

**ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВИАТЕХНИКИ ИЗ СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И УЛУЧШЕНИЯ ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ**

Юркевич С.Н.<sup>1</sup>, Алифанов А.В.,<sup>2</sup> Люцкевич А.И.<sup>1</sup>, Юркевич-Потоцкая К.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ОАО «558 Авиационный ремонтный завод»,

<sup>2</sup>ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

**Введение**

Детали из титановых сплавов широко применяются в авиационной технике. При сравнимой прочности они гораздо легче стальных деталей, однако уступают стальным деталям по износостойкости. С целью повышения износостойкости и поверхностной твердости авиационных деталей из титановых сплавов, проводится их хромирование или никелирование. Электроосаждение хрома на титановые сплавы сопряжено со значительными трудностями. Одной из них является невозможность нанесения хромового покрытия на детали с макробалльностью, по разным источникам, от 7 и более баллов (1) и 5 и более баллов (2). То же самое и с никелевым покрытием (3). В настоящее время приобретаемый (особенно на биржах) сортамент часто имеет макробалльность выше 6 баллов. Обнаруживается отклонение по макробалльности, как правило, лишь после отслоения покрытия, т.е. после проведения череды дорогостоящих и длительных операций. Поскольку структура формируется на стадии проката и отклонения по балльности являются следствием нарушения его режимов, то и исправлять структуру необходимо при той же или большей температуре, а это не менее 1300 °С. Печи с такой температурой есть не везде, и при исправлении структуры уходят размеры.

Детали из алюминиевых сплавов также широко используются в авиатехнике из-за своего малого веса. Прочность их уступает прочности стальных деталей и деталей из титановых сплавов. Детали из алюминиевых сплавов можно использовать и в качестве прессформ для производства резино-технических изделий, их изготовления обходится значительно дешевле изготовления стальных прессформ. Но алюминиевые прессформы недолговечны. Увеличение их твердости поверхности дало бы возможность применения алюминиевых прессформ в мелкосерийном производстве.

**Методика проведения эксперимента. Обсуждение результатов.**

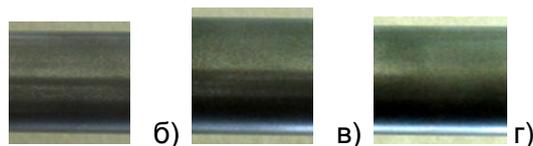
Исследования макро-микроструктуры проводились на образцах, подвергнутых магнитно-импульсной обработке поверхности:

- шток из титанового сплава ВТ6С (импульс – 6,1 кДж, число импульсов – 5, напряжение – 5,2 кВ);
- образцы титанового сплава с маркировками № 2 (контрольный, исходный), № 3 (3 имп. x 4 кДж), № 4 (3 имп. x 6 кДж), № 5 (3 имп. x 8 кДж);
- образец дюралюмина Д16 с маркировкой № 3 (5 имп., энергия импульса - 6,1 кВт);
- образцы титанового сплава ВТ6С с маркировкой № 2 с одной (3 имп., энергия импульса - 6,1 кВт), двумя (4 имп., энергия импульса - 6,1 кВт), тремя (6 имп., энергия импульса - 6,1 кВт) засечками.

Макроструктура штока из титанового сплава ВТ6С представлена на рисунке 1.



а)

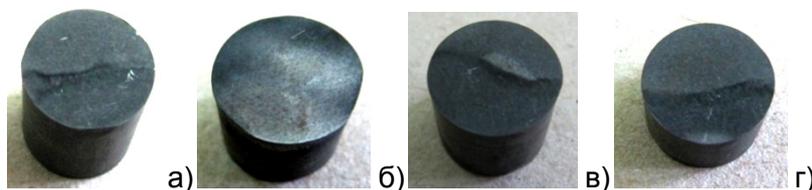


а) общий вид; б) промежуточная зона нагрева; в) основная зона нагрева;  
г) на расстоянии 20 мм от заглушки  
Рисунок 1 – Общий вид (а) и макроструктура (б-г) штока из титанового сплава ВТ6С после магнитно-импульсной обработки

На рисунке 1 видно, что макроструктура имеет различную балльность в зависимости от участка на поверхности штока:

- в промежуточной зоне нагрева - 10 балл;
- в основной зоне нагрева - 8-9 балл;
- на расстоянии 20 мм от заглушки - 6-7 балл.

Макроструктура титановых образцов с маркировками № 2, 3, 4, 5 представлена на рисунке 2.



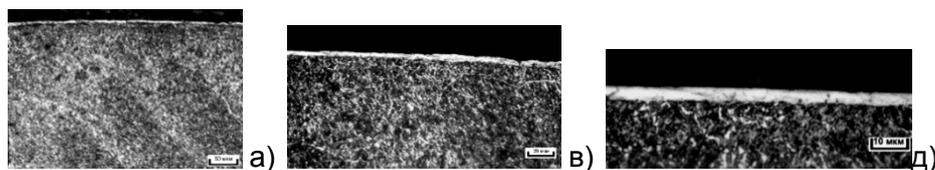
а) образец с маркировкой № 2; б) образец с маркировкой № 3;  
в) образец с маркировкой № 4; г) образец с маркировкой № 5  
Рисунок 2 – Макроструктура титановых образцов после магнитно-импульсной обработки

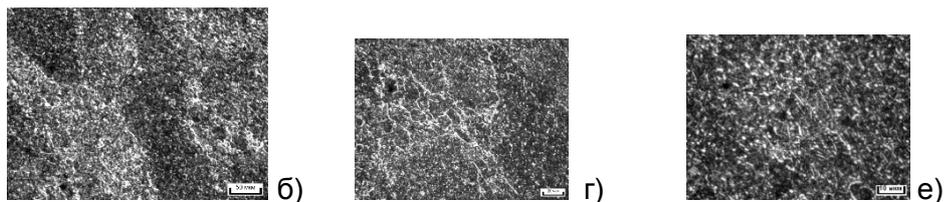
Определено, что балл макроструктуры составляет:

- образец с маркировкой № 2 (контрольный) – в сердцевине 7, 8 балл, у края поверхности 7, 8 балл;
- образец с маркировкой № 3 (импульс 4 кДж) - в сердцевине 7, 8 балл, у края поверхности 7, 8 балл;
- образец с маркировкой № 4 (импульс 6 кДж) - в сердцевине 7, 8 балл, у края поверхности 7, 8 балл;
- образец с маркировкой № 5 (импульс 8 кДж) - в сердцевине 7, 8 балл, у края поверхности 6 балл.

Т.к. оценка макроструктуры показала уменьшение балла зерна у края поверхности относительно сердцевины в образце № 5, на нем проводилось исследование микроструктуры с определением глубины воздействия магнитно-импульсной обработки. Исследование микроструктуры показало, что глубина измененного относительно сердцевины слоя у края поверхности составляет 1,5-2 мкм, возможно, это слой измененной структуры от воздействия ударной волны с микротвердостью 3000 -3100 МПа (рисунок 3).

Затем наблюдается зона с незначительно измельченной структурой толщиной 10-20 мкм с микротвердостью 3600-3800 МПа, микротвердость сердцевины составляет 3500 – 3700 МПа.

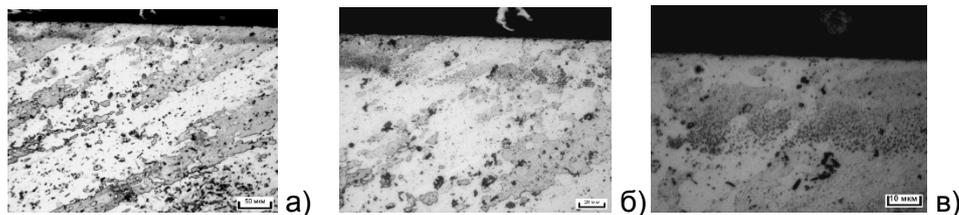




а, б) x100; в, г) x200; д, е) x500

Рисунок 3 – Микроструктура образца титанового сплава с маркировкой №5 после магнитно-импульсной обработки у края поверхности (а, в, д) и сердцевине (б, г, е)

Толщина измененного слоя у края поверхности на образце дюралюмина Д16 с маркировкой №3 после магнитно-импульсной обработки составляет 10 – 20 мкм (рисунок 4).



а) x100; б) x200; в) x500

Рисунок 4 – Микроструктура образца дюралюмина Д16 с маркировкой № 3 после магнитно-импульсной обработки у края поверхности.

Видно, что по структуре на образце дюралюмина измененный слой у края поверхности имеет измельченную структуру. Микротвердость у края поверхности дюралюмина Д16 – 970-990 МПа, в сердцевине 900-950 МПа.

Балл макроструктуры составляет:

- с одной засечкой (3 имп.) – в сердцевине 7,8 балл; на поверхности 5, 6 балл;
- с двумя засечками (4 имп.) - в сердцевине 7,8 балл; на поверхности 5 балл;
- с тремя засечками (6 имп.) - в сердцевине 7,8 балл; на поверхности 4, 5 балл.

Анализ представленных данных показывает следующее:

По образцам из титановых сплавов:

- имеется зависимость уменьшения макробалльности с увеличением мощности импульса;
- имеется зависимость по уменьшению макробалльности с увеличением количества импульсов;
- уменьшение макробалльности образцов при использовании МИОМ;
- наличие приповерхностного слоя с измельчённой микроструктурой и увеличенной микротвердостью.

По образцам из алюминиевых сплавов:

- наличие приповерхностного слоя с измельчённой микроструктурой;
- увеличение микротвёрдости приповерхностного слоя;
- получается пресс-эффект, упрочняющий поверхность детали.

#### **Выводы.**

Модифицирование поверхности деталей из титановых сплавов путем изменения МИОМ макробалльности поверхностного слоя позволит наносить качественные покрытия на детали со структурой, имеющей макробалльность от 5 и более баллов.

Возможно использовать МИОМ для изменения балльности поверхностного слоя.

Возможно использование МИОМ для упрочнения приповерхностного слоя деталей из алюминиевых и титановых сплавов, что увеличит их износостойкость и ресурс.

Возможно упрочнение отдельных поверхностей.