Машины и Установки
проектирование
разработка и эксплуатация
Сетевое издание
МГТУ им. Н.Э. Баумана
http://aplantsjournal.ru

Ссылка на статью
// Машины и Установки: проектирование, разработка и эксплуатация.
МГТУ им. Н.Э. Баумана.
Электрон. журн. 2016. № 04. С. 14–24.

DOI: **10.7463/aplts.0416.0845347**

Представлена в редакцию: 13.07.2016
Исправлена: 27.07.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 53.084.823

Химико-термическая обработка модифицированных поверхностных структур на титановых сплавах

Кельциева И. А.[1,*], **Васильев С. Г.**[1]

*iarturovna.9@gmail.com

[1]МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Статья посвящена изучению модифицированных поверхностных структур на титановых сплавах. Создание модифицированных структур на поверхности происходит при помощи метода деформирующего резания, в результате которого на поверхности заготовки образуется макрорельеф в виде ребристой структуры. Исследуется влияние азотирования на твердость полученной структуры. Проведены металлографические исследования упрочненных структур, выполнены измерения микротвердости. Определено влияние различных режимов деформирующего резания на микроструктуру, твердость и толщину полученного модифицированного упрочненного слоя.

Ключевые слова: деформирующее резание, азотирование, титановые сплавы

Введение

Ввиду высоких показателей коррозионной стойкости и удельной прочности титана и его сплавов, большой интерес для конструкторов и технологов представляет использование его в качестве конструкционного материала для деталей узлов трения, плунжеров насосов, деталей типа вал-втулка, работающих в условиях агрессивной среды. Ограничения в эксплуатации подобных изделий создает высокая склонность титановых сплавов к контактному схватыванию в условиях трения.

Одним из основных способов повышения антифрикционных свойств титановых сплавов является нанесение покрытий и наиболее распространенная химико-термическая обработка (ХТО). Традиционным видом ХТО для титана и его сплавов является азотирование. В результате такой обработки микротвердость поверхности повышается до значений 1000-1200 HV [1]. Основным недостатком азотирования титановых сплавов является малая глубина упрочненного слоя – до 0,16 мм [1].

Известен способ механической обработки, деформирующее резание (ДР) [2], который позволяющий создавать на поверхности детали макрорельеф различной формы в виде чередующихся вертикальных или наклонных слоев материала детали заданной толщины и высоты с зазором или без зазора между слоями. Деформирующее резания является разновидностью лезвийной обработки и отличается от известных способов механической обработки использованием специального режущего инструмента [3]. Инструмент для ДР близок к обычному режущему инструменту, имеет главную и вспомогательную режущую кромку, и отличается большими отрицательными значениями переднего угла [4, 5]. Схема обработки методом деформирующего резания представлена на рис. 1 [4].

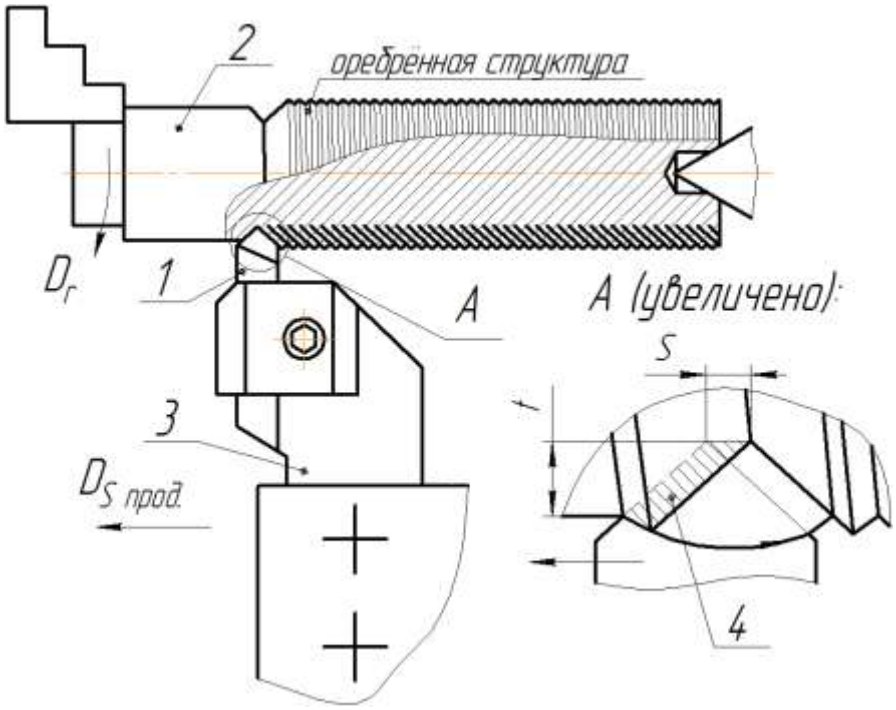


Рис. 1. Схема обработки методом ДР: 1 – инструмент (проходной резец со специальной геометрией заточки); 2 – заготовка; 3 – державка; 4 – подрезаемый слой

Суть метода ДР заключается в последовательном подрезании и отгибании слоев материала заготовки. При этом подрезанные слои не отделяются от поверхности заготовки в виде стружки, а остаются на поверхности заготовки, образуя макрорельеф (рис. 2) в виде ребер. При отгибании подрезаемых слоев материала на вершине единичного ребра образуется дефектная зона в виде деформированного треугольника, которую следует удалять механическим способом перед проведением ХТО.

Обработка методом ДР может быть реализована как на специализированном, так и на универсальном металлорежущем оборудовании. Метод ДР на титановых сплавах позволяет получать мелкошаговое оребрение с шириной межреберного зазора b от 0,01 до 1,0 миллиметров и высотой ребра hp до 1,5…2,0 мм. Параметры оребренной структуры можно регулировать путем изменения величины подачи S, глубины резания t, скорости резания v, и геометрических параметров инструмента ДР.

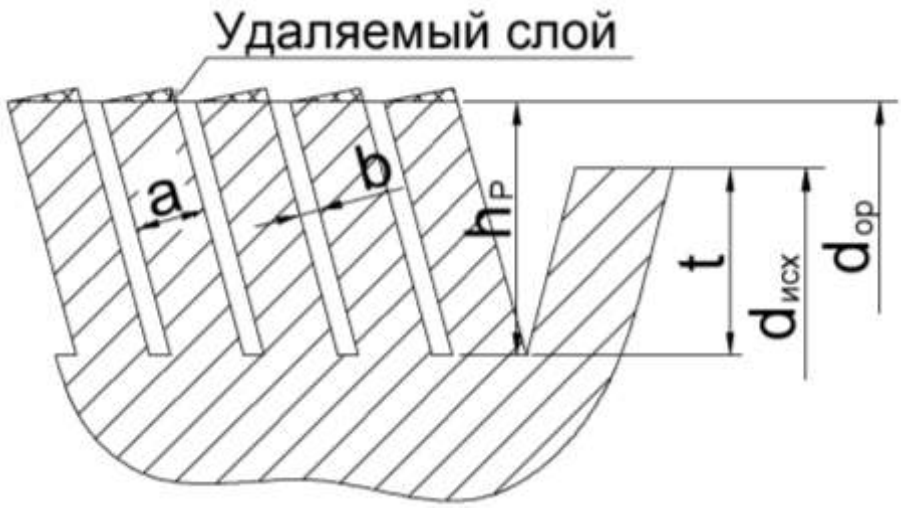
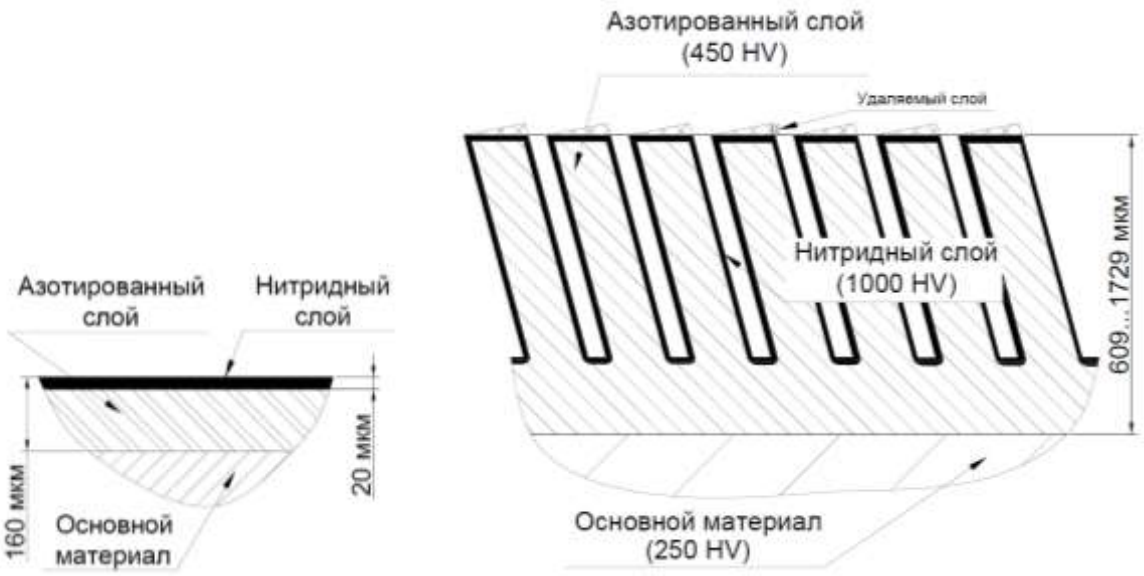


Рис. 2. Схема поверхности, обработанной методом ДР: a – толщина ребра, b – межреберный зазор, hp – высота ребра; t – глубина резания

Совмещая метод ДР и ХТО можно значительно повысить глубину упрочненного слоя на поверхности титановых сплавов. При азотировании титановых сплавов образуется модифицированная структура, состоящая из нескольких зон: 1) тонкий нитридный слой (примерно 20 мкм), состоящий из соединений азота с титаном; 2) твердый раствор азота в α-Ti (азотированный слой) затем переходящий в основной материал [1]. Легирование поверхностной структуры при ХТО, благодаря межреберному зазору, проходит по всей поверхности ребер, ширину межреберного зазора a и высоту ребер h_p можно регулировать при обработке методом ДР. Схема поверхности детали после азотирования представлена на рис. 3.



а б

Рис. 3. Поверхность детали после азотирования: а – на плоской поверхности; б – поверхность подготовленная методом ДР

1. Методика исследования

В данной работе предлагаются результаты по изучению упрочнённых модифицированных структур на титановых сплавах, полученных комбинированием методов ДР и ХТО.

Объект исследования – титановый сплав марки ВТ1-0.

Для получения оребренной структуры поверхность заготовки была обработка методом деформирующего резания на токарном станке модели 16К20. Обработка проводилась с различной геометрией инструмента для ДР с целью получения зазора между ребрами от 38 мкм до 20 мкм. Режимы обработки представлены в табл. 1.

Таблица 1. Режимы деформирующего резания

№	φ, °	φ_1, °	t, мм	S, мм/об	n, об/мин	v, м/с
1	54	80	0,4	0,2	100	0,1
2	64	70	0,4	0,2	100	0,1

Где φ – главный угол в плане, φ_1 – вспомогательный угол в плане, t – глубина резания, S – подача, n – число оборотов заготовки.

В табл. 2 представлены значения параметров оребренной структуры, ширины ребра a, зазора между ребрами b и высоты ребра h_p.

Таблица 2. Значения параметров оребренной структуры

№	$d_{исх}$, мм	$d_{ор}$, мм	a, мм	b, мм	h_p, мм
1	18,87	19,05	0,150	0,040	0,441
2	18,87	18,83	0,168	0,013	0,422

Где $d_{исх}$ – исходный диаметр заготовки, $d_{ор}$ – диаметр оребренной заготовки.

Азотирование проводилось в универсальной вакуумной установке, схема представлена на рис. 4. Вакуумное оборудование позволяет избавиться от кислородсодержащих соединений в камере для последующего заполнения азотом особой чистоты (ОСЧ). Режимы азотирования представлены в табл. 3.

Таблица 3. Режимы азотирования

Температура нагрева, °С	Время обработки, ч	Абсолютное давление, мм. рт. ст.
830	20	760

Температура нагрева для азотирования была выбрана из соображений о том, что при температуре азотирования выше 950°С поверхностный слой и сердцевина охрупчивается, а механические свойства снижаются в результате интенсивного роста зерна α-твердого раствора Ti. И в то же время, нагрев до температуры ниже 800°С снижает скорость диффузии азота вглубь материала и, следовательно, требует более длительной выдержки, что отрицательно сказывается на производительности.

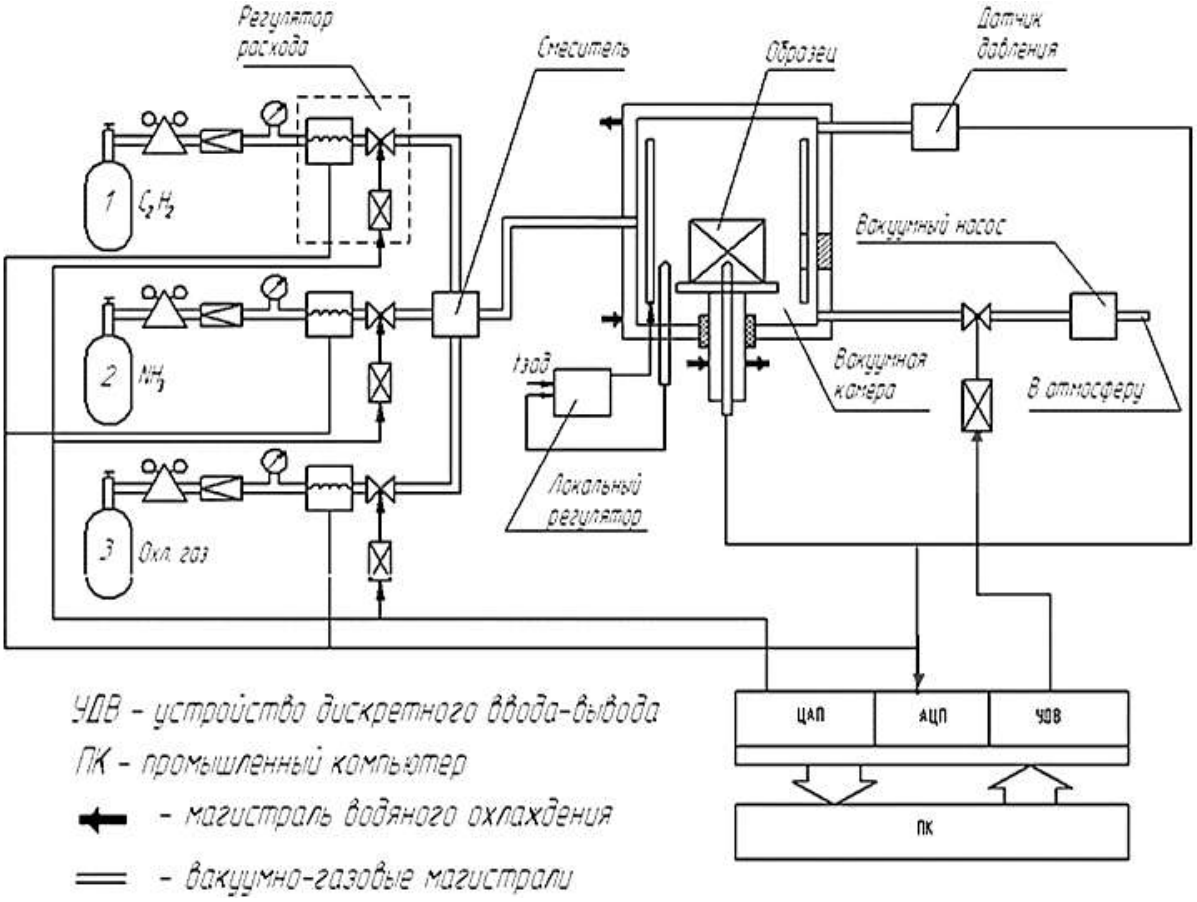


Рис. 4. Схема опытной универсальной вакуумной установки

Для проведения металлографических исследований и измерения микротвёрдости были подготовлены шлифы поперечных срезов оребрённых структур. Поперечные срезы участков оребрённого вала выполнялись на электроэрозионном вырезном станке.

Перед исследованием микроструктуры шлифы подвергали химическому травлению в реактиве HNO_3(50%)+HF(50%) в спирте. После чего было проведено исследование на металлографическом микроскопе OLYMPUS GX-51 при различных увеличениях.

2. Результаты и их обсуждение

На рис. 5-8 представлена микроструктура поверхности образцов после обработки методом ДР и последующим азотированием. На поверхности образцов присутствует характерный поверхностный слой нитрида титана, толщина которого составила 10-15 мкм. Середина рёбер представляет собой азотированный слой, который характеризуется структурой твердого раствора α-Ti насыщенного азотом.

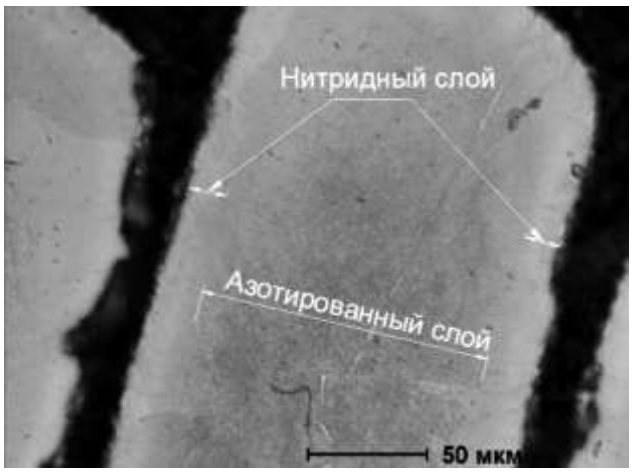


Рис. 5. Микроструктура образцов после обработки методом ДР и азотирования H10F ВТ1-0, s = 0,2 мм/об, t = 0,4 мм, v = 0,1 м/с; φ = 54°, φ_1 = 80°, b = 0,038 мм, увеличение х500;

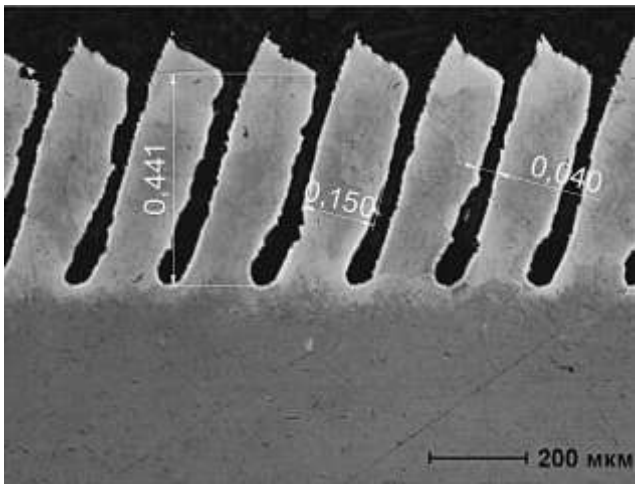


Рис. 6. Микроструктура образцов после обработки методом ДР и азотирования H10F ВТ1-0, s = 0,2 мм/об, t = 0,4 мм, v = 0,1 м/с; φ = 54°, φ_1 = 80°, b = 0,038 мм, увеличение х100;

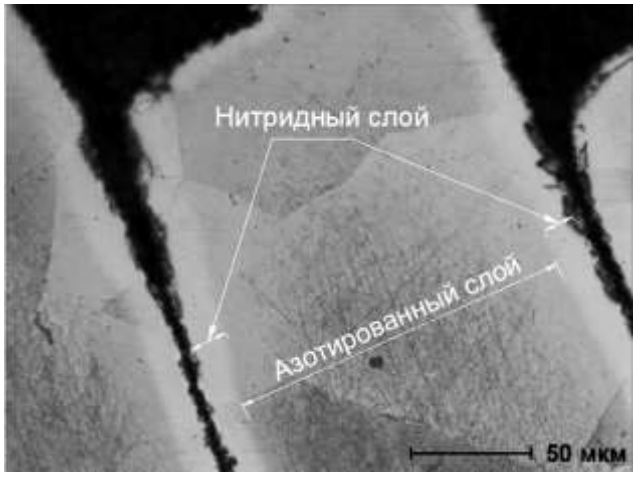


Рис. 7. Микроструктура образцов после обработки методом ДР и азотирования H10F ВТ1-0, s = 0,2 мм/об, t = 0,4 мм, v = 0,1 м/с; φ = 64°, φ_1 = 70°, b = 0,02 мм, увеличение х500;

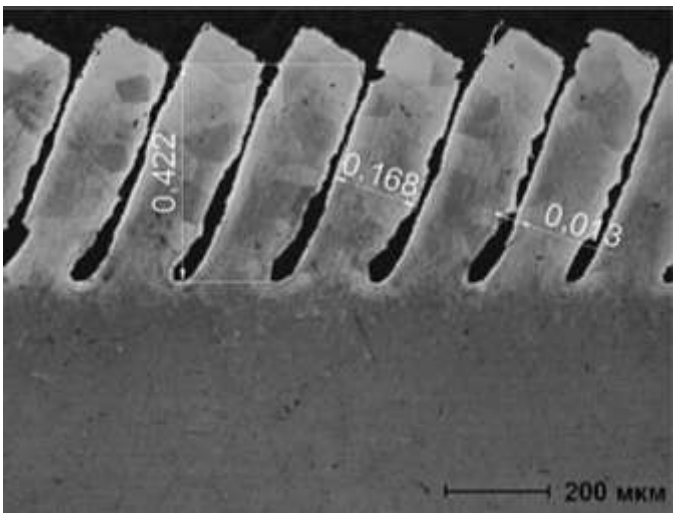
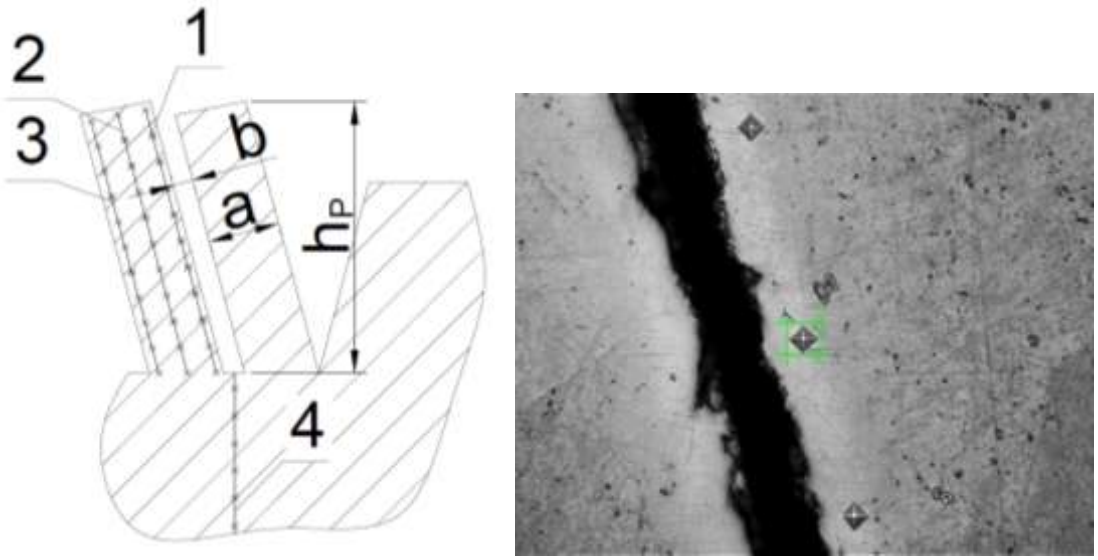


Рис. 8. Микроструктура образцов после обработки методом ДР и азотирования Н10F ВТ1-0, s = 0,2 мм/об, t = 0,4 мм, v = 0,1 м/с; φ = 64°, φ_1 = 70°, b = 0,02 мм, увеличение х100;

Для определения влияния азотирования на прочностные свойства поверхностного слоя при различных режимах деформирующего резания, были проведены измерения значений микротвердости. Твердость по Виккерсу определяли в автоматическом режиме с помощью оборудования фирмы STRUERS DuraScan. Измерение микротвердости проводили набором 3 серии по 10 отпечатков на ребро. Прилагаемая нагрузка – 25 г. Схема измерения микротвердости образцов представлена на рис. 9.



а б

Рис. 9. а) схема измерения микротвердости: 1 – прирезцовая зона; 2 – середина ребра; 3 – тыльная зона; 4 – основной материал; б) отпечаток индентора в тыльной зоне;

Результаты измерения микротвердости представлены на рисунках 10 и 11.

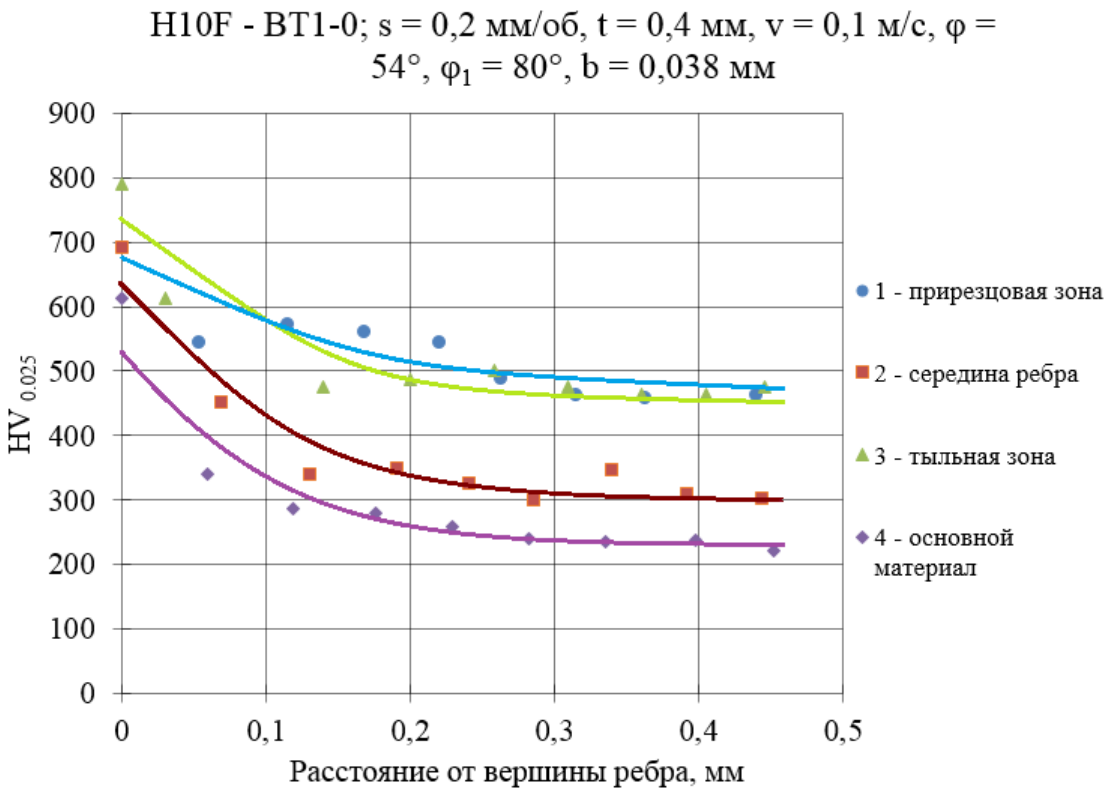


Рис. 10. Микротвердость образца ВТ1-0 после азотирования

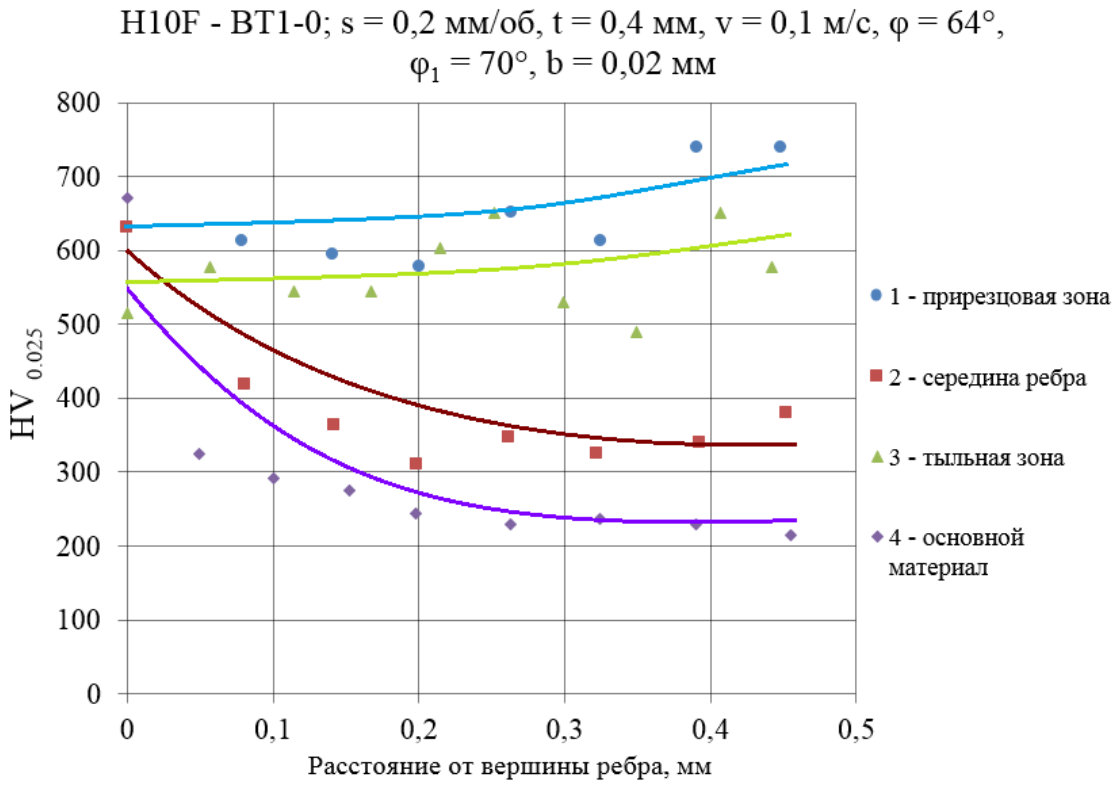


Рис. 11. Микротвердость образца ВТ1-0 после азотирования

Значения твердости образцов ВТ1-0 на прирезцовой и тыльной зонах ребер достигают величины 800 HV, в середине – от 430 HV до 320 HV в зависимости от толщины ребра (а). При этом твердость основного материала составляет 250-280 HV. На этом основании можно предположить, что диффузия легирующего элемента прошла по всей толщине ребра. Глубина упрочненного слоя составила 422-441 мкм.

Выводы

1. Создание оребренной макроструктуры методом ДР позволило увеличить толщину упрочненного азотированием слоя в 4 раза. Толщина упрочненного слоя составила 422-441 мкм.
2. Толщина упрочненного слоя после ХТО определяется глубиной резания при обработке методом ДР и может достигать до 2 мм, тогда как при традиционном азотировании упрочненный слой имеет максимальную толщину 0,16 мкм.
3. В зависимости от назначения и условий эксплуатации детали, возможно регулирование параметров оребренной структуры для выбора оптимальной толщины упрочненного слоя.

В целом, полученные предварительные результаты указывают на перспективность дальнейшего исследования совмещенной комбинированной обработки метода обработки деформирующего резания и ХТО.

Список литературы

1. Вульф Б.К. Термическая обработка титановых сплавов. М.: Металлургия, 1969. 376 с.
2. Зубков Н.Н., Овчинников А.И., Васильев С.Г., Симонов В.Н., Хасянов М.А. Способ упрочнения поверхности детали. Патент РФ 2015202. 1994.
3. Технология деформирующего резания // ДР: веб-сайт. Режим доступа: http://defrez.ru/ (дата обращения 12.05.2016).
4. Васильев С.Г., Шуляк Я.И. Изменение твердости поверхности детали методом механической обработки // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. №11. С. 77-82. DOI: 10.18698/0536-1044-2011-11-77-82
5. Зубков Н.Н. Обработка труб теплообменников деформирующим резанием // Оборудование и инструмент для профессионалов. 2004. №4. С. 20-22.
6. Зубков Н.Н., Васильев С.Г. Повышение износостойкости деталей пар трения скольжения на основе метода деформирующего резания // Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. №8. С. 3-9.

Machines & Plants Design & Exploiting
Electronic journal of the Bauman MSTU
http://aplantsjournal.ru

Machines andPlants:Design and Exploiting, 2016, no. 04, pp. 14–24.

DOI: **10.7463/aplts.0416.0845347**

Received: 13.07.2016
Revised: 27.07.2016

© Bauman Moscow State Technical Unversity

Chemical Heat Treatment of Modified Titanium Alloy Surface Structures

I.A. Keltsieva[1,*], V.G. Vasilev[1]

*iarturovna.9@gmail.com

[1]Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: deformational cutting, nitriding, titanium alloys

Titanium alloys due to their properties are of great interest for use as a structural material for the parts of friction units, pump plungers, shaft-bush parts operating in harsh environments. But high tendency of titanium alloys to the contact seizure under friction restricts wider application of titanium and its alloys.

One of the main ways to improve the anti-friction properties of titanium alloys is a chemical heat treatment. The most common type is nitrogen hardening that allows us to achieve high values of micro-hardness on the surface. However, the biggest drawback of the method is small depth of the hardened layer that is up to 0.16 mm.

To increase a depth of the hardened layer the paper proposes the preprocessing of the part surface by deformational cutting, which allows creating a macro-relief of different shape as the alternate vertical or inclined layers of the part material of a specified thickness and height with a gap or no gap between the layers. Doping of this structure, when nitriding, is provided over the entire macro-pattern surface, thereby enabling to obtain a thickness of the hardened layer, which depends on the processing parameters in deformational cutting.

The paper presents the results of the microstructure study and the micro-hardness measurements of the VT1-0 titanium alloy sample after deformational cutting process followed by nitriding. The influence of the deformational cutting parameters on the total thickness of the hardened surface layer is analyzed. It is found that the entire surface of macro-pattern has been azotized. The total thickness of the nitrogen hardened modified surface structure became 4 times larger as compared to the flat surface that was azotized.

The results can be used as a theoretical basis to design the titanium alloy parts operating in conditions of friction.

References

1. Wulf B.K. *Termicheskaya obrabotka titanovykh splavov* [Heat treatment of tittanium alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1969. 376 p. (in Russian).

2. Zubkov N.N., Ovchinnikov A.I., Vasiliev S.G., Simonov V.N., Khasyanov M.A. *Sposob uprochneniya poverkhnosti detali* [Hardening method for workpiece surface]. Patent RF 2015202. 1994.
3. *Tekhnologiya deformiruiyshego rezaniya* [Deformational cutting technology]. DR: website. Available at: http://defrez.ru/ (accessed 12.05.2016).
4. Vasiliev S.G., Shulyak Y.I. Change of hardness of a surface of a detail by a machining method. *Izvestiya vyschikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroeniye = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2011, no. 11, pp.77-82. DOI: 10.18698/0536-1044-2011-11-77-82
5. Zubkov N.N. Exchangers pipe processing by deformational cutting. *Oborudovanie i instrument dlya professionalov*, 2004, no. 4, pp.20-22.
6. Zubkov N.N., Vasiliev S.G. Wear resistance improvement based on deformational cutting. *Uprochnyaiyschie tekhnologii i pokrytiya = Strengthening Technologies and Coating*, 2013, no. 8, pp. 3-9.