

**Стечишин М.С.,
Олександренко В.П.,
Лук'янюк М.В.,
Люховець В.В.,
Лук'янюк М.М.**

Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна
E-mail: Adm_MV@ukr.net

ТЕХНОЛОГІЯ АЗОТУВАННЯ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ СТАЛЕЙ РІЗАЛЬНОГО КОМПЛЕКТУ М'ЯСОПОДРІБНЮВАЛЬНИХ МАШИН

УДК 669.1:537.5

Досліджено вплив режимів азотування в тліючому розряді на фазовий та структурний склад азотованого шару, товщину його нітридної і дифузійної зони та розподіл мікротвердості по глибині шару. Проведені лабораторні та виробничі випробування показали збільшення довговічності різального комплекту м'ясоподрібнювальних машин в 4 ... 10 разів.

Ключові слова: довговічність, азотування в тліючому розряді, ножі вовчків і кутерів, нітридна і дифузійна зона

Вступ

В роботах [1, 2] переконливо показана перспективність застосування технологій азотування в тліючому розряді для модифікації різальних комплектів (решіток і ножів вовчків та кутерів), які дозволяють значно підвищити зносостійкість та довговічність їх роботи. Разом з тим, аналіз цих робіт вказує на несистемність вибору параметрів процесу, відсутність оптимальних режимів азотування залежно від матеріалу ножів та решіток, їх попередньої термічної чи хіміко-термічної обробки, кінематичних та силових параметрів процесу різання, виду м'ясної сировини тощо. Останнє не дає можливості прогнозування структури і фазового складу, фізико-хіміко-механічних характеристик зміцненого шару. Мета роботи полягає в розробці технології азотування в тліючому розряді для підвищення зносостійкості сталей, що використовуються для виготовлення різальних комплектів м'ясоподрібнювальних машин, з усуненням вище наведених недоліків.

Матеріали, обладнання і методика проведення досліджень

Дослідження з азотування в тліючому розряді проводили на установці Подільського наукового фізико-технологічного центру. Установка, її будова детально описана в роботі [3]. Режими процесу азотування в тліючому розряді вибрані на основі аналізу попередньо проведених дослідів [1 - 3]. Для проведення досліджень були відібрані сталі, що рекомендуються і використовуються при виготовленні ножів і решіток м'ясоподрібнювальних машин: сталі 45, 20X, 40X, 38ХМЮА, Р6М5, 40Х13 [4].

З метою інтенсифікації процесу зношування, дослідження зразків встановлених розмірів (рис. 1) до і після азотування проводились на машині 2168УМТ в режимі сухого тертя.

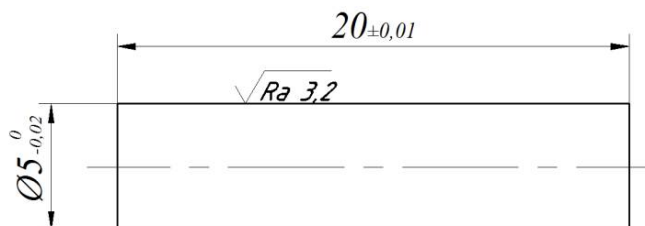
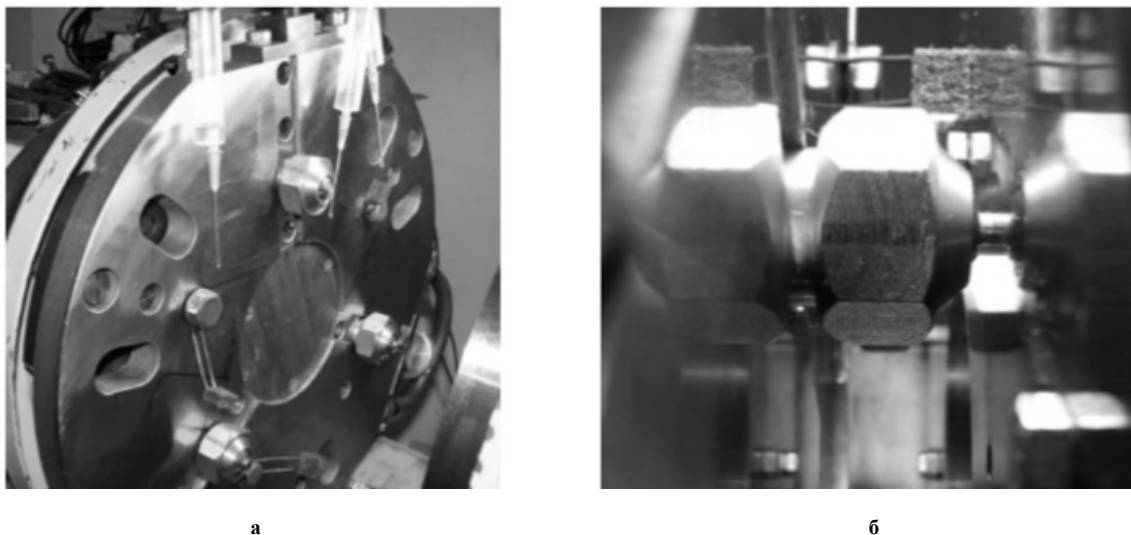


Рис. 1 – Ескіз зразка для дослідження зносостійкості

Для отримання даних, максимально наближених до умов експлуатації ножів та решіток м'ясоподрібнювальних машин, проведено випробування в розчині, що моделює м'ясне середовище і складається з м'ясного соку та жиру яловичини в масовому співвідношенні 10:1 [4].

Виходячи з умов роботи м'ясоподрібнювальних машин було вибрано наступні параметри навантаження фрикційного контакту: тиск в зоні тертя – 16 МПа; швидкість ковзання – 0,1 м/с, а в якості контртіла використовувалося кільце упорного підшипника зі сталі ШХ15. Загальний вид супорта машини тертя з встановленими зразками та взаємне розміщення зразка і контртіла при їх контактуванні показано на рис. 2.



**Рис. 2 – Загальний вид супорта машини тертя (а)
та взаємне розміщення зразка і контртіла, при їх контактуванні (б)**

Остаточна оцінка зносостійкості азотованих ножів і решіток проводилася в умовах роботи на Хмельницькому м'ясокомбінаті.

Структуру дифузійного шару в перерізі після азотування, товщину фазових складових азотованого шару, розподіл мікротвердості по його глибині вивчали на травлених шліфах. Для вимірювання мікротвердості, з метою отримання порівнювальних даних, було прийнято навантаження 0,98 Н.

Субмікроскопічну структуру нітридної зони (розмір, кількість і природу фазових складових) вивчали на растровому мікроскопі РЕМ-20. Рентгеноструктурний фазовий аналіз зразків проводили на рентгеновському дифрактометрі ДРОН-2,0 з використанням K_{α} -випромінювання.

Результати досліджень та їх обговорення

Азотування в тліючому розряді дозволяє інтенсифікувати процес насичення поверхні азотом в 6-8 разів порівняно з пічним азотуванням та зменшити до десяти разів енергоємність порівняно з традиційними методами зміцнення поверхонь. Суттєвою перевагою запропонованої в роботі технології є відсутність в газовому середовищі водню, що виключає водневе окрихчування поверхонь.

У багатьох випадках вдається регулювати фізико-механічні властивості поверхонь металів шляхом зміни параметрів процесу азотування: температури, тиску, складу газової суміші і тривалості процесу. Згідно [3] через 4 год досягається рівновага між осадженням і розпиленням іонів азоту, а тому дослідження азотованих шарів були проведені при тривалості насичення $\tau = 4$ год.

Враховуючи, що зміна мікротвердості по товщині азотованого шару характеризується співвідношенням і розподіленням структурних та фазових складових покриття, досліджено вплив параметрів азотування на зміну мікротвердості (рис. 3).

У результаті проведення досліджень (не усі отримані результати відображені на рис. 3) встановлені загальні закономірності зміни мікротвердості нітридної та дифузійної зон вказаних вище сталей залежно від параметрів азотування в тліючому розряді:

- 1) максимальне значення мікротвердості підвищується залежно від збільшення вмісту вуглецю основи, кількості та виду легуючих елементів (суцільні криві 1 і 2 на рис. 3, а);
- 2) з підвищенням температури азотування мікротвердість нітридної зони азотованого шару знижується і швидкість зниження збільшується зі збільшенням ступеня легування (криві 1 і 2 на рис. 3, а);
- 3) зі збільшенням вмісту азоту і тиску газової суміші мікротвердість зростає (штрихові лінії 1 і 2 та штрих-пунктирна лінія 1 на рис. 3, а);
- 4) збільшення тривалості азотування при інших незмінних параметрах азотування, не змінюючи значення мікротвердості, сприяє більш плавному її переходу до твердості основи одночасно розширюючи зону дії макро- і мікроспотворень (рис. 3, б).

Підвищення мікротвердості металів після азотування пояснюється, в першу чергу, високою твердістю металічних нітридів, а оскільки твердість нітридів титану, хрому, молібдену значно більша ніж нітридів заліза, то і мікротвердість легованих сталей значно вища. Крім того, вирішальне значення на величину і характер розподілу мікротвердості по товщині азотованого шару має дисперсність нітридів заліза і легуючих елементів [5]. Дослідження тонкої структури азотованого шару сталі 40X за допомогою електронного мікроскопа РЕМ-200 показали, що при температурі 833 К утворюються нітридні частинки

товщиною 40 ... 110 і шириною 60 ... 550, а при температурі 873 К товщиною 90 ... 200 і шириною 180 ... 1000 кх. Тобто дисперсність частинок нітридів підвищується з підвищенням температури азотування і, відповідно, знижується мікротвердість.

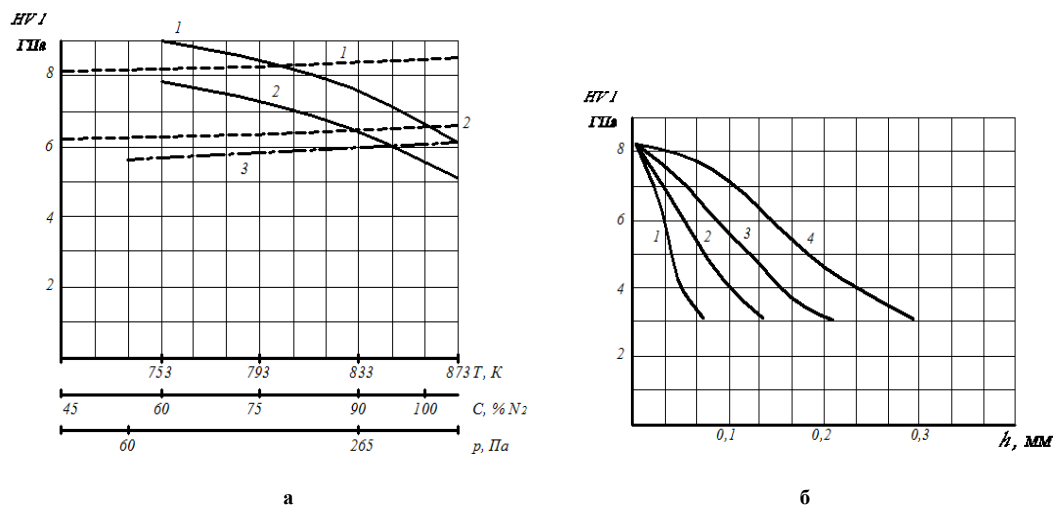


Рис. 3 – Загальні закономірності зміни мікротвердості:
а – залежність мікротвердості нітридної зони:
 (–) від температури азотування T, K ;
 (---) від вмісту азоту для сталей $C, \%N_2$;
 (-.-) від тиску суміші $p, Па$. 1 - сталь 40X; 2 - сталь 45.
б – розподіл мікротвердості HV1 по товщині азотованого шару h для сталі 40X
(833 K, 75% N_2 +25% Ar, 250 Па), при азотуванні протягом:
 1 - 1; 2 - 2; 3 - 4 і 4 - 6 год

Аналіз впливу параметрів азотування на зміну товщини нітридної h_N і дифузійної зони h показав, що в загальному випадку, вони регулюються, в першу чергу, шляхом зміни температури азотування і складу газового середовища [3, 5].

При збільшенні температури азотування відповідно збільшується товщина як дифузійної h , так і нітридної зони h_N [5, 6], але найбільш інтенсивне зростання дифузійної зони спостерігалось для сталі 45, а найменше для легованої сталі 38ХМЮА. Останнє пояснюється низькою рухомістю азоту в нітридах легуючих елементів, які блокують подальшу дифузію азоту в твердому розчині [5], але товщина і швидкість зростання нітридної зони, навпаки, збільшується при збільшенні ступеню легування сталі. Це пов'язано з тим, що більшість легуючих елементів, за виключенням алюмінію і кремнію, є нітридоутворюючими за своєю природою. У подальшому, нітриди заліза і легуючих елементів ускладнюють дифузію азоту всередину металу і перешкоджають зростанню зони внутрішнього азотування. Тим не менше, розвинута зона внутрішнього азотування визначає довговічність роботи азотованого покриття, особливо в умовах циклічного або імпульсного навантажень, що є характерною умовою роботи зубчастих коліс, підшипників кочення і ковзання, поверхонь різальних лез металорізальних інструментів, м'ясоподрібнювальних машин тощо.

Для більшості сталей з підвищенням концентрації азоту в газовому середовищі до 75 % товщина нітридної зони h_N збільшується, але подальше збільшення концентрації азоту призводить до її зменшення. Очевидно, враховуючи меншу масу іонів азоту порівняно з масою іонів аргону, зменшення товщини нітридної зони викликане погіршенням очистки поверхні металу [3].

Згідно даних [5] загальна товщина азотованого шару мало залежить від вмісту азоту в газовій суміші, а визначається, в основному, температурою азотування, вмістом вуглецю і легуючих елементів у металах. Результати проведених нами експериментів, підтверджують цей висновок [6].

Графічна інтерпретація вибраних режимів азотування в тліючому розряді сталей У8А, 38ХМЮА та 40Х показує, що загальна товщина дифузійного шару зменшується при збільшенні вмісту азоту в газовій суміші від 45 % до 100 %, за виключенням сталі У8А, для якої товщина дифузійної h і нітридної h_N зон не змінюється при збільшенні вмісту азоту більше 60 %. Натомість товщина нітридного шару h_N для легованих сталей 40Х і 38ХМЮА має максимальне значення при 75%-му вмісті азоту в газовій суміші (рис. 4).

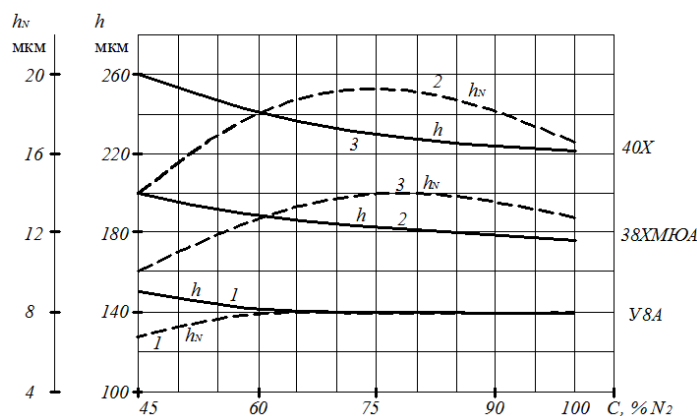


Рис. 4 – Залежність товщини дифузійної h і нітридної h_N зон азотованих шарів від вмісту азоту ($T = 833 \text{ K}$, $p = 260 \text{ Па}$, $\tau = 4 \text{ год}$);
стали:
1 – У8А;
2 – 38ХМЮА;
3 – 40Х

Аналіз отриманих результатів також показав, що при азотуванні в тліючому розряді зміна тиску газової суміші від 260 до 450 Па практично не впливає на мікротвердість дифузійного шару і на вміст ϵ -фази в нітридній зоні. Встановлено також, що тиск впливає на формування нітридного шару, товщина якого з його підвищенням дещо збільшується. Зниження тиску до 60 Па приводить до зменшення насичення шару азотом, зменшення значення мікротвердості і вмісту ϵ -фази в нітридній зоні[6].

Зразки із легованих сталей 40Х, 40Х13, 38ХМЮА та взяті для порівняння зразки вуглецевих сталей 20 і 45 після азотування в тліючому розряді за режимом ($T = 793 \text{ K}$, $p = 260 \text{ Па}$, $75\% \text{ N}_2 + 25\% \text{ Ar}$ і $\tau = 4 \text{ год}$), що вибраний на основі аналізу проведених вище викладених досліджень, піддавали випробуванням на зносостійкість в умовах сухого тертя (швидкість ковзання – 0,1 м/с, тиск на фрикційному контакті – 16 МПа). Результати випробувань показані на рис. 5.

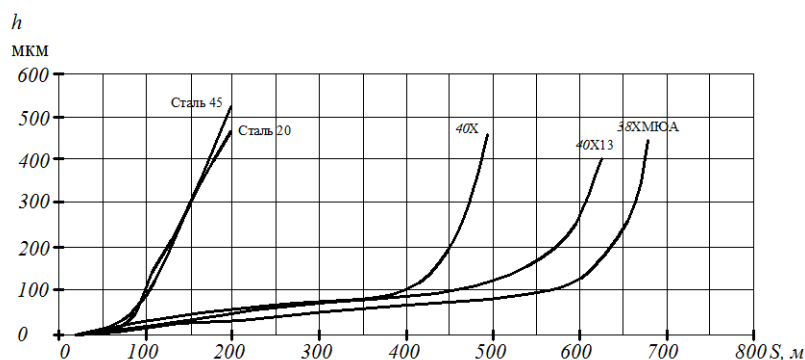


Рис. 5 – Залежність лінійного зносу азотованих в тліючому розряді сталей від шляху тертя (сухе тертя)

Для досягнення величини лінійного зношування 100 мкм шлях тертя для сталей 20 і 45 становить приблизно 100 і 400 м, 450 та 550 м для сталей 40Х, 40Х13, 38ХМЮА, відповідно. При цьому після 80 м сухого тертя зразків з вуглецевих сталей 20 і 45 починається катастрофічне руйнування їх поверхонь, а для легованих сталей 40Х, 40Х13 та 38ХМЮА через 350, 500 і 550 м шляху тертя, відповідно.

Невисока зносостійкість вуглецевих азотованих сталей порівняно з легованими пояснюється тим, що нітриди заліза відрізняються невисокою стійкістю, мікротвердістю і великою швидкістю коагуляції. Нітриди легуючих елементів мають більш високу термічну стійкість і більшу ступінь дисперсності, що і зумовило найвищу зносостійкість сталі 38ХМЮА.

Випробування на зносостійкість азотованих зразків у лабораторних умовах в модельному м'ясному середовищі показало значно вищу ефективність застосування азотування в тліючому розряді, аніж при сухому терті. У цьому випадку маємо корозійно-механічне зношування, у якому корозійна складова руйнування відіграє суттєве значення. Корозія сама по собі не вносить великий вклад в масовий (об'єм-

ний) знос поверхні тертя, але являючись своєрідним “каталізатором” руйнування інтенсифікує швидкість його перебігу. Високі антикорозійні властивості поверхневих нітридних фаз різко гальмують перебіг електрохімічних процесів на поверхнях тертя, яка, в більшості випадків, є катодом по відношенню до основи покриття. Крім того, наявність ліпідів-жироподібних з'єднань поліпшує мастильні властивості м'ясного середовища, а значна кількість поверхнево-активних речовин (ПАР) сприяє зменшенню розмірів поверхонь ковзання, збільшенню густини дислокацій, зміні дислокаційної структури і розмірів блоків. При терті в середовищі, яке містить ПАР збільшується спотворення другого роду, що веде за собою зміцнення поверхневих шарів і, відповідно, до збільшення зносостійкості. Крім того, при терті в середовищі з ПАР, зона максимального спотворення структури виводиться на поверхню і поверхневі шари зміцнюються в більшій мірі аніж в середовищі без наявності ПАР. Саме ці причини і зумовили підвищення зносостійкості азотованих зразків залежно від марки сталі і режимів азотування у модельному розчині в 6 ... 10 разів (по масі).

Перевірка ножів кутера, виготовлених із сталі 40X13 в стані поставки і після азотування, в умовах експлуатації на Хмельницькому м'ясокомбінаті показали такі результати: при переробці сировини для виготовлення ліверних ковбас зміцненими азотуванням ножами перероблено 40 т продукції, а довговічність їх роботи становила 80 год, а для незміцнених ножів – 10 т і 20 год. Тобто об'єм переробленої сировини та довговічність експлуатації зросли в 4 рази. Зміцнення ножів кутера при переробці сировини для виготовлення варених і копчених ковбас дозволило підвищити об'єм (масовий) переробленої сировини з 10 ... 12 т до 100 т, а довговічність роботи ножів з 8 ... 9 год до 80 год.

Висновки

Досліджено вплив режимів азотування в тліючому розряді на структуру і фазовий склад покриття, його мікротвердість, товщину нітридної і дифузійної зон залежно від вмісту вуглецю основи і ступеня її легування.

Знайдено оптимальні режими азотування в тліючому розряді для підвищення зносостійкості різального комплексу м'ясоподрібнювальних машин – вовчків і кутерів.

Проведені дослідження зносостійкості зміцнених азотуванням в тліючому розряді сталей в режимах сухого тертя, в модельному середовищі роботи м'ясоподрібнювальних машин і в умовах їх експлуатації на Хмельницькому м'ясокомбінаті показали, що об'єм переробленої сировини і час роботи ножів між перезаточками леза збільшується в 4...10 разів залежно від виду сировини.

Література

- 1 Стечишин М. С. Підвищення зносостійкості ріжучого леза ножів / М. С. Стечишин, М. В. Лук'янюк // Проблеми трибології. – 2005. – № 3, 4. – С. 121-123.
- 2 Лук'янюк М. В. Шляхи інтенсифікації процесу подрібнення сировини м'ясопереробними машинами типу “вовчок” / М. В. Лук'янюк // Вісник ХНУ. – 2008. – № 2. – С. 190-193.
- 3 Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Х. : ННЦ ХФТИ, 2006. – 364 с.
- 4 Прейс Г. А. Повышение износостойкости оборудования пищевой промышленности / Г. А. Прейс, Н. А. Сологуб, А. И. Некоз. – М. : Машиностроение, 1979. – 208 с.
- 5 Лахтин Ю. М. Структура и прочность азотированных сплавов / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган. – М. : Металлургия, 1982. – 176 с.
- 6 Стечишин М. С. Довговічність деталей обладнання харчової промисловості при корозійно-механічному зношуванні : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.02.04 / М. С. Стечишин ; Технологічний ун-т Поділля. – Хмельницький, 1998. – 32 с.

Поступила в редакцію 14.04.2017

Stechyshyn M.S., Oleksandrenko V.P., Lukianiuk M.V., Liukhovets V. V., Lukianiuk M.M. **Technology of nitriding in a glow discharge of steels for cutting set of shredding meat machines.**

The influence of nitriding in a glow discharge modes on phase and structural composition of nitrided layer, the thickness of its compound and diffusion zones and distribution of microhardness in nitrided layer were investigated. Conducted laboratory and production tests showed the increase of cutting set of shredding meat machines' durability in 4 - 10 times.

Key words: durability, nitriding in a glow discharge, knives of cutters and choppers, nitride and diffusion zones.

References

1 Stechyshyn M. S. Pidvyshchennya znosostykyosti rizhuchoho leza nozhiv / M. S. Stechyshyn, M. V. Lukianiuk. Problemy trybolohiyi. 2005. № 3, 4. S 121–123.

2 Lukianiuk M. V. Shlyakhy intenyfikatsiyi protsesu podribnennya syrovyny m'jasopererobnymy mashynamy typu "vovchok". M. V. Lukianiuk. Visnyk KHNU. 2008. № 2. S. 190–193.

3 Pastukh I. M. Teoryya y praktyka bezvodородного азотування v tleyushchem razryade. I. M. Pastukh. Kh. NNTS KHFTY, 2006. 364 s.

4 Preys H. A. Povyshenye yznosostykyosti oborudovannya pyshchevoy promyshlennosti. H. A. Preys, N. A. Solohub, A. Y. Nekoz. M. Mashynostroenye, 1979. 208 s.

5 Lakhtyn Yu. M. Struktura y prochnost азотированных сплавов. Yu. M. Lakhtyn, Ya. D. Kohan, M. Metallurhyya, 1982. 176 s.

6 Stechyshyn M. S. Dovhovichnist detaley obladnannya kharchovoyi promyslovosti pry korozivno-mekhanichnomu znoshuvanni : avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya d-ra tekhn. nauk : 05.02.04.