

2. Влияние термической обработки на глубину обезуглероженного слоя в ускоренно охлажденной катанке класса ВК / А.И. Сивак, В.В. Парусов, В.Н. Прокофьев и др. // Термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1980. № 9. С. 98 – 99.

3. Повышение стойкости волоочильного инструмента / В.П. Фетисов, В.С. Старченко, Н.П. Черненко и др. // М: Ин-т «Черметинформация». Обзорная информация. Сер. 9. Метизное производство. 1976. Вып. 3. 19 с.

4. *Кайстров Е.А.* Борьба с обезуглероживанием в прокатных цехах // Сталь. 1950. № 12. С. 1106 – 1108.

5. Влияние параметров нагрева на обезуглероживание поверхности катанки / И.В. Котов, В.В. Филиппов, Н.В. Воронов и др. // Сталь. 2002. № 10. С. 65 – 69.

6. Оптимизация структуры углеродистой катанки при двухстадийном охлаждении / В.В. Парусов, В.А. Луценко, В.А. Тищенко и др. // Сталь. 2003. № 4. С. 62 – 64.

7. Глубина обезуглероженного слоя на углеродистой катанке различных заводов-изготовителей / В.В. Парусов, В.А. Луценко, А.Б. Сычков и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск, 2003. № 5. С. 61 – 64.

УДК 621.983.4

**И.М. ШИМАНОВИЧ**, канд. техн. наук,  
**О.А. ШИМАНОВИЧ** (БНТУ)

## **ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКЕ С УТОНЕНИЕМ**

В случае получения тонких трубчатых оболочек возрастает влияние поверхностного слоя металла, который обладает повышенным сопротивлением пластической деформации и подвержен большому влиянию микронеровностей поверхности. При ротационной вытяжке с утонением шариковыми матрицами планетарного типа (у которых в качестве деформирующего инструмента используются заключенные в обойму шары) существующее представление о микропрофиле как о следе рабочего движения инструмента является далеко не точным. Это обусловливается искажениями, вызываемыми пластическим течением металла в месте контакта инструмента (шаров) с деталью. Дело в том, что пластическое течение происходит как в направлении подачи инструмента, так и в противоположном направлении, вызывая при этом искажение ранее образованного микрорельефа. При этом образуется вторичный микропрофиль, который и характеризует обработанную поверхность [1].

Для расчета высоты микронеровностей поверхности, получаемой после ротационной вытяжки с утонением шариковыми матрицами планетарного типа, рекомендуется ряд формул [2]. Однако они являются далеко не точными, поскольку не учитывают упругой деформации, которая оказывает значительное влияние на шероховатость поверхности, особенно при ротационной вытяжке тонкостенных оболочек.

С целью оптимизации параметров процесса ротационной вытяжки с утонением было проведено теоретическое изучение формирования шероховатости получаемой поверхности и уточнена зависимость для нахождения высоты микронеровностей [3]:

$$R_z = \frac{f^2}{8n^2(R_{ш} + 0,8255\sqrt[3]{\eta P / R_{ш}})} K_e K_v K_Y, \quad (1)$$

где  $f$  – величина осевой подачи одного шара на оборот оправки;  $n$  – коэффициент утонения при ротационной вытяжке, равный отношению исходной и конечной толщины стенки детали;  $R_{ш}$  – радиус деформирующих шаров;

$\eta$  – упругая постоянная соприкасающихся тел:  $\eta = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}$ ;

$\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона для материала деформирующего шара и оболочка;  $E_1, E_2$  – модули упругости первого рода для материала шара и оболочка;  $P$  – усилие деформирования;  $K_e$  – коэффициент, зависящий от пластических свойств металла и учитывающий изменение механических свойств от суммарной степени деформации:  $K_e = 2,0 \dots 2,8$ ;  $K_v$  – коэффициент, учитывающий отношение скорости ротационной вытяжки к скорости подачи заготовки:  $K_v = 1,5 \dots 2,0$ ;  $K_Y$  – коэффициент, учитывающий технологические условия процесса:  $K_Y = K_1 K_2 K_3 K_4$ ;  $K_1$  – коэффициент, зависящий от исходной поверхности заготовки:  $K_1 = 1,0 \dots 1,5$ ;  $K_2$  – коэффициент, зависящий от анизотропии механических свойств металла:  $K_2 = 1 \dots 1,4$ ;  $K_3$  – коэффициент, зависящий от разброса размеров шаров, соосности оправки, смазки:  $K_3 = 1,0 \dots 1,5$ ;  $K_4$  – коэффициент, зависящий от суммарного зазора между шарами и от возможности их проскальзывания:  $K_4 = 1,0 \dots 1,4$ .

Шероховатость оболочек экспериментально изучалась на профилографе-профилометре типа А1 модели 252 с вертикальным увеличением  $10 \times 100$  и длиной трассы ошупывания 1,5 мм. При этом исследовались образцы, полученные с различными степенями деформации ( $\epsilon = 10 \dots 70\%$ ), скоростями вращения оправки ( $v = 0,098 \dots 0,733$  м/с) и подачами одного шара на ее оборот ( $f_1 = 0,00588 \dots 0,04$  мм/шар). Ротационная вытяжка велась с помощью шариковой матрицы, установленной на суппорте токарно-винторезного станка.

Полученные данные (рис. 1, 2) свидетельствуют о существовании для каждого материала определенных степеней деформации за проход (в пределах 25...50%), при которых достигается минимальная шероховатость получаемой поверхности. При сравнении полученных параметров шероховатости с расчетными установлено (рис. 3), что наибольшая сходимость экспериментальных и расчетных значений параметра  $R_a$  достигается в интервале деформаций  $\epsilon = 30 \dots 40\%$ . При дальнейшем росте обжатий точность расчетных значений резко падает.

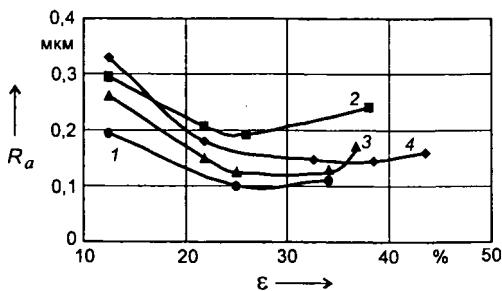


Рис. 1. Зависимость шероховатости поверхности оболочек от степени деформации за проход:

1 – для латуни Л63; 2 – для меди М1; 3 – для стали Ст3; 4 – для алюминиевого сплава Д16;  $S_0 = 0,8$  мм;  $f = 0,01143$  мм/шар;  $v = 0,098$  м/с;  $R_{ш} = 4$  мм;  $R_0 = 7$  мм;  $m = 7$

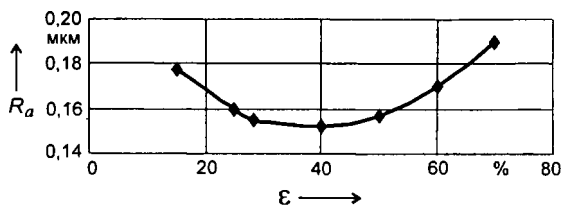


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности оболочек из сплава 36НХТЮ от степени деформации за проход ( $S_0 = 0,35$  мм;  $f = 0,00588$  мм/шар;  $v = 0,733$  м/с;  $R_{ш} = 2$  мм;  $R_0 = 9,65$  мм;  $m = 17$ )

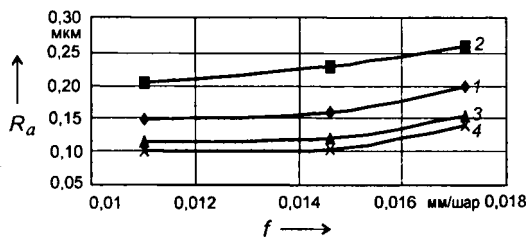
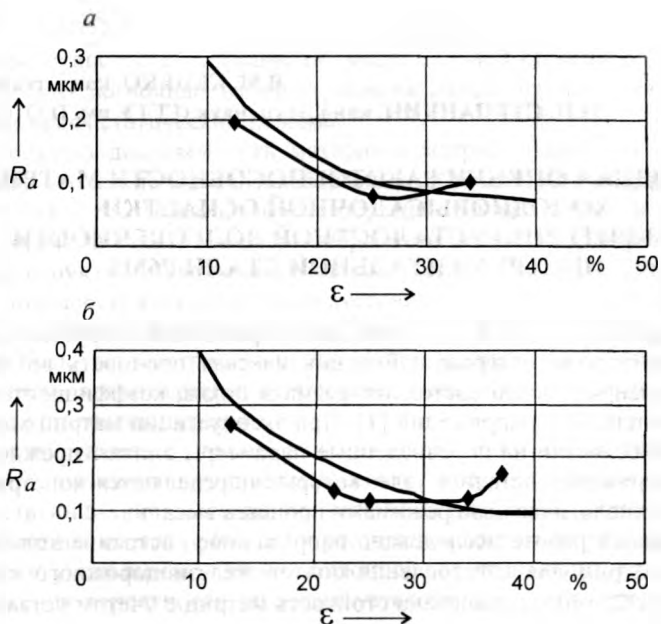


Рис. 3. Зависимость шероховатости поверхности оболочек от подачи шара на оборот оправки:

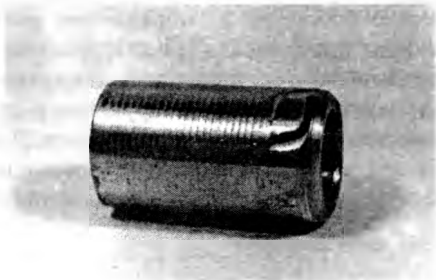
1 – для стали Ст3 ( $\epsilon = 32,5\%$ ); 2 – для меди М1 ( $\epsilon = 21,875\%$ ); 3 – для алюминиевого сплава Д16 ( $\epsilon = 32,65\%$ ); 4 – для латуни Л63 ( $\epsilon = 36,25\%$ );  $S_0 = 0,8$  мм;  $v = 0,098$  м/с;  $R_{ш} = 4$  мм;  $R_0 = 7$  мм;  $m = 7$

Существенное влияние на качество поверхности оказывает величина подачи деформирующих шаров на оборот оправки (рис. 4). В этом случае шероховатость поверхности увеличивается с ростом подачи инструмента, причем при определенных значениях последней на поверхности заготовок появляется ясно различимый след деформирующих шаров (рис. 5). Такие заготовки в дальнейшем не могут использоваться без дополнительной механической обработки.



**Рис. 4.** Расчетные и экспериментальные ( $S_0 = 0,8$  мм;  $f = 0,01143$  мм/шар;  $v = 0,098$  м/с;  $R_{ш} = 4$  мм;  $R_0 = 7$  мм;  $m = 7$ ) зависимости шероховатости поверхности оболочек из латуни Л63 (а) и сплава Д16 (б) от степени деформации за проход

**Рис. 5.** Трубка из латуни Л63 со следами деформирующих шаров, полученная ротационной вытяжкой ( $S_0 = 0,8$  мм;  $f = 0,143$  мм/шар;  $v = 0,098$  м/с;  $R_{ш} = 4$  мм;  $R_0 = 7$  мм;  $m = 7$ ;  $\epsilon = 47,5\%$ )



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Патиев Д.Д.* Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным деформированием. М.: Машиностроение, 1978. 152 с.
2. *Королев В.Н.* Листовая штамповка молибдена и его сплавов в приборостроении. М.: Машиностроение, 1977. 150 с.
3. *Добровольский И.Г., Степаненко А.В., Шиманович И.М.* Шероховатость поверхности при ротационной вытяжке // *Металлургия*. 1985. Вып. 19. С. 6 – 8.