

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ
ПРИ ОБКАТЫВАНИИ РОЛИКОМ**

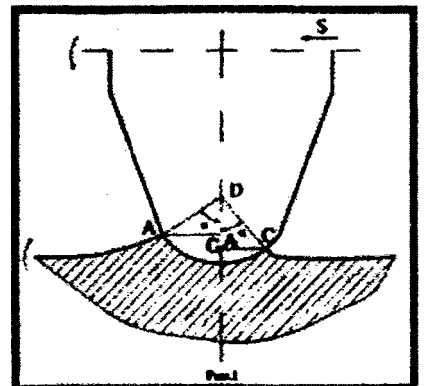
*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

1. Методика исследования процесса деформирования поверхностного слоя при обкатывании роликом.

В процессе обкатывания роликами микрогеометрические и физико-механические характеристики поверхностей формируются в результате деформации поверхностного слоя детали при силовом воздействии ролика на обрабатываемую поверхность /1, 2/. Деформация поверхности происходит не по всему объему детали, а локализуется в зоне, непосредственно примыкающей к рабочему профилю ролика, находящегося в контакте с поверхностью. Зона деформации имеет определенные геометрические характеристики, зависящие от режимов обработки.

Для определения геометрических характеристик зоны деформации широко применяется метод построения и анализа профилограмм, получаемых при помощи профилографо-профилометров различных конструкций. Строятся профилограммы участков поверхностей, на которых процесс обработки был остановлен при быстром отводе деформирующего элемента. Такой метод дает возможность точно определить некоторые геометрические параметры зоны пластической деформации. Но в то же время этот метод статичен, устанавливает только результаты обработки и не отражает сам процесс образования рельефа поверхности, то есть не вскрывает динамику процесса, движение зоны пластической деформации и ее положение относительно обрабатываемого инструмента. Необходимо учитывать и то, что метод профилограмм неприменим при значительной шероховатости поверхностей, возникновение которой возможно при значительных усилиях обкатывания. Поэтому нами для изучения закономерностей изменения зоны пластической деформации были использованы методы фотографирования в проходящем свете, позволяющие зафиксировать зону контакта в процессе обработки и по полученным фотографиям определить ее параметры.

Величина и форма неровностей поверхности обычно рассматривается в осевом сечении детали, а так как они образуются в зоне контакта ролика с деталью, то нами также рассматривалось ее осевое сечение. В качестве геометрических характеристик зоны деформации использовались углы охвата ролика металлом детали (рис.1). Поскольку в процессе обкатывания деформация поверхностного слоя детали происходит как перед роликом, так и за ним, и при этом возникает волна металла в направлении подачи и в противоположном ей направлении, то выделялись и два различных угла охвата ролика волной металла. Угол φ_1 отсчитывается от радиуса профиля ролика, проведенного через верхнюю точку волны металла, возникающей перед роликом в направлении подачи, до оси симметрии профиля ролика. Угол φ_2 отсчитывается от радиуса профиля ролика, проведенного через верхнюю точку волны металла, возникающей за роликом в направлении противоположной подачи, также до оси симметрии профиля ролика.



Таким образом, при рассмотрении продольного сечения зоны контакта ролика и детали величина пластической деформации поверхностного слоя детали в процессе обкатки может быть охарактеризована суммарным углом охвата ролика металлом детали:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$$

Тогда высота волны металла, возникающей перед роликом в направлении подачи, определяется углом φ_1 , а высота волны металла, возникающей за роликом в направлении обратном подаче - углом φ_2 .

Для определения величины этих углов в процессе обкатки осуществлялась фотосъемка зоны пластической деформации в проходящем свете. Для этого применялось специальное приспособление типа кронштейна, позволяющее установить фотоаппарат с фотоприставкой на резцедержателе токарно-винторезного станка I6K20 одновременно с обкатным приспособлением. При включении подачи фотоаппарат двигался вместе с резцедержателем и обкатным приспособлением таким образом, что зона контакта ролика с деталью все время оставалась в кадре. Съемка производилась с выдержкой 1/500 секунды, использовалась фотопленка чувствительностью 20 DIN. Фотографирование велось в проходящем свете, что позволило четко выявить зону пластического течения металла. Для определения степени увеличения фотографировалась масштабная линейка. По полученным фотографиям замерялись хорды AA_1 и CC_1 (рис.1).

Тогда, зная увеличение m и радиус профиля ролика R_{rp} , углы охвата ролика металлом детали определялись из следующих соотношений:

$$\sin \varphi_1 = \frac{AA_1}{R_{rp} m}$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{CC_1}{R_{rp} m}$$

По найденным значениям углов в радианах строились графики их зависимостей от основных режимов обкатывания.

2. Влияние режимов обкатывания на геометрические параметры зоны пластической деформации

Для исследования изменения углов охвата ролика металлом детали в зависимости от основных режимов обкатывания, а именно, продольной подачи и поперечного усилия обкатывания, воспользуемся методом планирования эксперимента по методике, изложенной в работе [3]. Поскольку почти все зависимости, характеризующие процессы при пластической деформации, имеют нелинейный вид, то для проведения эксперимента используем симметричный ортогональный план второго порядка для двух факторов с одним опытом в центре, В качестве математической модели принимаем полином второго порядка вида:

$$Y_x = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_{12} X_1 X_2 + B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2$$

Значения варьируемых параметров приведены в табл.1.

По методике, изложенной в предыдущем разделе, определялись значения угла волны металла перед роликом φ_1 , угла волны металла за роликом φ_2 и величина суммарного угла охвата ролика материалом детали φ . Замеры углов производились по фотографиям при трехкратном повторении опытов. Обкатывались цилиндрические заготовки из стали 20 в состоянии поставки (НВ 136) роликом с радиусом рабочего профиля $R_{rp} = 2$ мм, интервал используемых режимов приведен в табл.1

Таблица1. Уровни факторов и интервалы варьирования при обкатывании

Уровни факторов и интервалы варьирования	Натуральные величины		Кодовые значения	
	Усилие P, Н	Подача S, мм/об	X ₁	X ₂
Основной уровень	2300	0,35	0	0
Интервал варьирования	1100	0,35	1	1
Верхний уровень	3400	0,7	+1	+1
Нижний уровень	1200	0,05	-1	-1

Дисперсии параллельных опытов составили:

для Y_1 : $S_{u1}^2 = 4,427 \cdot 10^{-4}$,

для Y_2 : $S_{u2}^2 = 0,904 \cdot 10^{-4}$,

где Y_1 и Y_2 - средние значения угла охвата ролика материалом детали в направлении подачи ϕ_1 и средние значения угла охвата ролика материалом детали в направлении обратной подачи ϕ_1 соответственно.

Проверка однородности полученных дисперсий параллельных опытов проводилась по критерию Кохрена, который имеет следующие значения:

$$\text{для } Y_1 : G_p = 0,383,$$

$$\text{для } Y_2 : G_p = 0,201.$$

Полученные значения критерия Кохрена сравниваем с табличными при числе степеней свободы 2 и числе опытов 9 при выбранном уровне значимости $\alpha = 0,05$ равными $G_{\text{табл}} = 0,478$, и так как они меньше, то гипотезу об однородности полученных дисперсий принимаем.

С учетом полученных дисперсий и значимости коэффициентов искомые уравнения регрессии имеют вид:

$$Y_{1,} = 0,1884 + 0,0947X_1 - 0,1123X_2 + 0,08425X_2^2 - 0,0703 X_1 X_2, \quad (3.5)$$

$$Y_2 = - 0,1531 + 0,0295X_1 + 0,0252X_2 \quad (3.6)$$

Гипотезу об адекватности полученных уравнений проверялась с помощью критерия Фишера.

Из полученных уравнений видно, что подача оказывает на величину волн металла существенное влияние, а на волну металла перед роликом даже большее, чем усилие обкатывания при изменении режимов в исследованном диапазоне. С увеличением подачи высота волны металла перед роликом уменьшается, а за роликом увеличивается. Полученные выводы подтверждаются и исследованиями, приведенными в работах В.М.Браславского, А.Г.Суслова, П.Л.Чепы,

Уравнение регрессии для суммарного угла охвата ролика металлом детали будет иметь вид:

$$Y = Y_1 + Y_2$$

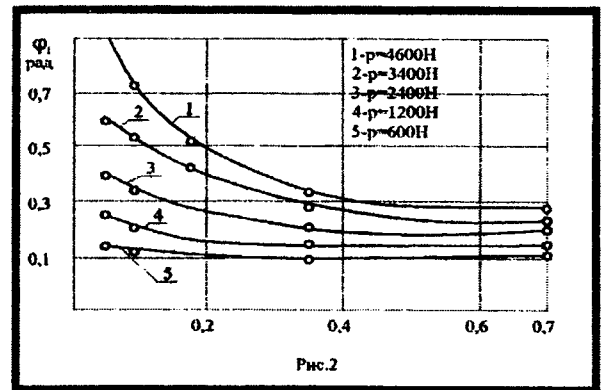
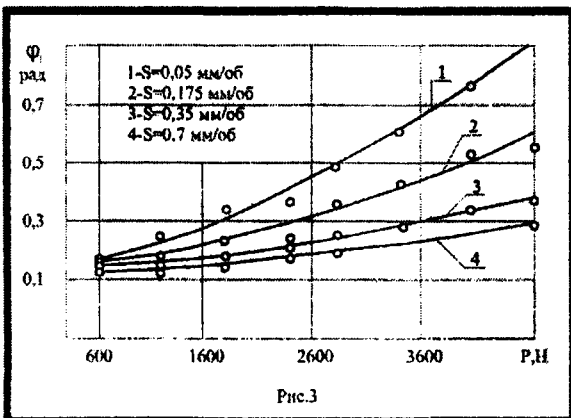
$$Y = 0,3415 + 0,1242X_1 - 0,0071X_2 + 0,0043X_2^2 - 0,0703X_1 X_2$$

Для проверки результатов, полученных при планировании эксперимента, и исследования величины волн металла при режимах за пределами рассмотренной области их изменения были проведены дополнительные исследования.

Результаты исследования изменения угла ϕ_1 от подачи и усилия обкатывания приведены на рис. 2 и 3 соответственно, из которых видно, что с увеличением подачи происходит стабилизация волны металла перед роликом. При обкатывании с усилием 600...1200 Н такая стабилизация наступает при подачах около 0,175...0,35 мм/об. Значительная по высоте волна пластической деформации образуется перед роликом во время обкатывания с усилиями 2500...3000 Н и выше. С

ростом усилия обкатки волна металла перед роликом увеличивается, и при малых подачах около 0,05 мм/об и усилиях обкатывания более 3000 Н достигает весьма значительных размеров, что может привести к полному разрушению обрабатываемой поверхности.

Полученное при обработке экспериментальных данных в результате планирования экспериментов уравнение регрессии является линейным из-за статистической незначимости коэффициентов при квадратичных членах используемой математической модели. Но из графика зависимости угла ϕ_2 от подачи S (рис.4) и усилия обкатывания (рис.5)



видно, что такая аппроксимация будет приблизительно соответствовать действительной картине изменения угла волны металла за роликом ϕ_2 при малых усилиях обкатывания 600...1200 Н.

При больших усилиях обкатывания зависимость угла ϕ_2 от подачи будет нелинейной. Подобная нелинейность имеет место и при обкатывании с малыми усилиями (600...1200 Н), но она

наблюдается только при малых подачах до 0,175 мм/об, дальнейшее увеличение подачи ведет к стабилизации угла φ_2 и график зависимости приобретает характер прямой, параллельной оси абсцисс. Аналогичный характер будет иметь и кривая изменения угла волны металла за роликом φ_2 от подачи при обкатывании со значительными поперечными условиями, только в этом случае стабилизация угла φ_2 наступает при больших значениях подачи, выходящих за пределы рассматриваемого диапазона режимов. То что стабилизация наступит, следует из физической сущности процессов, происходящих в зоне пластической деформации, поскольку рассматриваемые углы охвата металлом детали не могут до бесконечности уменьшаться или увеличиваться, и величина зоны контакта безусловно имеет свои ограничения.

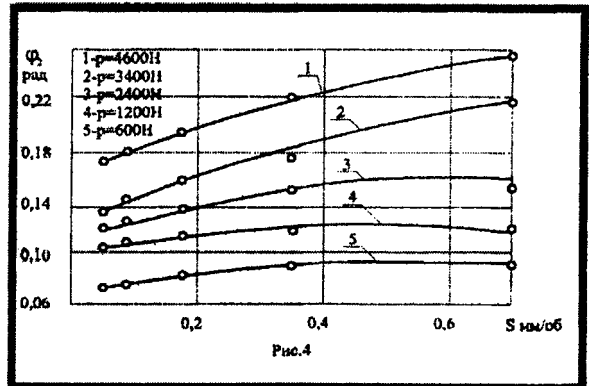


Рис.4

Стабилизация зоны контакта будет наступать, по-видимому, в тот момент, когда сравняются величины углов охвата ролика металлом детали перед роликом и за ним.

Анализируя весь исследуемый интервал подач можно отметить, что при малых подачах течение материала происходит в основном из-под ролика в направлении подачи, то есть перед роликом, при этом доля угла волны металла перед роликом в общем, суммарном угле охвата ролика металлом детали с ростом подачи уменьшается, а доля угла волны металла за роликом увеличивается. При обкатывании с усилием 3400 Н и выше и при малых подачах 0,05...0,09 мм/об перед роликом образуется значительная волна пластического течения металла. Деформация поверхностного слоя детали при таких режимах носит совершенно иной характер, чем при вдавливании ролика в неподвижную деталь с тем же усилием, причем картина деформации меняется с увеличением подачи, происходит перераспределение металла в зоне пластической деформации.

Таким образом, исследованиями геометрических параметров зоны пластической деформации установлено, что величина самой зоны, распределение в ней металла, изменение величины углов охвата ролика металлом определяются соотношением режимов обработки. При малых подачах происходит образование весьма значительной по высоте волны металла, и если процесс обкатывания прервать, то наличие такой волны дает возможность получить значительную шероховатость поверхности. Процесс шелушения начинается при определенных режимах, которые характеризуются определенной величиной зоны контакта ролика с деталью, то есть существует связь между началом процесса разрушения и характеристиками процесса деформации поверхностного слоя детали.

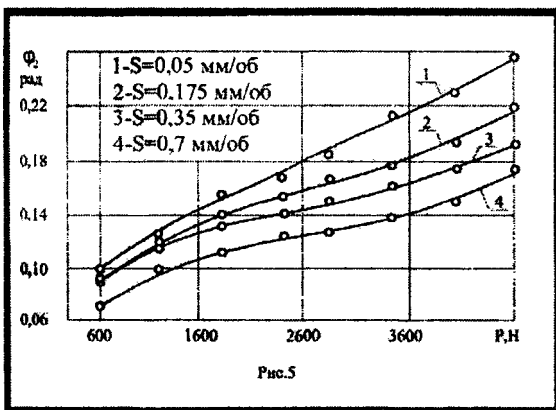


Рис.5

Были также проведены дополнительные исследования зоны деформации при обкатывании роликом с радиусом профиля 8 мм. Полученные зависимости углов охвата ролика металлом от режимов обработки, отличаясь по абсолютной величине, имеют такой же характер, что и при обкатывании роликом с радиусом профиля 2 мм. Поэтому можно

сделать вывод о том, что описанные общие закономерности изменения зоны контакта ролика с деталью свойственны самому процессу обкатки роликами.

ЛИТЕРАТУРА

1.Алексеев П.Г., Щеглова А.В. Исследование напряженного состояния в контакте инструмент-деталь при обработке методами поверхностного пластического деформирования.Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Использование методов ППД в машиностроении»,- Владимир: 1981, с.118. 2.Чепя П.А. Технологические основы упрочнения деталей поверхностным деформированием.- Мн.: Наука и техника, 1981. – 128 с. 3.Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение, 1980. – 304 с.