



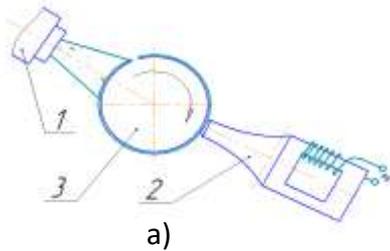
***Повышение адгезионной прочности покрытий из многокомпонентных материалов с термоупругими фазовыми превращениями путем внешних высокоэнергетических воздействий на различных этапах обработки***

Институт машиностроения и автосервиса  
Кубанский государственный технологический университет Краснодар, Россия

Авторы: Ж.М. Бледнова, Г.В. Курапов, Э.Ю.О. Балаев

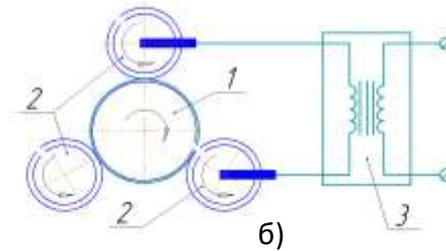
# Особенности технологии формирования поверхностных слоев из материалов с ТУФП. Материалы и методы исследования

**Целью настоящего исследования** является разработка методов повышения адгезионной прочности покрытий из материалов с термоупругими фазовыми превращениями путем внешних высокоэнергетических воздействий на различных этапах обработки и выработка рекомендаций по повышению адгезионной прочности изделий в заданных эксплуатационных условиях.



а)

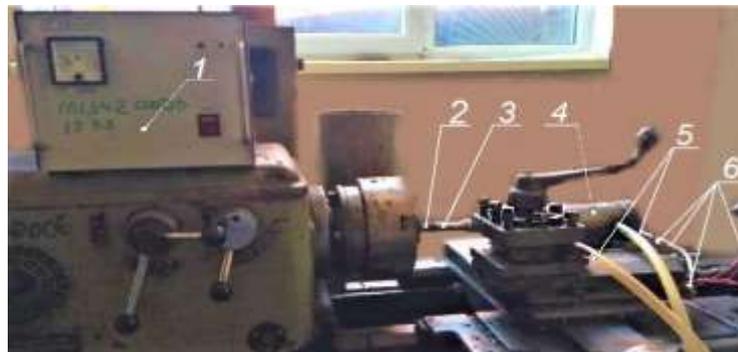
Схема формирования поверхностных слоев с повышенной адгезионной прочностью



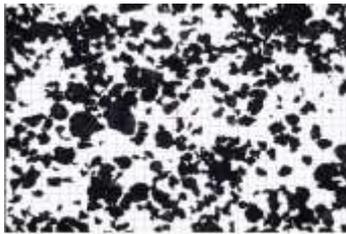
б)

Для достижения поставленной цели исследовали:

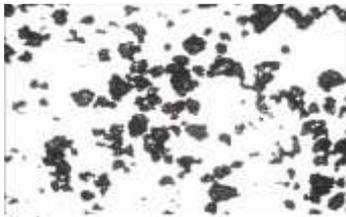
- влияние ультразвуковых воздействий на этапе подготовки поверхности на финишном этапе обработки на адгезионную прочность покрытий из многокомпонентных материалов с ТУФП;
- оптимизацию гранулометрического состава напыляемого материала с ТУФП на этапе механоактивации;
- влияние комплексных ультразвуковых, электроимпульсных и термосиловых воздействий на финишном этапе обработки на адгезионную прочность покрытий из многокомпонентных материалов с ТУФП.



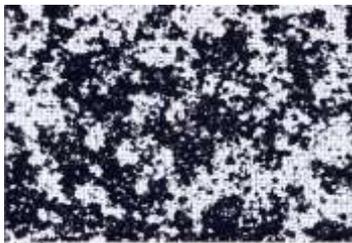
Установка для ультразвуковой обработки: 1 – ультразвуковой генератор; 2 – образец с покрытием; 3 – волновод с индентором; 4 – магнитострикционный преобразователь; 5 – система водяного охлаждения; 6 – провода.



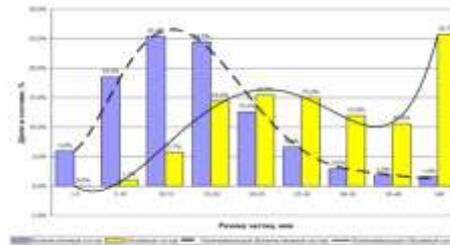
Средний размер частиц 16,1 мкм



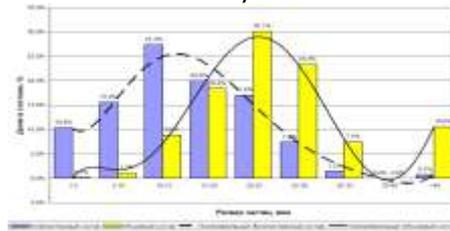
Средний размер частиц 15,2 мкм



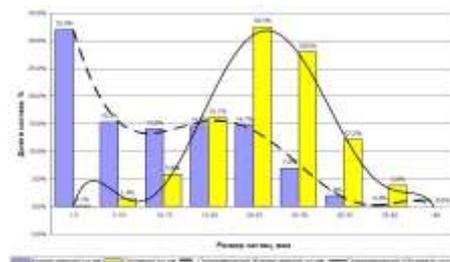
Средний размер частиц 12,2 мкм



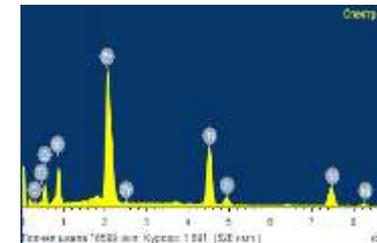
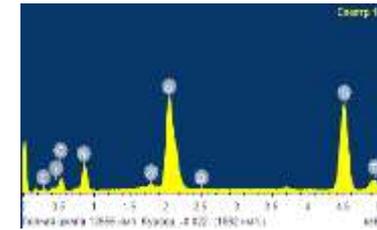
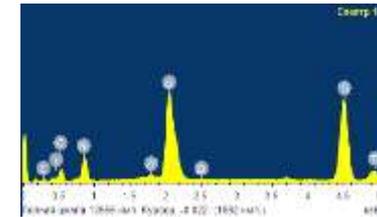
а)



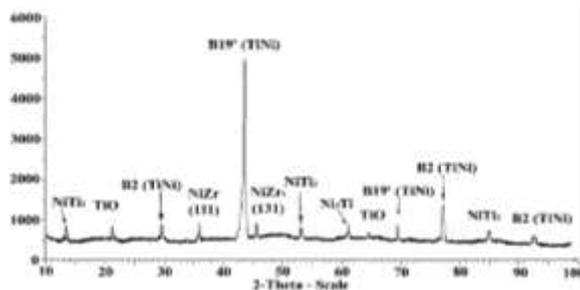
б)



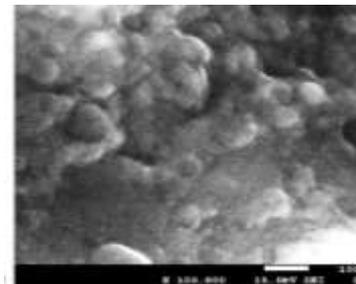
в)



Механоактивация композитной смеси Ni-33%,Ti-49%, Zr-18% в течение: а) 60 мин.; б) 90 мин.; в) 120 мин.



а)

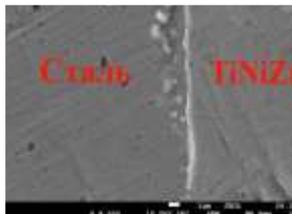


б)

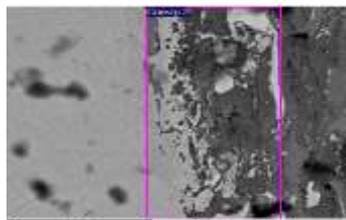
Дифрактограмма покрытия Ni-33%.Ti-49%.Zr-18%., полученного высокоскоростным газопламенным напылением а); микроструктура покрытия Ni-33%.Ti-49%.Zr-18%. × 100000 – б)



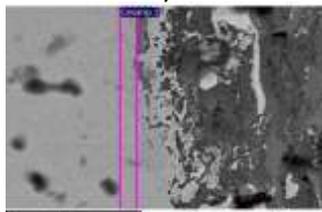
а)



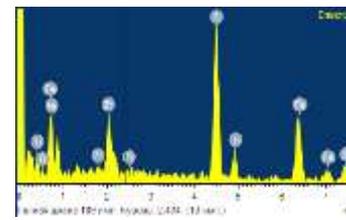
б)



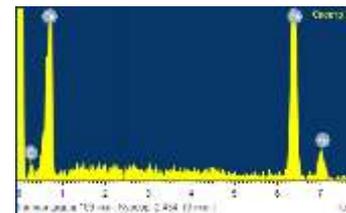
в)



г)

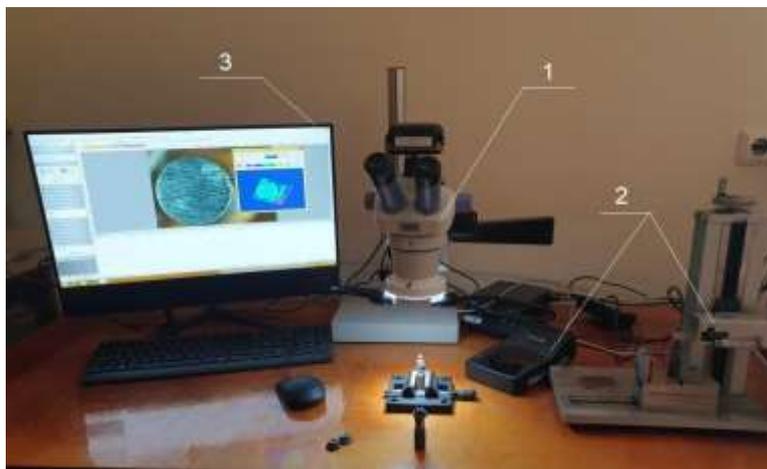


д)



е)

Зона электроимпульсного воздействия на границе «сталь 45 – покрытие  $Ti_{33}Ni_{49}Zr_{18}$ », сформированное высокоскоростным газопламенным напылением: а), б) –  $\times 50$ ; в), г) –  $\times 10000$

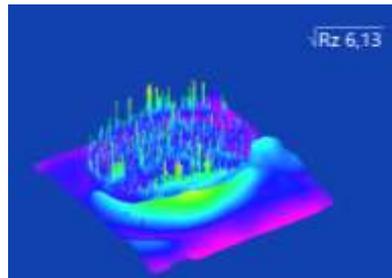


Рабочее место для исследования профилометрии поверхности образца: 1 – микроскоп стереоскопический панкратический МСП-1; 2 - профилограф-профилометр «Абрис ПМ7»; 3 – компьютер с рабочей программой

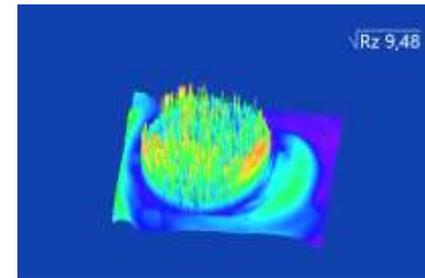
Образец для испытания на адгезию штифтовым методом в момент разрушения и результаты профилографических исследований образцов до и после нанесения покрытий с ЭПФ Ni-33%.Ti-49%.Zr-18%. высокоскоростным газопламенным напылением с использованием УЗО на различных этапах обработки.



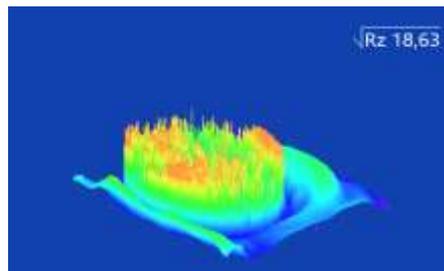
а)



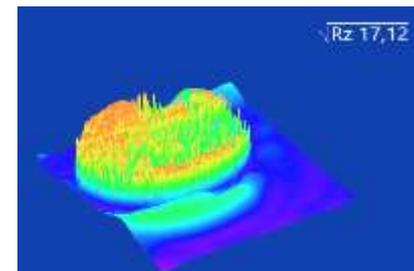
б)



в)



г)



д)

Момент разрушения образца при испытании на адгезионную прочность штифтовым методом – а); профилограммы разрушенных образцов: до нанесения покрытия – б); после нанесения покрытия – в); после нанесения покрытия из материала с ЭПФ Ni-33%.Ti-49%.Zr-18% с использованием ультразвуковых воздействий на различных этапах обработки – г, д)

Рассмотренная последовательность технологических операций при формировании покрытий из многокомпонентного материала с термоупругими фазовыми превращениями Ni-33%.Ti-49%.Zr-18%. ВГН с использованием внешних высокоэнергетических воздействий на различных этапах обработки, включающих ультразвуковое, электроимпульсное и термосиловое воздействие, является эффективным способом повышения адгезионной прочности покрытий и, как следствие, надежности изделий с покрытием.

## Выводы

- Выполнено комплексное исследование влияния внешних высокоэнергетических воздействий ультразвуковых и электроимпульсных на адгезионную прочность покрытия из материала с термоупругими фазовыми превращениями на различных этапах обработки: подготовки основы; подготовки напыляемого материала и на финишном этапе после нанесения покрытия.
- Ультразвуковая обработка основы перед нанесением покрытия можно характеризовать как способ механоактивации поверхности основы перед нанесением покрытия.
- Анализ гранулометрического, элементного и фазового состава наносимого материала в процессе механоактивации позволил определить оптимальные параметры механоактивации, обеспечивающие формирование наноразмерной структуры покрытия.
- В результате комплексных ультразвуковых, электроимпульсных и термосиловых воздействий на финишном этапе обработки наблюдается четко выраженное сплавление покрытия из материала с ТУФП Ni-33%.Ti-49%.Zr-18%. с основой и отсутствие границы раздела, подтвержденное электронномикроскопическими исследованиями. Зона сплавления составляет 10-20 мкм при толщине покрытия 1 мм, в материале основы на глубине 20 мкм практически отсутствуют элементы покрытия. Экспериментальные исследования подтвердили повышение адгезионной прочности в 1,2-1,5 раза до 130-150 Мпа.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (Соглашение № 19-19-00331)*