

УДК 621.822.71:666.22.037

## ВЫБОР НАГРУЗКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ШАРИКОВ ДИСКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ И КОЛЬЦОМ

Щетникович К.Г., Кучер А.О.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Шлифование шариков соосным инструментом обеспечивает высокую точность обработки, так как в процессе перемещения заготовок по канавкам происходит приработка рабочих поверхностей шариков. Однако недостатком традиционным методом обработки шариков между двумя дисками в кольцевых канавках является низкая производительность обработки, так как шлифование осуществляется в условиях трения качения.

Введение в технологическую систему неподвижного кольца базирующегося на обрабатываемых шариках позволяет увеличить число поверхностей контакта инструмента с шариком до четырех. Качение шариков становится невозможным и увеличение проскальзывания шариков в зоне обработки значительно повышает скорость съема припуска.

Рассмотрим нагрузки в точках контакта шарика с инструментом и кольцом при усилнии нагрузки верхнего диска на один шарик  $P_m$  и неподвижного кольца  $P_s$ . Обозначим нагрузки действующие на шарик в осевой плоскости через  $P_B$ ,  $P_E$ ,  $N_K$ ,  $N_A$  (рисунок 1).

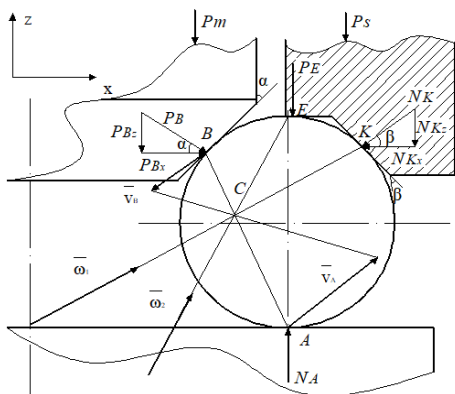


Рисунок 1 – Положения оси вращения шара при изменении соотношения нагрузок на диск и кольцо

Проекция сил на вертикальную и горизонтальную оси найдем из векторных треугольников:

$$P_{Bz} = P_m; P_{Bx} = P_{Bz} / \operatorname{tg} \alpha = P_m / \operatorname{tg} \alpha; \\ P_B = P_{Bz} / \sin \alpha.$$

Для нахождения остальных нагрузок спроектируем силы оси координат:

$$\sum X = 0: P_{Bx} - N_{Kx} = 0; N_{Kx} = P_{Bx} = P_m / \operatorname{tg} \alpha. \\ \sum Z = 0: N_A - P_{Bz} - P_E - N_{Kz} = 0.$$

Из последнего уравнения следует, что

$$N_A = P_{Bz} + P_E + N_{Kz}.$$

Так как  $P_E + N_{Kz} = P_s$ , то

$$N_K = P_s + P_{Bz} = P_s + P_m.$$

Силу  $N_K$  и ее вертикальную составляющую силы  $N_{Kz}$ , определим из треугольника, построенного в точке  $K$

$$N_{Kz} = N_K \cdot \operatorname{tg} \beta; \\ N_K = N_{Kx} / \cos \beta = P_m / \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \alpha; \\ N_{Kz} = P_m \cdot \operatorname{tg} \beta / \operatorname{tg} \alpha; \\ P_E = P_s - N_{Kz} = P_s - P_m \cdot \operatorname{tg} \beta / \operatorname{tg} \alpha.$$

Устойчивое положение кольца при обработке будет в случае, когда  $P_E > 0$ , следовательно

$$P_s > P_m \cdot \operatorname{tg} \beta / \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

При выполнении условия (2) достигается двухточечный контакт шарика с кольцом. Из последнего неравенства следует, что минимальное соотношение величин нагрузок на неподвижное кольцо и верхний диск должно удовлетворять условию

$$P_s / P_m > \operatorname{tg} \beta / \operatorname{tg} \alpha.$$

Силовое замыкание кольца базирующегося исключительно на обработке шарика обеспечивает определенность его положения в осевом и радиальном направлениях. В этом случае обеспечивается четырехточечный контакт шарика с инструментом, определенное положение кольца в осевом и радиальном направлении и стабильная кинематика обрабатываемых шариков.

При небольших нагрузках на кольцо, по сравнению с нагрузкой на верхний диск, наибольшее давление инструмента на шарик будет в точках  $A$ ,  $B$  и  $K$  в которых будет наблюдаться трение качения, а в точке  $E$  будет иметь место трение скольжения. Мгновенная ось вращения (МОВ) шарика будет проходить через неподвижную точку  $K$  на кольце и полюс  $C$  скоростей точек  $A$  и  $B$ .

Положение МОВ шарика можно изменить, если увеличить нагрузку на кольцо. Из выражения (1) видно, что давление на шарик в точке  $K$  не зависит от нагрузки на кольцо, а целиком определяется осевой нагрузкой на диск и значением углов конических фасок. Так как давление в точке  $E$  определяется разностью нагрузки на кольцо и вертикальной составляющей  $N_{Kz}$ , то имеется, возможность изменить силу  $P_E$  не влияя, на силу  $N_K$ . При большом давлении в точке  $E$  из-за увеличения силы трения МОВ изменит свое положение и будет проходить уже через точку  $E$ . Сила в точке  $E$  должно превышать силу в точке  $K$ , т. е.  $P_E > N_K$

$$P_s > P_m / \operatorname{tg} \alpha \cdot ((1 + \sin \beta) / \cos \beta). \quad (3)$$

При большом давлении в точке  $E$  из-за увеличения силы трения МОВ изменит свое положение и будет проходить уже через точку  $C$ .

Из неравенства (3) следует, что изменение положения МОВ шарика произойдет при следующем соотношении нагрузок кольцо и верхний диск.

$$P_s / P_m > (1 + \sin \beta) / \operatorname{tg} \alpha \cos \beta. \quad (4)$$

Это неравенство определяет границу максимального соотношения нагрузок, при котором дальнейшее увеличение нагрузки на кольцо нецелесообразно.

Условием формообразования сферической поверхности шарика является непрерывное изменение положения его МОВ, а точнее угла наклона оси вращения шарика к оси инструмента. При выборе соотношения статических нагрузок, близком к значению при котором

наблюдается изменение МОВ мгновенное соотношение давлений в точках контакта  $E$  и  $K$  из-за вибрации в технологической системе, будет изменяться вблизи граничного значения.

Высокая вероятность случайных изменений положения МОВ обеспечивает постоянную переориентацию шарика в пространстве и достижение высокой точности обработки. Практически соотношения нагрузок выбирают несколько меньшей чем по условию (4), что обеспечивает основное вращение шарика вокруг мгновенной оси  $\omega_1$  с периодическими кратковременными поворотами вокруг мгновенной оси  $\omega_2$ .

УДК 620.179.14

### ОЦЕНКА АНИЗОТРОПИИ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ КОЭРЦИТИМЕТРОМ КИПФ-1

Счастный А.С., Осипов А.А., Бурак В.А.

Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Одной из важнейших задач современного машиностроения является обеспечение работоспособности и долговечности изделий. Анизотропия листового проката сталей, используемых в машиностроении, оказывает влияние на качество и экономичность механической обработки (резка, штамповка и т.д.), причем это влияние неоднозначно и зависит от ряда факторов. Учет анизотропии позволяет повысить качество как изготавливаемой продукции, так и повысить технологичность производства.

В работах [1–3], проведенных коллективом авторов, было показано, что импульсный магнитный метод с направленным намагничиванием обладает высокой чувствительностью к направлению прокатки. В приведенной работе [2] преобразователь коэрцитиметра отстоял на 10 мм от края образца, вследствие чего области измерения коэрцитивной силы вдоль и поперек направления прокатки образцов не совпадали, и наличие неоднородности листа могло привести к изменению полученных коэффициентов корреляции.

Исследовалось влияние смещения преобразователя коэрцитиметра от центра листа к углу на образцах холоднокатаной стали 35 (размером 200 x 200 x 1,5 мм<sup>3</sup>) и 08Ю (размером 200 x 200 x 1 мм<sup>3</sup>). Образцы были подвергнуты отжигу при температуре 400 °С. Измерения коэрцитивной силы осуществлялись с использованием коэрцитиметра Кипф-1 [4, 5]. Наконечники коэрцитиметра имели размеры 12 x 28 мм<sup>2</sup>, расстояние между центрами наконечников составляло 45 мм.

Преобразователь коэрцитиметра устанавливался в центр исследуемого образца, а затем

передвигался вдоль диагонали с шагом 10 мм до тех пор, пока наконечники не выходили на край образца. Проводились измерения коэрцитивной силы  $H_{ск}$  как вдоль, так и поперек направления прокатки (рисунок 1).

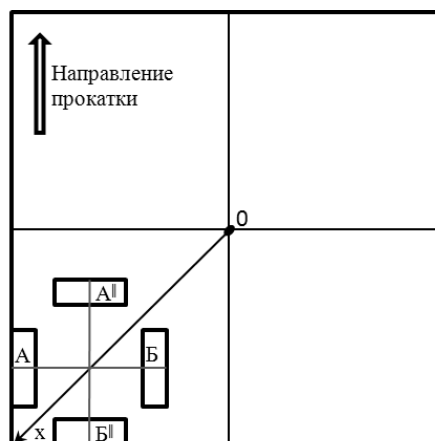


Рисунок 1 – Схематическое расположение наконечников коэрцитиметра (А, Б – поперек направления прокатки, А', Б' – вдоль направления прокатки)

При таком методе измерения коэрцитивная сила вдоль и поперек направления прокатки определялась в одной области образца, что позволило снизить влияние неоднородности магнитных свойств исследуемых листов.

По результатам измерений вычислялся коэффициент магнитной анизотропии как отношение максимальной коэрцитивной силы к минимальной коэрцитивной силе  $H_{сmax}/H_{сmin}$ .

Результаты измерения коэрцитивной силы вдоль и поперек направления прокатки на исследуемом образце холоднокатаной стали 35 представлены на рисунке 2. На рисунке 3