

Рис. 1. Режущая часть шнекового сверла с криволинейными режущими лезвиями.

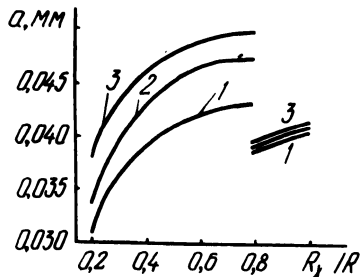


Рис. 2. Распределение толщины срезаемого слоя по длине режущего лезвия сверла:  $s = 0,11$  мм/об;  $\gamma = 16^\circ$ ;  $\tau = 6^\circ$ ;  $2\varphi_0 = 95^\circ$ ;  $1 - 2\varphi = 110^\circ$ ;  $2 - 2\varphi = 125^\circ$ ;  $3 - 2\varphi = 140^\circ$ .

периментальная проверка показала, что такое распределение нагрузки по длине режущего лезвия способствует более равномерному его износу и повышению стойкости сверла.

### Л и т е р а т у р а

1. Родин П.Р. Геометрия режущей части спирального сверла. - Киев, 1971.

УДК 621.822.71.001.2

Л.А.Олендер, И.П.Филонов, Ю.А.Добрынин

### КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ШАРИКОВ

Основным показателем, определяющим преимущества или недостатки способов и устройств для обработки шариков, является продолжительность процесса, необходимая для достижения требуемых степени точности и качества поверхности обрабаты-

ваемых изделий. Обеспечение оптимальных значений этих параметров обусловлено определенным сочетанием технологических факторов процесса, которое может быть выражено количественным соотношением проекций вектора угловой скорости шарика в зоне обработки  $\vec{\omega}_n, \vec{\omega}_r, \vec{\omega}_B$  (рис. 1) на оси естественного трехгранника  $\vec{n}, \vec{r}, \vec{b}$  с началом координат, совпадающим с центром изделия. В результате на обрабатываемые шарики наносится сетка следов инструмента, которая в конечном итоге приводит к формообразованию поверхности шариков. Частота и равномерность нанесения этих следов зависят от степени оптимизации процесса. При этом немаловажное значение имеют возможности управления кинематическими параметрами шариков в рабочей зоне и характеристиками системы СПИД.

Теоретические исследования кинематики шариков в зоне обработки свидетельствуют о том, что формообразование их сферической поверхности в процессе обкатки между рабочими инструментами происходит в условиях составного движения шариков (рис. 2). При этом наблюдается закономерность изменения скорости вращения их вокруг оси инструмента  $\vec{\omega}_e$  и проекции вектора мгновенной угловой скорости на нормаль  $\vec{\omega}_r$ . Съем припуска в направлении вектора скорости центра изделия обеспечивается за счет дифференциального проскальзывания в зонах контакта с рабочими канавками подвижного и прижимного дисков.

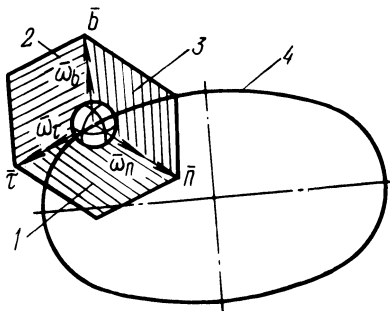


Рис. 1. Сопровождающий трехгранник в случае траектории центров шариков, имеющей вид любой плоской кривой: 1—соприкасающаяся плоскость, 2—спрямляющая плоскость, 3—нормальная плоскость, 4—траектория центров шариков.

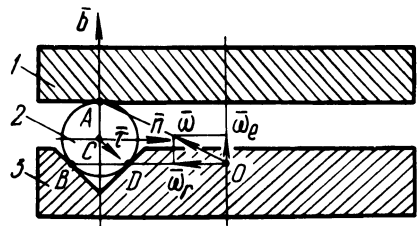


Рис. 2. Схема обработки шариков: 1—диск прижимной; 2—шарик; 3—диск вращающийся;  $\omega, \omega_e, \omega_r$  — соответственно векторы мгновенной абсолютной, переносной и относительной угловых скоростей шариков.

Как показали экспериментальные исследования, проведенные на ГПЗ-11, в процессе обкатывания шариков в кольцевых канавках положение мгновенного центра скоростей их не остается постоянным и находится в зависимости от значений усилия прижима и скорости диска, а также погрешностей формы канавок, жесткости системы СПИД и химического состава доводочных паст. При этом изменение положения мгновенного центра скоростей приводит к изменению величины и направления равнодействующих сил трения в зонах контакта. В результате этого закономерность между скоростью центра и проекцией мгновенной угловой скорости на нормаль нарушается и возникают дополнительные составляющие сил трения, способствующие повороту шариков вокруг осей  $\bar{A}$  и  $\bar{B}$ . Вектор скорости центра шарика в процессе обкатки меняет свою величину и направление.

Производительность процесса в большой степени зависит от оптимизации коэффициента проскальзывания  $K$ . Значение его в направлении оси  $\bar{\tau}$ , определяемой по формуле

$$K = 1 - \frac{\omega_r^* \cdot r}{\omega_e^* \cdot R}$$

(где  $\omega_r^*$  и  $\omega_e^*$  - соответственно относительная и переносная экспериментальные угловые скорости шариков;  $r$  - радиус шариков;  $R$  - расстояние от центра шарика до оси вращения диска), можно изменить не только за счет варьирования скорости вращения дисков, но и посредством изменения усилия прижима. Как показывают эксперименты, эта зависимость не остается постоянной и для различных диаметров шариков.

Следует отметить, что за время однократного нахождения шариков в зоне обработки их углы поворота вокруг осей  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  распределяются, исходя из условия, при котором соблюдается закономерность:  $\varphi_{\bar{A}} \gg \varphi_{\bar{B}} > \varphi_{\bar{r}}$ . Это приводит к тому, что для повышения производительности требуется многократное прохождение шариков через рабочую зону с изменением их угловой ориентации в процессе каждого последующего входа в нее. В результате создаются трудности, связанные с заполнением рабочей зоны, а также обеспечением неразрывности потока входящих шариков. Конструктивные недостатки применяемых в настоящее время загрузочных устройств к шарикообрабатывающим станкам приводят к тому, что рабочая зона станков заполняется шариками только на 1/3. Кроме того, дополнительные резкие соударения шариков друг с другом и с инструментом при

входе и выходе их из рабочей зоны, вызванные конструкцией загрузочного устройства, также приводят к ухудшению их микрогеометрии.

Установлено, что значительное повышение производительности и улучшение качества обработанной поверхности шариков можно осуществлять за счет поворота их в рабочей зоне вокруг оси  $\bar{r}$  или  $\bar{b}$  на угол не менее  $2\pi$ . В то же время проведенные эксперименты показывают, что при существующем способе обработки шариков в концентрических желобах это условие не соблюдается и за время однократного нахождения шарика в рабочей зоне поворот его вокруг осей  $\bar{b}$  и  $\bar{r}$  хотя и происходит, но на угол значительно меньший, чем  $2\pi$  (порядка  $5...10^\circ$ ). Следовательно, критерием оценки при создании новых способов и устройств должно являться обеспечение ими условий обработки шариков, максимально приближающихся к расчетным, а именно:  $\varphi_{\bar{n}} \gg \varphi_{\bar{r}} (\varphi_{\bar{b}})$  в случае, если  $\varphi_{\bar{r}} (\varphi_{\bar{b}}) \geq 2\pi$ .

Экспериментальные исследования, проведенные на ГПЗ-11 и Витебском станкостроительном заводе им. С.М.Кирова, показывают, что характер изменения углов поворота  $\varphi_{\bar{n}}, \varphi_{\bar{r}}, \varphi_{\bar{b}}$  шариков при обработке в функции от времени зависит от динамических факторов и физико-механических процессов, происходящих в зонах контакта с рабочими поверхностями инструмента. При этом возможности управления зависимостями  $\varphi_{\bar{n}} = f(t), \varphi_{\bar{r}} = f(t), \varphi_{\bar{b}} = f(t)$  ограничены, а в некоторых случаях даже не могут быть реализованы на практике.

Следует отметить, что прогнозирование кинематических параметров шариков в процессе обработки носит в настоящее время, к сожалению, еще весьма приближенный характер. Экспериментальная оценка теоретических исследований кинематики шариков показывает, что допущения, положенные в их основу, требуют существенной доработки. Достоверные кинематические характеристики шариков могут быть получены интегрированием соответствующих дифференциальных уравнений, составленных с учетом неголономности связей. При этом должны быть известны характер распределения давлений в зонах контакта шарика с рабочими поверхностями дисков, а также зависимость сил трения от нормальных давлений, которая является определяющим фактором процесса. Наличие доводочной пасты, сравнительно интенсивный износ рабочего инструмента, химические и физико-механические процессы, происходящие в зонах контакта, обуславливают реологические свойства обрабатываемого поверхностного слоя, которые подлежат дальнейшему изучению.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований авторами предложены некоторые конструкции устройств для обработки шариков, которые позволяют целенаправленно управлять соотношением углов поворота изделий в рабочей зоне. К числу этих устройств относятся, например, такие, на которые получены авторские свидетельства СССР № 526493, № 528180, № 532510 (кл. В24В11/02).

При использовании указанных устройств соответственно обеспечивается интенсификация процесса формообразования сферической поверхности при выполнении условия  $\varphi_{\bar{r}} > \varphi_{\bar{n}} > \varphi_{\bar{b}}$ , за счет регулирования жесткости системы СПИД, а также посредством изменения направления усилия прижима.

Многообразие предложенных способов обработки шариков и устройств для их реализации требует упорядочения и систематизации с целью оценки их преимуществ и недостатков, степени совершенства конструкторских решений, разработки направлений дальнейшего улучшения качества изделий и повышения производительности процессов. Такое упорядочение позволило бы отразить как специфику и особенности того или иного способа или устройства, так и заложенные в основу их общие принципы, базирующиеся на физической сущности процесса обработки и направленные на выявление путей дальнейшего совершенствования производства.

Первая попытка систематизировать способы бесцентровой обработки шариков была сделана К.М.Сивяковым. В основу предложенной им классификации положен кинематический фактор, определяющий образование сферической поверхности. Она подразделяет все способы на два основных типа: способы, обеспечивающие постоянный угол наклона мгновенной оси абсолютного вращения шарика в зоне обработки, и способы с переменным углом наклона указанной оси. При этом не учитывается ориентация плоскостей, образованных векторами угловых скоростей составного вращения шариков к траектории их центров в зоне обработки.

В то же время геометрия шариков, образованная в результате воздействия рабочих поверхностей инструмента, находится в зависимости от ориентирования диаметральной плоскости качения изделия относительно направления сил резания (трения). Способы обработки с точки зрения кинематики могут быть самыми разнообразными, траектория центров шариков может быть плоской, кривой и пространственной, а угол наклона мгновенной оси абсолютного вращения их постоянным или переменным, ул-

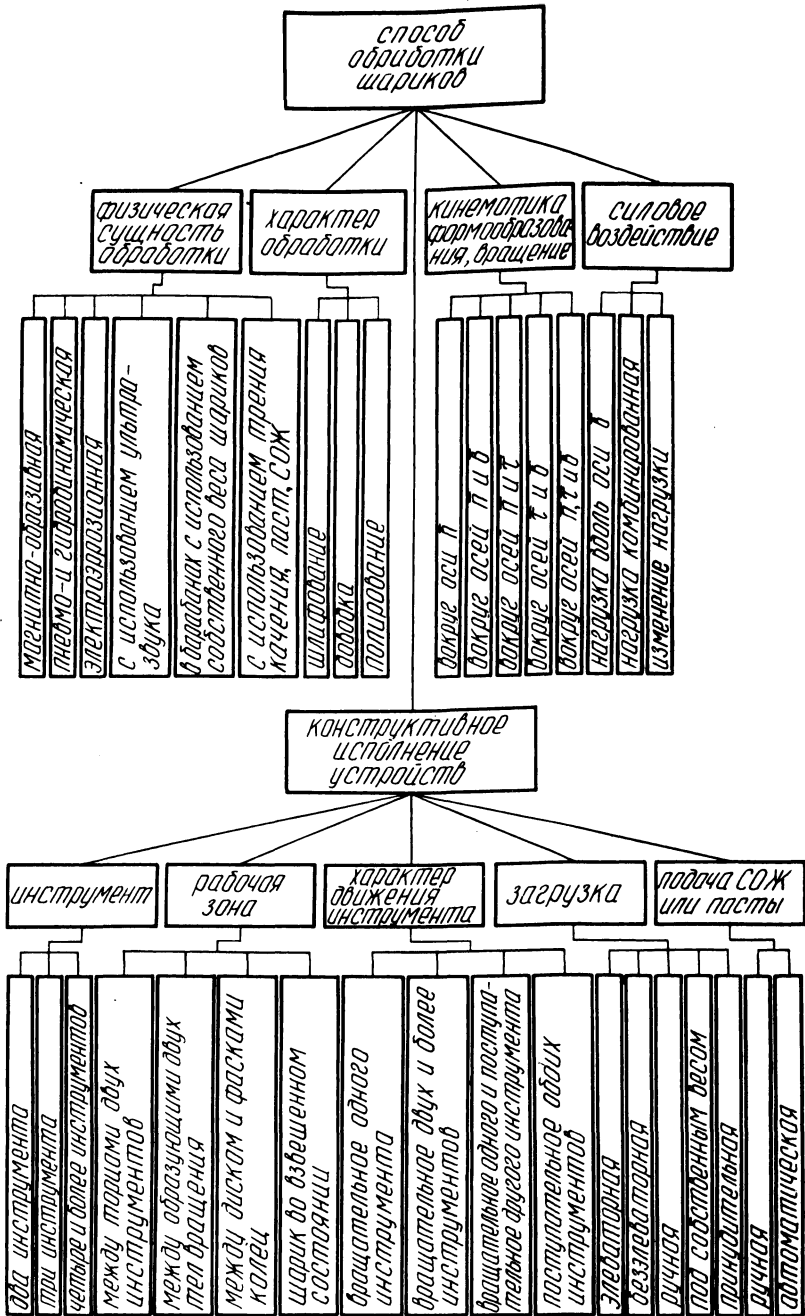


Рис. 3. Классификация способов и устройств для обработки шариков.

равляемым или неуправляемым. Поэтому в предложенной нами классификации (рис. 3) в основу подразделения способов обработки по кинематике формообразования изделий положен сопровождающий трехгранник, образованный составляющими вектора угловой скорости шарика. Количество векторов характеризует гарантированное одномерное, двумерное или трехмерное вращение шариков в зоне обработки, а их соотношение – соответствует – вующее количество следов инструмента, нанесенное на поверхность шарика в единицу времени в той или иной плоскости.

Кроме того, предложенная классификация наряду с кинематическими факторами отражает физическую сущность применяемых процессов, особенности силового взаимодействия, а также вопросы реализации способов и устройств для обработки шариков.

Предложенная классификация отражает современные перспективные достижения в области металлообработки и указывает пути дальнейшего развития шарикового производства. Как показывает практика, эти пути не могут ограничиваться только кинематикой процесса, а должны быть направлены на использование новых процессов металлообработки, учет динамических факторов и совершенствования рабочей зоны, загрузочных, пастодозирующих и других устройств.

УДК 621.910.71

Э.А.Свидерский

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ И СКОРОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗЦА В ПРОЦЕССАХ С ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНОЙ СНИМАЕМОГО СЛОЯ

В процессах попутного течения, а также других подобных процессах, где скорость резания  $v$  определяется геометрической суммой окружных скоростей заготовки и инструмента, результирующий вектор  $\vec{v}_{рез}$  постоянно изменяет свое направление к передней поверхности инструмента. В связи с этим традиционное определение  $v$  [1] как скорости перемещения точки обрабатываемой поверхности относительно лезвия режущего инструмента не совсем справедливо. Мощность резания определяют как силу  $P_z$ , умноженную на  $v$ , естественно полагать, что и  $v$  направлена по нормали к основной плоскости. Составляющие силы резания  $P_x$  и  $P_y$  влияют в основном на