

УДК 621.01

КОМБИНИРОВАННЫЕ ПОДКЛАССЫ ОБРАЗОВАНИЯ РЕАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ФОРМООБРАЗУЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ

канд. техн. наук, проф. А.И. ГОЛЕМБИЕВСКИЙ
(Полоцкий государственный университет)

Рассмотрена формализация отображения характеристического образа инструмента на виртуальные геометрические линии, образуемые технологической машиной при формообразующей обработке. Выявлены теоретические классы образования геометрических линий – образующей и направляющей, используемые для воспроизведения геометрических поверхностей, представляемых в виде следа, оставляемого образующей при ее перемещении по направляющей. Представлены теоретические классы воспроизведения геометрических поверхностей, полученные как сочетание двух линий – образующей и направляющей из множества классов образования геометрических линий. Выделены классы воспроизведения реальных поверхностей из многообразия теоретически возможных классов. Предложена методика комбинирования классов образования воспроизводящих линий между собой и на этой основе выявлены возможные комбинированные подклассы воспроизведения поверхностей. Приведены примеры комбинированных подклассов воспроизведения реальных поверхностей при формообразующей обработке.

Введение. Воспроизведение образующей или направляющей реальной поверхности на технологической машине (например, металлорежущем станке) в работах [1; 2] представлено в виде отображения характеристического образа P инструмента (например, резца, сверла, фрезы и т.п.) или физического явления (объекта), выполняющего его функцию (например, луча лазера, поля центробежных сил и т.п.) на виртуальную геометрическую линию, образуемую технологической машиной. При этом все многообразие видов образования воспроизводящих линий – образующей и направляющей – реальных поверхностей сводится к четырем геометрическим классам: прерывистому (Π), непрерывному при скольжении (H^c), непрерывному при качении (H^k), единовременному (E).

Сочетание каждого из названных классов воспроизведения образующей с каждым из тех же классов воспроизведения направляющей составляет следующее многообразие теоретически возможных классов образования поверхностей в пространстве и времени: $\Pi - \Pi$; $\Pi - H^c$; $\Pi - H^k$; $H^c - \Pi$; $H^c - H^c$; $H^c - H^k$; $H^k - \Pi$; $H^k - H^c$; $H^k - H^k$; $E - \Pi$; $E - H^c$; $E - H^k$; $E - E$. Из приведенного списка классы $\Pi - E$, $H^c - E$ и $H^k - E$ исключены как практически неосуществимые. В этих классах направляющая должна создаваться единовременно, т.е. зеркальным отображением характеристического образа. Полученная таким образом производящая линия обычно выполняет функцию образующей, так как имеет наиболее высокий темп воспроизведения. Направляющая производящая линия может быть создана зеркальным отображением характеристического образа только в том случае, когда образующая производящая линия создается также зеркальным отображением. Данный случай соответствует классу $E - E$ двойного зеркального отображения характеристического образа. Таким образом, в практике формообразующей обработки осуществимы 13 из 16 теоретически возможных геометрических классов образования поверхностей.

Методика создания комбинированных подклассов. Геометрические классы образования производящих линий, а следовательно, и реальных поверхностей при формообразующей обработке различаются количеством движений; темпом или производительностью образования воспроизводящих линий; протяженностью контакта характеристического образа и заготовки, существенно влияющими на качественные и энергетические параметры технологических процессов [2]. Указанными параметрами можно управлять, комбинируя классы образования воспроизводящих линий (образующей и направляющей) Π , H^c , H^k , E между собой.

Пусть при отображении характеристического образа P единовременно всем $M_j \subset P$ соответствует в множестве M взаимно однозначно и непрерывно семейство образов

$$A = \{f(M)_1, f(M)_2, \dots, f(M)_k\}.$$

Рассмотрим возможные варианты.

Образ $f(M)_i$ семейства (A) возникает во времени непрерывно как возрастающая последовательность составляющих его $f(x)_{ij}$. В этом случае получим единовременно непрерывные E^*H^c и E^*H^k подклассы образования производящей линии. Здесь и далее символ «*» обозначает комбинированный подкласс воспроизведения производящей линии.

Образ $f(M)_i$ семейства (A) возникает прерывисто во времени как последовательность составляющих его $f(x)_{ij}$. В этом случае подкласс образования производящей линии будет единовременно прерывистым $E^*\Pi$.

Подклассы E^*H^c , E^*H^k и $E^*П$ получены из исходного класса E посредством разбиения характеристического образа P на непересекающиеся множества M_j , каждое из которых отображается в множество M непрерывно или прерывисто.

Приведенное комбинирование классов от E к H^c , H^k и $П$ в реальных процессах формообразующей обработки при некоторых видах обработки; например, при резании позволяет управлять мгновенной протяженностью линии контакта инструмента и заготовки, что существенно улучшает течение технологического процесса. Назовем такое комбинирование повышающим (K_y).

При K_y необходимое количество движений для возникновения производящей линии остается равным сумме движений комбинируемых классов.

Возможно обратное комбинирование от классов H^c , H^k и $П$ к классу E . Пусть в классах H^c , H^k и $П$ мгновенное значение $M_j \cap M$ состоит из конечного значения точек, т.е. является линейчатом. Тогда производящая линия будет возникать во времени в виде последовательного фиксирования объединения

$$A_j = \bigcup_{2 \leq x \leq n} f(x).$$

Таким образом, получим три других комбинированных подкласса: непрерывно единовременный при скольжении $H^c * E$, непрерывно единовременный при качении $H^k * E$ и прерывисто единовременный $П * E$. Эти подклассы характеризуются более высокой производительностью, чем исходные классы H^c , H^k и $П$. Назовем полученное комбинирование повышающим (K_{II}). При K_{II} количество движений при возникновении производящей линии увеличивается до суммы движений комбинируемых классов.

Сочетая комбинированные подклассы возникновения производящих линий между собой и с основными геометрическими классами, получим все многообразие теоретически возможных подклассов образования поверхностей при формообразующей обработке. В таблице приведены результаты, упорядоченные по производительности исходных классов образования поверхностей. Приведено также количество движений формообразования для исходных классов и соответствующих им подклассов.

Классы и подклассы образования реальных поверхностей

Исходные классы	Количество движений	Комбинирование	Комбинированные подклассы	Количество движений
1	2	3	4	5
$П-П$	2 + 2	${}^oK_{II}$ ${}^H K_{II}$ ${}^oK_{II} + {}^H K_{II}$	$П * E - П$ $П - П * E$ $П * E - П * E$	2 + 2 2 + 2 2 + 2
$П-H^c$	2 + 1	${}^oK_{II}$ ${}^oK_{II}$ ${}^oK_{II} + {}^H K_{II}$	$П * E - H^c$ $П - H^c * E$ $П * E - H^c * E$	2 + 1 2 + 1 2 + 1
$П-H^k$	2 + 2	${}^oK_{II}$ ${}^H K_{II}$ ${}^oK_{II} + {}^H K_{II}$	$П * E - H^k$ $П - H^k * E$ $П * E - H^k * E$	2 + 2 2 + 2 2 + 2
$H^c-П$	1 + 2	${}^oK_{II}$ ${}^H K_{II}$ ${}^oK_{II} + {}^H K_{II}$	$H^c * E - П$ $H^c - П * E$ $H^c * E - П * E$	1 + 2 1 + 2 1 + 2
H^c-H^c	1 + 1	K_{II} K_{II} ${}^oK_{II} + {}^H K_{II}$	$H^c * E - H^c$ $H^c - H^c * E$ $H^c * E - H^c * E$	1 + 1 1 + 1 1 + 1
H^c-H^k	1 + 2	${}^oK_{II}$ ${}^H K_{II}$ ${}^oK_{II} + {}^H K_{II}$	$H^c * E - H^k$ $H^c - H^k * E$ $H^c * E - H^k * E$	1 + 2 1 + 2 1 + 2
$H^k-П$	2 + 2	${}^oK_{II}$ ${}^H K_{II}$ ${}^oK_{II} + {}^H K_{II}$	$H^k * E - П$ $H^k - П * E$ $H^k * E - П * E$	2 + 2 2 + 2 2 + 2
H^k-H^c	2 + 1	${}^oK_{II}$ ${}^H K_{II}$ ${}^oK_{II} + {}^H K_{II}$	$H^k * E - H^c$ $H^k - H^c * E$ $H^k * E - H^c * E$	2 + 1 2 + 1 2 + 1
H^k-H^k	2 + 2	${}^oK_{II}$ ${}^H K_{II}$ ${}^oK_{II} + {}^H K_{II}$	$H^k * E - H^k$ $H^k - H^k * E$ $H^k * E - H^k * E$	2 + 2 2 + 2 2 + 2
$E - П$	0 + 2	oK_y ${}^H K_{II}$ ${}^oK_y + {}^H K_{II}$	$E * П - П$ $E - П * E$ $E * П - П * E$	0 + 2 2 + 2 1 + 2

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
$E - H^c$	0 + 1	oK_y ${}^oK_y + {}^H K_{\Pi}$ oK_y ${}^oK_y + {}^H K_{\Pi}$ oK_y ${}^H K_{\Pi}$ ${}^oK_y + {}^H K_{\Pi}$	$E^*H^c - \Pi$ $E^*H^c - \Pi^*E$ $E^*H^k - \Pi$ $E^*H^k - \Pi^*E$ $E^*\Pi - H^c$ $E - H^c * E$ $E^*\Pi - H^c * E$	1 + 2 2 + 2 2 + 2 2 + 1 0 + 1 2 + 1 1 + 1
$E - H^k$	0 + 2	oK_y ${}^oK_y + {}^H K_{\Pi}$ oK_y ${}^oK_y + {}^H K_{\Pi}$ oK_y ${}^H K_{\Pi}$ ${}^oK_y + {}^H K_{\Pi}$ oK_y	$E - H^c * E$ $E^*H^c - H^c * E$ $E^*H^k - H^c$ $E^*H^k - H^c * E$ $E^*\Pi - H^k$ $E - H^k * E$ $E^*\Pi - H^k * E$ $E^*H^c - H^k$	1 + 1 2 + 1 2 + 1 2 + 2 0 + 2 2 + 2 1 + 2 1 + 2
$E - E$	0 + 0	${}^oK_y + {}^H K_{\Pi}$ oK_y ${}^oK_y + {}^H K_{\Pi}$ oK_y ${}^H K_{\Pi}$ ${}^oK_y + {}^H K_{\Pi}$ oK_y ${}^H K_y$ ${}^oK_y + {}^H K_y$ ${}^oK_y + {}^H K_y$ ${}^oK_y + {}^H K_y$ oK_y ${}^H K_y$ ${}^oK_y + {}^H K_y$	$E^*H^c - H^k * E$ $E^*H^k - H^k$ $E^*H^k - H^k * E$ $E^*\Pi - E$ $E - E^*\Pi$ $E^*\Pi - E^*\Pi$ $E^*H^c - E$ $E - E^*H^c$ $E^*H^c - E^*H^c$ $E^*\Pi - E^*H^c$ $E^*H^c - E^*\Pi$ $E^*H^k - E$ $E - E^*H^k$ $E^*H^k - E^*H^k$ $E^*\Pi - E^*H^k$ $E^*H^k - E^*\Pi$ $E^*H^c - E^*H^k$ $E^*H^k - E^*H^k$	2 + 2 2 + 2 2 + 0 0 + 2 2 + 2 1 + 0 0 + 1 1 + 1 2 + 1 1 + 2 2 + 0 0 + 2 2 + 2 2 + 2 2 + 2 2 + 2 2 + 2 1 + 2 2 + 1 1 + 1

В приведенной таблице верхние индексы «^o» и «^H» у вида комбинирования K_y и K_{Π} обозначают, что в соответствующем подклассе воспроизведения поверхности комбинированием получают образующую или направляющую.

Примеры комбинированных подклассов формообразования реальных поверхностей. При точении широким резцом цилиндрической поверхности (рис. 1) характеристический образ 1 инструмента

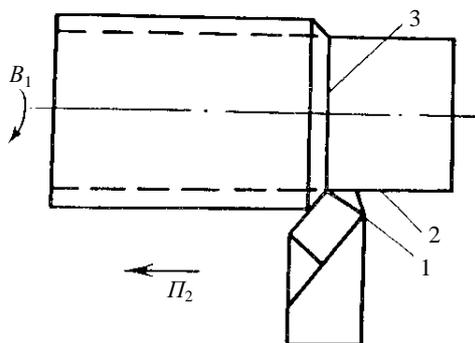


Рис. 1. Комбинированный подкласс $H^c - H^c * E$ образования поверхности

состоит из одного множества материальных точек $\{M_s\}_1$, мощность которого соответствует части направляющей 2 получаемой поверхности. Образующая 3 – окружность получаемой цилиндрической поверхности – воспроизводится непрерывно при скольжении (H^c) посредством вращения B_1 заготовки, а направляющая 2 – непрерывно одновременно ($H^c * E$) посредством поступательного движения Π_2 инструмента вдоль направляющей. Следовательно, подкласс воспроизведения цилиндрической поверхности ($H^c - H^c * E$). Приведенная схема получена из исходного класса ($H^c - H^c$) посредством управляющего комбинирования (K_y) путем изменения характеристического образа $\{1\}_1$ традиционного остро заточенного резца без изменения его конструкции. Однако темп воспроизведения направляющей может быть существенно выше. Теоретически темп воспроизведения направляющей возрастает пропорционально увеличению отношения мощностей характеристических образов $\{M_s\}_1$ и $\{1\}_1$ рассматриваемой схемы и ее прототипа.

При этом критерий сложности [2] кинематической подсистемы комбинированного подкласса схемы формообразующей обработки, равный количеству формообразующих движений, не изменился.

На рисунке 2 показана схема способа точения цилиндрической поверхности остро заточенным резцом, у которого характеристический образ $P = \{1\}_1$. При обработке заготовке 1 сообщают движение кру-

говой подачи B_1 , а рецу 2 – движение скорости резания B_3 вокруг вертикальной оси 3, которой сообщают движение продольной подачи Π_2 параллельно оси заготовки. Прототипом данного способа обработки, как и в предыдущем примере, является классический способ обработки цилиндрической поверхности остро заточенным резцом.

Сообщение рецу дополнительного движения B_3 обеспечивает срезание стружки за каждый оборот реца в виде фигуры OAE , что равнозначно надежному стружкодроблению при обработке резанием. По существу этот эффект определяет синергизм рассматриваемого способа, признанного изобретением [3].

Надежное стружкодробление является следствием целенаправленного изменения структуры способа. При этом увеличивается его коэффициента сложности. Изменяется также основной класс воспроизведения поверхности на менее производительный $\Pi - \Pi$, чем по прототипу.

В рассматриваемом способе можно заменить рец резцовой головкой. Ее характеристический образ $\{1\}_k$, где k – число рецов головки. В итоге за счет использования инструмента с более высокой мощностью характеристического образа при прочих равных условиях существенно возрастает период размерной стойкости инструмента. Этот эффект, по существу, является суммой эффектов от использования определенного некоторого количества рецов. При этом класс образования поверхности и коэффициент сложности способа обработки не изменяются.

При использовании рассматриваемого способа из-за прерывистого характера резания на получаемой цилиндрической поверхности образуются гребни. Этот недостаток устраняется при использовании способа фрезоточения резцовой головкой [4]. По этому способу (рис. 3), как и по его прототипу, заготовке 1 сообщают движение B_1 , а резцовой головке 3, несущей рецы 2, – движения B_2 и Π_3 . Рецам 2 резцовой головки 3 (или одному из них) согласно [4] сообщают в зоне резания дополнительное перемещение Π_4 в радиальном направлении, связанное с ее вращением B_2 зависимостью

$$h = R(\sec \varphi - 1),$$

где h – путь радиального перемещения реца; R – радиус вершины реца при $h = 0$; φ – угол поворота реца от плоскости, нормальной оси заготовки.

В этом случае вершины режущих зубьев будут перемещаться на участке cd по прямолинейной образующей, получаемой номинальной поверхности. А на участках bd и ac будет осуществляться плавный переход от окружности к прямой и обратно. В итоге обеспечивается формообразование цилиндрической поверхности с той же точностью, что и при традиционном точении. Этот эффект определяет синергизм рассматриваемого способа формообразующей обработки, признанного изобретением.

В соответствии с рассмотренной выше методикой комбинирования классов образования воспроизводящих линий синергизм рассматриваемого способа является следствием целенаправленного изменения структуры способа при сохранении неизменным характеристического образа инструмента.

Изменяется посредством повышающего комбинирования основной класс воспроизведения поверхности на более производительный комбинированный подкласс $\Pi - \Pi^*H^c$. При этом увеличивается коэффициент сложности и изменяется функция способа.

На рисунке 4 показана схема способа обработки поверхностным пластическим деформированием цилиндрической поверхности. Инструмент – накатной ролик выполнен в форме спирали (пружины). Его характеристический образ представляет собой множество $\{M_9\}_1$, мощность которого значительно выше мощности образующей воспроизводимой поверхности – прямой линии, параллельной оси заготовки и равной длине этой поверхности. При такой конструкции инструмента его характеристический образ будет пересекаться с воспроизводящими линиями образующей (прямая линия) и направляющей (окружность) одновременно в нескольких точках, равнорасположенных вдоль образующей.

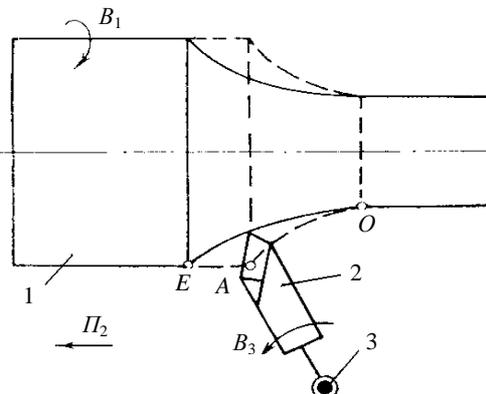


Рис. 2. Класс образования поверхности $\Pi - \Pi$

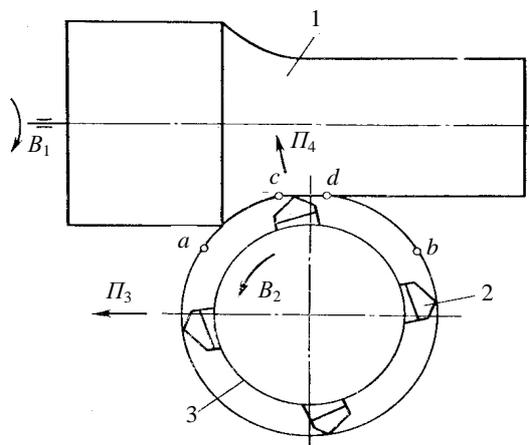


Рис. 3. Комбинированный подкласс $\Pi - \Pi^*H^c$ образования поверхности

При обработке заготовке 1 сообщают движение B_1 , а инструмент 2 подводят установочным движением Π_2 к ней. Вследствие силового контакта между инструментом и заготовкой инструмент получает вращательное движение B_3 обкатки. При этом характеристический образ инструмента отдельными последовательными участками непрерывно в перемещающихся точках контакта 3 пересекается с воспроизводящими линиями.

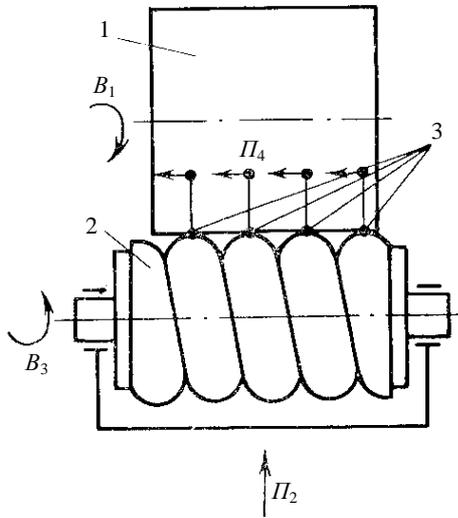


Рис. 4. Комбинированный подкласс $E^*H^c - H^c$ образования поверхности

но одновременно требуют введения дополнительного формообразующего движения Π_4 . В рассматриваемом случае такое движение получено за счет взаимодействия заготовки и инструмента.

На рисунке 5 показана схема способа газоплазменной лазерной наплавки [5], основанного на приращении вещества к заготовке. Функцию инструмента выполняет концентрированный источник энергии – луч лазера, расплавляющий газопорошковую смесь (прибавляемое вещество). По этому способу формообразующей обработки заготовку 1 устанавливают в шпиндель технологической машины по линии центров под смонтированными на суппорте источником лазерного луча 2 и питателем 3 газопорошковой смеси.

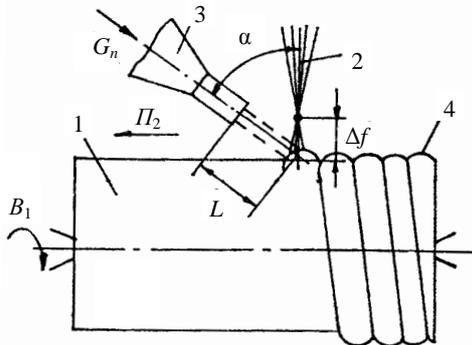


Рис. 5. Комбинированный подкласс $E - H^c * E$ образования поверхности

коэффициент Δf фокусировки луча и параметры G_n , L , α подачи газопорошковой смеси. Рекомендуемая по литературным источникам скорость формообразования наплавленной поверхности составляет 8,3...50 мм/с.

Зеркальное отображение луча лазера на наплавляемую заготовку представляет собой некоторую поверхность, воспроизводимую одновременно. Площадь этой поверхности зависит от коэффициента фокусировки Δf . Следовательно, мощность характеристического образа инструмента – луча лазера – есть декартово произведение

$$P = \{E \times E\}_1.$$

При $\Delta f = 0$ мощность характеристического образа луча лазера аналогична мощности характеристического образа остро заточенного резца $\{1\}_1$. Вероятно, в этом частном случае наплавка не имеет практического смысла.

Прообразом кинематической подсистемы анализируемого способа формообразующей обработки является классический способ нарезания резьбы фасонным резцом, у которого класс образования винтовой поверхности $E - H^c$. Следовательно, этот класс является исходным для рассматриваемого способа образования наплавленной поверхности при $\Delta f = 0$. При увеличении Δf мощность характеристического

образа луча лазера возрастает. Это создает условия для увеличения темпа движений V_1 и II_2 . В итоге при прочих равных условиях возрастает расход газопорошковой смеси и мощность излучения лазера. При этом класс воспроизведения образующей остается неизменным, а класс воспроизведения направляющей преобразуется, посредством K_y , в непрерывно единовременный при скольжении $H^c * E$.

Заключение. На основе системологии, являющейся составной частью общего системного анализа способов формообразующей обработки, предложена методика создания комбинированных подклассов получения реальных поверхностей на технологическом оборудовании. Выявлены виды комбинирования: повышающее, управляющее, смешанное. Приведены теоретически возможные подклассы получения реальных поверхностей. Рассмотрены примеры способов формообразующей обработки, полученных с использованием комбинирования основных классов образования реальных поверхностей. Приведенные примеры основаны на удалении части материала заготовки, на прибавлении материала к заготовке и на изменении формы заготовки с использованием инструмента как традиционного в виде твердого тела (резец, накатной ролик) так и в виде физического явления (луч лазера).

ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов, Е.Г. Основы новых способов металлообработки / Е.Г. Коновалов. – Минск: Наука и техника, 1968.
2. Голембиевский, А.И. Основы системологии способов формообразующей обработки в машиностроении / А.И. Голембиевский. – Минск: Наука и техника, 1986.
3. Способ прерывистого точения: а. с. 228463 (СССР) / МКИ В 23В 1/00 / Ю.А. Новоселов // Открытия. Изобретения. – 1969. – № 31.
4. Способ обработки резанием: а. с. 854593 (СССР) / МКИ В 23В 1/00 / В.А. Данилов // Открытия. Изобретения. – 1981. – № 30.
5. Голембиевский, А.И. Анализ способов формообразующей обработки с позиций общей теории систем / А.И. Голембиевский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. – 2009. – № 8. – С. 13–46.

Поступила 05.01.2015

COMBINED SUBCLASS OF FORMATION REAL SURFACE AT THE FORMATIVE TREATMENT

A. GOLEMBIEVSKI

We consider the formalization of the characteristic image display tool for virtual geometric lines formed during the molding process machine processing. Identified theoretical education classes geometric lines – forming and directing used for playback of geometric surfaces represented as the trace left by a generator as it moves along the rail. The theoretical classes play of geometric surfaces obtained as a combination of the two lines – forming and directing from a variety of education classes geometric lines. The classes play real surfaces of a variety of theoretically possible classes. The technique of combining education classes reproducing lines between itself and on this basis identifies possible combination subclasses playing surfaces. The examples of combined subclasses play real surfaces with molding processing.