

П.П. Мельничук, д.т.н., проф.
 В.Ю. Лоєв, доц.
 О.В. Головатенко, м.н.с.
 А.С. Манохін, асп.

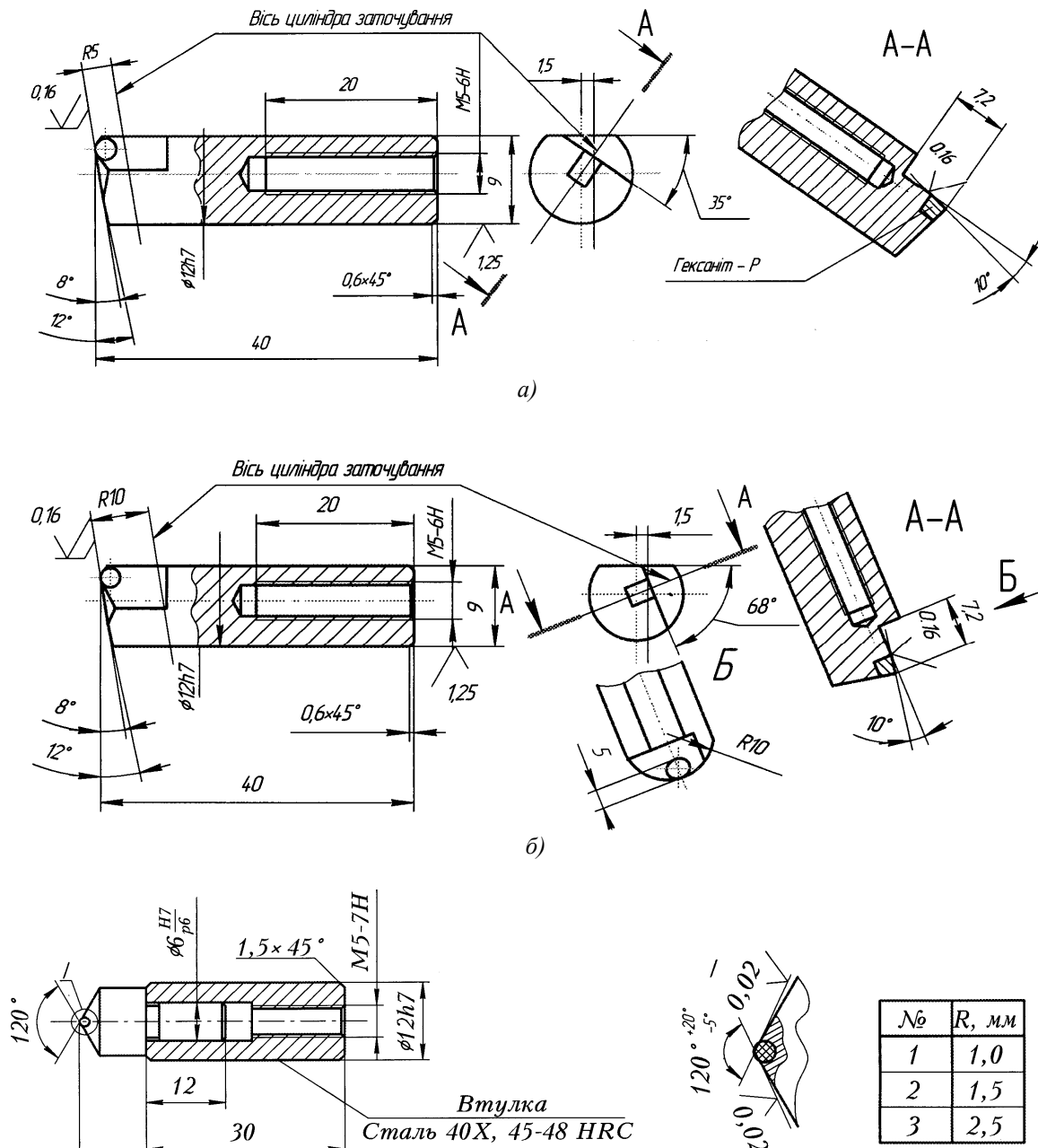
ФІНІШНА ОБРОБКА ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ КОМБІНУВАННЯМ ЧИСТОВОГО СТРУГАННЯ ЗІ ЗМІННИМИ КУТАМИ РІЗАННЯ І ВИГЛАДЖУВАННЯМ

В статті наведені результати досліджень комбінованого методу фінішної обробки плоских протяжних поверхонь деталей з загартованої сталі, загартованого і незагартованого чавуну з траєкторією руху формуютьорюючих елементів (чистового різця і вигладжувача) перпендикулярною до вектора подач заготовки.

Захищений деклараційним патентом України спосіб фінішної обробки плоских протяжних поверхонь (№ 63517А, 7В23С3/00), забезпечує видалення більшої частини припуску на обробку жорстко закріпленими в корпусі комбінованого інструменту двадцятьма двома чорновими елементами, розташованими на п'яти логарифмічних спіралях з різними вильотами відносно торця корпусу (ступінчасте торцеве фрезерування), припуску на чистовий прохід стругальним елементом з прямолінійною траєкторією руху, перпендикулярною до вектора подач заготовки і наступне поверхневе деформування (вигладжування) з рухом індентора за тією ж траєкторією і в тому ж напрямку, що і чистовий прохід [1].

При перетворенні колового руху чистового і вигладжувального елементів у прямолінійний відбувається зміна кутів різання різця і провертання індентора відносно оброблюваної поверхні.

Формуютьорюючі елементи мають наступні розміри і матеріал.



в)

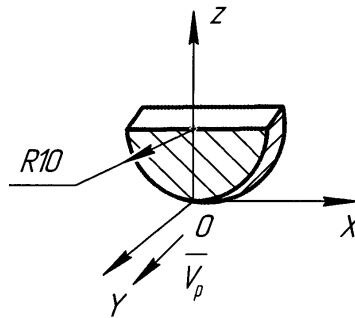
Рис. 1. Формоутворюючі елементи
а) чистовий різець; б) чорновий різець; в) вигладжувач.

Як видно з рис. 1 передній кут заточки різців $\gamma^y = -10^\circ$, задній кут $\alpha = 8^\circ$. Різницю складають радіуси задньої поверхні (для чорнових різців $R=5$ мм, для чистового $R=10$ мм), а також кути λ (для чорнових різців $\lambda = -35^\circ$, для чистового $\lambda = -22^\circ$). Визначення кінематичних кутів чистового різця в результаті перетворення його колового руху у прямолінійний проведено наступним чином.

Вихідні дані.

Для заданої умовно нерухомої системи координат XYZ. Вісь Y співпадає з швидкістю різання \vec{V}_p .

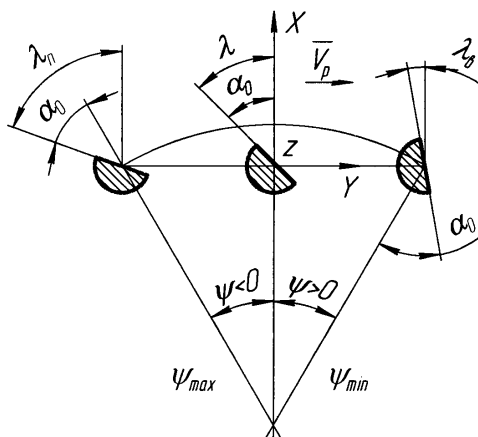
Рис. 2. Система координат нерухома



В зв'язку з особливостями кінематики процесу при поступальному русі в напрямку \vec{V}_p різець буде обертатися навколо осі Z. Це обертання позначимо в горизонтальній площині (площині, яка паралельна векторам подачі \vec{V}_s й швидкості різання \vec{V}_p) за допомогою кута λ .

Щоб пов'язати λ з обертом фрези навколо осі O_{fp} , введемо кут ψ , який визначає цей оберт.

Рис. 3. Зміна кута λ



З геометрії побудови (Рис. 2) видно, що

$$\left. \begin{aligned} \lambda_i &= \alpha_0 + (\psi_i) \text{ при } \psi_i \in [\psi_{min}; 0] \\ \lambda_i &= \alpha_0 - (\psi_i) \text{ при } \psi_i \in (0; \psi_{max}] \end{aligned} \right\} \lambda_i = \alpha_0 - (\psi_i) \text{ при } \psi_i \in (\psi_{min}; \psi_{max}),$$

де $\alpha_0 = 22^\circ$ – кут початкової установки різця.

Ріжучий елемент – (пластина з гексаніту - Р у формі циліндра), має наступні параметри:

$R = 10$ мм – радіус заточки по задній поверхні;

$\gamma_{cm} = -10^\circ$ – передній кут;

$\alpha_{cm} = 8^\circ$ – задній кут.

Виведення залежностей, які визначають кінематичні кути (γ_k, α_k).

Для визначення γ_k та α_k пов'яжемо з передньою поверхнею пластини систему координат, послідовні повороти якої на кути λ та γ_{cm} дадуть можливість виразити γ_{cm} та α_{cm} , відомі в цій системі (будемо позначати її $X'Y'Z'$ та $X''Y''Z''$ при послідовних поворотах) в координатах XYZ (зв'язані з вектором \vec{V}) γ_{cm} та α_{cm} виражені в XYZ – будуть шуканими кінематичними кутами різця.

Оберт на кут λ .

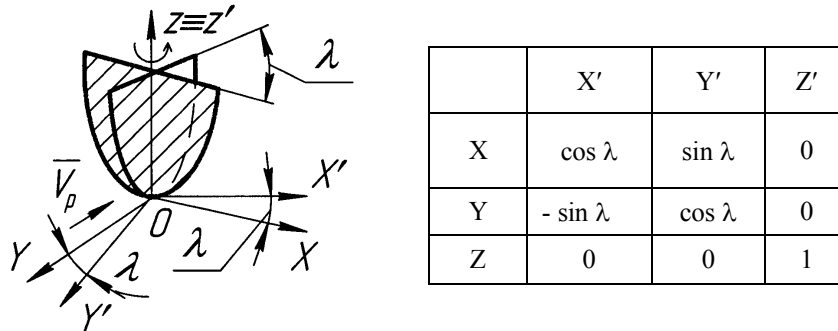


Рис. 4. Система координат рухома (оберт на кут λ)

Оберт рухомої системи зв'язаної з передньою поверхнею на кут λ відносно нерухомої системи XYZ пов'язаною з \vec{V}_p .

Оберт на кут γ .

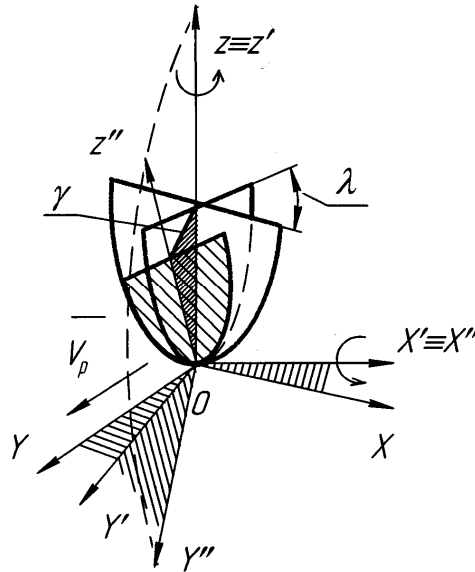


Рис. 5. Система координат рухома (оберт на кут γ)

(У зв'язку з поворотом проти годинникової стрілки, кут $\gamma = -10^\circ$ будемо вважати додатнім, тобто $\gamma = 10^\circ$).

| | | | |
|------|-------|---------------|---------------|
| | X'' | Y'' | Z'' |
| X' | 1 | 0 | 0 |
| Y' | 0 | $\cos \gamma$ | $\sin \gamma$ |

| | | | |
|------|---|----------------|---------------|
| Z' | 0 | $-\sin \gamma$ | $\cos \gamma$ |
|------|---|----------------|---------------|

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \lambda_i & \sin \lambda_i \cos \gamma & \sin \lambda_i \sin \gamma \\ -\sin \lambda_i & \cos \lambda_i \cos \gamma & \cos \lambda_i \sin \gamma \\ 0 & -\sin \gamma & \cos \gamma \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{pmatrix},$$

$$\begin{cases} X = X'' \cos \lambda_i + Y'' \sin \lambda_i \cos \gamma + Z'' \sin \lambda_i \sin \gamma \\ Y = -X'' \sin \lambda_i + Y'' \cos \lambda_i \cos \gamma + Z'' \cos \lambda_i \sin \gamma \\ Z = 0 - Y'' \sin \gamma + Z'' \cos \gamma \end{cases}$$

За визначенням:

Кінематичний передній кут вимірюється між площиною, яка перпендикулярна до вектора результуючого руху різання й передньої поверхні в напрямку сходу з неї зрізаємої стружки.

Вважаємо, що напрямок сходу стружки складає в передній площині кут λ (кут нахилу ріжучої крайки) з перпендикуляром до ріжучої крайки, тобто з площиною YZ .

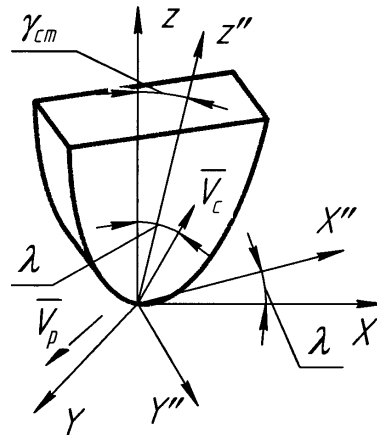
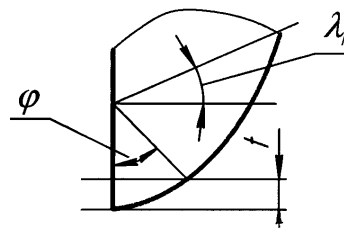


Рис. 6. Схема напрямку сходу стружки

\vec{V}_c'' – вектор, який визначає напрямок сходу стружки (в системі $X''Y''Z''$).

Нехай $|\vec{V}_c''| = 1 \Rightarrow \vec{V}_c'' = \vec{i}'' \sin \lambda + \vec{k}'' \cos \lambda$,

$\vec{V}_p = \vec{j}$ (в системі XYZ).



$$\begin{cases} X = \sin \lambda_{ik} \cos \lambda_i + \cos \lambda_{ik} \sin \lambda_{ii} \sin \gamma \\ Y = -\sin \lambda_{ik} \sin \lambda_i + \cos \lambda_{ik} \cos \lambda_i \sin \gamma \\ Z = \cos \lambda_{ik} \cos \gamma \end{cases}$$

Якщо прийняти, що $\lambda_{ik} = \lambda_i$ (тобто, що кут нахилу ріжучої крайки та кут сходу стружки рівні куту λ , то:

$$\vec{V}_c = (\sin \lambda_i \cos \lambda_i + \cos \lambda_i \sin \lambda_i \sin \gamma; -\sin^2 \lambda_i + \cos^2 \lambda_i \sin \gamma; \cos \lambda_i \cos \gamma);$$

$$\vec{V}_p = (0; 1; 0);$$

$$\cos(90 - \gamma'_k) = \frac{\vec{V} \cdot \vec{V}_c}{|\vec{V}| \cdot |\vec{V}_c|}$$

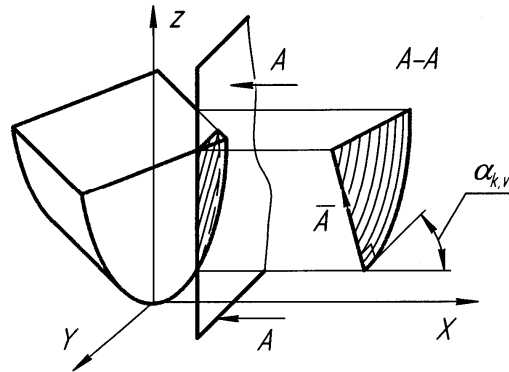
$$\sin \gamma'_k = \frac{(-\sin^2 \lambda_i + \cos^2 \lambda_i \sin \gamma)}{\sqrt{(\sin \lambda_i \cos \lambda_i + \cos \lambda_i \sin \lambda_i \sin \gamma)^2 + (\cos^2 \lambda_i \sin \gamma - \sin^2 \lambda_i)^2 + (\cos \lambda_i \cos \gamma)^2}}$$

$$\gamma'_k = -\arcsin \left[\frac{(-\sin^2 \lambda_i + \cos^2 \lambda_i \sin \gamma)}{\sqrt{(\sin \lambda_i \cos \lambda_i + \cos \lambda_i \sin \lambda_i \sin \gamma)^2 + (\cos^2 \lambda_i \sin \gamma - \sin^2 \lambda_i)^2 + (\cos \lambda_i \cos \gamma)^2}} \right]$$

$$(\sin \lambda_i \cos \lambda_i + \cos \lambda_i \sin \lambda_i \sin \gamma)^2 + (\cos^2 \lambda_i \sin \gamma - \sin^2 \lambda_i)^2 + (\cos \lambda_i \cos \gamma)^2 = 1,$$

$$\gamma'_k = -\arcsin(-\sin^2 \lambda_i + \cos^2 \lambda_i \sin \gamma).$$

$$\vec{A} : X''Y''Z'' (0; 0; 1),$$



$$\vec{V} : XYZ (0; -1; 0),$$

$$XYZ \quad \vec{A} : (\sin \lambda \sin \alpha_{cm}; \cos \lambda \sin \alpha_{cm}; \cos \alpha_{cm}),$$

$$XYZ \quad \vec{V} : (0; -1; 0).$$

$$\cos(90 + \alpha_{kv}) = -\frac{\cos \lambda \sin \gamma_{cm}}{\sqrt{(\sin \lambda \sin \alpha_{cm})^2 + (\cos \lambda \sin \alpha_{cm})^2 \cos^2 \alpha_{cm}}},$$

$$\alpha_{kv} = \arcsin(\cos \lambda \sin \alpha_{cm}).$$

Розрахунки та аналіз змін кутів, проведені виходячи з того, що прийнятий кут закріплення чистового різця $-\alpha_0$.

З метою оптимізації цього параметра проведені кореляційні визначення змін кутів γ_{ki} (Рис. 7), λ_i (Рис. 8) і α_{ki} (Рис. 9).

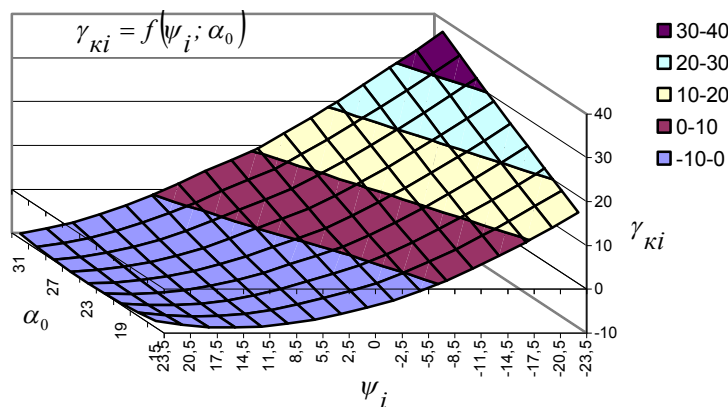


Рис. 7. Залежність кінематичного переднього кута від кута повороту інструмента (ψ_i) та початкового кута установки (α_0)

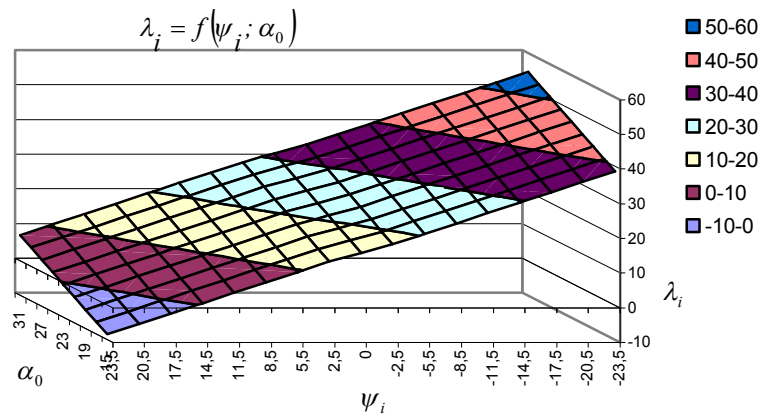


Рис. 8. Залежність кута λ від кута повороту інструмента (ψ_i) та початкового кута установки (α_0)

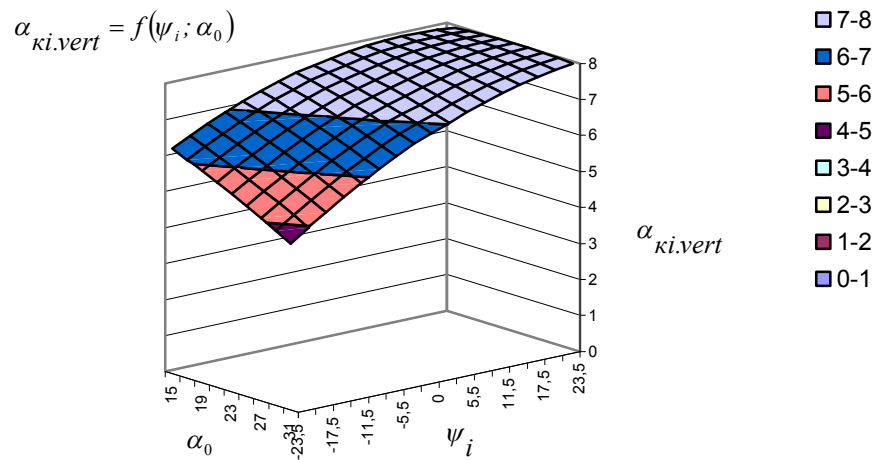


Рис. 9. Залежність кінематичного заднього кута в вертикальній площині від кута повороту інструмента (ψ_i) та початкового кута установки (α_0)

Зміна кутів при прийнятому куті α_0 закріплення чистового різця відносно повзуна наведена на рис. 10.

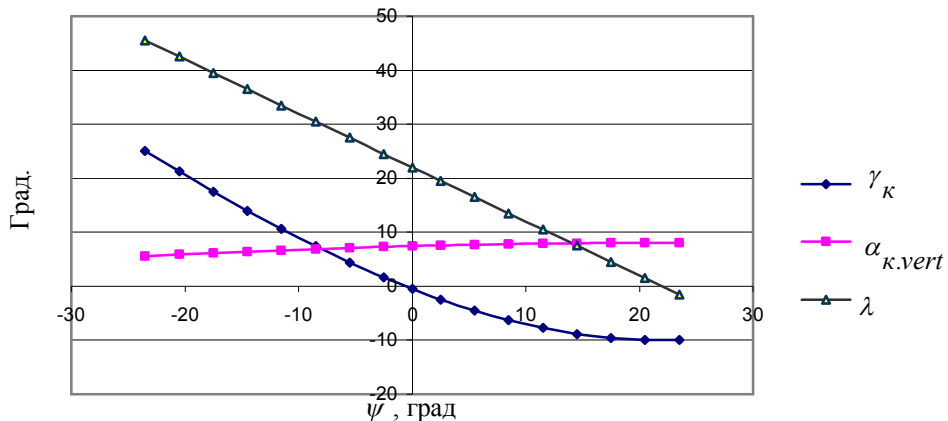
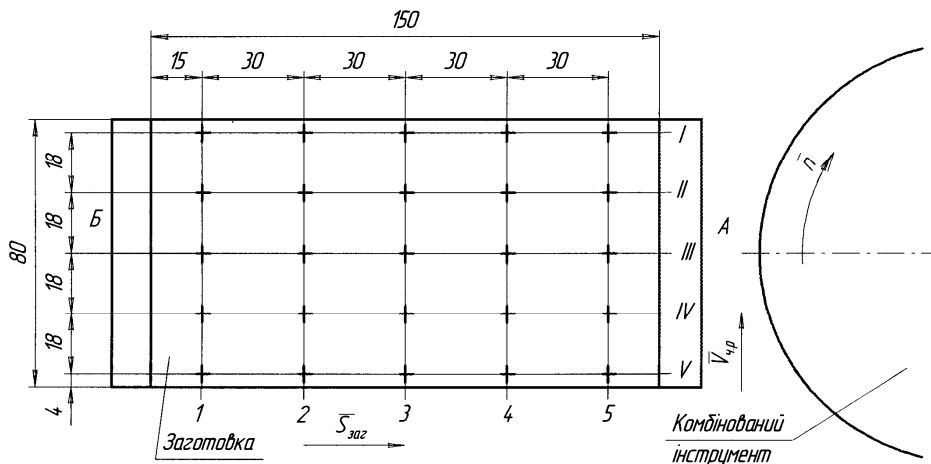


Рис. 10. Залежність кутів γ_k , $\alpha_{k.vert}$, λ від оберту інструмента (ψ_i) та початкового кута установки чистового різця ($\alpha_0 = 22^\circ$)

При врізанні, як свідчить графік рис. 10, задній кут зменшений на 2° , а передній є позитивним порівняно зі статичними кутами, що значно підвищує стійкість чистового різця.

Оброблена поверхня була поділена на п'ять поздовжніх і п'ять поперечних відносно напрямку подачі напрямлень, як наведено на рис. 11



Ш – ширина – 80 мм,
Д – довжина – 150 мм.

Рис. 11. Схема обробки і напрямки вимірювання шорсткості поверхні

Обробка проводилась на обраних режимах:

- загартованих сталевих і чавунних $n=250$ об/хв, $S=0,05$ мм/об, $t=0,6..0,8$ мм;
- чавунних незагартованих $n=360$ об/хв, $S=0,05$ мм/об, $t=0,8$ мм.

Щільність розподілу ймовірності результатів статистичної обробки сталевих загартованих заготовок наведена на рис 12 і 13.



Рис. 12. Щільність розподілу ймовірності (Д)

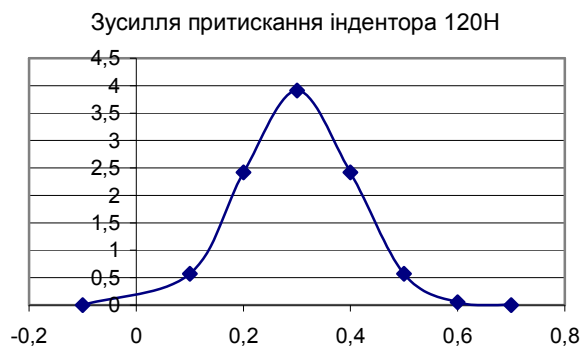


Рис. 13. Щільність розподілу ймовірності (Ш)

Щільність розподілу ймовірності результатів статистичної обробки заготовок з загартованого чавуну наведена на рис 14 і 15.

Зусилля притискання індентора 150Н

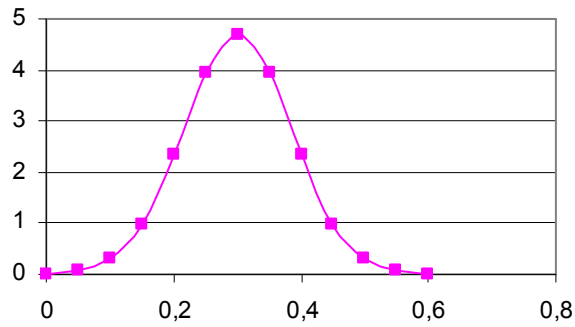


Рис. 14. Щільність розподілу ймовірності (Д)

Зусилля притискання індентора 120Н

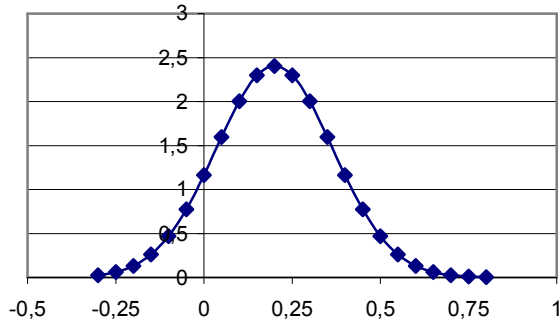


Рис. 15. Щільність розподілу ймовірності (Ш)

Заготовки з незагартованого чавуну оброблялись з більшими швидкостями різання і вигладжування ніж сталеві і чавунні загартовані, без зміни величини подачі на обробку.

Виміри шорсткості проводились у поздовжньому і поперечному напрямках (аналогічно попереднім). Статистична обробка результатів зображена на рис. 16 і 17.

Зусилля притискання індентора 90Н

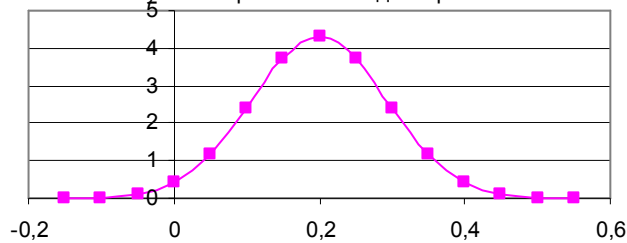


Рис. 16. Щільність розподілу ймовірності (Д)

Зусилля притискання індентора 90Н

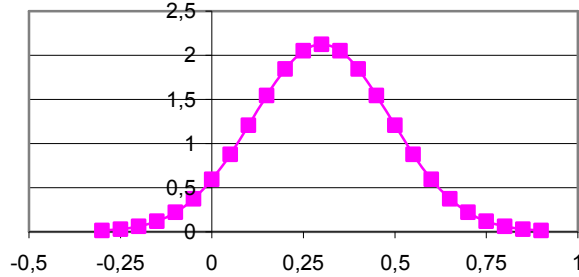


Рис. 17. Щільність розподілу ймовірності (Ш)

Висновки. Як свідчать результати вимірювання у перпендикулярному по відношенню до вектора подачі напрямку, шорсткість рівномірна по ширині оброблюваної поверхні, порівняно з нерівномірною шорсткістю, яка притаманна чистовому торцевому фрезеруванню [2].

Тобто, зміна кутів різання чистового різця з наступним вигладжуванням поверхні забезпечує рівномірну шорсткість як у поздовжньому, так і у поперечному напрямках.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Спосіб плоского фрезерування торцевими фрезами. Деклараційний патент на винахід № 63517А. Україна. 7В23С3/00, Виговський Г.М., Лоев В.Ю., Мельничук П.П. № 2003043853; Заявл. 25.04.2003. Опубл. 15.01.2004. Бюл. №1.-3с.
2. Стругинський В.Б., Мельничук П.П. Математичне моделювання металорізальних верстатів. – Житомир.: ЖІТІ, 2002. -570 с.