

ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ RP-ИЗДЕЛИЙ

* *Национальный технический институт «Харьковский политехнический институт»,
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина, grinko@kpi.kharkov.ua*

** *ГП «Завод им. Малышева»,
ул. Плехановская, 126, г. Харьков, 61001, Украина*

Введение

Изделия, сформированные методом послойного синтеза или быстрого прототипирования (Rapid Prototyping), чаще всего используются в трех аспектах – как модели-прототипы, модели для изготовления металлических отливок или как технологические детали по своему функциональному назначению [1]. В последнем случае существенное значение имеют свойства конструкционного материала, из которого изготавливаются RP-изделия (физико-механические, химические, коррозионные), которые в конечном счете определяют функционально-эксплуатационные характеристики готовых изделий. Выбор материала определяется не только назначением деталей, но и разновидностью способа RP-технологий, применяемого в процессе изготовления. Для каждого из них существуют свои ограничения как по химическому составу, так и по физическому состоянию исходного материала.

В частности, при формировании RP-изделий путем селективного лазерного спекания (SLS-Selective Laser Sintering) используются порошковые материалы, в т.ч. металлические, что предполагает создание первоначально пористой структуры. Дальнейшая пропитка, к примеру, стальной пористой основы бронзой нивелирует пористость, но приводит к физико-химической неоднородности, что в свою очередь ухудшает коррозионные свойства и отрицательно сказывается на износостойкости.

Улучшить функционально-эксплуатационные характеристики RP-изделий, полученных методом SLS из металлических порошков, можно с помощью нанесения на их поверхность специальных покрытий с улучшенными свойствами (по сравнению с подложкой). Цель настоящей работы – исследование влияния различных покрытий на твердость и износостойкость поверхностных слоев металлических RP-изделий.

Методика исследований

Исходным материалом служили образцы композита, формируемые методом непрямого SLS-технологии из порошка нержавеющей стали (содержащей соответственно, %: Fe – 85,3; Cr – 14,3; Mn – 0,3 и Ni – 0,1) и оловянистой бронзы (Cu ~ 86,6; Sn – 10,7; Pb ~ 0,6; Zn – 0,5). Исследовали покрытия, нанесенные различными способами, в т.ч. химическим (NiP), гальваническим (Cr_{мол.}, Cr_{тв} и Cu-Ni-Cr_{бл.}) и ионно-плазменным (TiN). Толщина химических и гальванических составляла ~ 20 мкм, ионно-плазменных ~ 3 мкм.

За основные критерии поверхностной прочности приняли твердость и износостойкость. Твердость покрытий измеряли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 100 г.

Оценку износостойкости покрытий проводили на ранее разработанной установке [2]. Истирающим контртелом служил торец вращающегося цилиндра, на который наклеили абразивную шкурку SiC зернистостью ~ 80 мкм. Износ материала осуществлялся под удельной нагрузкой 2 кг/см². Время испытаний – 10 минут. Абразивный износ определяли весовым методом по потере массы образцов Δm в единицу времени. В качестве оценочного критерия износостойкости была принята величина, обратная отношению износа исследуемого материала во времени $\Delta t / \Delta m$.

Обсуждение результатов

Анализ поверхностной твердости образцов методом измерения микротвердости выбран с учетом специфики объекта исследований – покрытий микронных размеров.

С целью сопоставимости полученных данных эта же методика применялась и для оценки

твердости исходных металлических композитных материалов, хотя точные измерения в последнем случае весьма проблематичны, что связано с неоднородностью структуры.

Видимый при нагрузке $P=100$ г отпечаток пирамиды $d\sim 20-30$ мкм меньше, чем диаметр исходных спекаемых зерен нержавеющей стали, межзеренных промежутков бронзы или пятен дефектов (пористости). Поэтому, как правило, характеризуя твердость подобных материалов, приводят ее величину по Бринеллю, в которой значения усредняются тем выше, чем больше диаметр шарика-индентора и нагрузка при испытаниях.

С учетом прогнозируемой неоднородности композита по физико-механическим свойствам, в т.ч. по H_μ , для измерения последней был разработан алгоритм исследования. В частности, прицельные измерения на поверхности проводились в девяти точках по двум взаимоперпендикулярным направлениям с шагом 0,5 мм.

Интегральная величина H_μ определялась как среднеарифметическое значение \bar{H}_μ , кроме того, вычисляли отклонение максимальных и минимальных значений H_μ от среднего:

$$\delta_{\max} = \left(\frac{H_{\mu\max} - \bar{H}_\mu}{\bar{H}_\mu} \right) \cdot 100\% ; \quad \delta_{\min} = \left(\frac{H_{\mu\min} - \bar{H}_\mu}{\bar{H}_\mu} \right) \cdot 100\% .$$

Представленные в таблице результаты измерений H_μ дают возможность сделать несколько обобщений.

Результаты прицельного измерения микротвердости H_μ , кг/мм²

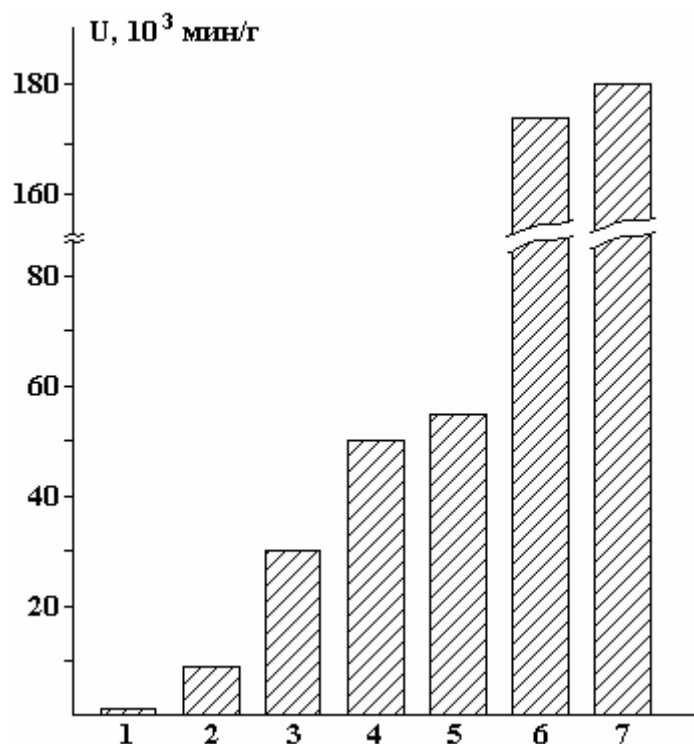
Образцы № измерения	Исходные, после SLS		Покры- тие Ni, хим.	Покры- тие Ni, термо- обр.	Покры- тие Cr молочн.	Покры- тие Cr тверд.	Покры- тие Cu-Ni- -Cr+TiN	Покры- тие Ni+TiN
	1	2						
1	472	488	554	620	254	612	509	1288
2	572	488	480	612	284	612	1144	824
3	680	488	548	672	322	932	1144	792
4	446	472	492	762	348	824	841	1018
5	502	366	536	988	386	680	713	1018
6	376	420	478	740	322	572	946	824
7	762	488	598	658	306	894	1144	1168
8	350	536	480	960	322	858	1006	1018
9	446	464	530	836	348	572	1006	762
\bar{H}_μ	501	467	522	761	332	709	939	968
δ_{\max} , %	52	15	15	30	27	31	22	21
δ_{\min} , %	30	22	8	20	23	19	24	21

Очевидно, что исходный композит характеризуется высокой степенью неоднородности, она в свою очередь может отличаться от партии к партии (образцы № 1 и № 2). Нанесение всех типов исследуемых покрытий не привело к выравниванию (нивелированию) значений H_μ , которое априори можно было бы ожидать. Это объясняется прежде всего влиянием материала основы на результат измерения по принятой методике. При нагрузке 100 г получали четкий воспроизводимый отпечаток, но он был заведомо глубоким ($h = 3-4$ мкм) для толщин исследуемых покрытий, чтобы исключить влияние наследственности подложки. В то же время во всех случаях наблюдается явная тенденция к выравниванию (уменьшению δ_{\max} и δ_{\min}) значений H_μ тем выше, чем больше толщина покрытий или большая твердость собственно субстанции покрытия.

В частности, покрытие химически осажденного никеля толщиной 20 мкм (образец №3) существенно увеличило H_μ по сравнению с исходным состоянием композита (образец №1), но величина отклонений уменьшилась в 3,5 раза. Очевидно, что слой никеля (кстати, который тоже можно рассматривать как композиционный материал Ni-P) является упрочняющим по отношению к оловянистой бронзе (материал пропитки) и более мягким по сравнению с частицами Fe-Cr-Ni-Mn.

Однозначное повышение твердости обеспечивает покрытие химического никеля той же толщины, но подверженного термической обработке при $t = 400^\circ\text{C}$ в течение двух часов. Такая обработка приводит к изменению структуры слоя, перехода из аморфного состояния в кристаллическое.

Согласно [4] твердость при этом может повышаться от 500–700 до 850–950 кг/мм². Полученные результаты подтверждают упрочняющую роль термообработанных покрытий по отношению ко всем составляющим исходного композита.



Износостойкость покрытий на SLS-материале: 1 – без покрытия; 2 – Cr_{мол.}; 3 – Ni_{хим.}; 4 – Ni_{хим.}, термообработанный; 5 – Cr_{мв.}; 6 – (Cu-Ni-Cr) + TiN; 7 – Ni_{хим.} + TiN

Гальванические хромовые покрытия, осажденные по различным технологическим режимам, оказывают разное воздействие на поверхностную прочность. Как и предполагалось, молочный хром (образец №5) в 1,5 раза снижает усредненное значение \bar{H}_μ , а матовый (образец №6) – повышает в 1,4

раза. Результат логичен, поскольку изначальная твердость молочного хрома не превышает 400–500 кг/мм², а для матового (твердого) она может достигать значений порядка 750–1100 кг/мм².

Наиболее значимое повышение поверхностной твердости RP-изделий обеспечивает покрытие TiN, нанесенное на предварительно гальванически хромированную или химически никелированную поверхность (образцы № 7 и 8). При равной толщине внешнего слоя (3 мкм) и идентичных условиях его осаждения получены несколько лучше показатели \bar{H}_μ на образцах SLS с подслоем химического никеля. Этот подслоя в процессе ионно-плазменного осаждения TiN подвергается бомбардировке высокоэнергетическими ионами титана, в результате чего нагревается до температуры 400–420°C (и выше на операции ионной очистки) и кристаллизуется. При этом, как было отмечено выше, существенно повышается его микротвердость в отличие от гальванического хрома, на твердость которого сопутствующая термообработка не влияет.

Результаты испытаний на износостойкость (см. рисунок) в определенной степени коррелируют с оценочными показателями поверхностной микротвердости. Как и предполагалось, наиболее высокими и практически одинаковыми показателями характеризовались системы покрытий с внешним слоем TiN на промежуточной основе из химического Ni и 3-слоя гальванического покрытия Cu-Ni-Cr. Их износостойкость превышает показатель исходного композита более чем в 100 раз. Почти одинаковую износостойкость имеют покрытия термообработанного химического Ni и твердого Cr при некотором преимуществе последнего.

Износостойкость относительно мягкого молочного хрома ($H_\mu \sim 330$ кг/мм²) наименьшая среди исследуемых покрытий. В то же время, несмотря на уменьшение твердости по отношению к исходному материалу в 1,4–1,5 раза изнашивается он менее интенсивно (в 5–7 раз). Такое несоответствие можно объяснить различным характером износа двух материалов. Исходная субстанция, представляющая композит твердых частиц в сравнительно мягкой бронзе, при абразивном воздействии на

поверхность разрушается скорее всего с выкрашиванием твердой фазы, что экстремально увеличивает массовый показатель износа. Однородная структура хромового покрытия разрушается более равномерно.

Исходные (без термообработки) покрытия химического никеля превышают по износостойкости осадки молочного хрома, но уступают термообработанным, коррелируя с соответствующими значениями H_c и с известными данными [4].

Заключение

В общем случае можно утверждать, что эффект упрочняющих покрытий на RP-изделиях, полученных методом селективного лазерного спекания из порошковых материалов, в большей степени проявляется в испытаниях на износостойкость. Улучшение этого показателя обеспечивается не столько из-за повышения твердости поверхностного слоя, а в первую очередь за счет создания монолитной однородной субстанции, что приводит к изменению характера разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шиганов И.Н.* Современные методы быстрого прототипирования с применением лазерного излучения //Технология машиностроения. 2005. № 10. С. 65–71.
2. *Севидова Е.К., Серова Н.Н., Пупань Л.И., Дюбнер Л.* Оценка физико-механических свойств алмазоподобных покрытий на биоинженерных материалах //Високі технології в машинобудуванні. Зб. наук. пр. НТУ „ХПІ”, Харків, 2001. Вип. 1(4). 300 с.
3. Гальванические покрытия в машиностроении. Справ. в 2-х т. /Под ред. М.А. Шлугера. М.: Машиностроение, 1985. Т.1. 1985. 240 с.
4. Химическое осаждение металлов из водных растворов /В.В. Свиридов, Т.Н. Воробьева, Т.В. Гаевская, Л.И. Степанова. Под ред. А.А. Гринберга. Изд-во Университетское, 1987. 270 с.

Поступила 14.02.08

Summary

Strengthening effect of various coatings on composite material applied in Rapid Prototyping technologies was investigated by the example. It is shown that in wear-resistance increase is reached due to forming of harder layer, as well as creation of homogeneous structure of material that causes the changes of surface destruction behavior.
