

## РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ

**Жовтобрюх В.О.**, канд. техн. наук (ТОВ Технічний Центр “ВаріУс”)

**Новиков Ф.В.**, докт. техн. наук

(Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця)

Підвищення продуктивності й зниження собівартості обробки, забезпечення високих вимог до точності та якості виготовлення відповідальних деталей припускає застосування зносостійких з високою ріжучою здатністю інструментів і високооберткових сучасних верстатів зі ЧПУ, які реалізують умови високошвидкісної обробки. Це, наприклад, стало вирішальним фактором у вирішенні проблеми економічного виготовлення високоточних деталей гідравлічних систем, таких як плунжер, п'ята й сферична втулка (рис. 1) [1, 2].

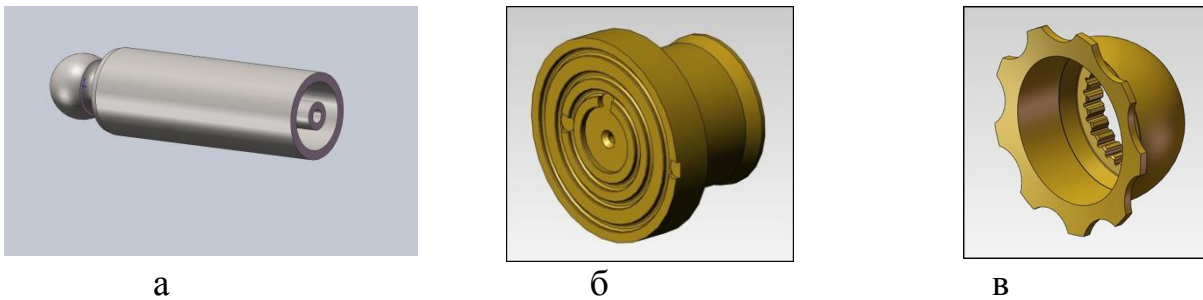


Рис. 1. Деталі гідравлічних систем: а – плунжер; б – п'ята; в – втулка сферична  
Плунжер виготовляється зі сталі 40ХФ2, а п'ята й втулка сферична – з ливарної латуні ЛМцСКА. Обробку зазначених деталей (більше 10 різновидів і типорозмірів деталей) запропоновано здійснювати на високопродуктивному двошпиндельному токарному обробному центрі PUMA 2100MS із приводним фрезерним інструментом (вісь С) і контр-шпинделем (“DOOSAN” виробництва Південна Корея), оснащеним револьверною головкою для зміни інструмента й системою управління (ЧПУ) Fanuc Oi-TD (рис. 2). Для кожного виробу виготовлений окремий комплект затискного оснащення, а для операцій кільцевого фрезерування й глибокого свердління – верстат комплектувався потужною гідростанцією на 70 бар.

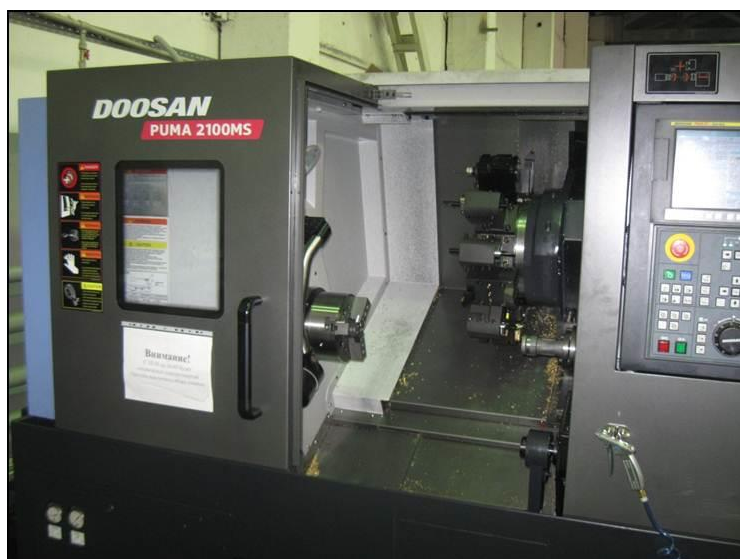


Рис. 2. Високопродуктивний двошпindelний токарний обробний центр PUMA 2100MS із приводним фрезерним інструментом і контр-шпindelлем (“DOOSAN”)

При розробці нової технології механічної обробки деталей гідравлічних систем був зроблений основний упор на фактор економічності, зв'язаний, з однієї сторони, з підвищенням продуктивності й зменшенням собівартості обробки, а з іншої сторони, – з універсалізацією встаткування зі ЧПУ шляхом застосування нестандартних різальних інструментів і спеціального оснащення.

Так, раніше розглянуті деталі – плунжер, п'ята й втулка сферична – оброблялися на різному встаткуванні. Навіть окремі операції доводилося виконувати на різних верстатах. Наприклад, токарну обробку плунжера виконували на одному встаткуванні, а глибоке свердління – на спеціальному верстаті для глибокого свердління. Зараз ці операції об'єднані й виконуються на одному верстаті “DOOSAN”. Крім того, використовуючи верстати агрегатного типу, складно коректувати розмір оброблюваної деталі у зв'язку зі зношуванням різального інструменту. Для введення корекції на агрегатному верстаті необхідно затрачати більше 5 хвилин. Для введення корекції на верстаті “DOOSAN” зі ЧПУ – усього 20 секунд. Наприклад, при обробці на агрегатному верстаті при виявленні браку на 3-х оброблених деталях із 7, очевидно, і 4 наступні оброблені деталі підуть у брак. При використанні верстата “DOOSAN” є можливість контролювати кожну деталь, що фактично виключає брак при обробці. При цьому з'являється можливість збільшення продуктивності обробки на кожній операції за рахунок підвищеної жорсткості верстата “DOOSAN”.

Отже, застосування такого встаткування як верстат зі ЧПУ “DOOSAN” дозволяє вирішити проблему економічності й продуктивності обробки головним чином за рахунок його універсалізації, можливості обробки трьох розглянутих типів деталей (плунжер, п'ята й втулка сферична) на одному верстаті. При цьому скорочуються витрати на енергоресурси. Для обслуговування верстата потрібний один робітник, тоді як для обробки даних деталей на агрегатних верстатах необхідно більше 5 робітників. Це дозволяє заощаджувати фонд заробітної плати робітників. Крім того, мінімізується кількість бракованих дета-

лей. Характеристики верстата “DOOSAN” дозволяють виконувати токарну обробку деталей різної конфігурації. У випадку зміни конструкції деталі є можливість швидкого переналагодження встаткування.

Для забезпечення мінімально можливої собівартості обробки визначалися оптимальні значення стійкості різальних інструментів та швидкості різання. При цьому значення подачі й глибини різання встановлювалися максимально можливими, виходячи з умов забезпечення найбільшої продуктивності обробки. Нижче наведені результати експериментальних досліджень застосування сучасних збірних конструкцій твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями виробництва фірми TaeguTec (Південна Корея) замість традиційно використовуваних для обробки розглянутих вище трьох типових деталей гідравлічних систем: плунжера, п'яти й втулки сферичної. Розглянемо можливості підвищення ефективності операцій механічної обробки плунжера (рис. 1а).

1. За існуючою технологією напівчистова обробка зовнішньої циліндричної поверхні плунжера виконувалася контурним різцем із твердого сплаву T15K6 із режимом:  $V = 40$  м/хв.,  $S = 0,15$  мм/об.,  $t = 1,0$  мм. З метою підвищення продуктивності й зниження трудомісткості й собівартості обробки запропоновано використовувати сучасний збірний токарний різець зі змінною багатогранною пластиною з твердого сплаву TT8125 зі зносостійким покриттям (рис. 3) виробництва фірми TaeguTec (Південна Корея). Завдяки високій стійкості багатогранних змінних пластин зі зносостійким покриттям удалося інтенсифікувати режим різання:  $V = 100$  м/хв.,  $S = 0,1$  мм/об.,  $t = 2,0$  мм. Це дозволило в 3 рази збільшити продуктивність обробки і виключити численні перезаточення інструмента й таким чином зменшити трудомісткість і собівартість обробки.



Рис. 3. Збірний токарний різець зі змінною багатогранною пластиною TT8125



Рис. 4. Збірний токарний різець з кутом у плані  $93^\circ$  й зі змінною багатогранною пластиною TT8115

2. Ще більший ефект був досягнутий на операції чистової токарної обробки, а також при формуванні сфери й радіуса плунжера. Відповідно діючої технології, дана операція здійснюється тим же різцем із твердого сплаву T15K6 з режимом різання:  $V = 45$  м/хв.,  $S = 0,1$  мм/об.,  $t = 0,08$  мм. Замість цього різця впроваджено сучасний збірний токарний різець з кутом у плані  $93^\circ$  зі змінною багатогранною пластиною із твердого сплаву TT8115 (рис. 4). Режим різання:  $V = 250$  м/хв.,  $S = 0,12$  мм/об.,  $t = 0,3$  мм. У результаті вдалося підвищити продуктивність обробки більш ніж в 10 разів.

3. Для свердлення отворів у плунжері застосовувалися центрувальні свердла зі швидкорізальної сталі P18 з режимом різання:  $V = 40$  м/хв.,  $S = 0,1$  мм/об. Застосу-



Рис. 5. Свердло ЕСЕМ 2060 зі сплаву UF 20

вання свердла ЕСЕМ 2060 зі сплаву UF 20 (рис. 5) дозволило збільшити швидкість різання до  $V = 80$  м/хв. при такій же подачі  $S = 0,1$  мм/об. З метою підвищення продуктивності та якості обробки отворів були розроблені й впроваджені кардинально нові конструкції свердел для глибокого свердління отвору  $\varnothing 3,15$  мм з довжиною ріжучої частини 125 мм. Свердління рекомендується виконувати з режимом різання:  $V = 60$  м/хв.,  $S = 0,08$  мм/об.

Нижче наведено розроблені ефективні операції механічної обробки деталі “п'ята” (рис. 1б).

1. За діючою технологією напівчистова обробка зовнішньої циліндричної поверхні деталі “п'ята” виконувалася фасонним різцем зі швидкорізальної сталі P18 з режимом різання:  $V = 100$  м/хв.,  $S = 0,1$  мм/об.,  $t = 2,0$  мм. Замість цього інструмента був застосований сучасний збірний токарний різець TDJNL 2525



Рис. 6. Збірний токарний різець зі змінною багатогранною пластиною зі сплаву K10

M15 зі змінною багатогранною пластиною DNMG 150608 ML зі сплаву K10 на основі WC+Co (рис. 6, табл. 1). Режим різання:  $V = 350$  м/хв.,  $S = 0,25$  мм/об.,  $t = 1,5$  мм. У результаті продуктивність обробки збільшилася в 6 разів, майже в таку ж кількість разів зменшилася собівартість обробки.

Таблиця 1

#### Механічні й фізичні властивості твердого сплаву K10

Модуль пружності, Н/мм <sup>2</sup>	Межа міцності на вигин, Н/мм <sup>2</sup>	Межа міцності на стиск, Н/мм <sup>2</sup>	Твердість (HRA)	Теплопровідність, кал/(см <sup>3</sup> ·К)	Коефіцієнт теплового розширення, 10 <sup>-6</sup> /град.
620	> 2 400	6 200	92,7	0,19	4,7

2. Обробка 3-х глухих отворів  $\varnothing 3,18 \pm 0,24$  мм раніше виконувалася спеціальним свердлом  $\varnothing 3,18$  мм зі швидкорізальної сталі P18 із режимом різання  $V = 30$  м/хв.,  $S = 0,05$  мм/об. З ціллю підвищення ефективності обробки на цій операції запропоновано застосовувати спеціальне твердосплавне свердло BOF D3.18X0.7X 60-6 з ультрадрібнозернистого твердого сплаву UF10 (рис. 7) з режимом різання  $V = 120$  м/хв.,  $S = 0,07$  мм/об. Це дозволило більш ніж в 5 разів підвищити продуктивність обробки при одночасному зменшенні собівартості обробки.

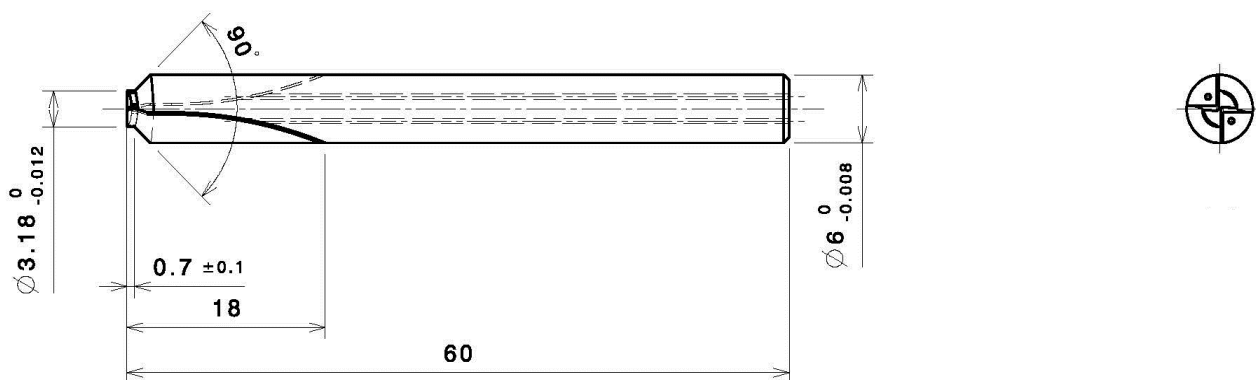


Рис. 7. Креслення спеціального твердосплавного свердла VOF D3.18X0.7X 60-6 зі сплаву UF10

3. Обробка центрального отвору  $\varnothing 1,57^{+0,11}_{-0,04}$  мм раніше виконувалася спеціальною фрезою  $\varnothing 1,57$  мм зі швидкорізальної сталі P18 із режимом різання  $V = 30$  м/хв.,  $S = 0,05$  мм/об. Застосування спеціальної твердосплавної фрези SSD D1.6X20FX 70-6 зі сплаву UF10 (рис. 8) з режимом різання:  $V = 100$  м/хв.,  $S = 0,07$  мм/об., дозволило в 5 разів збільшити продуктивність і знизити собівартість обробки.

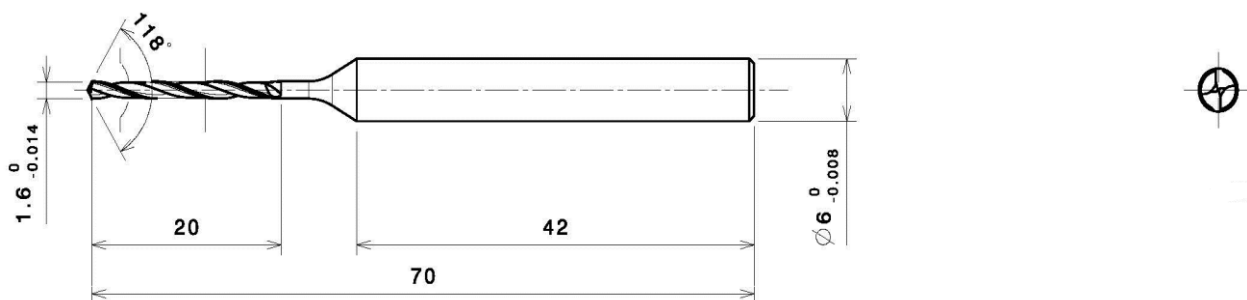


Рис. 8. Креслення спеціальної твердосплавної фрези SSD D1.6X20FX 70-6 зі сплаву UF10

4. Точіння торцевих канавок запропоновано виконувати з режимом різання:  $V = 150$  м/хв.,  $S = 0,1$  мм/об. канавковим різцем зі змінною пластиною зі сплаву K10. Раніше ця операція виконувалася напайним канавковим різцем зі швидкорізальної сталі P18 з режимом різання:  $V = 70$  м/хв.,  $S = 0,07$  мм/об. У підсумку досягнуте збільшення продуктивності обробки до 3-х разів.

5. Чорнова операція розточування отвору  $\varnothing 17,12 \pm 0,04$  мм здійснюється різцем зі змінною пластиною із сплаву K10 (рис. 9). Режим різання:  $V = 110$  м/хв.,  $S = 0,08$  мм/об.,  $t = 0,5$  мм. Раніше на даній операції використовувався розточувальний фасонний різець зі швидкорізальної сталі P18. Режим різання:  $V = 50$  м/хв.,  $S = 0,05$  мм/об.,  $t = 0,5$  мм. Це дозволило до 4-х разів підвищити продуктивність обробки.



Рис. 9. Змінна пластина зі сплаву K10

Для обробки сфер R1,52 і  $\varnothing 3,94 \pm 0,11$  мм традиційно використовувалися спеціальні фрези



зі швидкорізальної сталі P18 з режимом різання:  $V = 50$  м/хв.,  $S = 0,05$  мм/об. Завдяки використанню збірних фрез із твердого сплаву UF10, які дозволяють реалізувати режим різання:  $V = 150$  м/хв.,  $S = 0,08$  мм/об., удалося підвищити швидкість різання й продуктивність обробки в 3 рази.

Обробка стопорної канавки за новою технологією здійснюється токарним різцем із змінною пластиною зі сплаву K10. Режим різання:  $V = 420$  м/хв.,  $S = 0,1$  мм/об.,  $t = 0,5$  мм. Раніше ви-



Рис. 10. Збірний токарний різець із змінною багатогранною пластиною зі сплаву K10

користовувався контурний різець зі швидкорізальної сталі P18. Режим різання:  $V = 110$  м/хв.,  $S = 0,08$  мм/об.,  $t = 0,1$  мм. Це дозволило багаторазово (більш ніж в 10 разів) підвищити продуктивність обробки.

Нижче наведено оцінку ефективності застосування розроблених операцій механічної обробки деталі

“втулка сферична” (рис. 1в).

За діючою технологією операція напівчистої обробки зовнішньої циліндричної поверхні деталі “втулка сферична”, а також торцевої поверхні здійснювалася фасонним різцем зі швидкорізальної сталі P18. Режим різання  $V = 100$  м/хв.,  $S = 0,1$  мм/об.,  $t = 2,0$  мм. Замість цього інструмента застосований збірний токарний різець TDJNL 2525 M15 зі змінною багатогранною пластиною

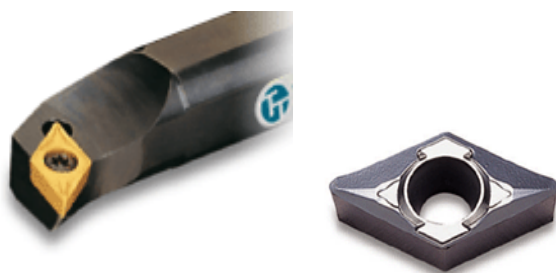


Рис. 11. Токарний різець із кутом у плані  $93^\circ$ , оснащений пластиною зі сплаву K10

DNMG 150608 ML зі сплаву K10 (рис. 10). Це дозволило реалізувати наступний режим різання:  $V = 350$  м/хв.,  $S = 0,25$  мм/об.,  $t = 1,5$  мм.

Розточування, а також обробка торця втулки раніше виконувалися контурним різцем зі швидкорізальної сталі P18 з режимом різання:  $V = 110$  м/хв.,  $S = 0,08$  мм/об.,  $t = 0,1$

мм. Обробка здійснюється токарним різцем S25T SDUCR 11 з кутом у плані  $93^\circ$ , оснащеним пластиною DCGT 11T304 FL зі сплаву K10 (рис. 11). Режим різання:  $V = 250$  м/хв.,  $S = 0,2$  мм/об.,  $t = 1,0$  мм. У результаті досягнуте збільшення продуктивності обробки більш ніж в 10 разів.

Фрезерування круглих лисок (“зірочки”) за діючою технологією здійснювалося фрезою  $\varnothing 10$  мм зі швидкорізальної сталі з режимом різання:  $V = 30$  м/хв.,  $S = 0,08$  мм/об. Дана фреза була замінена на фрезу REMA із твердого сплаву UF10 (рис. 12).



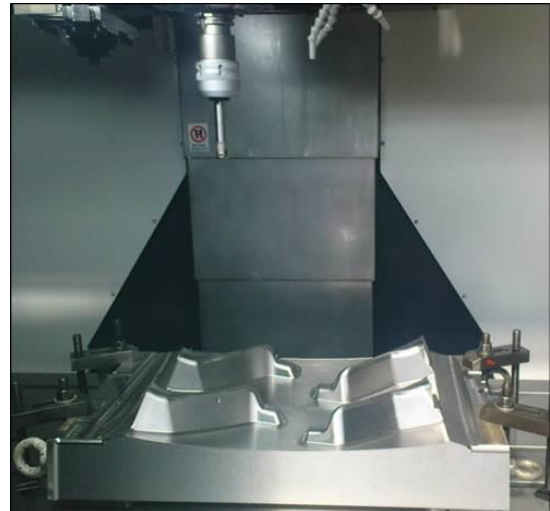
Рис. 12. Фреза REMA із твердого сплаву UF10

Ця заміна дозволила інтенсифікувати режим різання ( $V = 100$  м/хв.,  $S = 0,15$  мм/об.) і більш ніж в 6 разів підвищити продуктивність обробки.

В роботі проведено аналіз умов підвищення ефективності механічної обробки складнопрофільних робочих поверхонь сектора прес-форми для шини діаметром 2 200 мм. Впровадження сучасних збірних твердосплавних різальних інструментів і верстатів типу “оброблювальний центр” зі ЧПУ дозволило вирішити проблему створення складнопрофільних робочих поверхонь сектора (елемента) прес-форми для шини діаметром 2 200 мм (рис. 13). За діючою технологією обробка здійснювалася протягом 180 годин. Впровадження нової технології дозволило винятково за рахунок підвищення режимів різання й зменшення кількості проходів (рис. 14) скоротити машинний час до 15,5 годин. У результаті досягнуте зменшення машинного часу в 11,5 разів.



а



б

Рис. 13. Сектор (елемент) прес-форми для шини діаметром 2 200 мм у зборі (а) і його обробка на верстаті (б)

Ефект обробки обумовлений застосуванням нових збірних твердосплавних інструментів виробництва фірми TaeguTec: торцевої фрези  $\varnothing 100$  мм із механічним кріпленням пластин SCRM90TN 6100-32R-22 (рис. 15а); кінцевої фрези  $\varnothing 32$  мм із механічним кріпленням пластин TE90AP 32-17-L (рис. 15б); сферичної фрези  $\varnothing 25$  мм с механічним кріпленням пластини TBN 250-32M (рис. 15в). Використовувалися пластини зі сплаву TT9080 із зносостійкими покриттями (рис. 15г), які забезпечують високу стійкість різальних інструментів.

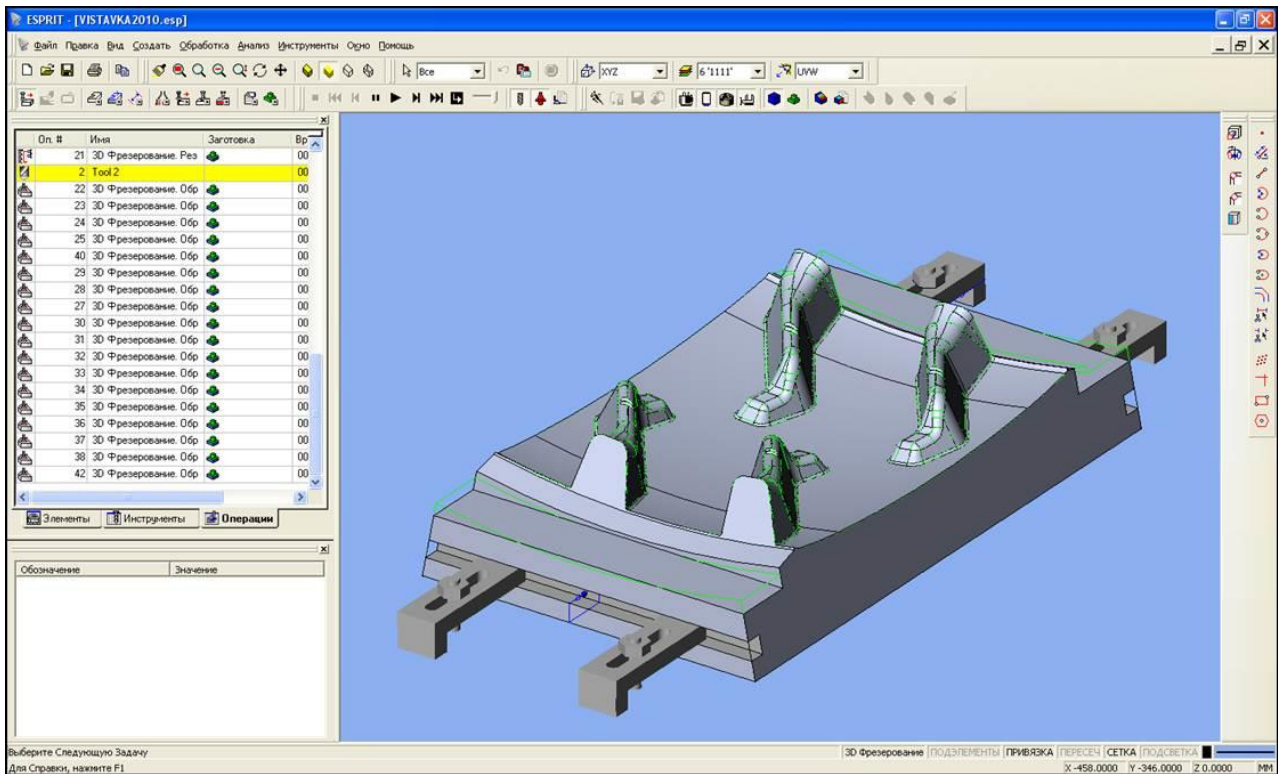


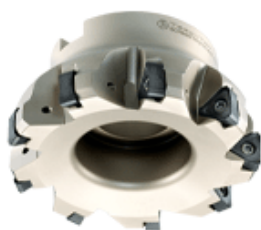
Рис. 14. Траєкторії руху інструмента в САМ системі Esprit

Чорнова обробка здійснюється торцевою фрезою  $\varnothing 100$  мм із режимом різання:  $V = 140$  м/хв. ( $n = 440$  об./хв.); подача на зуб  $S_Z = 0,11$  мм/зуб; подача стола  $S = 300$  мм/хв.; глибина – 6 мм; ширина – 70 мм.

Напівчистова обробка здійснюється кінцевою фрезою  $\varnothing 32$  мм із режимом: швидкість різання  $V = 170$  м/хв. ( $n = 1\,700$  об./хв.); подача на зуб  $S_Z = 0,2$  мм/зуб; подача стола верстата  $S = 1\,000$  мм/хв.; глибина різання 1 мм; ширина різання 23 мм.

Чистова обробка здійснюється кінцевою фрезою  $\varnothing 21$  мм із режимом різання: швидкість різання  $V = 330$  м/хв. ( $n = 5\,000$  об./хв.); подача на зуб  $S_Z = 0,4$  мм/зуб; подача стола верстата  $S = 3\,900$  мм/хв.; глибина різання 0,3 мм; ширина різання 0,5 мм. Чистова обробка також здійснюється із застосуванням сферичної фрези  $\varnothing 25$  мм із режимом різання: швидкість різання  $V = 390$  м/хв.; подача на зуб  $F_Z = 0,3$  мм/зуб; оберти шпинделя  $S = 5\,000$  об./хв.; подача стола верстата  $F = 3\,000$  мм/хв.; глибина різання 1 мм; ширина різання 0,35 мм.

У роботі застосовані нестандартні підходи до контролю якості – впроваджено САМ-системи ESPRIT (рис. 16). Застосування даного програмного засобу дозволяє виключити необхідність проміжних вимірів у процесі обробки деталі, що додатково підвищує продуктивність праці.





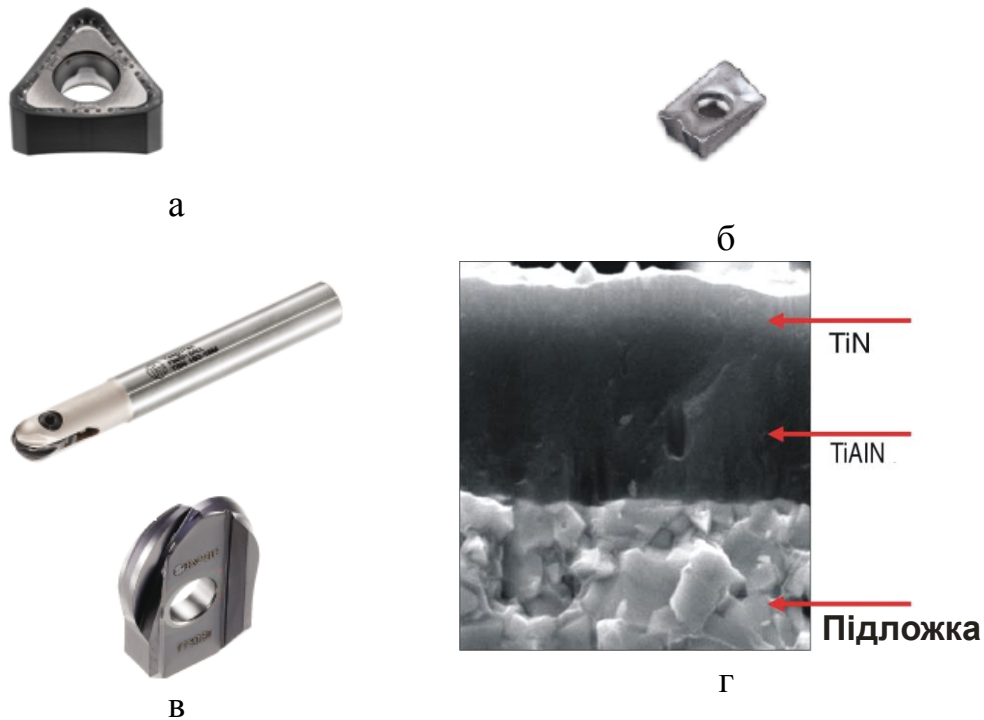


Рис. 15. Застосовувані різальні інструменти (а, б, в) і структура сплаву ТТ9080 зі зносостійким покриттям (г)

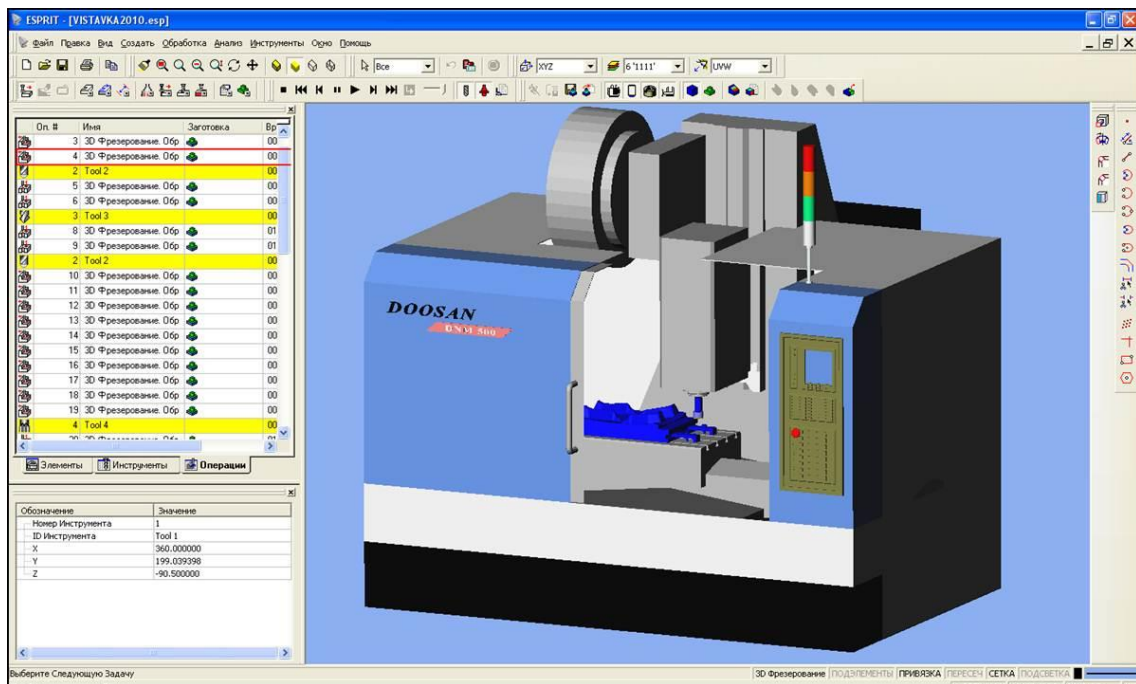


Рис. 16. Контроль і симуляція обробки в САМ-системі Esprit

Таким чином, наведені приклади наочно показують, що застосування сучасного встаткування й збірних твердосплавних інструментів відкриває нові технологічні можливості в інтенсифікації процесів механічної обробки відповідальних деталей, виготовлених із важкооброблюваних матеріалів. У результаті досягається багаторазове збільшення продуктивності й зниження собівартості

обробки при забезпеченні високих вимог за точністю та якістю оброблюваних поверхонь.

**Список літератури:** 1. Новиков Ф.В. Расчет параметров режимов резания по критериям наименьшей себестоимости и наибольшей производительности обработки / Ф.В. Новиков, В.А. Жовтобрюх // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы научн.-техн. конф., 19-22 сентября 2011 г., г. Одесса. – Киев: АТМ України, 2011. – 148-151. 2. Жовтобрюх В.А. История и общая информация о группе компаний "ВариУс" // Труды 16-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК "ФЭД", 2010. – С. 166-172.