

УДК 621.357

ХИМИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

© 2018 Д.Л. Скуратов, А.В. Балякин, Е.И. Жученко, А.Н. Швецов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 19.03.2018

В статье приведены результаты исследования химического полирования образцов из титанового сплава ВТ6, изготовленных методом селективного лазерного сплавления. Проанализированы скорость травления и изменение шероховатости поверхности образцов в продольном и поперечном направлениях после полирования растворами, содержащими различные концентрации плавиковой и азотной кислот. Дана рекомендация по оптимальному составу и концентрации раствора кислот при полировании изделий из титановых сплавов, получаемых методом селективного лазерного сплавления.

Ключевые слова: селективное лазерное сплавление, титановый сплав ВТ6, химическое полирование, состав и концентрация раствора, шероховатость поверхности.

ВВЕДЕНИЕ

Высокие эксплуатационные характеристики деталей из титановых сплавов, в том числе хорошая коррозионная стойкость и биосовместимость делают востребованными эти сплавы во многих отраслях промышленности [1, 2]. В настоящее время титановые сплавы широко используются в аэрокосмической, машиностроительной, медицинской и других отраслях, например для изготовления высокоточных, тонкостенных, сложнопрофильных деталей, иногда с системой внутренних каналов и полостей [3, 4].

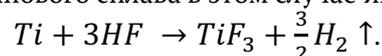
Интенсивно развивающиеся аддитивные технологии позволяют послойно изготовить любое изделие при наличии её компьютерной 3D-модели [5, 6]. Такие процессы создания объекта ещё называют «выращиванием», из-за постепенности процесса изготовления. В зависимости от технологии, объект может строиться снизу-вверх или наоборот и получать различные свойства.

Селективное лазерное сплавление (СЛС) - одно из направлений аддитивного производства, при котором происходит формирование трехмерного изделия путем последовательного сплавления слоев порошкового материала лучом лазера по заданной программе. Технология СЛС обеспечивает высокий коэффициент ис-

пользования материала и позволяет получить у заготовки минимальный припуск на постобработку, что делает СЛС привлекательной альтернативой для производства деталей сложной формы, особенно из титановых сплавов. Детали, полученные в настоящее время по технологии СЛС, как правило, имеют достаточно большую шероховатость поверхности до $Ra = 4,5$ мкм и $Rz = 32$ мкм, что не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к деталям в аэрокосмической, машиностроительной и медицинской отраслях.

Вопрос постобработки сложнопрофильных тонкостенных деталей, изготовленных по данной технологии, проявляется особенно остро, когда требуется обработка внутренних поверхностей деталей и очищение поверхностей от несплавленных частиц порошка. Методами механической обработки резанием не всегда удается достичь требуемого результата из-за сложного профиля, тонких стенок деталей и малых припусков на механическую обработку. Кроме того, при механической обработке тонкостенных деталей из титановых сплавов в их поверхностном слое из-за низкой теплопроводности материала могут произойти структурные и фазовые изменения, сопровождающиеся формированием растягивающих остаточных напряжений и коррозия деталей [7, 8].

В данной работе рассмотрен способ химического полирования деталей из титанового сплава ВТ6. Основным реактивом, применяемым для химического полирования титана и его сплавов, является плавиковая кислота (HF) [9]. Уравнение химической реакции при полировании титанового сплава в этом случае имеет вид:



При полировании титана и его сплавов с использованием HF, выделяется трифторид тита-

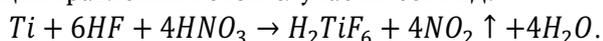
Скуратов Дмитрий Леонидович, доктор технических наук, профессор кафедры технологий производства двигателей. E-mail: skuratov-sdl56@ya.ru

Балякин Андрей Владимирович, старший преподаватель кафедры технологий производства двигателей. E-mail: Balaykinav@ssau.ru

Жученко Евгений Игоревич, магистрант гр.2121Т. E-mail: ZhuchenkoZhenya@yandex.ru

Швецов Алексей Николаевич, старший преподаватель кафедры технологий производства двигателей. E-mail: ShvecovAlexey@yandex.ru

на и газообразный водород. Несмотря на то, что плавиковая кислота сама по себе, разъедает титан, существуют некоторые негативные моменты, связанные с её использованием. Во-первых, это связано с образованием в процессе реакции газообразного водорода, который является легко воспламеняемым и взрывоопасным продуктом, что создает опасность возникновения пожара. Во-вторых, HF имеет тенденцию к быстрому уменьшению концентрации в растворе, требует регулярного её восполнения для поддержания требуемого уровня концентрации. В-третьих, скорость полирования достаточно медленная. И, наконец, доработанная поверхность может не удовлетворять заданным требованиям [10, 11]. Для того, чтобы компенсировать некоторые из этих недостатков, необходимо в раствор плавиковой кислоты добавить азотную кислоту. Реакция травления в этом случае имеет вид:



Как видно из данного уравнения химической реакции, травление титана вызывает образование гексафтортитановой кислоты, двуокиси азота и воды. При использовании этого раствора HF становится более стабильной, водород не выделяется, а скорость травления при определённых концентрациях азотной кислоты увеличивается.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования влияния растворов с различными концентрациями фтористоводород-

ной и азотной кислот на процесс химического полирования титановых сплавов, а именно: скорость травления и качество обработанной поверхности [12], был выполнен комплекс натурных экспериментов.

В качестве материала для исследования был выбран титановый сплав ВТ6. Этот сплав относится к системе титан-алюминий-ванадий, имеет двухфазную структуру ($\alpha+\beta$) и подвергается упрочнению при термической обработке, включающей закалку и старение, которая позволяет повысить его прочность при некотором снижении пластичности [13]. Химический состав титанового сплава ВТ6 приведен в табл. 1.

Образцы были получены методом селективного лазерного сплавления на установке SLM 280 [15] и имели следующие размеры: длину - 35 мм, ширину - 10 мм, толщину - 2 мм. Выращивание осуществлялось на режиме: мощность лазерного излучения $P = 275$ Вт, скорость сканирования $S = 805$ мм/с. Перед полированием образцов были измерены их масса и шероховатость поверхности в продольном и поперечном направлении. Условия травления были одинаковыми для каждого из исследуемых образцов. Температура раствора равнялась 25°C , а объём раствора - 50 мл. Растворы изготавливались в массовых процентах. Для травления использовались полипропиленовые ёмкости.

Исходные данные и результаты химического полирования образцов в растворах различного состава с содержанием HF равного 3%, 5% и 10%, а также влияние этих составов на скорость химического полирования образцов приведены в табл. 2-4 и на рис. 1-3.

Таблица 1. Химический состав титанового сплава ВТ6 в % по ОСТ 1 900013-81 [14]

Ti	Al	V	C	Fe	Si	Zr	O ₂	N ₂	H ₂	Сумма прочих примесей
			не более							
Основа	5,3–6,8	3,5–5,3	0,10	0,60	0,10	0,30	0,20	0,05	0,015	0,30

Таблица 2. Исходные данные и результаты химического полирования образцов в растворах различных составов с содержанием HF равной 3%

Раствор для химического полирования	Толщина образца перед травлением, мм	Толщина образца после травления, мм	Средняя потеря толщины образца, мм	Скорость травления, мм/мин	Масса образца до травления, граммах	Масса образца после травления, граммах	Время травления, мин
3%HF	2,14	2,06	0,08	0,005	2,9399	2,8561	15
3%HF+ 3% HNO ₃	2,12	2,08	0,04	0,003	2,5321	2,4679	15
3%HF+ 6% HNO ₃	2,15	2,06	0,09	0,006	2,6495	2,5834	15
3%HF+ 10% HNO ₃	2,13	2,08	0,05	0,003	2,8357	2,7695	15
3%HF+ 15% HNO ₃	2,15	2,09	0,06	0,004	2,5432	2,4848	15
3%HF+ 20% HNO ₃	2,15	2,07	0,08	0,005	2,6423	2,5602	15

Таблица 3. Исходные данные и результаты химического полирования образцов в растворах различных составов с содержанием HF равной 5%

Раствор для химического полирования	Толщина образца перед травлением, мм	Толщина образца после травления, мм	Средняя потеря толщины образца, мм	Скорость травления, мм/мин	Масса образца до травления, граммах	Масса образца после травления, граммах	Время травления, мин
5%HF	2,19	2,07	0,12	0,008	2,9141	2,7726	15
5%HF+3% HNO ₃	2,18	2,10	0,08	0,005	2,9990	2,9061	15
5%HF+6% HNO ₃	2,15	2,07	0,08	0,005	2,9509	2,8176	15
5%HF+10% HNO ₃	2,07	2,02	0,05	0,003	2,2521	2,1037	15
5%HF+15% HNO ₃	2,05	2,02	0,03	0,002	2,0485	1,9074	15
5%HF+20% HNO ₃	2,06	2,02	0,04	0,006	2,3538	2,1896	7

Таблица 4. Исходные данные и результаты химического полирования образцов в растворах различных составов с содержанием HF равной 5%

Раствор для химического полирования	Толщина образца перед травлением, мм	Толщина образца после травления, мм	Средняя потеря толщины образца, мм	Скорость травления, мм/мин	Масса образца до травления, граммах	Масса образца после травления, граммах	Время травления, мин
10%HF	2,15	2,00	0,15	0,021	3,0660	2,8681	7
10%HF+3% HNO ₃	2,15	2,00	0,15	0,021	2,9074	2,7084	7
10%HF+6% HNO ₃	2,10	1,95	0,15	0,021	3,2482	2,8574	7
10%HF+10% HNO ₃	2,12	2,00	0,12	0,024	3,5643	3,333	5
10%HF+15% HNO ₃	2,14	2,01	0,13	0,026	3,6154	3,4718	5
10%HF+20% HNO ₃	2,10	1,95	0,15	0,030	3,3727	2,9954	5

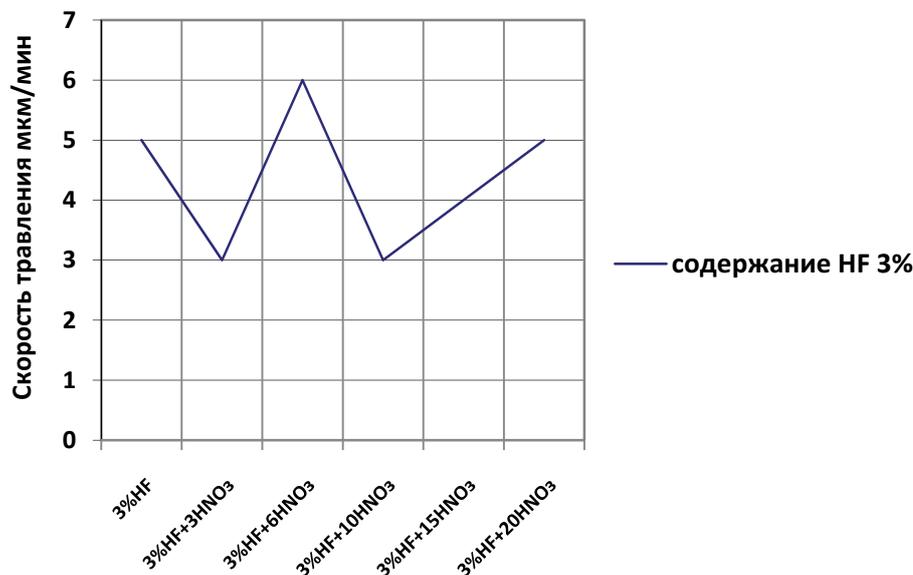


Рис. 1. Зависимость скорости травления в растворах с содержанием HF равной 3% и различных концентрациях HNO₃

Результаты исследования шероховатости поверхности образцов в продольном и поперечном направлениях в растворах ранее указанных составов представлены в табл. 5-6 и на рис. 4-9.

ОБСУЖДЕНИЕ

Поверхность детали после селективного лазерного сплавления имеет выпуклости и вогнутости, расположение которых зависит от стратегии

сканирования лазерным лучом. Пример стратегии сканирования приведён на рис. 10. Раствор, предназначенный для химического полирования, воздействует на обрабатываемую поверхность с одинаковой интенсивностью, поэтому шероховатость поверхности, измеренная перпендикулярно направлению трека, будет значительно отличаться от шероховатости, измеренной вдоль трека.

Химическое полирование раствором фтористоводородной кислоты как показало ис-

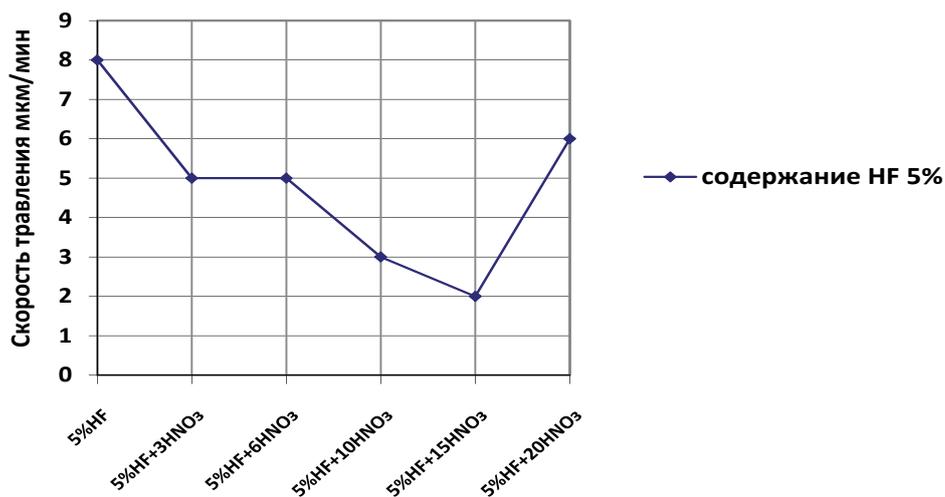


Рис. 2. Зависимость скорости травления в растворах с содержанием HF равной 5% и различных концентрациях HNO₃

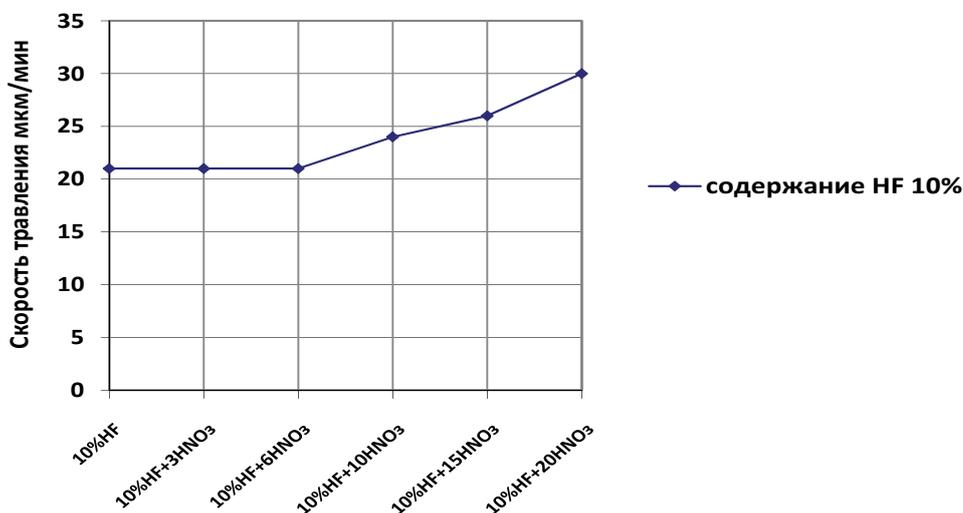


Рис. 3. Зависимость скорости травления в растворах с содержанием HF равной 10% и различных концентрациях HNO₃

Таблица 5. Шероховатость поверхности образцов до и после химического полирования в растворах различных составов с содержанием HF равной 3%

Раствор для химического полирования	Шероховатость поверхности образца, мкм				Коэффициент изменения шероховатости	
	До полирования		После полирования		Вдоль образца	Поперек образца
	Вдоль образца	Поперек образца	Вдоль образца	Поперек образца		
3%HF	Ra = 4,36 Rz = 31,50	Ra = 4,18 Rz = 32,20	Ra = 3,97 Rz = 31,90	Ra = 4,00 Rz = 32,20	1,10 0,98	1,04 1,00
3%HF+3% HNO ₃	Ra = 4,36 Rz = 31,50	Ra = 4,18 Rz = 32,20	Ra = 3,35 Rz = 27,70	Ra = 4,29 Rz = 34,00	1,30 1,13	0,97 0,95
3%HF+6% HNO ₃	Ra = 4,24 Rz = 32,60	Ra = 3,84 Rz = 31,30	Ra = 3,06 Rz = 27,00	Ra = 3,29 Rz = 26,00	1,38 1,21	1,17 1,20
3%HF+10% HNO ₃	Ra = 4,26 Rz = 30,60	Ra = 2,64 Rz = 28,30	Ra = 3,96 Rz = 30,00	Ra = 2,36 Rz = 31,10	1,07 1,02	1,11 0,91
3%HF+15% HNO ₃	Ra = 3,93 Rz = 28,40	Ra = 3,89 Rz = 33,20	Ra = 4,21 Rz = 32,20	Ra = 4,01 Rz = 31,90	0,93 0,88	0,97 1,04
3%HF+20% HNO ₃	Ra = 4,18 Rz = 29,50	Ra = 4,01 Rz = 29,50	Ra = 3,42 Rz = 28,30	Ra = 4,07 Rz = 30,08	1,22 1,04	0,98 0,98

Таблица 6. Шероховатость поверхности образцов до и после химического полирования в растворах различных составов с содержанием HF равной 5%

Раствор для химического полирования	Шероховатость поверхности образца, мкм				Коэффициент изменения шероховатости	
	До полирования		После полирования		Вдоль образца	Поперек образца
	Вдоль образца	Поперек образца	Вдоль образца	Поперек образца		
5%HF	Ra = 3,78 Rz = 25,20	Ra = 3,55 Rz = 29,60	Ra = 2,86 Rz = 40,70	Ra = 2,92 Rz = 27,00	1,32 0,62	1,21 1,10
5%HF+3% HNO ₃	Ra = 3,78 Rz = 25,20	Ra = 3,55 Rz = 29,60	Ra = 2,05 Rz = 21,10	Ra = 3,07 Rz = 25,60	1,84 1,19	1,16 1,16
5%HF+6% HNO ₃	Ra = 3,63 Rz = 25,70	Ra = 3,97 Rz = 27,90	Ra = 2,41 Rz = 25,50	Ra = 0,35 Rz = 3,84	1,50 1,01	11,34 7,26
5%HF+10% HNO ₃	Ra = 6,70 Rz = 36,70	Ra = 7,24 Rz = 46,80	Ra = 4,30 Rz = 35,70	Ra = 5,16 Rz = 42,10	1,56 1,03	1,40 1,11
5%HF+15% HNO ₃	Ra = 6,70 Rz = 36,70	Ra = 7,24 Rz = 46,80	Ra = 4,19 Rz = 37,40	Ra = 0,97 Rz = 22,90	1,60 0,98	7,46 2,04
5%HF+20% HNO ₃	Ra = 6,70 Rz = 36,70	Ra = 7,24 Rz = 46,80	Ra = 4,98 Rz = 35,30	Ra = 4,48 Rz = 39,80	1,34 1,04	1,62 1,17

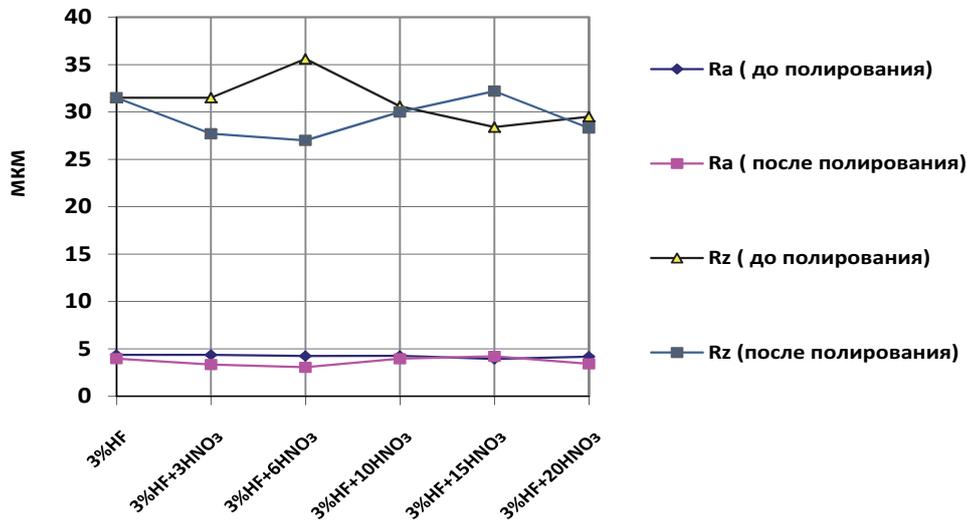


Рис. 4. Шероховатость поверхности образцов, измеренная вдоль образца, после химического полирования в растворах различных составов с содержанием HF равной 3%

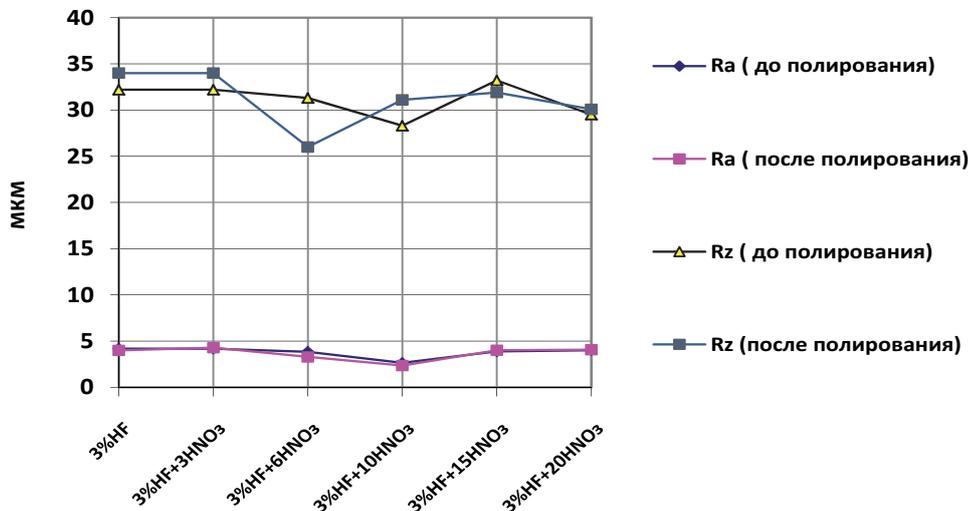


Рис. 5. Шероховатость поверхности образцов, измеренная поперёк образца, после химического полирования в растворах различных составов с содержанием HF равной 3%

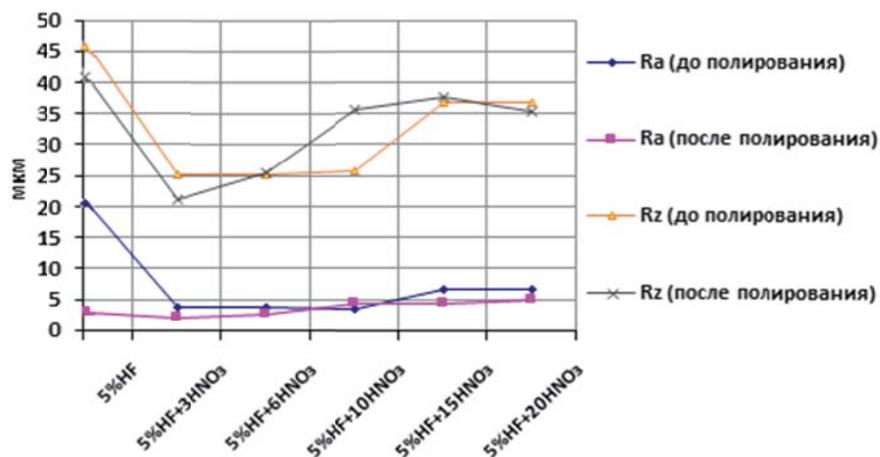


Рис. 6. Шероховатость поверхности образцов, измеренная вдоль образца, после химического полирования в растворах различных составов с содержанием HF равной 5%

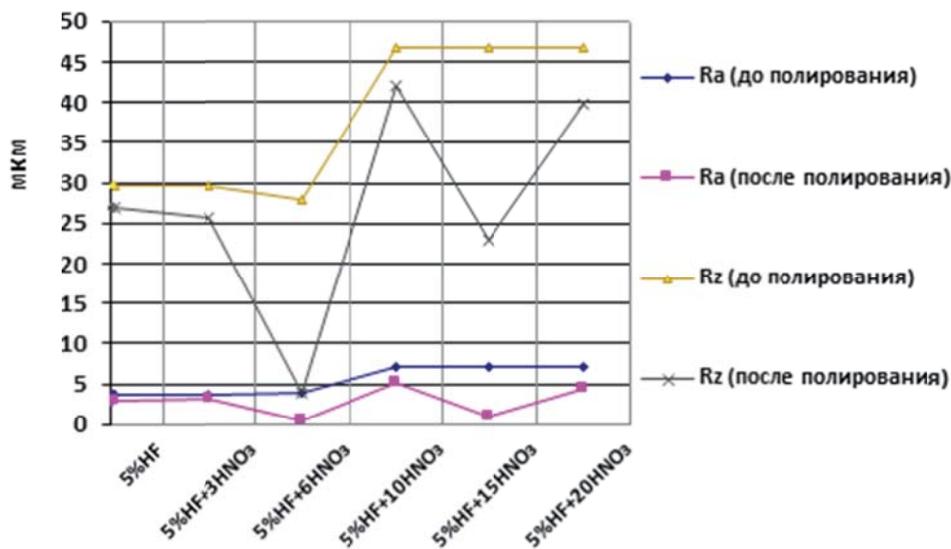


Рис. 7. Шероховатость поверхности образцов, измеренная поперек образца, после химического полирования в растворах различных составов с содержанием HF равной 5%

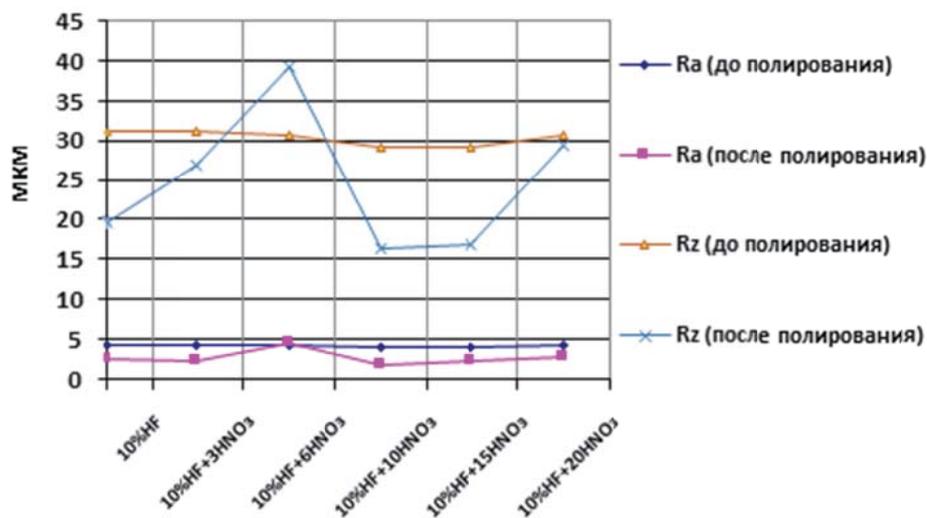


Рис. 8. Шероховатость поверхности образцов, измеренная вдоль образца, после химического полирования в растворах различных составов с содержанием HF равной 10%

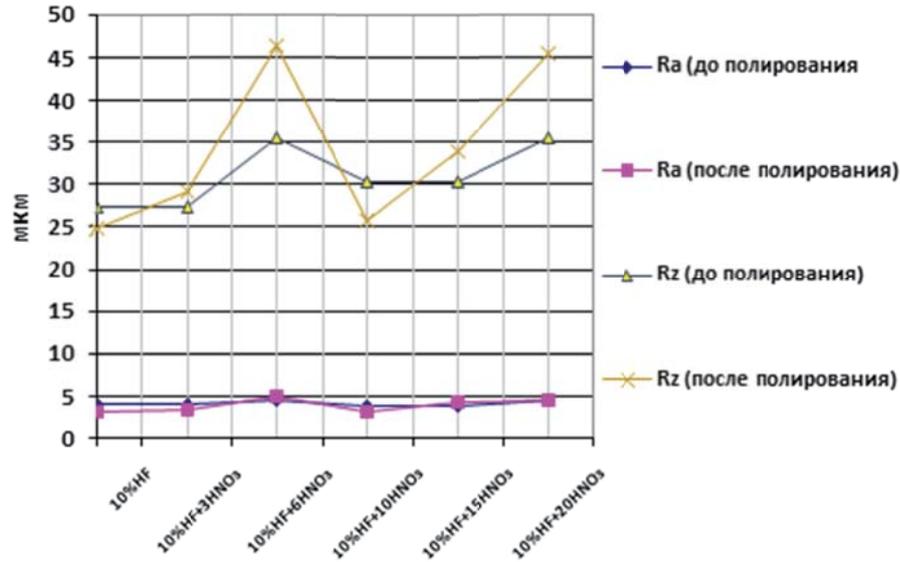


Рис. 9. Шероховатость поверхности образцов, измеренная поперек образца, после химического полирования в растворах различных составов с содержанием HF равной 10%

Таблица 7. Шероховатость поверхности образцов до и после химического полирования в растворах различных составов с содержанием HF равной 10%

Раствор для химического полирования	Шероховатость поверхности образца, мкм				Коэффициент изменения шероховатости	
	До полирования		После полирования		Вдоль образца	Поперек образца
	Вдоль образца	Поперек образца	Вдоль образца	Поперек образца		
10%HF	Ra = 4,27 Rz = 31,10	Ra = 4,03 Rz = 27,40	Ra = 2,39 Rz = 19,70	Ra = 3,15 Rz = 24,80	1,79 1,58	1,28 1,10
10%HF+3% HNO ₃	Ra = 4,27 Rz = 31,10	Ra = 4,03 Rz = 27,40	Ra = 2,23 Rz = 27,00	Ra = 3,49 Rz = 29,20	1,91 1,15	1,15 0,94
10%HF+6% HNO ₃	Ra = 4,22 Rz = 30,80	Ra = 4,46 Rz = 35,60	Ra = 4,44 Rz = 39,20	Ra = 4,95 Rz = 46,30	0,95 0,78	0,90 0,77
10%HF+10% HNO ₃	Ra = 3,99 Rz = 29,20	Ra = 3,82 Rz = 30,20	Ra = 1,69 Rz = 16,30	Ra = 3,07 Rz = 25,70	2,36 1,79	1,24 1,17
10%HF+15% HNO ₃	Ra = 3,99 Rz = 29,20	Ra = 3,82 Rz = 30,20	Ra = 2,15 Rz = 16,90	Ra = 4,29 Rz = 34,00	1,85 1,73	0,89 0,89
10%HF+20% HNO ₃	Ra = 4,22 Rz = 30,80	Ra = 4,46 Rz = 35,60	Ra = 2,64 Rz = 29,50	Ra = 4,45 Rz = 45,50	1,60 1,04	1,00 0,78

следование, является достаточно медленным процессом и сопровождается образованием побочного продукта. Этим продуктом является газообразный водород. Добавление азотной кислоты в раствор увеличивает скорость травления, устраняет образование газообразного водорода и позволяет получить более гладкую поверхность. Повышение концентрации азотной кислоты выше десяти процентов мало влияет на скорость травления. Кроме того, с увеличением концентраций HF на поверхности материала наблюдается образование оксида титана, имеющего белый цвет, и его очень тяжело удаляемого с обрабатываемой поверхности [16, 17].

На скорость травления и шероховатость по-

верхности образцов, изготовленных методом селективного лазерного сплавления и подвергнутых химическому полированию раствором, состоящим из HF и HNO₃, влияют характер исходной шероховатости поверхности и наличие или отсутствие несплавленных участков (рис. 11).

Влияние ранее перечисленных факторов на качество полирования проявляется в скоплении во впадинах поверхности, величина и расположение которых определяется стратегией сканирования лазерным лучом, что в свою очередь перекрывает доступ раствора для химического полирования к обрабатываемой поверхности и, как следствие, к ухудшению её конечной шероховатости.

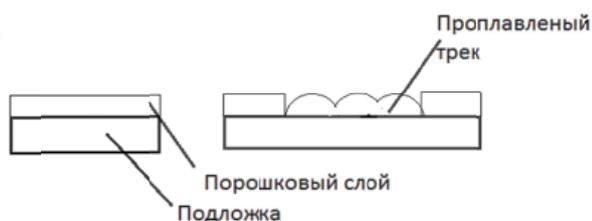


Рис. 10. Пример «однозонной» стратегии сканирования

На основании проведения эксперимента по исследованию влияния различных химических концентраций на скорость травления и качество поверхности при химическом полировании титанового сплава ВТ6 раствором фтористоводородной и азотной кислоты, было установлено, что оптимальным составом для полирования являются растворы с содержанием 10%HF+10% HNO_3 и 5%HF+6% HNO_3 . Шероховатость поверхности образцов в продольном и поперечном направлениях при их химическом полировании первым раствором уменьшились соответственно в 2,36 и в 1,24 раза, а при полировании вторым снизились соответственно в 1,50 и в 11,34 раза.

ВЫВОДЫ

Рассмотренный в данной статье способ химического полирования деталей из титанового сплава ВТ6 раствором плавиковой кислоты с добавлением азотной кислоты может быть использован в качестве постобработки сложнопрофильных тонкостенных деталей, изготовленных по технологии СЛС. В качестве основного раствора для химического полирования титановых сплавов авторы рекомендуют использовать 10% раствор фтористоводородной и азотной кислот.

Интенсивность химического полирования титановых сплавов раствором кислот HF+ возможно увеличить за счет обеспечения циркуляции раствора или встряхивания образца. Это освободит обрабатываемую поверхность от скопления гексафтортитановой кислоты, двуокси азота и воды.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают особую благодарность сотрудникам кафедры химии Самарского университета, оказавшим помощь в приготовлении растворов для травления и проведении экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиационные материалы: Справочник: В 9 т. [Под общ. ред. засл. деят. науки и техники РСФСР, чл.-кор.



Рис. 11. Изображение проявившейся поры при травлении

- АН СССР А.Т. Туманова]. М-во авиац. пром-сти СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т авиац. материалов. 6-е изд., перераб. и доп. М.: ОНТИ, 1973. 22 см. Т. 5: Магниево-титановые и титановые сплавы [науч. ред. докт. техн. наук М.Б. Альтман, докт. техн. наук С.Г. Глазунов, докт. техн. наук С. И. Кишкина]. 1973. 583 с.
2. Ильин А.А., Колачев Б.А., Польшин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. М.: ВИАЛ - МАТИ, 2009. С. 520.
3. Исследование применения технологий быстрого прототипирования для изготовления лопаток турбины ГТД / А.В. Балякин, Е.М. Добрышкина, Р.А. Вдовин, В.П. Алексеев // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18. № 4(6). С. 1168-1172
4. Агаповичев А.В., Смелов В.Г., Балякин А.В. Разработка методики литья сложных деталей аэрокосмического профиля с использованием аддитивных технологий // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2014. №5-2 (47). С. 166-173
5. Балякин А.В., Носова Е.А., Галкина Н.В. Остаточные напряжения заготовок из сплава ВТ-22 после деформации и отжига // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19. № 1. Ч.1. С. 25-30
6. Сотов А.В., Проничев Н.Д., Смелов В.Г. и др. Разработка методики проектирования технологических процессов изготовления деталей ГТД методом селективного лазерного сплавления порошка жаропрочного сплава ВВ751П // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19. № 4. С. 96-104
7. Shvetcov A.N., Skuratov D.L. Investigation of conditions of processing influence on micro-hardness distribution in surface layer during diamond burnishing of samples of FeC0.15Cr12Ni2 steel // Key Engineering Materials, 2017. Vol. 746 KEM. Pp. 290-295
8. Evdokimov D.V., Skuratov D.L., Fedorov D.G. Influence of tool wear on the heat-flux distribution and temperature at the contact surfaces in the end milling of OT4 titanium alloy // Russian Engineering Research. 2016. Vol. 36. Issue 4. Pp. 324-327
9. Seung MiBaek, Alexander V. Polyakov, Ji Hyun Moona, Irina P. Semenova, Ruslan Z.V aliev, Hyoung Seop Kim. Effect of surface etching on the tensile behavior of coarse- and ultrafine-grained pure titanium Materials Science and Engineering: A, Volume 707, 7

- November 2017, Pages 337-343
10. *Balaykin A.V., Nosova E.A., Galkina N.V.* Study of the Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe titanium alloy grain structure uniformity after bending and annealing // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. Vol. 177. Issue 1.
 11. *Смелов В.Г., Сотов А.В., Агаповичев А.В.* Исследование структуры и механических свойств изделий, полученных методом селективного лазерного сплавления из порошка стали 316l // Черные металлы. 2016. № 9 (107). С. 61-65
 12. *Balaykin A.V., Nosova E.A., Galkina N.V.* Research of Residual Stress after Deformation and Annealing of a Titanium Alloy Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe Billets // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016. Vol. 142. Issue 1.
 13. *C. Grosskreutz, D.K. Benson.* The effects of the surface on the mechanical properties of metals J.J. Burke, N.L. Reed, V. Weiss (Eds.), Surface and Interfaces II, Syracuse Univ. Press, New York (1968), pp. 61-94. *C. Grosskreutz, D.K. Benson* The effects of the surface on the mechanical properties of metals J.J. Burke, N.L. Reed, V. Weiss (Eds.), Surface and Interfaces II, Syracuse Univ. Press, New York (1968), pp. 61-94
 14. ОСТ 1 900013-81 Титановые сплавы. Марки. Введ. 01.07.1981. М.: Издательство стандартов, 1982. 6 с.
 15. *Cassinelli C, Morra M, Bruzzone G, Carpi A, Di Santi G, Giardino R, et al.* Surface chemistry effects of topographic modification of titanium dental implant surfaces: 2. In vitro experiments. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003;18(1): 46-52.
 16. *S.B.F. Lamolle, M.M.M. Rubert, H.J. Haugen, S.P. Lyngstadaas, J.E. Ellingsen.* The effect of hydrofluoric acid treatment of titanium surface on nanostructural and chemical changes and the growth of MC3T3-E1 cells *Biomaterials*, 30 (2009), pp. 736-742
 17. *Нехорошев М.В., Проничев Н.Д., Смирнов Г.В.* Автоматизация проектирования технологии электрохимической обработки пера лопаток ГТД на основе компьютерного моделирования процесса формообразования // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15. № 6(4). С. 897-900.

CHEMICAL POLISHING OF PRODUCTS FROM TITANIUM ALLOY BT6, MANUFACTURED BY METHOD OF SELECTIVE LASER ALLOYING

© 2018 D.L. Skuratov, A.V. Balyakin, E.I. Zhuchenko, A.N. Shvetsov

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The results of a study of chemical polishing of samples made of titanium alloy VT6 made by selective laser alloying are presented in the article. The etching rate and the surface roughness change in the longitudinal and transverse directions after polishing with solutions containing various concentrations of hydrofluoric and nitric acids were analyzed. A recommendation is given on the optimal composition and concentration of the acid solution in the polishing of articles made of titanium alloys produced by selective laser fusion.

Keywords: selective laser alloying, titanium alloy VT6, chemical polishing, composition and concentration of solution, surface roughness.

Dmitry Skuratov, Doctor of Technics, Professor at the Engine Technology Department. E-mail: skuratov-sdl56@ya.ru

Andrey Balyakin, Senior Lecturer at the Engine Technology Department. E-mail: balaykinav@ssau.ru

Evgeny Zhuchenko, Student.

E-mail: ZhuchenkoZhenya@yandex.ru

Alexey Shvetsov, Senior Lecturer at the Engine Technology Department. E-mail: ShvecovAlexey@yandex.ru