

УДК 621.910.71

Е. Г. КОНОВАЛОВ, А. И. ГОЛЕМБИЕВСКИЙ

## К ВОПРОСУ О ФОРМООБРАЗОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ НАКАТЫВАНИИ ШАРОВЫХ ДЕТАЛЕЙ С САМОПОДАЧЕЙ

Всякий процесс пластической деформации имеет сдвиговую природу и характеризуется линиями действия максимальных касательных напряжений. Под линией контакта деформирующего ролика с неровностями обрабатываемой поверхности (рис. 1) образуются почти жесткие линии скольжения (за счет симметричного пересечения линий сдвигов),

которые под воздействием ролика вдавливаются в обрабатываемую поверхность заготовки. Металл смещается при этом в направлении силовых линий пластической деформации и течет в направлении наименьшего сопротивления к свободным поверхностям неровностей и к впадинам шероховатостей поверхности. Поэтому впадины поднимаются вверх, пока не встретятся с опущенными выступами на одном уровне.

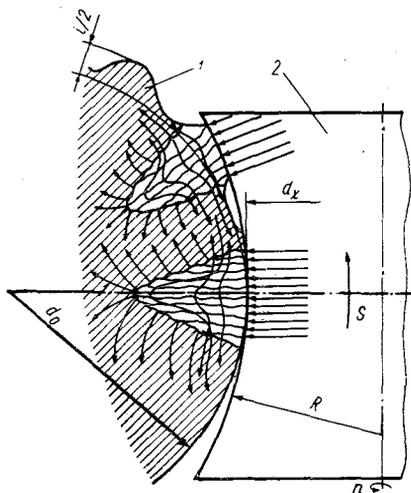


Рис. 1. Принципиальная схема деформирования:

1—накатываемая поверхность, 2—накатной ролик

На приемных участках деформирующего элемента ролика, обуславливающих малую степень деформирования, окружное (по направлению самоподачи) течение металла в обрабатываемой поверхности совпадает с направлением подачи  $S$  и, наоборот, в местах наибольшей деформируемости поверхности обработки металл течет в направлении, противоположном подаче. Между зонами окружного течения металла в противоположных направлениях фиксируется зона радиального пластического течения. Следовательно, деформирующая поверхность ролика возбуждает в обрабатываемой поверхности три волны пластического течения металла: две окружные и одну радиальную. Распределение металла по волнам зависит от угла деформирования. Среднее значение угла деформирования определяется по формуле

$$\alpha = \arctg \sqrt{\frac{i(R + i - d_1/2)}{\frac{d_1}{2} (2R + i)}}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — угол деформирования;  $i$  — натяг;  $R$  — профильный радиус накатного ролика;  $d_1$  — диаметр заготовки.

Диаметр сечения ролика, возбуждающий только радиальную волну течения металла, можно приближенно определить по формуле [5]

$$d_x = d \sqrt{\frac{2\mu}{\operatorname{tg} \alpha} \frac{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + (\mu^2 - \operatorname{tg}^2 \alpha) C}}{\mu + \operatorname{tg} \alpha} \frac{2\mu}{\operatorname{tg} \alpha}}, \quad (2)$$

где  $d_x$ —искомое сечение деформирующего ролика;  $d$ —минимальный диаметр ролика;  $C$ —коэффициент  $d_0/d_1$ ;  $d_0$ —установочный диаметр;  $\mu$ —коэффициент трения скольжения.

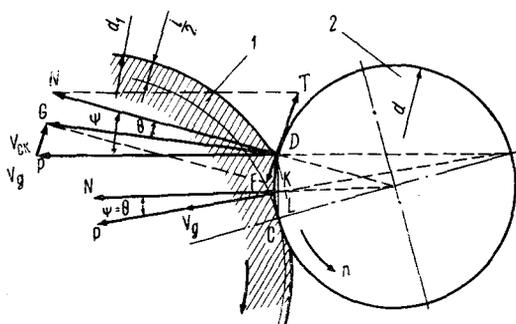


Рис. 2. Схема сил в направлении главного движения:

1, 2—см. рис. 1

Рассмотрим среднее сечение обрабатываемой поверхности и деформирующего ролика в направлении главного движения (рис. 2).

Под воздействием ролика в точке  $D$  развивается нормальное давление  $N$  на заготовку. Вектор скорости  $\bar{V}_D$  точки  $D$  ролика направлен по перпендикуляру к линии, соединяющей точку  $D$  с точкой  $C$  (мгновенным центром вращения ролика). Разложим вектор  $\bar{N}$  на две составляющие: по направлению вектора скорости  $\bar{P}$  и по касательной к окружности ролика  $T$ .

При наличии трения между роликом и деталью направление вектора давления  $\bar{N}$  будет отклонено от нормали на некоторый угол  $\Theta$ , равный сумме углов трения скольжения и качения.

Сила  $T$  стремится вышарить частицы металла вперед, но для этого она должна преодолеть силу трения  $F$  этих частиц металла по ролику:

$$T = \bar{N} \operatorname{tg} \psi; \quad F = \bar{N} \operatorname{tg} \Theta. \quad (3)$$

При  $\psi > \Theta$   $T > F$  и частицы металла действительно сдвигаются по направлению движения ролика. Точка  $D$  металла перемещается в направлении результирующей силы  $G$ , а точка  $D$  ролика — в направлении вектора скорости  $\bar{V}_D$ , причем эти направления не совпадают, образуя между собой угол  $\psi - \Theta$ . Происходит скольжение частиц металла в точке  $D$  по поверхности ролика в направлении главного движения, и образуется волна металла впереди ролика. Вектор  $\bar{V}_{CK}$  представляет линейную скорость скольжения металла относительно ролика. Для точек ролика, где  $\psi \leq \Theta$ , проскальзывание заканчивается при  $\psi = \Theta$  (точка  $K$ ):

$$\sin^2 \psi = \sin^2 \Theta \approx \frac{CL}{d} \approx \frac{i}{2d}, \quad (4)$$

откуда

$$i = 2d \sin^2 \Theta. \quad (5)$$

Формулы (1)—(5) позволяют определить зоны окружного и радиального течения деформируемого металла. Изменяя технологические параметры: натяг, угол деформирования и трение, можно регулировать течение металла под деформирующим роликом и тем самым программировать чистоту и качество обрабатываемой поверхности.

В процессе накатывания пластическое течение металла деформируемой поверхности сопровождается упругими деформациями накатного ролика и обрабатываемой поверхности детали. Эти деформации оказывают существенное влияние на точность детали. Поэтому при назначении натяга их необходимо учитывать. Суммарная упругая деформация ролика и детали может быть определена по следующей методике:

$$A = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R} + \frac{2}{d} + \frac{4}{d_0} \right), \quad B = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R} + \frac{2}{d} \right), \quad (6)$$

тогда полуоси эллипсоида контакта будут равны

$$a = \varepsilon \sqrt[3]{\frac{3\pi}{4} \frac{Q(K_1 + K_2)}{A + B}}, \quad b = \nu \sqrt[3]{\frac{3\pi}{4} \frac{Q(K_1 + K_2)}{A + B}}, \quad (7)$$

где  $Q$  — нагрузка, под которой происходит соприкосновение обрабатываемой поверхности и ролика;  $K_1$  и  $K_2$  — коэффициенты упругости:

$$K_1 = \frac{1 - m_1^2}{\pi E_1}, \quad K_2 = \frac{1 - m_2^2}{\pi E_2}; \quad (8)$$

$E_1$  и  $E_2$  — модули упругости;  $m_1$  и  $m_2$  — коэффициенты Пуассона.

Величины  $\varepsilon$  и  $\nu$  определяются по  $\varphi = \arccos \frac{B - A}{A + B}$ :

$\varphi^\circ$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
$\varepsilon$	1,000	1,128	1,284	1,486	1,754	2,136	2,731	3,778	6,612	$\infty$
$\nu$	1,000	0,893	0,802	0,717	0,641	0,567	0,493	0,408	0,319	0

Принимая во внимание (7) и (8), определим суммарную упругую деформацию

$$\delta = \frac{3Q}{8} \frac{4(K_1 + K_2)}{a} \int_0^\infty \frac{dZ}{(1 + K^2 Z^2)(1 + Z^2)}. \quad (9)$$

Значения эллиптического интеграла

$$\int_0^\infty \frac{dZ}{(1 + K^2 Z^2)(1 + Z^2)} = J$$

определяются следующим образом:

$\cos \varphi$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$J$	1,57	1,70	1,85	2,00	2,15	2,28	2,50	2,70	2,90	3,34	$\infty$

### Выводы

1. Формирование новой поверхности при накатывании шаровых изделий с самоподачей представляет собой процесс перераспределения металла в поверхностном слое деформируемой поверхности.

2. Процесс деформирования вызывает три волны пластического течения металла: две окружные и одну радиальную.

3. Распределение металла по волнам зависит от угла деформирования.

4. Полученные аналитические зависимости позволяют управлять течением металла и тем самым программировать точность, чистоту и качество обрабатываемого изделия.

### Литература

1. Коновалов Е. Г., Сидоренко В. А. Чистовая и упрочняющая обработка поверхностей. Минск, 1968.
2. Тимошенко С. П. Теория упругости. М., 1934.
3. Губкин С. Н. Пластическая деформация металлов, **1, 2**. М., 1961.
4. Карасев Н. А. Прецизионное формообразование поверхности дорнированием. Докл. ТСХА, в. 66, 1961.
5. Грейер В. Н. Теория и расчет подшипников качения. М., 1936.

*Калининградский технический институт  
рыбной промышленности и хозяйства*

*Поступило в редакцию  
20.III 1969*