ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

**Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

**посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина**

в рамках

**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/105

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИТА «ТИТАНОВЫЙ СПЛАВ ВТ6 + КАРБИД ТИТАНА» ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ И УЛЬТРАЗВУКА

^{1,4}Панин С.В., ¹Панин А.В., ^{1,2}Бочкарева С.А., ^{1,2,3}Люкшин Б.А., ¹Люкшин П.А.

¹*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск,*

²*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск*

³*НИ Томский государственный университет, Томск*

⁴*НИ Томский политехнический университет, Томск*

Воздействие ультразвуковых колебаний позволяет удалить газовые поры и улучшить такие свойства металлов, как усталостную долговечность и коррозионную стойкость [1]. Добавление к ультразвуковому воздействию электрических импульсов позволяет повысить глубину поверхностного слоя, где реализуется модификации структуры, и повысить такие физико-механические свойства обрабатываемого сплава, как предел прочности, предел текучести, твердость и другие.

В литературе это явление получило название электропластического эффекта [2,3]. Его однозначного объяснения до сих пор не получено. Тем не менее, данный вид обработки, основанный на совмещении воздействия импульсов электрического тока импульса с механическим воздействием, находит широкое применение, особенно для задач прокатки.

Экспериментально было установлено, что совмещенное электрофизическое и ультразвуковое ударное воздействие на образец композиционного материала «титановый сплав ВТ6 + 2 вес. % карбида титана», полученного методом электронно-лучевой проволоочной аддитивной технологии, сопровождается повышением его механических характеристик. Параметры ультразвукового воздействия: амплитуда колебаний индентора - 40 мкм, частота - 20 кГц, сила прижима 200 Н, скорость движения обрабатывающего инструмента вдоль образца 5 мм/с, шаг перемещения инструмента вдоль ширины образца - 0.2 мм. Параметры электрофизического воздействия: длительность электрического импульса 10 мкс, частота следования импульсов - 1000 Гц, напряжение - 50 В, сила тока - 100 А.

В работе решается задача моделирования процесса механо-электрофизической обработки композита на основе титанового сплава ВТ6. Ультразвуковое воздействие моделируется импульсной механической нагрузкой, действующей на образец из титанового сплава при контактной взаимоделиствии с ударником. Ударник представляет собой тело цилиндрической формы, а образец - параллелепипед. Для определения параметров НДС контактирующих тел решалась контактная задача. При этом к ударнику циклически прикладывалась нормальная сжимающая и растягивающая нагрузки с учетом прижимной и нагрузки от ультразвука максимальная нагрузка соответствовала 202 Н, а минимальная - 198 Н. Решалась система уравнений теории упругости в плоской постановке методом конечных элементов.

При проведении расчетов принималось, что свойства материала в исходном состоянии при растяжении описываются кривой 1 (рис. 1). С другой стороны, деформационное поведение этого же материала в условиях воздействия электрического тока характеризуются кривой 2 (рис. 1). Для реализации пластического формоизменения материала должны возникать напряжения выше предела текучести. За счет превышения предела текучести материал деформируется в каждом цикле в соответствии с наклоном кривой 1 при соответствующем уровне деформаций. С увеличением степени деформации касательный модуль упругости уменьшается, т.е. зависимость «деформация-напряжение» по мере нагружения и роста деформаций становится более пологой. Если приложенное напряжение будет превышать предел текучести, то в условиях циклической нагрузки деформация будет очень быстро возрастать, и в таких условиях материал приобретает способность относительно легко деформироваться.

Рис. 1. Зависимость деформация – напряжение для сплава ВТ6 с TiC:
1 – при растяжении; 2 – под действием электрического тока; 3 – при циклическом нагружении ($l=0,0005$ м) материала со свойствами соответствующими кривой 1; 4 – при циклическом нагружении ($l=0,0005$ м) материала со свойствами соответствующими кривой 2; кривые 5 и 6 – аналогичные кривые нагружения для цилиндра длиной $l=0,001$ м

При принятой нагрузке, напряжения превышающие предел текучести (580 МПа) достигаются только в области контакта. Поэтому для оценки деформации рассматривалась только локальная область на контакте (как своего рода представительный объем), имеющий ширину 500 мкм и глубину, равную высоте образца, а именно 0,002 м. Рассчитанные зависимости «деформация-напряжение» для композита «сплав ВТ6 + TiC» в условиях приложения циклической нагрузки для указанной области показаны на рис. 1 (кривые 3, 4 и 5, 6). Зависимости построены по значениям интенсивностей деформаций и напряжений, осредненным по выбранной области, количество циклов $N=200$. Все кривые нагружения имеют пилообразную форму (вследствие циклического характера приложения нагрузки), что на графике не всегда заметно, так как амплитуда деформирования небольшая.

Если в исходном состоянии материал деформируется в соответствии с кривой 1 на, рис. 1, то приложение электрических импульсов меняет вид зависимости на кривую 2. Соответственно нагружение импульсной механической нагрузкой приводит к зависимостям 3 и 4 в случае локального нагружения, и к кривым 5, 6 при увеличении нагруженной области. Таким образом, показано, что действие электрического тока позволяет усилить эффект от ультразвуковых колебаний и увеличить деформацию в локальной области, если выполняется условие, что оно сопровождается изменением эффективных свойств материала, в частности снижением модуля упругости, предела прочности и увеличением величины деформации при разрыве.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 18-58-00037 Бел. а.

1. Mordyuk B.N., Prokopenko G.I. Ultrasonic impact peening for the surface properties' management. J. Sound Vibr. – 2007. – V. 308. – P. 855-866.
2. Троицкий О.А. Ультразвуковое электропластическое плетение металла // Вестник научно-технического развития. - 2009. - № 10 (26). - С. 42-49.
3. Троицкий О.А., Баранов Ю.В., Авраамов Ю.С., Шляпин А.Д. Физические основы и технологии обработки современных материалов (теория, технология, структура и свойства). В 2-х томах. Т. 1. - М-И: Институт компьютерных исследований. 2004. - 590 с.