

6. Подуров В.Н. Обработка резанием с вибрациями. М.,  
"Машиностроение", 1970.

Э.В. Рыжов, А.Г. Суслев

### АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПОРНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ВИБРОНАКАТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Непрерывно повышающиеся требования к надежности и долговечности самолетов ставят задачу улучшения характеристик качества рабочих поверхностей деталей, определяющих их эксплуатационные свойства.

Анализ существующих методов обработки в технологии самолетостроения показывает, что в настоящее время наряду с совершенствованием имеющихся методов необходимо находить такие методы чистовой обработки, которые удовлетворяли бы следующим требованиям: получение высококачественного поверхностного слоя с повышенной микротвердостью; создание оптимальной опорной площади, обеспечивающей повышение износостойкости и контактной жесткости сопрягаемых поверхностей.

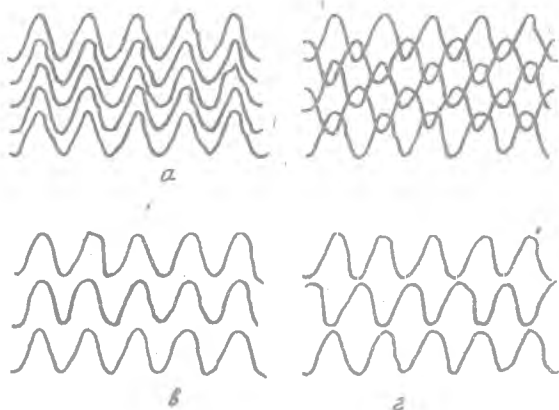
Одним из таких новых методов чистовой обработки является вибронакатывание, когда на движение подачи накладывается осциллирующее движение в направлении перпендикулярном вектору скорости резания.

В зависимости от режима обработки и конструкции виброголовки могут быть получены следующие рельефы: с перекрывающимися синхронными канавками (рис.1,а), с перекрывающимися асинхронными канавками (рис.1,б), с неперекрывающимися синхронными канавками (рис.1,в), с неперекрывающимися асинхронными канавками (рис.1,г). Все эти рельефы в зависимости от режимов обработки могут получаться или в виде системы канавок на исходной поверхности, или в виде образования нового микрорельефа.

Аналитический расчет опорных площадей цилиндрических поверхностей с системой канавок, полученных вибронакатыванием, был проведен в работе [1]. Однако уравнения, полученные в этой работе практически можно использовать только для расчета площади канавок. Относительная опорная площадь поверхностей, имеющих систему канавок после вибронакатывания, будет определяться следующей зависимостью (рис.2):

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2,$$

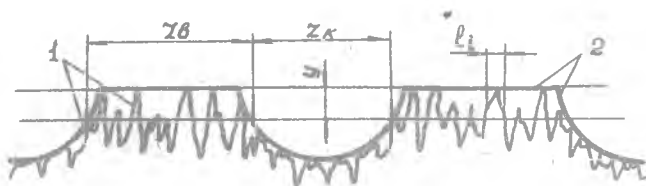
(I)



Р и с.1. Рельефы, образующиеся при вибронакатывании

где  $\varphi_2$  - относительная площадь канавок, определяемая по формулам работы [1];  $\varphi_1$  - относительная опорная площадь исходной поверхности [2].

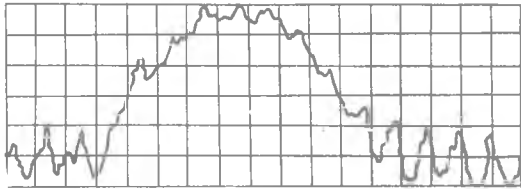
$$\varphi_1 = 0,5 \left( \frac{y}{R_{\rho \text{ усx}}} \right)^{\left( \frac{R_{\rho \text{ усx}}}{R_{a \text{ усx}}} - 1,0 \right)} \quad (2)$$



Р и с.2. Исходная схема для определения опорной площади поверхности после нанесения вибронакатыванием системы канавок: 1 - действительный профиль поверхности; 2 - профиль поверхности, рассматриваемый в работе [2] при получении аналитических зависимостей

$R_{\text{ср.сх}}$  и  $R_{\text{р.сх}}$  - среднее арифметическое отклонение профиля и высота сглаживания исходной шероховатости;  $U$  - расстояние от линии выступов до рассматриваемого уровня.

Для определения относительной опорной площади вибронакатанных поверхностей с новым микрорельефом воспользуемся теоретическими зависимостями, полученными в работе [3]. Результаты этой работы показывают, что микронеровности поверхности при контактировании, достигнув своего пластического насыщения, как бы замораживаются, и дальнейшее увеличение нагрузки приводит к распространению пластической деформации на основной металл. Хорошим экспериментальным подтверждением этого вывода является профилограмма, снятая с участка поверхности после вдавливания в нее шара (рис.3).



Р и с.3. Профилограмма, снятая с участка поверхности после вдавливания в нее шарика  
( $v_y = 2000$ ;  $r_y = 80$ )

На основании этого вывода можно составить исходную схему для расчета относительной опорной площади вибронакатанных поверхностей (рис.4). Согласно этой схеме относительная опорная площадь поверхности после вибронакатывания определяется по произведению относи-



Р и с.4. Исходная схема для расчета относительной опорной площади после виброобкатывания: 1 - профиль, обусловленный режимами виброобкатывания; 2 - профиль, определяемый пластическими деформациями исходной шероховатости

тельной опорной площади пластически сформированной исходной шероховатости -  $\varphi_1$ , на относительную опорную площадь шероховатости, обусловленной режимами вибронакатывания -  $\varphi_2$ , т.е.

$$\varphi = \varphi_1 \varphi_2 \quad (5)$$

Так как с целью упрочнения поверхности вибронакатывание обычно производится при больших удельных нагрузках, то  $\varphi_1$  будет определяться зависимостью [2]

$$\varphi_1 = 1 - 0,5 \left[ \frac{6R_{a\text{исх}} - (y_{пл} + y)}{6R_{a\text{исх}} - R_{p\text{исх}}} \right]^{(5 - \frac{R_{p\text{исх}}}{R_{a\text{исх}}})} \quad (4)$$

где  $y_{пл}$  - величина пластической деформации исходной шероховатости.

В этих условиях микронеровности исходной поверхности, достигнув своего пластического насыщения, способны воспринимать нагрузку как сплошной металл, поэтому величину пластической деформации -  $y_{пл}$  можно определять по формуле, описанной в работе [3],

$$y_{пл} = \frac{1,5P}{2\pi RC''\sigma_r} \quad (5)$$

где  $P$  - рабочая нагрузка на шар;  $R$  - радиус шара;  $\sigma_r$  - предел текучести обрабатываемого материала;  $C''$  - коэффициент стеснения исходной шероховатости [3]

$$C'' = 4,78 \frac{H_{\mu\text{пов}}}{H_{\mu\text{исх}}} \quad (6)$$

$H_{\mu\text{пов}}$  и  $H_{\mu\text{исх}}$  - поверхностная и исходная микротвердость обрабатываемой детали.

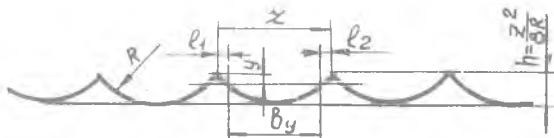
Величина  $\varphi_2$  определяется по геометрическому построению (рис.5)

$$\varphi_2 = \frac{l_1 + l_2}{L} \quad (7)$$

где  $L$  - расстояние между выступами шероховатости, обусловленной режимами вибронакатывания,

$$L = \frac{S_{пр}}{2f} \quad (8)$$

$S_{пр}$  - продольная подача, мм/мин;  $f$  - частота колебаний виброголовки, мин;  $(l_1 + l_2)$  - количество металла на расстоянии  $x$  от линии выступов для данного профиля (см.рис.5).



Р и с.5. Схема для определения относительной опорной площади шероховатости  $\varphi_2$

$$l_1 + l_2 = \frac{S}{2f} - \sqrt{\frac{S^2}{4f^2} + 8R} \quad (9)$$

Подставляя уравнения (8) и (9) в выражение (7), получим

$$\eta_2 = 1 - \frac{\sqrt{S^2 - 32f^2RY}}{S} \quad (10)$$

Итак, величина относительной опорной площади вибронакатанных поверхностей определяется следующей формулой

$$\eta_2 = \left\{ 1 - 0,5 \left[ \frac{6R_{a\text{всх}} - (y_{\text{нн}} + y)}{6R_{a\text{всх}} - R_{p\text{всх}}} \right]^{(S - \frac{R_{a\text{всх}}}{R_{p\text{всх}}})} \right\} \left( 1 - \frac{\sqrt{S^2 - 32f^2RY}}{S} \right) \quad (11)$$

Анализ полученных уравнений показывает, что наряду с режимами виброобкатывания значительное влияние на формирование опорной площади поверхности оказывает исходная шероховатость ( $R_{a\text{всх}}$ ,  $R_{p\text{всх}}$ ) и ее физико-механические свойства ( $H_{\text{клов}}$ ,  $\sigma_T$ ). Это указывает на то, что технологическое управление эксплуатационными свойствами деталей машин при их вибронакатывании можно осуществлять не только за счет варьирования режимов окончательной обработки, но и за счет изменения качества исходной поверхности.

Экспериментальная проверка полученных зависимостей дала удовлетворительные результаты.

### Л и т е р а т у р а

1. Шнейдер Ю.Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства. М., "Машиностроение", 1972.
2. Рыжов Э.В., Суслов А.Г. К вопросу определения опорных площадей. В сб.: Технология машиностроения. Брянск, 1973.
3. Рыжов Э.В., Суслов А.Г. К вопросу теоретического определения сближения контактирующих поверхностей. Материалы научно-технического семинара: Контактная жесткость в машиностроении и приборостроении. Севастополь, 1973.

Ф.П. Урывский, Е.М. Маркушин, Г.П. Баладин

### ВИБРАЦИИ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ШЛИФОВАНИИ И ВОЛНИСТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Одним из показателей искажения профиля изделия является волнистость обработанной поверхности  $[1]$ ,  $[2]$ . Наибольшее влияние на