

**УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ИЗ СТАЛИ 30Г2
УСКОРЕННОЙ ПОРОШКОВОЙ НИТРОЦЕМЕНТАЦИЕЙ
ПРИ РЕГЛАМЕНТИРОВАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА СТАДИИ НАСЫЩЕНИЯ**

ЛЕШОК В. А.

***(Белорусский национальный технический университет;
г. Минск, Республика Беларусь)***

В автомобилестроении одной из актуальных задач всегда было и является сейчас повышение долговечности деталей, работающих в условиях трения, контактных нагрузок, циклических напряжений и абразивного изнашивания. Традиционно для повышения долговечности деталей автомобилей применяется химико-термическая обработка (ХТО), в том числе порошковая нитроцементация [1]. Существенным плюсом данного метода ХТО является его технологическая простота и возможность реализации без сложных газовых систем. Однако основным недостатком является сравнительно невысокая скорость формирования нитроцементированного слоя. Это приводит к увеличению продолжительности обработки, росту энергозатрат, снижению технологической эффективности и, как следствие, к сдерживанию более широкого применения. Таким образом, разработка приемов ускорения порошковой нитроцементации является актуальной задачей автомобилестроения [2].

Научная школа профессора Ворошнина Л.Г. на кафедре «Материаловедение в машиностроении» БНТУ известна своими разработками в области ускорения ХТО, в том числе порошковой нитроцементации [1–5]. Общеизвестно деление ХТО на 5 элементарных стадий. Применительно к порошковой нитроцементации стадии описываются следующими положениями. На первой стадии при выходе на температурный режим в насыщающей среде исходные углерод- и азотсодержащие компоненты смеси взаимодействуют с активаторами. В поровом пространстве компонентов образуется активная газовая фаза, которая является переносчиком углерода и азота. На второй стадии активная газовая фаза по системе каналов засыпки (насыщающей среды) диффундирует к насыщаемому изделию. Местом протекания третьей стадии является граница раздела «насыщающая среда – насыщаемое изделие». Здесь газовая фаза адсорбируется и диссоциирует на азот и углерод. Также на этой стадии осуществляется удаление продуктов реакций диссоциации обратно в насыщающую среду. При четвертой стадии осуществляется диффузионный массоперенос углерода и азота вглубь насыщаемого изделия. По мере увеличения концентрации протекает пятая стадия. Образуются фазы нитроцементированного слоя: химические соединения и твердые растворы. Известно, что любая

из стадий может являться самой медленной (лимитирующей). Причем, в процессе насыщения лимитирование может переходить от стадии к стадии.

В данном исследовании изучалась возможность ускорения порошковой нитроцементации путем регламентированного воздействия на элементарные стадии порошковой нитроцементации стали 30Г2 (таблица 1). Данная сталь применяется для изготовления деталей автомобилей: коленчатых валов, полуосей, цапф, рычагов сцепления, вилок переключения передач, фланцев и др.

Порошковую нитроцементацию проводили в камерной электрической печи SNOL 7,2/1100 при температуре 500 °С в течение 5 ч. Образцы упаковывали в контейнер, который герметизировали системой плавкого затвора. Толщиной нитроцементованного слоя считали расстояние от поверхности вглубь насыщаемого образца до точки, на которой микротвердость превышала твердость сердцевины на 50 HV. Для каждой точки исследования обработку проводили не менее чем на пяти образцах. Проводили статистическую обработку экспериментальных результатов.

На оптическом микроскопе Leica выполняли металлографические исследования. На микротвердомере ПМТ-3М выполняли дюрометрические исследования. Нагрузка на индентор составляла 100 гс.

Таблица 1. – Химический состав стали 30Г2 [ГОСТ 1050–2013]

Химические элементы	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Fe
Содержание, масс. %	0,26–0,35	0,17–0,37	1,40–1,80	≤0,030	≤0,035	≤0,30	≤0,30	≤0,30	ост.

Для ускорения первой и второй стадий применялся биоуглерод в качестве углеродсодержащего компонента насыщающих смесей. Для получения биоуглерода проводили пиролиз биологических отходов (кофейного жмыха, скорлупы кедрового ореха и т.д.). Режим пиролиза: температура – 600 °С; время – 1 ч; атмосфера – аргон. Состав смеси для нитроцементации на основе биоуглерода в качестве углеродсодержащего вещества, масс. %: 55 биоуглерода, 30 гексацианоферрата(II) калия, 15 карбоната бария. В качестве сравниваемого традиционного состава для нитроцементации была смесь на основе древесного угля в качестве углеродсодержащего вещества, масс. %: 55 древесный уголь + 30 гексацианоферрат(II) калия + 15 карбонат бария. Установлено, что толщина нитроцементованного слоя в составе на основе биоуглерода была на 9–14 % больше, чем в традиционном составе. Полученные данные согласуются с ранее проведенными исследованиями [3].

Для ускорения третьей стадии применялась предварительная окислительная активация поверхности образцов. Окисление проводили в термической печи SNOL 7,2/1100. Режим окисления: температура 470 °С; время – 0,66 ч; атмосфера – воздух. Толщина нитроцементованного слоя при предварительной окислительной

активации поверхности была выше на 17–22 %, чем без окислительной активации. Данные согласуются с ранее проведенными исследованиями, что говорит о закономерности [4].

Для ускорения четвертой и пятой стадий порошковой нитроцементации применялась предварительная объемная пластическая деформация на гидравлическом прессе. Режим пластической деформации: метод деформирования – сжатие; степень деформации – 10 %; температура деформации – 20 °С; время выдержки под нагрузкой – 10 с. Установлено, что толщина нитроцементованного слоя при предварительной пластической деформации была выше на 18–23 %, чем без пластической деформации, что соответствует предшествующим исследованиям [5].

Истинные физико-химические причины ускорения порошковой нитроцементации при применении данных приемов ускорения до сих пор не выяснены. Многие аспекты остаются предметом научных дискуссий. Анализ классических положений ХТО дает основание предположить следующие механизмы обсуждаемых явлений.

Биоуглерод имеет высокие удельную поверхность и объем пор, а также развитую сеть микропор. Это приводит к повышению реакционной поверхности углеродсодержащего материала. То есть растет количество участков, на которых происходит образование активной газовой фазы в насыщающей среде. Тем самым повышается концентрация активной газовой фазы, что приводит к ускорению кинетики протекания первой и второй стадий нитроцементации.

При предварительном окислении образуется пористый оксидный слой на поверхности насыщаемого изделия. Он приводит к разрыхлению и перестройке приповерхностного объема образца: извлечению катионов металла и диффузии вакансий вглубь. При последующей нитроцементации из-за взаимодействия с активной газовой фазой происходит восстановление оксидного слоя. Приповерхностные объемы образца после восстановления наследуют дефектное строение окисленного слоя. Это приводит к повышению адсорбционной способности образца. Также восстановление оксидной пленки приводит к образованию активного слоя чистого железа на поверхности образца. Активный слой чистого железа является катализатором в реакции диссоциации газовой фазы. Таким образом, ускоряется кинетика адсорбционно–диссоциативных процессов (третья стадия нитроцементации).

Предварительная пластическая деформация вызывает рост дефектов кристаллического строения в насыщаемом образце. Растет количество точечных дефектов, вакансий, дислокаций, полигонов и др. Они являются ускоренными путями для диффузионного массопереноса углерода и азота. Тем самым ускоряется кинетика протекания четвертой и пятой стадий нитроцементации.

Необходимо отметить, что существует научно-технический интерес в синтезе высокоэффективных комбинированных приемов интенсификации нитроцементации и ХТО в целом. При комбинировании приемы интенсификации должны учитывать возможность того, что любая из пяти стадий может стать лимитирующей

в ходе протекания ХТО. Также комбинирование должно проводиться с учетом взаимного влияния приемов интенсификации, ускорение одной стадии должно компенсировать ограничение другой. Данные предположения требуют дальнейших исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ворошнин, Л. Г. Теория и технология химико-термической обработки : учеб. пособие / Л. Г. Ворошнин, О. Л. Менделеева, В. А. Сметкин. – М. : Новое знание ; Мн. : Новое знание, 2010. – 304 с.
2. Пантелеенко, Ф. И. О классификации способов интенсификации процессов химико-термической обработки металлов и сплавов / Ф. И. Пантелеенко, Л. С. Ляхович, Б. С. Кухарев // Металлургия : республ. межведом. сб. науч. тр. – Мн. : Вышэйшая школа, 1980. – С. 5–6.
3. Константинов, В. М. Применение карбюризатора на основе порошка углерода, полученного методом пиролиза (биоуглерода), для цементации стальных изделий / В. М. Константинов, В. А. Лешок, С. А. Янковский // Металлургия : республиканский межведомственный сборник научных трудов / редкол.: И. А. Иванов (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2024. – Вып. 45. – С. 177–188.
4. Константинов, В. М. Активация термодиффузионного насыщения низкоуглеродистой стали методом окисления поверхности / В. М. Константинов, В. А. Лешок // Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении : науч. тр. VIII Междунар. науч. конф., Москва, 19–20 ноября 2024 г. – М. : Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, 2024. – С. 117–118.
5. Константинов, В. М. Анализ влияния предварительной и циклической пластической деформации на химико-термическую обработку конструкционных сталей / В. М. Константинов, В. А. Лешок, О. П. Штемпель // Механика машин, механизмов и материалов. – 2024. – № 1(66). – С. 37–42. – DOI: 10.46864/1995-0470-2024-1-66-37-42.