагрузка на окружающую среду.

Вместе с тем применение высокотемпературной цементации для стандартных конструкционных сталей без проведения последующей фазовой перекристаллизации сталей перед закалкой зачастую приводит к росту величины действительного зерна, неблагоприятному для механических свойств детали, а также приводящему к ее повышенным деформациям после полного цикла химико-термической обработки. Так, стандартные цементуемые стали 19ХГН и 20ХГН после вакуумной цементации при 1050 °С имели аустенитное зерно 2–5-го балла [1]. В связи с этим при ВВЦ зачастую используют закалку с повторного нагрева, что обеспечивает получение мелкозернистой структуры с высокими прочностными характеристиками изделий из этих сталей. Вместе с тем повторная закалка в значительной степени уменьшает экономическую эффективность ВВЦ и требует применения дополнительного специализированного оборудования. Указанную проблему в настоящее время можно решить либо путем разработки новых отечественных наследственно-мелкозернистых цементуемых сталей, сохраняющих дисперсную структуру после длительных изотермических выдержек при температурах 1000–1050 °С, либо путем совершенствования технологических режимов обработки стандартных цементуемых сталей с целью повышения стабильности их зеренной структуры в процессе высокотемпературной цементации.

В связи с этим для проведения высокотемпературной цементации разработана новая экономно-легированная конструкционная сталь 20ХГНМБ, легированная добавками ниобия, никеля, молибдена и микродобавки кальция [2, 3]. Результаты исследований показали, что использование стали 20ХГНМБ обеспечивает сохранение мелкозернистой структуры (6 – 8

балла) при температурах цементации 1000 – 1050 °С, что позволяет рекомендовать сталь для изготовления высоконапряженных деталей трансмиссий автотракторной техники. На рисунке 1 приведены характерные микроструктуры после ХТО на линии «ModulTherm 7/1» при 1030 - 1050 °С после высокотемпературной цементации при 1030 - 1050 °С[2]. При этом действительное зерно для цементированной стали 20ХН3А составляет № 1 – 3, а для стали 20ХГНМБ – № 6 – 7.

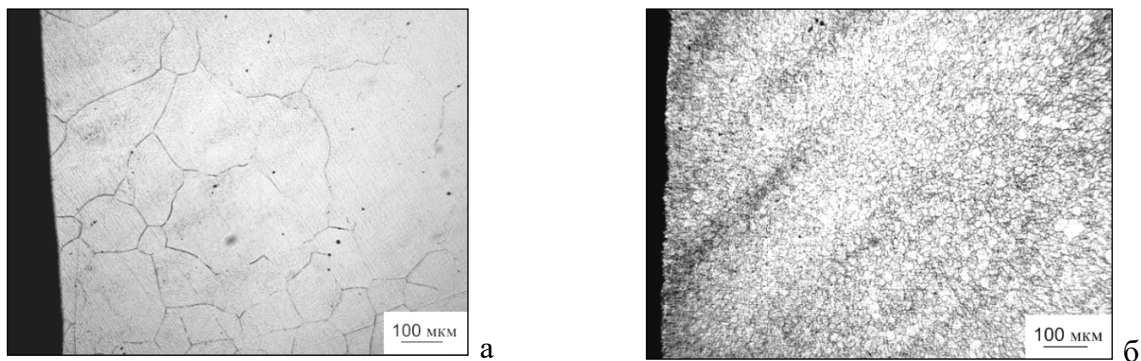


Рисунок 1 – Микроструктура цементированного слоя стали 20ХН3А (а) и 20ХГНМБ (б) цементированного слоя для стандартной конструкционной стали 20ХН3А и стали 20ХГНМБ

Таким образом, применение стали 20ХГНМБ обеспечивает качественную структуру цементированного слоя и сердцевины деталей после высокотемпературной цементации.

Наряду с разработкой новой наследственно мелкозернистой стали проблема роста зерна при высокотемпературной цементации деталей машиностроения решалась также и путем повышения стабильности зеренной структуры стандартных сталей с помощью совершенствования технологических режимов их химико-термической обработки. В основе указанного направления лежит использование обнаруженного для конструкционных легированных сталей влияния скорости нагрева сталей в интервале фазового  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения на рост аустенитного зерна при высокотемпературной изотермической выдержке [4]. Установлено, что ступенчатый нагрев сталей со скоростью нагрева 1 – 3 град/мин в интервале фазового  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения приводит к стабилизации зеренной структуры стали 20ХН3А в процессе высокотемпературной цементации 1000 – 1020 °С (рисунок 2).

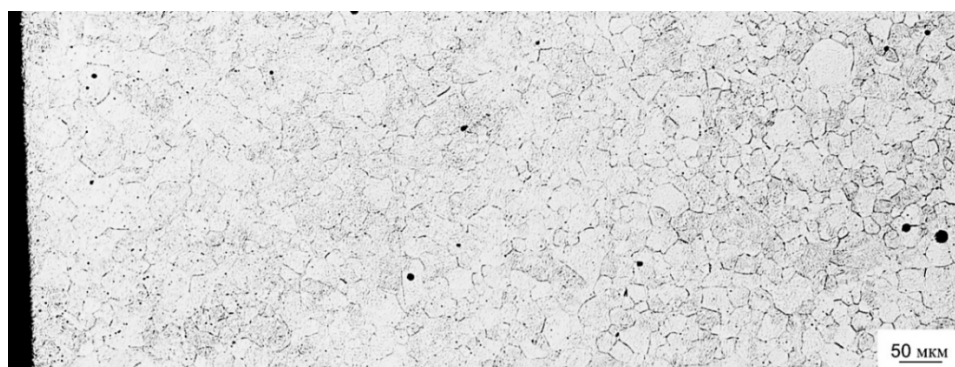


Рисунок 2 – Микроструктура цементированного слоя стали 20ХН3А после высокотемпературной ХТО на линии «ModulTherm 7/1» при 1000 °С с использованием ступенчатого нагрева [5]

Исследовано влияние режима высокотемпературного нагрева новой экспериментальной мелкозернистой стали 20ХГНМБ на размер ее зерна. Установлено, что регулируемая скорость нагрева стали 20ХГНМБ в температурном интервале фазового  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения (ступенчатый нагрев) стабилизирует зеренную структуру стали и обеспечивает сохранение в ней мелкого зерна при длительных высокотемпературных выдержках (рис. 3).

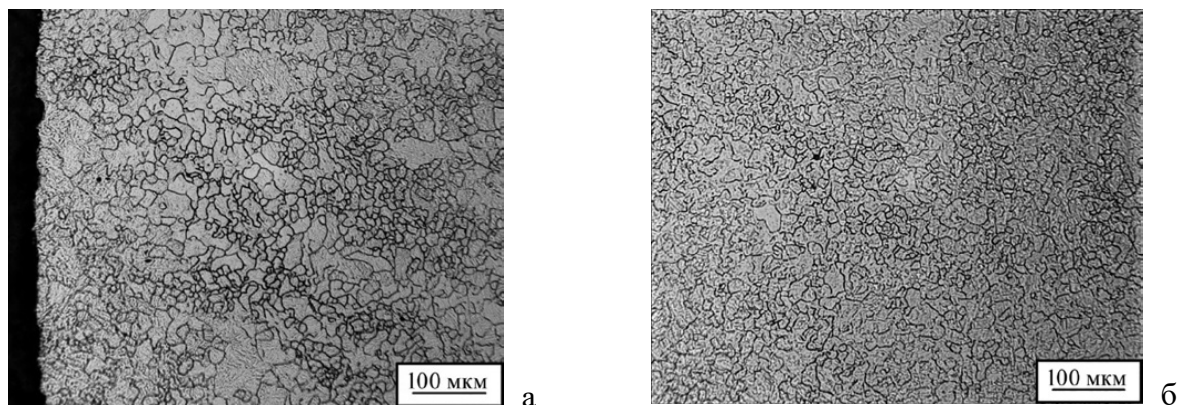


Рисунок 3 – Микроструктура стали 20ХГНМБ после нагрева до 1020 °С: а – средняя скорость нагрева поверхностных слоев  $\approx 100$  град/мин; б – скорость нагрева в интервале  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения составляет 3 град/мин [6]

**Заключение.** Технология вакуумной цементации с закалкой в среде инертных газов на линии «ModulTherm 7/1» является экономически выгодной с точки зрения роста производительности и обеспечивает улучшение условий труда по сравнению с химико-термической обработкой в безмуфельных агрегатах. Исследовано влияние режима высокотемпературного нагрева до 1000–1020 °С цементуемых сталей 20ХНЗА и 20ХГНМБ на рост аустенитного зерна в них. Установлено, что экспериментальная сталь 20ХГНМБ характеризуется повышенной устойчивостью зеренной структуры. Показано, что регулируемая скорость нагрева сталей в температурном интервале фазового  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения (ступенчатый нагрев) стабилизирует зеренную структуру сталей 20ХНЗА и 20ХГНМБ и обеспечивает сохранение в них мелкого зерна при длительных высокотемпературных выдержках.

#### Список использованных источников

1. Цепов, С. Н. Особенности структурообразования в приповерхностных слоях металла при вакуумной цементации / С. Н. Цепов, М. А. Криштал // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1983. № 5. С. 27–29.
2. Шипко, А.А. Высокотемпературная вакуумная цементация – резерв по снижению энергоёмкости производства и улучшению качества зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин / А.А. Шипко, С.П. Руденко, А.Л. Валько, А.Н. Чичин // *Литье и металлургия*, 2016. – Вып. 2(83). – С. 104–109.
3. Руденко, С.П. Структурные особенности экономно-легированной стали 20ХГНМБ после химико-термического упрочнения / С.П. Руденко, А.А. Шипко, А.Л. Валько, А. Н. Чичин // *Литье и металлургия*, 2014. – Вып. 2(75). – С. 86–90.
4. Кукареко, В.А. Закономерности роста аустенитного зерна в стали 18ХНВА / В.А. Кукареко // *Металловедение и термическая обработка*. – 1981. – № 9. – С. 15–17.
5. Кукареко, В.А. Влияние скорости нагрева цементуемых конструкционных сталей на рост аустенитного зерна при высокотемпературной выдержке / В.А. Кукареко, А.Л. Валько, А.Н. Чичин // *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук*, 2018. – Т. 63, № 4. – С. 399 – 406.
6. Кукареко, В.А. Влияние режима нагрева сталей 20ХНЗА и 20ХГНМБ на размер аустенитного зерна, формирующегося при высокотемпературной термической обработке / В.А. Кукареко, А.Н. Чичин, А.Л. Валько, С.П. Руденко, И.Ю. Тарасевич // *Актуальные вопросы машиноведения: Сб. научных трудов / редколлегия С.Н. Поддубко (гл. ред.) [и др.]*. – Минск: ОИМ НАН Беларуси, 2020. – Вып. 9. - С. 273 – 275.