

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ
ТИТАНОВОЙ ФОЛЬГИ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ЕЕ
ПОВЕРХНОСТЕЙ**

**Б.С. Баласанян¹, С. Г. Агбальян¹, А.А. Захарян², Б.А. Баласанян¹,
О.С. Чибухчян¹**

¹Национальный политехнический университет Армении

²ЗАО “РУСАЛ АРМЕНАЛ”

На базе проведенного анализа литературных источников и экспериментальных данных показано, что титану присущи особые физико-химические свойства, в частности, высокие удельная прочность и пластичность, малый удельный вес, коррозионная стойкость во многих агрессивных средах, способность не намагничиваться, высокая жаропрочность и низкая теплопроводность, которые сохраняются в широком температурном диапазоне, включая криогенные температуры.

Основным потребителем титановой продукции являются военная и авиационная промышленности, титан широко используют в судостроении, он необыкновенно популярен в медицине. В настоящее время он находит широкое применение в машиностроении, автомобилестроении, нефтяной и газовой промышленности, в атомной энергетике, ювелирной промышленности, строительстве, для изготовления легкого спортивного инвентаря, а безвредный диоксид титана используют в качестве пигмента в лакокрасочной продукции, лекарственных и фармакологических препаратах, изделиях пищевой промышленности и т.д. Поэтому потребность в титановой продукции из года в год растет, а мировое производство титановой губки ежегодно увеличивается на 5...7%.

На основе изучения и анализа результатов известных исследований по развитию технологии получения титановых заготовок установлено, что возможности улучшения их физико-механических свойств не исчерпаны, и проведение новых исследований в этом направлении является актуальной задачей. В работе обоснована возможность повышения физико-механических свойств титановой фольги путем дополнительного двустороннего упрочнения ее поверхностей посредством двух пар инденторов, колеблющихся с ультразвуковой частотой. Разработаны схемы устройств для ультразвукового упрочнения тонкостенных деталей машин.

Ключевые слова: титан, фольга, ультразвук, формирование, ультрамелкозернистая структура, нанослой, прочность, пластичность, упрочнение.

Введение. Титан – уникальный по своим свойствам металл, что связано с его особыми физико-химическими свойствами: высокие удельная прочность и пластичность, малый удельный вес, коррозионная стойкость во многих

агрессивных средах, способность не намагничиваться, высокая жаропрочность и низкая теплопроводность, которые сохраняются в широком температурном диапазоне, включая криогенные температуры (от -250°C до $+500^{\circ}\text{C}$). Благодаря этим свойствам еще в 70–80-ых годах XX века он был назван металлом будущего [1,2]. Первоначально титан и титановые сплавы выпускали для военной и оборонной промышленности. С каждым днем этот металл получал все большее распространение. В настоящее время это один из основных конструкционных материалов, широко применяемых в различных отраслях промышленности.

Авиационная промышленность - основной потребитель титановой продукции, развитие которой дало толчок титановому производству. Если вплоть до конца 60-ых годов XX века титан применялся главным образом для изготовления газовых турбин двигателей самолетов, то уже в 70–80-ых годах титановые сплавы начали широко использовать для изготовления различных деталей планерной части самолетов [1-3]. Сейчас из титанового листа и фольги готовят обшивку для самолета, на которую действует струя продуктов сгорания двигателя, силовые элементы, стойки шасси, кронштейны крыла, лопатки, диски и другие элементы вентилятора и компрессора двигателя, окантовки люков и дверей, где возможно скопление влаги, противопожарные перегородки, гидроцилиндры. В конструкции современного самолета может быть более 20 тонн титановых деталей. Например, замена в самолете Боинг-787 около 2,5 млн стальных заклепок на титановые облегчает его вес на несколько тонн [3]. Сегодня половина титана, произведенного в мире, потребляется авиакосмической промышленностью [1,3].

Широко применяется титан и в судостроении, в частности, для обшивки титановым листом или фольгой корпусов судов, которые не требуют покраски, деталей насосов и трубопроводов, конденсаторных труб, турбинных двигателей и паровых котлов. А его слабые магнитные свойства используют при изготовлении навигационных приборов, что способствует повышению точности произведенных измерений [1,3]. Кроме того, титан, обладающий высокой коррозионной стойкостью и способностью выдерживать огромные давления и нагрузки, - наилучший материал для создания глубоководных аппаратов.

Титан необыкновенно популярен и в медицине: он достаточно легко “вживается” в организм человека. Ученые это свойство называют “настоящим родством”. Из титановых сплавов делают: имплантаты; внутрикостные фиксаторы; наружные и внутренние протезы, которые очень прочны и износостойки, хотя все время выдерживают большие нагрузки и абсолютно безопасны для костей и мышц; корпуса электронных стимуляторов и дефибрилляторов; легкие и долговечные хирургические инструменты и др. [4,5].

Помимо указанных областей, титан и его сплавы находят широкое применение в машиностроении, автомобилестроении, нефтяной и газовой промышленности, в атомной энергетике, ювелирной промышленности, строительстве, для изготовления легкого спортивного инвентаря. Нетоксичный и безвредный диоксид титана (TiO_2) используют в качестве пигмента в производстве лакокрасочной продукции, лекарственных и фармакологических препаратов, изделиях пищевой промышленности и т.д. [3]. Потребность в титановой продукции из года в год растет, а мировое производство титановой губки ежегодно увеличивается на 5...7% [6].

На основе изучения и анализа результатов известных исследований [7-10] по развитию технологии получения титановых заготовок было установлено, что возможности улучшения их физико-механических свойств не исчерпаны, и проведение новых исследований в этом направлении является актуальной задачей. К числу таких задач можно отнести вопросы изучения возможностей дополнительного упрочнения поверхностей листовой заготовки с применением энергии ультразвуковых колебаний (УЗК).

Цель исследования. Целью исследования является обоснование возможности повышения физико-механических свойств титановой фольги путем дополнительного двустороннего упрочнения ее поверхностей посредством двух пар инденторов, колеблющихся с ультразвуковой частотой.

Постановка задачи и методы исследования. В настоящее время большое внимание уделяется различным способам формирования в металле ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры (размер зерен менее одного микрона), интерес к которым обусловлен еще более уникальными их физико-химическими свойствами, такими как: повышенные прочность и коррозионная стойкость [2, 5, 7-12]. Одним из наиболее распространенных методов получения заготовок с УМЗ структурой является равноканальное угловое прессование (РКУП) в пересекающихся каналах [2, 5, 7-12], позволяющее упрочнять металл в процессе обработки за счет достижения высокой интенсивности накопленных деформаций сдвига. Сущность процесса состоит в продавливании заготовки под действием давления P через пересекающиеся под углом 2Φ два канала с одинаковыми поперечными сечениями (рис. 1), при котором, с целью повышения интенсивности пластической деформации, со стороны выходного канала на заготовку оказывают противодавление величиной P_0 .

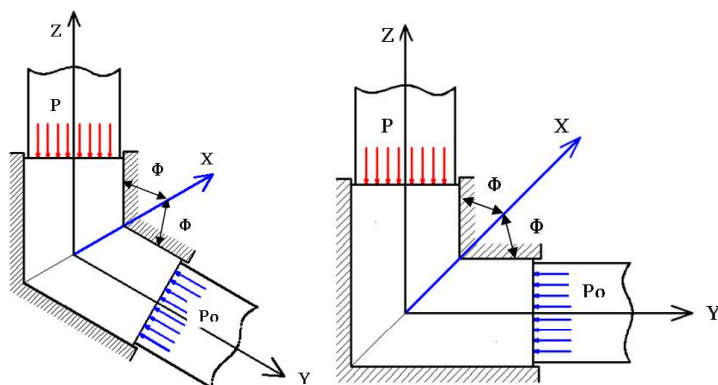


Рис. 1. Схема пластической деформации методом равноканального углового прессования

Как известно, титан и его сплавы относятся к трудно деформируемым материалам, и получение листа и фольги из титана и его сплавов сопряжено со значительными трудностями, что требует проведения механико-термической обработки при повышенных температурах. Обычная технология прокатки фольги из титана включает многоходовую реверсивную холодную прокатку, обезжиривание и промежуточный вакуумный отжиг, что позволяет получать фольгу из титана толщиной 0,02...0,1 мм из отожженных заготовок толщиной 0,5...0,8 мм за 7...8 циклов с суммарной деформацией за один цикл 20...50% [7-12]. При этом каждый цикл включает также обезжиривание поверхности ленты и обезводороживающий вакуумный отжиг при температурах 600...750°C с выдержкой 2...5 часов, что является основным недостатком этой технологии. Полученная отмеченным способом титановая фольга имеет относительно невысокие прочностные характеристики.

К числу таких методов относится способ получения высокопрочной фольги из титана с УМЗ структурой, полученной методом РКУП, включающий пластическую деформацию в пересекающихся вертикальном и горизонтальном каналах при определенной температуре. После чего осуществляют термомеханическую обработку чередованием холодной деформации со степенью 30...90% с промежуточным и окончательным отжигом в интервале температур 250...500°C в течение 0,5...2 часов [13-15]. В некоторых случаях многоцикловую прокатку ведут с изменением суммарной деформации за один цикл по определенной закономерности, а в конце осуществляют вакуумный отжиг в интервале температур 350...360°C в течение 0,5...1 часа [16]. Сочетание интенсивной пластической деформации и последующей термомеханической обработки в указанных режимах позволяет сформировать в материале термически стабильную УМЗ структуру с размером зерен 0,1...0,15 мкм, что

способствует повышению уровня прочности на растяжение и усталостной прочности (табл.1).

Таблица 1
Структура и механические свойства высокопрочной титановой фольги по данным [16]

Номер цикла	Состояние материала	Толщина фольги, мкм	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Деформация до разрушения, %	Микротвердость, ГПа	Размер зерен, мкм
0	BT1-0, РКУП	3600	749...761	725...740	4,9...5,4	2,4	35±0,12
1	Цикл 0 и деформация 75%	953	992...1010	884...901	7,5...8,3	3,7	d=0,15
2	Цикл 1 и отжиг 350°C	953	913...938	821...845	13,9...15,0	3,2	d=0,15
3	Цикл 2 и деформация 70%	286	981...992	873...892	7,8...8,5	3,7	d=0,1...0,15
4	Цикл 3 и отжиг 350°C	286	864...908	824...843	11,9...12,4	3,2	d=0,1...0,15

К сожалению, получаемые механические свойства (сочетание высокой прочности и удовлетворительной пластичности) титановой фольги оказываются недостаточными для использования ее в ряде ответственных конструкций. В этой связи была поставлена задача обоснования возможности повышения физико-механических свойств титановой фольги путем дополнительного двустороннего упрочнения ее поверхностей посредством инденторов, колеблющихся с ультразвуковой частотой.

Возможности повышения физико-механических свойств титановой фольги с применением ультразвука. Многочисленными исследованиями установлено [16-19], что в процессе пластического деформирования металлов с применением УЗК на глубине 15...25 мкм формируется нанозернистая структура (НЗС) с размерами зерен в пределах 5...10 нм, что способствует резкому повышению твердости, прочности и износостойкости поверхностного слоя обработанного материала. Кроме того, на глубине 15...25 мкм формируется микрозернистая структура (МЗС), в которых создаются и сохраняются остаточные напряжения сжатия, которые способствуют значительному повышению пределов хрупкой и усталостной прочности. Аналогичные результаты получены в базовой лаборатории "Машиностроительные

технологии" НПУА при исследовании процесса ультразвукового упрочнения титана марки ВТ1-0, на основе чего получена экспериментальная зависимость изменения микротвердости опытных образцов от глубины упрочненного поверхностного слоя материала (рис. 2), откуда видно, что на глубине 16...30 мкм образованный слой материала обладает наибольшей микротвердостью.

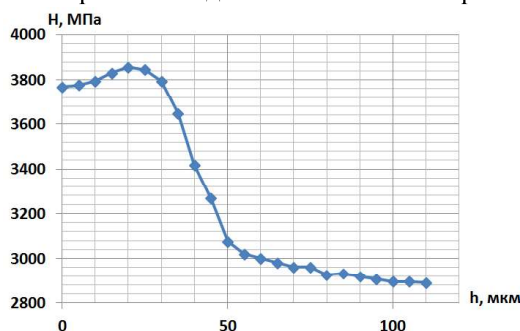


Рис. 2. Зависимость микротвердости H от глубины h поверхностного слоя материала экспериментального образца после его ультразвукового упрочнения: обрабатываемый материал - титан марки ВТ1-0, амплитуда УЗК индентора – $A = 15$ мкм, частота УЗК индентора – $f=18,5$ кГц, статическая сила - $P_{st} = 250H$

Очевидно, что если в процессе пластического деформирования листовых материалов или тонкостенных деталей машин их поверхности дополнительно упрочнить с двух сторон посредством применения УЗК, то НЗС должна образоваться с обеих сторон от поверхностного слоя обработанного материала, что в итоге будет способствовать соответствующему увеличению воздействия УЗК на свойства обрабатываемого материала. Такой способ повышения физико-механических свойств титановой фольги можно осуществить посредством известного метода [20] получения высокопрочной титановой фольги, приведенного на рис.2.

Согласно вышеотмеченному способу, на прокатном стане после валка последнего цикла прокатки и отжига устанавливают дополнительные валки 2 и 3, между которыми со скоростью V проходит обрабатываемая фольга (рис. 3). Параллельно осям валков устанавливают акустические системы УЗК, состоящие из концентраторов 4 и 5, самих преобразователей УЗК 6 и 7 и трансформаторов 8,9,10 и 11, которые создают статическую силу P_{st} между фольгой и валком в их нормальных направлениях. В процессе движения фольги 1 происходит ее дополнительная деформация инденторами акустической системы УЗК [20]. При этом на глубине 15...25 мкм от поверхностей фольги формируется НЗС с размерами зерен в пределах 5...10 нм (рис. 4), что способствует повышению твердости и прочности приповерхностного слоя обработанного материала в поперечном направлении.

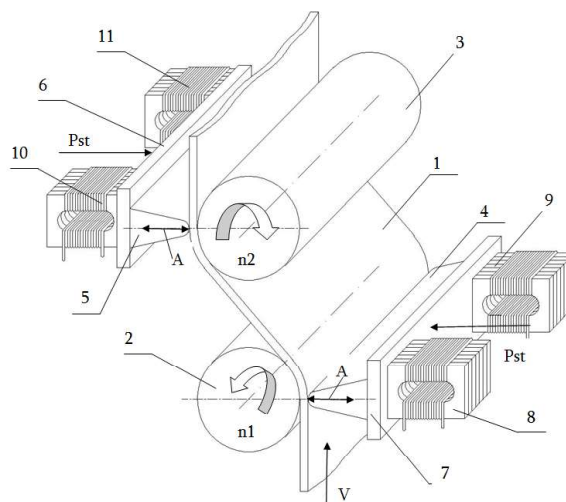


Рис.3. Схема осуществления способа повышения физико-механических свойств титановой фольги с применением УЗК [20]: 1 - обрабатываемый материал (титановая фольга), 2,3 – дополнительные валки, 4,5 - концентраторы преобразователей УЗК, 6,7 - преобразователи УЗК, 8,9,10,11 – трансформаторы преобразователей УЗК

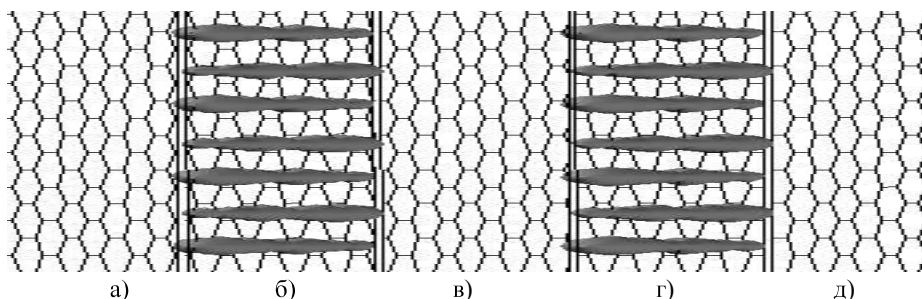


Рис. 4. Структуры высокопрочной титановой фольги по ее высоте в продольном направлении, полученной двусторонней ультразвуковой обработкой согласно: а – УМЗ, б – НЗС, в – УМЗ, г – НЗС, д – УМЗ

Схематически структуры высокопрочной титановой фольги по ее высоте в продольном сечении (рис. 4), полученной двусторонней ультразвуковой обработкой известным способом [20], состоят из УМЗ слоя толщиной 15...25 мкм от поверхности фольги (рис. 4 а), слоя с НЗС толщиной 5...10 нм (рис. 4 б), среднего слоя с УМЗ структурой, толщина которой зависит от толщины фольги (рис. 4 в), после которой снова следует слой с НЗС толщиной опять 5...10 нм, который уже ближе к тыльной стороне фольги (рис. 4 г), и заканчивается УМЗ слоем толщиной 15...25 мкм от тыльной стороны фольги (рис. 4 д).

Основным недостатком такой схемы является необходимость оснащения прокатного стана дополнительными валками, необходимыми для осуществления ультразвуковой двусторонней обработки фольги, что значительно усложняет общую конструкцию для его осуществления. Помимо этого, при такой схеме ультразвуковой обработки фольги образование нанозернистых структур под ее обрабатываемыми поверхностями происходит только в поперечном направлении (рис.2), вследствие чего ее свойства в продольном и поперечном направлениях оказываются разными (табл. 2).

Таблица 2

Структура и механические свойства фольги после ее двусторонней ультразвуковой обработки по способу [20]

Номер цикла	Состояние материала	Толщина фольги, мкм	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Деформация до разрушения, %	Микротвердость, ГПа	Размер зерен
5	Цикл 4 по данным [16] и двусторонняя ультразвуковая обработка по данным [20]	В продольном направлении					
		282±6	864...908	824...843	11,9...12,4	3,2...3,8	$d_0=100 \dots 150$ нм для основного материала, $d_{нз}=5 \dots 10$ нм для нанозернистой структуры
		В поперечном направлении					
		282±6	1008...1018	897...906	11,9...12,9	3,2...3,88	$d_0=100 \dots 150$ нм для основного материала, $d_{нз}=5 \dots 10$ нм для нанозернистой структуры

Причем, если в поперечном направлении по расчетным данным происходит повышение прочности фольги, то в продольном направлении фольга имеет механические характеристики, мало отличающиеся от характеристик исходной заготовки (табл. 2).

Эти недостатки отсутствуют в новом способе повышения физико-механических свойств титановой фольги, схема осуществления которого приведена на рис.5.

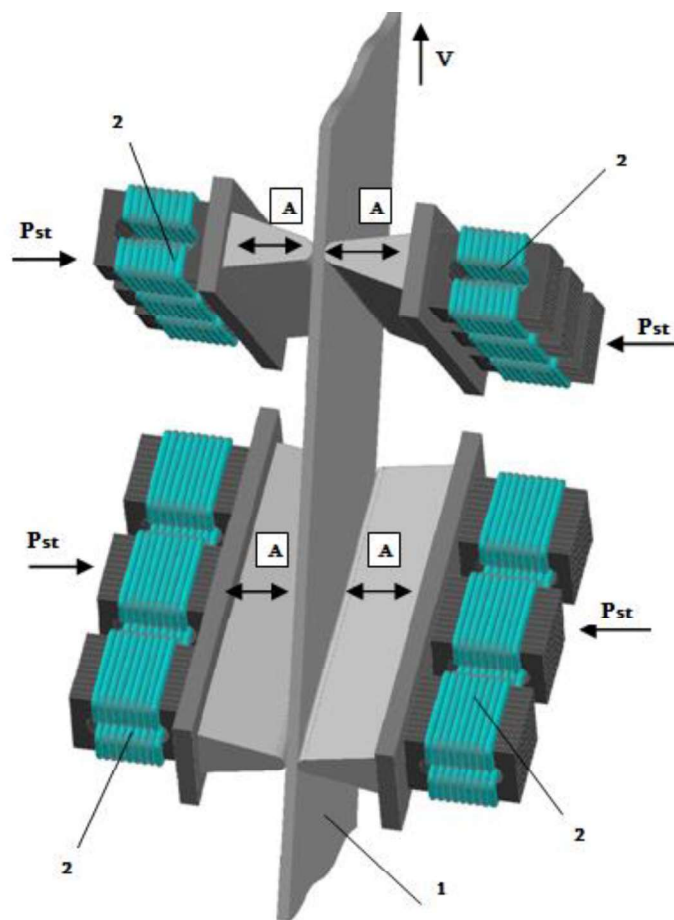


Рис.5. Схема осуществления нового способа повышения физико-механических свойств титановой фольги с применением УЗК: 1- обрабатываемый материал (титановая фольга), 2 – акустические преобразователи УЗК, А – амплитуда УЗК, V – скорость ультразвуковой обработки фольги, P_{st} - статическая сила

Согласно этому способу, заготовку из сплава титана с УМЗ структурой подвергают многоцикловой обработке, в течение каждого цикла которой осуществляют холодную многоходовую реверсивную прокатку и вакуумный отжиг. В течение последнего цикла прокатки вместо вакуумного отжига посредством двух пар колеблющихся с ультразвуковой частотой инденторов фольгу подвергают дополнительной деформации. Инденторы в каждой паре устанавливают в одной и той же плоскости, при этом первую пару инденторов относительно их поперечного направления устанавливают под углом 45° , а вторую – под углом 135° .

Схематически структуры высокопрочной титановой фольги по ее высоте в продольном сечении, полученной вышеотмеченным методом двусторонней ультразвуковой обработки (рис. 6), состоят из УМЗ слоя толщиной 15...25 мкм от поверхности фольги (рис. 6 а), сетчатого слоя с НЗС толщиной 5...10 нм (рис. 6 б), среднего слоя с УМЗ структурой, толщина которого, как и в предыдущем случае, зависит от толщины фольги (рис. 5 в), после которого снова следует сетчатый слой с НЗС толщиной опять 5...10 нм, который ближе к тыльной стороне фольги (рис. 6 г), и заканчивается УМЗ слоем толщиной 15...25 мкм от тыльной стороны фольги (рис. 6 д).

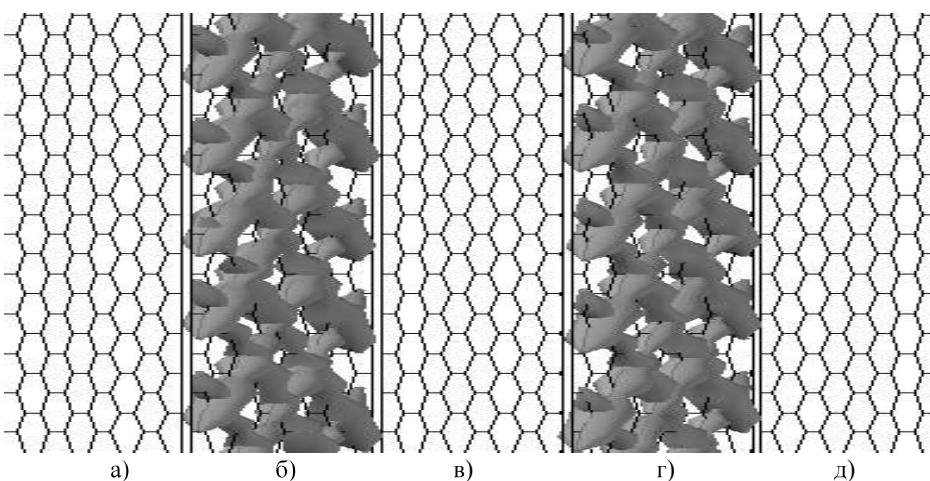


Рис. 6. Структуры высокопрочной титановой фольги по ее высоте в продольном направлении, полученной новым методом двусторонней ультразвуковой обработки: а – УМЗ, б – сетчатая НЗС, в – УМЗ, г – сетчатая НЗС, д – УМЗ

Структура и расчетные механические свойства фольги после ее двусторонней ультразвуковой обработки новым способом приведены в табл. 3.

Сравнение соответствующих механических свойств фольги после ее двусторонней ультразвуковой обработки известным способом [20] (табл. 2), а также новым способом (табл. 3) ее получения показывает, что применение предлагаемого нами способа получения высокопрочной титановой фольги позволяет на глубине 15...25 мкм от двух поверхностей фольги создать сетчатый слой с НЗС, вследствие которого выравниваются механические свойства фольги в ее продольном и поперечном направлениях. При этом, хотя и незначительно, несколько увеличиваются ее механические свойства и пластичность, что подтверждает возможность исключения из технологии изготовления высокопрочной титановой фольги 4-го цикла.

Таблица 3

Структура и механические свойства фольги после ее двусторонней ультразвуковой обработки согласно новому способу получения высокопрочной титановой фольги

Номер цикла	Состояние материала	Толщина фольги, мкм	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Деформация до разрушения, %	Микротвердость, ГПа	Размер зерен, мкм
5	Цикл 3 по способу [16] и двусторонняя ультразвуковая обработка по способу [21]	В продольном и поперечном направлениях					
		282±6	1028...1035	912...923	12,4...12,9	3,2...3,8	$d_0=100 \dots 150$ нм для основного материала, $d_n=5 \dots 10$ нм для нанозернистой структуры

Заключение. Обоснована возможность повышения физико-механических свойств титановой фольги путем дополнительного двустороннего упрочнения ее поверхностей посредством двух пар инденторов, колеблющихся с ультразвуковой частотой. Разработаны схемы устройств для ультразвукового упрочнения тонкостенных деталей машин. Для подтверждения полученных результатов требуется проведение экспериментальных исследований.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета по науке при МОН РА в рамках научного проекта № 18Т-2D408, а также научно-исследовательских тематик базовых лабораторий “Материаловедение и металлургия” и “Машиностроительные технологии” Национального политехнического университета Армении.

Литература

1. **Николаев Г.И.** Металл века. - М.: Металлургия, 1982. - 168 с.
2. **Цвиккер У.** Титан и его сплавы. - Берлин - Нью-Йорк, 1974 / Пер. с нем. - М.: Металлургия, 1979. - 512 с.
3. Сферы применения титана.
<http://titanchik.ru/about/42-sfery-primeneniya-titana.html>
4. Наноструктурный титан для биомедицинских применений: новые разработки и перспективы коммерциализации / **Р.З. Валиев, И.П. Семенова, В.В. Латыш и др.** // Российские нанотехнологии. – 2008. – Т. 3, №9-10. – С. 80-89.

5. **Колобов Ю.Р.** Технологии формирования структуры и свойств титановых сплавов для медицинских имплантатов с биоактивными покрытиями // Российские нанотехнологии. – 2009. – Т. 4, № 9-10. – С. 19-31.
6. Мировой рынок титана: тенденции и перспективы.
<http://www.ereport.ru/articles/commod/titanium.htm>
7. Обработка титановых сплавов давлением / **Г.Е. Мажарова и др.** - М.: Металлургия, 1977. - 228 с.
8. Полуфабрикаты из титановых сплавов / **К.В. Александров, Н.Ф. Аношкин, А.А. Бочвар и др.** - М.: Металлургия, 1979. - 512 с.
9. Горячая штамповка и прессование титановых сплавов / **Л.А. Никольский, С.З. Фиглин, В.В. Бойцов и др.** - М.: Металлургия, 1975. - С.131-159; 176-285.
10. **Носкова Н.И., Мулюков Р.Р.** Субмикроструктурные и нанокристаллические металлы и сплавы. - Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 279 с.
11. **Валиев Р.З., Александров И.В.** Объемные наноструктурные материалы: получение, структура и свойства. - М.: ИКЦ “Академкнига”, 2007. – 398 с.
12. Процессы пластического структурообразования металлов / **В.М. Сегал, В.И. Резников, В.И. Копылов и др.** - Минск: Навука і тэхніка, 1994. - 232 с.
13. **Матренин С.В., Овечкин Б.Б.** Наноструктурные материалы в машиностроении: Учебное пособие / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 186 с.
14. Патент РФ 2020187, МПК С 22 F 1/18. Способ получения ультрамелкозернистых титановых заготовок / **Р.З. Валиев, Х.Ш. Салимгареев, В.В. Столяров, Я.Е. Бейгельзимер, Д.В. Орлов, С.Г. Сынков, А.В. Решетов.** - Оpubл. 30.09.1994.
15. Патент РФ 2175685, С 22 F 1/18. Способ получения ультрамелкозернистых титановых заготовок / **Р.З. Валиев, В.В. Столяров, В.В. Латыш, Г.И. Рааб.** - Оpubл. 10.11.2001.
16. Патент РФ 2243835, В21В3/00. Способ получения высокопрочной фольги из титана / **Ю.Р. Колобов, Жу Юнгиан Теодор, Г.П. Грабовецкая, Р.З. Валиев, В.В. Столяров, Н.В. Гирсова, А.И. Жариков.** - Оpubл. 10.01.2005.
17. **Валиев. Р.З., Александров И.В.** Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. - М.: Логос, 2000. - 272 с.
18. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. / **Ю.Р. Колобов, Р.З. Валиев, Г.П. Грабовецка и др.** - Новосибирск: Наука, 2001. - 213 с.
19. **Алехин В.П.** Получение нано- и субмикроструктурных структур в сталях с использованием ультразвуковой технологии // Известия высших учебных заведений.- Черная металлургия / МГИУ.- М., 2012.- N 8.- С. 68-70.
20. ՀՀ թիվ 3177 А արտոնագիր. Բարձր ամրության սիստանի նրբաթիթեղի ստացման եղանակ / **Ս.Գ. Աղբալյան, Բ.Ս. Բալասանյան, Ա.Բ. Բալասանյան, Ա.Ս. Աղբալյան, Բ.Ս. Բալասանյան.** Պաշտոնական տեղեկագիր No 05/2. 16.05.2018.

*Поступила в редакцию 23.11.2018.
Принята к опубликованию 18.12.2018.*

**ՏԻՏԱՆԱՅԻՆ ՓԱՅԼԱԹԻԹԵՂԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՈՒՆՏՐԱԶԱՅՆԱՅԻՆ
ԱՄՐԱՑՄԱՄԲ ՆՐԱ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՊԼԱՍՏԻԿՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ
ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ**

**Բ.Ս. Բալասանյան, Ս.Գ. Աղբալյան, Ա.Հ. Ջաքարյան, Բ.Ա. Բալասանյան,
Հ.Ս. Չիբուխյան**

Գրականության վերլուծության և փորձարարական տվյալների հիման վրա ցույց է տրված, որ տիտանն օժտված է հատուկ ֆիզիկաքիմիական հատկություններով՝ բարձր տեսակարար ամրությամբ և պլաստիկությամբ, փոքր տեսակարար կշռով, տարբեր ագրեսիվ միջավայրերում կոռոզիակայունությամբ, չնագնիսանալու ունակությամբ, բարձր ջերմակայունությամբ և ցածր ջերմահաղորդականությամբ, որոնք պահպանվում են ջերմաստիճանային լայն տիրույթում՝ ներառյալ կրիոգեն ջերմաստիճանները:

Տիտանի հիմքով արտադրատեսակների հիմնական սպառողներն են ռազմական արդյունաբերությունը և ինքնաթիռաշինությունը. այն լայնորեն օգտագործվում է նաև նավաշինության և բժշկության մեջ: Ներկայումս տիտանային փայլաթիթեղը մեծ կիրառություն է գտել մեքենաշինությունում, ավտոմոբիլաշինությունում, նավթի և գազի արդյունաբերությունում, ատոմային էներգետիկայում, ռակերչական իրերի արտադրությունում, շինարարությունում, սպորտային թեթև սարքավորումների արտադրությունում և այլուր: Ոչ թունավոր և անվնաս տիտանի երկօքսիդն օգտագործվում է որպես հավելանյութ գունանյութերի, դեղերի և դեղնյութերի պատրաստման ժամանակ: Այն օգտագործվում է նաև սննդարդյունաբերության մեջ: Այդ է պատճառը, որ տիտանային արտադրատեսակների նկատմամբ պահանջարկը տարեցտարի աճում է, իսկ տիտանային սպունգի համաշխարհային արտադրությունը տարեկան աճում է 5...7% -ով:

Հաշվի առնելով տիտանային նախապատրաստվածքների ստացման հայտնի տեխնոլոգիաների ուսումնասիրման և վերլուծության արդյունքները՝ պարզվել է, որ դրանց ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների բարելավման հնարավորությունները սպառված չեն, և այս ուղղությամբ նոր հետազոտությունների իրականացումը հրատապ խնդիր է:

Հետազոտության նպատակն է հիմնավորել տիտանային փայլաթիթեղի ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների բարելավման հնարավորությունը՝ մակերևույթների լրացուցիչ երկկողմանի ամրացմամբ, այն տատանելով ուլտրաձայնային հաճախականության ինդենտորով: Աշխատանքում հիմնավորված է տիտանի փայլաթիթեղի ֆիզիկամեխանիկական հատկությունների բարելավման հնարավորությունը՝ մակերևույթների լրացուցիչ երկկողմանի ամրացումով, որը կատարվում է երկու զույգ ուլտրաձայնային հաճախականության ինդենտորով: Մշակվել է սարքավորումների սխեմա՝ բարակապատ մեքենամասերի ուլտրաձայնային ամրացման նպատակով:

Առանցքային բառեր. տիտան, փայլաթիթեղ, ուլտրաձայն, ձևավորում, ուլտրամանրահատ կառուցվածք, նանոշերտ, ամրություն, պլաստիկություն, ամրացում:

THE POSSIBILITY OF INCREASING THE STRENGTH AND PLASTICITY OF TITANIUM FOIL WITH ULTRASOUND STRENGTHENING OF ITS SURFACE

B.S. Balasanyan, S.G. Aghbalyan, A.H. Zakharyan, B.A. Balasanyan, H.S. Chibukhchyan

Based on the analysis of the literary sources and experimental data, it is shown that titanium has specific physical and chemical properties, in particular high specific strength and ductility, low specific weight, corrosion resistance in many corrosive environments, the ability not to be magnetized, high heat resistance and low thermal conductivity, which are maintained in a wide temperature range, including cryogenic temperatures. The main consumer of titanium products are the military and aviation industries. Titanium is also widely used in shipbuilding, it is extremely popular in medicine. Currently, it is widely used in engineering, automotive, oil and gas industry, nuclear power, jewelry, construction, for the manufacture of light sports equipment, and harmless titanium dioxide is used as a pigment in paints, pharmaceuticals and pharmaceuticals, food industry products and other products. Therefore, at present, the demand for titanium products is growing from year to year, and the world production of titanium sponge is increasing annually by 5 ... 7%.

Based on the study and analysis of the results of well-known research on the development of technology for producing titanium billets, it is found that the possibilities of improving their physico-mechanical properties are not exhausted and conducting new research in this direction is an urgent task. In the paper, the possibility of improving the physicomachanical properties of titanium foil by additional bilateral hardening of its surfaces, an indenter oscillating with an ultrasonic frequency is substantiated. Schemes of devices for ultrasonic hardening of thin-walled machine parts have been developed.

Keywords: titanium, foil, ultrasound, formation, ultrafine-grained structure, layer, strength, plasticity, hardening.