

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ

ЕРЕМИН А. Н.

Кандидат технических наук

Микрогеометрия профиля обработанной поверхности (рис. 2) характеризуется различными элементами. Основными из них являются: наибольшая высота неровностей  $H$ , их средняя величина  $h_m$ , средняя высота впадин  $h$  и опорная поверхность неровностей  $F_i$ , измеренная по линии среза гребешков на произвольной высоте  $h_i$  от основания профиля  $cd$ . Во всех экспериментальных и теоретических исследованиях, проведенных в области чистовой обточка, качество обработанной поверхности обычно определялось по наибольшей высоте неровностей  $H$ . Установлен ряд зависимостей, выражающих взаимосвязь между  $H$  и различными факторами процесса резания. Менее выясненным до сих пор является вопрос о влиянии режима резания (скорости резания— $v$ , подачи— $S$ , глубины резания  $t$ ) на элементы профиля поверхности:  $h_m$ ,  $h$  и  $F$ .

Средняя высота неровностей  $h_m$  (или впадин  $h$ ) интересна тем, что по ее величине можно судить, насколько микрогеометрия профиля данной поверхности обеспечивает надежность посадки в неподвижных сопряжениях.

По опытам Шмальца [1] установлено, что при запрессовке изделий в зоне шероховатостей поверхности происходит пластическая деформация (смятие) наибольших неровностей и равномерное распределение материала последних по высоте  $h_m$ . Снижение микрогеометрического слоя поверхности на высоту  $H - h_m = h$  приводит к уменьшению расчетной величины натяга, а следовательно, и к ослаблению надежности данной посадки. Чем меньше  $h_m$ , тем больше  $h$ , тем сильнее это ослабление, и наоборот.

Величина опорной поверхности неровностей профиля  $F$  (рис. 2) характеризует качество обработанной поверхности главным образом с точки зрения пригодности ее для подвижных посадок. Чем меньше величина  $F$ , тем больше первоначальный износ поверхности, тем быстрее наступает нарушение необходимой величины зазора во время эксплуатации сопряжения.

Следовательно, для точности расчета посадок (подвижных и плотных) нужно знать не только высоту неровностей  $H$ , но и величины других элементов профиля поверхности:  $h_m$ ,  $h$ ,  $F$  и т. д.

В предлагаемой работе автор предусматривал:

1. Определение зависимости:

$$h_m \text{ и } h = f_1(v, S, t),$$

$$h_m \text{ и } h = f_2(H),$$

$$F_m = f_3(v, S, t),$$

где  $F_m$  — опорная поверхность гребешков профиля по линии среза на высоте  $h_m$  (рис. 2):

2. Установить, насколько элементы профиля  $h_m$ ,  $h$ ,  $F_m$  могут быть объективными показателями качества обработанной поверхности.

Поводом к этому послужили работы Шмальца [2], Бермана [3] и др., в которых авторы рекомендовали брать  $h_m$ ,  $h$  и  $F_m$ , как составные части коэффициентов, предлагаемых ими для оценки качества поверхности. Например, по Шмальцу, коэффициент качества (коэффициент заполнения):

$$K = \frac{h_m}{H}$$

По Берману:

$$K = \frac{F_m}{h} \text{ ‰/микрон}$$

Здесь:  $F_m$  — выражена в ‰ от  $l$  (рис. 1),

$h$  — средняя высота впадин в микронах.

В основу настоящего исследования были положены данные опытов, проведенных автором по чистовой обточке стали 5120 резцами с постоянной геометрией ( $\delta = 70^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 10^\circ$ ;  $r = 1,5 \text{ мм}$ ;  $\alpha = 8^\circ$ ), без применения поливки. Использовано свыше 400 профилограмм поверхностей, полученных при разных режимах резания.

В каждой профилограмме определялась величина  $h_m$ , как частное от деления общей площади неровностей профиля  $f$  на длину профилограм-

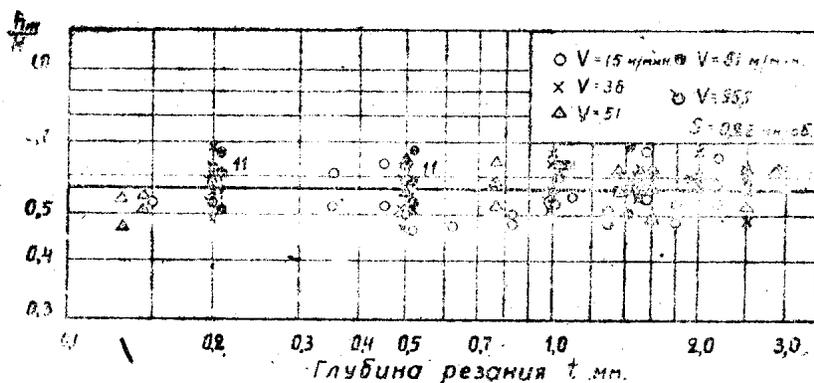


Рис. 36

мы  $l$ . Площадь  $f$ , обозначенная штриховкой на рис. 2, определялась во всех случаях планиметрированием.

Величина опорной поверхности гребешков  $F_m$ , по линии среза на средней высоте  $h_m$  находилась в ‰ от  $l$ .

На рис. 2 линейная величина  $F_m$  равна сумме отрезков 1—1', 2—2', 3—3' и т. д.

Для определения зависимости величины  $h_m$  (или  $h$ ) от факторов режима резания  $v$ ,  $S$  и  $t$  было использовано 410 профилограмм. Исследование проведено по трем вариантам. По первому варианту определялась зависимость  $h_m = f(t)$ . Результат исследования представлен на рис. 36

в координатах  $\frac{h_m}{H}$  и  $t$ . Прямая, проведенная по точкам, соответствует усредненному значению

$$\frac{h_m}{H} \approx 0,57 = \text{const.}$$

откуда

$$h_m \approx 0,57 H.$$

Из рис. 36 видно, что независимо от изменения  $t$  в пределах от 0,1 до 3 мм отношение  $\frac{h_m}{H}$  остается постоянным, даже при разных  $v$ . Наблюдаемые, на всем диапазоне  $t$ , колебания значений  $\frac{h_m}{H}$  от 0,46 до 0,68

составляет по отношению к усредненной величине 0,57 примерно  $\pm 19\%$ .

При построении рис. 36 вошли опытные данные для  $v = 15; 36; 51; 61$  и  $95$  м/мин, при  $S = 0,22$  мм/об. Поэтому для отдельного учета влияния  $v$  на величину  $h_m$  был проведен второй вариант исследования зависимости  $h_m = f(v)$  при той же подаче  $S = 0,22$  мм/об. и  $t_1 = 1 \div 1,1$  мм.

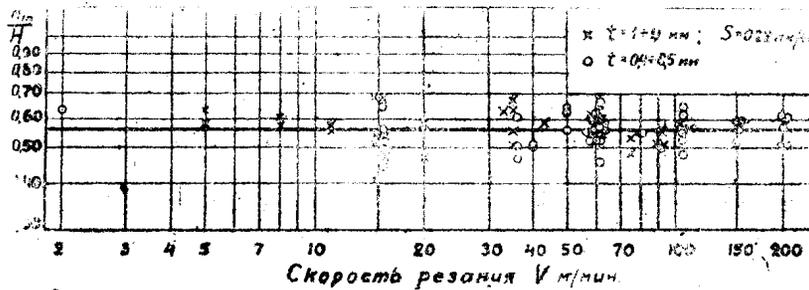


Рис. 37

$t_2 = 0,4 \div 0,5$  мм (рис. 37). Здесь, как и в предыдущем случае, расположение точек на всем диапазоне  $v$  от 2 до 200 м/мин позволяет провести прямую усредненных значений  $\frac{h_m}{H} \approx 0,57$ . Наибольшее рассеивание точек (исключая 2 нижние точки) укладывается в пределах от 0,46 до

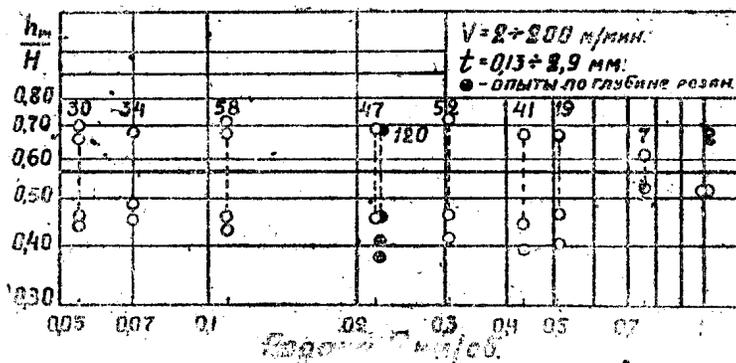


Рис. 38

0,68, что составляет к средней величине  $\frac{h_m}{H} \approx 0,57$  приблизительно  $\pm 19\%$ .

Вывод из анализа диаграмм рис. 36 и 37.

Независимо от изменения  $v$  от 2 до 200 м/мин и  $t$  в пределах от 0,1 до 3 мм, среднее значение  $\frac{h_m}{H} \approx 0,57$  остается постоянной величиной (при  $S = \text{const}$ ). Следовательно, средняя высота неровностей

$$h_m \approx 0,57 H,$$

с колебанием  $\pm$  на 19% от этой величины, не является функцией  $v$  и  $t$ .

На основании этого, при определении (по 3-му варианту) зависимости  $h_m = f(S)$  были использованы все имеющиеся экспериментальные данные, кро-

ме опытов с подачей  $S=0,011$  мм/об. На рис. 38, в координатах  $\frac{h_m}{H}$  и  $S$ , точками обозначены отдельные замеры  $\frac{h_m}{H}$ , цифрами отмечено общее количество замеров, сосредоточенное в данном месте при определенной подаче. Симметричное расположение границ полей рассеивания точек, для каждого значения  $S$ , позволяет провести прямую усредненного значения  $\frac{h_m}{H} \approx 0,57 = \text{const}$ . Из диаграммы рис. 38, включающей в себя данные опытов с широким изменением режима резания ( $v = 2 \div 200$  м/мин,  $t = 0,1-3$  мм,  $S = 0,055-1,0$  мм/об) видно, что пределы рассеивания значений  $\frac{h_m}{H}$  ограничиваются величинами:

верхнее значение — 0,68 — 0,69, нижнее — 0,45 — 0,46.

Следовательно, отклонение от среднего значения  $\frac{h_m}{H} \approx 0,57$  равно  $\pm 0,11 \div 0,12$ , что в процентах составляет  $\approx 19 \div 21\%$ .

Как показывают результаты проведенного исследования по всем трем вариантам, среднее значение и пределы рассеивания величины  $\frac{h_m}{H}$  не зависят от режима резания, т. е. от  $v$ ,  $S$  и  $t$ .

Это обстоятельство позволяет предполагать, что при заданном обрабатываемом материале (сталь 5120) и определенной геометрии резца ( $\delta = 70^\circ$ ,  $\varphi_1 = 10^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ,  $r = 1,5$  мм) наблюдаемое явление рассеивания величины  $\frac{h_m}{H}$  зависит только от случайных факторов процесса резания, например, от ошибок в геометрии резца в плане ( $r$ ,  $\varphi_1$ ) при заточке и установке ( $\varphi_1$ ) и т. д.

Вопрос о том, по какому закону располагаются величины  $\frac{h_m}{H}$  в пределах поля рассеивания, имеет практическое значение. Зная этот закон, можно заранее предвидеть, чему будет равна наиболее вероятная величина  $\frac{h_m}{H}$  и  $h_m$  в каждом частном случае обработки.

Если отклонения  $\frac{h_m}{H}$  есть результат влияния случайных ошибок, то на основании теории вероятности можно предполагать, что распределение значений  $\frac{h_m}{H}$  в поле рассеивания будет происходить по закону кривой нормального распределения, называемой кривой Гаусса.

Уравнение кривой Гаусса можно представить в данном случае в следующем виде:

$$y = \frac{N}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

где  $\pi = 3,1416$ ,

$e = 2,71828$ —основание системы натуральных логарифмов.

$N$ —совокупность всех опытных данных  $\frac{h_m}{H}$ .

Здесь  $N = 410$ .



В нормальной кривой распределения наибольшую частоту появления  $y_{max}$  имеет среднее значение  $x = M = 0,565$ .

Обозначим в урнии (1) кривой Гаусса

$$\frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} = A; \quad e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}} = e^{-a}$$

Тогда:

$$y = A \cdot e^{-a} \quad (2)$$

При  $X = M = 0,565$  и  $\sigma = \pm 0,061$  из ур-ния (2) имеем:

$$y_{max} = 26,8.$$

Координаты точек кривой Гаусса, при различных пределах ограничения ее по оси  $x$ , приведены на рис. 39 (таблица). Из рис. 39 видно, что кривая действительного распределения экспериментальных значений  $\frac{h_m}{H}$  (пунктирная) почти точно совмещается с теоретической кривой Гаусса нормального распределения (сплошная). Из этого вытекают следующие выводы:

1. Среднее значение  $\frac{h_m}{H} = 0,565$  не зависит от пределов изменения составляющих режима резания, т. е. от  $v$ ,  $S$ ,  $t$  и подчиняется закону случайных ошибок. Это заключение полностью подтверждает вышеизложенное по рис. 36, 37, 38.

2. При заданном обрабатываемом материале и геометрии резца действительная величина  $\frac{h_m}{H}$  может изменяться в пределах:

$$\text{для } 68,5\% \text{ из } N \text{ значений } \frac{h_m}{H}; \quad \frac{h_m}{H} = 0,565 \pm 0,061 \quad (3a)$$

$$\text{„ } 27,0\% \text{ „ „ „ „ ; „ } = 0,565 \pm 0,122 \quad (3b)$$

$$\text{„ } 4,24\% \text{ „ „ „ „ ; „ } = 0,565 \pm 0,183 \quad (3в)$$

Практическое значение имеет зависимость (3a), так как удовлетворяет 68,5% случаев от общего количества  $N = 100\%$  значений  $\frac{h_m}{H}$ .

Следовательно, наиболее вероятная величина средней высоты неровностей действительного профиля поверхности

$$h_m = (0,565 \pm 0,061) H,$$

или

$$h_m = (0,89 \div 1,11) 0,565 H. \quad (4)$$

При той же геометрии резца в плане, в пределах  $S \leq 1 \text{ мм/об}$ , средняя высота неровностей теоретического профиля поверхности (рис. 30)

$$h_m \approx 0,30 H, \quad (5)$$

т. е. меньше действительной в среднем на 47%.

По общему виду зависимости (4) и (5) аналогичны.

Из геометрии профиля поверхности (рис. 2)

$$H = h_m + h,$$

откуда средняя высота впадин

$$h = \left( 1 - \frac{h_m}{H} \right) H.$$

Это показывает, что действительная величина  $h$  подчиняется тому же закону рассеивания, что и  $h_m$  и численно равна:

$$h = (0,89 \div 1,1) 0,435 H. \quad (6)$$

Методика исследования влияния режима резания на величину опорной поверхности гребешков  $F_m$  по высоте  $h_m$  (рис. 2) аналогична с определением зависимости  $h_m = f(v, s, t)$ . Результаты исследования представлены на диаграммах рис. 40 - 43.

На рис. 40 показана зависимость  $F_m$  от глубины резания  $t$  и от длины обработанной поверхности  $L$ , при  $S = 0,22$  мм/об и  $v = 61$  м/мин. Харак-

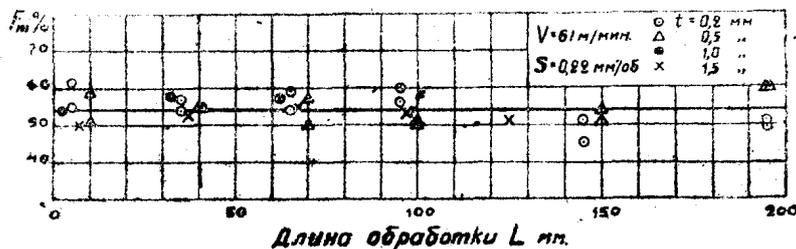


Рис. 40

тер расположения большинства точек позволяет провести линию  $F = \text{const}$  по средней величина  $F_m = 54\%$ . Рассеивание опытных данных не превышает  $\pm 10\%$  от среднего значения 54.

На рис. 41 указана зависимость  $F_m = f(t)$  из опытов по глубине резания, проведенных при  $S = 0,22$  мм/об, но для 5-ти различных значений  $v$ . Здесь так же, как и в предыдущем случае, можно провести усредняющую линию  $F_m = 54\% = \text{const}$ . Все точки, за исключением опытов при  $v = 14,7$  м/мин, расположились равномерно относительно прямой  $F_m = \text{const}$ .

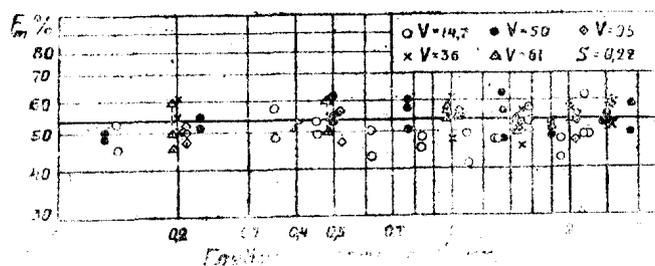


Рис. 41

Это дает основание предполагать, что на среднюю величину  $F_m$  не оказывает влияния не только изменение  $t$  от 0,1 до 3 мм, но и изменение  $v$  в 6,5 раз (от 15 до 95 м/мин).

Для доказательства того, что скорость резания действительно не влияет на величину  $F_m$ , на рис. 42 приведены данные опытов для  $v$  от 2 до 200 м/мин при  $S = 0,22$  мм/об и  $t = 1 \div 1,1$  и  $0,4 \div 0,5$  мм. Из рис. 42 видно, что на всем диапазоне  $v$  среднее значение  $F_m = \text{const}$ .

Это обстоятельство позволило автору при определении зависимости  $F_m = f(S)$  использовать все экспериментальные данные, полученные при переменных значениях  $v$  и  $t$ .

Результат исследования представлен на рис. 43 в координатах  $F_m$  и  $S$ . Черные точки обозначают средние значения замеров  $F_m$ , сосредоточенных в интервалах между точками, соединенными пунктиром (без учета отдельных точек) при определенных  $S$ . Цифрами отмечено общее число замеров, сконцентрированное в данном месте. Расположение точек

позволяет провести прямую усредненных значений  $F_m$  с наклоном к оси  $S$  под углом  $\alpha$ .

Если не принимать во внимание отклонения отдельных замеров, то пределы рассеивания последних можно ограничить пунктирными линиями,

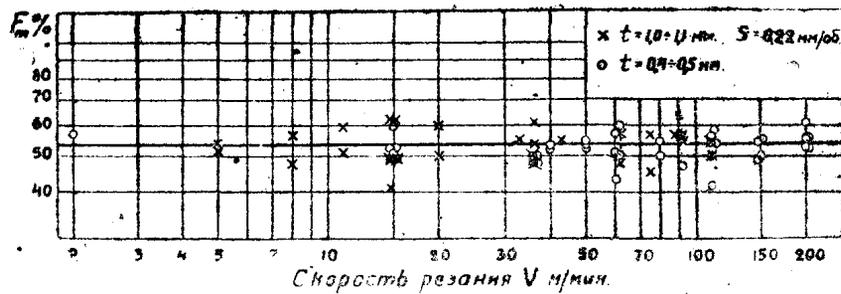


Рис. 42

указывающими среднее отклонение от усредненной  $F_m$  порядка  $\pm 13 \div 14\%$ .

Уравнение прямой  $F_m = f(S)$  на рис. 43

$$F_m = 49 \cdot S^{-0,065} \% \quad (7)$$

где

$$F_m \text{ — в } \%; \quad S \text{ — мм/об}$$

При

$$S = 1; \quad F_m = 49\%$$

Наклон линии  $F_m = f(s)$  подтверждается данными и частных опытов, приведенных для примера на рис. 44 для нескольких значений  $v$ .

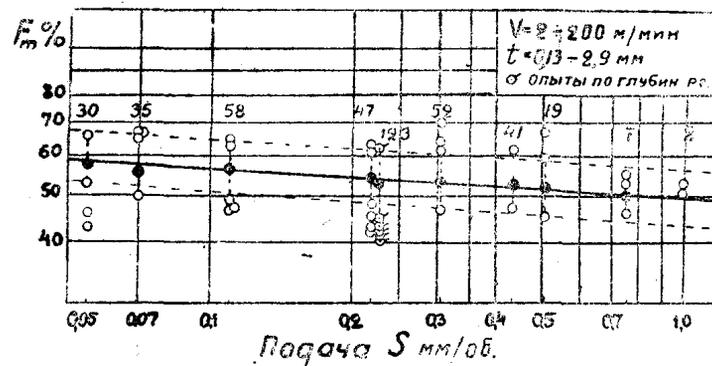


Рис. 43

По Берману [3] величина  $F_m$  входит составляющей в коэффициент качества поверхности:

$$K = \frac{F_m}{h} \quad \% / \text{микроны} \quad (a)$$

В результате математического преобразования Берман дает значение  $K$  в виде:

$$K = 100 \left( \frac{1}{h} - \frac{1}{H} \right)$$

или

$$K = 100 \left( \frac{H-h}{hH} \right), \quad (8)$$

где  $h$  — средняя высота впадин (рис. 2). Из уравнения (a) и (8) можно написать равенство

$$\frac{F_m}{h} = 100 \left( \frac{H-h}{hH} \right). \quad (6)$$

Чтобы убедиться, насколько это равенство соответствует действительности, делаем следующее преобразование. Подставляем в равенство (6) вместо  $F_m$  и  $h$  их средние значения из ур-ний (7) и (6), имеем:

$$\frac{112,5}{HS^{0,065}} = \frac{130}{H}$$

Отсюда следует, что данное равенство может удовлетворять только одному частному случаю, когда

$$S^{0,065} = 0,943, \text{ т. е. при } S = 2,51 \text{ мм/об.}$$

Для других значений  $S \geq 2,51$  равенство нарушается. Это доказывает, что принятое Берманом выражение коэффициента  $K$  по уравнению (8)

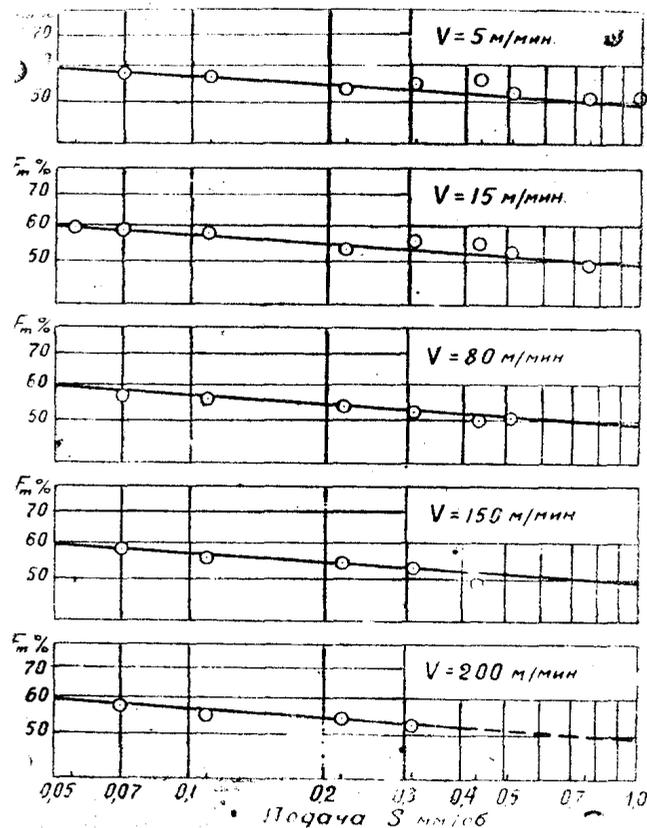


Рис. 44

соответствует значению  $K$  по уравнению (а) только в одном случае, а потому не может иметь практического применения.

В действительности по уравнениям (а), (6) и (7)

$$K = \frac{112,5}{HS^{0,065}} \text{ \% микрон} \quad (9)$$

### Заключение

1. Независимо от изменения факторов режима резания в широких пределах (при данном профиле резца) средняя величина отношения  $\frac{h_m}{H} = 0,565 = \text{const.}$

2. Отношение  $\frac{h_m}{H}$  может изменяться в пределах от 0,38 до 0,75 по закону кривой Гаусса (рис. 39) и благодаря этому  $\frac{h_m}{H}$  не может служить

критерием оценки качества поверхности при данном способе обработки.

3. Площадь опорной поверхности неровностей  $F_m$ , по средней высоте  $h_m$  (рис. 2) не зависит от изменения глубины и скорости резания. Величина  $F_m$  изменяется с изменением подачи. Чем больше  $S$ , тем меньше  $F_m$  (уравнение 7).

4. Показатель качества поверхности по Берману (ур-ние 8) не соответствует действительности (ур-ние 9), а потому не может иметь практического значения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шмальц Г. — Werkstattstechnik, № 1, 1936, s. 1.
2. Шмальц Г. — Werkstattstechnik, № 11, 1937, s. 256.
3. Берман С. Р. — Машиностроитель, № 7, 1938, стр. 9.