



Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «ОДЕССКАЯ ПОЛИТЕХНИКА»
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. СЕМЕНА КУЗНЕЦА
АССОЦИАЦИЯ ТЕХНОЛОГОВ-МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ
ИМ. В.Н. БАКУЛЯ НАН УКРАИНЫ
ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ
КАФЕДРА ЮНЕСКО «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И
АДАПТАЦИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ К ПРОБЛЕМАМ
ПЕРСПЕКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ И ОБЩЕСТВЕННОГО ПРОГРЕССА»
ГВУЗ «ПРИАЗОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
ЛУЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ООО ХК «МИКРОН»
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ВАРИУС»
ПАО ОДЕССКИЙ КАБЕЛЬНЫЙ ЗАВОД «ОДЕСКАБЕЛЬ»
ООО «ИМПЕРИЯ МЕТАЛЛОВ»

НОВЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

*Материалы международной научно-технической
конференции*

22-24 сентября 2021 года

Одесса – 2021

Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: Материалы международной научно-технической конференции, 22-24 сентября 2021 г., г. Одесса. – Одесса: Государственный университет «Одесская политехника», 2021. – 222 с.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

1. Перспективные технологии и производственные процессы будущего.
2. Современные ресурсосберегающие технологии.
3. Микро- и нанотехнологии в промышленности.
4. Высокопроизводительные инструменты и процессы в материалообработке.
5. Автоматизация технологических процессов в машиностроении и энергетике.
6. Метрологическое обеспечение новых и нетрадиционных технологий.
7. Экологическо-энергетические нетрадиционные технологии и перспективные направления их развития.
8. Технологическая динамика.
9. Методологические вопросы высшего образования в области новых технологий.
10. Новые технологии производственной безопасности.

Материалы представлены в авторской редакции.

А.И. Грабченко, И. Н. Пыжов, Д. М. Алексеенко // Вісник Сумського державного університету. Серія «Технічні науки». – №1, т. 1. – 2011. – С. 105–116.

4. Пат. 146996 Україна, МПК (2021.01) В24В 1/00. Спосіб алмазного шліфування з введенням в зону обробки механічних коливань / Пижов І. М. (UA), Федорович В. О. (UA), Волошкіна І. В. (UA). Власник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № u 2020 07567; заявл. 27.11.2020 опубл. 31.03.2021, бюл. № 13.

Полянський В. І.

ТОВ «Імперія металів», Харків, Україна

Новіков Ф. В.

Харківський національний економічний університет
ім. Семена Кузнеця, Харків, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ СКЛАДНОПРОФІЛЬНОЇ ФОРМУЮЧОЇ ОСНАСТКИ ДЛЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Для обробки складнопрофільної формуючої оснастки для харчової промисловості традиційно використовують технології механічної обробки. Як показує практика, технології шліфування та обробки традиційними лезовими інструментами, що застосовуються, є достатньо енергоємними, малопродуктивними та трудомісткими. У зв'язку із цим у ТОВ «Імперія металів» було прийнято рішення перейти до лезової обробки із застосуванням сучасних збірних лезових твердосплавних і керамічних різальних інструментів зі зносостійкими покриттями (закордонного виробництва) і сучасних високооберткових металорізальних верстатів із ЧПУ типу «обробний центр» [1, 2]. Для оцінювання ефективності такого переходу було проведено комплекс експериментальних досліджень енергоємності, температури різання та підвищення продуктивності й якості за різними методами механічної обробки.

Визначення енергоємності обробки (питомої роботи різання) здійснювали за залежністю $A_{num} = N / Q$ (де N – ефективна потужність різання, Н; Q – продуктивність обробки, м/с³), яка співпадає із залежністю для визначення умовного напруження різання σ . Спочатку було визначено умовне напруження різання σ на операції плоского шліфування на плоскошліфувальному верстаті моделі 3Л723АФ2И абразивним кругом ПП450х80х203 64С 40СМ деталі зі сталі 3 із режимом різання: глибина шліфування $t = 0,01$ мм; швидкість деталі

$V_{det} = 15$ м/хв; поперечна подача за подвійний хід круга – 25 мм, швидкість круга $V_{кр} = 35$ м/с. Експериментально встановлено, що $N = 1,4$ кВт, а $Q = 3750$ мм³/хв (рис. 1). Тоді енергоємність обробки дорівнює $A_{nut} = N/Q = 22,4$ Дж/мм³, а умовне напруження різання $\sigma = 22400$ Н/мм².

Як видно, умовне напруження різання σ багаторазово перевищує межі міцності на стиск і зсув оброблюваного матеріалу. Це показує, що основну частину енергетичного балансу шліфування складає енергія, що витрачається на подолання сили тертя, яка виникає при шліфуванні. Енергія «чистого» різання в цьому випадку незначна, що приводить до збільшення температури різання.

Для визначення температури різання θ було використано аналітичну залежність:

$$\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{max}}\right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{max}}} = e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{det} \cdot t}{\lambda} \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}}}, \quad (1)$$

де c – питома теплоємність матеріалу, Дж/(кг·град); ρ – щільність матеріалу, кг/м³; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м·град); $R_{кр}$ – радіус шліфувального круга, м.

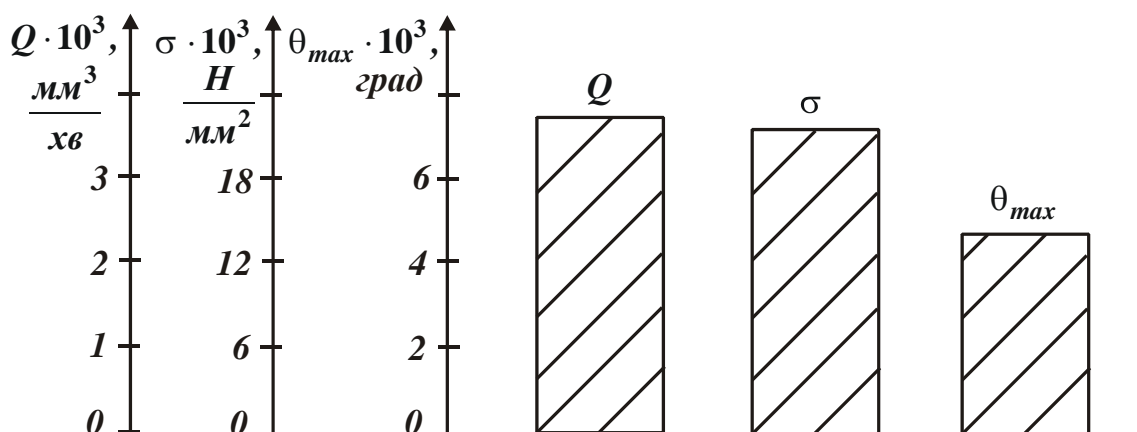


Рисунок 1 – Значення параметрів Q , σ і θ_{max} при плоскому шліфуванні деталі зі сталі 3

Для аналізу теплової напруженості шліфування було проведено оцінювання максимальної температури різання за залежністю $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$. Теплофізичні властивості оброблюваного матеріалу – сталі 3: $c \cdot \rho = 4,93 \cdot 10^6$ Дж/(м³·град); $\lambda = 40,8$ Дж/(м·с·град). Розрахунками встановлено $\theta_{max} = 4544$ °С, що значно перевищує температуру плавлення оброблюваного матеріалу. Із залежності (1) встановлено відношення $\theta / \theta_{max} = 0,055$. Для значення $\theta_{max} = 4544$ °С отримано: $\theta = 250$ °С.

Для значень $t = 0,02$ мм і $t = 0,03$ мм розрахункові значення θ / θ_{max} і θ дорівнюють: 0,08; 0,12 і $\theta = 363,5$ °С; $\theta = 545$ °С (рис. 2). У цьому випадку отримані відносно невеликі значення температури різання θ обумовлені незнач-

ною продуктивністю обробки, а також тим, що використовується лише до 12 % теплового балансу шліфування. Зі збільшенням продуктивності обробки температура різання θ може досягти рівня температури плавлення оброблюваного матеріалу. Тому для забезпечення більш високої продуктивності та зниження енергоємності обробки A_{num} (умовного напруження різання σ) доцільно перейти від операції шліфування до операцій лезової обробки.

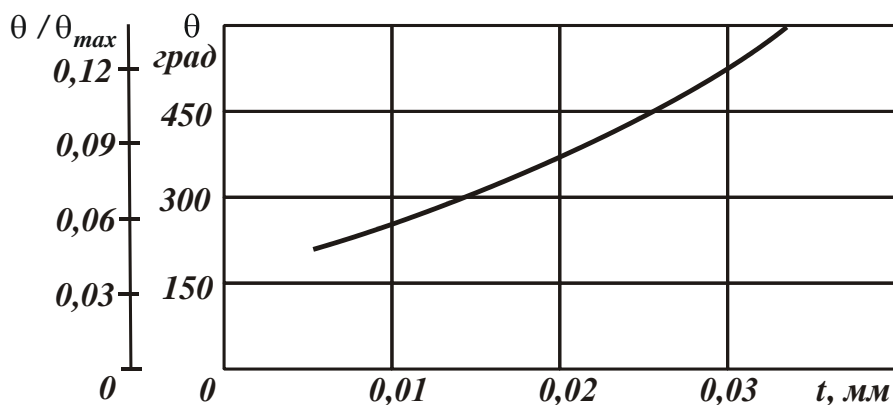


Рисунок 2 – Залежність температури різання θ та відношення θ / θ_{max} від глибини шліфування t

В роботі також наведено результати експериментальних досліджень операції розточування отворів $\varnothing 25$ мм в деталі зі сталі 3. Обробку здійснювали на верстаті QUASER MV204P із ЧПК FANUC 31iB із застосуванням розточувальної головки TRM 50 із додатковим її балансуванням. Різальний інструмент оснащено змінною багатогранною пластиною TPGX09020LDC100T, виготовленою із кермету зі зносостійким покриттям TiN. Режим різання: швидкість різання $V=157$ м/хв; глибина різання $t=0,1$ мм; подача $S=0,03$ мм/об.; частота обертання $n=2000$ об./хв. Продуктивність обробки $Q=V \cdot t \cdot S= 471$ мм³/хв. (рис. 3). Як видно, в даному випадку номінальна (задана) продуктивність обробки менше ніж при шліфуванні.

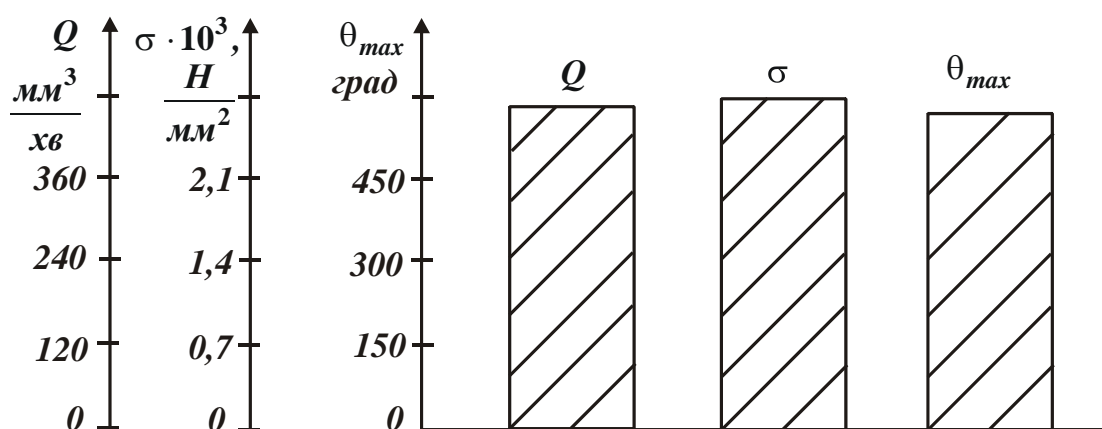


Рисунок 3 – Значення параметрів Q , σ і θ_{max} при розточуванні отворів

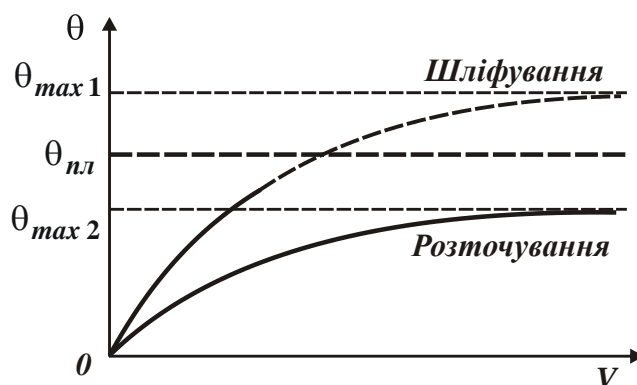


Рисунок 4 – Залежність температури різання θ від швидкості різання V

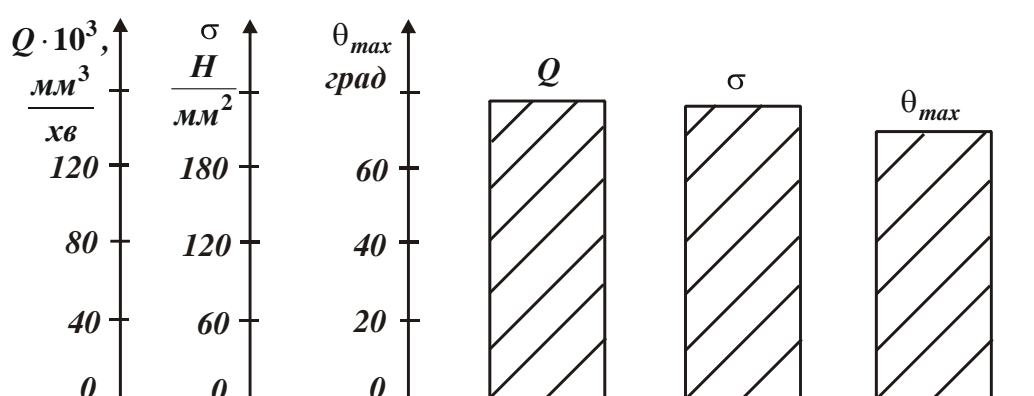


Рисунок 5 – Значення параметрів Q , σ і θ_{max} при точінні деталі «вал»

Експериментально встановлено $N=22$ Вт. Відповідно, $\sigma = N/Q = 2,8 \cdot 10^3$ Н/мм², що значно менше, ніж при шліфуванні.

Максимальна температура різання $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$ із урахуванням значення $c \cdot \rho = 4,93 \cdot 10^6$ Дж/(м³·град) для сталі 3 дорівнює $\theta_{max} = 568$ °С. Як видно, отримане значення θ_{max} значно менше температури плавлення оброблюваного матеріалу. Відповідно, температура різання θ приймає ще менше значення. За даних умов різання $\theta / \theta_{max} = 0,75$. Тоді $\theta = 426$ °С. Це вказує на можливість суттєвого зниження теплової та силової напруженостей механічної обробки, забезпечення високої якості оброблюваної поверхні шляхом зменшення умовного напруження різання майже до межі міцності на стиск оброблюваного матеріалу – сталі 3. Тому застосування на операції розточування отворів сучасного лезового інструмента зі змінною багатогранною пластиною, виготовленою із кермету зі зносостійким покриттям TiN (закордонного виробництва), дозволяє значно підвищити ефективність обробки. Це також вказує на те, що доцільно на фінішних операціях обробки отворів перейти від традиційної технології внутрішнього шліфування до технологій високошвидкісного розточування сучасними різальними лезовими інструментами закордонного виробництва.

В цьому випадку з'являється можливість суттєвого підвищення продуктивності обробки фактично без збільшення температури різання θ , оскільки вона незначно відрізняється від максимальної температури різання θ_{max} (рис. 4). При шліфуванні цього домогтися неможливо, оскільки відношення $\theta/\theta_{max} \ll 1$. Тому зі збільшенням продуктивності обробки буде збільшуватися й температура різання, однак тільки до значення температури плавлення оброблюваного матеріалу. Обмеженням збільшення продуктивності при точінні може бути лише задана точність обробки. Виконати цю умову застосуванням традиційних технологій лезової обробки, як показано в даній роботі, надто складно.

В роботі проведено експериментальні дослідження операції точіння деталі «вал», виготовленої із латуні ЛС59, на сучасному верстаті TAKISAWA NEX-910. Для латуні ЛС59: $c \cdot \rho = 3,23 \cdot 10^6$ Дж/(м³·град); коефіцієнт температуропровідності $-a = 32,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Режим різання: $V = 175$ м/хв; $t = 1,5$ мм; $S = 0,6$ мм/об. Продуктивність обробки $Q = V \cdot t \cdot S = 157,5 \cdot 10^3$ мм³/хв. (рис. 5). Експериментально встановлено, що $N = 600$ Вт. Відповідно, енергоємність обробки (питома робота різання) дорівнює: $A_{num} = N/Q = 0,228$ Дж/мм³, а $\sigma = 228$ Н/мм². Отже операція точіння характеризується невеликою енергоємністю обробки, а умовне напруження різання лише незначно перевищує межу міцності на стиск оброблюваного матеріалу. Цим показано, що основну частину енергетичного балансу точіння складає енергія "чистого" різання, яка більше енергії, що витрачається на подолання сил тертя в зоні різання.

Розрахунками встановлено, що максимальна температура різання в цьому разі дорівнює $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho) = 71$ °С. Відповідно, $\theta/\theta_{max} \approx 1$; $\theta \approx 70$ °С. Ці значення θ_{max} і θ значно менше температури плавлення оброблюваного матеріалу (латуні ЛС59), яка дорівнює 900 °С. Це є ще одним підтвердженням того, що в енергетичному балансі обробки лезовим інструментом переважає енергія «чистого» різання над енергією тертя, яке виникає в зоні різання.

Таким чином встановлено, що на операції точіння сучасним різальним інструментом можна суттєво підвищити продуктивність та знизити енергоємність обробки (умовне напруження різання σ) і температуру різання щодо операції шліфування. При цьому температура різання θ може досягати значення максимальної температури різання θ_{max} (рис. 4), чого неможливо досягти при шліфуванні. Це дозволяє значно збільшити продуктивність обробки фактично без збільшення температури різання, яка може досягати значення максимальної температури різання θ_{max} , що значно менше температури плавлення оброблюваного матеріалу.

В роботі проведено експериментальні дослідження операції фрезування деталі – фільєра макаронна "мушля", виготовленої з латуні ЛС59, на сучасному верстаті FANUC ROBODRILL α -D21iB. Інструмент – твердосплавна мікрофреза LNE0808, $D=0,8$ мм. Для латуні ЛС59: $c \cdot \rho = 3,23 \cdot 10^6$ Дж/(м³·град); $a = 32,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Режим різання: $V = 50$ м/хв; $n = 20000$ об./хв.; $t = 0,2$ мм; $S = 1200$ мм/хв.; ширина фрезування дорівнює діаметру мікрофрези $D=0,8$ мм.

Продуктивність обробки $Q = D \cdot t \cdot S = 192 \text{ мм}^3/\text{хв}$. (рис. 6). При цьому експериментально встановлено, що $N = 3 \text{ Вт}$. Відповідно, енергоємність обробки (питома робота різання) дорівнює: $A_{\text{нм}} = N/Q = 0,937 \text{ Дж/мм}^3$, а $\sigma = 937 \text{ Н/мм}^2$. Таким чином, умовне напруження різання незначно перевищує межу міцності на стиск оброблюваного матеріалу, тобто основну частину енергетичного балансу при фрезуванні складає енергія «чистого» різання.

Розрахунками встановлено, що $\theta_{\text{max}} = \sigma / (c \cdot \rho) = 290 \text{ }^\circ\text{C}$; $\theta / \theta_{\text{max}} = 0,2$. Відповідно, $\theta = 58 \text{ }^\circ\text{C}$. Як видно, температура різання при фрезуванні деталі, виготовленої із латуні ЛС59, значно вище, ніж при розточуванні. Це пов'язано із підвищенням інтенсивності тертя в зоні різання. Тому для зменшення температури різання при фрезуванні необхідно застосовувати охолоджувальну рідину.

В результаті застосування нових розроблених технологій лезової обробки вдалося суттєво – до 10 разів підвищити продуктивність і приблизно в стільки ж разів зменшити трудомісткість обробки при одночасному підвищенні якості та точності оброблюваних поверхонь. Також, завдяки застосуванню спеціально розроблених сучасних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями, вдалося скоротити на 90 % персонал слюсарів – складальників, фахівців із ручного доведення поверхонь деталей, які займалися виконанням традиційних технологій механічної обробки.

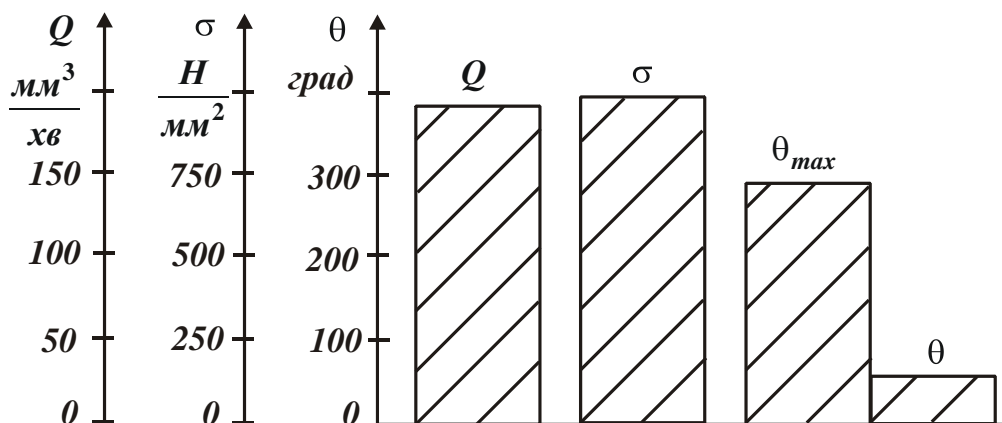


Рисунок 6 – Значення параметрів Q , σ , θ_{max} і θ при фрезуванні деталі – фільєра макаронна «мушля»

Слід зазначити, що раніше в умовах великосерійного виробництва у ТОВ «Імперія металів» виготовлялось до 20 тис. фільєр в місяць (не більше 7 видів в місяць), тобто 3000 на 1 вид виробу. Однак ринок вимагав гнучкості – переходу до дрібносерійного і навіть штучного виробництва зі середньосерійністю – не більше 200 деталей одного виду виробів. Тому застосування нового сучасного обладнання і технологій механічної обробки дозволило здійснити потужний стрибок – забезпечити виробництво 20 ... 22 тис. фільєр на місяць, але вже 60 ... 70 видів, тобто в 10 разів збільшити асортимент виготовлених виробів на місяць. В результаті було вирішено важливе завдання – зни-

ження вартості виробів до цін ринку, при цьому їх якість підвищилася до світового рівня, а асортимент виробів збільшився до 10 разів.

Якщо раніше виготовлялося 25 різновидів фільєр для виробництва макаронів, то в даний час – понад 4500 різновидів, тобто за 20 років кількість різновидів фільєр збільшилася до 200 разів. При цьому займані виробничі площі в ТОВ «Імперія металів» не збільшилися. Постійне удосконалення технологічних процесів дозволило збільшити випуск виробленої продукції приблизно на 20 % щорічно. Це досягнуто в результаті постійного оновлення виробничих потужностей і устаткування без збільшення штату персоналу (кількість працівників залишалася без зміни). В даний час забезпечено виробництво в достатній кількості для підприємств харчової промисловості роторів для печива, обсадних фільєр, штампів для виробництва цукерок, фільєр для виробництва нуги та пастили, валків для виробництва пельменів, різних запасних частин для кондитерських і макаронних машин та для інших харчових агрегатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Технологии производства: проблемы и решения: монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, С. А. Дитиненко, Крюк А. Г., Савченко Н. Ф., Шкурупий В. Г., Полянский В. И., Рябенков И. А., Новиков Д. Ф. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 536 с.

2. Современные технологии и техническое перевооружение предприятий: монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, А. А. Андилахай, Д. Ф. Новиков, В. И. Полянский. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 400 с.

Омельченко Є.І., Лебедев В.Г

Державний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна

СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ШЛІФУВАННІ ДЕТАЛЕЙ З МАРТЕНСИТНО-СТАРІЮЧИХ СТАЛЕЙ ВИСОКОПОРИСТИМИ АБРАЗИВНИМИ, ЕЛЬБОРОВИМИ ТА АЛМАЗНИМИ КРУГАМИ

Високопористі абразивні круги в порівнянні зі звичайними кругами мають підвищену ефективність при експлуатації на різних операціях шліфування. При їх використанні підвищується продуктивність, зменшуються сили і температура в зоні різання, знижується або усувається ризик появи дефектів шліфувального характеру, поліпшується фізико-механічний стан поверхневого шару обробленої деталі. Також до переваг високопористих абразивних кругів можна віднести поєднання підвищеної зносостійкості з гарантованим забезпеченням безприжогового шліфування в широкому діапазоні режимів обробки. Можливість поєднувати чорнову і чистову обробки, досягнення високого знімання матеріалів при високих швидкостях різання і кращому відводу стружки, зменшу-

<i>Опарина И.Б., Колмаков А.Г.</i> МОНИТОРИНГ ПОДАЧИ ВОЗДУХА В СТЕКЛОВАРЕННУЮ ПЕЧЬ	130
<i>Пермяков О.А., Клочко О.О., Камчатна-Степанова К.В., Новіков Ф.В.</i> ЧЕРВ'ЯЧНА ФРЕЗА З РОЗДІЛЬНОЮ СХЕМОЮ ФОРМОУТВОРЕННЯ З ПОВОРОТНИМИ НЕПЕРЕТОЧУВАНИМИ РІЗАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ	133
<i>Пермяков О.А., Скидан Н.П., Кондратюк О.Л., Скоркін А.О., Півень Л.В.</i> НАУКОВИЙ ПІДХІД ВВЕДЕННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ	135
<i>Пижов І.М., Федорович В.О., Волошкіна І.В.</i> ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ СПА З ВВЕДЕННЯМ В ЗОНУ ОБРОБКИ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ	136
<i>Полянський В.І., Новіков Ф.В.</i> РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ СКЛАДНОПРОФІЛЬНОЇ ФОРМУЮЧОЇ ОСНАСТКИ ДЛЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	140
<i>Омельченко Є.І., Лебедев В.Г.</i> СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ШЛІФУВАННІ ДЕТАЛЕЙ З МАРТЕНСИТНО-СТАРІЮЧИХ СТАЛЕЙ ВИСОКОПОРИСТИМИ АБРАЗИВНИМИ, ЕЛЬБОРОВИМИ ТА АЛМАЗНИМИ КРУГАМИ	146
<i>Протасенко О.Ф., Мигаль Г.В.</i> ІНСТРУМЕНТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЦИФРОВИХ ЕКОСИСТЕМ	149
<i>Ридный Р.В., Антощенко Р.В., Фабричникова И.А., Коломиец В.В.</i> ВЛИЯНИЕ МЕТОДА КРЕПЛЕНИЯ РЕЗЦОВ ИЗ ПСТМ НА ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ	152
<i>Рідний Р.В., Коломієць В.В., Антощенко Р.В., Богданович С.А., Кліменко С.А., Копейкіна М.Ю.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ІЗ ПНТМ ПРИ ОБРОБЦІ ТРУДНООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ	154
<i>Рожко В.І.</i> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ І БЕЗПЕКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА	156
<i>Савченко Н.Ф., Мягков В.Ю., Дементеева Я.Ю., Савченко Н.Н.</i> ИЗ ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФАБЛАБ ХНЕУ ИМ. СЕМЕНА КУЗНЕЦА	158
<i>Савченко Н.Ф., Дитиненко С.А., Жовтобрюх Д.А.</i> ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ	163