

УДК 621.7

НА БАЗЕ МАШИННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ФОРМИРУЕМОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ, ПРИ НАКАТЫВАНИИ ШАРИКОМ

Александр Алексеевич Новичков

Магистр 1 курса

кафедра «Технология машиностроения»

Московский государственный технический университет им/ Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Г. Суслов,

доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения»

Ключевые слова: *накатывание (roll forming), шарик (ball), машинный эксперимент (machine experiment), шероховатость (roughness).*

Аннотация: *В данной работе рассмотрен способ расчета определения высоты формируемой шероховатости, при накатывании шариком, на базе машинного эксперимента. Преимущества машинного эксперимента в том, что не требуется измерение шероховатости на детали, расчёт производится теоретическим уравнением с дальнейшим кодированием исходных данных и составлением матрицы. Произведя расчёты, выводится эмпирическое уравнение взаимосвязи исследуемых параметров.*

Сущность машинного эксперимента заключается в том, что в зависимости от задачи выбирается теоретическое уравнения по расчету исследуемого параметра, определяются границы исследуемых факторов и производится их кодирование. Все остальные входные факторы принимают определенные значения, соответствующие конкретному решению задач. Составляется матрица планирования эксперимента для исследования входных данных и в соответствии с этой матрицей рассчитывают по принятому теоретическому уравнению значение исследуемого параметра для каждого опыта, затем определяются коэффициенты регрессии и получается эмпирическое уравнение взаимосвязи исследуемого параметра и входными факторами.

Накатывание – поверхностное пластическое деформирование (ППД) при качении инструмента по поверхности деформируемого материала.

В зависимости от назначения метода и пластических деформаций все эти методы можно разделить на три класса: отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием, формообразующая обработка пластическим деформированием, отделочно-упрочняющая обработка пластическим деформированием. Среди всех методов отделочно-упрочняющей обработки ППД наиболее широкое применение имеет накатывание роликами или шариками. Накатыванием поверхностей металлическими роликами и шариками можно обеспечить высокую чистоту поверхности (до 10-го класса) и точность обработки (до 2-го класса).

За счет обработки ППД уменьшается шероховатость поверхности, возникает деформационное упрочнение и изменение структуры материала поверхностного слоя, образование определенной микрогеометрической формы.

При накатывании деформирующий элемент прижимается относительно нее, совершая вращение вокруг своей оси при накатывании цилиндрических поверхностей.

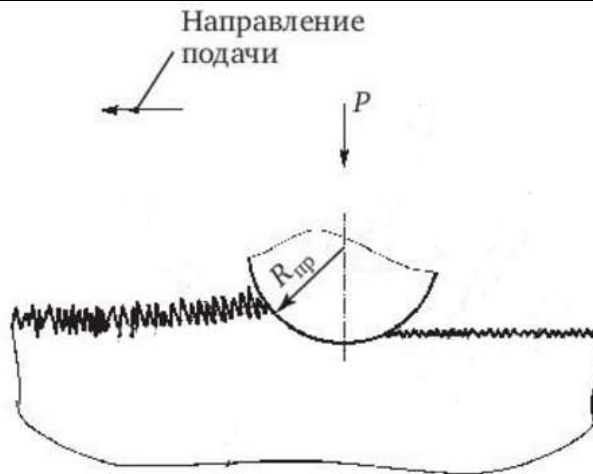


Рис. 1 Схема взаимодействия деформирующего элемента с обрабатываемой поверхностью

От выбранных параметров накатывания зависит интенсивность пластической деформации поверхностного слоя и, как следствие, качественные изменения в нем: снижение шероховатости поверхности, повышение твердости, предела текучести металла, возникновение сжимающих остаточных напряжений и т.д.

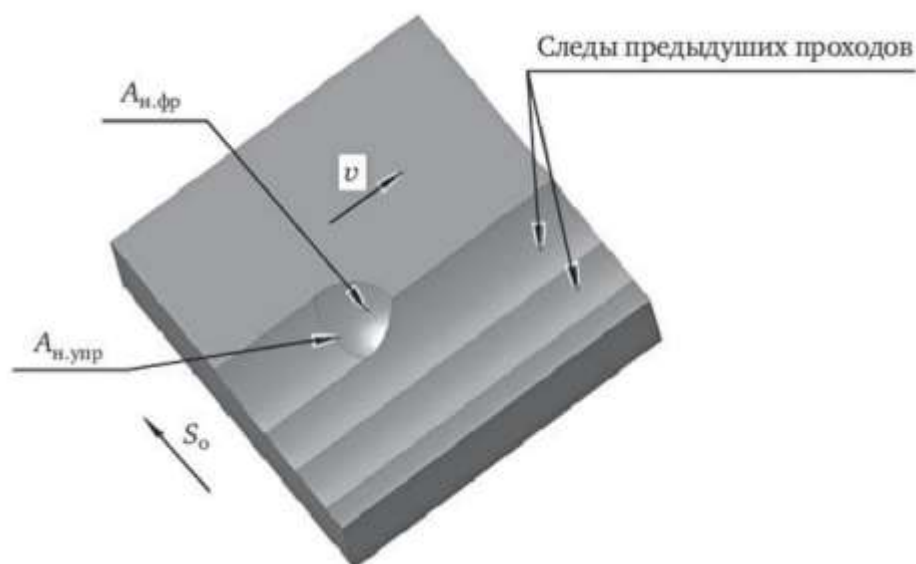


Рис. 2 Вид площадки контакта при ОУО ППД шариком на отделочных и отделочно-упрочняющих режимах

Величину силы вдавливания шарика выбирают в зависимости от цели обработки.

Методы накатывания имеют ряд преимуществ:

- отсутствие термических дефектов в поверхностном слое деталей;
- сохранение целостности волокон металла и образование мелкозернистой структуры;
- достижение минимального параметра шероховатости поверхности до Ra0,05-0,1, уменьшение шероховатости поверхности в несколько раз за один рабочий ход;
- деформационное упрочнение поверхностного слоя;
- повышение микротвёрдости поверхности;
- технологическая надёжность и экономичность;
- простота конструкции и универсальность обкатных устройств.

Анализируя техническую литературу находим теоретические зависимости для расчёта высоты шероховатости Rz при накатывании шариком.

Задаемся значениями входных факторов:

$P_{max} = 600$ МПа, $P_{min} = 400$ МПа, $S_{max} = 0,4$ мм/об, $S_{min} = 0,2$ мм/об, $R_{max} = 5$ мм, $R_{min} = 4$ мм, $R_{z_{исхmax}} = 20$ мкм, $R_{z_{исхmin}} = 10$ мкм.

Анализируя техническую литературу, находим теоретические зависимости для расчёта высоты шероховатости Rz, для обработки накатыванием отделочно-упрочняющей обработки ППД, формула будет иметь следующий вид:

$$Rz = Rz_{исх} - Rp_{исх} * \left\{ \frac{150P(1+f^2)^{0,5}}{\pi R_{пр} t_{мисх} H_{\mu} \left[\frac{180 - \arccos\left(\frac{S - a_{пл}}{a_{пл}}\right)}{180} (h_{кин} - h_{уп}) + 2h_{уп} \right]} \right\}^{0,5} +$$

$$\left[\frac{PR_{исх}^2}{\pi R_{пр} (HB_{max} - HB_{min})} \right]^{\frac{1}{3}} + \frac{S}{2r} + R_{зисх},$$

где $Rz_{исх}$ $Rp_{исх}$ $t_{мисх}$ – исходные параметры шероховатости P – рабочее усилие, f – коэффициент трения между инструментом и обрабатываемой заготовкой, $R_{пр}$ – приведенный радиус, R – радиус шарика, $a_{пл}$ – средний радиус площадки контакта.

Производим кодирование исследуемых факторов:

$$X_1 = \frac{2S - S_{max} - S_{min}}{S_{max} - S_{min}}$$

$$X_2 = \frac{2R - R_{max} - R_{min}}{R_{max} - R_{min}}$$

$$X_3 = \frac{2P - P_{max} - P_{min}}{P_{max} - P_{min}}$$

$$X_4 = \frac{2Rz_{исх} - Rz_{исхmax} - Rz_{исхmin}}{Rz_{исхmax} - Rz_{исхmin}}$$

Так как количество входных данных равно 4, то для составления матрицы планирования, выбираем метод дробно факторных экспериментов.

Количество испытаний для дробно факторных экспериментов определяется по формуле:

$$N = q^{n-1},$$

где n – количество входных данных.

$$N = 2^{4-1} = 8.$$

Исходя из формулы количество экспериментов будет равно 8.

Таблица 1.

№ п/п	X1	X2	X3	X4
1	+	+	+	+
2	-	+	+	-
3	+	-	+	-
4	-	-	+	+
5	+	+	-	-
6	-	+	-	+
7	+	-	-	+
8	-	-	-	-

Далее требуется определить для каждого эксперимента высоту получаемой шероховатости, подставляя *max* и *min* значения входных факторов, исходя из матрицы планирования экспериментов:

$$1) R_z = 0,02 - 0,008 * \left\{ \frac{150*600(1+0,07^2)^{0,5}}{3,14*2,5*0,8*4000 \left[\frac{180 - \arccos\left(\frac{0,4-0,4}{0,4}\right)}{180} (0,022-0,003) + 2*0,003 \right]} \right\}^{0,5} +$$

$$\left[\frac{600*0,008^2}{3,14*2,5(197-156)} \right]^{\frac{1}{3}} + \frac{0,4}{2*5} + 0,02 = 0,0112 \text{ мм}$$

$$2) R_z = 0,01 - 0,004 * \left\{ \frac{150*600(1+0,07^2)^{0,5}}{3,14*2,5*0,8*4000 \left[\frac{180 - \arccos\left(\frac{0,2-0,4}{0,4}\right)}{180} (0,022-0,003) + 2*0,003 \right]} \right\}^{0,5} +$$

$$\left[\frac{600*0,004^2}{3,14*2,5(197-156)} \right]^{\frac{1}{3}} + \frac{0,2}{2*5} + 0,01 = 0,0091 \text{ мм}$$

$$3) R_z = 0,01 - 0,004 * \left\{ \frac{150*600(1+0,07^2)^{0,5}}{3,14*2,5*0,8*4000 \left[\frac{180 - \arccos\left(\frac{0,4-0,4}{0,4}\right)}{180} (0,022-0,003) + 2*0,003 \right]} \right\}^{0,5} +$$

$$\left[\frac{600*0,004^2}{3,14*2,5(197-156)} \right]^{\frac{1}{3}} + \frac{0,4}{2*4} + 0,01 = 0,0096 \text{ мм}$$

$$4) R_z = 0,02 - 0,008 * \left\{ \frac{150*600(1+0,07^2)^{0,5}}{3,14*2,5*0,8*4000 \left[\frac{180 - \arccos\left(\frac{0,2-0,4}{0,4}\right)}{180} (0,022-0,003) + 2*0,003 \right]} \right\}^{0,5} +$$

$$\left[\frac{600*0,008^2}{3,14*2,5(197-156)} \right]^{\frac{1}{3}} + \frac{0,2}{2*4} + 0,02 = 0,0101 \text{ мм}$$

$$5) R_z = 0,01 - 0,004 * \left\{ \frac{150*400(1+0,07^2)^{0,5}}{3,14*2,5*0,8*4000 \left[\frac{180 - \arccos\left(\frac{0,4-0,4}{0,4}\right)}{180} (0,022-0,003) + 2*0,003 \right]} \right\}^{0,5} +$$

$$\left[\frac{400*0,004^2}{3,14*2,5(197-156)} \right]^{\frac{1}{3}} + \frac{0,4}{2*5} + 0,01 = 0,00645 \text{ мм}$$

$$6) R_z = 0,02 - 0,008 * \left\{ \frac{150*400(1+0,07^2)^{0,5}}{3,14*2,5*0,8*4000 \left[\frac{180 - \arccos\left(\frac{0,2-0,4}{0,4}\right)}{180} (0,022-0,003) + 2*0,003 \right]} \right\}^{0,5} +$$

$$\left[\frac{400*0,008^2}{3,14*2,5(197-156)} \right]^{\frac{1}{3}} + \frac{0,2}{2*5} + 0,02 = 0,0072 \text{ мм}$$

$$7) R_z = 0,02 - 0,008 * \left\{ \frac{150*400(1+0,07^2)^{0,5}}{3,14*2,5*0,8*5000 \left[\frac{180 - \arccos\left(\frac{0,4-0,4}{0,4}\right)}{180} (0,022-0,003) + 2*0,003 \right]} \right\}^{0,5} +$$

$$\left[\frac{400*0,008^2}{3,14*2,5(197-156)} \right]^{\frac{1}{3}} + \frac{0,4}{2*4} + 0,02 = 0,0075 \text{ мм}$$

$$8) R_z = 0,01 - 0,008 * \left\{ \frac{150 \cdot 400 (1 + 0,07^2)^{0,5}}{3,14 \cdot 2,5 \cdot 0,8 \cdot 5000 \left[\frac{180 - \arccos\left(\frac{0,2 - 0,4}{0,4}\right)}{180} (0,022 - 0,003) + 2 \cdot 0,003 \right]} \right\}^{0,5} +$$

$$\left[\frac{400 \cdot 0,008^2}{3,14 \cdot 2,5 (197 - 156)} \right]^{\frac{1}{3}} + \frac{0,2}{2 \cdot 4} + 0,01 = 0,0061 \text{ мм}$$

В общем виде линейное уравнение имеет следующий вид:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + \dots;$$

где x_1, x_2, x_3, x_4 - кодированное значение входных факторов,

b_0 - входной фактор.

$$b = \sum_{i=1}^N \frac{y_i}{N}$$

Определяем значения регрессии:

$$b_0 = 0,00841$$

$$b_1 = 0,00028$$

$$b_2 = 0,00008$$

$$b_3 = 0,00159$$

$$b_4 = 0,00058$$

Подставляем полученное значение регрессий в уравнение y , получаем эмпирическое уравнение взаимосвязи исследуемого параметра и входными факторами:

$$R_z = y =$$

$$0,00841 + 0,00028 \left(\frac{2S - S_{\max} - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}} \right) + 0,00008 \left(\frac{2R - R_{\max} - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} \right) + 0,00159 \left(\frac{2P - P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \right) +$$

$$0,00058 \left(\frac{2R_{z_{исх}} - R_{z_{исх\max}} - R_{z_{исх\min}}}{R_{z_{исх\max}} - R_{z_{исх\min}}} \right)$$

$$R_z = y = 0,00841 + 0,00028 \left(\frac{2S - 0,4 - 0,2}{0,4 - 0,2} \right) + 0,00008 \left(\frac{2R - 5 - 4}{5 - 4} \right) + 0,00159 \left(\frac{2P - 600 - 400}{600 - 400} \right) +$$

$$0,00058 \left(\frac{2R_{z_{исх}} - 0,02 - 0,01}{0,02 - 0,01} \right) = 0,0028S + 0,00016R + 0,000159P + 0,0000116R_z - 0,00284$$

Проведенный эксперимент показал, что на высоту формируемой шероховатости, при накатывании шариком, наибольшее влияние оказывает сила давления деформирующего инструмента на обрабатываемую поверхность.

Также стоит учитывать, при обработке накатыванием шариком, что:

-увеличение силы давления шарика на поверхность, увеличивает величину шероховатости;

-увеличение диаметра шарика, приводит к уменьшению шероховатости поверхности;

-при увеличении подачи накатного инструмента, также увеличивается высота шероховатости;

-при увеличении значения исходной шероховатости обрабатываемой поверхности, значение R_z возрастает.

Литература

1. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. В 2-х томах. Т.1./ Под общ.ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2014. – 480 с.: ил.

2. Качество машин: Справочник. В 2 т. Т.1/ А.Г. Суслов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткевич и др. - М.: Машиностроение, 1995. - 256с.:ил.

3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т1./Под ред. *А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова*. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение – 2001. -912 с.
4. *Шнейдер Ю.Г.* Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Серия «Выдающиеся ученые ИТМО» - СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2001. - 264 с.
5. Научные основы технологии машиностроения / *Сулов А. Г., Дальский А. М.* - М.: Машиностроение, 2002. - 684 с.: ил. - Библиогр.: с. 678-680.
6. *Папиев Д.Д.* Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1978. 152 с.
7. *Сулов А.Г.* Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.:Машиностроение, 200. 319 с.