

УДК 621.941.025

В.В. Кальченко, д-р техн. наук, професор

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

Ю.Д. Юрченко, ст. викладач

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

ОБРОБКА АУСТЕНИТНИХ СТАЛЕЙ ТОКАРНИМИ РІЗЦЯМИ З ВНУТРІШНІМ ТЕПЛОВІДВЕДЕННЯМ

Наведені результати експериментальних досліджень інтенсивності поверхневого зносу та температури різання при обробці аустенітних сталей збірними токарними різцями з внутрішнім тепловідведенням.

Постановка проблеми

Нержавіючі та жаростійкі сталі аустенітного класу широко використовуються в аерокосмічній техніці, машинах та апаратах харчової і хімічної промисловості, теплоенергетиці та інших галузях. Процес токарної обробки таких матеріалів супроводжується інтенсивним теплоутворенням і високою температурою на поверхнях контакту з інструментом, значними силами різання та підвищеним рівнем вібрацій. Усе це призводить до швидкого зносу інструмента, неможливості застосування продуктивних режимів різання та багатократного збільшення часу обробки деталей.

Одним із перспективних шляхів вирішення даної проблеми є застосування збірних токарних різців з внутрішнім тепловідведенням, що забезпечують значне підвищення продуктивності обробки таких сталей та зменшення інтенсивності зносу багатогранних твердосплавних пластин шляхом інтенсифікації відведення тепла із зони різання. Проведення експериментальних досліджень та встановлення оптимальних режимів різання такими інструментами є невід'ємною частиною підвищення ефективності обробки аустенітних сталей.

Аналіз досліджень і публікацій

На основі досліджень науковців [1-10] було встановлено, що визначальними в процесі обробки різанням нержавіючих та жаростійких сталей являються як температурно-силовий фактор, так і фізико-механічні характеристики інструментальних та оброблюваних матеріалів.

А.Д. Макаровим [3] встановлено, що для кожного конкретного сполучення інструментального та оброблюваного матеріалів при роботі на будь-якій подачі оптимальним швидкостям різання відповідає постійна, так названа оптимальна, температура різання Θ_0 , при якій забезпечується максимальна розмірна стійкість інструменту. Ф.Я. Якубов [4] показав, що при роботі на оптимальних швидкостях різання температура на контактних поверхнях, деформації та напруження сприяють утворенню поверхневих шарів інструмента зі зносостійкими властивостями.

Виходячи з теорії критичних температур різання металів, А.Н. Єрьомінін [6] були визначені екстремальні точки на кривих усадки і твердості стружки, межі міцності та відносного подовження. У своїй роботі І.С. Праведніков [8] доводить, що найбільш різка зміна пластичних властивостей та твердості оброблюваних матеріалів і сплавів відбувається при критичних температурах поліморфних перетворень $\Theta_{\text{пн}}$. Аналіз вказаних робіт показав, що оптимальна температура різання Θ_0 практично співпадає з критичною температурою поліморфних перетворень $\Theta_{\text{пн}}$ відповідного оброблюваного матеріалу. Проте, незважаючи на значний накопичений теоретичний та практичний досвід, у літературних джерелах майже відсутня інформація про особливості протікання процесів різання у збі-

рних інструментах з внутрішнім тепловідведенням, що обумовлює потребу подальшого їх дослідження та розробки рекомендацій щодо ефективного використання.

Мета статті

Мета даної роботи полягає у встановленні основних закономірностей впливу режимів різання на інтенсивність відносного поверхневого зносу і температуру різання при обробці аустенітних сталей збірними токарними різцями з внутрішнім тепловідведенням.

Виклад основного матеріалу

Продуктивність та точність обробки тісно пов'язана з розмірною стійкістю інструмента, яка у найбільш повній мірі характеризується величиною відносного поверхневого зносу $h_{в.п.}$, мкм/0,1м². Відомо, що точки мінімуму на кривих $h_{в.п.}=f(v)$ відповідають значенням оптимальних швидкостей різання, для яких існує відповідне значення оптимальної температури різання.

Для встановлення значень оптимальних температур та швидкостей різання при обробці аустенітних сталей збірними токарними різцями з внутрішнім тепловідведенням на першому етапі були проведені однофакторні стійкісні дослідження $h_{в.п.}=f(v)$ при постійних подачі та глибині різання.

Експериментальні дослідження проводились двома серіями. Перша серія – обробка різцями стандартизованої конструкції; друга серія – різцями з внутрішнім тепловідведенням. Дослідження проводили на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16К20 при зовнішньому поздовжньому точінні заготовок із нержавіючої жаростійкої сталі аустенітного класу 12Х18Н9Т твердістю 160...170 НВ, $\sigma_b = 600$ МПа. Діаметр заготовок знаходився у межах $D = 80...130$ мм, довжина становила $L = 250$ мм. Закріплення заготовок на верстаті здійснювалось по циліндричній поверхні запресованої оправки з упором по торцю у трьохкулачковому патроні. Другим кінцем заготовка опиралась центровим отвором на центр задньої бабки верстата.

Для дослідів використовувалися експериментальні різці з державками стандартизованої конструкції та державками з внутрішнім тепловідведенням. Збірний різець з внутрішнім тепловідведенням [10] містить державку, в якій виконаний спеціальний канал, заповнений матеріалом з високою теплопровідністю (міддю), що з'єднує нижню поверхню багатогранної різальної пластини з поверхнею різцетримача верстата. Різці оснащувались багатогранними різальними пластинами типу 10114-110408 ГОСТ 19065-80 із твердого сплаву марки Т15К6. Геометричні параметри різців: $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 27^\circ$, $\gamma = 5^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 7^\circ$, $\lambda = 5^\circ$, $r = 1$ мм. Швидкість різання змінювалась у діапазоні $V = 80...200$ м/хв з кроком 20 м/хв, подача становила $S = 0,1; 0,25$ та 0,4 мм/об, глибина різання становила $t = 0,5$ мм. Коливання швидкості різання в досліді становили ± 3 м/хв від прийнятих номінальних значень.

У досліді використовувалися різальні пластини, що пройшли попереднє тарування на зносостійкість. Розбіжність пластин по зносостійкості не перевищувала $\pm 5\%$. Величина радіального зносу h_r різальної пластини вимірювалась на інструментальному мікроскопі моделі ИМЦ-100×50, А з електронним блоком цифрової індикації розміру та точністю відліку розміру 0,001 мм. Вимірювання зносу здійснювали через кожні 450...500 м шляху різання.

Кожний дослід повторювався не менше трьох разів з подальшим усередненням отриманих результатів. За результатами кожної серії дослідів будувались графічні залежності радіального зносу h_r , мкм від шляху різання l м, на основі яких визначалась величина відносного поверхневого відносного зносу $h_{в.п.}$.

Визначення відносного поверхневого зносу здійснювалось за методикою прискорених стійкісних випробувань А.Д. Макарова [3]. При цьому різальні пластини не доводились до повного зносу, коли $h_{тк} = 100...120$ мкм (точка С на ділянці нормального зно-

су). Оскільки інтенсивність зносу на ділянці АС постійна, то дослід припиняли, коли ділянка нормального зносу між точками А і В мала достатню довжину для точного вимірювання h_r (рис. 1). Довжина шляху різання при цьому становила не менше 2000 м.

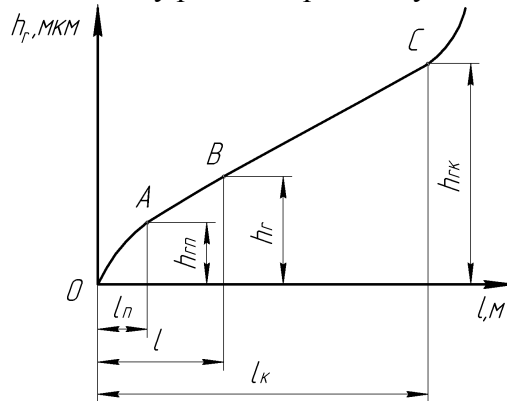


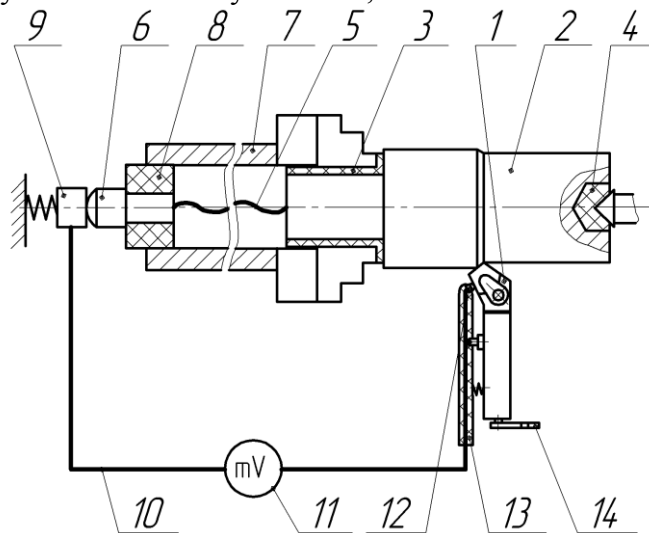
Рис.1. Залежність радіального зносу від шляху різання

Відносний поверхневий знос визначається за формулою

$$h_{в.п} = \frac{(h_r - h_n)100}{(l - l_n)S} \cdot \text{мкм} / 0,1\text{м}^2 \quad (1)$$

де h_r – радіальний знос у точці В, мкм; h_n – початковий радіальний знос у точці А, мкм; l – довжина шляху різання в точці В, м; l_n – початкова довжина шляху різання в точці А, м; S – подача, мм/об.

Паралельно із стійкісними дослідом проводились також вимірювання температури різання. Температура різання вимірювалася методом природньої термопари. Для проведення дослідів була виготовлена установка, схема якої показана на рис. 2.



1 – різець, 2 – заготовка, 3 – діелектричні підкладки, 4 – діелектрична вставка, 5 – дрiт, 6 – стрижень, 7 – шпиндель верстата, 8 – діелектрична втулка, 9 – струмознімач, 10 – дрiт, 11 – мілівольтметр, 12 – рухомий контакт, 13 – важіль, 14 – фіксатор

Рис. 2. Схема установки для вимірювання температури різання

Заготовка ізолювалась від кулачків токарного патрона з допомогою діелектричних підкладок і діелектричної вставки, якою заготовка опиралась на центр задньої бабки верстата. При вимірюваннях температури різання рухомий контакт притискався до різальної пластини пружиною. Рухомий контакт, як і різальна пластинка, був виготовлений із твердого сплаву Т15К6 для усунення паразитної термопари.

Різець, на відміну від класичного методу, не ізолювався від різцетримача верстата, оскільки при наявності діелектричних підкладок не можливо було оцінити реальний вплив внутрішнього тепловідведення на температуру різання. У зв'язку з цим вимірювання термо-ЕРС здійснювалось з інтервалом 30...40 с, короткочасним притисканням на 3...5 с рухомого контакту до різальної пластини. Після стабілізації показників мілівольтметра, важіль з рухомим контактом відводився від різальної пластини й утримувався фіксатором, що перешкоджало його нагріванню і появи паразитних термо-ЕРС.

Кожен дослід повторювався три рази з наступним усередненням результатів. Зупинки в процесі дослідів для проведення вимірювань зносу становили в середньому 2,5...3 хв. Інтервал між дослідями становив не менше 60 хв, що було необхідним для охолодження дослідної установки до кімнатної температури (18...20⁰С), при якій починався кожен із дослідів. За результатами кожної серії дослідів будувались графічні залежності температури різання від швидкості різання $\Theta = f(v)$ при постійних подачі та глибині різання.

На достовірність результатів вимірювання методом природньої термопари, крім умов термостатування її вільних кінців, впливає також величина вхідного опору мілівольтметра, який використовується для вимірюванні термо-ЕРС [9]. Вхідний опір мілівольтметра повинен бути не меншим 1...2 кОм, тому при проведенні експериментів був використаний мілівольтметр МП-18 кл.1 з вхідним опором 2,5 кОм. Ціна поділки шкали мілівольтметра складала 0,5 мВ, діапазон шкали складав 0...45 мВ.

Тарування термопари "12Х18Н9Т–Т15К6" здійснювалось у сталій ємності із розплавом свинцю. Для цього у розплавленій за допомогою електротигеля, свинець занурювалися на 5...8 секунд два термоелектроди, виготовлені з інструментального та оброблюваного матеріалів, під'єднані дротами до клем мілівольтметра МП-18. Температура розплаву вимірювалася штучною повіреною термопарою типу ХА з електронним блоком цифрової індикації. Похибка вимірювання блоку цифрової індикації температури складала $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ у діапазоні вимірювання від 0⁰ С до +900⁰ С.

Під час тарування одночасно реєструвалися температура штучної термопари і напруга на мілівольтметрі натуральної термопари. Тарувальний графік будувався по п'яти точках при температурі розплаву 400...900⁰С. Температура нагрівання розплаву встановлювалася за допомогою автотрансформатора. Значення термо-ЕРС реєструвалися при нагріванні та охолодженні розплаву з подальшим усередненням результатів вимірювань.

Для встановлення залежності температури різання від часу роботи різця один із дослідів кожної серії був проведений при безперервному точінні протягом 20 хвилин. Перерви між проходами різця становили не більше 5...7 с. Після закінчення кожного із дослідів здійснювався контроль радіального зносу (h_r , мкм) та довжини фаски по задній поверхні (h_z , мм) різальної пластини.

У результаті проведених досліджень були отримані залежності відносного поверхневого зносу та температури різання від швидкості різання при різній величині подачі при обробці сталі 12Х18Н9Т різцями стандартизованої конструкції та різцями з внутрішнім тепловідведенням (рис.3).

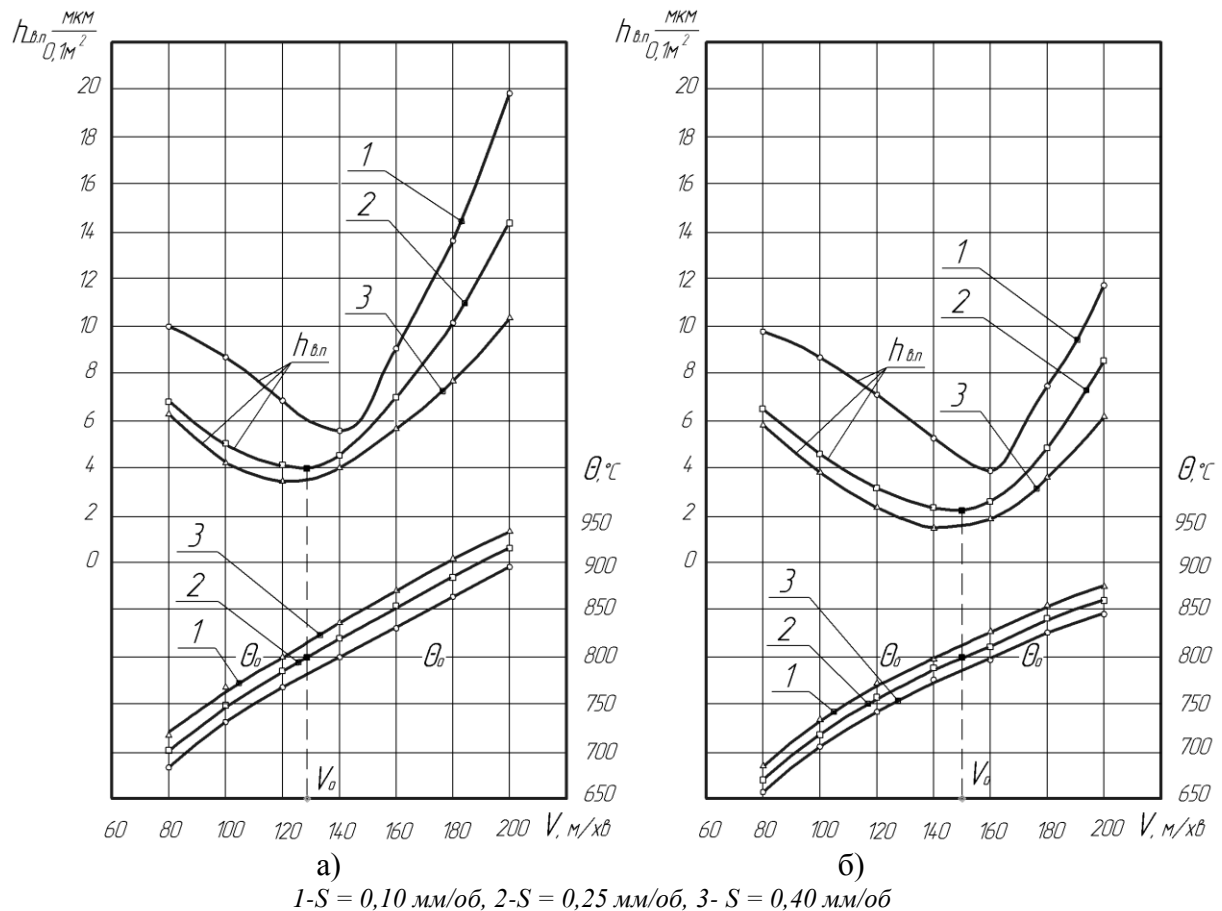


Рис. 3. Вплив швидкості різання на температуру різання та відносний поверхневий знос при то-чінні різцем стандартизованої конструкції (а) та різцем з внутрішнім тепловідведенням (б) (Сталь 12X18H9T, різальна пластинка T15K6, $t = 0,5 \text{ мм}$)

Із отриманих графіків (рис.3) видно, що для обох різців криві залежностей відносно-го поверхневого зносу від швидкості різання носять немонотонний характер, а поло-ження точок мінімуму залежать як від швидкості різання, так і від подачі. Слід також відмітити, що при збільшенні подачі від $0,1 \text{ мм/об}$ до $0,4 \text{ мм/об}$ величина відносного поверхневого зносу $h_{в.п.}$ зменшується, а точки мінімуму зміщуються у бік менших шви-дкостей, при роботі на яких зафіксовані однакові температури різання $\Theta = 800 \text{ }^\circ\text{C}$ з ко-ливаннями в межах $\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Така закономірність може бути пояснена тим, що для аустенітної сталі 12X18H9T за даними дослідження [9] при температурі $750 \text{ }^\circ\text{C}$, що відповідає початку рекристалізації $\Theta_{п.р.}$, відбуваються поліморфні перетворення, внаслідок чого зростає до максимуму пла-стичність ($\delta_{\text{max}} = 98\%$), зменшується міцність (до $\sigma_{в} = 150 \text{ МПа}$) та зменшується коефіці-єнт усадки стружки, що приводить до зменшення сил різання та їх стабілізації в промі-жку температур $750 \dots 800 \text{ }^\circ\text{C}$. Разом з цим при температурах $700 \dots 800 \text{ }^\circ\text{C}$ відбувається значне зменшення адгезійних сил, практично зникає нарід та зменшується ділянка ко-нтакту стружки з передньою поверхнею інструмента. Все це приводить до зменшення роботи, яка витрачається на стружкоутворення, що у свою чергу приводить до змен-шення силового навантаження на різальні кромки інструмента та зменшує інтенсив-ність його зносу.

У той же час при вказаних вище температурах відбуваються також структурні зміни у контактних шарах інструмента – формування фрагментованої дислокаційної структу-ри зерен WC, TiC та зв'язки-матриці, що створює умови зміцнення робочих поверхонь твердосплавного інструмента та збільшує їх опір контактним навантаженням.

Усі ці фактори обумовлюють існування оптимальної і постійної для даних умов температури різання ($\Theta_0 = 800$ °С), при досягненні якої спостерігається найменша (але різна для різних подач) інтенсивність відносного поверхневого зносу.

За даними Т.Н. Лоладзе [1] при обробці нержавіючих сталей твердими сплавами групи ТК при температурах 700...750 °С відбувається поступовий перехід від адгезійного до дифузійного зносу, а при температурах 800...850 °С відбувається головним чином дифузійний знос інструмента, інтенсивність якого може бути надзвичайно висока. Це пояснює різке зростання відносного поверхневого зносу в зоні температур більших за 800 °С. Як видно із графіків (рис.3), праві гілки кривих відносного поверхневого зносу мають значно більш інтенсивне зростання ніж ліві, де відбувається переважно адгезійне зношування, яке меншою мірою впливає на інтенсивність відносного зносу, ніж дифузійний знос.

Аналізуючи залежності температури різання від швидкості різання, можна зробити висновок, що при обробці різцями з внутрішнім тепловідведенням (рис.3 б) температури різання у діапазоні швидкостей $V = 80...200$ м/хв були меншими на 30...70 °С у порівнянні з різцями стандартизованої конструкції (рис.3 а). В наслідок цього відбувається зміщення точок мінімуму відносного зносу в бік більших швидкостей. Так, при подачі $S = 0,25$ мм/об оптимальна швидкість різання становила $V_0 = 127$ м/хв для різця стандартизованої конструкції та $V_0 = 150$ м/хв для різцями з внутрішнім тепловідведенням. При цьому величина $h_{в.п}$ була менша у 1,8 рази для різця з внутрішнім тепловідведенням у порівнянні з різцем стандартизованої конструкції. Із графіків видно, що при одній і тій же величині відносного зносу $h_{в.п} = 4$ мкм/0,1м² швидкість різання для різця з внутрішнім тепловідведенням може бути збільшена до 175 м/хв, що дозволяє збільшити продуктивність обробки в 1,38 рази. В той же час, при роботі з подачею $S = 0,40$ мм/об при тих же умовах, швидкість різання для різця з внутрішнім тепловідведенням може бути збільшена у 1,5 рази.

Дещо протиречивим на перший погляд є зменшення відносного поверхневого зносу при збільшенні подачі, оскільки при цьому відбувається зростання температури різання та активізація адгезійного та дифузійного зносу. Але в той же час при збільшенні подачі відбувається збільшення шляху різання, що приводить до зменшення відносного поверхневого зносу. Також при збільшенні подачі відбувається зменшення коефіцієнта усадки стружки, що приводить у свою чергу до зменшення сил різання та інтенсивності зносу. Тому можна зробити висновок, що у даних умовах зростання температури різання створює менший негативний вплив на відносний поверхневий знос, ніж позитивний, від збільшення шляху різання та зменшення сил різання.

За результатами дослідів при безперервному точінні протягом 20 хв ($V = 180$ м/хв, $S = 0,25$ мм/об, $t = 0,5$ мм) радіальний знос становив $h_r = 65$ мкм (знос по задній поверхні $h_3 = 0,53$ мм) для різця з внутрішнім тепловідведенням та $h_r = 153$ мкм ($h_3 = 1,25$ мм) для різця стандартизованої конструкції. Більш значна різниця зносу (у 2,35 рази) свідчить про те, що ефективність внутрішнього відведення тепла зростає при обробці довгомірних деталей.

Враховуючи те, що для досягнення мінімальної собівартості слід працювати на швидкостях V_{Cmin} які у 1,2...1,25 рази більші ніж оптимальні V_0 [4], то ефект від застосування різців з внутрішнім тепловідведенням у таких умовах буде зростати.

Висновки

Проведенні дослідження показали, що інтенсифікація внутрішнього відведення тепла із зони різання забезпечує значне підвищення стійкості різальних пластин та продуктивності обробки аустенітної сталі.

Збільшення розмірної стійкості різців з внутрішнім тепловідведенням може позитивно впливати на точність обробки.

Обробку аустенітних сталей слід виконувати на швидкостях різання V_o або V_{Cmin} при можливо більших подачах.

Найбільш ефективно застосування різців з внутрішнім тепловідведенням може бути досягнуте при обробці аустенітних сталей та інших важкооброблюваних матеріалів в умовах роботи без застосування МОТС при інтенсивному теплоутворенні та високими температурами в зоні різання.

Список використаних джерел

1. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Лоладзе Т.Н. – М.: Машиностроение, 1982. – 318 с.
2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / Бобров В.Ф. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
3. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания / А.Д. Макаров. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.
4. Основы теории резания материалов: учебник для высш. навч. закладів / Мазур М.П., Внуков Ю.М., Доброскок В.Л. [та ін.]. – Львів: Новий Світ-2000, 2010. – 422 с.
5. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / Резников А.Н. – М.: Машиностроение, 1981. – 348 с.
6. Ерёмин А.Н. Физическая сущность процесса резания сталей / Ерёмин А.Н. – Свердловск: Машгиз, 1951. – 226 с.
7. Григорович В.К. Твёрдость и микротвёрдость металлов / Григорович В.К. – М.: Наука, 1976. – 230 с.
8. Праведников И.С. Физическая сущность критических температур резания / Праведников И.С. // Нефтегазовое дело. – 2011. – № 3. – С.297-310.
9. Слободяник П.Т. Методы и средства контроля температуры при механической обработке / Слободяник П.Т. // Машиностроит. пр-во. Сер. Технология и оборудование обработки металлов резанием: Обзор информ. ВНИИТЭМР.– М., 1990. – Вып. 2. – 36с.
10. Мироненко В.В. Збірні токарні різці з внутрішнім тепловідводом / Мироненко В.В., Юрченко Ю.Д. // Вісник ЧІТІ. – Черкаси, 2002.