

ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

Константинов В.М., Ковальчук А.В.

Республика Беларусь, г. Минск,

Белорусский национальный технический университет (БНТУ)

a-v-kov@yandex.com

Аннотация: предложен способ комплексной упрочняющей обработки прецизионных стальных деталей клапана управления гидроусилителя рулевого механизма автомобилей КамАЗ, включающий химико-термическую обработку в порошковой среде и последующее контролируемое магнетронное напыление покрытия на базе системы Ti-N. Способ базируется на имеющейся технологии упрочнения деталей и позволяет получить на их рабочей поверхности микрокомпозиционный материал с высоким уровнем свойств.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, нитроцементация, PVD покрытия, комплексная обработка, прецизионные детали.

Определяющую роль в стойкости деталей к изнашиванию играют их поверхностные слои. В этой связи перспективным для повышения эксплуатационной стойкости деталей является инженерия их поверхностей с использованием различных способов. Одним из наиболее эффективных и традиционно применяемых методов поверхностного упрочнения сталей является химико-термическая обработка. Она позволяет получать на поверхности монофазные и многофазные, слоистые и градиентные структуры, значительно отличающиеся от основы по химическому составу и свойствам. Это позволяет использовать химико-термическую обработку для повышения свойств деталей, работающих в самых различных условиях.

Приоритетным направлением в инженерии поверхности деталей узлов трения является создание высокотвердых наноструктурированных PVD покрытий [1, 2]. Использование указанных покрытий для повышения износостойкости стальных изделий зачастую ограничивается механическими характеристиками основы, величина которых значительно ниже их значений для покрытий. Важность фактора подожки в формировании механических свойств поверхностей с покрытиями подтверждается многочисленными исследованиями [3–5]. Достоверно установлено влияние основы на дюрOMETрические и трибологические свойства поверхности с покрытием, несущую способность покрытий, а также стойкость поверхностей с покрытиями в условиях воздействия агрессивных сред и высоких температур [6, 7].

Поэтому одним из перспективных направлений поверхностного упрочнения с нанесением таких покрытий является комплексная обработка, включающая предварительную упрочняющую обработку основы и последующее нанесение высокотвердого покрытия, и такие исследования на сегодня представляют значительный научный и практический интерес, а отдельные разработки уже нашли применение в различных отраслях техники. В результате такой комплексной обработки на поверхности стальной детали формируется микрокомпозиционный материал или топокомпозит [5], наблюдаемые свойства которого могут превосходить их значения для основы и покрытия в отдельности.

Однако создание таких поверхностных композиций в условиях реального производства с устоявшейся материаловедческой практикой и имеющимся оборудованием вызывает определенные трудности. Уровень экономического развития и технической обеспеченности машиностроительных предприятий зачастую не позволяет внедрить уже известные иностранные технологии. Себестоимость их из-за установки дорогостоящего оборудования и применения высоколегированных конструкционных и инструментальных материалов в разы превышала бы себестоимость изделий, упрочняемых традиционными, технически менее эффективными технологиями. А экономическая целесообразность имела бы место только в случае повышения ресурса изделий на тот же порядок, что и повышение себестоимости их обработки, но не более чем ресурс узла (конструкции, машины) в целом. Все это накладывает жесткие ограничения по внедрению и использованию передовых технологий получения поверхностных композитов. Поэтому актуальными задачами являются разработка отечественных ресурсоэффективных технологий, базирующихся на уже имеющихся на предприятиях технологиях с минимальными техническими затратами, в то же время достаточными для повышения технико-экономических показателей изделий, а также переработка и адаптирование современных зарубежных технологий к реальным условиям предприятий с учетом имеющегося на них оборудования и ресурсов.

В данной работе предложен вариант замены упрочняющей обработки прецизионных деталей гидроусилителя рулевого механизма (ГУР) автомобилей, существующая технология упрочнения которых не обеспечивают свойств, соответствующих новому уровню требований.

Так, предложен вариант комплексной обработки плунжера реактивного (рис. 1) клапана управления ГУР автомобилей КамАЗ. В узле находится два плунжера, и они отвечают за надежность работы всего клапана управления ГУР и, по сути, надежность работы рулевого механизма в целом. Условия работы реактивного плунжера можно описать как полусухое трение под напряжением (от перекосов уплотнительных колец клапана управления и пружин).

В настоящее время плунжер реактивный изготавливается из стали 15Х на ОАО «Борисовский завод «Автогидроусилитель». Существующая технология упрочнения плунжеров предусматривает нитроцементацию при температуре 850...870 °С в течение 4...6 ч, последующую полную закалку и низкий отпуск. Глубина получаемого при этом упрочненного слоя составляет 0,4...0,7 мм, твердость – до 55...57 HRC. Также допускается цементация на глубину 0,5...0,7 мм. Опыт применения реактивных плунжеров, упрочненных по данной технологии, показал неэффективность сочетания термической и химико-термической обработки для данной марки стали и для условий работы упрочняемых деталей.

Альтернативой существующей технологии можно предложить формирование на рабочей поверхности деталей градиентного упрочненного подслоя, получаемого в результате низкотемпературной нитроцементации и покрытия на основе наноструктурированного нитрида титана (рис. 2). Такая поверхностная композиция имеет гарантированно более высокий уровень свойств и обеспечивает уход от объемной термической обработки как окончательной, создающей трудности для соблюдения точности деталей. Получаемый на поверхности плунжера композит будет обладать более высоким уровнем свойств, а технология его получения базируется на существующей технологии упрочнения и позволяет совместить операцию отпуска с химико-термической обработкой, последующее нанесение покрытия методом магнетронного напыления является довольно распространенным. В результате такой обработки отсутствует коробление деталей и необходимость в доводочных операциях.

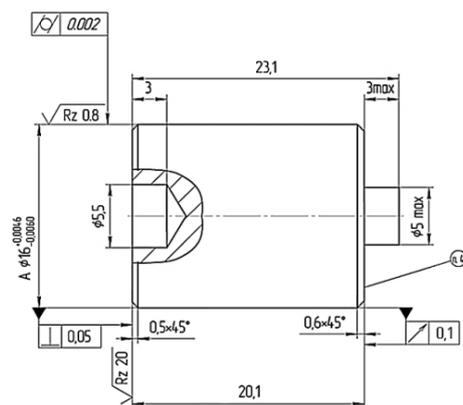
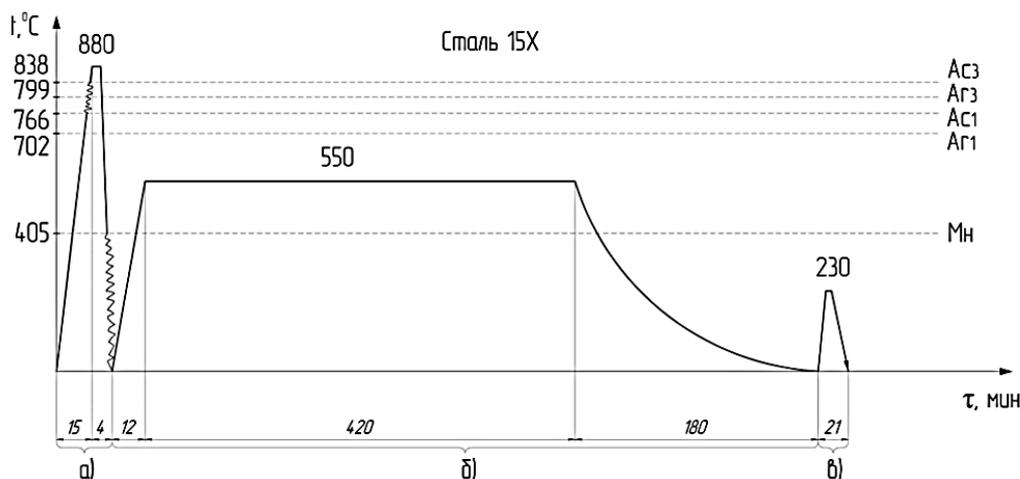


Рисунок 1 – Чертеж плунжера реактивного клапана управления гидроусилителя руля



а) закалка, масло: камерная печь СШЗ-6.10.5/10;

б) отпуск, совмещенный с низкотемпературной нитроцементацией: шахтная печь СШЗ-6.6/7;

в) нанесение PVD покрытия: установка магнетронного напыления Caroline D12 A1

Рисунок 2 – Режимы упрочняющей обработки плунжера реактивного

Микротвердость поверхности детали после низкотемпературной нитроцементации может достигать 1800...2200 Мпа [8], микротвердость покрытия TiAlN – 32...38 ГПа [9]. В то же время нанотвердость получаемого в результате обработки микрокомпозиционного материала с покрытием TiAlN на поверхности детали может достигать 52 ГПа при наблюдаемых значениях модуля упругости на уровне 350 ГПа [10]. Это связано с тем, что помимо устранения продавливания покрытия (эффект снижения его несущей способности [3]), повышаются наблюдаемые значения его свойств на упрочненной основе за счет вклада основы в упругое восстановление покрытия и наноиндентационный отклик поверхности.

Таким образом, предложен способ упрочняющей обработки прецизионных стальных деталей ГУР с использованием химико-термической обработки и магнетронного напыления покрытия на базе нитрида титана, базирующийся на имеющейся технологии упрочнения деталей и позволяющий получить на их поверхности микрокомпозиционный материал с высоким уровнем свойств. Кроме того предложенный способ позволяет уйти от объемной термической обработки, тем самым уменьшив припуски на механическую обработку. Способ не требует значительного материального переоснащения, а его внедрение в технологический процесс не требует остановки производства.

Список использованных источников

1. Nanostructured Coating / Eds. A. Gavaleiro, J.T. De Hosson. – Berlin: Springer-Verlag, 2006. – 648 p.
2. Metallic and Ceramic Coatings Eds. M.G. Hocking, V. Vasantasree, P. Sidky – Harlow: Longman scientific & technical, 1989. – 670 p.
3. Voronin N.A. The influence of strain hardening of a base material on the effective characteristics of a topocomposite // Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2014. – V. 43. – № 6. – P. 539–545.
4. Ковальчук, А. В. Фактор подложки в формировании свойств PVD покрытий / А. В. Ковальчук, С. В. Константинов // Теоретические и практические проблемы развития современной науки : сборник материалов 6-й междунар. науч.-практ. конф., 30 ноября 2014 г. – Махачкала : Апробация, 2014. – С. 42–44.
5. Voronin, N.A. Topocomposites – a new class of structural materials for tribological applications. Part 2. Methodological problems of creating and designing // Journal of Friction and Wear, 1999. – V. 20 – № 3 – P. 533–544.
6. Константинов, В.М. Оценка износостойкости покрытия TiN на упрочненной и не упрочненной основе / Ф.Ф. Комаров, А.В. Ковальчук, В.В. Пилько // Вестник БарГУ, 2013. – С.102–108.
7. Константинов В.М. Повышение жесткости металлической основы систем "конструкционная сталь – нитрид титана" / В.М. Константинов, А.В. Ковальчук, Г.А. Ткаченко // Metallurgy: Respubl. межведом. сб. науч. тр.: в 2 ч. – Минск: Белорусская наука, 2013. – Вып. 36, ч.2. – С. 152–161.
8. Ковальчук, А.В. Комплексное поверхностное упрочнение стальных изделий / А.В. Ковальчук, С.В. Константинов; науч. рук. Ф.Ф. Комаров, Г.А. Ткаченко // Литье и металлургия. – 2014. – № 4 (77). – С. 144–150.
9. Komarov, F.F. Formation of nanostructured TiAlN, TiCrN, and TiSiN coatings using reactive magnetron sputtering / S.V. Konstantinov, V.V. Pilko // Journal of Friction and Wear, 2014. – V. 35. – № 3. – P. 215–223.
10. Комаров, Ф.Ф. Получение и свойства покрытий TiAlN на стали / Ф.Ф. Комаров, А.В. Ковальчук, С.В. Константинов, В.В. Пилько // Ползуновский альманах. – 2014. – № 2. – С. 10–15.