

6. Барабаш М.С., Гензерский Ю.В., Марченко Д.В., Титок В.П. Лира 9.2. Примеры расчета и проектирования.– Киев: Факт, 2005.–106 с.

7. Сізова Н.Д., Гречко Н.В. Автоматизоване проектування конструкцій стержневих систем в ПК ЛПА: Навчально-методичний посібник. – Харків: ХДТУБА, 2011.– 108 с.

УДК 621.793.7

Глушкова Б.Д., Тарабанова В.П., Белый В.А.
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСАЖДЕНИЯ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ Ti-Mo-N НА НАНОТВЕРДОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ

Введение

Значительное место в производстве различного назначения деталей занимает изготовление поршневых колец, основной причиной выхода из строя которых является изнашивание рабочих поверхностей. Поэтому большое внимание уделяется проблемам повышения износостойкости поверхностей пар трения поршневых колец.

Создание в одном материале сочетания высокой твердости с высокой пластичностью практически невозможно в однокомпонентном или многокомпонентном сплаве, но реально в гетерогенном сплаве.

Актуальной представляется проблема разработки метода повышения износостойкости поршневых колец.

Анализ публикаций

Как указано в работе [1], износостойкость металла определяется сочетанием структуры и ряда свойств, а именно высокой твердости и пластичности при отсутствии хрупкости, устойчивости механических свойств в условиях работы на износ, высокой насыщенности и равномерности распределения легирующих элементов.

В работе [2] установлено, что интенсивность протекания релаксационных процессов при трении существенно влияет на износостойкость.

В последнее время для улучшения эксплуатационных характеристик материалов широко применяется обработка поверхности высокоинтенсивными источниками энергии, взаимодействие которых с материалами приводит к прохождению

процессов, связанных с изменением структуры.

Прежде всего происходит изменение параметра кристаллической решетки, формируются дислокационные структуры, образуются ультрадисперсные фазы.

Результатом таких процессов является возникновение в поверхностных слоях материала остаточных внутренних напряжений. Методам определения и изучения природы формирования остаточных напряжений в покрытиях, полученных при вакуумно-дуговом осаждении, посвящен ряд работ [3, 4].

Цель настоящей работы – исследование многослойного наноструктурного покрытия, наносимого на поверхность поршневых колец для повышения их износостойкости.

Материал и методика исследования

Материалом, на который наносилось многослойное покрытие вакуумно-дуговым методом, был серый чугун, широко применяемый в различных отраслях машиностроения.

Как известно, серый чугун имеет хорошие литейные и антифрикционные свойства, не чувствителен к дефектам поверхности, хорошо гасит вибрации.

Химический состав серого чугуна приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав серого чугуна

Содержание элементов, %						
C	Si	Mn	Ni	S	P	Fe
3,49	2,49	0,56	0,08	0,06	0,11	остальное

Проведенные в последние годы исследования свидетельствуют, что многокомпонентные и многослойные покрытия превосходят по свойствам однослойные покрытия [5].

Многослойные двухфазные наноструктурные покрытия TiN-MoN осаждали в вакуумно-дуговой установке «Булат-6».

На рис. 1 показана схема установки для получения многослойных образцов.

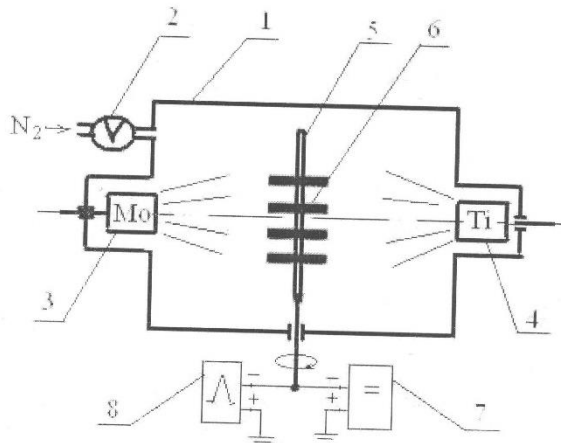


Рис. 1. Схема установки для нанесения многослойных покрытий:

1 – вакуумная камера; 2 – система автоматического поддержания давления азота; 3 – испаритель молибдена; 4 – испаритель титана; 5 – подложкодержатель; 6 – подложка; 7 – источник постоянного напряжения; 8 – генератор импульсного напряжения

Вакуумная камера 1 снабжена системой автоматического поддержания давления азота 2 и двумя испарителями, один из которых 3 содержит в качестве испаряемого материала молибден марки МЧВП, а другой 4 – титан марки ВТ1-0. На поворотном устройстве камеры установлен подложкодержатель 5 в виде трубки, на которой размещены ролики 6. Установка снабжена источником постоянного напряжения 7, а также генератором импульсного напряжения 8 с регулируемой амплитудой импульсов.

Процедура охлаждения многослойных двухфазных покрытий включала следующие операции. Вакуумную камеру откачивали до давления $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па. Затем на по-

воротное устройство с подложкодержателем подавали отрицательный потенциал 1,3 кВ, включали поворотное устройство 5 на непрерывное вращение и поочередно импульсно включали испаритель 3 и 4, таким образом производя очистку поверхности роликов 6. Общее время очистки составляло 10 минут.

Далее включали одновременно оба испарителя и осаждали Ti-Mo, после этого подавали в камеру азот и осаждали нитрид молибдена, а с противоположной стороны – нитрид титана на непрерывно вращающиеся ролики. Варьировались такие параметры, как ток дуги, напряжение постоянное на подложке U_m , напряжение импульсное на подложке U_{im} , давление азота, количество слоев напыления, время напыления составляло 2 часа.

Наноиндентирование проводили пирамидой Берковича при нагрузке 0,5Н с автоматически выполняемыми нагружением и разгрузением.

Металлографические исследования проводились на электронном микроскопе, изучение структурного состояния покрытий – на растровом микроскопе.

Величину остаточных напряжений в приповерхностных слоях определяли на установке ДРОН-2 методом многократных наклонных съемок в излучении медного анода с графитовым монохроматором.

Испытания на износостойкость были выполнены на машине СМЦ-2.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенные замеры нанотвердости дали возможность получить информацию о характере распределения нанотвердости в тонких поверхностных слоях покрытия Ti-Mo-N.

На рис. 2 приведен график распределения нанотвердости на глубину 220 нм, из которого следует, что максимальные значения нанотвердости имеют место у самой поверхности, по мере удаления от поверхности нанотвердость уменьшается, имея минимальное значение на глубине 40 нм, а затем немного возрастает. Нагрузка при этом достигала максимального значения

при внедрении в поверхность на глубину 200 нм (рис. 3).

Что касается модуля Юнга, то он имеет также максимальное значение на глубине 10 нм (рис. 4).

Полученные зависимости свидетельствуют о том, что нанотвердость и приведенный модуль Юнга максимальны в поверхностных слоях. Эта закономерность совпадает с результатами, изложенными в работах [6, 7].

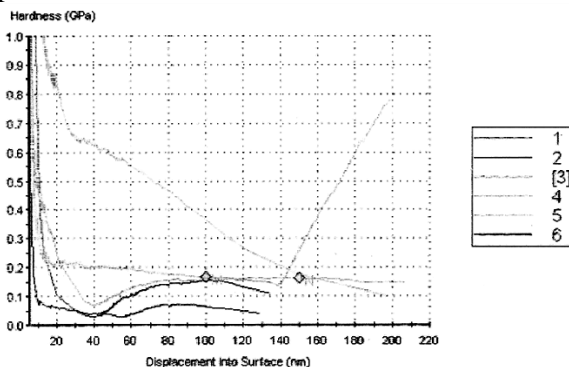


Рис. 2. График распределения нанотвердости

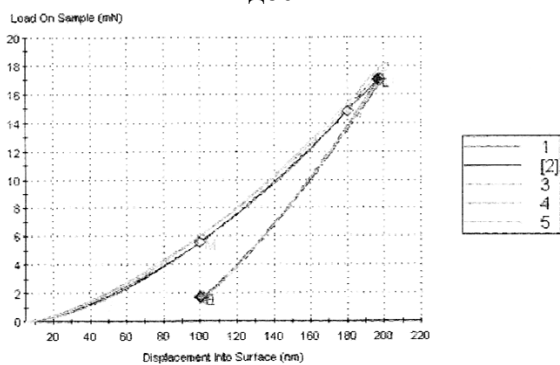


Рис. 3. График распределения нагрузки

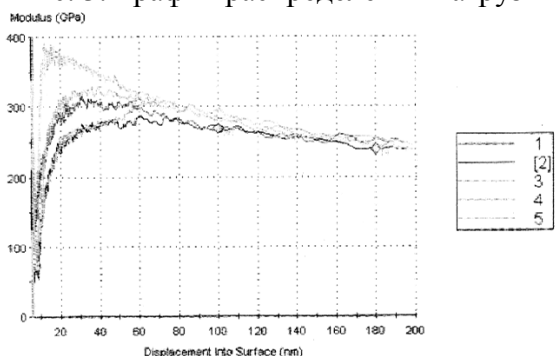


Рис. 4. График распределения модуля Юнга

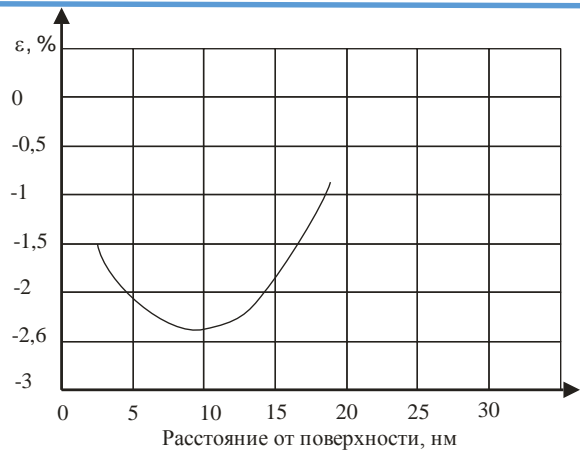


Рис. 5. Зависимость изменения деформации кристаллической решетки в TiN-слоях многослойного TiN-MoN покрытия от толщины слоев при токе дуги $I_{д} = 100-170$ А, напряжении постоянном на подложке $U_{nn} = 40$, напряжении импульсном на подложке $U_{ni} = 2000$, давлении азота $1 \cdot 10^{-3}$ мм рт ст., непрерывное вращение 2700 слоев

Анализ напряженно-деформированного состояния показал, что наиболее высокая величина сжатия соответствует глубине ~ 10 нм (рис. 5). Такой результат получен в случае нанесения TiN-MoN покрытия при дуге $I_{д} = 100-170$ А, напряжении постоянном на подложке $U_{nn} = 40$, напряжении импульсном на подложке $U_{ni} = 2000$, давлении азота $1 \cdot 10^{-3}$ мм рт ст., непрерывном вращении 2700 слоев. Деформация сжатия на такой глубине составляет $-2,2$ %.

Полученные данные согласуются с графиком нанотвердости, приведенном на рис. 2, из которого следует, что максимальное значение нанотвердости имеет место на глубине ~ 10 нм.

Важным фактором в формировании остаточных напряжений в покрытии является текстура, которая наблюдалась при изучении структуры на электронном микроскопе (рис. 6). Причиной остаточных напряжений является воздействие ионной бомбардировки.

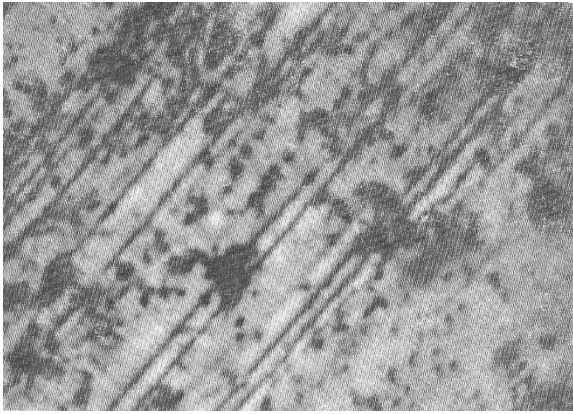


Рис. 6. Електронна фотографія структури поверхнового слоя x10000

Исследование структурного состояния покрытий показало, что при толщине слоя около 2 нм не выявляется межфазного граница и поэтому на дифракционных спектрах проявляется спектр, характерный для однофазного состояния и материал упрочняется относительно несильно. При появлении второй фазы твердость увеличивается. При этом, как следует из результатов изучения покрытий на растровом микроскопе, ячейки на поверхности покрытия выражены рельефно, что можно объяснить процессами их распыления ионами молибдена и титана во время осаждения.

В случае изучения слоев толщиной ~ 10 нм наблюдается формирование двухфазного структурного состояния. Большой удельный объем занимают межфазные границы, что сопровождается увеличением сжимающих напряжений. Это должно приводить к повышению твердости. Изучение микрофрактограмм многослойного покрытия показало, что образуемые сколы имеют достаточно правильную форму, характерную для разрушения металла под действием напряжений сжатия.

Исследование слоев толщиной ~ 20 нм показало более размытую межфазную границу, что ведет к уменьшению удельного вклада границ.

На рис. 7 представлена микрофрактограмма излома многослойного покрытия TiN-MoN, осажденного на серый чугун при напряжении постоянном на подложке 230 В.

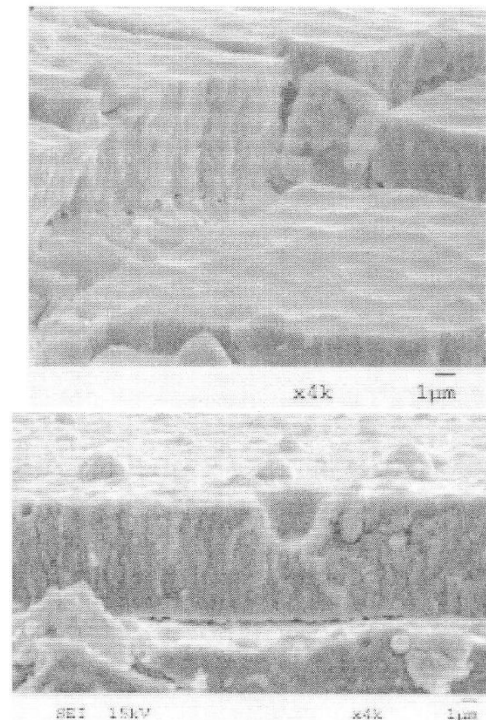


Рис. 7. Микрофрактограмма излома многослойного покрытия TiN-Mo₂N

На рис. 8, 9, 10, 11 представлены гистограммы нанотвердости при вакуумно-дуговом осаждении многослойных наноструктурных TiN-MoN покрытий, полученных при разных параметрах, позволяющих установить влияние количества слоев непрерывного вращения, давления азота, напряжения импульсного на подложке на величину нанотвердости.

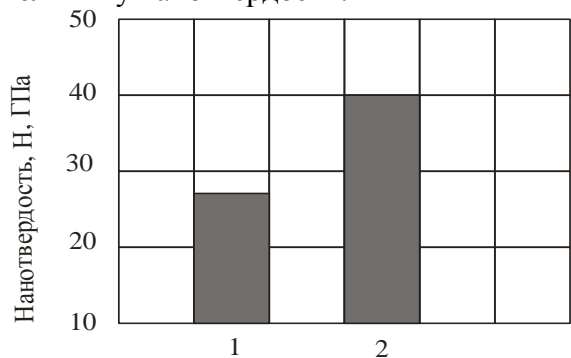


Рис. 8. Гистограммы нанотвердости при вакуумно-дуговом осаждении многослойных наноструктурных TiN-Mo₂N покрытий при токе дуге $I_d = 100-170$ А, напряжении постоянном на подложке $U_{ин} = 40$, напряжении импульсном на подложке $U_{ин} = 2000$, давлении азота $1 \cdot 10^{-3}$ мм рт ст.: 1 – непрерывное вращение 1800 слоев; 2 – непрерывное вращение 2700 слоев. Времени напыления 2 часа

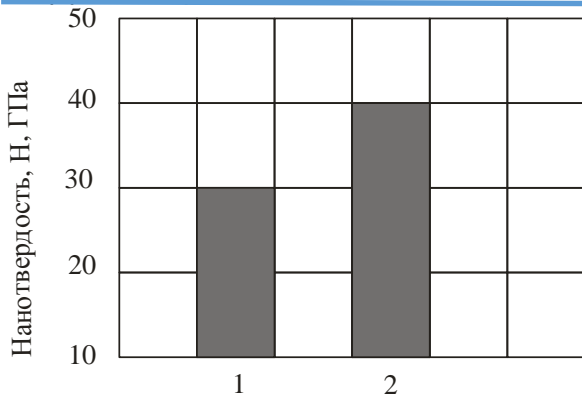


Рис. 9. Гистограммы нанотвердости при вакуумно-дуговом осаждении многослойных наноструктурных TiN-MoN покрытий при токе дуги $I_d = 100-160$ А, напряжении постоянном на подложке $U_m = 230$, U_{mi} – без импульсов, непрерывном вращении 1800 слоев. Время напыления 2 часа.
1 – давления азота $3 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.; 2 – давления азота $5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.

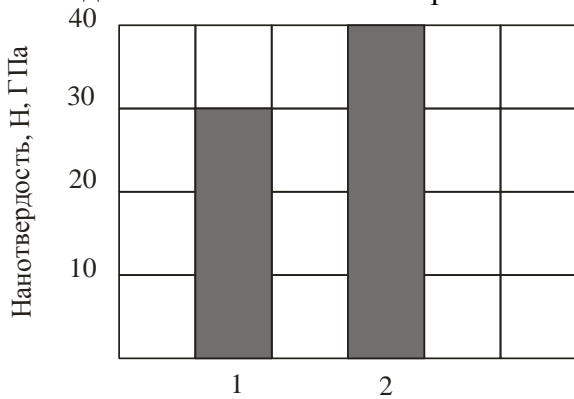


Рис. 10. Гистограммы нанотвердости при вакуумно-дуговом осаждении многослойных наноструктурных TiN-MoN покрытий при токе дуги $I_d = 105-100$ А, напряжении постоянном на подложке $U_m = 230$, U_{mi} – без импульсов, непрерывном вращении 1800 слоев. Время напыления 2 часа.
1 – давления азота $3 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.; 2 – давления азота $5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.

Нанесение двухслойного покрытия на серый чугун и сопровождающие его процессы привели к существенному повышению износостойкости (рис. 12).

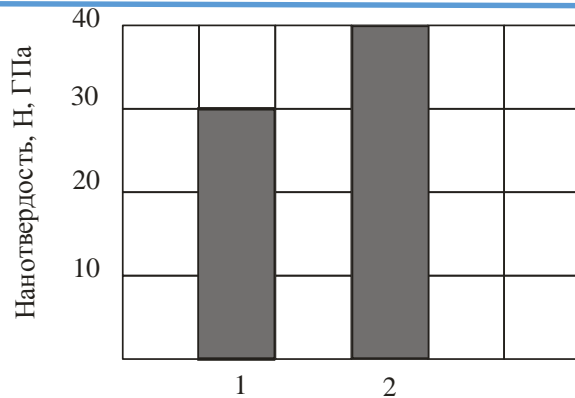


Рис. 11. Гистограммы нанотвердости при вакуумно-дуговом осаждении многослойных наноструктурных TiN-MoN покрытий при токе дуге $I_d = 100-170$ А, напряжении постоянном на подложке $U_m = 40$; давлении азота $5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. Время напыления 2 часа. 1 – без импульсов; 2 – напряжение импульсное на подложке $U_{mi} = 2000$

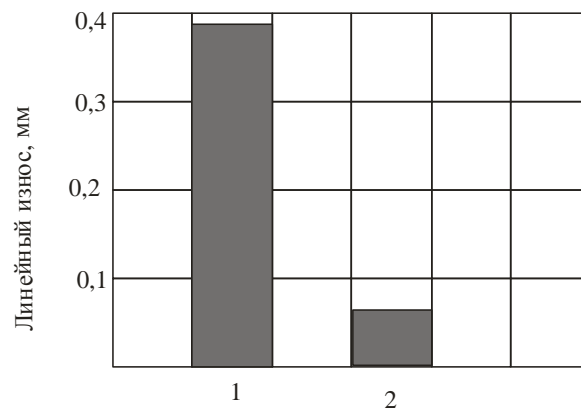


Рис. 12. Гистограммы линейного износа за 5 часов при нагрузке 1000 кг/см²: 1 – серый чугун без покрытия; 2 – чугун после осаждения многослойных TiN-MoN покрытий

Выводы

1. Нанесение многослойных TiN-MoN покрытий на серый чугун создает на поверхности сжимающие напряжения.
2. Максимальные значения нанотвердости и модуля Юнга при нанесении Ti-Mo-N покрытия наблюдаются у самой поверхности.
3. Линейный износ чугуна, на который нанесено Ti-Mo-N покрытие, уменьшается в 8 раз.
4. В одинаковых условиях нанесения покрытия при непрерывном вращении с увеличением количества слоев с 1800 до 2700 нанотвердость возрастает на ~ 40 %.

5. При увеличении вакуума для всех одинаковых параметров нанесения покрытия нанотвердость возрастает на ~ 25 %.

6. Вакуумно-дуговое осаждение, проведенное при напряжении импульсном на подложке $U_{ни}$, равном 2000, обеспечивает повышение нанотвердости на 30 % по сравнению с безимпульсным при всех прочих одинаковых условиях проведения эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мацевитый Ю.М. На пути устойчивого развития научных исследований / Ю.М. Мацевитый // Проблемы машиностроения. – 2002. – Т.5. – № 2. – С. 5–18.
2. Гринкевич К.Э. Некоторые положения структурно-динамической концепции трибосистемы и их практическая реализация / К.Э. Гринкевич // Трение и износ. – 2003. – № 3. – С. 344–350.

3. Биргер А.И. Остаточные напряжения. – М.: Машгиз, 1993. – 232 с.
4. Коваленко А.Д. Термоупругость / А.Д. Коваленко. – К.: Вища школа, 1995. – 216 с.
5. Падалка В.Г. Опыт эксплуатации и повышения эффективности использования установок «Булат» / В.Г. Падалка, Г.Н. Гутник, А.А. Андреев и др. Предп. НАН Украины. Нац. научн. центр «Харьк. физ.-мех. ин-т», 1961. – М.: ЦНИИ-атоминформ, 1986. – 56 с.
6. Андреев А.А. Вакуумно-дуговое устройство и покрытие / А.А. Андреев, Л.П. Саблев, В.М. Шулаев, С.Н. Григорьев // Библиотека ННЦ ХФТИ. – Х., 2005. – с. 238.
7. Suzuki M. Tribological performance of a sputtered Mo₂ & film in air N₂, O₂, H₂O environments at pressures from 10⁻⁵ Pa to 10⁵ Pa / M. Suzuki // Journal of society of Tribologists and Lubrication Engineers, 2001. – V. 57. – № 1. – P. 23–29.

УДК 528.067.4

Доброходова О. В.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ОЦЕНКА ОТРАЖАЮЩИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Выпуск продукции с заданным качеством, обеспечение безаварийной эксплуатации зданий и сооружений требует использования объективной информации о механических, физических, теплофизических свойствах строительных конструкций, характере и степени их разрушения, поражения отдельных частей зданий различными видами коррозии. Такие сведения получают в результате натурных обследований зданий, определении степени деформации строительных конструкций инструментальными методами, фотофиксацию деформированных или полностью разрушенных элементов[1-4].

Детальные обследования здания предусматривают раскрытие участков фундаментов (рытье шурфов), удаление фрагментов отделочных покрытий для оценки технического состояния несущих конструкций. Механические испытания конструкций и основания, на котором расположено

здание, а также лабораторные исследования образцов указанных элементов. Такие исследования отличаются значительной трудоемкостью и, как правило, проводятся в случае аварийного состояния здания. По результатам таких исследований составляется технический отчет, содержащий *экспертную оценку* технического состояния здания и рекомендации по ремонту и восстановлению здания.

При проведении текущего ремонта зданий зачастую проводится только внешний осмотр конструкции, определение ее свойств не проводится, что ведет к перерасходу строительных материалов или использованию методов ремонта не обладающих достаточной эффективностью. Такое положение дел вызвано не достаточной квалификацией исполнителей работ, отсутствием инструментов неразрушающего экспресс-контроля участков проведения работ. К таким видам контроля относят: механические