

УДК 669.295:65.015-013:615.46

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ШАРОВЫХ ГОЛОВОК ЭНДОПРОТЕЗОВ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V*

GROUNDING OF MACHINING PROCESS PARAMETERS FOR ENDOPROSTHESIS BALL HEADS MADE OF Ti-6Al-4V ALLOY

А.М. МАМОНОВ (A. Matonov), ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского»

А.П. НЕЙМАН (A. Neiman), ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского»

Е.О. АГАРКОВА (E. Agarkova), ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского»

Н.Г. МИТРОПОЛЬСКАЯ (N. Mitropolskaya), ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского»

In this paper the choice of mechanical grinding parameters for the ball heads of hip endoprosthesis made of Ti-6Al-4V alloy has been grounded on theoretical and experimental basis. Recommendations are given on processing parameters, the latter providing compliance with sphericity and roughness requirements and the best working productivity of the procedure.

Ключевые слова: титановый сплав, эндопротез, технология, шлифование, сферичность.

Keywords: titanium alloy, endoprosthesis, technology, grinding, sphericity.

Надежность и высокие функциональные характеристики высоконагруженных ортопедических имплантатов, в частности эндопротезов крупных суставов, из титановых сплавов во многом определяются сопротивлением воздействию многоцикловых нагрузок и износостойкостью поверхностей трения искусственных суставов [1, 2]. Однако до настоящего времени возможность применения титановых сплавов в узлах трения медицинских имплантатов вызывала серьезные сомнения их разработчиков из-за высокого коэффициента трения титана в парах с любыми материалами (полимерными, металлическими, керамическими, биологическими) и низкой износостойкости.

В связи с этим проблема повышения долговечности имплантируемых изделий из титановых сплавов, работающих в условиях трения, остается актуальной научной и технологической задачей. При этом наиболее эффективным путем ее решения является комплексный подход к материаловедческим и технологическим проблемам, заключающийся в применении взаимосвязанных принципов выбора состава сплавов, разработки технологий формирования структуры объема изделий и способов модифицирования поверхности. Существенную роль играют и технологии формообразования деталей – механической обработки, шлифования, полировки и др.

* Исследования выполнены с использованием оборудования ресурсного центра коллективного пользования «Авиационно-космические материалы и технологии» МАТИ и при финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований, грант № 09-03-00480

Примеры успешного решения материаловедческих и технологических проблем производства и обработки компонентов эндопротезов крупных суставов из титановых сплавов, связанных с формированием оптимальных структурных состояний и физико-механических свойств объема и поверхности изделий были показаны нами в работах [1 – 5].

В настоящей статье рассмотрены некоторые технологические аспекты формирования сферической поверхности головок бедренных компонентов эндопротезов тазобедренного сустава (ЭПТБС) из титанового сплава ВТ6 (Ti-6Al-4V) при механическом абразивном шлифовании и полировании.

К головкам бедренных компонентов тотальных ЭПТБС предъявляются очень жесткие требования к геометрии поверхности. Так, при диаметре готовой головки $28^{+0,05}_{-0,15}$ мм отклонение от сферичности не должно превышать 10 мкм, а параметр шероховатости Ra должен быть не более 0,05 мкм. Выполнение этих требований в совокупности с физико-механическими и биохимическими свойствами поверхности обеспечивает необходимые трибологические параметры пары трения и минимальный износ ее материалов – титанового сплава и сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ).

Головки изготавливаются из горячекатаного прутка сплава ВТ6 диаметром 30 – 32 мм. Заготовки головок подвергаются термоводородной обработке (ТВО) для получения субмикроструктурной структуры и повышенной твердости (36 – 38 ед. HRC), что обеспечивает хорошую обрабатываемость резанием и достижение достаточно высокой чистоты поверхности заготовки после точения [3]. Применение современных токарных станков с ЧПУ позволяет добиться в заготовках требуемой сферичности и регламентированного припуска на шлифование и полирование.

Шлифование и полирование головок должны обеспечить необходимую шероховатость поверхности и соответствие сферичности и диаметра головки заданным значениям (и полям допусков). Операции проводятся на специальном станке с применением рабочего инструмента, представляющего собой втулку (притир) с конической внутренней поверхностью, охватывающей сферу головки

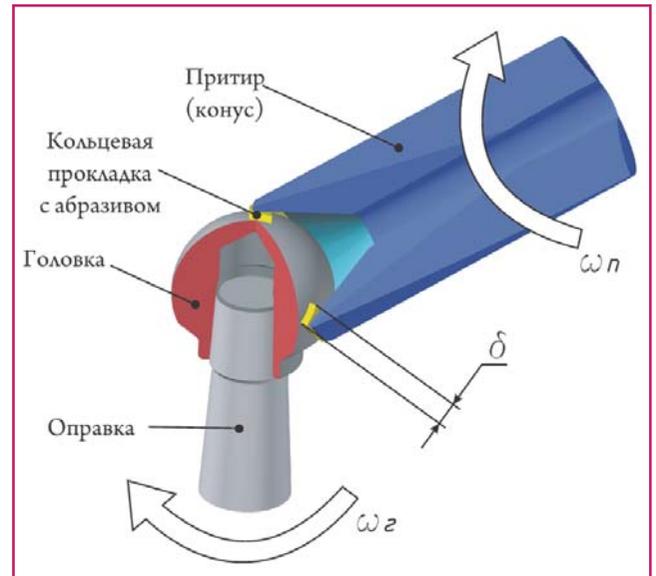


Рис. 1 Схема шлифования и полирования. ω_2, ω_n – угловые скорости вращения головки и притира

и покрытой абразивными материалами (на основе корунда – для шлифования и алмазной пастой – для полирования). Схема шлифования и полирования показана на рис. 1. Образующие поверхности конуса притира касательны к сфере головки в ее полюсе и на границе сферы. Съем металла осуществляется при одновременном вращении заготовки головки и инструмента, прижимаемого к ней с небольшим регламентируемым усилием. При такой схеме интенсивность обработки (количество удаляемого металла в единицу времени) в каждой точке поверхности заготовки определяется:

- положением этой точки на сфере («широтой» ϕ от «экватора»);
- направлениями вращения головки и притира («встречное» или «попутное»);
- соотношением угловых скоростей вращения головки ω_2 и притира ω_n .

В качестве интегральной характеристики интенсивности обработки было принято расстояние L , проходимое любой точкой поверхности головки в контакте с абразивом за один оборот головки. В результате проведенного анализа были получены следующие формулы для определения этого расстояния:

- для точек, расположенных вблизи полюса головки ($\phi = 90^\circ$)

$$L_n = 2\pi R_n \frac{\omega_2}{\omega_n}, \quad (1)$$

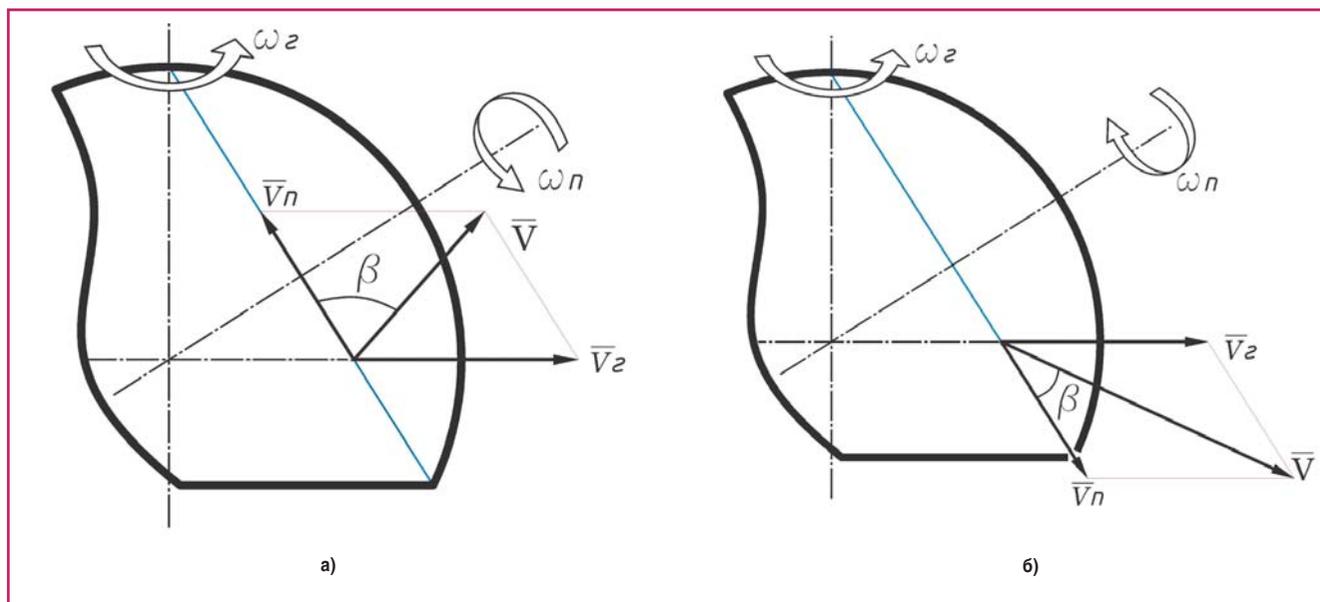


Рис. 2 Схема совместного движения головки и притира для точки «экваторе» головки ($\phi = 0$): а – «попутное» вращение; б – встречное вращение. $\vec{V}_{z,n}$ – векторы линейных скоростей вращения головки и притира, \vec{V} – результирующий вектор

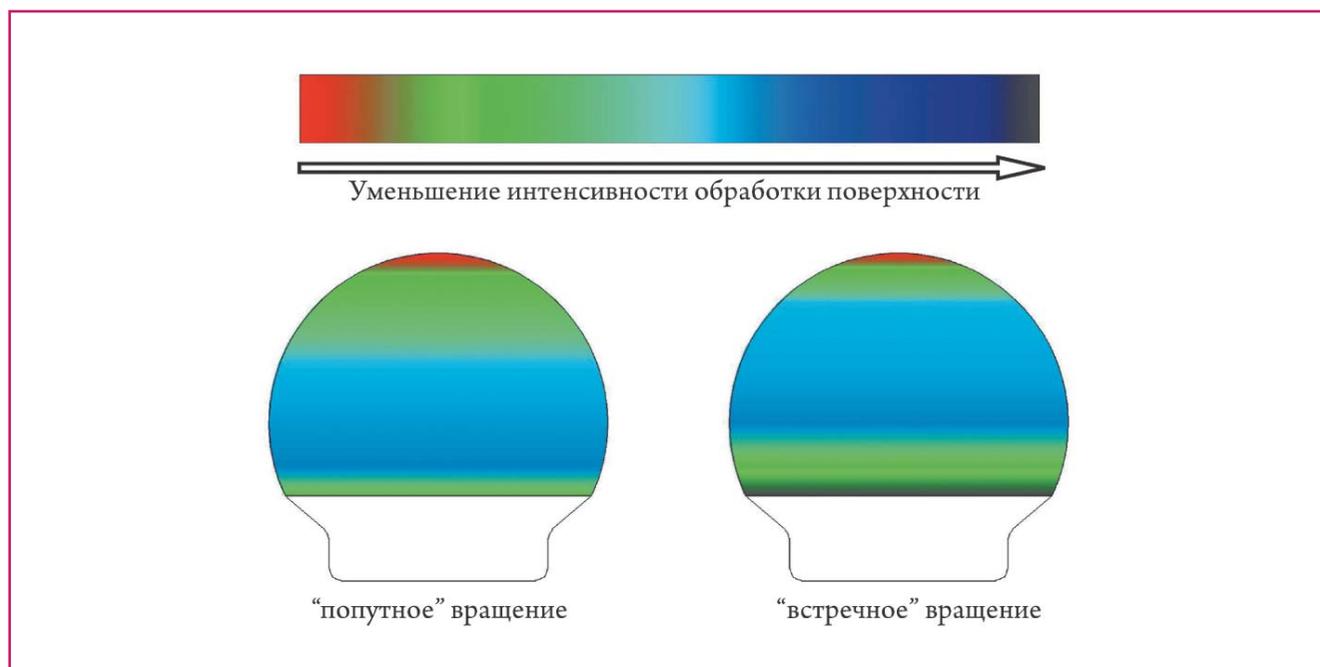


Рис. 3 Распределение интенсивности обработки головки при $\omega_n/\omega_z = 1$

где R_n – радиус притира в месте контакта с головкой;

- для точек, расположенных между полюсом головки и границей сферической поверхности головки

$$L_\phi = \frac{2\delta}{\sin \beta}, \quad (2)$$

где δ – ширина зоны контакта головки с абразивом (ширина кольцевой прокладки на рис. 1), которую данная точка проходит два раза за один оборот головки,

β – угол между вектором линейной скорости притира \vec{V}_n и суммарным вектором линейных скоростей притира и головки \vec{V} , зависящий от широты точки ϕ и соотношения ω_n и ω_z (рис. 2);

- для точек, расположенных на границе сферической поверхности

$$L_{zp} = l \cdot \left| 1 \pm \frac{R_n}{R_z \cdot \cos\varphi} \cdot \frac{\omega_n}{\omega_z} \right|, \quad (3)$$

где R_z – радиус головки;

$l \approx 2\delta$ – ширина зоны контакта головки с абразивом на границе сферической поверхности, «+» для «попутного» вращения головки и притира, «-» для «встречного».

Из анализа полученных зависимостей и рис. 2 очевидно, что при любых соотношениях ω_n и ω_z и направлениях вращения головки и притира интенсивность съема металла на разных «широтах» головки будет различной (рис. 3). Поэтому при данной технологии шлифования и полирования выбор параметров обработки должен быть таким, чтобы при приемлемой производительности операций (достижении заданных диаметра и чистоты поверхности головки) сферичность головки осталась в поле допуска. В этой связи интересно рассмотреть зависимость отношений интенсивности съема металла в раз-

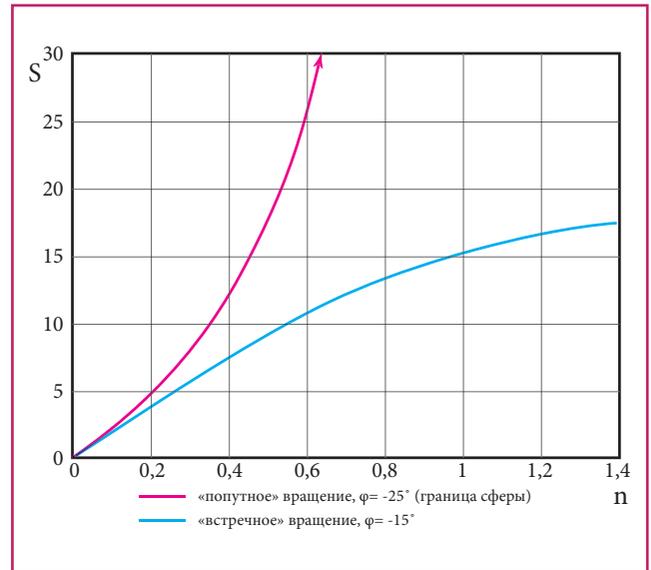


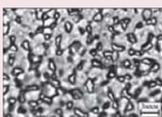
Рис. 4 Соотношение интенсивности обработки головок:

$$S = L_n / L_{zp}, \quad n = \omega_n / \omega_z$$

ных зонах головки (выраженной через величины L) от отношения угловых скоростей вращения головки и притира $n = \omega_n / \omega_z$. Например, для отношений L_n / L_{zp} , $L_n / L_{\phi=-25^\circ}$, $L_n / L_{\phi=-15^\circ}$ и раз-

Таблица 1

Результаты шлифования и полирования головок из сплава ВТ6 при различных технологических параметрах обработки и «встречном» направлении вращения головки и притира*

№№	Обработка заготовки, структура заготовки	Твердость заготовок, ед. HRC	Параметр n	Ra, мкм		Продолжительность шлифования и полирования, мин.	Максимальное отклонение от сферичности, мкм		
				после шлифования	после полирования		после точения	после шлифования	после полирования
1	ТВО + точение	38	0,3	0,4	0,02	32	5,0	7,5	8,0
2			0,5	0,4	0,03	27	5,3	8,5	9,0
3			1	0,3	0,03	24	5,2	12,0	-
4	Точение	30	0,5	0,8	**0,09	65	Не измерялось вследствие неудовлетворительного качества поверхности		
5			1	0,7	**0,08	60			

* В таблице приведены средние значения по 3 – 5 головкам, изготовленным из одного прутка. Диаметр всех исследованных головок после полирования находился в заданном поле допуска.

** Качество поверхности неудовлетворительное: следы наволакивания металла, отдельные царапины, матовые участки.

ных направлений вращения такие зависимости приведены на рис. 4.

Из приведенных примеров (см. рис. 3 и 4) следует, что с увеличением n неравномерность съема металла в разных зонах головки возрастает (особенно при «попутном» вращении притира и головки). С другой стороны, при уменьшении n (фактически, при уменьшении $\omega_{\text{п}}$) снижается производительность операций шлифования и полирования. В результате проведенных расчетов представляется целесообразным выбирать отношение n в пределах от 0,3 до 0,6 при «встречном» направлении вращения головки и притира. Однако для окончательного выбора технологических параметров шлифования и полирования необходимо проведение установочных экспериментов.

Такие эксперименты были проведены на головках из сплава ВТ6 диаметром 28 мм. Одновременно было исследовано влияние предварительной термоводородной обработки заготовок и их структуры на продолжительность и качество шлифования. Результаты исследования приведены в таблице 1.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. В заготовках головок перед механической обработкой (чистовое точение, шлифование, полирование) должна быть сформирована субмикроструктурная структура, обеспечивающая высокую твердость, технологичность и достижение заданной микрогеометрии поверхности. Это реализуется с помощью термоводородной обработки заготовок. Кроме того, формируемое структурное состояние является оптимальным для эффективного финишного вакуумного ионно-плазменного азотирования, являющегося ключевым технологическим процессом, обеспечивающим уникальную износостойкость титановых головок [6].

2. При описанной технологии шлифования и полирования предпочтительным является «встречное» направление вращений притира и головки при соотношении их угловых скоростей вращения в интервале 0,3 – 0,5. Это позволяет обеспечить требуемые параметры шероховатости и сферичности головки при удовлетворительной производительности операций. 

Литература

1. Карпов В.Н., Мамонов А.М., Спектор В.С., Мона В.А., Шавырин Д.А. Материаловедческие и технологические аспекты проектирования высоконагруженных имплантатов из титановых сплавов // Титан, 2010, №3 (29), с. 43-51.
2. Ильин А.А., Скворцова С.В., Мамонов А.М., Карпов В.Н. Применение материалов на основе титана для изготовления медицинских имплантатов // Металлы, №3, 2002, с. 97-104.
3. Ильин А.А., Мамонов А.М., Карпов В.Н., Петров Л.М., Овчинников А.В. Комплексные технологии создания износостойких высоконагруженных компонентов эндопротезов крупных суставов из титановых сплавов // Технология машиностроения, 2007, №9 (63), с. 43-46.
4. Ильин А.А., Скворцова С.В., Лукина Е.А., Карпов В.Н., Поляков О.А. Низкотемпературное ионное азотирование имплантатов из титанового сплава ВТ20 в различных структурных состояниях // Металлы, 2005, №2, с. 38-44.
5. Ильин А.А., Мамонов А.М., Скворцова С.В. и др. Некоторые инновационные технологии в производстве медицинских имплантатов из титановых сплавов // ТЛС, 2007, №3, 131-137.
6. Мамонов А.М., Спектор В.С., Лукина Е.А., Сарычев С.М. Применение вакуумного ионно-плазменного азотирования для повышения износостойкости медицинских имплантатов // Титан, 2010, №2 (28), с. 23-30.