



УДК 621.923.4

© Л. Г. Вайнер, 2010

ХАРАКТЕР ВРАЩЕНИЯ РОЛИКОВ И ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ПРИ ДВУСТОРОННЕМ ТОРЦЕШЛИФОВАНИИ

Вайнер Л. Г. – канд. техн. наук, завкафедрой «Начертательная геометрия и машинная графика» (ТОГУ), тел. (4212) 22-43-83, e-mail: val@mail.khstu.ru

На основе проведенных экспериментальных исследований выявлены закономерности движения роликов в зоне шлифования, предложены параметры и характеристики для описания переменного вращения ролика в процессе обработки, рассмотрено влияние отдельных технологических факторов на характеристики вращения роликов, установлена связь характеристик вращения роликов с точностью обработки.

Regular pattern of roller motion in the grinding area is experimentally investigated; specifications and characteristics for the description of roller rotation during grinding are given. Influence of several technological factors on rotation characteristics is considered and also a correlation between rotation characteristics and machining accuracy is established.

Ключевые слова: двустороннее торцешлифование, цилиндрические ролики, характеристики вращения, точность обработки, параметры наладки.

Особенности процесса двустороннего торцешлифования роликов

В массовом производстве подшипников качения для обработки колец и роликов широкое распространение получил процесс шлифования двух параллельных торцов детали за один проход, осуществляемый на двусторонних торцешлифовальных станках (ДТШС). Операция торцешлифования всегда предшествует бесцентровому шлифованию рабочих цилиндрических поверхностей, а основное требование по точности, предъявляемое к ней – обеспечение перпендикулярности торцов оси цилиндра. Отклонение от перпендикулярности торцов ролика оси цилиндрической поверхности контролируется на практике через торцовое биение.

Процесс двустороннего торцешлифования (ДТШ) имеет следующие особенности, обуславливающие его высокую производительность и точность [1]: совмещение двух технологических переходов и непрерывность обработки; большое количество абразивных зерен, одновременно участвующих в работе; медленный размерный износ и высокая стабильность формы абразивных кру-

гов; возможность работы с достаточно большими скоростями подачи и высоким темпом автоматической загрузки изделий; возможность самоустановки деталей между двумя шлифовальными кругами, что обеспечивает высокую точность взаимного расположения торцов; относительно небольшое влияние погрешностей станка на точность обработки из-за отсутствия жестких кинематических связей детали со станком.

Наиболее распространенной схемой при шлифовании торцов роликов в настоящее время является круговое движение свободных роликов, размещенных в гнездах диска-сепаратора (рис. 1).

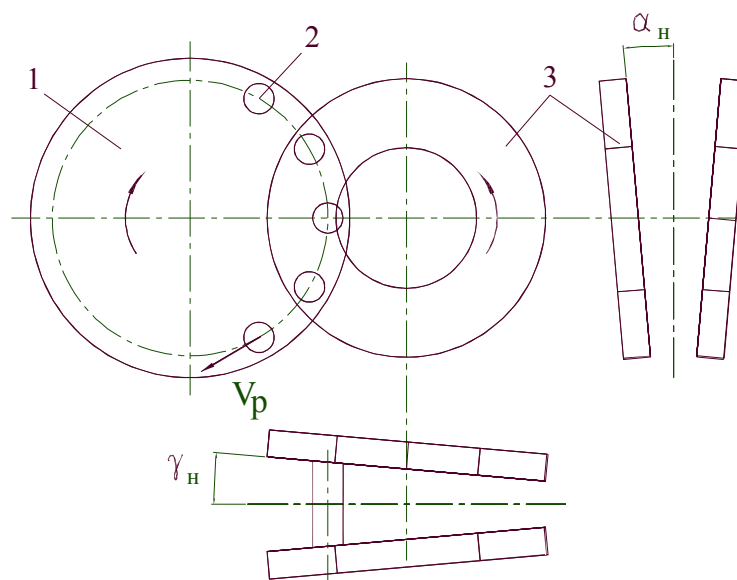


Рис. 1. Схема двустороннего торцешлифования:
1 – диск-сепаратор; 2 – ролик; 3 – шлифовальные круги

Как показал опыт проектирования, изготовления и эксплуатации ДТШС, повышение их геометрической точности, жесткости и других показателей не всегда дает эффект снижения погрешности обработанных торцов. Более эффективным направлением поэтому является повышение технологических возможностей процесса ДТШ, правильный выбор режимов шлифования и параметров наладки. Вместе с тем повышению эффективности ДТШ роликов в настоящее время препятствует недостаточная изученность условий формирования точности.

В отличие от известных классических схем шлифования (таких, как плоское, круглое, бесцентровое), при ДТШ характер съема припуска за один проход и, соответственно, процесс формообразования определяется не назна-



ченной величиной врезной подачи, а пространственной геометрией зоны шлифования вдоль траектории движения деталей (формой зоны шлифования). Она же в случае круговой подачи свободных роликов определяет и кинематику процесса. Главными настроечными параметрами процесса являются начальные углы поворота кругов в горизонтальной γ_n и вертикальной α_n плоскостях.

В работе [2] авторами на основе экспериментов с различными типоразмерами роликов впервые установлено, что в процессе обработки ролик совершает сложное движение: 1) поступательное – по круговой траектории в гнездах диска-сепаратора; 2) вращательное – вокруг своей оси; 3) ось ролика дополнительно смещается в пределах зазора между роликом и втулкой гнезда диска-сепаратора.

Необходимым условием минимизации погрешности обработанных торцов роликов по параметру торцового биения является их стабильное вращение в зоне шлифования.

Вращение роликов позволяет интенсифицировать процесс шлифования, уменьшить количество необходимых для окончательной обработки проходов. Вместе с тем, вращение ролика позволяет минимизировать лимитирующую погрешность его торцов – торцовое биение, поскольку в этом случае любое отклонение от перпендикулярности оси ролика торцам кругов вызовет погрешность не в виде биения, а в виде выпуклости, наследственное влияние которой на точность последующей операции бесцентрового шлифования незначительно.

Экспериментальное исследование характеристик вращения роликов

В целях повышения точности обработки были изучены характеристики вращения ролика в процессе шлифования при вариациях параметров настройки и режимов обработки (под характеристикой вращения ролика будем понимать характер изменения частоты вращения ролика при прохождении им зоны шлифования) и дана оценка связи показателей вращения роликов с точностью обработки.

В процессе экспериментального исследования характеристик вращения роликов регистрировались: 1) частота вращения ролика при его поступательном круговом движении между шлифовальными кругами в зоне обработки; 2) смещение оси ролика в зазоре между роликом и базовой втулкой диска-сепаратора (выявленные закономерности смещения оси ролика в зазоре достаточно подробно рассмотрены в работе [2]); 3) момент входа ролика в область шлифовальных кругов и продолжительность вращения ролика в зоне шлифования; 4) нормальная сила резания и мощность, затрачиваемая на шлифование (в контексте задач данной работы – для косвенного определения продолжительности съема припуска); 5) торцовое биение обрабатываемых роликов и их размеры до и после обработки.

Для возможности измерения указанных параметров ДТШС 3342 был оснащен измерительными системами с использованием стандартной и оригинальной аппаратуры.

Эксперименты проводились при следующих типовых производственных условиях: марка шлифовального круга 24A8HCT29Б, скорость подачи изделий $V_p = 2-10$ м/мин, припуск на два торца $\Delta t = 0,05 - 0,18$ мм, скорость вращения шлифовальных кругов $V_k = 8$ м/с, диапазон углов установки кругов в горизонтальной плоскости $\gamma_n = 0 - 0,5 \times 10^{-3}$ рад, в вертикальной плоскости $\alpha_n = 0 - 0,12 \times 10^{-3}$ рад, типоразмеры исследуемых роликов (диаметр x длина) – 14x14 мм, 15x15 мм, 32x52 мм.

Для регистрации частоты вращения ролика использовался волоконно-оптический датчик (ВОД) оригинальной конструкции – с двумя стандартными жгутами световодов (рис. 2), один из которых (11) является осветительным, другой (12) – приемным каналом. ВОД позволяет производить измерения в труднодоступной зоне станка между двумя вращающимися шлифовальными кругами при движении объекта измерения, делает возможным исследование поведения роликов относительно малых размеров, не чувствителен к воздействию СОЖ, является бесконтактным.

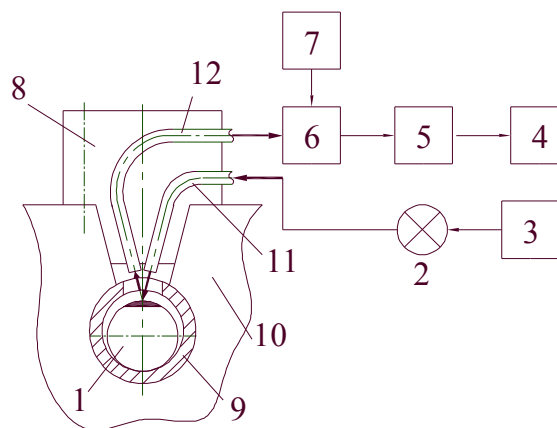


Рис. 2. Схема регистрации частоты вращения ролика с помощью волоконно-оптического датчика:

1 – ролик с «черным» пятном; 2 – излучатель; 3 – блок питания; 4 – осциллограф; 5 – операционный усилитель; 6 – фотоэлектронный умножитель с блоком питания 7; 8 – разъемный корпус с криволинейными пазами под световоды; 9 – базировочная втулка с радиальным отверстием; 10 – диск-сепаратор; 11 – осветительный световод; 12 – приемный световод

Световой поток от излучателя 2, представляющего собой лампу с точечной нитью накала, подводится осветительным каналом 11 к цилиндрической



поверхности ролика 1, на которой концентрированной азотной кислотой нанесено «черное» пятно. Различие в коэффициентах отражения от «черной» и исходной поверхности приводит к тому, что вращение ролика во втулке 9 вызывает модуляцию светового потока, поступающего в приемный канал 12. В фотоэлектронном умножителе 6 световой поток преобразуется в электрический сигнал и после дополнительного усиления в операционном усилителе 5 поступает на гальванометр светолучевого осциллографа 4.

Для точной отсечки моментов «входа» и «выхода» контрольного ролика из зоны шлифования предусмотрен конечный выключатель с возможностью дистанционного включения режима регистрации осциллографа.

В соответствии с поставленными задачами экспериментального исследования по описанной выше методике были исследованы характеристики вращения роликов при вариациях технологических параметров (γ_n , α_n , Δt , V_p). Под характеристикой вращения (ХВ) здесь будем понимать кривую зависимости частоты вращения ролика f_p от его текущей координаты в зоне шлифования.

Систематизация и показатели характеристик вращения роликов

Наиболее типичные ХВ, соответствующие различным условиям шлифования, приведены на рис. 3-5, где по оси абсцисс обозначена линейная координата оси ролика L или относительная координата $L_0 = L/L_3$, (относительная координата введена для удобства сопоставления ХВ роликов, обработанных на станках с разной протяженностью зоны шлифования L_3). Там же для наглядности показана кривая условного зацепления (кривая 5 на рис. 3), построенная по максимально возможным текущим значениям частоты вращения ролика f_{pi} из условия:

$$f_{pi} = f_k R_{ki} / r_p,$$

где: f_k – частота вращения круга; R_{ki} – текущий радиус круга; r_p – радиус ролика.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что в зависимости от параметров настройки и условий шлифования меняется характер вращения ролика. Все встречающиеся ХВ роликов можно отнести к трем основным видам.

Вид 1 (рис. 3, кривые 3 и 4) – разгон ролика при входе в зону шлифования до окружной скорости, равной скорости круга на периферии и его торможение до полной остановки в первой половине зоны. На рисунке длина участка вращения ролика обозначена L_{B1} .

Вид 2 (рис. 3, кривые 1 и 2) – разгон ролика до окружной скорости равной скорости круга при входе в зону шлифования, падение частоты вращения до нуля в первой половине зоны, движение по зоне без вращения, второй разгон ролика после прохождения центра зоны до максимального значения f_{pi} с последующим торможением до нуля во второй половине зоны. На кри-

вой 2 обозначены координаты ролика в зоне, соответствующие моментам прекращения вращения в первой половине зоны L_{B1} , возобновления вращения L_{B2} и окончательной остановки ролика L_{B3} .

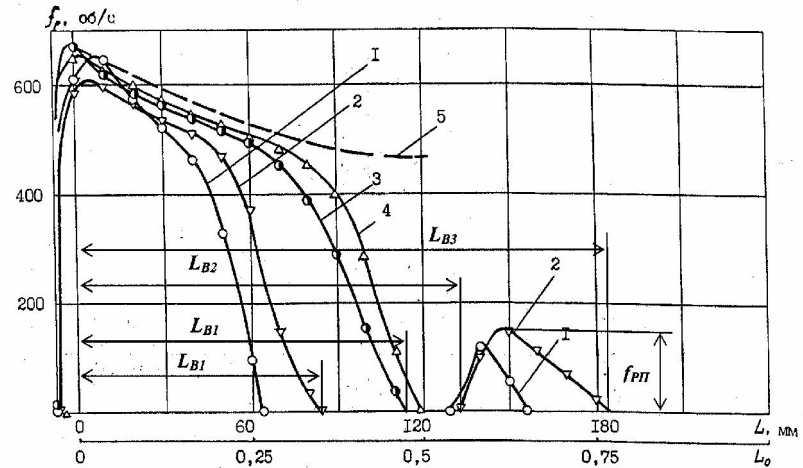


Рис. 3. Зависимость частоты вращения ролика от текущей координаты при заданных параметрах настройки $\gamma_n = 0$, $\alpha_n = 0$ и вариациях припуска и скорости подачи: 1 – $\Delta t = 0,06$ мм, $V_p = 2,5$ м/мин; 2 – $\Delta t = 0,06$ мм, $V_p = 5$ м/мин; 3 – $\Delta t = 0,15$ мм, $V_p = 2,5$ м/мин; 4 – $\Delta t = 0,15$ мм, $V_p = 5$ м/мин; 5 – кривая условного зацепления

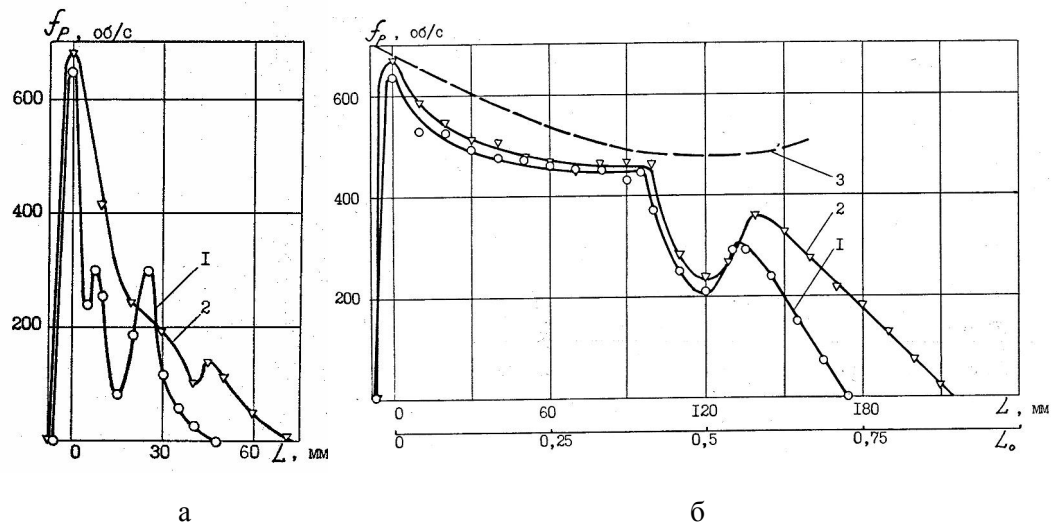


Рис. 4. Зависимость частоты вращения ролика от текущей координаты при заданных параметрах настройки $\gamma_n = 0$, $\alpha_n = 1,25 \times 10^{-4}$ рад (а) и $\gamma_n = 5 \times 10^{-4}$ рад, $\alpha_n = 0$ (б), припуске $\Delta t = 0,06$ мм, скорости подачи $V_p = 2,5$ м/мин (1) и $V_p = 5$ м/мин (2); 3 – кривая условного зацепления



Вид 3 (рис. 5, кривые 1, 2 и 3) – разгон, по аналогии с первыми двумя видами ХВ, непрерывное вращение в первой половине зоны, крутой спад в момент касания торцом ролика кромки отверстия шлифовального круга и последующий подъем кривой ХВ в центральной области зоны до уровня f_{PI} , затем торможение ролика до полной остановки.

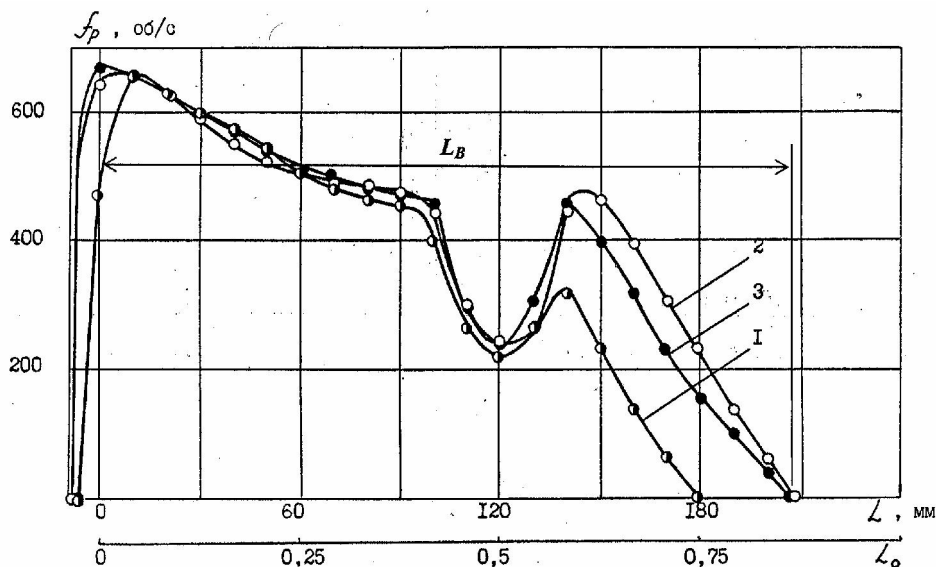


Рис. 5. Зависимость частоты вращения ролика от текущей координаты при параметре настройки $\gamma_n = 5 \times 10^{-4}$ рад, припуске $\Delta t = 0,15$ мм, скорости подачи $V_p = 5$ м/мин и вариациях параметра настройки α_n :

1 – $\alpha_n = 0$; 2 – $\alpha_n = 0,5 \times 10^{-4}$ рад; 3 – $\alpha_n = 1,25 \times 10^{-4}$ рад

Вид ХВ является главным признаком, по которому можно систематизировать все многообразие ХВ. Другими признаками систематизации ХВ являются следующие их показатели: длина участка вращения при его непрерывности – L_B (рис. 4); максимальная частота вращения ролика после прохождения им центра зоны шлифования – f_{PI} .

Очевидно, наиболее важным с точки зрения формирования точности обработки является поведение ролика в зоне съема припуска. Поэтому введем еще один показатель (четвертый признак систематизации ХВ), связывающий ХВ с характером съема припуска, – суммарная протяженность участков, на которых ролик вращается со съемом припуска – L_{BP} .

Для определения показателя L_{BP} производилась одновременная регистрация оборотов ролика, силы резания и мощности, затрачиваемой на шлифование. По продолжительности действия силы и мощности определялась длина участка съема припуска L_p .

Поскольку координата окончания съема припуска является величиной переменной, удобнее оперировать относительной характеристикой $L_{B0}^P = L_{BP}/L_P$, обозначающей часть зоны съема припуска, на которой происходит вращение ролика.

Влияние параметров настройки и режимов обработки на показатели характеристик вращения роликов

Сравнивая ХВ при разных значениях угла установки кругов в горизонтальной плоскости γ_n , необходимо отметить следующее: при $\gamma_n = 0$ (рис. 3 и 4а) независимо от значений других технологических факторов (α_n , Δt , V_p) имеют место ХВ только 1 и реже 2 видов; при $\gamma_n = 5 \times 10^{-4}$ рад наблюдаются ХВ 3-го вида – вращение ролика в зоне шлифования отличается непрерывностью.

При угловом смещении шлифовальных кругов только в вертикальной плоскости $\gamma_n = 0$, $\alpha_n = 1,25 \times 10^{-4}$ рад (рис. 4а) после разгона до максимума при входе в зону наблюдается резкое снижение частоты вращения f_p и остановка ролика при $L_0 = 0,2-0,35$. На кривых имеются местные экстремумы, не меняющие общего характера падения f_p .

Для всех ХВ, соответствующих установке шлифовальных кругов параллельно друг другу ($\gamma_n = \alpha_n = 0$) при разных режимах Δt и V_p (рис. 3), характерно падение кривых до нуля в первой половине зоны шлифования (ХВ 1-го и 2-го видов). На начальном этапе шлифования кривые $f_p(L_0)$ близки к кривой условного зацепления, с увеличением снимаемого припуска этот этап удлиняется. При $\Delta t = 0,15$ мм прекращение вращения происходит при $L_0 = 0,5$. Таким образом, при $\gamma_n = 0$ и реализации ХВ 1-го и 2-го видов увеличение снимаемого припуска приводит к некоторому возрастанию показателя ХВ L_{B0}^P .

Особенностью ХВ 3-го вида при угловом смещении шлифовальных кругов только в горизонтальной плоскости при $\alpha_n = 0$ (кривые 1 и 2 на рис. 4б и кривая 1 на рис. 5) является несимметричность падающей и возрастающей ветвей провала кривой ХВ относительно центра зоны. Влияние параметра α_n на ХВ показано на рис. 5: увеличение α_n от 0 до $0,5 \times 10^{-4}$ рад приводит к возрастанию f_{pII} , при дальнейшем увеличении α_n до $1,25 \times 10^{-4}$ рад уровень f_{pII} не меняется.

Скорость подачи оказывает существенное влияние на длину участка непрерывного вращения ролика L_B (рис. 4б). С увеличением скорости подачи V_p возрастает f_{pII} , а кривая торможения ролика после второго разгона становится более полой, что ведет к возрастанию показателя L_B .

Таким образом, параметры настройки и режимы обработки оказывают существенное влияние на показатели характеристик вращения роликов:

1) параметр угловой установки шлифовальных кругов в горизонтальной плоскости γ_n определяет вид характеристики вращения;



2) параметр угловой установки шлифовальных кругов в вертикальной плоскости α_n оказывает доминирующее влияние на максимальную частоту вращения после центра зоны шлифования $f_{рп}$, от которой в свою очередь зависят показатели L_B и L_{BP} .

3) припуск на обработку Δt оказывает корректирующее влияние на вращение ролика в первой половине зоны, с его увеличением вращение становится более стабильным и кривая частоты вращения приближается к кривой условного зацепления;

4) увеличение скорости подачи V_p приводит к возрастанию длины участка непрерывного вращения ролика L_B и максимальной частоты вращения ролика после центра зоны $f_{рп}$.

Связь показателей характеристик вращения роликов и точности обработки

Статистический анализ связи показателей ХВ с точностью обработки проводился отдельно по каждому показателю, однако подробное рассмотрение результатов данного анализа выходит за рамки настоящей статьи.

Статистическая связь относительного показателя вращения ролика в зоне съема припуска L_{B0}^P с точностью обработки представлена на рис. 5. Несмотря на довольно большое рассеяние экспериментальных значений, явно видна связь торцового биения с показателем L_{B0}^P , имеющая экспоненциальный характер (с увеличением L_{B0}^P уменьшается величина погрешности торца, уменьшается и рассеяние).

Длина участка зоны непрерывного вращения ролика L_B связана с биением обработанных торцов Δ (мкм) уравнением регрессии (ролик 14x14, $L_B = 160-240$ мм):

$$\Delta = 6,57 - 0,019 L_B.$$

Отсюда следует, что увеличение длины пути непрерывного вращения ролика от 160 до 240 мм приводит к повышению средней точности обработки в 1,8 раза.

Выводы:

1) точность обработки по параметру торцового биения в значительной степени зависит от показателей характеристик вращения роликов;

2) для получения высокой точности обработки по параметру торцового биения необходима реализация ХВ третьего вида с симметричным провалом кривой относительно центра зоны шлифования и максимальными для данных условий шлифования значениями показателей $f_{рп}$, L_B и L_{B0}^P ;

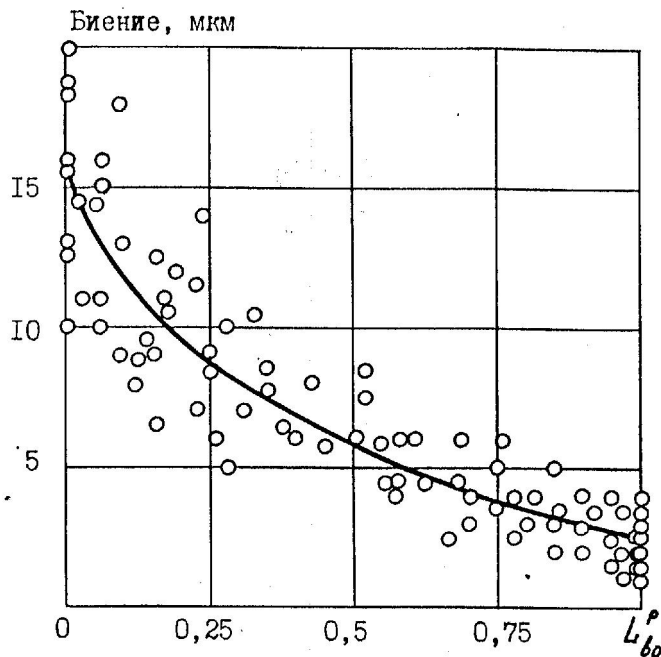


Рис. 6. Связь относительного показателя вращения ролика в зоне съема припуска L_{BO}^P с биением обработанных торцов

3) выявленные закономерности влияния технологических режимов и параметров настройки станка на характеристики вращения роликов делают возможным разработку обоснованных рекомендаций по настройке двусторонних торцешлифовальных станков.

Библиографические ссылки

1. Гандельсман В. Б. Технологические возможности и конструктивные особенности гаммы двусторонних торцешлифовальных станков // Металлорежущие станки и автоматические линии: Научно-техн. реф. сб. – Вып. 6. – М.: НИИМАШ, 1975., – с. 7-12.
2. Вайнер Л. Г., Шахновский С. С. Повышение точности шлифования торцов ролика // Станки и инструмент, 1985. – № 5. с. 31-32.