

Формообразование сферических поверхностей профилирующей окружностью инструмента

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»
Киевский авиационный техникум
Национальный технический университет Украины «КПИ»*

Решена задача формообразования сферических поверхностей профилирующей окружностью инструмента. Разработан способ формообразования задних поверхностей спиральных сверл с криволинейными режущими кромками в форме, приближающейся к дуге окружности, что приводит к повышению работоспособности инструмента.

Ключевые слова: формообразование, режущие инструменты, обрабатываемая поверхность, профилирующая окружность, криволинейно режущие кромки.

Вступление

Одним из основных разделов теории формообразования поверхностей является определение формы поверхности детали, обработанной заданным инструментом при известной кинематической схеме обработки. Схема определения множества поверхностей детали, обработанных заданным режущим инструментом, показана и приведена на рис. 1.

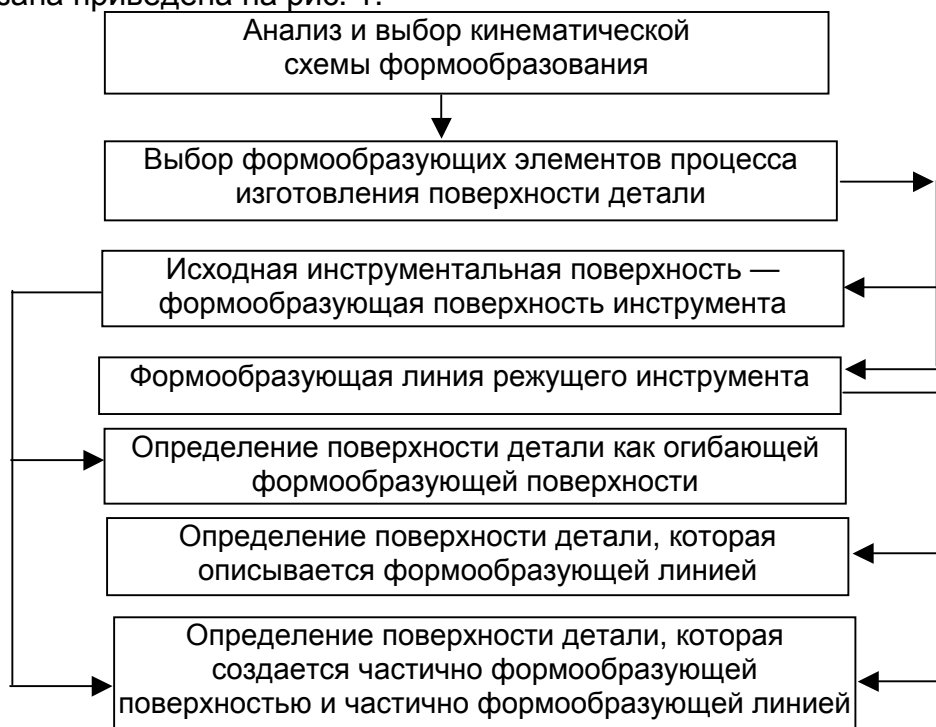


Рис. 1. Схема определения множества поверхностей, обработанных заданным инструментом

Задача определения поверхностей детали, обработанных заданным инструментом, является неоднозначной, т. е. одним инструментом можно обработать разнообразные поверхности.

Для того, чтобы определить это множество возможных поверхностей, необходимо проанализировать различные кинематические схемы формообразования. В пределах одной схемы формообразования различные варианты обработанных поверхностей можно получить, изменяя положения инструмента относительно заготовки; меняя направление и величины скоростей составляющих движений; выбирая различные формообразующие элементы процесса обработки поверхности детали. В качестве формообразующего элемента может быть исходная инструментальная поверхность, которая описывается режущими кромками инструмента при его главном движении относительно заготовки в соответствии с принятой кинематической схемой резания.

Исходная инструментальная поверхность может быть рабочей поверхностью шлифовального круга. В этом случае обработанную поверхность определяют как огибающую рабочей поверхности шлифовального круга при его движении относительно заготовки в соответствии с рассматриваемой кинематической схемой резания.

В этом случае в качестве формообразующего элемента можно рассматривать совокупность поверхностей, описываемых режущими кромками в теле заготовки при их главном движении резания.

В качестве формообразующего элемента могут быть формообразующие линии, которые, двигаясь относительно заготовки при принятой кинематической схеме резания, описывают обработанную поверхность детали.

Прямые линии описываются формообразующими точками кромок инструмента типа вершин строгальных резцов и других инструментов с прямолинейным главным движением резания. Формообразующие прямые линии, двигаясь относительно заготовки, описывают обработанную поверхность детали.

К инструментам с формообразующей окружностью относятся торцовые фрезы, вершинные точки режущих кромок которых описывают при вращении вокруг оси фрезы, формообразующую окружность, при соответствующем выборе углов в плане. Формообразующая окружность создается также на торце шлифовального круга при его заправке.

Профилирующей окружностью, расположенной на торце шлифовального круга соответствующего профиля, может проводиться формообразование задних поверхностей сверла по сферической поверхности. В этом случае кинематика процесса формообразования включает в себя вращение сверла и шлифовального круга вокруг своих осей. Оси сверла и круга являются пересекающимися прямыми. Однако задача определения геометрических параметров режущей части при заданном известном расположении сверла относительно сферической поверхности и обратная задача определения формы сферической поверхности или положения относительно затачиваемого сверла с заданными геометрическими параметрами режущей части требуют соответствующего анализа и решения.

Целью этой статьи является решение задачи формообразования сферической поверхности профилирующей окружностью шлифовального круга, которая может использоваться при заточке спиральных сверл с криволинейными режущими кромками в форме, приближающейся к дуге окружности. Подобная заточка сверл, как известно, приводит к повышению работоспособности этого широко распространенного режущего инструмента, что всегда представляет собой актуальную задачу.

Формообразование сферических поверхностей

Формообразование поверхности детали при использовании ряда инструментов с определенными конструктивными параметрами может проводиться профилирующей окружностью. К таким инструментам относятся угловые фрезы, профилирующая окружность вращения вершин зубьев которых соприкасается с поверхностью детали и ее формирует. Надежно работающие торцовые фрезы также могут при соответствующем выборе углов в плане формировать поверхность детали профилирующей окружностью, которая описывается вершинными точками зубьев фрезы.

Формообразование поверхности детали профилирующей окружности инструмента может проводиться также шлифовальными кругами соответствующего профиля.

Форма обработанной поверхности детали при обработке профилирующей окружностью инструмента зависит от принятой кинематической схемы резания.

Анализ кинематических схем резания показывает, что для большинства металлорежущих станков схемы обработки включают в себя вращательные движения и прямолинейно-поступательные движения инструмента и заготовки.

Рассмотрим схему обработки (рис. 2), которая включает в себя:

- вращение торцовой фрезы вокруг своей оси с угловой скоростью ω_1 ;
- вращение заготовки вокруг ее оси с угловой скоростью ω_2 ;
- прямолинейно-поступательное движение заготовки S_x , параллельное оси заготовки.

Ось фрезы и ось заготовки являются взаимно-перпендикулярными скрещивающимися прямыми, расстояние между которыми равно a .

В результате вращения фрезы вершинные кромки ее зубьев описывают профилирующую окружность, которая располагается в плоскости Σ , перпендикулярной оси фрезы. Расстояние от плоскости Σ до оси заготовки обозначают через b . Радиус профилирующей поверхности равен R .

С профилирующей окружностью связана система координат XYZ , а с заготовкой — система координат $X_1Y_1Z_1$. На рис. 2 изображено начальное положение рассматриваемых систем координат.

В системе XYZ уравнение профилирующей окружности имеет вид:

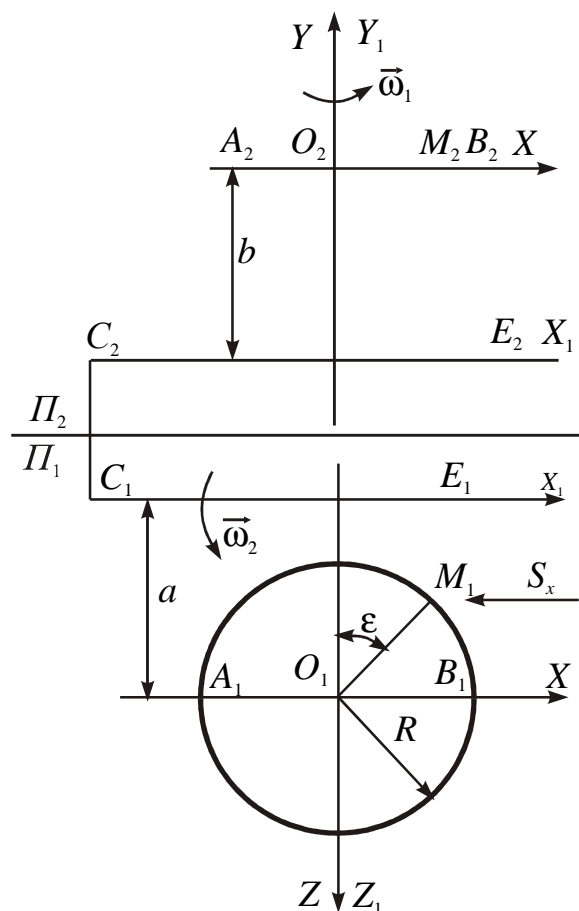


Рис. 2. Схема формообразования фасонных поверхностей профилирующей окружностью

$$X = R \sin \varepsilon; \quad Y = 0; \quad Z = -R \cos \varepsilon.$$

Будем считать, что система $X_1 Y_1 Z_1$ повернулась вокруг оси X_1 на угол t и сместилась вдоль оси X_1 на величину S_x . Формулы перехода от системы XYZ к системе $X_1 Y_1 Z_1$ имеют вид:

$$\begin{aligned} X_1 &= X + S_x; \\ Y_1 &= (Y + b) \cos t - (Z + a) \sin t; \\ Z_1 &= (Z + a) \cos t + (Y + b) \sin t. \end{aligned}$$

В соответствии с формулами преобразования координат уравнения последовательных положений профилирующей окружности в системе $X_1 Y_1 Z_1$ запишем как:

$$\begin{aligned} X_1 &= R \sin \varepsilon + S_x; \\ Y_1 &= b \cos t - (-R \cos \varepsilon + a) \sin t; \\ Z_1 &= (-R \cos \varepsilon + a) \cos t + b \sin t. \end{aligned}$$

Анализ полученных зависимостей позволяет определять различные формы поверхностей, которые могут быть образованы профилирующей окружностью инструмента при рассматриваемой схеме обработки.

Многообразие возможных форм обработанных поверхностей может быть получено путем изменения размеров и положения профилирующей окружности относительно заготовки, характеризуемое радиусом профилирующей поверхности R , величинами a и b , а также в зависимости от принятых величин угловых скоростей $\vec{\omega}_2$ вращения заготовки и скорости поступательного движения \vec{S} вдоль оси заготовки.

Рассмотрим частный случай формообразования поверхности профилирующей окружностью инструмента, когда оси фрезы или шлифовального круга и ось заготовки пересекаются и размер $a = 0$.

Будем считать также, что подача $S_x = 0$ и инструмент не перемещается в процессе обработки вдоль оси заготовки. При $a = 0$ и $S_x = 0$ уравнения последовательных положений профилирующей окружности в системе координат $X_1 Y_1 Z_1$ имеют вид:

$$\begin{aligned} X_1 &= R \sin \varepsilon; \\ Y_1 &= b \cos t + R \cos \varepsilon \sin t; \\ Z_1 &= -R \cos \varepsilon \cos t + b \sin t. \end{aligned}$$

Отсюда

$$X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2 = R^2 \sin^2 \varepsilon + (b \cos t + R \cos \varepsilon \sin t)^2 + (-R \cos \varepsilon \cos t + b \sin t)^2.$$

После преобразования:

$$X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2 = R^2 + b^2.$$

Это уравнение является уравнением сферической поверхности с радиусом

$$\rho = \sqrt{R^2 + b^2}.$$

Рассмотренная схема формообразования сферической поверхности может использоваться при заточке спиральных сверл с криволинейными режущими кромками в форме, приближающейся к дуге окружности. Это, как известно, приводит к повышению работоспособности такого широко распространенного режущего инструмента.

Графическое определение геометрических параметров режущей части сверла в произвольной точке E режущей кромки при заточке по сферической задней поверхности показано на рис. 3. В системе плоскостей проекций Π_1/Π_2 изображена сферическая поверхность радиуса ρ . Ось сферической поверхности расположена перпендикулярно плоскости проекции Π_2 .

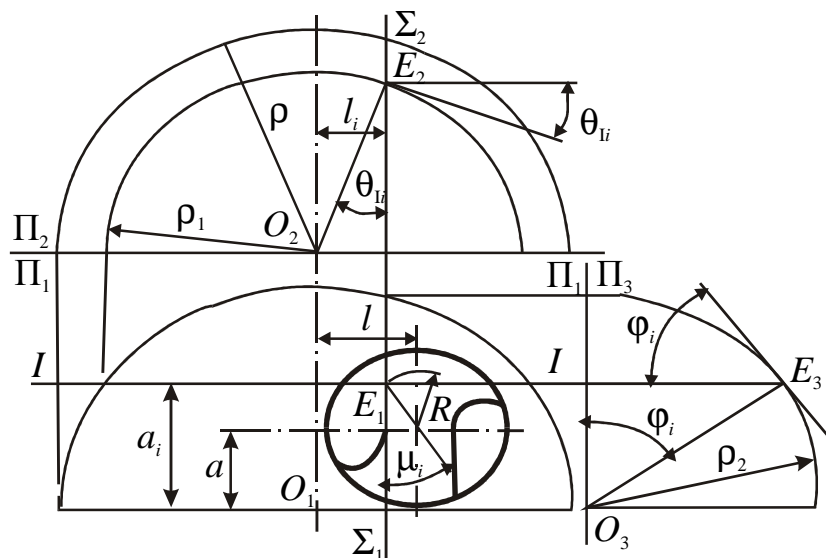


Рис. 3. Схема графического определения геометрических параметров режущей части сверла

Профиль сферической поверхности в форме окружности радиуса ρ в истинную величину проецируется на плоскость Π_1 . В первом приближении будем считать, что касательная к режущей кромке сверла в точке E располагается в плоскости Σ_1 , положение которой характеризуется размером l_i . Положение проекции E_1 точки E на плоскость Π_1 определяется размером a_i . Через точку E_1 проводится сечение I , перпендикулярное оси сферической поверхности. Линией пересечения сферической поверхности и сечения I будет окружность радиуса ρ_1 , которая в истинную величину проецируется на плоскость Π_2 . Точкой пересечения окружности радиуса ρ_1 и плоскости Σ будет точка E . Зная координаты точки E в системе Π_1/Π_2 , по правилу перемены плоскостей проекций определяется проекция E_3 точки E на плоскость Π_3 , которая идет параллельно плоскости Σ .

Окружность радиуса ρ_1 , расположенная в продольном сечении $I-I$ сверла, лежит на задней поверхности. Поэтому угол между касательной к этой окружности и горизонтальной прямой будет инструментальным задним углом θ_{Ii} в продольном сечении в рассматриваемой точке E режущей кромки.

В соответствии с графическим решением имеем:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho^2 - a_i^2}; \quad \sin \theta_{Ii} = \frac{l_i}{\rho_1} = \frac{l_i}{\sqrt{\rho^2 - a_i^2}} = \frac{l - r}{\sqrt{\rho^2 - (a + R_i \cos \mu_i)^2}},$$

где $l_i = l - R_i \sin \mu_i = l - r$, $a_i = a + R_i \cos \mu_i$, $\sin \mu_i = \frac{\rho}{R_i}$; r — радиус сердцевины

сверла; R_i — радиус рассматриваемой точки режущей кромки.

Плоскость Σ пересекается со сферической поверхностью по окружности радиуса ρ_2 , которая в истинную величину проецируется на плоскость Π_3 . Касательная к этой окружности, проведенная в точке E , определяет угол при вершине ϕ_i в исследуемой точке режущей кромки.

По построению, имеем:

$$\rho_2 = \sqrt{\rho^2 - l_i^2}; \quad \cos \varphi_i = \frac{a_i}{\rho_2} = \frac{a_i}{\sqrt{\rho^2 - l_i^2}} = \frac{a + R_i \cos \mu_i}{\sqrt{\rho^2 - (l - r)^2}}.$$

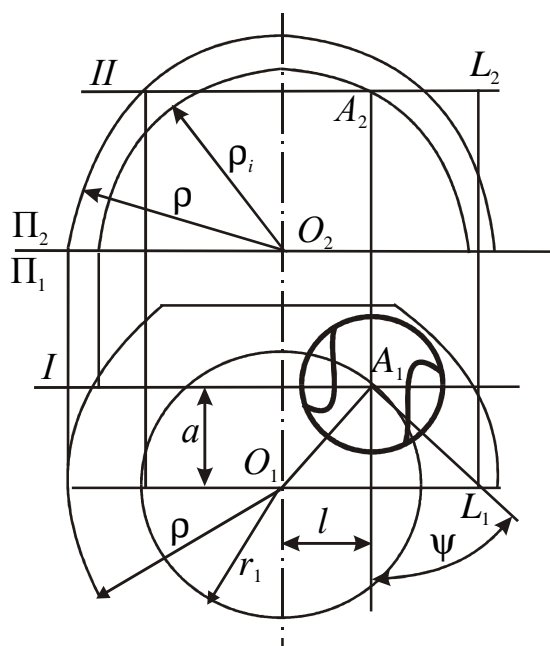


Рис. 4. Схема графического определения угла наклона поперечной кромки ψ

По построению имеем

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{a}{l}.$$

Наряду с задачей определения геометрических параметров режущей части сверла при известном его расположении относительно сферической задней поверхности представляет практический интерес решение обратной задачи. Будем считать заданными: задний угол α на периферии сверла в цилиндрическом сечении, концентричном оси сверла, угол при вершине φ на периферии сверла и угол при вершине φ_i в выбранной точке режущей кромки, расположенной на радиусе R_i .

При заданных величинах α и φ угол θ_i на периферии сверла определяют по известной зависимости

$$\operatorname{tg} \theta_i = \frac{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{ctg} \varphi \sin \mu}{\cos \mu}.$$

Рассматривая периферийную точку режущей кромки, имеем

$$\sin \theta_i = \frac{l - r}{\sqrt{\rho^2 - (a + R \cos \mu)^2}}; \quad \cos \varphi = \frac{a + R \cos \mu}{\sqrt{\rho^2 - (l - r)^2}}.$$

Для точки, расположенной на радиусе R_i , запишем

Определим угол наклона поперечной кромки на рис. 4.

В системе плоскостей проекций Π_1/Π_2 изображена сферическая задняя поверхность радиуса ρ и ось сверла, положение которой характеризуется размерами a и l . Ось сверла пересекается со сферической задней поверхностью в точке A . Через точку A проводится сечение $II-II$, перпендикулярное оси сверла. Сечение II пересекается со сферической поверхностью по окружности радиуса r_1 , которая проходит через ось сверла. Касательная к окружности радиуса r_1 , проведенная в точке A , определяет положение касательной AL и поперечной режущей кромки. Угол между касательной AL и проекцией основной режущей кромки сверла на плоскости Π_1 будет углом ψ наклона поперечной режущей кромки.

$$\cos \varphi_i = \frac{a + R_i \cos \mu_i}{\sqrt{\rho^2 - (l - r)^2}}.$$

Отсюда

$$\sqrt{\rho^2 - (l - r)^2} = \frac{a + R_i \cos \mu_i}{\cos \varphi_i}.$$

Подставляя эту величину в формулу для подсчета угла φ , имеем:

$$\cos \varphi = \frac{(a + R \cos \mu) \cos \varphi_i}{a + R_i \cos \mu_i}.$$

Отсюда

$$a = \frac{R \cos \mu \cos \varphi_i - R_i \cos \mu_i \cos \varphi}{\cos \varphi - \cos \varphi_i}.$$

Из формулы для получения угла φ имеем:

$$\cos^2 \varphi [\rho^2 - (l - r)^2] = (a + R \cos \mu)^2,$$

где

$$\rho^2 = \frac{(a + R \cos \mu)^2}{\cos^2 \varphi} + (l - r)^2.$$

Подставив эту величину в формулу для подсчета угла θ_I , запишем

$$\sin \theta_I = \frac{l - r}{\sqrt{\frac{(a + R \cos \mu)^2}{\cos^2 \varphi} + (l - r)^2 - (l - r)^2}} = \frac{(l - r) \cos \varphi}{a + R \cos \mu}.$$

Отсюда

$$l = \frac{\sin \theta_I (a + R \cos \mu)}{\cos \varphi} + r.$$

Соответственно радиус сферической задней поверхности

$$\rho = \sqrt{\frac{(a + R \cos \mu)^2}{\cos^2 \varphi} + (l - r)^2}.$$

При определенном варианте расположения сверла относительно задней сферической поверхности угол наклона поперечной кромки

$$\operatorname{tg} \psi_1 = \frac{a}{l}.$$

Зачастую угол ψ_1 не равен рекомендуемому значению угла ψ наклона поперечной кромки. В этом случае для того, чтобы обеспечить заточку с требуемой

величиной угла ψ наклона поперечной кромки, применяют двухсферическую заточку зуба сверла. Вторую сферическую поверхность образуют таким образом, чтобы обеспечить требуемую величину угла ψ наклона поперечной кромки. Для этого сверло поворачивается при установке вокруг своей оси на угол $(\psi - \psi_1)$ и проводится заточка затылочной сферической поверхности зуба сверла. При двухсферической заточке угол при вершине на поперечной кромке меньше 180° , что обеспечивает лучшие условия врезания сверла по сравнению с односферической заточкой, при которой угол при вершине на поперечной кромке равен 180° .

Выводы

1. Решена задача формообразования сферических поверхностей профилирующей окружностью инструмента.
2. Разработан способ формообразования задних поверхностей спиральных сверл с криволинейными режущими кромками в форме, приближающейся к дуге окружности, что приводит к повышению работоспособности инструмента.
3. Определены геометрические параметры режущей части сверла.
4. Решена задача определения параметров процессов формообразования, которые обеспечивают требуемые выбранные величины геометрических параметров режущей части.

Список литературы

1. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці / Н. С. Равська, П. Р. Родин, Т. П. Ніколаєнко, П. П. Мельничук. — Житомир, 2000. — 169 с.
2. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резание / П. Р. Родин. — К.: Вища шк., 1977. — 192 с.
3. Родин П. Р. Основы проектирования режущих инструментов / П. Р. Родин. — К.: Вища шк., 1990. — 424 с.
4. Шевелева Г. И. Теория формообразования и контакта движущихся тел / Г. И. Шевелева. — М.: Станкин, 1999. — 494 с.
5. Мамлюк О.В. Формоутворення фасонної задньої поверхні свердла способом копіювання / О.В. Мамлюк, Л. С. Мельничук // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: зб. наук. пр. Житомирськ. держ. технологіч. ун-ту.— Житомир: ЖДТУ. — 2006. — Вип. 3. — С. 259–265.
6. Мамлюк О.В. Заточка сверл по цилиндрическим фасонным поверхностям / О.В. Мамлюк, Б.В. Лупкин, Р.П. Родин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. трудов.— Х.: НАКУ «ХАІ». — 2006. — Вып. 30. — С. 112.
7. Мамлюк О. В. Сопряженные поверхности и способы их образования / О.В. Мамлюк // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. трудов.— Х.: НАКУ «ХАІ», 2005. — Вып. 28.

Рецензент: д.т. н., проф. В.С. Антонюк, КПИ, Киев

Поступила в редакцию 01.06.10

Формоутворення сферичних поверхонь профілюючим колом інструмента

Вирішено задачу формоутворення сферичних поверхонь профілюючим колом інструмента. Розроблено спосіб формоутворення задніх поверхонь спіральних свердел із криволінійними різальними кромками в формі, яка наближається до дуги кола, що приводить до підвищення працездатності інструмента.

Ключові слова: формоутворення, різальні інструменти, що оброблювана поверхня, профілююче коло, криволінійна різальна кромка.

Shaping of spherical surfaces by shaping circle of a tool.

The problem of shaping of spherical surfaces by shaping circle of a tool has been solved. The way of shaping of rear surfaces of twist drills with curvilinear lips with shape close to a circular arc, which leads to increase of tool operability has been developed.

Keywords: shaping, cutting tools, shaping circle, curvilinear lips.