

## ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ОСЕВЫХ ЛЕЗВИЙНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

*In the given work we are developing a general approach & method for the synthesis of the technological finishing processes of axial cutting tools. They are based on morphological and functional-oriented synthesis of the rational structure of operations. In the work identifies specific structure of the technological process and completed its implementation. Investigation of some parameters of the functional elements for the axial cutting tools. Established an effective mechanical process.*



Рис. 1. Виды осевых лезвийных инструментов

В настоящее время, для изготовления различных изделий и выполнения сложных операций технологического процесса, в машиностроении широко используются различные осевые лезвийные инструменты (рис. 1) [1, 2]. К основным видам осевых лезвийных инструментов можно отнести следующие: сверла, зенкеры, развертки, метчики, концевые фрезы и другие инструменты. Осевой лезвийный инструмент представляет собой стержневой инструмент, имеющий множество функциональных элементов, ориентируемых на инструменте относительно его продольной оси вращения в соответствии с условиями обработки и параметрами формообразования, и выполняющий заданные эксплуатационные функции определенной операции технологического процесса. С помощью осевых лезвийных инструментов в машиностроении выполняется заданное множество операций технологического процесса, обеспечивающих заданные параметры точности и качества изделий.

Можно отметить, что для изготовления осевых лезвийных инструментов широко используются прогрессивные технологические процессы [1, 2], обеспечивающие заданные параметры их качества. При этом для повышения эффективности работы осевых лезвийных инструментов и увеличения их стойкости на современных машиностроительных заводах используются инструменты с вакуумными ионно-плазменными покрытиями, наносимые методом конденсации и ионной бомбардировки (КИБ) [3, 4, 5]. Эти покрытия обеспечивают существенное повышение стойкости осевых лезвийных инструментов при выполнении высоконагруженных операций технологического процесса.

Проведенный анализ современного состояния вопроса исследования показал, что в настоящее время разработано множество технологических процессов изготовления осевых лезвийных инструментов с вакуумными ионно-плазменными покрытиями [1, 2, 3, 4, 5]. Эти технологические процессы позволяют изготавливать осевые лезвийные инструменты с заданными параметрами их качества и стойкости. Вместе с тем, с развитием научно-технического прогресса непрерывно повышаются требования к параметрам качества осевых лезвийных инструментов. При этом существующие технологические процессы не позволяют существенно повышать эксплуатационные свойства осевых лезвийных инструментов. Это вызывает необходимость проведения дальнейших исследований в области повышения эксплуатационных свойств лезвийных осевых инструментов с вакуумными ионно-плазменными покрытиями.

Дальнейшее повышение свойств осевых лезвийных инструментов с вакуумными ионно-плазменными покрытиями, возможно выполнять за счет разработки дополнительных технологических процессов отделочной обработки, базирующихся на функционально-ориентированном [6, 7] и системном подходе [8]. Однако для решения этих вопросов необходимы дальнейшие исследования и создание общих подходов синтеза дополнительных технологических процессов отделочной обработки осевых лезвийных инструментов.

Целью данной работы является повышение качества и производительности отделочной обработки осевых лезвийных инструментов с вакуумными ионно-плазменными покрытиями путем совершенствования структурного и технологического обеспечения процессов на основе морфологического и функционально-ориентированного синтеза рациональной структуры операций.

В соответствии с поставленной целью в работе планируется решить следующие основные задачи: разработать общий подход и методику синтеза рациональной структуры технологического процесса дополнительной отделочной обработки функциональных элементов осевых лезвийных инструментов на основе морфологического и функционально-ориентированного синтеза; выполнить анализ особенностей разработанного рационального технологического процесса; исследовать особенности формирования шероховатости рабочих поверхностей инструментов по операциям технологического процесса; установить зависимость формирования геометрии режущего клина по операциям технологического процесса.

Для синтеза рационального технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов используется функционально-ориентированный подход в разработке технологических процессов [6, 7]. Основные особенности синтеза функционально-ориентированного технологического базируются на следующем:

- технологические воздействия и свойства осевых лезвийных инструментов реализуются прецизионно на местном уровне;
- технологические воздействия и свойства осевых лезвийных инструментов выполняются в зависимости от особенностей эксплуатации их функциональных элементов;
- технологические воздействия и свойства осевых лезвийных инструментов реализуются по уровням глубины

технологии;

- технологические воздействия и свойства осевых лезвийных инструментов выполняются на базе группы особых принципов ориентации.

Можно отметить, что при реализации функционально-ориентированного технологического процесса технологические воздействия и свойства осевых лезвийных инструментов должны реализовываться прецизионно на местном уровне. Здесь, осевой лезвийный инструмент делится на функциональные элементы и технологические воздействия и свойства должны выполняться прецизионно на местном уровне.

При этом технологические воздействия и свойства осевых лезвийных инструментов должны выполняться в зависимости от особенностей эксплуатации их функциональных элементов при резании. Здесь, технологические воздействия и свойства функциональных элементов осевых лезвийных инструментов могут быть следующих видов:

- зависимые и независимые,
- постоянные и переменные,
- изменяющиеся и неизменяющиеся,
- модульные и градиентные,
- специальные и нетрадиционные.

Функционально-ориентированный подход [6, 7] предусматривает деление осевого лезвийного инструмента на функциональные элементы по уровням глубины технологии (рис. 2):

- уровень изделия (уровень всего осевого лезвийного инструмента),
- уровень частей инструмента,
- уровень составляющих,
- уровень зон.



Рис. 2. Иерархическая структура функциональных элементов осевых лезвийных элементов (на примере спирального сверла)

На рис. 2 показана иерархическая структура функциональных элементов осевых лезвийных инструментов. Здесь, на каждом уровне деления располагаются различные виды функциональных элементов осевых лезвийных инструментов.

Можно отметить, что в целом функционально-ориентированный подход в создании технологических процессов дополнительно предусматривает деление изделия еще по следующим уровням: уровень нанозон, уровень микронзон и уровень нанолин. Однако в данной работе выполняется деление осевого лезвийного инструмента по четырем уровням (рис 2).

После деления изделия на функциональные элементы разрабатывается структура технологических воздействий или операций технологического процесса. Здесь, технологические воздействия орудий и средств обработки и обеспечения заданных свойств осевых лезвийных инструментов реализуются на базе группы особых принципов ориентации [6]. К группе особых принципов ориентации технологических воздействий и свойств изделий относятся следующие:

1. Функционального соответствия особенностей действия элементарной функции в каждом функциональном элементе изделия, характеристик реализации технологических воздействий и параметров обеспечения необходимых свойств этом функциональном элементе изделия на каждом уровне глубины технологии.

2. Топологического соответствия геометрических параметров функционального элемента изделия, в котором действует элементарная функция при эксплуатации, геометрическим параметрам зонального элемента реализации технологических воздействий потоков материи, энергии и информации на изделие и геометрических параметров зонного элемента обеспечения необходимых свойств на каждом уровне глубины технологии.

3. Количественного соответствия множества функциональных элементов, в которых действует множество различных

элементарных функций при эксплуатации, множеству реализации технологических воздействий и множеству элементов обеспечения необходимых свойств в функциональных элементах изделия на каждом уровне глубины технологии.

4. Адекватной зависимости пространственных особенностей действия элементарной функции при эксплуатации, технологических воздействий и эксплуатационных свойств в пространстве каждого функционального элемента изделия на каждом уровне глубины технологии.

5. Адекватной зависимости временных особенностей действия элементарной функции при эксплуатации, временных или пространственных особенностей реализации технологических воздействий и временных эксплуатационных свойств в каждом функциональном элементе изделия на каждом уровне глубины технологии.

6. Структурного соответствия действия множества элементарных функций, реализации множества технологических воздействий и выполнения множества свойств в функциональных элементах изделия из условия обеспечения заданных, требуемых или предельных свойств всего изделия на каждом уровне глубины технологии.

7. Адекватного структурно-функционального соответствия свойств в пространстве и во времени каждого функционального элемента заданному, требуемому или предельному потенциалу общих свойств всего изделия в целом на каждом уровне глубины технологии.

8. Адекватного структурно-функционального соответствия свойств в окрестностях каждого функционального элемента в пространстве и во времени заданному, требуемому или предельному потенциалу общих свойств всего изделия в целом на каждом уровне глубины технологии.

Можно отметить, что процесс создания рационального технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов с покрытием основывается на выборе его структуры на множестве функционально-ориентированных технологических операций:

$$D = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_j, \dots, a_M\}, \quad (1)$$

где  $D$  – полное множество существующих функционально-ориентированных дополнительных операций;  $a_j$  – любая элементарная функционально-ориентированная технологическая операция;  $N$  – общее количество возможных функционально-ориентированных дополнительных отделочных операций обработки осевого лезвийного инструмента.

Здесь, из полного множества существующих функционально-ориентированных дополнительных отделочных операций, представленного выражением (1), необходимо выбрать требуемое подмножество операций, из которого будет создан рациональный технологический процесс дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов. Этот процесс может быть реализован на основе морфологического синтеза технических решений [9, 10].

Процесс морфологического синтеза рационального технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов состоит из следующих этапов (рис. 3):

1. Постановка задачи.

2. Выбор морфологических признаков ( $O_m$ , где  $m = 1, 2, \dots, M$ ).

3. Выявление возможных вариантов каждого признака ( $m = K_m$ ).

4. Составление морфологической матрицы.

5. Генерирование множество возможных вариантов технологических процессов ( $III$ ).

6. Определение критериев выбора технологического процесса.

7. Выбор рациональной структуры технологического процесса.

На рис. 3 показано:  $V$  – входной поток информации по полному множеству существующих функционально-ориентированных дополнительных операций отделочной обработки осевых лезвийных инструментов;  $W$  – выходной поток информации о структуре рационального технологического процесса дополнительной отделочной обработке осевого лезвийного инструмента. Здесь, при постановке задачи синтеза, основными параметрами синтеза является выбор структуры рационального технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов по параметрам производительности  $\Pi$ , качества изготовления инструмента  $K$  и себестоимости изготовления инструмента с учетом его стойкости  $C$ .



Рис. 3. Основные этапы методики синтеза структуры рационального технологического процесса

Можно отметить, что выбор морфологических признаков  $O_m$ , где  $m = 1, 2, \dots, M$  - количество строк морфологической матрицы, в данной работе осуществляется на основе формирования групп сходных операций дополнительной отделочной обработки по каждой строке мощностью  $K_m$ . Причем с увеличением номера строки повышаются параметры качества дополнительных отделочных операций изготовления осевых лезвийных инструментов.

Заметим, что выявление возможных вариантов каждого признака  $K_m$  может выполняться следующими методами:

- на базе функционально-ориентированного подхода;
- на базе традиционного подхода.

Морфологическая матрица имеет следующую структуру:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1k_1} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2k_2} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3k_3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M1} & a_{M2} & a_{M3} & \dots & a_{Mk_M} \end{pmatrix} \begin{matrix} K_1 \\ C \\ K_2 \\ C \\ K_3 \\ \dots \\ K_M \\ C \end{matrix} \quad (2)$$

где  $A$  - морфологическая матрица,  $a_{mk}$  - любая дополнительная отделочная операция  $m$ -й строки  $k$ -й операции

группы сходных операций морфологической матрицы;  $M$  - количество строк морфологической матрицы;  $K$  - мощность группы сходных операций дополнительной отделочной обработки по каждой строке морфологической матрицы.

В морфологической матрице горизонтальная стрелка показывает расположение элементарных операций, в которых последовательно увеличиваются параметры производительности  $\Pi$  и себестоимость  $C$  изготовления осевых лезвийных инструментов, а вертикальная стрелка показывает расположение групп сходных операций дополнительной отделочной обработки, в которых также последовательно повышаются параметры качества  $K$  и себестоимость  $C$  изготовления осевых лезвийных инструментов.

На этапе генерирования полного множества возможных вариантов структур технологического процесса выполняется определение этого полного множества. Полное множество структурных вариантов технологических процессов дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов определяется по следующей формуле:

$$R = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_M = \prod_{m=1}^M K_m,$$

где  $R$  - полное множество структурных вариантов технологических процессов дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов.

Далее, выполняется определение критериев выбора рационального технологического процесса. В данном случае, в качестве критериев выбора структуры рационального технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов приняты производительность  $\Pi$ , качество  $K$  и себестоимость  $C$  изготовления осевых лезвийных инструментов.

После определения критериев выбора структуры рационального технологического процесса выполняется выбор на полном множестве структурных вариантов технологических процессов рациональный технологический процесс дополнительной отделочной обработки конкретного осевого лезвийного инструмента, например, спирального сверла.

На рис. 4 представлена иерархическая схема структуры рационального технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов. Этот технологический процесс состоит из следующих этапов:

- предварительные отделочные операции осевого лезвийного инструмента,
- операции подготовки осевого лезвийного инструмента к нанесению покрытия,
- операции нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия на осевой лезвийный инструмент,
- дополнительные отделочные операции осевого лезвийного инструмента,
- операции контроля качества осевого лезвийного инструмента.

Каждый из этих этапов технологического процесса имеет определенное количество элементарных технологических операций.

Исследование особенностей дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов, в данном случае, выполнено на примере реализации технологического процесса для спиральных сверл.

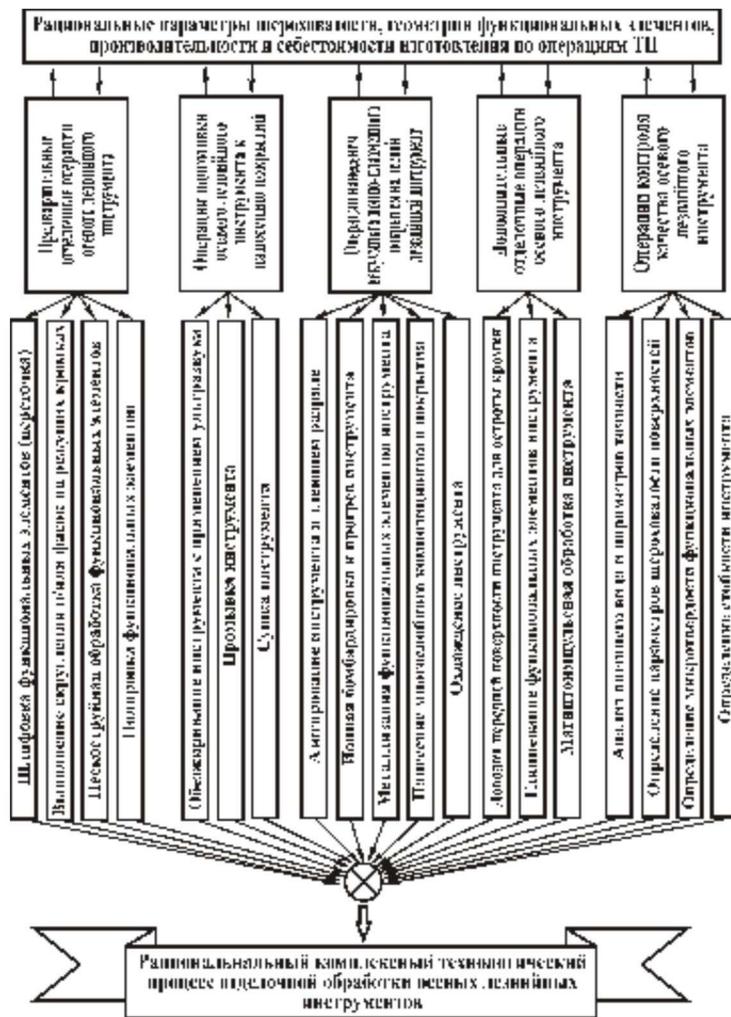


Рис. 4. Иерархическая схема структуры рационального технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов

В частности, можно отметить, что на первом этапе, процесс абразивной обработки (затыловка) задней поверхности сверл выполнялся на полуавтомате заточном для сверл, зенкоров и метчиков модели ЗЕ653. На рис. 5а показан общий вид полуавтомата с приспособлениями; на рис. 5,б – зона затыловки задней поверхности инструмента; на рис. 5,в – приспособление для базирования инструмента в патроне; на рис. 5,г – механизм подточки поперечной кромки.

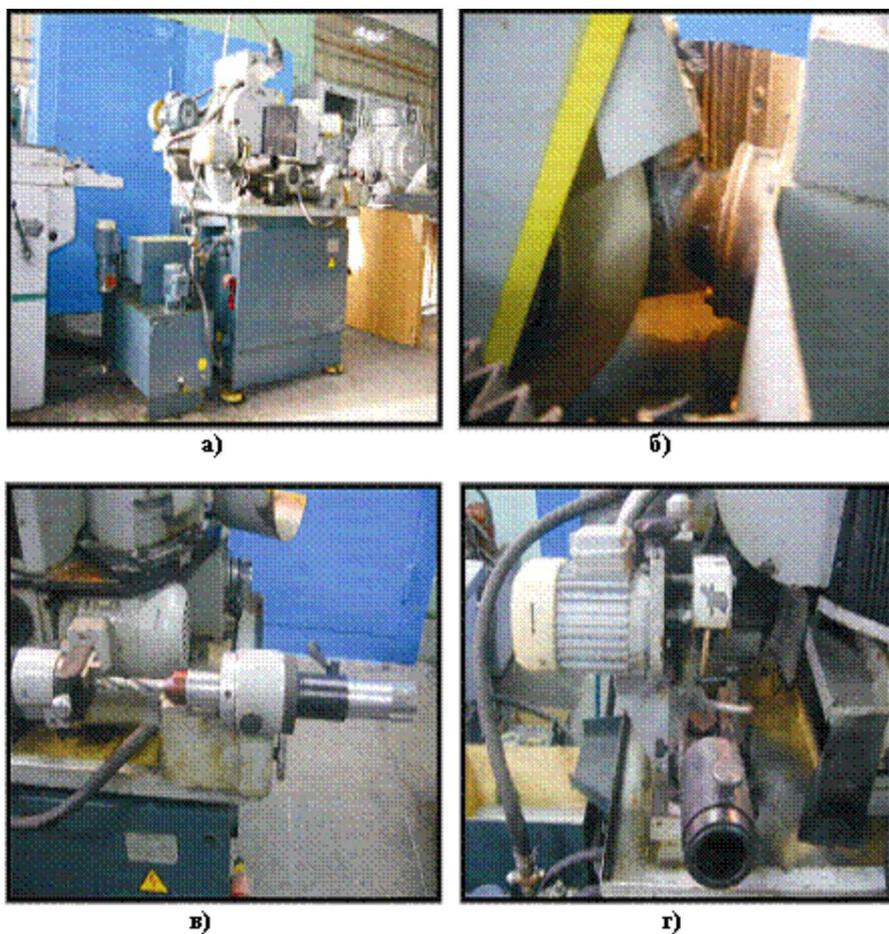


Рис. 5. Общий вид полуавтомата заточного для сверл, зенкеров и метчиков модели ЗЕ653: *а* – общий вид полуавтомата с приспособлениями; *б* – зона затыловки задней поверхности инструмента; *в* – приспособление для базирования инструмента в патроне; *г* – механизм подточки поперечной кромки

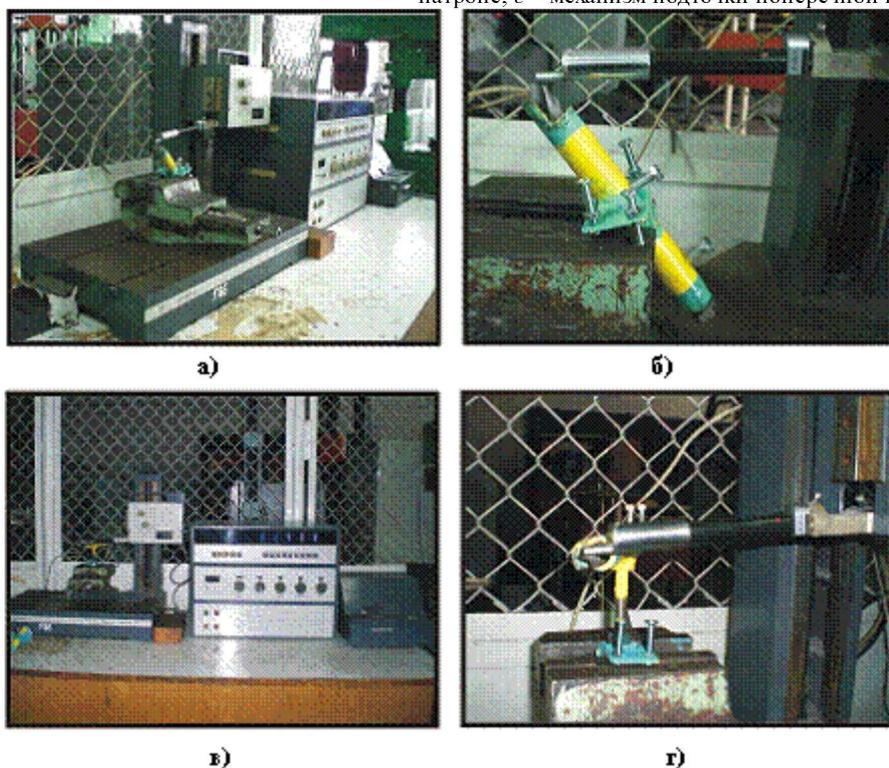


Рис. 6. Общий вид профилографа-профилометра и приспособлений для замеров параметров шероховатости на различных поверхностях сверла:  
*а* – общий вид профилографа-профилометра с приспособлением для замеров параметров шероховатости задней поверхности сверла; *б* – приспособление для замеров параметров шероховатости задней поверхности сверла; *в* – общий вид профилографа-профилометра с приспособлением для замеров параметров шероховатости передней поверхности сверла; *г* – приспособление для замеров параметров шероховатости передней поверхности сверла

Проведенные экспериментальные исследования, выполненные с использованием полуавтомата заточного для

сверл, зенкеров и метчиков модели ЗЕ653 (рис. 5), процесса затыловки задней поверхности спиральных сверл для отверстий различного диаметра показали, что предельные параметры шероховатости задней поверхности сверла могут быть достигнуты  $R_a = 0,63 \dots 0,32 \text{ мкм}$  (рис. 6). Эти значения параметров шероховатости получены для сверл из быстрорежущей стали марок Р18 или Р6М5. Применяемый круг шлифовальный типа ПП (ГОСТ 2424-83) из белого электрокорунда 24А, зернистостью 16-П, степени твердости С2, со структурой №7, на керамической связке К5.

Для определения параметров шероховатости передней и задней поверхности сверл были изготовлены специальные приспособления (рис. 6), которые монтируются в зажимном устройстве на станине профилографа-профилометра и позволяют вести регулировку пространственного положения поверхностей сверла относительно траектории движения иглы (наконечника) прибора.

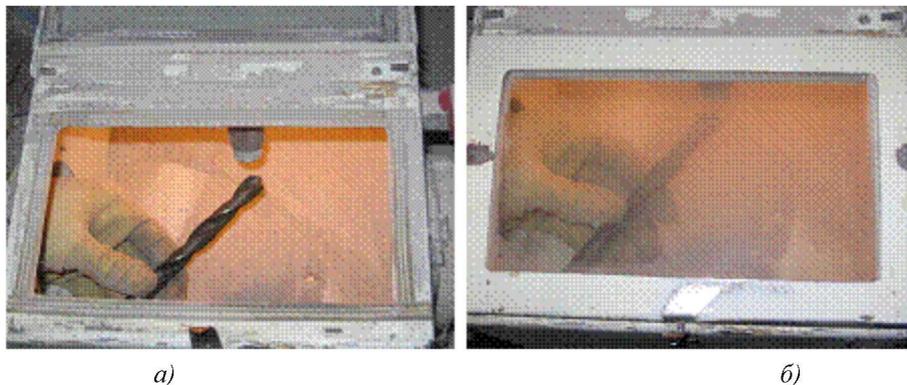


Рис. 7. Общий вид устройства для пескоструйной обработки осевого лезвийного инструмента: а – общий вид зоны обработки; б – устройство в процессе работы

В соответствии с разработанным рациональным технологическим процессом дополнительной отделочной обработке осевых лезвийных инструментов предусмотрена пескоструйная обработка режущих кромок инструмента. На рис. 7 представлен общий вид устройства для пескоструйной обработки осевого лезвийного инструмента. Здесь, на рис. 7,а показан общий вид зоны обработки, а на рис. 7,б – устройство в процессе работы с закрытым окном.



Рис. 8. Станок для полировки осевого лезвийного инструмента

Пескоструйная обработка осевого лезвийного инструмента обеспечивает решение двух задач:

1. Выполняется поверхностно-пластическая деформация режущих кромок (основных, вспомогательных и поперечной кромки), передних и задних поверхностей инструмента и их упрочнение. Здесь, выполняется также тренировка режущих кромок к дальнейшей работе инструмента.
2. Обеспечивается скругление режущих кромок инструмента (для быстрорежущей стали до величины  $r=10 \dots 15 \text{ мкм}$ , для твердого сплава до величины  $r=15 \dots 30 \text{ мкм}$ ). Скругление режущих кромок это необходимая операция для дальнейшего исключения процессов микровыкрашивания режущего клина и образования микроконцентраторов напряжений, а также

предназначенная в ряде случаев для удаления заусенцев, образующихся в процессе затыловки задней поверхности инструмента.

После пескоструйной обработки осевого лезвийного инструмента необходимо восстановить и улучшить параметры шероховатости поверхности осевого лезвийного инструмента. В данной работе этот процесс выполнялся полировкой поверхностей инструментов с применением войлочного круга и специальной абразивной пасты. Процесс полировки рабочих поверхностей осевого лезвийного инструмента (сверл) выполнен с использованием станка для полировки осевого лезвийного инструмента (рис 8). Параметры шероховатости полированных поверхностей составили следующие величины  $R_a = 0,08 \dots 0,06 \text{ мкм}$

На втором этапе рационального комплексного технологического процесса (рис. 4) дополнительной отделочной обработки осевого лезвийного инструмента выполняются операции подготовки осевого лезвийного инструмента к нанесению покрытия. На этом этапе реализуются следующие операции: обезжиривание инструмента с применением ультразвука, промывка инструмента, сушка инструмента. Здесь, дополнительно могут выполняться операции химической очистки и гидроабразивной очистки. Для этого применяются специальные ставы сред и режимы обработки.

На рис. 9 представлена установка для комплексной ультразвуковой обработки осевых лезвийных инструментов. В качестве источника колебаний применена установка ультразвуковых колебаний УЗГ 3-4 и магнитострикционные преобразователи ПМС 2,5-18, смонтированные на специальных ваннах. Обезжиривание выполнялось путем погружения инструментов в раствор при температуре 50-60 °С. Состав раствора: тринатрийфосфат технический – 30-40 г/л; сода кальцинированная техническая 20-30 г/л; поверхностно активное вещество ОП-7 или ОП-10 – 3,5 г/л. Дополнительно здесь может применяться бензин «Галоша» (БР-1) ГОСТ 443-76 с последующей промывкой в спирте этиловом ректификационном. Время обезжиривания 3-7 мин.

На третьем этапе комплексного технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов выполняются операции нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия. На этом этапе предусмотрено выполнение следующих операций:

- азотирование инструмента в тлеющем разряде (выдержка - 30 мин, атмосфера - азотирующая разряженная до 135 ... 665 Па, рабочее напряжение - 350 ... 550 В);

- ионная бомбардировка и прогрев инструмента 5 ... 10 мин;
- металлизация функциональных элементов инструмента 3 ... 5 мин;
- нанесение многослойного композиционного нитрид-титанового покрытия (15-20 слоев);
- охлаждение инструмента.



Рис. 9. Установка для комплексной ультразвуковой обработки осевых лезвийных инструментов

На рис. 10 представлен общий вид установки ННВ 6.6-И1 для вакуумного ионно-плазменного напыления покрытий на осевой лезвийный инструмент. Данная установка позволяет реализовать полный комплекс всех операций третьего этапа комплексного технологического процесса отделочной обработки осевых лезвийных инструментов. Установка имеет поворотный стол с планетарным движением осевых лезвийных инструментов. Цикловая производительность установки определяется по следующей формуле:

$$\Pi_{Ц} = \frac{P}{T_{Ц}} = \frac{P}{t_{O} + t_{B}},$$

где  $\Pi_{Ц}$  - цикловая производительность установки для вакуумного ионно-плазменного напыления покрытий на осевой лезвийный инструмент;  $u_k$  - количество рабочих позиций подсистем k-го класса поворотного стола установки;  $T_{Ц}$  - время полного кинематического цикла обработки осевых лезвийных инструментов;  $t_{O}$  - основное время обработки осевых лезвийных инструментов;  $t_{B}$  - вспомогательное время работы установки;  $P$  - количество классов подсистем поворотного устройства установки.



Рис. 10. Общий вид установки ННВ 6.6-И1 для вакуумного ионно-плазменного напыления покрытий на лезвийный инструмент

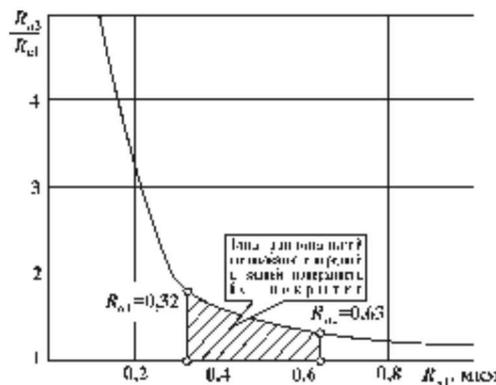


Рис. 11. Зависимость относительной шероховатости  $R_{a2}/R_{a1}$  поверхности инструмента с покрытием TiN от исходной шероховатости  $R_{a1}$  поверхности (материал подложки - сталь инструментальная легированная ХВ4Ф, исходная микротвердость -  $(0,3 - 0,4) \cdot 10^3$  МПа, толщина покрытия  $h = 6$  мкм, ток дуги  $I_{д} = 160$  А)

В ходе выполнения экспериментальных исследований параметров нанесения нитрид-титанового покрытия на осевой лезвийный инструмент (сверла) установлена зависимость относительной шероховатости  $R_{a2}/R_{a1}$  поверхности инструмента с покрытием TiN от исходной шероховатости  $R_{a1}$  поверхности (рис. 11). Исследования выполнялись с

использованием материал подложки - сталь инструментальная легированная ХВ4Ф, исходная микротвердость –  $(0,3 - 0,4) \cdot 10^3$  МПа, толщина покрытия  $h = 6$  мкм, ток дуги  $I_{д} = 160$  А. Анализируя график рис. 11 можно отметить, что зона рациональной шероховатости передней и задней поверхности до нанесения покрытия лежит в пределах  $R_a = 0,63 \dots 0,32$  мкм.

На рис. 12 представлена зависимость шероховатости поверхности  $R_{a1}$  инструмента с нитрид титановым покрытием TiN от его толщины  $h$  для различных параметров тока дуги  $I_{д}$ . При исследованиях использовался материал подложки - сталь инструментальная легированная ХВ4Ф, его исходная микротвердость –  $(0,3 - 0,4) \cdot 10^3$  МПа. Во всех случаях толщина покрытия составляла  $h = 6$  мкм, исходная шероховатость поверхности -  $R_{a1} = 0,080$  мкм. Графики на рис. 12 построены для четырех значений тока дуги:  $I_{д} = 100$  А,  $I_{д} = 120$  А,  $I_{д} = 140$  А,  $I_{д} = 160$  А. Можно отметить, что для осевого лезвийного инструмента наиболее рациональные параметры толщины нитрид-титанового покрытия находится в пределах  $h = 2 \dots 6$  мкм.

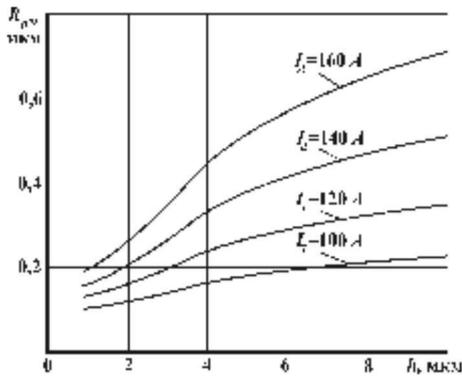


Рис. 12. Зависимость шероховатости поверхности  $R_{a1}$  инструмента с нитрид титановым покрытием TiN от его толщины  $h$  для различных параметров тока дуги  $I_{д}$  (материал подложки - сталь инструментальная легированная ХВ4Ф, исходная микротвердость –  $(0,3 - 0,4) \cdot 10^3$  МПа, толщина покрытия  $h = 6$  мкм, исходная шероховатость -  $R_{a1} = 0,080$  мкм)

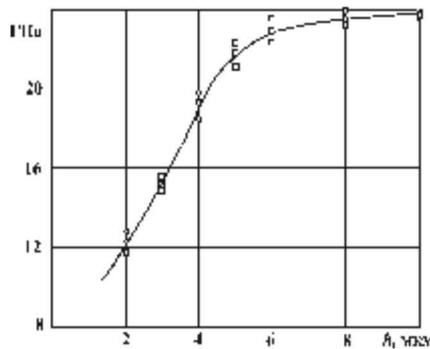


Рис. 13. Зависимость микротвердости нитрид титанового TiN покрытия от его толщины (материал подложки - сталь инструментальная легированная ХВ4Ф, исходная микротвердость –  $(0,3 - 0,4) \cdot 10^3$  МПа, исходная шероховатость -  $R_{a1} = 0,080$  мкм)

Зависимость микротвердости нитрид титанового TiN покрытия от его толщины приведена на рис. 13. Здесь, материал подложки - сталь инструментальная легированная ХВ4Ф, исходная микротвердость –  $(0,3 - 0,4) \cdot 10^3$  МПа, исходная шероховатость -  $R_{a1} = 0,080$  мкм. При исследованиях использовалась подложка, выполненная из не закаленной стали ХВ4Ф. Это было выполнено для исключения влияния твердости подложки при исследовании микротвердости нитрид-титанового покрытия. Этот график также дает возможность технологу определять заданные параметры микротвердости поверхностного слоя инструмента в зависимости от толщины покрытия, а также отыскивать его рациональные зоны.

Для изучения особенностей изменения радиуса R закругления режущего клина инструмента при нанесении нитрид-титанового покрытия толщиной  $h$  в зависимости от начального его радиуса  $r$  выполнены такие исследования на образцах свидетелях с углом режущего клина  $\beta = 60^\circ$ . Данные исследования выполнены по отпечаткам на пластине с использованием микроскопа. На рис. 14 представлена зависимость радиуса R закругления режущего клина инструмента (образцов-свидетелей при  $\beta = 60^\circ$ ) с нитрид-титановым покрытием толщиной  $h$  от начального его радиуса  $r$  для покрытий следующих толщин:  $h = 2$  мкм,  $h = 5$  мкм,  $h = 10$  мкм.

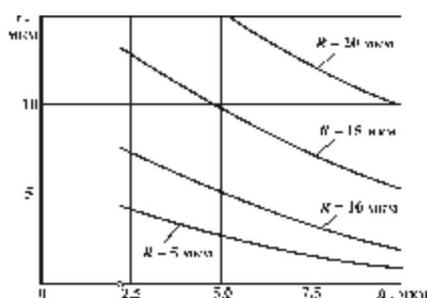
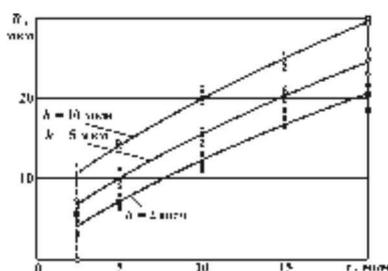


Рис. 14. Зависимость радиуса  $R$  закругления режущего клина инструмента (образцов-свидетелей при  $\beta = 60^\circ$ ) с нитрид-титановым покрытием толщиной  $h$  от начального его радиуса  $r$

Рис. 15. Зависимость радиуса  $R$  закругления режущего клина инструмента (образцов-свидетелей при  $\beta = 60^\circ$ ) с нитрид-титановым покрытием от толщины  $h$  покрытия и начального радиуса  $r$  режущего клина

На рис. 15 представлена зависимость радиуса  $R$  закругления режущего клина инструмента (образцов-свидетелей при  $\beta = 60^\circ$ ) с нитрид-титановым покрытием от толщины  $h$  покрытия и начального радиуса  $r$  режущего клина. Эти графики построены на основании данных представленных на рис. 14 и выполнены для образцов-свидетелей с покрытием с параметрами:  $R=5$  мкм,  $R=10$  мкм,  $R=15$  мкм,  $R=20$  мкм. Эти графики необходимы технологу для определения особенностей заточки инструмента до нанесения покрытия.

На четвертом этапе комплексного технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов могут выполняться следующие операции:

- доводка передней поверхности инструмента для обеспечения остроты кромки,
- гляцевание функциональных элементов инструмента (передняя и задняя поверхность инструмента),
- магнитоимпульсная обработка осевого лезвийного инструмента.

Эти дополнительные операции необходимы для окончательного обеспечения заданной совокупности параметров осевых лезвийных инструментов. А именно доводка передней поверхности инструмента необходима для обеспечения необходимой остроты режущих кромок. Гляцевание функциональных элементов инструментов выполняется специальными кругами из органических волокон с применением мирошлифпорошков. Магнитоимпульсная обработка обеспечивает снижение влияния возникающих внутренних концентраторов напряжения из-за особенностей термических воздействий на инструмент.

На пятом этапе рационального комплексного технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов выполняются следующие операции:

- анализ внешнего вида и параметров точности осевых лезвийных инструментов;
- определение параметров шероховатости поверхности функциональных элементов инструментов;
- определение параметров микротвердости поверхностного слоя функциональных элементов инструментов;
- определение стойкости инструментов.



Рис. 16. Осевые лезвийные инструменты с многослойным композиционным нитрид титановым покрытием TiN – концевые фрезы производства Румынии

Можно отметить, что в настоящее время проведены исследования по реализации рационального комплексного технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов. Выполнена реализация полного множества операций для спиральных сверл, изготовленных на Украине, и концевых фрез, изготовленных в Румынии (рис. 16). Поэтому следующий этап этой работы будет связан с испытанием этих инструментов и сравнительному определению их стойкости в реальных производственных условиях.

В заключение можно отметить, что в данной работе представлены комплексные исследования по созданию специальных технологических процессов дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов с вакуумными ионно-плазменными покрытиями. Для создания этих технологических процессов в работе выполнено следующее:

1. Разработан общий подход и методика синтеза рациональной структуры технологического процесса дополнительной отделочной обработки функциональных элементов осевых лезвийных инструментов. Они основываются на морфологическом и функционально-ориентированном синтезе рациональных технологических процессов.

2. Выполнен анализ особенностей разработанного рационального технологического процесса. Установлены зависимости и связь параметров технологического процесса по выполняемым операциям.

3. Исследованы особенности формирования шероховатости рабочих поверхностей инструмента по операциям технологического процесса и установлена зависимость формирования геометрии режущего клина по операциям технологического процесса.

4. В работе приведена конкретная реализация рационального технологического процесса дополнительной отделочной обработки осевых лезвийных инструментов на конкретных примерах.

**Список литературы:** 1. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с. 2. Боровский Г.В., Григорьев С.Н., Маслов А.Р. Справочник инструментальщика / Под общей ред. А.Р. Маслова. – М.: Машиностроение, 2005. – 464 с. 3. Внуков Ю.Н. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент. – Киев, Техника, 1992. – 143с. 4. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение: 1993, 336 с. 5. Панфилов Ю.В., Великов А.И., Иванчиков И.В. Тонкопленочные покрытия на инструменте: анализ современного состояния и тенденции развития. Электронные, ионные и плазменные технологии. Приложение. Справочник. Инженерный журнал № 1, 2000, 12-16. 6. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. - Донецк: Технополис, 2008. – 346 с. 7. Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Методика и основные принципы синтеза функционально-ориентированных вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения. // Упрочняющие технологии и покрытия. – М.: Машиностроение. №7. 2005. С. 3 – 9. 8. Хубка В. Теория технических систем: Пер. с нем. - М.: Мир, 1987. - 208 с. 9. Методы поиска новых технических решений / Под ред. А.И. Половинкина. - Йошкар-Ола: Мар. кн. изд-во, 1976. - 192 с. 10. Настасенко В.А. Морфологический анализ – метод синтеза тысяч изобретений. – К.: Техніка, 1994. – 44 с.

*Поступила в редколлегию 15.04.09*