МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.9.048.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТЗ-1, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Ю. Е. Жданова, А. А. Федоров, А. И. Блесман, Д. А. Полонянкин Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты исследования образцов из титанового сплава ВТЗ-1, изготовленных на проволочно-вырезном электроэрозионном станке SODICK VZ300L. В ходе эксперимента установлены режимы, обеспечивающие стабильную обработку титанового сплава ВТЗ-1, при которой вероятность обрыва проволоки минимальна. Методами растровой электронной микроскопии и профилометрии проведено исследование морфологии и шероховатости поверхности образцов, обработанных ПЭЭО.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, титановый сплав, шероховатость, морфология поверхности, трещина.

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-5-10

І. ВВЕДЕНИЕ

Титан и титановые сплавы получили широкое распространение в различных отраслях промышленности благодаря высоким физико-механическим свойствам: коррозионной стойкости, прочности и сопротивлению усталости. Уникальным свойством титана по сравнению с другими металлами является самое высокое отношение прочности к весу.

Титан и его сплавы нашли применение в следующих отраслях промышленности: биомедицина [1], автомобилестроение, приборостроение, пищевая промышленность и многие другие, а так же при изготовлении спортивного оборудования [6, 9]. Титановые сплавы являются одним из основных материалов в авиационно-космической промышленности и успешно конкурируют с никелевыми сплавами благодаря сравнительно низкой плотности [5]. Например, титановый сплав Ti-5Al-2Sn, подвергнутый высокотемпературному отжигу, используется в авиации благодаря высокой вязкости и пластичности при низких температурах [7]. Уже достаточно давно титан применяется для создания биосовместимых имплантатов и медицинского оборудования[3, 8]. По отношению к живому организму титан является биологически инертным материалом, обладающим антикоррозионной стойкостью и высокими механическими свойствами. Исследование влияния добавок Nb, Ta и Zr на свойства титановых сплавов (в частности, токсичность), позволило установить оптимальные концентрации названных легирующих элементов при изготовлении изделий медицинского назначения [2]. Низкие ферромагнитные свойства титана обеспечивают возможность использования физиотерапии при лечении больных с различными титановыми конструкциями в организме, что обусловливает актуальность и перспективы применения титана в медицинской сфере.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Титан является пластичным металлом, который поддается всем видам механической обработки: шлифованию, сверлению, фрезерованию и точению. Наряду с традиционными методами, для обработки титана используют и электроэрозионное оборудование. Однако производители электроэрозионного оборудования предоставляют режимы резания для самых распространенных материалов (таких как: сталь, медь, алюминий, карбид вольфрама), а для титана предустановленные базы данных в стандартной комплектации станков отсутствуют, поэтому необходимо подбирать режимы экспериментальным методом. Помимо стабильности обработки следует выделить такие существенные технологические показателей, как производительность и качество обработанной поверхности. Исследование шероховатости и морфологии поверхности титановых сплавов при их электроэрозионной обработке является основной целью данной статьи.

III. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изготовление образцов из титанового сплава BT3–1 проводилась на проволочно-вырезном электроэрозионном станке SODICK VZ300L с использованием дистиллированной воды в качестве диэлектрика и мягкой латунной проволоки (Cu 65%, Zn 35%)диаметром 0,2 мм в качестве электрода-инструмента. Обработка производилась в 1, 2, 3 и 4 прохода. После обработки на каждом образце были исследованы морфология и шероховатость поверхности. Содержание основных элементов в марке сплава BT3–1: Ti–85,95–91,05%; Al–5,5–7%; Mo–2–3%;Cr–0,8–2%; Fe–0,2–0,7%; Si–0,15–0,4%; C–до 0,1%; N – до 0,05% прочих 0,3%. Подобранные экспериментальным методом параметры обработки представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1 РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ3–1

	On	Off	Ucp	Icp	Н
1 проход	007	015	54	4,2	0,206
2 проход	002	011	68	1,4	0,131
3 проход	001	001	70	0,6	0,111
4 проход	001	001	41	0,4	0,105

где: On –импульс; Off – пауза между импульсами; U –напряжение; I –сила тока; H – офсет;

Сила тока и напряжение были установлены с помощью числового программного управления станка и контролировались встроенным вольтметром и амперметром.

Исследование морфологии образцов проводилось на растровом электронном микроскопе *JEOL JCM-5700*. Тип сигнала — вторичные электроны (*SEI*). Параметр *SpotSize* (размер пятна) — 50, величина ускоряющего напряжения 20 кВ, увеличение от 1500 до 15000 крат. Профилометрию проводили на приборе TR-220 (TimeGroup) на базовых длинах 0,8 и 0,25 мм.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из рис. 1, морфология поверхности образцов титанового сплава после обработки характерна для применения ПЭЭО к другим металлическим материалам.

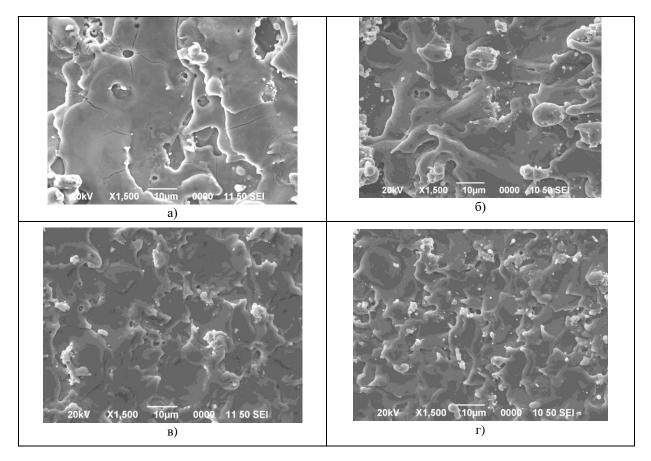


Рис. 1. Поверхность образцов из титанового сплава BT3-1 после проволочно-вырезной электроэрозионной обработки,× 1500: а) 1 проход, б) 2 прохода, в) 3 прохода, г) 4 прохода

Границы многочисленных кратеров представляют собой возвышения. Это можно объяснить выплескиванием металла и формированием кратеров с наплывами на краях. Помимо этого на микрофотографиях поверхности образцов после обработки присутствуют кристаллизовавшиеся частицы шлама. После второго прохода количество участков с сравнительно низкой шероховатостью увеличивается, но на поверхности все равно присутствуют частицы шлама. Вместе с этим, по сравнению с первым проходом, происходит уменьшение числа больших впадин и возвышенностей. После третьего прохода наблюдаются значительные улучшения качества поверхности, которая становится более однородной. В некоторых частях образца всё же присутствует небольшое количество налипшего шлама. После четвертого прохода достигается наилучшее качество поверхности (на данном оборудовании), однако время обработки значительно увеличивается.

Авторы работы [11] утверждают, что в поверхностном слое возникают растягивающие напряжения, микротрещины, которые вносят существенный вклад в преждевременный выход детали из строя при вводе ее в эксплуатацию.

Микротрещины становятся заметными уже при увеличении 1500 крат, но для более детального их исследования использовалось увеличение 15000 крат. (рис. 2).

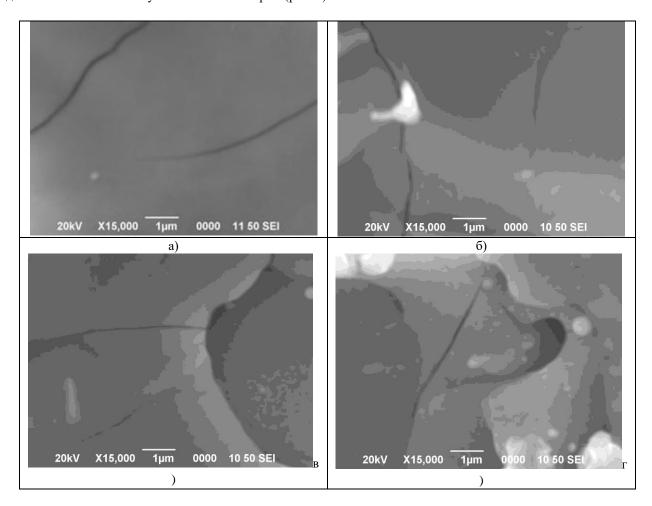


Рис. 2. Поверхность образцов из титанового сплава BT3-1 после проволочно-вырезной электроэрозионной обработки,×15000: а) 1 проход, б) 2 прохода, в) 3 прохода, г) 4 прохода

Для первого и второго прохода режимы обработки выше, и ширина трещин достигает 0,2 мкм. После третьего и четвертого прохода трещины становятся менее заметными, а их ширина составляет не более 0,07 мкм. Образование трещин происходит из-за мгновенного нагрева поверхности заготовки свыше 5000° и быстрого охлаждения до температуры диэлектрической жидкости, вследствие чего возникают термические напряжения и последующее растрескивание поверхностного слоя металла. Трещины представлены хаотически выстроенной сеткой. Как уже было показано авторами работы [11], изделие с таким качеством поверхности быстрее выйдет из строя, поэтому необходимо снизить толщину измененного слоя. Решить данную проблему можно с помощью финишных методов обработки, таких как шлифовка, полировка и электрохимическая обработка.

Существенное влияние на шероховатость поверхности оказывают режимы электроэрозионной обработки (табл. 1) и количество проходов. Изучая профилограммы (рис. 3) и табл. 2, можно заметить, что с увеличением

количества проходов, шероховатость уменьшается. Для 1-го прохода — Ra= 2,708 мкм, для 2-го прохода — Ra= 2,003 мкм. После 3-го прохода шероховатость снизилась, а её величина равна 0,685 мкм. После четвертого прохода, величина шероховатости равна 0,446 мкм. Стоит обратить внимание на то, что для сталей, входящих в базу данных станка, эти значения равны: для 1-го прохода - Ra 2,5 мкм, для 2-го прохода - Ra 1,25 мкм, для 3-го прохода - Ra 0,63 мкм, для 4-го прохода - Ra 0,41 мкм. Наряду со снижением шероховатости увеличение количества проходов приводит к уменьшению размеров трещин.

Расчетными и экспериментальными методами давно установлено, что электрические разряды оказывают влияние на целостность поверхности проводника (заготовки). Например, в работе [11] сообщается об увеличении шероховатости поверхности при ПЭЭОпо мере роста длительности импульса тока, пикового тока разряда и энергии разряда. Шероховатость зависит и от материала электрода—инструмента. В нашем исследовании использовалась латунная проволока. Однако известны работы [2], в которых проводится сравнительное исследование морфологии обрабатываемой поверхности и ее шероховатости при использовании латунной проволоки с цинковым покрытием и высокоскоростной латунной проволоки. Установлено, что более низкая шероховатость поверхности обеспечивается посредством использования латунной проволоки с цинковым покрытием. Таким образом, можно предположить, что размер и расположение трещин зависит от типа используемой для резки проволоки. Для этого необходимы дополнительные исследования.

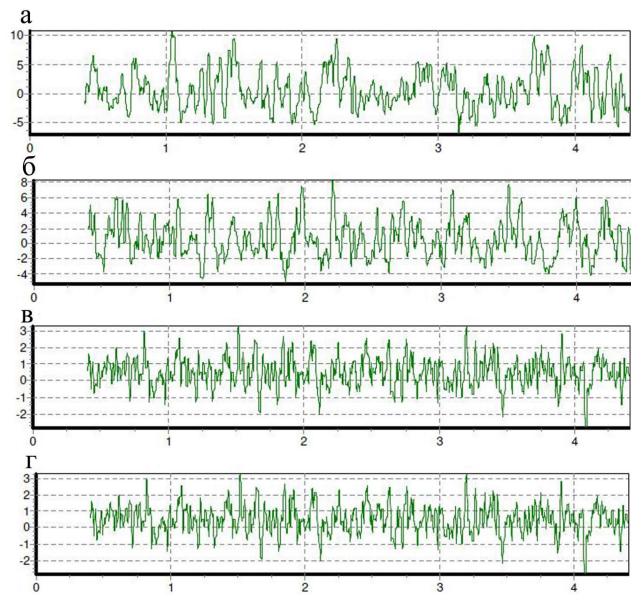


Рис. 3. Профилограммы титанового сплава BT3-1 после проволочной электроэрозионной обработки: а) после первого прохода, б) после второго прохода, в) после третьего прохода, г) после четвертого прохода

ТАБЛИЦА 2 ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ3–1

	1 проход	2 проход	3 проход	4 проход
Ra, мкм	2,708	2,003	0,685	0,446

На рис. 4 представлен график оценки микрорельефа по функциональному назначению (износостойкость, герметичность)

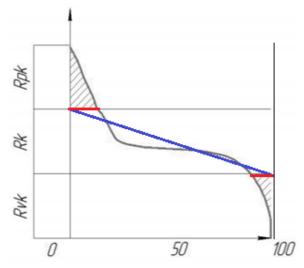


Рис. 4. Оценка микрорельефа по функциональному назначению

где: Rpk — усредненная высота выступов, это верхняя часть поверхности, которая подвергается повышенному износу, в ходе эксплуатации, Rk — средняя глубина микронеровностей, это один из параметров шероховатости основной рабочей поверхности, которая определяет срок работы и производительность изделия в узлах трения, Rvk — усредненная глубина профиля, этот показатель характеризует маслоудерживающую способность канавок на поверхности детали. Для сравнительного анализа графики, полученные для образцов после каждого из 4 проходов, представлены на рис. 5.

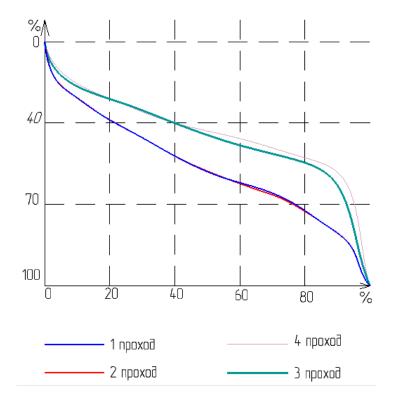


Рис. 5. Графики оценки микрорельефа титанового сплава ВТЗ-1 по функциональному назначению

Для анализа параметров Rpk, Rk, Rvk для каждого из графиков проводили линию, усредняющую все его значения, и из точек пересечения с границами оценочного поля проецировали на график горизонтальную линию. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что функциональные свойства деталей, обработанных в 1 и 2 прохода, будут близки, при этом изделие, изготовленное в 1 проход, будет обладать более высокой маслоудерживающей способностью. Процесс приработки деталей, обработанных в 4 прохода пройдет быстрее чем деталей, обработанных в 3 прохода, однако маслоудерживающая способность поверхности, обработанной в 4 проход, снижается.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования установлено, что без экспериментального подбора режимов обработки изготовление деталей из металлов, не входящих в базу данных проволочно-вырезных электроэрозионных станков, является затруднительным.

Шероховатость поверхности титанового сплава BT3-1 после каждого прохода была близка к значениям шероховатости, получаемым при обработке сталей. Однако на втором проходе была замечена разница между рассчитанной шероховатостью для стали и фактической шероховатостью образца, что требует дальнейших исследований. Морфология поверхности образцов титанового сплава BT3-1 характерна для применения ПЭЭО к другим металлическим материалам, что подтверждается наличием кратеров, сформированных единичными импульсами, а так же трещин, образованных в результате действия внутренних напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Xu J. [et al.]. Improved bioactivity of selective laser melting titanium: Surface modification with micro-nanotextured hierarchical topography and bone regeneration performance evaluation // Materials Science and Engineering: C. 2016. 68. P. 229–240. Doi.org/10.1016/j.msec.2016.05.096.
- 2. Niinomi M. Recent research and development in titanium alloys for biomedical applications and healthcare goods // Science and Technology of Advanced Materials. 2003. P. 445–454. Doi.org/10.1016/j.stam.2003.09.002.
- 3. Nourbakhsh F. [et al.]. Wire electro–discharge machining of titanium alloy // Procedia CIRP. 2013. 5. P. 13–18.doi.org/10.1016/j.procir.2013.01.003.
- 4. Santos, R. F. [et al.]. Analysis of the surface integrity when nitriding AISI 4140 steel by the sink electrical discharge machining (EDM) // Procedia CIRP. 2016. 45. P. 303–306. Doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.197.
- 5. Albrecht J. Comparing fatigue behavior of titanium and nickel-based alloys // Materials Science and Engineering: A. 1999. 263 (2). P. 176–186. Doi.org/10.1016/S0921–5093(98)01176–9.
- 6. Patnaik A. K. [et al.]. Understanding the mechanical response of built—up welded beams made from commercially pure titanium and a titanium alloy // Materials Science and Engineering: A. 2014. P. 390–400. Doi.org/10.1016/j.msea.2013.10.041.
- 7. Boyer R. R. An overview on the use of titanium in the aerospace industry // Materials Science and Engineering: A. 1996. 213 (1–2). P. 103–114. Doi.org/10.1016/0921–5093(96)10233–1.
- 8. Cui C. [et al.]. Titanium alloy production technology, market prospects and industry development // Materials & Design. 2011. 32 (3). P. 1684–1691. Doi.org/10.1016/j.matdes.2010.09.011.
- 9. Hanson B. H. Present and future uses of titanium in engineering // Materials & Design. 1986. 7 (6). P. 301–307. Doi.org/10.1016/0261–3069(86)90099–3.
- 10. Honnorat Y. Issues and breakthrough in the manufacture of turboengine titanium parts // Materials Science and Engineering: A. 1996. 213(1–2). P. 115–123. Doi.org/10.1016/0921–5093(96)10229–X.
- 11. Newton T. R. [et al.]. Investigation of the effect of process parameters on the formation and characteristics of recast layer in wire-EDM of Inconel 718. //Materials Science and Engineering. A. 2009. 513–514 (C). P. 208–215. Doi.org/10.1016/j.msea.2009.01.061.