

УДК 621.7.011, 621.77.04

Гусар Ю. В.

КОМБИНИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ТИТАНА GRADE 4 – ПЕРСПЕКТИВНОГО МАТЕРИАЛА МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Для изготовления медицинских имплантатов в травматологии, ортопедии и стоматологии широко используются металлические материалы, такие как нержавеющие стали, титан и его сплавы [1, 2]. Для удачного их использования в качестве медицинских изделий необходимо выполнение ряда определенных требований. Одно из главных требований – биосовместимость, то есть отсутствие негативного влияния (токсического, аллергического и др.) при взаимодействии материала с тканями организма. Также, материалы медицинского назначения должны обладать достаточной механической прочностью и пластичностью, особенно при воздействии циклических переменных нагрузок, что важно для обеспечения долговечности медицинских изделий.

Многочисленные клинические исследования медицинских изделий, изготовленных из технически чистого титана, в травматологии, ортопедии и стоматологии подтверждают, что его биосовместимость выше, чем у других металлов и сплавов [1, 2]. Однако механическая прочность «обычного» чистого титана низка. Поэтому, успешное применение этого материала в медицине требует его упрочнения путем последующей деформационной обработки. Традиционные методы ОМД (прокатка, волочение и др.) позволяют значительно улучшить прочностные характеристики, однако приводят к уменьшению пластичности и усталостной долговечности материала. В связи с этим, большой интерес вызывает новый подход к повышению свойств металлов и сплавов, связанный с их обработкой методами интенсивной пластической деформации (ИПД) [3, 4]. После обработки методами ИПД в металлических материалах формируется субмикрокристаллическая (СМК) структура. В результате чего материалы получают ряд уникальных свойств, таких как высокая прочность, твердость, износостойкость. Однако такие материалы обычно обладают низкой пластичностью при одноосном растяжении. Это хорошо известная проблема СМК материалов, полученных методами ИПД. Дальнейшая деформационная обработка традиционными методами ОМД приводит к дополнительному снижению пластичности. Повышение пластичности материалов при обработке ИПД часто связывают с созданием в материале бимодальной зеренной структуры [5, 6], но на данном этапе исследований эта связь не была полностью доказана.

В ряде работ [6–8] показана эффективность обработки титана Grade 4 наиболее распространенным методом ИПД – равноканальным угловым прессованием. Авторам этих работ удалось достигнуть высоких прочностных характеристик. Однако это было достигнуто за счет значительного снижения пластических характеристик, в частности, относительного равномерного удлинения до образования шейки δ_u , что будет отрицательно сказываться на устойчивости конструкций, подвергающихся воздействию циклических переменных нагрузок и растяжению.

Пластические характеристики СМК материала можно повысить, создав в нем градиентную структуру, имеющую субмикронные размеры зерен во внешнем слое заготовки и микронные в приосевой зоне. Авторами работы [9] показано, что заготовки, деформированные методом винтовой экструзии (ВЭ) на матрицах с малым углом ската винтовой линии β (конструкция матрицы описана в работе [9]), характеризуются очень малой деформацией в центральной области поперечного сечения (рис. 1). Получаемая в результате зеренная структура металла распределена достаточно неравномерно, и последующая обработка ВЭ при тех же условиях приводит к формированию в материале не однородной СМК структуры, а градиентной.

Известно, что действие циклической пластической деформации на металлические материалы во многом определяется амплитудой цикла. Так как при ВЭ материал испытывает одинаковый по амплитуде, но противоположный по направлению сдвиг на входе и выходе

из винтового участка матрицы, то полная деформация Мизеса за один проход равна удвоенной амплитуде цикла. Таким образом, управляя амплитудой сдвиговой деформации, методом многопроходной ВЭ можно создавать как однородные СМК структуры в объеме заготовки, так и получать мультимасштабный материал с изменяющимися по радиусу образца характеристиками микроструктуры [9]. Это расширяет возможности ВЭ по управлению свойствами материалов.

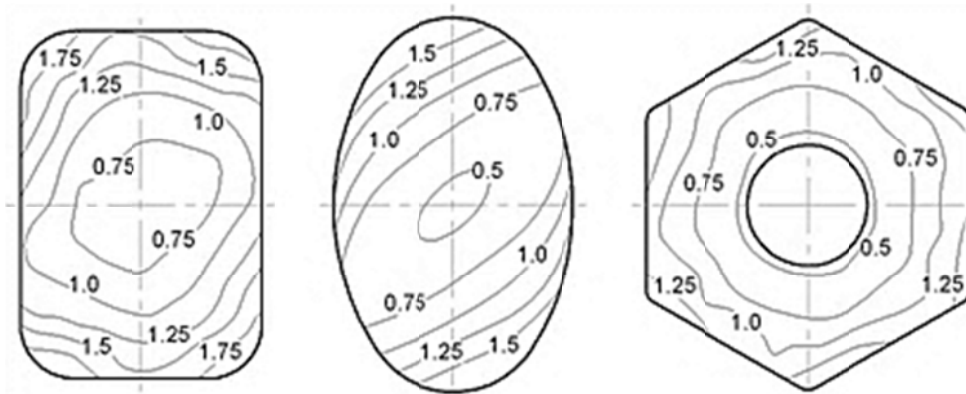


Рис. 1. Расчетные распределения накопленной деформации за 1 проход для различных сечений канала матрицы ВЭ

Цель работы – исследовать возможности создания методом ВЭ в титане Grade 4 градиентной структуры, которая позволит увеличить пластические характеристики СМК материала, в частности, величину относительного равномерного удлинения до образования шейки δ_u .

Материалы и методы исследования. В качестве исходного материала для исследований был выбран технически чистый титан марки Grade 4 с химическим составом и свойствами, указанными в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав титана Grade 4 (по данным сертификата в %)

	Ti	N	C	H	Fe	O	прочих
Grade 4	основа	0,05	0,08	0,015	0,5	0,5	0,1

Таблица 2

Механические свойства титана Grade 4

	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{пр}$, МПа	δ_f , %	ψ , %
Grade 4	586	725	30	46

Из прутка $\varnothing 28$ мм изготавливали заготовки $\varnothing 28 \times 18$ длиной 70 мм. Для создания в материале градиентной структуры, обработку ВЭ проводили на матрице с малым углом ската винтовой линии $\beta = 36^\circ$. ВЭ (с противо давлением 230 МПа) 5 проходов, прямую экструзию (ПЭ) с вытяжкой 3 и комбинированную обработку (ВЭ+ПЭ) при температуре 350 °С. При прессовании использовали противозадирную медесодержащую смазку Loctite-8008.

Механические свойства определяли на стандартных 10-кратных образцах, диаметром 5 мм на испытательной машине «Instron» (ДонНИИЧерМет, Донецк) при комнатной температуре со скоростью перемещения траверсы 1 мм/мин.

Результаты и обсуждение. На рис. 1 приведены диаграммы растяжения титана Grade 4 «в состоянии поставки» и после деформационных обработок. Видно, что ВЭ позволяет повысить прочностные характеристики: предел прочности σ_b на 32 %, предел текучести σ_t на 43 %. Получено характерное для материала, обработанного ИПД, снижение относительного удлинения до разрушения δ_f на 30 % и относительного удлинения до образования

шейки δ_u более чем на 80 %. В тоже время относительное сужение в шейке ψ увеличилось на 30 %. Принимая во внимание значения δ_f и ψ можно сделать вывод, что достигая повышенной прочности при обработке ВЭ, материал сохраняет хорошие пластические характеристики.

Стоит отметить, что при ПЭ материал практически не упрочняется. Однако, созданная ВЭ градиентная структура в материале при последующей ПЭ позволяет увеличить пластические характеристики СМК материала: относительное удлинение до разрушения δ_f на 10 % и относительное равномерное удлинение δ_u более чем в 4 раза.

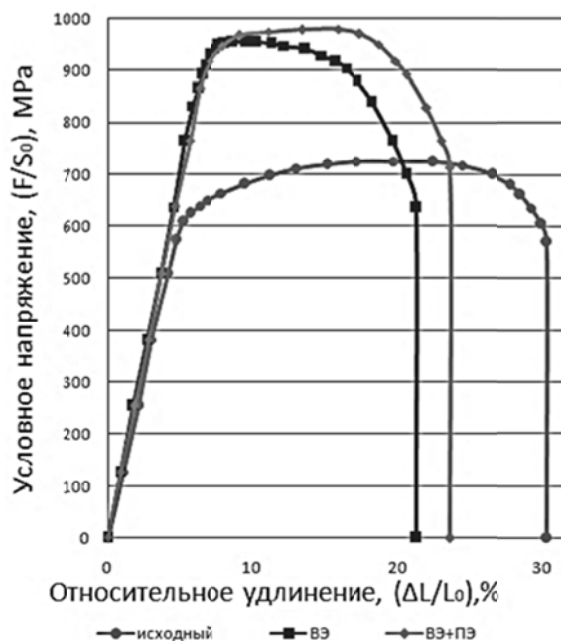


Рис. 1. Диаграммы растяжения для титана Grade 4 – исходного и обработанного по разным схемам деформации

Таблица 3

Механических свойства титана Grade 4 после.

	σ_T , МПа	σ_b , МПа	δ_f , %	δ_u , %	ψ , %	Твердость, НВ	Пересчет твердости в прочность (DIN 50150)
ВЭ	841	955	21,3	2,3	60	293-302	988-1023
ВЭ+ПЭ	873	979	23,6	9,8	49	331-341	1118-1151

На всех этапах обработки титана проводились измерения твердости. Значения твердости переводились в значения прочности. Следует отметить, что полученные значения предела прочности в результате пересчета по сравнительной таблице значений твердости DIN 50150 несколько превышают реальные, однако такой пересчет позволяет контролировать механические свойства заготовок на всех этапах обработки, не разрушая их. В табл. 3 приведены результаты механических испытаний на растяжение, значения твердости и теоретической прочности после всех этапов обработки.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что ВЭ позволяет значительно повысить прочностные характеристики титанового сплава Grade 4 при сохранении пластических характеристик на достаточно высоком уровне.

2. Увеличение предела прочности σ_b и относительного сужения в шейке до разрушения ψ косвенно свидетельствует об увеличении циклической прочности (выносливости) полученного материала. Этот параметр очень важен для медицинских имплантатов, так как они подвержены действию циклических переменных нагрузок.

3. Показано, что методом многопроходной ВЭ можно создавать мультимасштабный материал с изменяющимися по радиусу образца характеристиками, что расширяет возможности ВЭ по управлению свойствами материалов.

4. Созданная ВЭ градиентная структура в материале, при последующей обработке ПЭ позволяет увеличить в СМК материале величину относительного удлинения до образования шейки δ_u более чем в 4 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биосовместимость / С. Л. Васин [и др.]; под ред. И. В. Севастьянова. – М.: Тривант, 1999. – 368 с.
2. Иголкин А. И. Титан в медицине / А. И. Иголкин. – Титан. – 1993. – № 1. – С. 86.
3. Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций / Я. Е. Бейгельзимер, В. Н. Варюхин, Д. В. Орлов, С. Г. Сынков. – Донецк: ТЕАН, 2003 г. – 85 с.
4. Валиев Р. З. Создание наноструктурных металлов и сплавов с уникальными свойствами, используя интенсивные пластические деформации / Р. З. Валиев. – Российские нанотехнологии, 2006. – Т. 1.
5. Effect of commercial purity levels on the mechanical properties of ultrafine-grained titanium / G. Purceka, G. G. Yapici, I. Karaman, H. J. Maier. – Materials Science and Engineering A528 (2011) 2303–2308.
6. Bimodal grain size distributions in UFG materials produced by SPD: Their evolution and effect on mechanical properties / H. W. Höppel, M. Korn, R. Lapovok and H. Mughrabi. – 15th International Conference on the Strength of Materials (ICSMA-15).
7. Эволюция микроструктуры титана grade 4 с изменением степени деформации при РКУП-conform / А. В. Поляков [и др.] – Вестник УГАТУ Т. 15. – № 1 (41). – С. 95–100.
8. Enhancement of mechanical properties of grade 4 titanium by equal channel angular pressing with billet encapsulation / Yuanlong Li, Hoi Pang Ng, Hyun-Do Jung, Hyoun-Ee Kim, Yuri Estrin. – Materials Letters 114 (2014) – С. 144–147.
9. 2014 Microstructure and Mechanical Properties of Copper Processed by Twist Extrusion with a Reduced Twist-Line Slope / M. I. Latypov, E. Y. Yoon, D. J. Lee, R. Kulagin, Y. E. Beygelzimer, M. S. Salehi, H. S. Kim // Metalurgical and Materials Transactions A DOI: 10.1007/s11661-013-2165-1 (in press).

REFERENCES

1. Biosovmestimost' / S. L. Vasin [i dr.]; pod red. I. V. Sevast'janova. – M.: Trovant, 1999. – 368 s.
2. Igolkin A. I. Titan v medicine / A. I. Igolkin. – Titan. – 1993. – № 1. – S. 86.
3. Vintovaja jekstruzija – process nakoplenija deformacij / Ja. E. Bejgel'zimer, V. N. Varjuhin, D. V. Orlov, S. G. Synkov. – Doneck: TEAN, 2003 g. – 85 s.
4. Valiev R. Z. Sozdanie nanostrukturnyh metallov i splavov s unikal'nymi svojstva-mi, ispol'zuja intensivnye plasticheskie deformacii / R. Z. Valiev. – Rossijskie nanotehnologii, 2006. – T. 1.
5. Effect of commercial purity levels on the mechanical properties of ultrafine-grained titanium / G. Purceka, G. G. Yapici, I. Karaman, H. J. Maier. – Materials Science and Engineering A528 (2011) 2303–2308.
6. Bimodal grain size distributions in UFG materials produced by SPD: Their evolution and effect on mechanical properties / H. W. Höppel, M. Korn, R. Lapovok and H. Mughrabi. – 15th International Conference on the Strength of Materials (ICSMA-15).
7. Jevoljucija mikrostrukturny titala grade 4 s izmenenijem stepeni deformacii pri RKUP-sonform / A. V. Poljakov [i dr.] – Vestnik UGATU T. 15. – № 1 (41). – S. 95–100.
8. Enhancement of mechanical properties of grade 4 titanium by equal channel angular pressing with billet encapsulation / Yuanlong Li, Hoi Pang Ng, Hyun-Do Jung, Hyoun-Ee Kim, Yuri Estrin. – Materials Letters 114 (2014) – S. 144–147.
9. 2014 Microstructure and Mechanical Properties of Copper Processed by Twist Extrusion with a Reduced Twist-Line Slope / M. I. Latypov, E. Y. Yoon, D. J. Lee, R. Kulagin, Y. E. Beygelzimer, M. S. Salehi, H. S. Kim // Metalurgical and Materials Transactions A DOI: 10.1007/s11661-013-2165-1 (in press).

Гусар Ю. В. – ведущий инженер ДонФТИ НАНУ

ДонФТИ НАНУ – Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина Национальной академии наук Украины, г. Донецк.

E-mail: engineerdonfti@gmail.com

Статья поступила в редакцию 28.08.2014. г.