

Э. В. Седов, О. П. Бондарева, Д. Э. Седов, О. Б. Крючков, Г. В. Карташов

**ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВА Д16Т
НА АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ ПОКРЫТИЯ ИЗ Ф-4МБ,
ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: tecmat@vstu.ru.

Приведены результаты исследований по влиянию способа подготовки поверхности заготовки из сплава Д16Т и выбору оптимальных температурно-временных параметров спекания на адгезионную прочность покрытия из Ф-4МБ. Показано, что более значимым фактором увеличения адгезионной прочности металлополимерного соединения является степень развитости поверхности. Установлены оптимальные температурно-временные параметры спекания покрытия, обеспечивающие высокие показатели прочности и стабильность геометрических форм и размеров заготовок.

Ключевые слова: шероховатость поверхности, адгезионная прочность, защитное покрытие

E. V. Sedov, O. P. Bondareva, D. E. Sedov, O. B. Kryuchkov, G. V. Kartashov

**THE EFFECT OF THE D16T ALLOY SURFACE PREPARATION
METHOD ON THE ADHESIVE STRENGTH OF THE F-4MB
COATING OBTAINED BY POWDER METALLURGY**

Volgograd State Technical University

The results of studies on the effect of the method of preparing the surface of a billet made of D16T alloy and the choice of optimal temperature and time parameters of sintering on the adhesive strength of the coating made of F-4MB are presented. It is shown that a more significant factor in increasing the adhesive strength of a metal polymer compound is the degree of surface development. Optimal temperature and time parameters of coating sintering have been established, ensuring high strength and stability of geometric shapes and sizes of workpieces.

Keywords: surface roughness, adhesive strength, protective coating

Производство металлических изделий с защитными покрытиями позволяет решить важнейшую проблему машиностроения, связанную с увеличением их срока службы [1, 2]. В связи с этим в данную отрасль технологии инвестируют практически все крупнейшие компании

нефтехимической, энергетической, авиакосмической и пищевой промышленности. Для деталей, работающих в условиях трения, агрессивных сред, широком диапазоне рабочих температур от -180 до $+200$ °C перспективным материалом покрытия является сополимер тетра-

фторэтилена с гексафторпропиленом Ф-4МБ, выпускающийся в нашей стране по ТУ 301-05-73-90 [3]. Его отличают превосходная химическая стойкость, высокие диэлектрические характеристики, а кроме этого, данный полимер имеет разрешение на контакт с пищевыми продуктами. Однако актуальной проблемой применения Ф-4МБ в качестве покрытия является относительно низкая адгезионная прочность с металлической основой.

В данной работе определяли эффективные пути повышения прочности соединения Ф-4МБ со сплавом Д16Т за счет предварительной подготовки металлической поверхности и оптимизации температурно-временных факторов формирования покрытия.

Технология нанесения полимерного покрытия на основе Ф-4МБ включала следующие этапы: подготовку поверхности металлического субстрата, нанесения слоя порошка покрытия на металлический субстрат, термическую обработку (спекание) и охлаждение.

Известно, что прочность соединения покрытия зависит от геометрии металлической поверхности; в связи с этим шероховатость на поверхности Д16Т получали, используя механическую обработку абразивными кругами различной зернистости, а также комбинированную механохимическую с применением термического оксидирования и электрохимического анодного оксидирования.

Определяющими параметрами рельефа металлической поверхности принимались шероховатость R_z (1) и степень развитости поверхности r (2).

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}, \quad (1)$$

$$r = \frac{l_{ист.пов}}{l_{пр}}, \quad (2)$$

где $l_{ист.пов}$ – истинная длина поверхности; $l_{пр}$ – проекция истинной длины поверхности.

Основные параметры для расчета рельефа и развитости поверхности определялись металлографическим способом по схеме, приведенной на рис. 1.

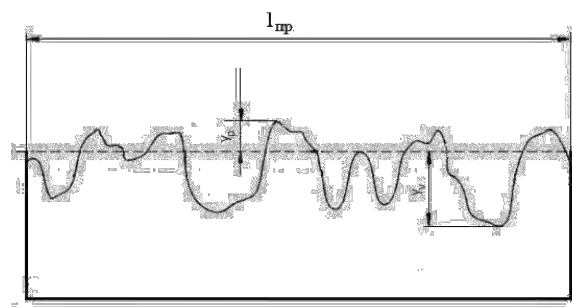


Рис. 1. Схема определения шероховатости R_z (1) и степени развитости поверхности r на поверхности сплава Д16Т

Температуру формирования покрытия варьировали в интервале от 290 до 340 °С под давлением 0,5 МПа; время спекания составляло от 15 до 30 минут. В ходе этого процесса покрытие на заготовке приобретало окончательную когезионную прочность. Охлаждение после спекания осуществлялось на воздухе.

Прочность соединения полимерного покрытия с металлической подложкой определяли методом нормального отрыва со скоростью нагружения 5 мм/мин.

По результатам проведенных исследований выявлено, что истинная площадь поверхности зависит как от высоты микровыступов, так и их числа. Значения шероховатостей и коэффициентов развитости рельефа поверхностей в зависимости от метода обработки приведены ниже в таблице.

Значения шероховатостей и коэффициентов развитости поверхности Д16Т в зависимости от вида обработки

Обработка	R_z , мкм	r
Механическая (круг зернистостью F80, ГОСТ Р 52381-2005)	14–18	1,22–1,24
Механическая (круг зернистостью F20, ГОСТ Р 52381-2005)	26–32	1,30–1,45
Механическая (круг зернистостью F20) + термическое оксидирование	48–52	1,49–1,53
Электрохимическое оксидирование	78–82	1,57–1,61

Как и следовало ожидать, наиболее высокую степень развитости подготовленной поверхности удалось получить, используя электрохимическую обработку; шероховатость R_z

находилась в интервале 78–82 мкм, а показатель r имел значение 1,57–1,61. Такая подготовка поверхности позволила практически в два раза увеличить прочность сцепления по-

лимерного покрытия с алюминиевым сплавом; при этом наиболее значимой характеристикой геометрии поверхности является коэффициент развитости r . Правомерность этого подтверждается характером зависимостей, приведенных на рис. 2.

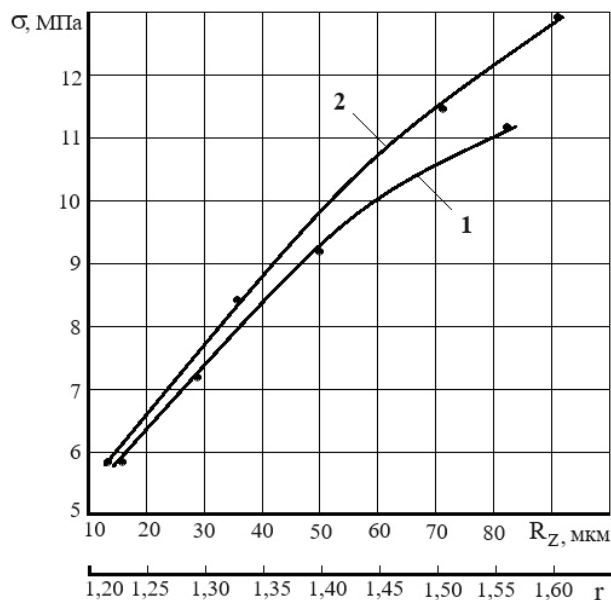


Рис. 2. Зависимость прочности соединения сплава Д16Т+Ф-4МБ от параметров рельефа поверхности: 1 – R_z ; 2 – r

Так, если увеличение шероховатости поверхности с 14 до 82 мкм привело к повышению прочности на отрыв полимерного слоя от металлической поверхности с 5,8 до 11,2 МПа, то увеличение коэффициента развитости поверхности с 1,22 до 1,61 позволило повысить прочность до 13,0 МПа. Полученные результаты хорошо согласуются с ранее проведенными исследованиями и объясняются улучшением сцепляемости напыляемого материала с металлическими субстратами за счет заклинивания полимерного адгезива в микровыступах шероховатости [4, 5].

Исследования технологических параметров спекания покрытия на адгезионную прочность показали (рис. 3), что максимальные значения прочности на нормальный отрыв ($\sigma = 10\text{--}13$ МПа) реализуются в интервале температур 320–330 °С. Более высокие температуры спекания не применимы из-за возможной деструкции фторопласта Ф-4МБ.

Оптимальная длительность выдержки при спекании, в рамках данного исследования, составила 30 минут (рис. 3). При этом значительное падение уровня адгезионной прочности ме-

жду металлом и полимером после температуры спекания свыше 330 °С говорит о более длительном процессе деструкции полимера в результате повышенной длительности спекания.

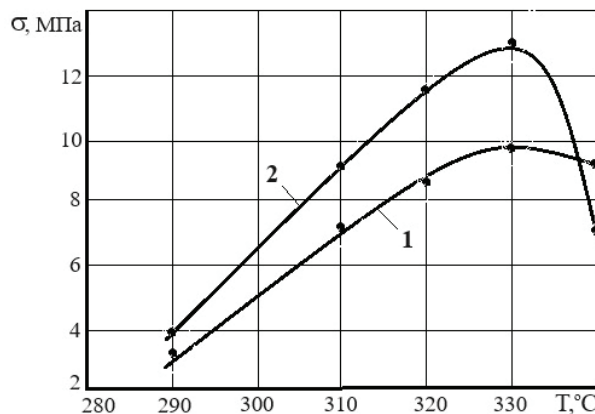


Рис. 3. Зависимость прочности на отрыв соединения сплава Д16Т+Ф-4МБ от температуры спекания: 1 – время спекания 15 мин; 2 – время спекания 30 мин

По результатам исследований показано, что адгезионная прочность покрытия, полученного при подготовке металлического субстрата, значительно увеличивается, достигая максимальных значений 10–13 МПа при оксидировании. Выявлены оптимальные режимы спекания, обеспечивающие высокие показатели прочности и качество покрытия.

Таким образом, установлено, что подготовка поверхности заготовки из сплава Д16Т и выбор оптимальных температурно-временных параметров спекания существенно повышают уровень адгезионной прочности покрытия из Ф-4МБ, которая приближается к когезионной прочности полимера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Опыт применения фторполимерных материалов в авиационной технике / Э. Я. Бейдер, А. А. Донской, Г. Ф. Железина, Э. К. Кондрашов, Ю. В. Сытый, Е. Г. Сурнин // Российский химический журнал. – 2008. – Т. LII. – № 3. – 38 с.
2. Адаменко, Н. А. Взрывная обработка металлополимерных композиций : Монография / Н. А. Адаменко, А. В. Фетисов, А. В. Казуров ; ВолГТУ. – Волгоград, 2007. – 240 с.
3. Панишин, Ю. А. Фторопласты / Ю. А. Панишин, С. Г. Малкевич, Ц. С. Дунаевская. – М.: Химия, 1978. – 230 с.
4. Влияние подготовки поверхности детали на прочность сцепления покрытия при плазменном напылении / И. Н. Кравченко, С. В. Карцев, С. А. Величко, Ю. А. Кузнецов, А. Г. Пастухов // Новые огнеупоры. – 2021. – № 3. – С. 40–47.
5. Трыков, Ю. П. Влияние состояния поверхности на прочность металлополимерного соединения / Ю. П. Трыков, А. И. Павлов, А. Н. Наумов, Н. А. Адаменко, Э. В. Семенов // Сварочное производство. – 1997. – № 10. – С. 27–29.