

С.К. Амбросимов, д.т.н.,

Р.В. Грибков, бакалавр

(ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»,  
398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 3)

E-mail: ambask@mail.ru

## Чистовая обработка фасонных поверхностей методами поверхностного пластического деформирования

*Представлен метод обкатывания фасонной поверхности самоустанавливающимся обкатным инструментом. Приведены конструкция и методика расчета основных элементов обкатника. Изложены результаты экспериментальных исследований формирования шероховатости фасонных поверхностей при различных режимах обкатывания.*

**Ключевые слова:** поверхностно-пластическая деформация; обкатывание фасонной поверхности; обкатной инструмент.

S.K. Ambrosimov, Dr. Sc. Tech.,

R.V. Gribkov, Bachelor

(FSBEI HE Lipetsk State Technical University, 30, Moskovskaya Str., Lipetsk, Russia, 398055)

## Formed surface finishing by methods of surface plastic deformation

*There is presented a method for formed surface rolling with a self-adjusting rolling tool. A design and a procedure for the computation of roller basic elements are shown. There are presented results of experimental investigations of roughness formation in shaped surfaces at different rolling modes.*

**Keywords:** surface-plastic deformation; shaped surface rolling; rolling tool.

В последние годы появилось множество новых способов обкатывания с заданными параметрами микрогеометрии поверхности [1 – 3]. Однако обработка объемных фасонных поверхностей представляет собой сложный и трудоемкий процесс. Поверхность, получаемая после предварительного фрезерования, имеет волнистость и высокую продольную шероховатость, определяемые формой радиусной части фрезы и вибрациями. Окончательная обработка выполняется вручную. При этом качество поверхности и точность зависят от квалификации исполнителя.

Для окончательной обработки объемных фасонных поверхностей разработаны самоустанавливающиеся специальные инструменты (рис. 1), работающие методами поверхностного деформирования [4]. Выглаживающие элементы со сферической рабочей поверхностью (рис. 1, а) или тороидальные ролики (рис. 1, б) такого инструмента, установленные с равным эксцентриситетом относительно оси вращения, через рычажное устройство или шестерню связанные между собой, самоустанавли-

ваются на наклонных и радиусных участках фасонной поверхности.

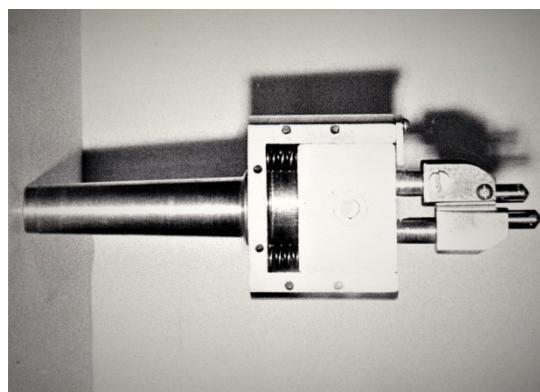
Инструмент устанавливают в шпинделе копировально-фрезерного или фрезерного станка с ЧПУ (рис. 2), подводят к заготовке с необходимым натягом, задают вращение и перемещают по программе или при помощи копира. При движении относительно поверхности инструмента рабочие поверхности роликов или выглаживателей, совершая циклоидальные движения, пластически деформируют фасонную поверхность.

Ширина строки, оставленная обкатными элементами или выглаживателями на обрабатываемой поверхности, равна двойному расстоянию от оси инструмента до точки контакта деформирующего элемента с заготовкой.

Кинематическая схема инструмента представлена на рис. 3. Корпус 1, установлен на тарированных пружинах 2 в стакане 3 с коническим хвостовиком для установки в шпиндель. В корпусе смонтированы два плунжера 4 реечного типа, симметрично расположенных относительно оси вращения инструмента, и

шарнирно соединённых с шестернёй 5. В плунжерах установлены два деформирующих

ролика 6 или алмазных выглаживателя (см. рис. 1, а).



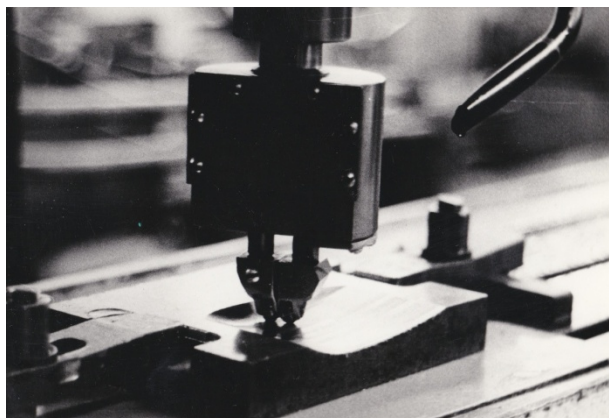
а)



б)

**Рис. 1. Экспериментальные образцы инструментов для поверхностного пластического деформирования фасонных поверхностей:**

а – методом выглаживания; б – методом обкатывания



**Рис. 2. Обработка фасонной поверхности методом поверхностного пластического деформирования самоустанавливающимся инструментом**

Качение деформирующих роликов (скольжение выглаживателей) по обрабатываемой поверхности и их равномерное давление на наклонные и радиусные участки фасонной поверхности обеспечивается за счёт свободного осевого перемещения плунжеров, симметричного расположения деформирующих элементов относительно оси вращения и радиусной

формы их рабочей поверхности.

Особенности объёмных фасонных поверхностей обкатыванием требуют определенной конфигурации рабочей поверхности роликовых обкатников, зависящей от кинематики движения обката инструмента и максимального угла наклона фасонной поверхности к горизонтали. В целях обеспечения идентичных условий контакта роликов при их качении на разных участках фасонной поверхности, рабочую поверхность роликов необходимо выполнять тороидальной.

В зоне контакта с обкатываемой фасонной поверхностью на всех участках кривизна рабочей поверхности деформирующих роликов должна быть большей, чем кривизна поверхности подлежащей обработке, т.е.  $R_p < R_\phi$ . Таким образом, величина наружного радиуса  $R_p$  деформирующих роликов определяется по формуле

$$R_p = (0,5 - 0,9) \cdot R_\phi, \quad (1)$$

где  $R_\phi$  – минимальный радиус фасонной поверхности.

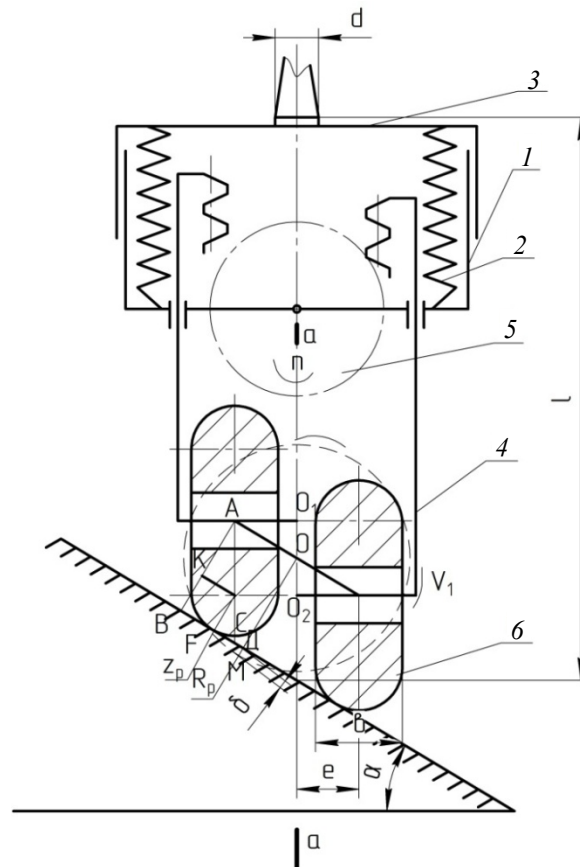


Рис. 3. Кинематическая схема инструмента для обкатывания фасонной поверхности

Величина профильного радиуса  $r_p$  деформирующих роликов определяется допустимыми величинами угла  $\alpha$  наклона участков фасонной поверхности и пластической деформации  $\delta$  поверхностного слоя (см. рис. 3)

На схеме представлено два экстремальных положения деформирующих роликов за один оборот инструмента при обработке наклонной поверхности, расположенной под углом  $\alpha$  к горизонтали. В положении с максимальным вертикальным смещением роликов (положение центров роликов в точках  $O_1$  и  $O_2$ ) расстояние от центра каждого ролика до обрабатываемой поверхности равно  $AB$  и определяется из  $\triangle ABC$ .

$$AB = AK + KB,$$

$$AB = (R - r) \cdot \cos \alpha + r.$$

При повороте инструмента вокруг оси  $O_1O_2$  на  $90^\circ$  центры роликов переместятся в точку  $O$ , (рабочие поверхности роликов в этом положении обозначены штриховой линией). Расстояние от оси каждого ролика до обрабатываемой поверхности равно  $OD$ . Очевидно, что  $OD = AB$  будет при абсолютно жестком расположении корпуса в стакане, т.е. при отсутствии пружин 2. В этом случае, при каждом

повороте инструмента вокруг оси  $O_1O_2$  ролики будут деформироваться в поверхность на величину  $\delta$ , которая определяется по формуле

$$\delta = R - [(R - r) \cdot \cos \alpha + r].$$

После преобразований

$$\delta = (R - r) \cdot (1 - \cos \alpha). \quad (2)$$

В том случае, когда направление подачи  $S$  совпадает с направлением наклона плоскости, деформация  $\delta$  будет увеличиваться от центра к краям строки (рис. 4, а, показано сплошной линией). Когда направление подачи  $S$  перпендикулярно направлению наклона плоскости, деформация  $\delta$  металла в поперечном сечении строки увеличивается к центру (точка  $M$ ). Положение роликов и форма соответствующего поперечного сечения обработанной поверхности для этого случая обозначены штриховыми линиями (рис. 4, а). Координаты точки  $M$  определяется из  $\triangle AO_1O$  и  $\triangle ABK$  как разность  $(AO - BF)$ .

$$L = \frac{1}{2 \cos \alpha} - (R - r) \sin \alpha, \quad (3)$$

где  $L$  – смещение роликов относительно оси  $O_1O_2$  инструмента.

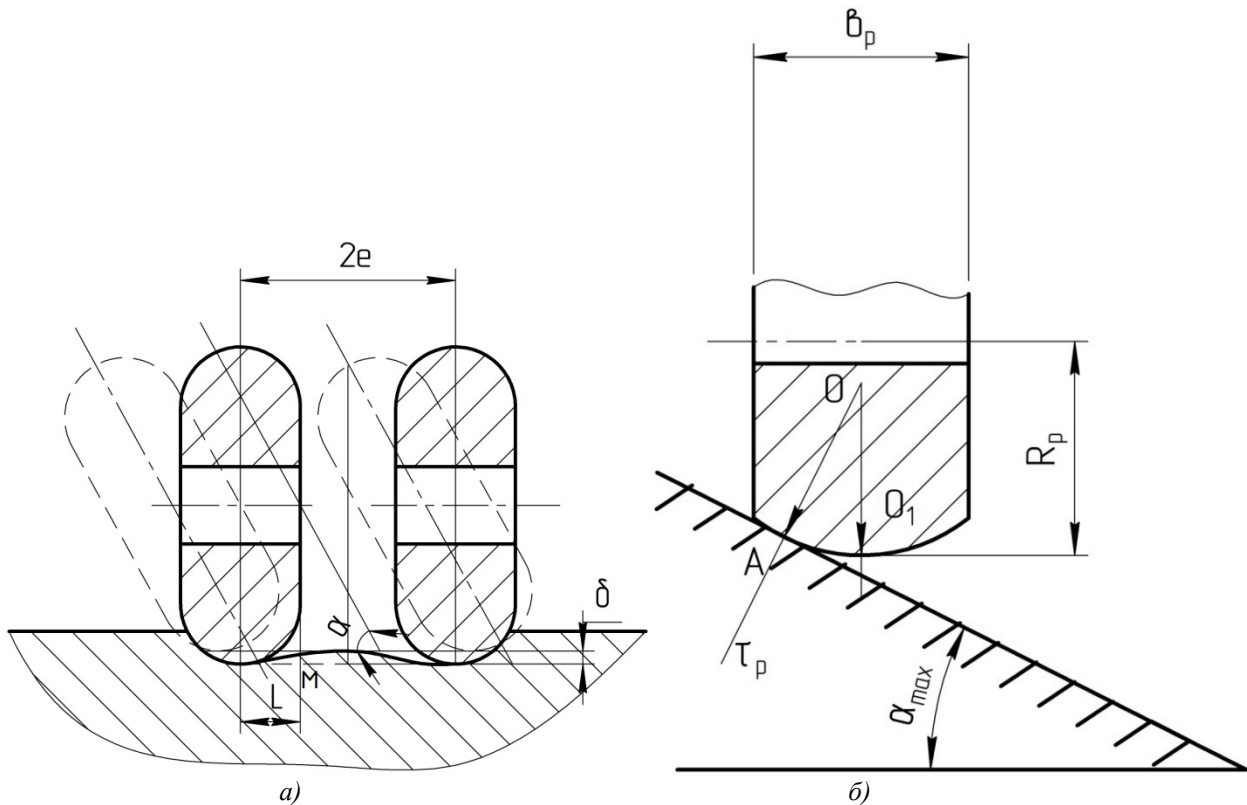


Рис. 4. Положение роликов при обработке наклонной поверхности:

а – с подачей в направлении наклона плоскости;

б – с подачей в направлении перпендикулярном направлению наклона плоскости

Пружины 2 (см. рис. 3) компенсируют неравномерную деформацию в поперечном сечении строки. Допустимый угол  $\alpha_{\max}$  наклонных участков фасонной поверхности при обкатывании определяется геометрическими параметрами роликов, однако, он ограничивается прочностью и жесткостью, которые зависят от вылета инструмента относительно шпинделя.

Радиус  $r_p$  тороидальной поверхности деформирующего ролика находится на  $\Delta AOO_1$  (рис. 4, б).

$$r_p = \frac{O_1A}{\sin \alpha_{\max}}; r_p = \frac{b_p}{2 \sin \alpha_{\max}}, \quad (4)$$

где  $b_p$  – ширина деформирующих роликов, принимается равной  $(0,5 \dots 0,8)R_p$ .

На основании уравнений (3) – (4) после преобразований получим

$$r_p = (0,4 - 0,8) \cdot R_p. \quad (5)$$

На основании уравнений (4), (5) и рекомендаций по выбору ширины ролика установлен диапазон максимальных значений угла, который находится в пределах

$$\alpha_{\max} = 59 \dots 48^\circ.$$

Сила  $P$  прижатия деформирующихся роликов к обрабатываемой поверхности определяется по формуле

$$P \geq 1,1 \sigma_T F_K,$$

где  $F_K$  – площадь контакта ролика с обрабатываемой поверхностью;  $\sigma_T$  – предел текучести обрабатываемого материала.

Площадь контакта ролика с обрабатываемой поверхностью с достаточной степенью точности определяется по формуле

$$F_K = \frac{k\pi}{2} \sqrt{R_p^2 - (R_p - R_{zi-1})^2} \cdot \left[ \frac{S_0}{2} + \sqrt{r_p^2 - (r_p - R_{zi-1})^2} \right], \quad (6)$$

где  $R_{n-1}$  – высота исходной шероховатости на обрабатываемой поверхности перед обкатыванием;  $S_0$  – подача при обкатывании за один проход шпинделя;  $k$  – коэффициент, учитывающий тороидальную форму контактной поверхности и упругие деформации обрабатываемого металла,  $k = 1,3 \dots 1,5$ .

На основании данной методики спроектированы и изготовлены в металле роликовые инструменты, которыми проводилась чистовая обработка фасонной рабочей поверхности радиусных гибочных штампов из стали 15ХНТ. Для вариантов обкатников были изготовлены два типа роликов с  $R_{\text{рх}}r_{\text{р}} \times b_{\text{р}}$ : 20x8x10 с углом  $\alpha_{\text{max}} = 59^\circ$  и 12,5x5x10 с углом  $\alpha_{\text{max}} = 48^\circ$ . Обработка проводилась на копировально-фрезерном станке силой прижатия роликов (с размерами 20x8x10)  $P = 3 \dots 4$  кН, со скоростью качения роликов 48 м/мин и продольной подачей 200 мм/мин. При исходной шероховатости  $Ra = 20$  мкм после обработки обкатником с указанными выше параметрами роликов шероховатость обработанной поверхности составила  $Ra = 1,25$  мкм.

Результаты экспериментальных исследований обкатывания фасонных поверхностей при максимально допустимом значении угла наклона обрабатываемой поверхности  $\alpha_{\text{max}} = 40^\circ$  показали снижение шероховатости по параметру  $Ra$  до 0,8...1,5 мкм, при исходной шероховатости  $Ra = 10 \dots 25$  мкм (рис. 5).

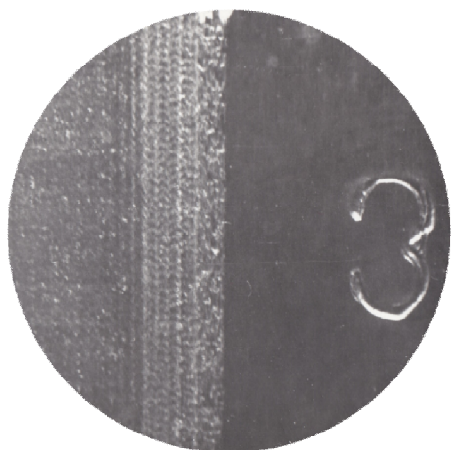


Рис. 5. Участок фасонной поверхности, обработанный обкатыванием после построчного фрезерования

Выглаживание осуществлялось сферическими алмазами радиусом 2,5 мм при нагрузке 150...250 кН со скоростью 120 м/мин при подаче 50 мм/мин, при исходной шероховатости  $Ra = 20$  мкм, шероховатость обработанной поверхности составила  $Ra = 0,8$  мкм.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амбросимов, С.К., Грибков, Р.В. Способ создания поверхности с регулярным микрорельефом // Сб. науч. ст. 6-й научно-технической конференции с международным участием «Прогрессивные технологии и процессы». – Курск, – 2019. – С. 8-10.

2. Зайдес, С.А. От кинематики рабочего инструмента к новым процессам отделочно-упрочняющей обработки // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2019. – Т. 23. – С. 863-873.

3. Амбросимов, С.К., Грибков, Р.В. Повышение адгезионных свойств поверхности под износостойкие покрытия при обкатывании абразивными кругами // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2019. – №3(41). – С.40-43.

4. А.С. 880705 СССР, МПК В24 В39/02. Виброобкатник /Савищенко В.М., Амбросимов С.К. (СССР). – 2878541; заявлено 01.02. 80; опубл. 15.11.1981, Бюл. 42. – 4 с.

## REFERENCES

1. Ambrosimov, S.K., Gribkov, R.V. Method for formation of surface with regular micro-relief // *Proceedings of the VIth Scientif.-Tech. Conf. with Inter. Participation "Efficient Technologies and Processes"*. – Kursk, - 2019. – pp. 8-10.

2. Zaides, S.A. From kinematics of working tool to new processes of finishing-strengthening // *Bulletin of Irkutsk State University*. – 2019. – Vol.23. – pp. 863-873.

3. Ambrosimov, S.K., Gribkov, R.V. Surface adhesion properties increase for wear-resistant coatings at rolling with abrasive disks // *Bulletin of Lipetsk State Technical University*. – 2019. – No.3(41). – pp. 40-43.

4. Author's Certificate 880705 the USSR, IPC B24 B39/02. Vibro-roller/Savishchenko V.M., Ambrosimov S.K. (the USSR). – 2878541; applied: 01.02.80; published: 15.11.1981, Bull. 42. – pp. 4.

Рецензент д.т.н. А.М. Козлов