

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ШАРИКОВ В ПРОЦЕССЕ
ДОВОДКИ В ПОЛЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Движение шариков по желобам между дисками обусловлено наличием на площадках контакта сил трения. Снятие припуска происходит в основном при скольжении поверхности шарика по режущим элементам диска. Точность обработки и величина съема припуска зависят от распределения скоростей проскальзывания и изменения удельного давления в зоне контакта в процессе доводки, на которые, в свою очередь, влияют распределение абразивных зерен по площадкам контакта, динамические явления, возникающие из-за колебаний узлов станка, собственная погрешность формы шариков и т.д. Процесс доводки сопровождается вязко-упругими явлениями в зоне контакта, напряженность которых возрастает в точках, где отклонения от сферичности больше.

Совокупность всех физико-механических процессов, связанных с доводкой шариков, вызывает колебания, уменьшить влияние которых возможно путем введения вынужденных колебаний в зону обработки.

Пусть прижимной диск совершает ультразвуковые колебания по закону $z = A \sin kt$ в направлении, перпендикулярном плоскости обработки. Как показали исследования, взаимодействие трехмассовой системы прижимной диск - шарики - нижний диск сопровождается ударом и носит дискретный характер. В период колебания верхнего диска за время контакта наблюдается относительное перемещение взаимодействующих поверхностей, после чего следует отрыв.

После отрыва от поверхности шариков верхний диск, очевидно, также совершает упругий отскок от поверхности нижнего диска за счет энергии упругой деформации, после чего снова следует удар по другой поверхности шарика. В результате многократного ударного фрикционного взаимодействия значительно возрастает количество граней, так что с увеличением частоты колебаний за время поворота шарика его поверхность будет максимально приближаться к форме сферы.

Если скорость центра шарика при контактном взаимодействии равна [1] $v_{ш} = 0,54 v_c$, где v_c - скорость нижнего диска, то во время отрыва поверхностей центра шарика может достигнуть значения $v_{ш} = v_c$. В результате средняя

Таблица 1

Амплитуда колебаний, мкм	Скорость диска V_c , м/с				
	0,25	0,37	0,50	0,63	0,75
	$V_{ш}/V_c$				
без УЗК	0,56	0,55	0,55	0,55	0,52
3	0,58	0,61	0,55	0,57	0,58
6	0,59	0,63	0,56	0,59	0,61
9	0,62	0,68	0,58	0,57	0,61

скорость центра шарика за период колебаний будет иметь большее значение по сравнению со скоростью при обычном методе обработки, что позволяет получить более густую сетку следов на его поверхности.

Для экспериментального подтверждения выдвинутых положений были определены количественные соотношения скоростей центра шариков и диска при различной амплитуде ультразвуковых колебаний, представленных в табл. 1. Как видно, введение ультразвука в зону обработки приводит к увеличению скорости центра шариков в прямой зависимости от величины амплитуды колебаний. Следует отметить, что в процессе доводки трудно визуально оценить количественное соотношение угловых скоростей шарика вокруг своих осей, однако можно полагать, что дискретный характер взаимодействия позволяет получить сравнительное увеличение этих скоростей по сравнению со скоростью при обычном методе, более густую сетку следов, а следовательно, и качество обработки.

Для подтверждения предположения о наличии динамического взаимодействия трехмассовой системы с помощью электрической схемы были определены временные характеристики контакта поверхностей при различных условиях обработки. Установлено, что доминирующее влияние на время контактного взаимодействия оказывает амплитуда колебаний и статическая нагрузка и меньшее – сочетание материалов дисков. С увеличением амплитуды колебаний время контакта уменьшается, при этом усиливается импульсный характер их взаимодействия, в материале диска происходят вязко-упругие деформации, увеличивается площадь контакта, угол наклона желобов, а следовательно, и кинематические характеристики движения шариков.

Главным условием процесса доводки шариков является создание относительно равномерного вращения шариков вокруг

своих осей. Поэтому важна стабилизация сил трения в зоне контакта, которая зависит от многих взаимосвязанных факторов. Введение ультразвука перпендикулярно площадкам контакта приводит к импульсному характеру взаимодействия, вследствие чего сила трения действует меньшую часть периода колебаний, а остальное время равна нулю. Поэтому в среднем за период колебаний сила трения уменьшится по сравнению с силой трения при обычной обработке. При этом время контактного взаимодействия и величина силы трения, действующей за этот промежуток времени, будут характеризовать снижение и стабилизацию сил трения.

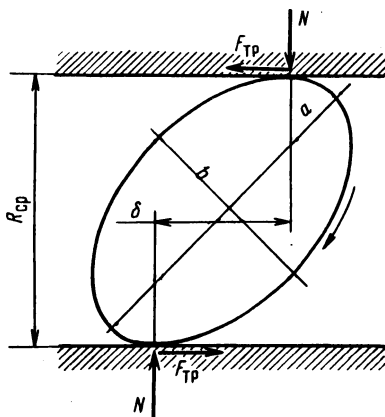


Рис. 1.

Рассмотрим движение шарика, имеющего погрешность в виде овальности между двумя плоскостями (рис. 1). Шарик прижимается плоскостями с силами N , направленными нормально к поверхности этих плоскостей. При качении шарика будет изменяться и плечо действия нормальных сил N в точках касания шара с плоскостями. Пренебрегая деформациями в зоне контакта и принимая усилие N за величину постоянную, условие качения шарика можно записать так:

$$M_{\text{тр}} > M_0 \quad (1) \quad \text{или} \quad F_{\text{тр}} R_{\text{cp}} > N \delta, \quad (2),$$

где $M_{\text{тр}}$ - момент от сил трения $F_{\text{тр}} = Nf$; M_0 - опрокидывающий момент; R_{cp} - средний радиус шара; δ - плечо силы N .

Из уравнения (2) получаем

$$f > \frac{\delta}{R_{\text{cp}}}, \quad (3)$$

т.е. стабильность сил трения будет определяться при движении шарика величиной его погрешности. Принимая, что [2]

$$\delta = \sqrt{2ah} = \sqrt{\frac{d_{cp}}{2} (d_{max} - d_{min})}, \quad (4)$$

где $a = R_{cp}$, $2h = (d_{max} - d_{min})$ - величина овальности, и подставляя уравнение (4) в (3), получаем

$$f > \sqrt{\frac{d_{max} - d_{min}}{R_{cp}}}. \quad (5)$$

При введении ультразвуковых колебаний сила трения будет определяться как величиной времени ее взаимодействия, так и динамической силой, воздействующей за это время. Это значит, что увеличение амплитуды колебаний, а следовательно времени отрыва поверхностей может уменьшить силу трения и обеспечить относительную свободу движения шарика при его вращении вокруг своих осей.

Результаты экспериментальных исследований момента трения подтвердили предположение о том, что введение ультразвуковых колебаний приводит к стабилизации и снижению сил трения в зоне обработки, что оказывает существенное влияние на процесс формообразования шариков.

В ы в о д ы

1. Введение ультразвуковых колебаний перпендикулярно плоскости обработки обеспечивает в силу динамического характера взаимодействия относительную свободу вращения шариков, позволяет получить более густую сетку следов на поверхности шариков и, следовательно, повысить производительность и точность обработки.

2. Увеличение амплитуды ультразвуковых колебаний приводит к стабилизации и снижению сил трения в зоне обработки и позволяет тем самым увеличить относительную свободу вращения шариков при его движении.

Л и т е р а т у р а

1. Ящерицын П.И., Олендер Л.А., Грек С.В. Доводка шариков. Минск, 1968. 2. Пинегин С.В. Трение качения в машинах и приборах. М., 1976.