

Г.И. КОСТЮК, А.В. ЕВСЕЕНКОВА

ЭФФЕКТИВНОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT22 РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ ИЗ МОДИФИЦИРОВАННОГО ТВЁРДОГО СПЛАВА BK10 С ПОКРЫТИЕМ 0,18HFNT0,82ZRN

На основе исследования размера зерна и состава покрытия 0,18HfNi0,82ZrN до и после обработки, нанесённых при напряжении на подложке 200 и 250В, были проведены исследования износа, стойкости РИ с покрытием и без. Получены зависимости снимаемого объёма материала за период стойкости от износа пластин по задней поверхности. Показано, что эффективность (снимаемый объём материала за период стойкости) выше для пластин с покрытием, которые обрабатывались при напряжении на подложке 250В – 2,5 (1,54 раза) как при 200В – 1,46 (1,21 раза) эта величина меньше для получистовой и черновой обработки (необработанные пластины), это связано с размером зерна, который в первом случае составляет 93,9 нм, т.е. реализуются наноструктуры, тогда как для второго размер зерна выше за счёт более длительного нанесения покрытия (30 мин вместо 25 мин в первом случае), которое с ростом температуры растёт.

Ключові слова: фрезерование, покрытие, режущие пластины, снимаемый объём материала за период стойкости, наноструктуры.

Г.І. КОСТЮК, А.В. ЕВСЕЕНКОВА

ЕФЕКТИВНЕ ФРЕЗЕРУВАННЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ VT22 РІЖУЧИМ ІНСТРУМЕНТОМ З МОДИФІКОВАНОГО ТВЕРДОГО СПЛАВУ BK10 З ПОКРИТТЯМ 0,18HFNT0,82ZRN

На основі дослідження розмірів зерна та складу 0,18HfNi0,82ZrN до і після обробки, нанесених при напрузі на підложці 200 і 250В, були проведені дослідження зносу, стійкості РІ з покриттям і без. Отримані залежності знятого об'єму матеріалу за період стійкості від зносу пластин по задній поверхні. Показано, що ефективність (знятий об'єм матеріалу за період стійкості) вище для пластин з покриттям, які обробляються при напрузі на підкладці 250В - 2,5 (1,54 раза) як при 200В - 1,46 (1,21 раз) ця величина менше для полустовової та чергової обробкою (не оброблені пластины), це пов'язано з розміром зерна, який в першому випадку становить 93,9 нм, тобто реалізуються наноструктури, тоді як для другого розміру зерна вище за рахунок більш тривалого нанесення покриттів (30 хвилин замість 25 мін в першому випадку), що зі зростанням температури зростає.

Ключевые слова: фрезерування, покриття, ріжучі пластины, що знімається обсяг матеріалу за період стійкості, наноструктури.

G. I. KOSTYUK, A. V. EVSEENKOVA

EFFECTIVE MILLING OF TITANIUM ALLOY VT22 WITH A CUTTING TOOL FROM A MODIFIED CARBIDE BK10 WITH A COATING OF 0.18HFNT0.82ZRN

Based on the study of the grain size and coating composition 0.18HfNi0.82ZrN before and after the treatment applied on the substrate 200 and 250V stress, the wear, durability and durability studies of RI with and without coating were performed. The dependencies of the volume of the material taken during the period of resistance from the wear of the plates on the back surface are obtained. It is shown that the efficiency (the volume of material removed during the period of resistance) is higher for plates coated that were processed at a voltage on the substrate 250V - 2.5 (1.54 times) as at 200V - 1.46 (1.21 times), this value is lower for gutter and rough processing (unprocessed plates), this is due to the grain size, which in the first case amounts to 93.9 nm, i.e. Nanostructures are realized, whereas for the second grain size it is higher due to the longer coating (30 minutes instead of 25 minutes in the first case), which increases with increasing temperature.

Keywords: milling, coating, cutting plates, removable volume of material for a period of durability, nanostructures.

Вступ. В настоящее время в авиастроении всё ещё остаётся открытым вопрос обработки титановых сплавов, применение уже ставшего традиционным покрытия TiN не даст эффекта из-за высокой адгезии к титановому сплаву. Поэтому необходимо искать покрытия имеющие минимальную адгезию к титану, кроме обеспечения минимальной адгезии необходимо создать покрытие с малым износом, что может быть реализовано за счёт образования наноструктур в поверхностном слое покрытия на режущем инструменте. Всё это говорит о важности исследования эффективности и работоспособности режущего инструмента с покрытием.

Состояние вопроса. К сожалению в литературе [1-10] очень мало сведений по обработке титановых сплавов особенно их фрезерованию. В наших монографиях и справочниках [1-2] есть работы по точению титановых сплавов, но фрезерование их не рассматривалось, что говорит о важности и своевременности исследования эффективности и работоспособности твердосплавных пластин с покрытием для составных фрез.

Методы исследований и их аппаратное обеспечение. Износ режущего инструмента измерялся на инструментальном микроскопе по которому определялась стойкость РИ при чистовой (износ по задней поверхности $h_3 \leq 0,25$ мм), получистовой ($h_3 \leq 0,4$ мм) и черновой ($h_3 \leq 0,6$ мм). Контрольное испытание РИ по стойкости проводилось с применением оптического микроскопа. Пример измерений представлен на рис.1.

Размер зерна определялся на растровом электронном микроскопе РЭМ 106, состав определялся на анализаторе ДРОН-3М, измерения проводились на РИ без покрытия, с покрытием до обработки и после обработки – фрезерования титанового сплава VT-22. Основные характеристики которого представлены в таблице 1 и 2.

Учитывая высокую адгезию к титановому сплаву большинства покрытий, то были проведены расчёты адгезионных характеристик по нашей работе [3] и покрытие имеет рейтинг 7 и 9 в случае контакта с титановым сплавом.

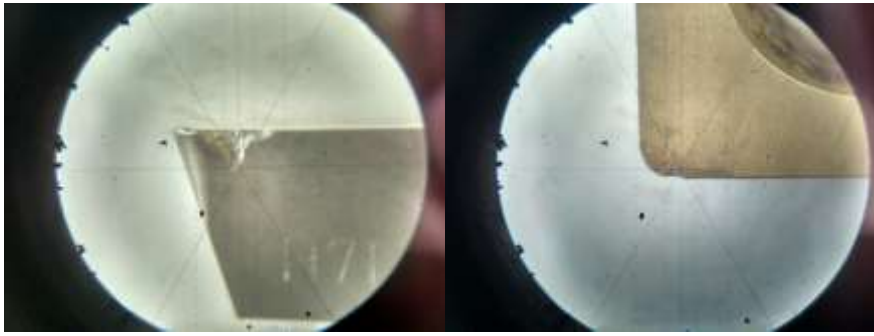


Рис.1 – Микрофотографии разрушения (термоупругое скалывание) режущей кромки ПИ с покрытием

Таблица 1 – Механические свойства при T=20°C материала ВТ22

Сортамент	σ_B	σ_T	σ_B	δ_5	ψ	КСУ	Термообр.
-		МПа	МПа	%	%	кДж/м ²	-
Пруток, ГОСТ 26492-85		1030		6-8	14-20	200-250	Отжиг
Пруток, повышенн. качество, ГОСТ 26492-85		1080-1280		7-10	17-30	250-300	Отжиг
Пруток, повышенн. качество, ГОСТ 26492-85		1280		6-7	16-18	180-200	Закалка и старение

Таблица 2 – Физические свойства материала ВТ22

T	A10 ⁶	λ	ρ	C
Град	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)
20		8.32	4620	
100	8	9.21		
200	8.2	10.5		0.565
300	8.4	11.7		0.586
400	8.6	13.4		0.649
500	8.8	14.6		0.712
600		15.9		

Покрyтия наносились на модернизированной установке Булат-6, позволяющей получать равнотолщинные покрытия при потенциалах на подложке 200 и 250В и времени нанесения покрытия 30-25 минут соответственно при давлении азота в камере $5 \cdot 10^{-3}$ мм.рт.ст. (ТОР).

Результаты и их обсуждение. Проводились исследования размера зерна на не работающей и работающей пластине (РЭМ-106) спектрограмма и состав поверхностного слоя в рабочей и не рабочей зоне пластины. Такие исследования были проведены для твердосплавных пластин из модифицированного твердого сплава ВК10 с покрытием 0,2HfN+0,8ZrN.

Так на рис. 2 и 3 представлены спектрограмма (а), состав покрытия (б), микрофотография размера зерна до обработки (в) и после фрезерования сплава ВТ22 (2). Анализ этих рисунков показал, что в процессе работы доля циркония (нитрида циркония) уменьшается, увеличивается доля гафния и нитрида гафния, а размер зерна в результате теплового воздействия увеличивается для всех трёх исследованных пластин с 93,9 до 169 Нм, 332 до 373 Нм. Тепловое воздействие на материал покрытия (нагрев за счёт высоких температур в зоне резания) приводит к росту зерна и

ухудшению режущих свойств покрытия за счёт снижения микротвердости, что связано с переходом структуры от нано до субмикроструктурной.

Рассмотрено влияние режимов нанесения многокомпонентного покрытия 0.2HfN+0.8ZrN на возможность его применения при чистовой обработке (износ по задней поверхности не более $h_3 = 0,25$ мм) при получистовой ($h_3 \leq 0,4$ мм) и черновой обработке ($h_3 \leq 0,6$ мм). При двух режимах нанесения покрытия: первый – напряжение на подложке составляет 200В, а время $\tau_{\text{нап}} = 30$ мин. Второй – $U_n = 250$ В, а $\tau_{\text{нап}} = 25$ мин.

Ионная очистка проводилась $U_n = 1,2$ кВ и $\tau_{\text{нап}} = 5$ мин. Были получены зависимости снимаемого объёма материала за период стойкости от износа по задней поверхности, что позволило найти как снимаемый объём материала при черновой, получистовой и чистовой обработке при разных скоростях: 1,07; 1,63 и 2,2 м/с при использовании покрытий, нанесённых в режиме $U_n = 250$ В, а $\tau_{\text{нап}} = 25$ мин; второй – $U_n = 200$ В, а $\tau_{\text{нап}} = 30$ мин. Так для скорости резания 1,07 м/с (рис.1) есть возможность повышения снимаемого объёма материала за период стойкости более чем 2,5 раза, тогда как для скорости резания 2,2 м/с позволяют увеличить его только в 2,1 раза.

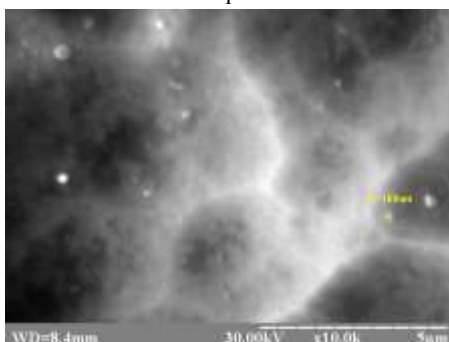
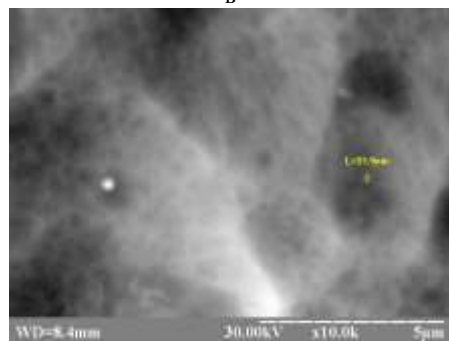
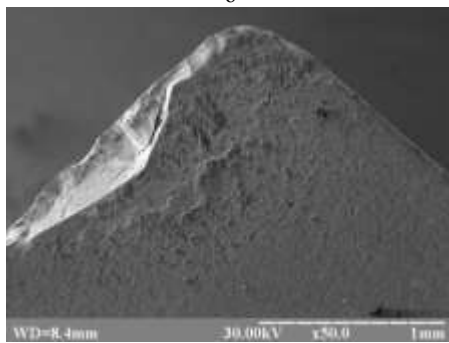
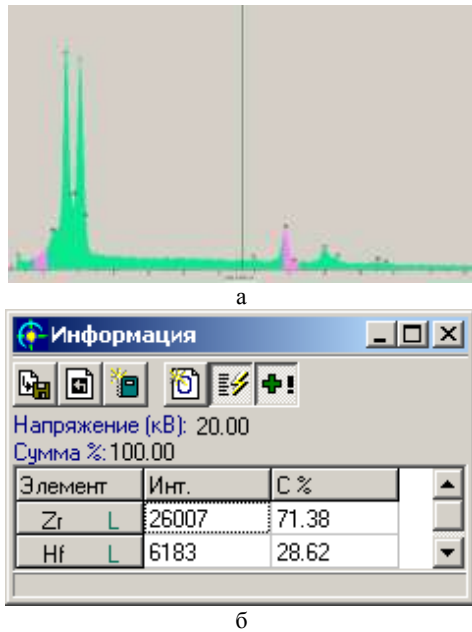


Рис.2 – Спектрограмма рабочей области (а), состав (б), микрофотография зоны разрушения (в) и микрофотография модифицированных твёрдых сплавов VK10 с покрытием 0,2HfN+0.8ZrN не работавшей пластины (г) – а = 93,9 и отработавшей (д) – а = 169 нм

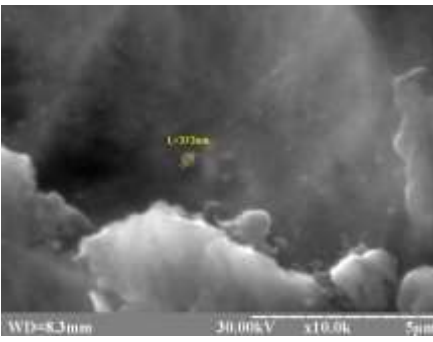
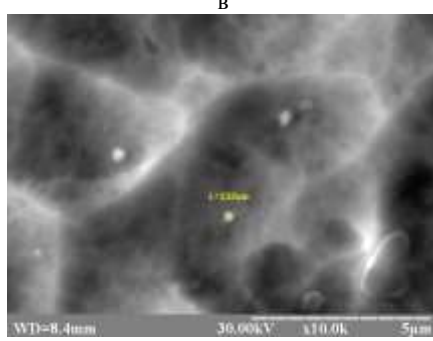
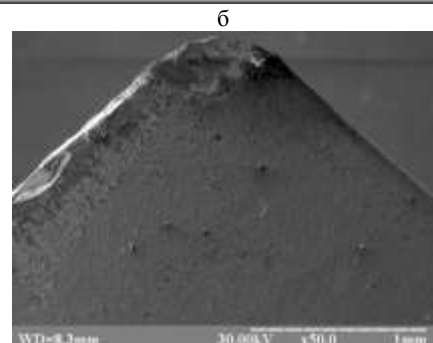
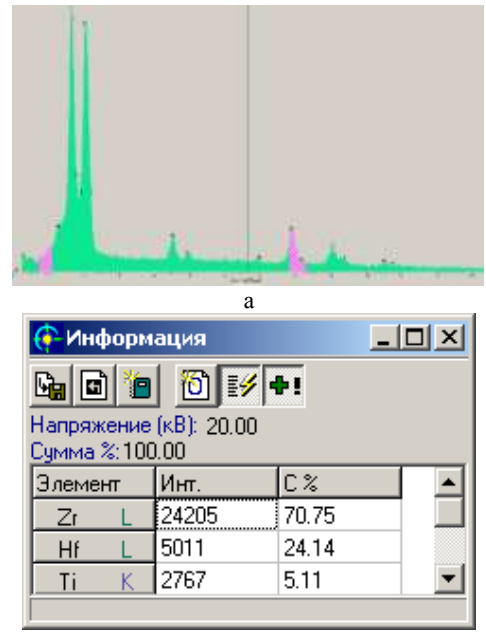


Рис.3 – Спектрограмма рабочей области (а), состав (б), микрофотография зоны разрушения (в) и микрофотография модифицированных твёрдых сплавов VK10 с покрытием 0,2HfN+0.8ZrN не работавшей пластины (г) – а = 332 и отработавшей (д) – а = 378нм

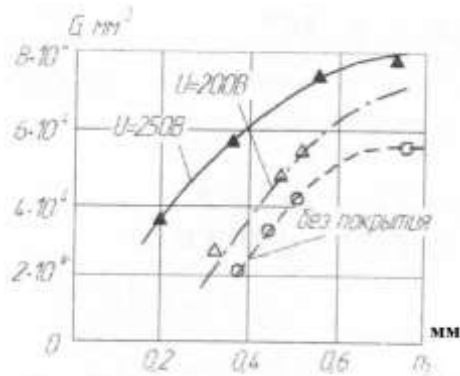


Рис.4 – Зависимости снимаемого объема материала за период стойкости РИ из ВК10 с покрытием $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$ ($U_n=250\text{ В}$ - \blacktriangle), ($U_n=200\text{ В}$ - \triangle) и без покрытия - \circ при скорости резания $1,07\text{ м/с}$ от износа задней поверхности

Меньшее значение снимаемого объема при 200 В можно связать с большей длительностью плазменно-ионной обработки пластины (30 мин вместо 25 мин), приводящей к повышению средней температуры и росту размера зерна, а следовательно и к снижению физико-механических характеристик покрытия.

В первую очередь микротвердость покрытия снижается, а следовательно и абразивный износ растёт, который особенно существенен при малых скоростях резания.

Проведено исследование влияния скорости резания на величину снимаемого объема материала за период стойкости при получистовом фрезеровании (Рис.5). Показано, что при скорости резания 205 м/мин реализуется максимум этого значения, что позволяет использовать этот режим для эффективной обработки титанового сплава ВТ-22.

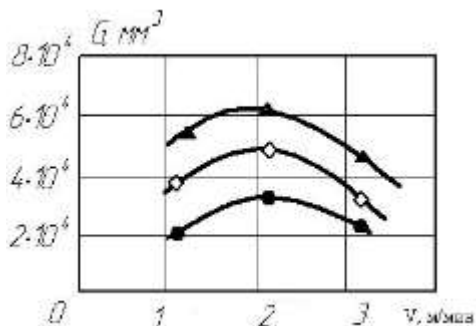


Рис. 5 – Зависимости снимаемого объема материала за период стойкости при получистовой обработке от величины оборотов фрезы в минуту для пластин ВК10 (модифицированных) с покрытием $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$ при потенциале подложки $U_n=250\text{ В}$ - \blacktriangle ($t=25\text{ мин}$), при $U_n=200\text{ В}$ - \diamond ($t=30\text{ мин}$) и для пластин без покрытия

Висновки. Исследование фрезерования титанового сплава ВТ-22 показало, что наиболее эффективно работают пластины с наноструктурами, но в тоже время в процессе работы фрезы наблюдается рост зерна от наноструктурного к субмикроструктурному, при этом снижается доля нитрида циркония в покрытии а увеличивается доля нитрида гафния, что связано с большим испарением нитрида циркония по сравнению с нитридом гафния. В

результате исследования влияния износа по задней поверхности пластины из модифицированного твёрдого сплава ВК-10 (модифицирован нитридами алюминия и хрома) на снимаемый объём материала за период стойкости при фрезеровании обнаружено: - при энергии ионов 250 В и времени их действия 25 мин реализуются максимальные значения снимаемого объёма материала за период стойкости, - при энергии 200 В и времени действия 30 мин реализуются меньшие значения, что связано с ростом температуры при более длительной обработке. Это связано с ростом зерна при повышении температуры. Проведенные исследования позволяют выбрать наиболее эффективные режимы обработки для чистовой, получистовой и черновой обработки. Показано, что при 205 об/мин реализуется максимум этого значения, что позволяет использовать это значение для эффективной обработки титанового сплава ВТ-22.

Список літератури

1. Костюк Г. И. *Эффективный режущий инструмент с нанопокрывтиями и наноструктурными модифицированными слоями*: монография-справ. в 2 кн. Кн.1. *Плазменно-ионные и ионно-лучевые технологии*. Харьков: «Планета-Принт», 2016. 735 с.
2. Костюк Г. И. *Нанотехнологии: выбор технологических параметров и установок, производительность обработки, физико-механические характеристики наноструктур*: монография. Киев: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2014. 472 с.
3. Костюк Г. И. *Нанотехнологии: теория, эксперимент, техника, перспективы*: монография. Киев: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2012. 648 с.
4. Костюк Г. И. *Наноструктуры и нанопокрывтия: перспективы и реальность*: учеб. пособ. Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2009. 406 с.
5. Костюк Г. И. *Научные основы создания современных технологий*: учеб. пособ. Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. 552 с.
6. Костюк Г. И. *Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем*: монография-справочник. Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. 633 с.
7. Костюк Г. И. *Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем*: справочник. Киев: Вид-во АИПУ, 2003. 412 с.
8. Гречихин Л. И. *Физика наночастиц и нанотехнологий*. Москва: УП «Технопринт», 2004. 397 с.
9. Джулій Д. Ю., Майборода В. С., Ткачук І. В., Гейчук В. М. Аксенов І. І. *Вакуумная дуга в эрозионных источниках плазмы*. Харьков: Изд-во НИИ «ХФТИ», 2005. 211 с..
10. Гусев А. И. *Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии*. Москва: Физматлит, 2005. 416 с.

References (transliterated)

1. Kostyuk, G. I. *Effektivnyy rezhushchiy instrument s pokrytiyem i uprochnennym sloyem*. sprav. K.: Vid-vo «Planeta print», 2016. 735 p.
2. Kostyuk, G. I. *Nanotekhnologii: vybor tekhnologicheskikh parametrov i ustanovok, proizvoditel'nost' obrabotki, fiziko-mekhanicheskiye kharakteristiki nanostruktur*. monogr. K.: Izd. tsentr Mezhdunar. akademii nauk i innovats. tekhnologiy, 2014. 472p.
3. Kostyuk, G. I. *Nanotekhnologii: teoriya, eksperiment, tekhnika, perspektivy*: monogr. K.: Izd. tsentr Mezhdunar. akademii nauk i innovats. tekhnologiy, 2012. 648 p.
4. Kostyuk, G. I. *Nanostrukturny i nanopokrytiya: perspektivy i real'nost'*: ucheb.posobiye. KH.: Nats. aerokosm. un-t «Khar'k. aviats. in-t», 2009. 406 p.
5. Kostyuk, G. I. *Nauchnyye osnovy sozdaniya sovremennykh tekhnologiy: ucheb.posobiye*. KH.: Nats. aerokosm. un-t «Khar'k. aviats. in-t», 2008. 552 p.

6. Kostyuk, G. I. *Effektivnyy rezhushchiy instrument s pokrytiyem i uprochnennym sloyem*: monogr.-sprav. KH.: Nats. aerokosm. un-t «Khar'k. aviats. in-t», 2007. 633 p.
7. Kostyuk, G. I. *Effektivnyy rezhushchiy instrument s pokrytiyem i uprochnennym sloyem*: sprav. K.: Vid-vo AINU, 2003. 412 p.
8. Grechikhin, L. I. *Fizika nanochastits i nanotekhnologiy*. M.: UP «Tekhnoprint», 2004. 397 p.
9. Aksenov, I. I. *Vakuumnaya duga v erozionnykh istochnikakh plazmy*. KH.: Izd-vo NII «KHFTI», 2005. 211 p.
10. Gusev, A. I. *Nanomaterialy, nanostruktury, nanotekhnologii*. M.: Fizmatlit, 2005. 416 p.

Надійшла (received) 22.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Костюк Геннадій Ігорович (Костюк Геннадий Игоревич, Kostyuk Gennady Igorovich) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», м. Харків, Україна, тел.: (057)-788-42-06, e-mail: gennadiykostyuk206@gmail.com.

Євсеєнкова Анна Володимирівна (Євсеєнкова Ганна Володимирівна, Evseenkova Anna Vladimirovna) – студент магистратури, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «ХАІ», м. Харків, Україна, тел.: (057)-788-42-06, e-mail: gennadiykostyuk206@gmail.com.