

УДК 621.9.02

ВЫБОР МИНИМАЛЬНОЙ ЖЁСТКОСТИ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА ОБКАТНИКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КРУПНЫХ ВАЛОВ

Отений Я.Н., Выходец В.И.

Камышинский технологический институт, филиал ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: ktm@kti.ru

Показано, что жёсткость упругого элемента обкатника зависит от диаметра обрабатываемой заготовки. Предложена формула для расчёта минимальной жёсткости упругого элемента обкатника. Приведена справочная таблица для выбора жёсткости упругого элемента в зависимости от усилия обработки, диаметра и материала заготовки.

Ключевые слова: обкатник, вал, упругий элемент, жёсткость

THE SELECTION OF THE MINIMUM HARDNESS OF THE ELASTIC ELEMENT OF THE EXTERNAL ROLL BURNISHER FOR MACHINING OF THE BIG SHIFTS

Oteniy Y.N., Vykhodets V.I.

Kamyshin Technological Institute, branch of Volgograd State Technical University, Kamyshin, e-mail: ktm@kti.ru.

It is shown that hardness of the elastic element of the external roll burnisher depends on the diameter of the workpiece. The formula for calculating the minimum hardness of the elastic element is proposed. The reference table for selection of the hardness of the elastic element depending on the machining efforts, the diameter and the material of the workpiece is given.

Keywords: the external roll burnisher, shift, elastic element, hardness

При финишной обработке наружных поверхностей валов, цилиндров и других тел вращения широко применяются обкатники, работающие по разомкнутой схеме обкатки. Различают жёсткие и упругие обкатники. Последние обладают рядом преимуществ [1], главное из которых состоит в том, что при упругом контакте ролика обкатника с деталью обеспечивается более равномерное усилие обкатки.

Как известно, постоянство необходимого усилия непосредственно связано с жёсткостью технологической системы «станок – инструмент – деталь», одной из составляющих которой является жёсткость обкатника (инструмента). Постоянство жёсткости технологической системы играет важную роль для сохранения оптимального режима обкатывания [2]. Практически, например, у токарных станков при перемещении суппорта перепад жёсткости станка в системе «станок – инструмент – деталь» составляет 50 – 100%. Стабилизация усилия обкатки достигается введением в конструкцию обкатника упругих элементов пониженной жёсткости. При уменьшении жёсткости инструмента в m раз колебания жёсткости системы уменьшаются в $(1+m)/m$ раз или на $(100/m)\%$. Жёст-

кость же обкатников неупругого действия чрезвычайно высока (порядка 100 кН/мм) и близка к реальной жёсткости конструктивных узлов станка, что негативно сказывается на неравномерности усилия обкатки.

Изменение жёсткости системы не единственная причина неравномерности усилия обкатки. Погрешности станка, детали обкатника, изменение жёсткости детали в процессе обработки также являются источниками колебаний усилий.

Влияние всех источников, влияющих на постоянство усилия обкатки, можно существенно уменьшить, уменьшив жёсткость инструмента – упругого элемента обкатника. В литературе, посвящённой финишной обработке металлических деталей, приводится большое количество конструкций упругих обкатников и раскатников. В большинстве случаев в качестве упругого элемента используются цилиндрические или тарельчатые пружины, предварительно сжатые до расчётного усилия обкатки. То есть при проектном расчёте пружин для обкатников значения их рабочих усилий известны. Что касается жёсткости пружин, то в некоторых случаях при описании конструкций обкатников приводятся её числовые значения, но исходя, из каких крите-

риев они выбраны неизвестно. Между тем, уменьшение жесткости пружин связано с возрастанием их габаритов и стоимости, а увеличение с потерей точности обработки. Поэтому желательно знать диапазон значений жесткости в каждом конкретном случае.

Максимальную жесткость j_{\max} можно оценить отношением разности максимального F_{\max} и номинального F_n усилий пружины к сумме всех составляющих погрешностей станка и детали (рабочему ходу пружины).

$$j_{\max} = \frac{F_{\max} - F_n}{\sum_{i=1}^m \delta_{ci} + \sum_{i=1}^n \delta_{di}} \quad (1)$$

где δ_{ci} и δ_{di} – i -е погрешности соответственно станка и детали; m и n – соответственно число составляющих погрешностей станка и детали.

При жесткости большей j_{\max} есть вероятность смыкания витков пружины при обкатке, а значит, ухудшение качества обработки детали.

Рассмотрим составляющие числителя и знаменателя в формуле (1). Пусть обкатник установлен на токарном станке. Деталь крепится в центрах. Допустимые усилия при обкатывании одним роликом на токарных станках [1] составляют 5000 – 70000 Н. Предельные значения погрешностей токарных станков класса Н, регламентируемых ГОСТ 18097-93 «Станки токарно-винторезные и токарные. Основные размеры. Нормы точности.», не превышают нескольких десятков микрон (отклонения от прямолинейности при перемещении суппорта – 10 мкм; радиальное биение упорного центра, вставленного в шпиндель – 15 мкм; параллельность оси конического отверстия пиноли задней бабки – 10 мкм). Для деталей после чистовой обработки на токарных станках значения погрешностей имеют такой же порядок. Расчёты по формуле (1) по приведённым данным показывают, что ограничения по максимальной жесткости имеют такие высокие величины, которые практически всегда выполняются, то есть их можно не учитывать при выборе жесткости упругого элемента обкатника.

Определим ограничение для минимальной жесткости j_{\min} . При назначении усилий обкатки, обеспечивающих требуемую глубину упрочнения, предложено несколько формул. В некоторые из них диаметр обра-

батываемой детали входит явно как один из параметров [3, 4], в других косвенно через площадь контакта. Таким образом, можно считать доказанным, что усилие обкатки возрастет с увеличением диаметра обрабатываемой детали, точнее, квадрата диаметра. Пусть упругий обкатник имеет жесткость равную нулю, то есть настроенное усилие обкатки идеальным образом поддерживается во время работы. Если по каким-либо причинам, диаметр обкатываемой детали увеличится, такой инструмент не сможет обеспечить требуемое увеличение усилия. Отсюда видно, что минимальная жесткость j_{\min} упругого элемента обкатника должна обеспечивать в случае приращения диаметра на величину ΔD соответствующее приращение усилия обкатки ΔP . Так как деформирующий элемент обкатника – ролик воздействует на деталь с одной стороны, то для определения j_{\min} необходимо использовать приращение радиуса обрабатываемой детали ΔR .

$$j_{\min} \geq \Delta P / \Delta R \quad (2)$$

В качестве примера возьмём формулу для определения усилия обкатки в кгс, предложенную И. В. Кудрявцевым [3].

$$P = 50 + D^2 / 6 = 50 + 2R^2 / 3.$$

Взяв производную по радиусу, и переведя в систему СИ, находим $j_{\min} \geq 13,1 \cdot R$.

Таким образом, на диаметре детали 100 мм минимальная жесткость упругого элемента обкатника должна быть не меньше 655 Н / мм. Очевидно, что это соотношение, так же как формулу И. В. Кудрявцева, можно использовать не во всех случаях, однако несомненно зависимость минимальной жесткости от радиуса.

В работе [2] приведена таблица, где указаны силы обкатки, рекомендуемые для обработки крупных валов в зависимости от диаметра вала и предела текучести обкатываемого материала. Силы выбираются в диапазоне от полуторакратной (в числителе) до трёхкратной (в знаменателе) силы, создающей на поверхности детали слой толщиной 0,05 радиуса, и ограничены величиной 6000 кгс. Ниже (табл. 1) эта таблица дополнена столбцом отношений приращения предельных сил к приращению соответствующих диаметров для каждой строки. По этим отношениям косвенно можно судить, как изменяется j_{\min} . Видно, что $\Delta P / \Delta D$ зависит от предела текучести и сил обкатки.

Таблица 1

Силы обкатки в кН

Предел текучести, Н / мм ²	Диаметр обкатываемой детали, мм								ΔP / ΔD, Н / мм
	100	125	160	200	250	320	400	500	
200	$\frac{3,8}{7,5}$	$\frac{6,0}{12}$	$\frac{9,5}{19}$	$\frac{15}{30}$	$\frac{24}{48}$	$\frac{38}{60}$	60	60	$\frac{156}{239}$
250	$\frac{4,8}{9,5}$	$\frac{7,5}{15}$	$\frac{12}{24}$	$\frac{19}{38}$	$\frac{30}{60}$	$\frac{49}{60}$	60	60	$\frac{201}{337}$
320	$\frac{6,0}{12}$	$\frac{9,5}{19}$	$\frac{15}{24}$	$\frac{24}{38}$	$\frac{38}{60}$	60	60	60	$\frac{213}{320}$
400	$\frac{7,5}{15}$	$\frac{12}{24}$	$\frac{19}{38}$	$\frac{30}{60}$	$\frac{48}{60}$	60	60	60	$\frac{270}{450}$
500	$\frac{9,5}{19}$	$\frac{15}{30}$	$\frac{24}{48}$	$\frac{38}{60}$	60	60	60	60	$\frac{285}{410}$
630	$\frac{12}{24}$	$\frac{19}{38}$	$\frac{30}{60}$	$\frac{48}{60}$	60	60	60	60	$\frac{360}{600}$
800	$\frac{15}{30}$	$\frac{24}{48}$	$\frac{38}{60}$	60	60	60	60	60	$\frac{383}{500}$
1000	$\frac{19}{38}$	$\frac{30}{60}$	$\frac{48}{60}$	60	60	60	60	60	$\frac{483}{880}$

Таблица 2

Сила обкатки, кН – в квадратных скобках и минимальная жёсткость упругого элемента, Н / мм – в круглых скобках

Предел текучести, Н / мм ²	Диаметр обкатываемой детали, мм		
	100-125	125-160	160-200
200	$\frac{[3,8-6,0] (176-200)}{[7,5-12] (360-400)}$	$\frac{[6,0-9,5] (200-275)}{[12-19] (400-550)}$	$\frac{[9,5-15] (275-360)}{[19-30] (550-720)}$
250	$\frac{[4,8-7,5] (216-257)}{[9,5-15] (440-514)}$	$\frac{[7,5-12] (257-350)}{[15-24] (514-700)}$	$\frac{[12-19] (350-440)}{[24-38] (700-880)}$
320	$\frac{[6,0-9,5] (280-314)}{[12-19] (560-630)}$	$\frac{[9,5-15] (314-450)}{[15-24] (630-900)}$	$\frac{[15-24] (450-550)}{[24-38] (900-1100)}$
400	$\frac{[7,5-12] (360-400)}{[15-24] (720-800)}$	$\frac{[12-19] (400-550)}{[24-38] (800-1100)}$	$\frac{[19-30] (550-720)}{[38-60] (1100)}$
500	$\frac{[9,5-15] (440-514)}{[19-30] (880-1030)}$	$\frac{[15-24] (514-700)}{[30-48] (1030-1200)}$	$\frac{[24-38] (700-880)}{[48-60] (1400)}$
630	$\frac{[12-19] (560-630)}{[24-38] (1100-1400)}$	$\frac{[19-30] (630-900)}{[38-60] (1400)}$	$\frac{[30-48] (900)}{[60] (1400)}$
800	$\frac{[15-24] (720-800)}{[30-48] (1100-1500)}$	$\frac{[24-38] (800-1000)}{[48-60] (1500)}$	$\frac{[60] (1100)}{[60] (1500)}$
1000	$\frac{[19-30] (880-1000)}{[38-60] (1700)}$	$\frac{[30-48] (1100)}{[60] (1700)}$	$\frac{[60] (1000)}{[60] (1700)}$
Предел текучести, Н / мм ²	Диаметр обкатываемой детали, мм		
	200-250	250-320	320-400
200	$\frac{[15-24] (360-400)}{[30-48] (720-850)}$	$\frac{[38-60] (400-550)}{[60] (850)}$	$\frac{[60] (550)}{[60] (850)}$
250	$\frac{[19-30] (440-550)}{[38-60] (880)}$	$\frac{[39] (550)}{[60] (880)}$	$\frac{[60] (550)}{[60] (880)}$
320	$\frac{[24-38] (550-630)}{[38-60] (1100)}$	$\frac{[60] (630)}{[60] (1100)}$	$\frac{[60] (630)}{[60] (1100)}$
400	$\frac{[30-48] (720)}{[60] (1100)}$	$\frac{[60] (720)}{[60] (1100)}$	$\frac{[60] (720)}{[60] (1100)}$
500	$\frac{[60] (880)}{[60] (1400)}$	$\frac{[60] (880)}{[60] (1400)}$	$\frac{[60] (880)}{[60] (1400)}$
630	$\frac{[60] (900)}{[60] (1400)}$	$\frac{[60] (900)}{[60] (1400)}$	$\frac{[60] (900)}{[60] (1400)}$
800	$\frac{[60] (1100)}{[60] (1500)}$	$\frac{[60] (1100)}{[60] (1500)}$	$\frac{[60] (1100)}{[60] (1500)}$
1000	$\frac{[60] (1000)}{[60] (1700)}$	$\frac{[60] (1000)}{[60] (1700)}$	$\frac{[60] (1000)}{[60] (1700)}$

Примечание. В числителе даны силы при 1,5P, в знаменателе 3P, где P – сила обкатки, создающая наклёпанный слой толщиной 0,05 мм.

Чтобы определить минимальную жёсткость упругого элемента обкатника для конкретных условий, j_{min} была рассчитана по формуле (2) для соседних ячеек в каждой строке табл. 1. Результаты расчёта представлены в табл. 2.

Минимальные жёсткости увеличиваются с увеличением диаметра обкатываемой детали, силы обкатки и предела текучести материала заготовки. Для каждого предела текучести существует свой максимум j_{min} , ограниченный силой обкатки 60 кН. По данным табл. 2 рекомендуется выбирать силы обкатки и соответствующие им минимальные жесткости упругих элементов

однороликовых обкатников при обработке крупных валов.

Список литературы

1. Инструмент для чистовой обработки металлов давлением. Шнейдер Ю.Г., – Л.: Машиностроение, 1970. – 248 с.
2. Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами. – 2-е изд., – М.: Машиностроение, 1975. – 159с.
3. Кудрявцев И.В. Повышение прочности стальных деталей обкаткой. – М.: Машгиз, 1948. – 183 с.
4. Проскураков Ю.Г., Меньшиков В.М. Режимы обработки упрочняюще-калибрующим инструментом. – В кн.: Современные способы и технология обкатки деталей упрочняюще-калибрующими инструментами. Челябинск: ЧПИ, 1962. – С. 22-29.