

ОБКАТЫВАНИЕ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ РОЛИКАМИ МАЛОГО ДИАМЕТРА

Б.И. Бутаков, доктор технических наук, профессор

М.А. Подгородецкий, лаборант

А.В. Зубехина, лаборант

Николаевский государственный аграрный университет

У статті представлено результати дослідження процесу обкатування циліндричними роликами малого діаметру деталей типу тіл обертання сільськогосподарської техніки. Показано, що запропонована технологія дозволяє знизити шорсткість оброблюваних поверхонь на 4-5 класів.

Ключові слова: шорсткість, обкатування роликами, пластична деформація.

Вступление. С целью улучшения внешнего вида и повышения износостойкости поверхностного слоя применяется чистовое поверхностное пластическое деформирование (ППД), а для увеличения усталостной и контактной прочности деталей – упрочняющая обработка. Совмещение чистового и упрочняющего ППД значительно повышает эффективность упрочнения, так как одновременно обеспечиваются, с одной стороны, получение интенсивного поверхностного наклепа с созданием на большой глубине остаточных сжимающих напряжений, с другой – достижение низкой шероховатости поверхности.

Анализ существующих исследований. Производительность процесса обкатывания при ограничении скорости обкатывания можно повысить за счет увеличения подачи ролика. Подача и количество продольных проходов ролика кругового профиля при обкатывании определяются в зависимости от профильного радиуса ролика, требуемой и исходной шероховатости поверхности и количества роликов в устройстве [1]. Ограничение усилия обкатывания углом вдавливания в плоскости подачи ролика $\varphi_a=2,5^\circ$ позволяет снизить шероховатость по параметру R_a с 10,0 до 1,25; 5,0-0,63 и 2,5-0,32 мкм. Дальнейшее повышение усилия обкатывания в случае приме-

нения традиционных устройств, в которых роликовый узел установлен на опорах скольжения, приводит к появлению волнистости на обкатанной поверхности.

В этом случае увеличение профильного радиуса ролика – один из путей повышения производительности обкатывания. Однако увеличение радиуса влечет за собой рост рабочего усилия. Увеличить степень пластической деформации при малых значениях φ_a , что предотвращает появление волнистости, можно за счет уменьшения диаметра ролика. При уменьшении диаметра ролика уменьшается размер b отпечатка, иначе говоря, при данном допускаемом усилии обкатывания с уменьшением диаметра ролика может увеличиваться его профильный радиус, а следовательно, возрастет подача, и, тем самым, повышаться производительность. Так, если у ролика с профильным радиусом 160 мм уменьшить диаметр до 50 мм, то рабочее усилие с 50,0 кН можно снизить до 40,0 кН, а если применить ролик диаметром 25 мм, тот же эффект будет получен при усилии 30,0 кН, т. е. обкатывание можно выполнить более легким устройством на станке меньших размеров. Если же станок, на котором выполняется обкатывание, позволяет использовать рабочее усилие 50,0 кН, то профильный радиус ролика может быть увеличен со 160 до 250 мм, соответственно увеличится подача с 2,25 до 3,2 мм/об. Обычно применяемые для чистового обкатывания ролики кругового профиля имеют отношение радиусов кривизны осевого и поперечного сечения в диапазоне 2-0,5. Отпечатки этих роликов на цилиндрических деталях имеют форму эллипсов с отношением осей с $b/a=0,45...2,5$. Для ролика диаметром 12,5 мм с профильным радиусом 100 мм это отношение составляет 16, а для такого же ролика с радиусом 600 мм – 96. Отпечатки роликов представляют собой вытянутые в направлении подачи эллипсы с $b/a=0,25...0,05$. Условия деформации поверхностного слоя детали под такими роликами сильно отличаются от условий обычного обкатывания. По мере увеличения профильного радиуса и уменьшения диаметра ролика точечный исходный

контакт с деталью все более приближается к линейному. Поэтому естественным развитием формы таких роликов являются цилиндрические ролики малого диаметра с прямолинейной обrazyющей, имеющей скругления лишь у торцов.

Постановка и решение задачи. Преимущество роликов с цилиндрическим рабочим участком – независимость длины их контакта с деталью и угла вдавливания от профильного радиуса. Отпечаток цилиндрического ролика диаметром 12,5 мм близок по размерам длины и ширины к размерам эллиптического отпечатка ролика такого же диаметра, но имеющего круговой профиль с радиусом 600 мм. Для чистовой обработки использование роликов прямолинейного профиля предпочтительнее, так как они позволяют задавать произвольную длину отпечатка, в то время как у роликов кругового профиля размер отпечатка зависит от угла вдавливания ролика. С целью определения возможностей интенсификации процесса пластической деформации поверхностного слоя за счет применения в качестве деформирующих элементов роликов малого диаметра исследовались шероховатость поверхности валов, обкатанных цилиндрическими роликами диаметрами 3; 4; 5; 12,5; 32; 80; 125 мм.

Обкатывание проводили устройствами двух типов, одно и них представлено на рис. 1, где показана конструкция гидравлического устройства для обкатывания валов самоустанавливающимися роликами. Ролик может поворачиваться вокруг оси, проходящей перпендикулярно линии его контакта с обкатываемой деталью. Под действием рабочего усилия в случае наличия перекоса возникает момент, поворачивающий ролик до восстановления его контакта с деталью по всей длине цилиндрического участка.

Корпус несет пиноль 5. В вилке пиноли на цапфах устанавливается головка 2 с рабочим 1 и опорными 3 роликами. Рабочее усилие обкатывания обеспечивается гидравлическим силовым цилиндром 7, давление в котором создается винтом 8. Усилие регулируется в пределах до 60,0 кН и контро-

лируется манометром 9 и передается на пиноль через пакет тарельчатых пружин 6. Пружины служат для стабилизации усилия в процессе обкатывания. Устройство крепится в резцедержателе станка кронштейном 4. Закрепленное на станке устройство без дополнительной выверки подводится и поджимается к обрабатываемой поверхности. Оно снабжено сменными головками, позволяющими использовать ролики как большого (80, 125 мм), так и малого (12,5 и 5 мм) диаметров, одна из которых показана на рис 2. Ролики еще меньших диаметров можно применять в самоустанавливающейся роликовой головке с помощью устройства, цилиндрическая пружина которого регулируется в пределах 17,0 кН. Так, с помощью первого из описанных устройств можно обкатывать валы из стали 40 диаметром 220 мм на токарном станке с высотой центров 500 мм. Предварительно поверхность протачивают с подачами 0,3 и 0,7 мм/об, а потом обкатывают за 1,4 и 16 проходов ролика (оборотов вала) без продольной подачи.

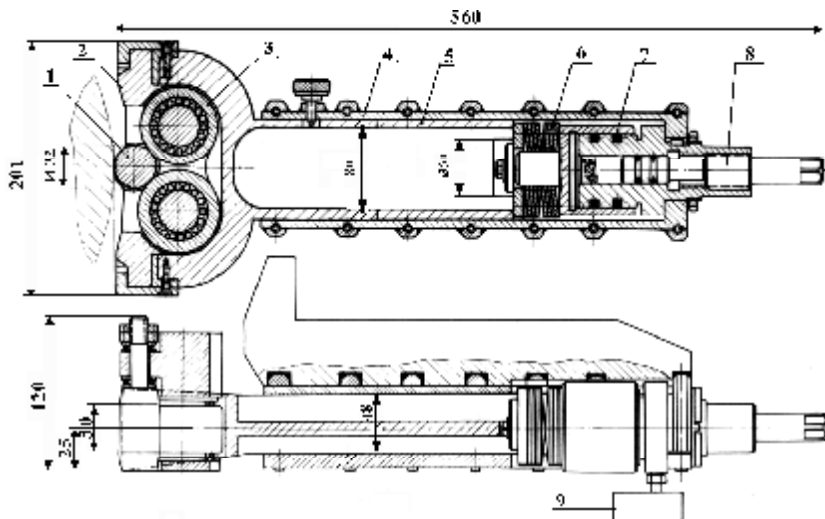


Рис.1. Устройство для обкатывания валов самоустанавливающимся цилиндрическим роликом диаметром 32 мм

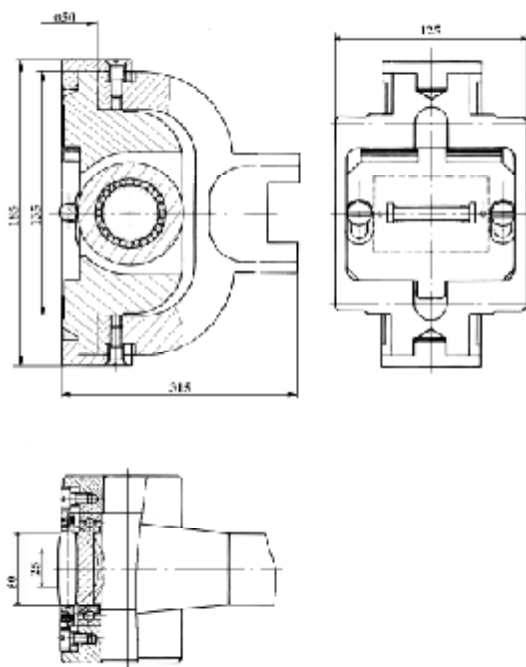
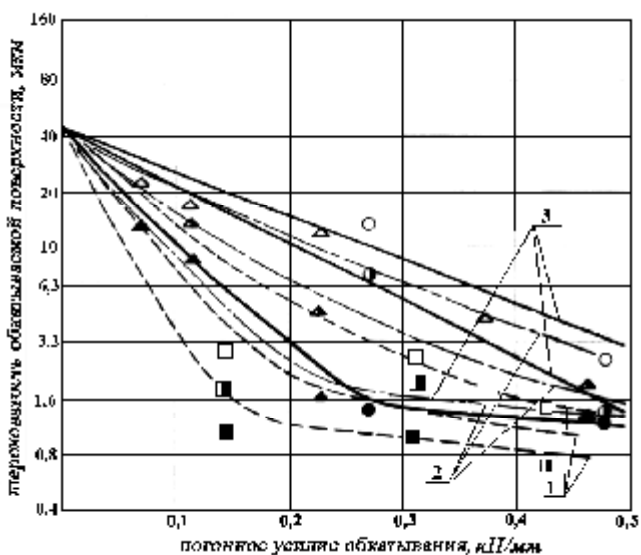


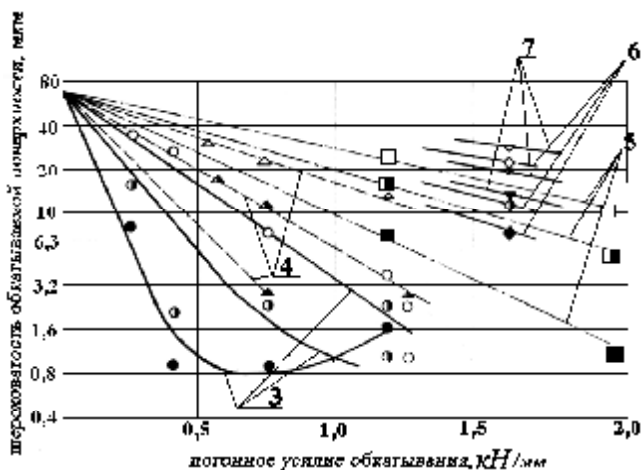
Рис.2. Сменная головка с роликами диаметрами 5 и 12,5 мм

Для второго устройства подходят станки типа 1К62. Ими с проходами 1, 4, 8 и 16 можно обкатывать валы диаметром 80 мм, обточенных с подачами 0,26 и 0,43 мм/об. Шероховатость поверхности удобно измерять с помощью двойного микроскопа МИС-11 или профилометра ПЧ-2.

На рис.3, а показаны зависимости шероховатости обкатанных поверхностей от погонного усилия обкатывания (усилие, отнесенное к длине пятна контакта ролика на детали). Для каждого диаметра построены три зависимости после одного, четырех и шестнадцати проходов. По мере уменьшения диаметров роликов при прочих равных условиях шероховатость уменьшается, приближаясь к шероховатости самих роликов. Рост погонного усилия лишь до некоторого предела способствует снижению шероховатости обкатанной поверхности.



а



б

Рис.3. Зависимости шероховатости обкатанной поверхности от погонного усилия обкатывания цилиндрическими роликами при исходных $R_a=40 \mu m$ (а) и $R_a=80 \mu m$ (б): 1 - для $D_p=3 \text{ мм}$; 2 - $D_p=4 \text{ мм}$; 3 - $D_p=5 \text{ мм}$; 4 - $D_p=12,5 \text{ мм}$; 5 - $D_p=32 \text{ мм}$; 6 - $D_p=80 \text{ мм}$; 7 - $D_p=125 \text{ мм}$

При обкатывании роликов диаметром 5 мм после 16 проходов с погонным усилием 1,20 кН/мм наблюдается шелушение поверхности (рис.3, б). Очевидно, и для больших диаметров существуют такие критические погонные усилия, превышение которых ведет к разрушению поверхностного слоя детали. Полагая, что оптимальное рабочее усилие в случае обкатывания валов должно обеспечивать снижение шероховатости поверхности до $R_a = 0,6...1,25$ мкм, по данным проведенных опытов построены зависимости погонного усилия обкатывания от диаметра рабочего ролика (рис.4). На этом рисунке указаны усилия, позволяющие получить шероховатость поверхности с $R_a = 0,6...1,25$ мкм за 1, 4 и 16 приведенных проходов. Под приведенным числом проходов понимается отношение ширины контакта ролика с деталью к величине продольной подачи ролика. Погонное усилие обкатывания изменяется пропорционально приведенной кривизне контакта ролика с деталью в плоскости обкатывания. При обкатывании роликами малого диаметра, когда приведенная кривизна определяется в основном кривизной ролика, погонное усилие пропорционально диаметру ролика. Ролики малого диаметра с прямолинейным профилем, скругленным у торцов радиусами 30–50 мм, позволяют применять увеличенные продольные подачи, достигающие 6–16 мм на оборот детали. Игольчатыми самоустанавливающимися роликами успешно обкатываются винтовые поверхности архимедовых и глобoidных червяков с модулями $m = 8-30$ мм, углами подъема линии витка $\gamma < 100$ и упорные резьбы с шагом 24-64 мм [1, 2]. Например, винт электропушки с шагом резьбы 40 мм, изготовленный из стали 40, подвергался термообработке до твердости 217-255НВ. Нажимные винты с шагами 24 и 32 мм изготавливались из улучшенной стали 34ХН1М твердостью 286-321НВ. Резьба перед обкатыванием нарезалась твердосплавными резцами. Шероховатость поверхности резьбы перед обкатыванием соответствовала $R_z = 20...40$ мкм. Обкатывание, вместо полирования шкурками в течение 6 часов, проводилось с погонным усилием

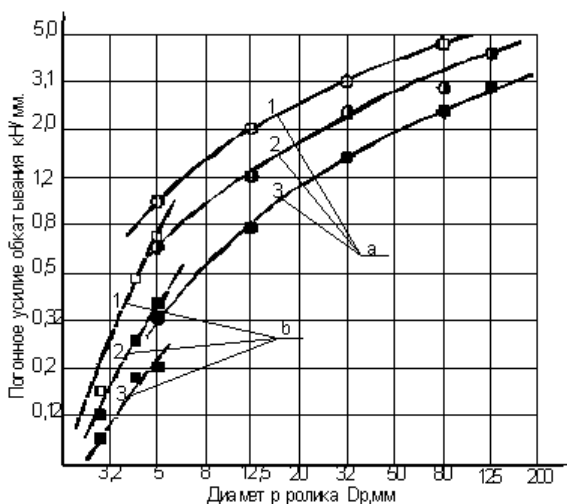


Рис.4. Зависимость погонного усилия обкатывания стальных деталей от диаметра цилиндрического ролика: а – $R_a = 40$ мкм; б – $R_a = 80$ мкм; 1 – после одного прохода; 2 – четырех; 3 – шестнадцати

на игольчатом ролике 1,40; 1,68; 1,59 кН/мм соответственно для резьб с шагами 24, 32, 40 мм при скорости 3 м/мин за три прохода. В результате обкатывания получена интенсивная деформация поверхности упорной стороны витка по всей глубине профиля резьбы. Шероховатость обкатанной поверхности – $R_a = 0,32$ мкм. Твердость металла в поверхностном слое резьбы, имеющего сорбитную структуру, повысилась на 18-20%. Это позволило снять закалку с резьбового участка винтов токами высокой частоты, в результате которой винты изгибало, что дополнительно усиливало износ гаек во время эксплуатации. Подвергались обкатыванию игольчатыми самоустанавливающимися роликами во всей глубине профиля резьбы нажимные винты прокатных станков с шагом нарезки 48 и 64 мм, с расширенной впадиной резьбы [2]. Для эффективного обкатывания деталей типа валов после термообработки до твердости 600 НВ используются устройство с гибкими игольчатыми роликами [3]. Оно показано на рис.5.

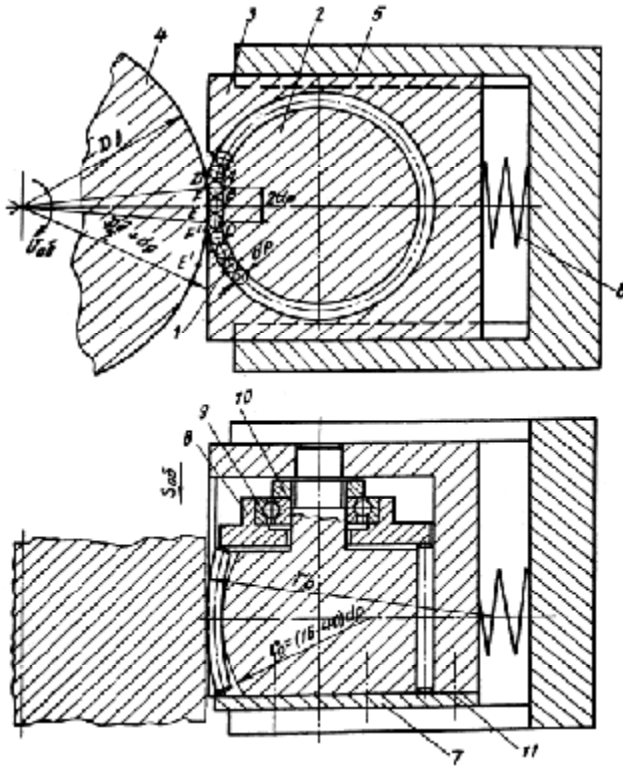


Рис.5. Устройство для чистовой обработки поверхностей тел вращения.

Гибкие игольчатые ролики 1 установлены рядом друг с другом между оправкой 2 и обоймой 3. Часть роликов 1 (не более трех) находится между обрабатываемой деталью вращения 4 и выпукло-вогнутой лыской ABC, образованной на цилиндрической поверхности оправки 2. Обойма 3 установлена на прямоугольные направляющие корпуса 5 и поджимается к детали 4 вместе с роликами 1 при помощи пружин 6. В осевом направлении ролики 1 удерживаются с одной стороны неподвижной пластиной 7, а со стороны направления подачи обкатывания – подвижной втулкой 8, установленной на подшипнике качения 9. Последний крепится на оправке 2 гайкой

10. Пластина 7 с помощью призонных винтов 11 фиксирует от поворота оправку 2 относительно обоймы 3. Выпукло-вогнутая лыска на цилиндрической поверхности оправки 2 выполнена вогнутой в плоскости обкатывания с радиусом кривизны, равным $(D_1/2 + D_2)$ шириной $2D_2$ и выпуклой в плоскости подачи с радиусом кривизны $(16 - 10)D_2$. При сжатии пружин 6 с помощью суппорта металлорежущего станка, на котором закрепляются устройство с корпусом 5 и обойма 3 с оправкой 2, ролики 1 поджимают к обрабатываемой детали. При вращении детали со скоростью $V_{\text{с}}$ они прокатываются между поверхностями детали выпукло-вогнутой лыски и деформируют поверхностный слой детали. При этом ролик, находящийся в контакте с оправкой и деталью соответственно в точках С и Е, деформирует поверхность детали по дуге $\overline{E^1E} = 2D_p$, а ролик, находящийся в контакте с оправкой и деталью в точках В и Е, деформирует деталь по дуге $\overline{FE^1} = D_p$. Длина дуги \overline{FE} равна $\overline{FE} = D_2(D_1 - D_2)/D_2$.

Таким образом, поверхности, деформируемые двумя соседними роликами, перекрываются на величину: $\overline{E^1E} = \overline{FE^1} - \overline{FE} = D_2/2$.

Это перекрытие обеспечивает непрерывность пластической деформации поверхности детали близлежащими роликами. В работе участвуют практически два ролика, так как при выходе из контакта нижнего ролика (точки Е, С) в это же время вступает в работу верхний ролик (точки D, А).

При диаметре роликов $D_p = 5$ мм профильный радиус ролика $r_p = 500$ мм. При обкатывании вала диаметром 200 мм из стали марки 34ХН1М, твердостью 400НВ усилие обкатывания равно 28,4 кН. Так как в работе участвуют 2 ролика, то усилие пружины $P_{np} = 2P = 57$ кН, подача – 4 мм/об. Скорость обкатывания принята равной 100 м/мин. В результате обработки получена шероховатость $R_a = 0,16$ мкм при исходной $R_z = 20-30$ мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабей Ю. И. Поверхностное упрочнение металлов / Ю. И. Бабей, Б. И. Бутаков, В. Г. Сысоев — К. : Наук. думка, 1995. — 256 с.
2. Бутаков Б. И. Способы обкатывания роликами винтов и червяков с крупным шагом в тяжелом машиностроении / Б. И. Бутаков // Вестник машиностроения. — 1985. — № 3. — С. 44—50.
3. А. С. 1486327 СССР, В 24 В 39/04. Устройство для чистовой обработки поверхностей тел вращения // Б. И. Бутаков — Оpubл. 15.06.89 — Бюл. № 22.