

Я.А. Мониц, Д.В. Дорош

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
СПЛАВОВ МЕТАЛЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ЭТАПАХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
НЕСЪЕМНЫХ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ
РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ**

*Научные руководители: ассист. Г.А. Ермолаев,
стажер, м.н.с. ФТИ НАН Беларуси В.Г. Кагало*

Кафедра ортопедической стоматологии

Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск

I.A. Monich, D.V. Dorosh

**COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE MECHANICAL PROPERTIES
OF METAL ALLOYS USED AT THE STAGES OF MANUFACTURING FIXED
ORTHOPEDIC STRUCTURES BY DIFFERENT METHODS**

Tutors: assistant G.A. Ermolaev, trainee j.r. PhTI NASB V.G. Kagalo

Department of orthopedic dentistry

Belarusian State Medical University, Minsk

Резюме. В статье представлено исследование твердости металлических образцов, изготовленных методом литья и 3D-печати (SLM/DMLS), на специальном аппарате методом Виккерса. В последующем было проведено их сравнение. Выявлено, что твердость образца, изготовленного методом 3D-печати, превосходит твердость образца, изготовленного методом литья.

Ключевые слова: кобальто-хромовый сплав, твёрдость, дендритная структура, литьё, 3Dпечать.

Resume. The article presents a research of the hardness of metal samples made by casting and 3D printing (SLM / DMLS) on a special apparatus by the Vickers method. Subsequently, they were compared. It is revealed that the hardness of a sample made by 3D printing exceeds the hardness of a sample made by casting.

Keywords: cobalt-chrome alloy, hardness, dendritic structure, casting, 3D printing.

Актуальность. В ортопедической стоматологии применяется большое количество металлов и сплавов. Несомненно, все они имеют свои положительные и отрицательные физические и механические характеристики. Чаще всего металлические каркасы для ортопедических конструкций изготавливаются путем литья [1]. Но в последнее время современные цифровые технологии все больше находят применение в повседневной жизни, и стоматология не является исключением. С каждым днём у врачей-стоматологов и зубных техников появляется все больше возможностей для их использования на этапах стоматологического лечения.

Материалы, применяемые в стоматологии имеют различные физические характеристики, которые положительно или отрицательно влияют на срок службы ортопедических конструкций. Несомненно твердость – одно из важнейших физикомеханических свойств сплавов металлов, которое необходимо учитывать при изготовлении ортопедических конструкций [2].

Твёрдость — свойство материала сопротивляться внедрению более твёрдого тела — индентора.

Цель: сравнение твердости металлических образцов, изготовленных методом литья и 3D-печати (SLM/DMLS).

Задачи:

1. Изучить твердость металлических образцов, изготовленных методом литья и 3D-печати (SLM/DMLS).
2. Сравнить твердость изготовленных образцов.
3. Определить преимущества и недостатки методов изготовления несъемных металлических ортопедических конструкций.

Материал и методы. Изготовлены 2 образца из сплавов металлов. Первый образец изготовлен методом литья из кобальто-хромового сплава (Co - 61,3%, Cr - 30,15%, Mo - 5,5%, Si 1%). Второй образец так же изготовлен из кобальто-хромового сплава (Co - 60%, Cr - 32%, Mo - 6%), но методом послойного порошкового спекания (3D печать) [3].

Порядок подготовки образца:

1. На ручном абразивном отрезном станке Vaincut M отрезается часть образца для дальнейшего исследования.
2. Запрессовка образцов в программируемом автоматическом прессе с одним цилиндром Metcon Escopress 100 в заливочные формы диаметром 30 мм.
3. Шлифование полученных залитых форм с образцом на Digiprep 251 – шлифовально-полировальной системе для подготовки металлографических образцов.
4. МикродюрOMETрические исследования выполняли с использованием цифрового микротвердомера AFFRI-MVDM8 (AFFRI, Италия). Метод Виккерса.
5. Полученный образец для исследования структуры подвергался травлению «царской водкой» $\text{HNO}_3 + 3 \text{HCl}$.

Была измерена твердость двух исследуемых образцов на специальном аппарате методом Виккерса, который основан на вдавливании под нагрузкой P в испытуемый образец наконечника в виде алмазной пирамиды. Величина твердости по Виккерсу HV определяется по формуле:

$$HV = \frac{2p \sin \alpha / 2}{d^2},$$

где p – величина нагрузки в кг;

d – среднее арифметическое длины обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки в мм; α – угол при вершине между противоположными гранями пирамиды, равной $136^\circ \pm 30'$.

Твердость измерялась в сердцевине образцов (10 измерений) и вблизи края образцов (3 измерения).

Табл. 1. Показатели твердости образцов

	Образец №1 (изготовлен методом литья)	Образец №2 (изготовлен методом 3Дпечати)
Твердость сердцевины, HV	364, 351, 339, 317, 270, 457, 317, 299, 331, 345	571, 589, 598, 559, 578, 541, 584, 588, 501, 575
	$\Sigma = 344$	$\Sigma = 568$
Твердость вблизи края, HV	377, 384, 351	488, 523, 488
	$\Sigma = 370,6$	$\Sigma = 499,6$

Так же были получены шлифы образцов и изучена их структура.

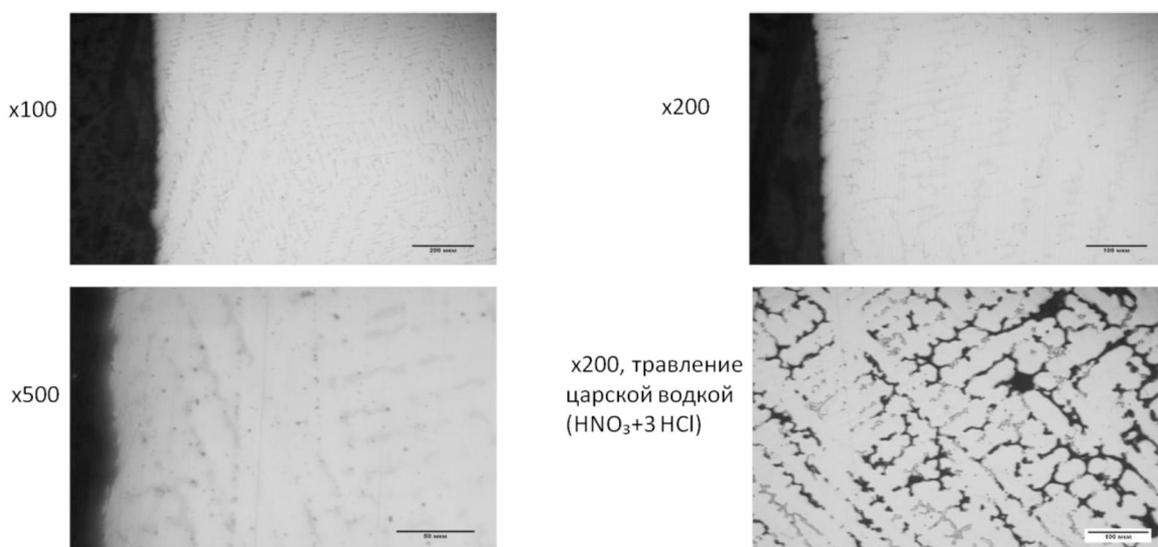


Рис. 1 – Шлиф образца №1, изготовленного методом литья

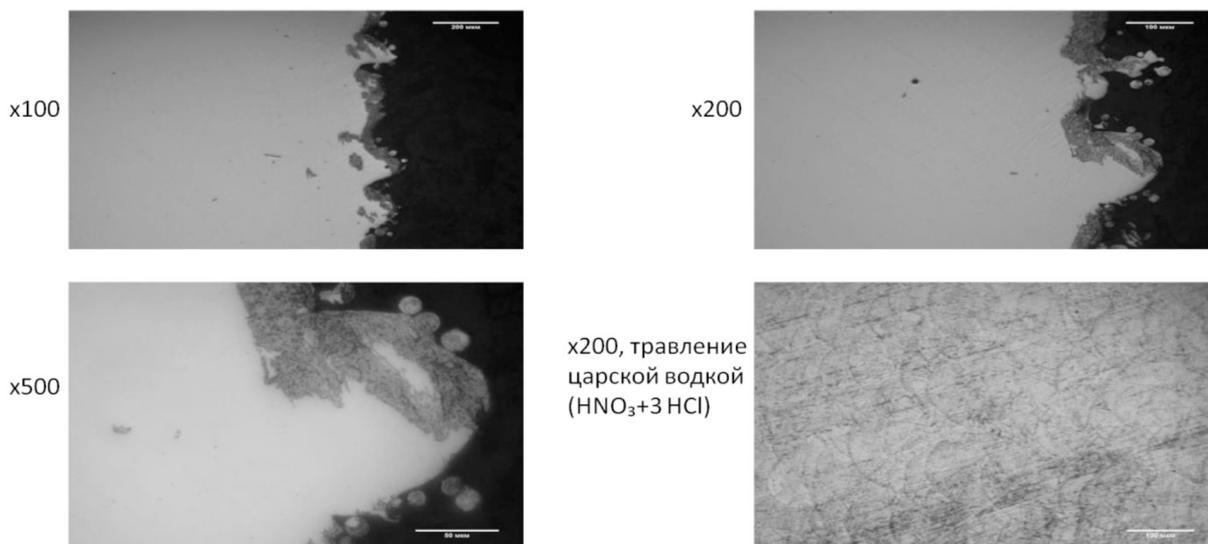


Рис. 2 – Шлиф образца №2, изготовленного методом 3D-печати

Появление неравновесных форм кристаллов предопределяют неравновесные условия кристаллизации сплавов (разница температур), наличие в них примесей. Такой типичной для металлических кристаллов неравновесной формой являются дендриты.

Дендритная кристаллизация характеризуется тем, что рост кристаллов происходит с неравномерной скоростью. Сначала образуются оси первого порядка, затем второго порядка и так далее.

На шлифе образца №1 видна выраженная дендритная структура с размером ячеек более 100 мкм. Такая грубая дендритная структура является причиной низких механических и технологических свойств сплавов, в частности неравномерную твердость, тогда как тонкое дендритное строение с ячейкой 20—30 мкм и менее обуславливает высокие свойства сплавов.

На шлифе образца №2 структура дисперсная, что обуславливает более равномерную и высокую твердость.

Результаты и их обсуждение. В результате исследования было выявлено, что образец №2 по твердости превосходит образец №1 в 1,5 раза. Также твердость образца №2, измеренная в разных точках, между собой отличается меньше, чем в образце №1. Это связано со структурой образцов на шлифах, так как образец №2 имеет более дисперсную структуру, а образец №1 – дендритную, где индентор попадал на разные структурные составляющие образца.

В ходе изготовления у первого образца скорость охлаждения была ниже, чем у второго, это способствовало появлению дендритной структуры (т.е. неоднородности сплава) [4]. При относительно медленном остывании появляются точки формирования зёрен, которые далее составляют различные структуры, в данном случае дендритную. В целом, чем выше скорость охлаждения сплавов, тем мельче получаются зерна и тем сплав (металл) становится более твердым [5]. Поэтому можно отметить, что разность структур влияет на твердость образца.

Выводы:

1. У несъемных ортопедических конструкций, изготовленных методом литья, твердость будет ниже, чем у несъемных конструкций, изготовленных методом 3Дпечати.
2. Различия в твердости могут сказываться на сроках службы ортопедических конструкций.

Литература

1. Ортопедическая стоматология. Лечение несъёмными протезами : учеб. пособие / С. А. Наумович [и др.] ; под. ред. С. А. Наумовича. – 2-е изд. – Минск : БГМУ, 2009. –139 с.
2. Жулёв, Е. Н. Несъёмные протезы: теория, клиника и лабораторная техника / Е. Н. Жулёв. Н. Новгород: изд-во НГМА. 1995. - 365 с.
3. Петров Д.А., Буханова А.А. Изучение форм первичной кристаллизации металлов // Тр. Московск. авиационного технолог. ин-та. 1949. Вып. 7. С. 3-19.
4. Лебеденко, И.Ю., Ортопедическая стоматология: учебник/ под ред. И.Ю. Лебеденко, Э.С. Каливрадзяна. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 640 с.
5. Ортопедическая стоматология. Лечение несъёмными протезами : учеб. пособие / С. А. Наумович [и др.] ; под. ред. С. А. Наумовича. – 1-е изд. – Минск : БГМУ, 2009. –139 с.