

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

ЕРЕМИН А. Н.

*Кандидат технических наук*

Зависимость качества обрабатываемой поверхности от факторов режима резания при чистовой обточке представляет существенный интерес для современного производства, так как отсутствие надежного экспериментального материала в этом вопросе нередко ставит производство перед значительными трудностями.

За последние годы лет было проведено большое количество работ по этому вопросу как в СССР, так и за границей, но все они отличаются крайней бессистемностью, нередко приводя к совершенно неверным и противоречивым выводам.

Учитывая потребность производства иметь вышеуказанную зависимость и принимая во внимание отсутствие необходимых данных для ее установления, автором настоящей работы были проведены (1940г.) экспериментальные исследования с целью:

1. Установить влияние скорости резания  $v$ , подачи  $S$  и глубины резания  $t$  на чистоту поверхности (характеризуемую величиной неровностей  $H$  в микронах) при обработке стали.
2. Дать графическое и аналитическое выражение зависимости

$$H_1 = f(v, S, t)$$

при изменении факторов режима резания в широких пределах.

3. Связать и объяснить закономерность изменения качества поверхности явлениями процесса образования стружки. За недостатком места здесь приводятся результаты исследования только по стали одной твердости.

### Условия и методика исследования

Обработка поверхностей проводилась на токарном станке Ижевского завода (типоразмер  $175 \times 1000$ , с индивидуальным приводом) с тонкой регулировкой чисел оборотов посредством вспомогательного реостата. Объектом исследования являлись образцы из хромистой стали 5120 с характеристикой:  $\sigma_B = 50,3 \text{ кг/мм}^2$ ;  $H_B = 137 - 14\epsilon$ ;  $R_B = 77 - 78$ ; (удлинение  $\delta_{10} = 27,5\%$  сжатие,  $\psi = 70\%$ ). Размер образцов: длина 200 мм, диаметр 100—120 мм. Резцы (размером  $10 \times 10 \times 45 \text{ мм}$ ) были изготовлены из быстрорежущей стали с постоянной геометрией: угол резания  $\delta = 70^\circ$ ; углы в плане:  $\varphi = 45^\circ$  и  $\varphi_1 = 10^\circ$ ; задний угол  $\alpha = 8^\circ$ ; радиус  $r = 1,5 \text{ мм}$ . Заточка и заправка резцов производилась на шлифовальном станке с последующей полировкой режущей кромки вручную. Для опыта резцы закреплялись в державку с установкой главного лезвия по горизонтали на высоте центров.

Составляющие режима резания изменились в следующих пределах:

Глубина резания . . . . .	$t = 0,13 \div 2,9$ мм; изменение в 22 раза
Скорость резания . . . . .	$v = 2 \div 200$ м/мин " 100 "
Подача . . . . .	$S = 0,011 \div 1,0$ мм/об " 91 "

Крайние значения  $v$  ограничивались кинематикой станка и размером диаметра образцов. При всех режимах обработка поверхностей велась без применения охлаждающе-смазывающих жидкостей. Были приняты все меры к тому, чтобы устранить вредное влияние дрожания (вибраций) на качество поверхности (размер болванки, жесткий резцедержатель, устранение люфтов в частях станка и т. д.).

Неровности  $H$  на испытуемых поверхностях измерялись в направлении

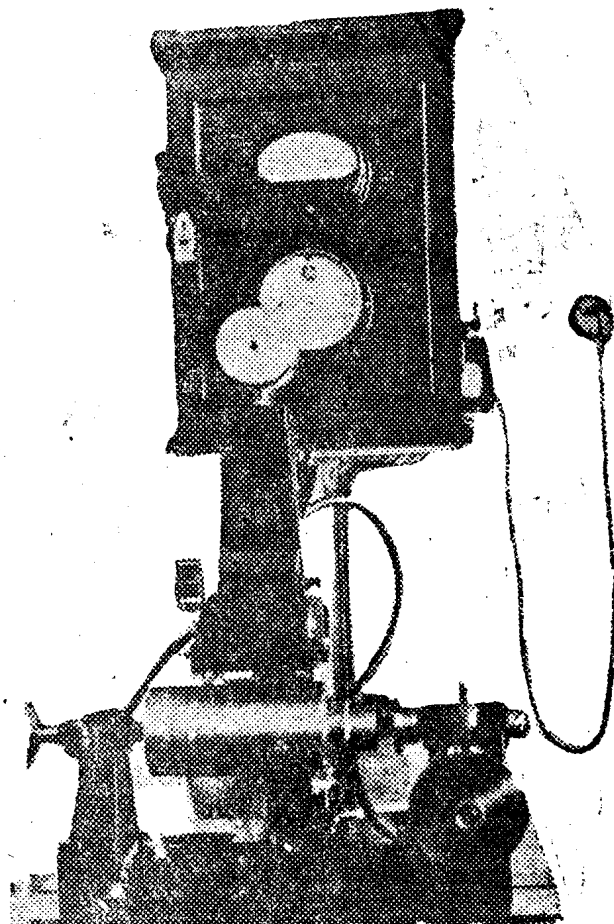


Рис. 1

движения подачи, методом прерывистого ошупывания, на профилографе конструкции автора (рис. 1). Прибор имеет следующие данные:

1. Точность измерения 0,5 микрона.
2. Увеличение: по вертикали от 550:1 до 2000:1; по горизонтали от 12,5:1 до 100:1.
3. Съемка профилограмм на пленку (автоматически и вручную).
4. Длина снимаемого участка—неограниченная.

С каждой поверхности снимались в разных участках 1—3 профилограммы. Результаты испытаний показали, что длина измеряемых участков должна выбираться в зависимости от подачи не более 5—10 мм. Всего было

исследовано больше 450 профилограмм с 230 различных поверхностей, обработанных с переменными режимами резания.

Из анализа профилограмм удалось установить, что почти в каждом случае на профиле поверхности имеются случайные выступы и впадины, которые, выступая над общим уровнем большинства неровностей, не характеризуют своей величиной качества данной поверхности. На рис. 2 показаны две профилограммы, полученные с разных участков одной и той же обработанной поверхности. Из рис. 2 видно, что по величине верхний профиль отличается от нижнего. Но, если сравнить оба профиля по микростроению и высоте большинства неровностей, то они мало чем различаются друг от друга, а потому могут быть признаны по качеству равноценными.

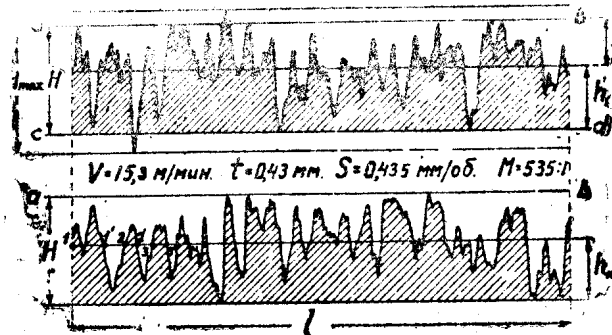


Рис. 2

Чтобы исключить влияние случайных выступов и шероховатостей на результаты измерения, был принят следующий метод обработки профилограмм.

Величина неровностей  $H$  (рис. 2) определялась расстоянием между параллельными линиями  $ab$  и  $cd$ , проведенными касательно к нескольким вершинам гребешков (линия  $ab$ ) и впадин (линия  $cd$ ) с таким расчетом, чтобы линия среза гребешков и впадин (случайно выступающих над уровнем большинства) составляла бы не более 2—3% от длины профилограммы  $l$ , принятой за 100%. Определяемые таким образом значения  $H$  получаются более сравнимыми друг с другом и приемлемыми для характеристики качества поверхностей.

### Результаты опытов

Влияние глубины резания. Были проведены три серии опытов. Первая—при постоянной  $v=61$  м/мин. и  $S=0,22$  мм/об. Для каждого значения  $t$  длина обработанной поверхности  $l=200$  мм. Цель опытов—

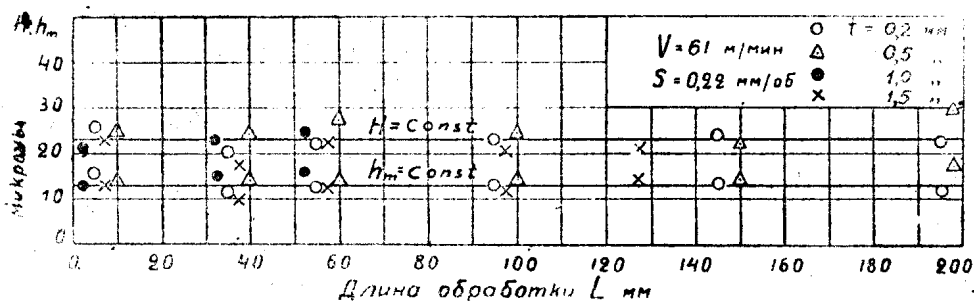


Рис. 3

проверить влияние на чистоту поверхности одновременно глубины резания и затупление резца в зависимости от длины прохода.

Результат измерения  $H$  по отдельным участкам по длине образца показан на рис. 3, откуда видно, что с изменением  $t$  в 7,5 раз (от 0,2 до 1,5 мм) качество поверхности остается без изменения. Равномерное рассеивание точек в пределах  $\pm 10\%$  относительно усредненной величины

$H = 22,5$  м свидетельствует, что притупление реза также незаметно. На основании этого во всех дальнейших исследованиях, длина обработки поверхностей принималась 20—30 мм.

Вторая серия опытов проведена при  $v = 15$  м/мин. с подачами  $S = 0,055; 0,11; 0,22; 0,31$  мм/об (рис. 4). Цель—проверить, насколько изменяется влияние  $t$  на величину  $H$  в зависимости от  $S$ .

Третья серия—при постоянной  $S = 0,22$  мм/об с изменением  $t$  в интервале от 0,13 до 2,9 мм проведена при трех значениях  $v = 36; 50$  и

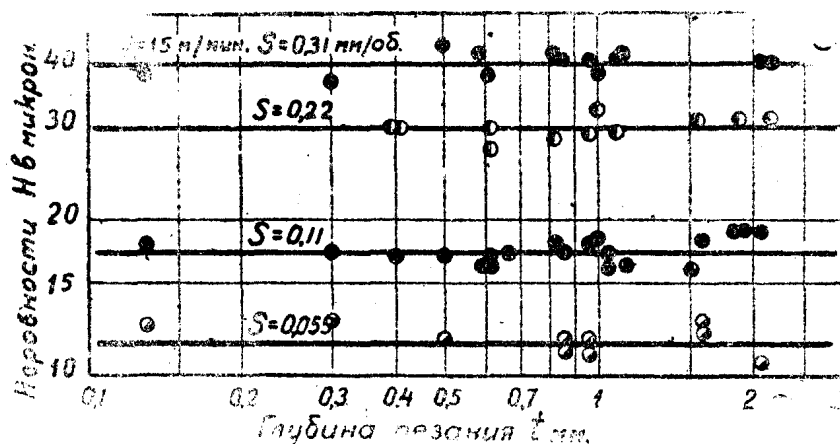


Рис. 4

95 м/мин. Здесь предусматривалось проследить, возможно ли изменение влияния  $t$  на  $H$  с увеличением  $v$ . Результаты опытов показаны на рис. 5,

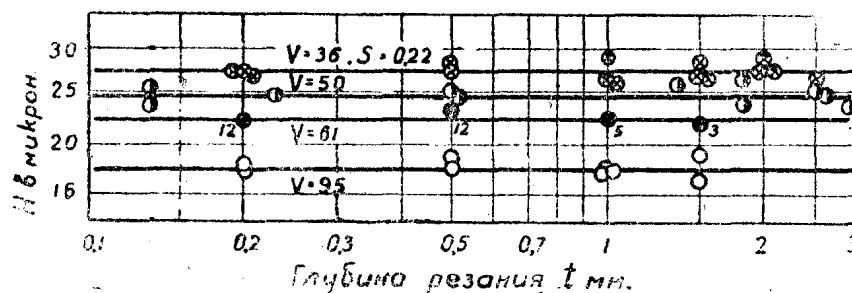


Рис. 5

где для сравнения нанесены и измерения из 1-й серии опытов при  $v = 61$  м/мин. Цифрами отмечено количество замеров.

Из анализа диаграмм (рис. 3—5) следует:

1. При заданных  $S$  и  $v$  и всех прочих равных условиях высота  $H$  не зависит от изменения  $t$  в пределах от 0,1 до 3 мм. Это доказывают и приведенные на рис. 6 профилограммы.

2. Независимо от глубины резания величина неровностей  $H$  изменяется с изменением  $S$  и  $v$ . При этом  $H$  возрастает с увеличением подачи (рис. 4) и уменьшается с повышением скорости от 15 м/мин. и выше.

3. С увеличением  $v$  уменьшается и степень рассеивания точек за счет ослабления вредного влияния надрывов и шероховатостей на обработанной поверхности. Чистота среза улучшается.

Влияние скорости резания и подачи. Каждая серия опытов проводилась с одним из следующих значений  $v = 2; 5; 8; 11; 15; 20; 33; (40); 60; 75; (80); 105; 150$  и  $200$  м/мин.<sup>1)</sup>, но с различными подачами  $S = 0,055; 0,07; 0,11; 0,22, 0,31; 0,435; 0,51; 0,76$  и  $1$  мм/об. Так как глубина резания

1) Значения  $v$  в скобках относятся к контрольным опытам, описание которых дано ниже.\*

не оказывает существенного влияния на качество поверхности, то ее величина выбиралась произвольно:  $t = 0,4 \div 0,5$  и  $t = 1,0 \div 1,1$  мм.

Резцы применялись как острые, так и несколько притупленные (бывшие в работе), учитывая, что в условиях производства может быть то и

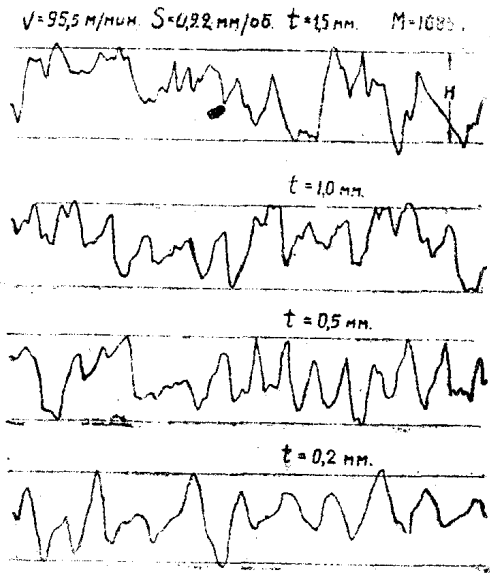


Рис. 6

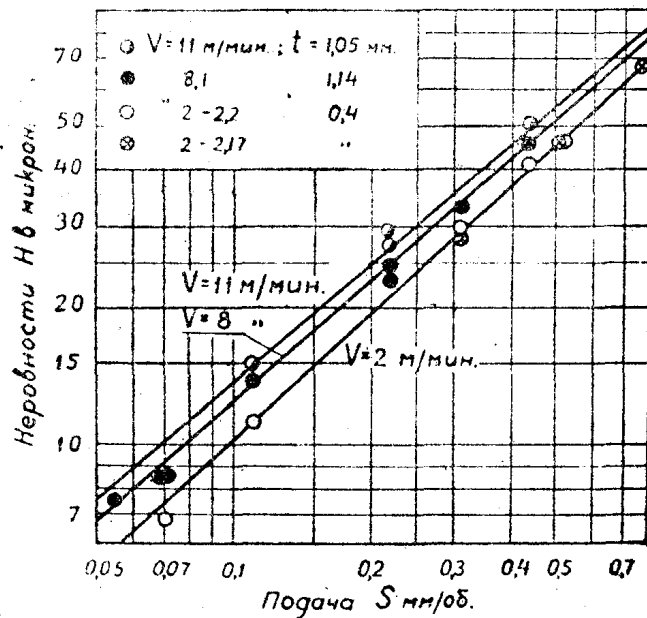


Рис. 7

другое. Для получения большей надежности в выводах, отдельные серии опытов повторялись 2—5 и более раз. Результаты испытаний представлены на диаграммах рис. 7—10. Для сравнения на рис. 10 при  $v = 15$  м/мин

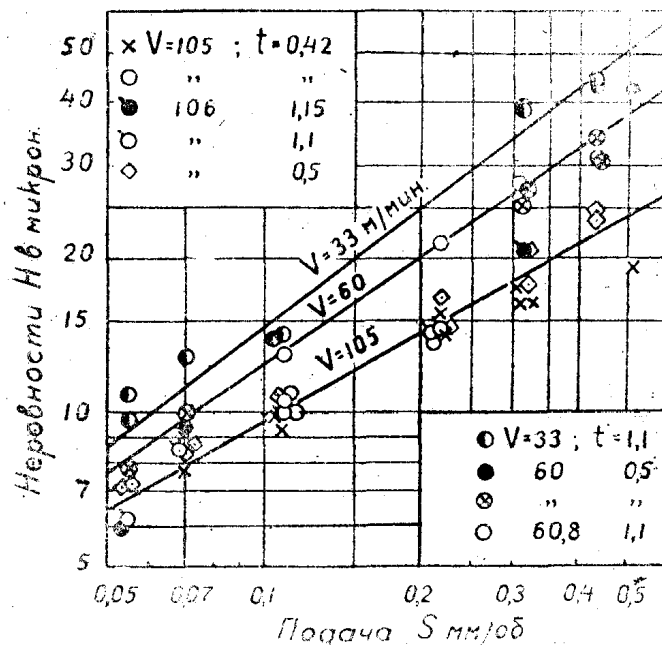


Рис. 8

нанесены жирными (черными) точками средние значения  $H$ , взятые из опытов по глубине резания (рис. 4), в которых  $t$  изменялось от 0,13 до 2,2 мм. Цифрами обозначено число замеров. Относительное расположение указанных точек среди других, отмеченных на рис. 10 при соответствующей

шей  $S$ , еще раз доказывает, что высота неровностей поверхности  $t$  не зависит от глубины резания. Из рис. 7—10 видно, что несмотря на рассеивание отдельных точек, общее расположение последних для всех зна-

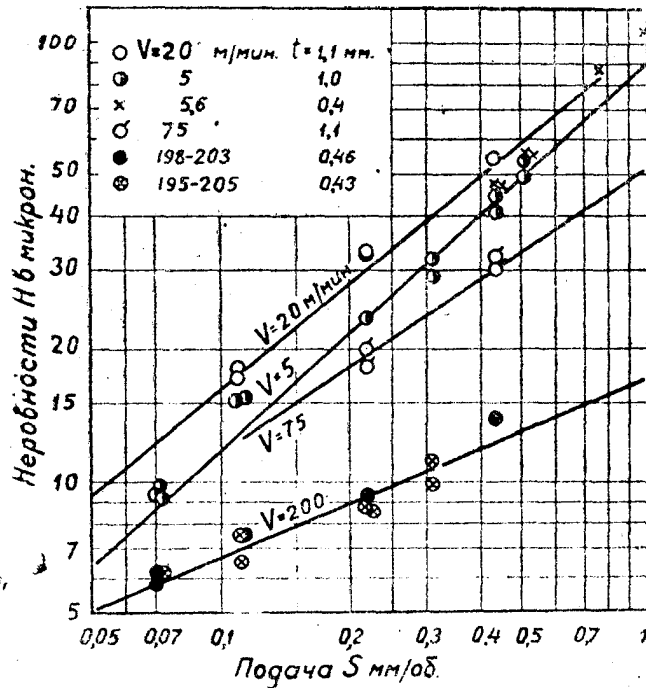


Рис. 9

чений  $v$  имеет прямолинейный характер с наклоном к оси  $S$ . Прямые  $v = \text{const}$ , проведенные по точкам, выражают зависимость усредненных

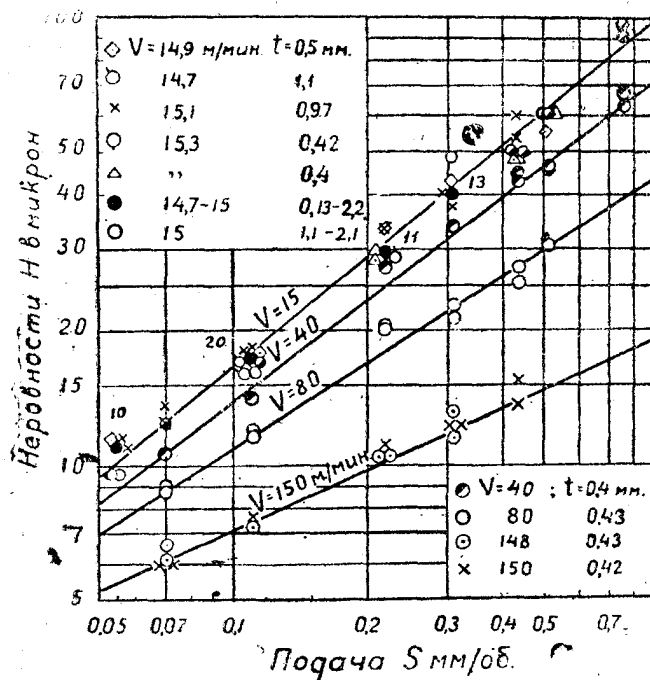


Рис. 10

значений  $H$  от величины подачи. Направление и наклон прямых показывает, что

1. С увеличением  $S$  (при  $v = \text{const}$ ) непрерывно возрастают неровности  $H$ , т. е. ухудшается качество поверхности, и наоборот.

2. С увеличением скорости резания степень влияния  $S$  на качество поверхности уменьшается, и тем больше, чем выше  $v$ .

Это хорошо заметно и из профилограмм (рис. 11, 12), приведенных для примера при  $v=60$  и  $150$  м/м.

Следовательно, прямые  $H = C S^x$  представляют линии одновременного влияния  $v$  и  $S$  на величину  $H$  могут быть выражены уравнением:

$$H = C S^x \quad (1)$$

Здесь:  $C$  — коэффициент, соответствующий данной  $v = \text{const}$

при  $S = 1$  мм/об;  $C = H$  в микронах.

$x$  — показатель степени влияния  $S$ . Зависит от величины  $v = \text{const}$ .

Численно  $x = \text{tg} \alpha$ , где  $\alpha$  — угол наклона линии  $v = \text{const}$  к оси  $S$  (рис. 7—10)

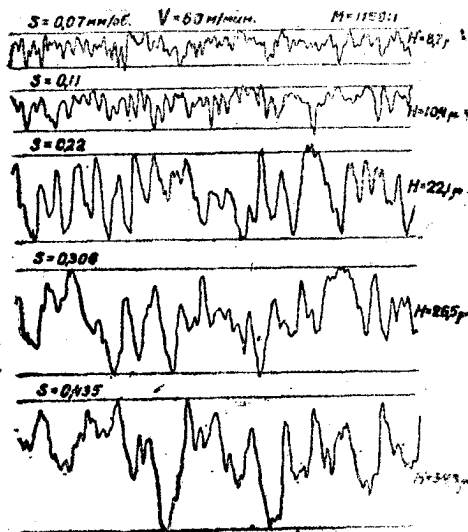


Рис. 11

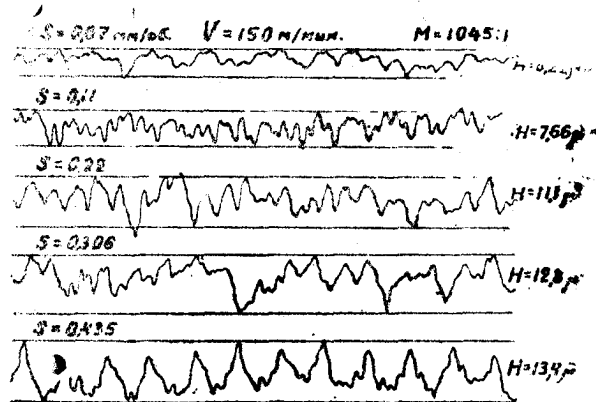


Рис. 12

Значения  $C$  и  $x$  для всех скоростей резания указанных на рис. 7—10, приведены в табл. 1.

Таблица 1

$v$ м/мин	Угол наклона линии $\alpha$	$x = \text{tg} \alpha$	$C = H$ при $S=1$ в микронах
2	42°30'	9,916	87
5	41°30'	0,885	92
8	41°30'	0,885	96
11	40°40'	0,854	102
15	39°30'	0,820	110
20	38°40'	0,800	103
33	37°30'	0,767	86
(40)	36°50'	0,750	(80)
60	34°30'	0,687	62
75	33°00'	0,649	52
(80)	32°90'	0,625	(48)
105	29°00'	0,566	35
150	24°00'	0,445	20
200	22°30'	0,414	17,2

Наглядное представление о влиянии  $v$  и  $S$  на величину  $H$  дает диаграмма  $H - v$ , (рис. 13). Здесь каждая кривая  $S = \text{const}$  проведена по точ-

кам усредненных значений  $H$ , взятых по линиям  $v = \text{const}$  из рис. 7—10. Для примера точки нанесены только для верхней кривой  $S = 1 \text{ мм/об}$ .

По характеру кривых  $S = \text{const}$  на всем диапазоне  $v = 2 \div 200 \text{ м/мин}$ , обращают внимание три резко выраженных области (зоны) влияния скорости резания. В первой зоне от 2 до 15  $\text{м/мин}$  с повышением  $v$  (при  $S = \text{const}$ ) происходит быстрый рост неровностей, достигающих максимума при  $v = 15 \text{ м/мин}$ . Во второй зоне, от 15 до 150—160  $\text{м/мин}$ , наблюдается обратное явление. Чем больше  $v$ , тем меньше неровности, тем выше качество поверхности. При этом улучшение поверхности идет интенсивнее для больших значений  $S$ , чем для малых, что видно из следующего примера.

$S = 0,055$ ; при  $v = 15$ ;  $H = 10 \text{ м}$ ; при  $v = 150$ ;  $H = 5 \text{ м}$

$S = 1,000$ ; при  $v = 15$ ;  $H = 110 \text{ м}$ ; при  $v = 150$ ;  $H = 20 \text{ м}$ .

В первом случае ( $S = 0,055$ ) неровности  $H$  уменьшились в 2-раза, во втором в 5,5 раза.

В третьей зоне  $v = 150\text{--}200 \text{ м/мин}$  при постоянной величине подачи неровности  $H$ , а следовательно, и чистота поверхности остаются почти по-

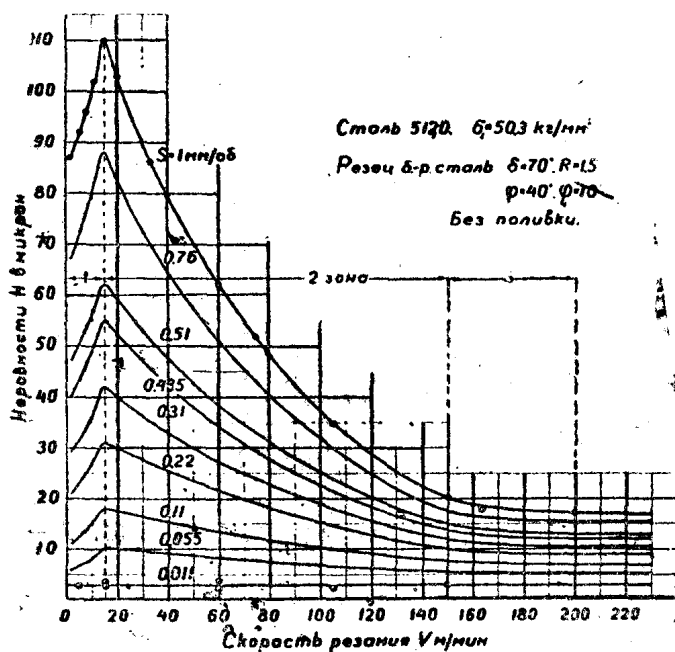


Рис. 13

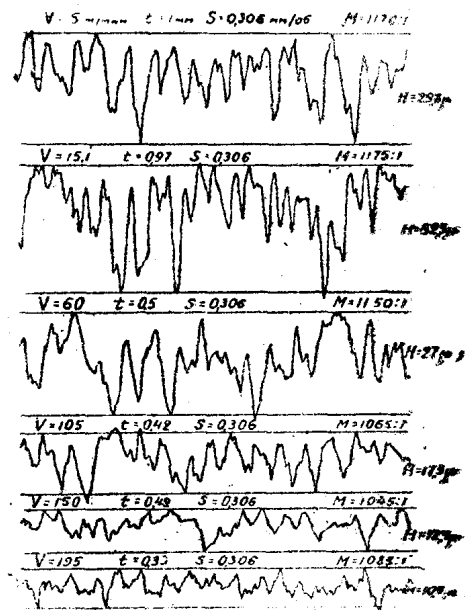


Рис. 14

стоянными. Это видно по расположению кривых  $S = \text{const}$  на рис. 13 и по относительному расположению точек для  $v = 150$  и  $200 \text{ м/мин}$  на рис. 9 и 10. Для иллюстрации характера изменения неровностей в зависимости, от скоростей резания по разным зонам, на рис. 14 показаны профилограммы поверхностей, обработанных при  $S = 0,306 \text{ мм/об}$  с различными  $v$ . При переходе в область  $v > 200 \text{ м/мин}$  качество поверхности при  $S = \text{const}$  остается неизменным независимо от дальнейшего повышения скорости резания (рис. 13).

Представленная на диаграмме рис. 13 общая картина изменения неровностей поверхности от  $v$  и  $S$  объясняется кратко следующими причинами: 1) В пределах 1-й зоны  $v \leq 15 \text{ м/мин}$  на величину  $H$  влияют наросты на резце и опережающие трещины.

Во 2-й и 3-й зоне  $v = 15\text{--}200 \text{ м/мин}$ —наросты и наслоения на резце и явление срезания вершин неровностей самой стружкой. Последнее про-

1) Подробнее излагается в следующей работе настоящего сборника.



сходит вследствие поперечной усадки стружки (уширение стружки) и ее наклепа.

Неизменность величины  $H$  (при  $S = \text{const}$ ) за пределами  $v > 200$  м/мин объясняется стабильностью в усадке стружки и в чистоте среза.

Диаграммы  $H-S$  (рис. 7–10) и  $H-v$  (рис. 13) позволяют выбирать графически режимы резания при любом сочетании  $v$  и  $S$  в пределах изменения  $v = 2 - 200$  м/мин и  $S = 0,05 - 1$  мм/об при обработке стали 5120.

### Аналогичное выражение зависимости

Выбор режима резания, обеспечивающего необходимую чистоту поверхности (по величине  $H$ ), можно проводить и аналитически по уравнению (1), если в последнем установить функциональную зависимость  $x$  и  $C$  от скорости резания.

По данным табл. 1 на рис. 15 построена кривая (ломаная), выражающая зависимость  $x = f(v)$  в пределах изменения  $v$  от 2 до 200 м/мин. По характеру падения прямых участков видно, что в пределах 1-й зоны

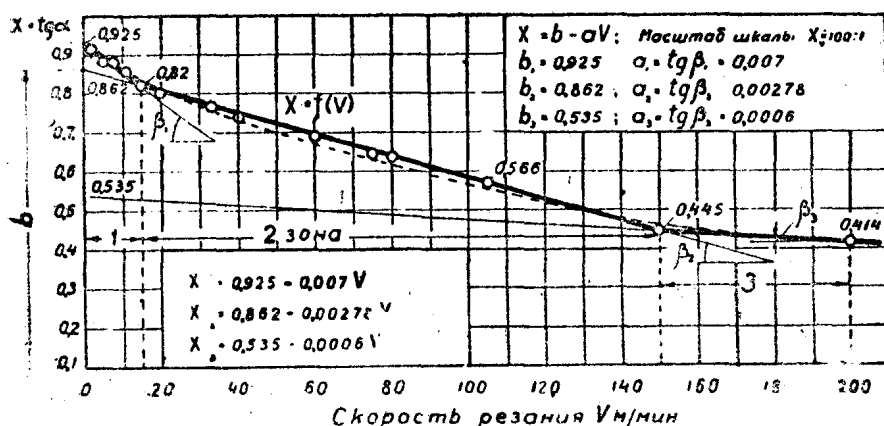


Рис. 15

$v \leq 15$  м/мин, значение  $x$  имеет более быстрое снижение, чем во 2-й зоне  $v = 15 - 150$  м/мин и очень незначительное в интервале 3-й зоны  $v > 150$  м/мин.

Следовательно, чем выше  $v$ , тем меньше  $x$ , тем меньше степень влияния  $S$  на величину неровностей  $H$ . Это вполне согласуется и с показаниями кривых  $S = \text{const}$  на рис. 13.

Уравнение прямых участков кривой  $x = f(v)$  (рис. 15) в общем виде:

$$x = q - a v \quad (2)$$

Значения  $a$  и  $b$  для всех трех участков указаны на рис. 15. Подставляя величины  $a$  и  $b$  в уравнение (2), получаем:

для 1-й зоны  $v \leq 15$  м/мин

$$x_1 = 0,925 - 0,007 v; \quad (3)$$

для 2-й зоны  $v = 15 - 150$  м/мин

$$x_2 = 0,862 - 0,00278 v; \quad (4)$$

для 3-й зоны  $v > 150$  м/мин

$$x_3 = 0,535 - 0,0006 v. \quad (5)$$

Уравнения двух смежных зон дают одно и то же значение  $x$ , при подстановке пограничных величин  $v = 15$  или  $150$ .

Значения коэффициента  $C=H$ , при  $S=1$  (ур-ние 1), приведены в табл. 1 для отдельных величин  $v$  по рис. 7—10. Непрерывное изменение  $C$  под влиянием  $v$  (в пределах от 2 до 200 м/мин) выражено на рис. 13 верхней кривой  $S=1$  мм/об. По ходу кривой видно, что зависимость  $C$  имеет в каждой зоне скоростей различный характер. Для упрощения определение  $C=f(v)$  проделано по частям, в интервале каждой зоны, для

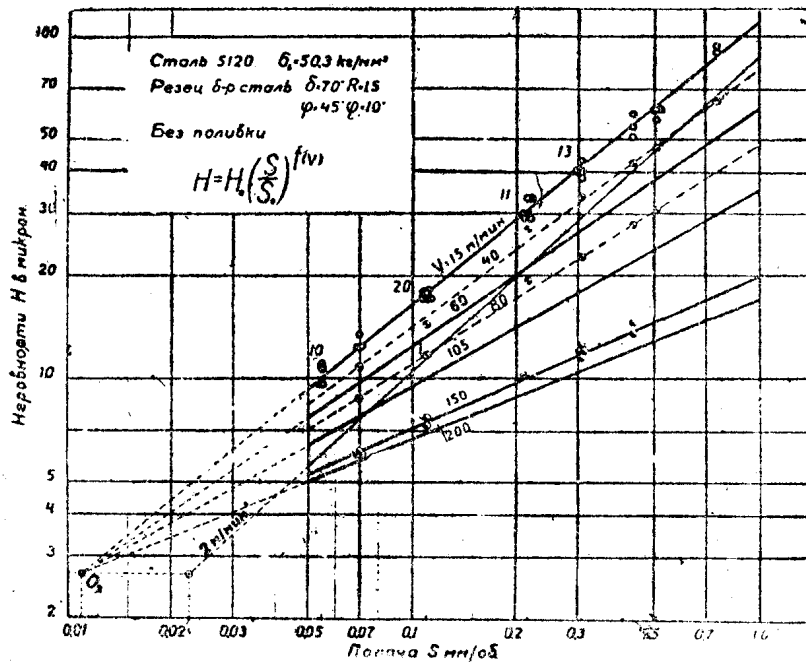


Рис. 16

чего была использована сводная диаграмма  $H-S$  (рис.16), построенная по данным рис. 7—10. Для ясности на рис. 16 нанесены не все линии  $v = \text{const}$ .

Рис. 16 показывает, что линии  $v = \text{const}$  для 1-й зоны  $v \leq 15$  м/мин. сходятся в одну точку  $O_1$  (за пределами рис. 16) с координатами:  $H_0 = 960$  и  $S_0 = 14$ ; наоборот, все линии  $v = \text{const}$  для 2-й и 3-й зоны  $v = 15-200$  м/мин расходятся из общего полюса  $O_2$  с координатами  $H_0 = 2,7 \mu$ ;  $S_0 = 0,0011$  мм/об. Наличие полюсов  $O_1$  и  $O_2$  позволяет написать для всего диапазона  $v$  от 2 до 200 м/мин единое уравнение вида:

$$H = H_0 \left( \frac{S}{S_0} \right)^x \quad (6)$$

Здесь:  $H_0$  и  $S_0$ —координаты полюсных точек  $O_1$  или  $O_2$ ,  $x=f(v)$ —переменный показатель степени при  $S$  в уравнении (1), определяемый для соответствующей зоны  $v$  по уравнениям (3,4 и 5). Из сравнения уравнений (1) и (6) находим:

$$C = H_0 S_0^{-x} \quad (7)$$

Подставляя величины  $H_0$ ,  $S_0$  и  $x$ , соответствующие определенным зонам  $v$ , имеем:

$$1\text{-я зона } v \leq 15; H = 960 (0,0714 S)^{0,925-0,007 v} \quad (8)$$

$$2\text{-я зона } v = 15-150; H = 2,7 (91 S)^{0,862-0,00278 v} \quad (9)$$

$$3\text{-я зона } v > 150; H = 2,7 (91 \quad (10)$$

где  $H$ —в микронах,  $S$ —в мм/об,  $v$ —в м/мин.

Выражая зависимость  $H=f(v,S)$ , уравнения (8, 9 и 10) позволяют определять аналитически величины неровностей  $H$  обработанной поверхности при изменении  $S$  и  $v$  в широких пределах:  $S \leq 1$  мм/об  $v = 2 \div 200$  м/мин и выше.

В табл. 2 даны результаты вычислений  $C$  и  $x$  по уравнениям (7) и (3, 4, 5) для значений  $v$ , принятых в опытах.

Таблица 2

$v$	2	5	8	11	15	20	33	60	75	105	150	200
$C$	86,5	92	96,7	102,4	110	102,5	87,5	62	51,5	34,9	20,1	17,5
$x$	0,911	0,89	0,87	0,848	0,82	0,807	0,77	0,695	0,654	0,57	0,445	0,415

Сходство значений  $C$  и  $x$  из табл. 2 с соответствующими опытными данными из табл. 1 подтверждает правильность составленных уравнений.

Так как графический метод решения зависимости  $H=f(v,S)$  значительно проще и быстрее аналитического, то по уравнению (8—10) можно построить лучевую диаграмму  $H-S$ , подобную рис. 16, с нанесением линий  $v = \text{const}$  через любые интервалы в пределах:  $v \leq 15$ ; 15—150 и 150—200 м/мин и выше.

### Закон рассеивания опытных данных

Величина  $H$ , определяемая по диаграммам рис. 7—10 или по ур-нию (8—10), есть некоторое усредненное значение высоты неровностей обработанной поверхности. Как показывает расположение опытных точек относительно прямых  $v = \text{const}$  на рис. 7—10, действительная высота  $H_1$  может быть несколько больше или меньше усредненной  $H$  на величину  $\Delta H$ , где

$$\Delta H = \pm \left( \frac{H_1}{H} - 1 \right) \text{ в долях от } H.$$

Из анализа и сравнения экспериментальных данных установлено:

1. Величина  $\Delta H$  изменяется в пределах от 0 до  $\pm 0,5$ .
2. В общем количестве опытных данных значения  $\Delta H$  распределяются по знаку (+ или -) почти равномерно ( $+ 51,7\%$  и  $- 48,3\%$  из  $100\%$ ).
3. Резко выраженного различия влияния  $v$ ,  $S$  и  $t$  на пределы и закономерность изменения  $\pm \Delta H$  не обнаружено.

Следовательно, можно предполагать, что рассеивание действительных  $H_1$  получилось главным образом за счет влияния случайных причин: неизбежные ошибки в геометрии резца в плане ( $r$ ,  $\varphi_1$ ) при заточке и установке в суппорт; колебания величины  $v$  при повторных опытах (рис. 7—10); изменение степени остроты лезвия резцов и т. д.

Кривая рис. 17 показывает, какое количество замеров (опытов)  $N$  в % из  $100\%$  возможных содержит данную величину  $\pm \Delta H$ , изменяющуюся от 0 до  $\pm \Delta H_i$ ; где  $\Delta H_i$  есть любое значение  $\Delta H$  в пределах от 0 до  $\pm 0,5$ .

Например:  $\pm \Delta H = 0$  составляет  $N = 7,5\%$  из  $100\%$ .

"	0 $\div$ 0,05	"	31,5	"	"
"	0 $\div$ 0,1	"	56,0	"	"
					и т. д.

Перегиб кривой показывает, что все значения  $\pm \Delta H = 0 \div 0,12$  составляют 65% случаев из 100% возможных замеров, а значения  $\pm \Delta H = 0,12 \div 0,5$  укладываются в 35%, т. е. составляют меньшую долю. На

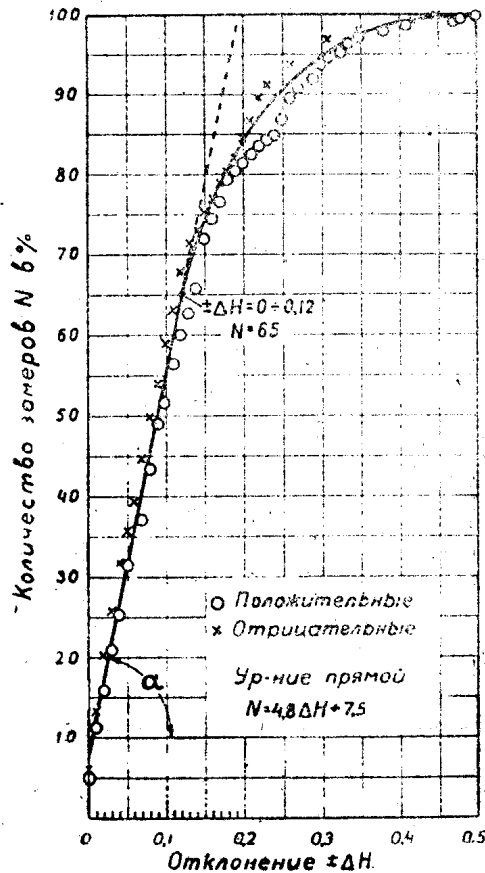


Рис. 17

основании этого можно принять в качестве поправки на усредненную высоту  $H$  значение  $\Delta H = \pm 0,12$ .

Следовательно, наиболее вероятная, действительная высота неровностей

$$H_1 = (1 \pm 0,12) H \quad (11)$$

и ур-ние (6) зависимости  $H = f(v, S)$  принимает окончательное выражение:

$$H_1 = (1 \pm 0,12) H_0 \left( \frac{S}{S_0} \right)^x \quad (12)$$

### Контрольные опыты

Особенность диаграммы рис. 16 заключается в образовании полюсной точки  $O_2$  с координатами:  $H_0 = 2,7 \mu$  и  $S = 0,011$  мм/об. Являясь геометрическим местом пересечения прямых  $v = \text{const}$ , точка  $O_2$  имеет не только математическое значение для обоснования зависимости (6), но она обладает и определенным физическим свойством, сущность которого сводится к следующему.

При обработке с подачей  $S = 0,011$  мм/об величина неровностей  $H = 2,7 \mu$  остается постоянной, независимо от изменения  $v$  в пределах от 15 до 200 м/мин и выше.

Благодаря этому свойству точку  $O_2$  можно назвать „критической точкой“ и соответственно  $S_0 = 0,011$  мм/об — „критической подачей“ и высо-

ту неровностей  $H_0 = 2,7 \mu$  — „критической неровностью“. Образование „критической неровности“ (и подачи) хорошо видно из рис. 13 по сглаживанию изгибов кривых  $S = \text{const}$  при  $v = 15 \text{ м/мин}$ . Чем меньше  $S$ , тем меньше изгиб кривой, а следовательно, и влияние  $v$  на высоту неровностей  $H$ . Очевидно, уменьшая  $S$ , можно подобрать такую ее величину, когда при любом значении  $v$  чистота поверхности (неровности  $H$ ) будет оставаться неизменной.

Для проверки координат „критической точки“  $O_2$  была проведена серия опытов — с постоянной  $S = 0,011 \text{ мм/об}$ ,<sup>1)</sup> но с различными  $v = 5, 15, 60, 105, 150 \text{ м/мин}$  при  $t = 0,4 \text{ мм}$ .

Результаты опытов показаны на рис. 13 (нижняя линия).

Прямая, проведенная по точкам, соответствует постоянной высоте неровностей  $H = 3 \mu$ , которая больше теоретической ( $H_0 = 2,7 \mu$ ) всего на  $0,3 \mu$ . Такое совпадение опытных данных с теоретическими является достаточным доказательством правильности вышеизложенного предположения о свойстве „критической точки“  $O_2$ .

Кроме того, опыты показывают, что при  $S = 0,011 \text{ мм/об}$  скорость резания  $v = 15 \text{ м/мин}$  не оказывает вредного влияния на качество поверхности и высота неровностей  $H \approx 3 \mu$  остается постоянной для  $v > 15 \text{ м/мин}$ . Об этом свидетельствует не только положение опытных точек на рис. 13, но и расположение прямых  $v = \text{const}$  (рис. 16) для  $v \geq 15 \text{ м/мин}$ , а также характер профилограмм на рис. 18.

На основании приведенных доказательств следует:

1. Независимо от изменения  $v$  от 2 до 200 м/мин и выше, „критическая высота“ неровностей  $H_0 = 2,7 \mu$  при  $S_0 = 0,011 \text{ мм/об}$  есть величина постоянная и соответствует высшему качеству чистоты поверхности, достижимому при обработке стали 5120 при отсутствии смазки, охлаждения и дрочения.

2. В общем случае координаты „критической точки“  $O_2$  должны зависеть от:

- а) физических свойств обрабатываемого материала,
- б) угла резания и степени остроты лезвия резца,
- в) условия работы (с поливкой или без поливки).

3. „Критическая высота“ неровности  $H_0 = 2,7 \mu$  не зависит от геометрии резца в плане ( $r, \varphi, \varphi_1$ ) при изменении  $r \geq 0,1 \text{ мм}$ , так как при  $S_0 = 0,011 \text{ мм/об}$  и  $r \geq 0,1 \text{ мм}$  длина дуги контакта вершины резца с обрабатываемой поверхностью практически равна хорде и закругленный резец работает подобно резцу с широким лезвием при  $\varphi_1 = 0^\circ$ .

4. С уменьшением  $S < S_0$  величина неровностей  $H$  остается неизменной и равной  $H_0$ .

С целью дополнительной проверки координат ( $H_0$  и  $S_0$ ) „критической точки“  $O_2$  и ур-ния (6) были проведены две серии опытов при  $v = 40$  и  $80 \text{ м/мин}$  с различными  $S$ .

Результаты эксперимента представлены на рис. 16, где положение соответствующих линий  $v = \text{const}$  (40 и  $80 \text{ м/мин}$ ) были заранее определены аналитически по уравнению (6).

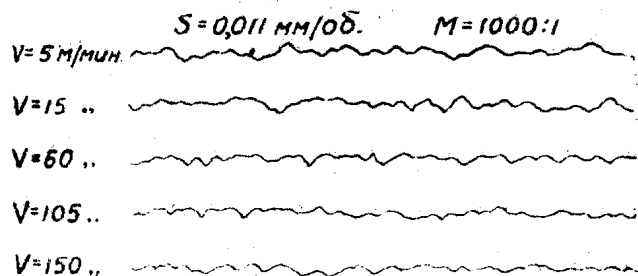


Рис. 18

<sup>1)</sup> Для этого в гитаре станка был поставлен специальный набор шестерен.

Расположение опытных точек (рис. 14) относительно теоретических прямых  $v = \text{const}$  в том и другом случае доказывает практическую пригодность составленной зависимости (6) и подтверждает неизменность координат „критической точки“  $O_2$ :  $H_0 = 2,7 \text{ м}$ ;  $S_0 = 0,011 \text{ мм/об}$ .

### Заключение

1. Широкий диапазон изменения составляющих режима резания ( $S = 0,01 - 1,0 \text{ мм/об}$ ,  $t = 0,1 - 3 \text{ мм}$ ,  $v = 2 - 200 \text{ м/мин}$ ) позволил охватить исследованием как область тонкой (алмазной) обточки, так и область грубой чистовой отделки по стали 5120.

2. Установлено и подтверждено, что при обработке жестких (устойчивых) изделий при отсутствии дрожания изменение глубины резания от 0,1 до 3 мм не оказывает заметного влияния на чистоту поверхности.

3. При заданной геометрии резца на величину неровностей  $H$  активно влияет скорость резания и подача. Изменение  $S$  от 0,011 до 1 мм/мин и  $v$  от 2 до 200 м/мин вызывает колебание величины  $H$  от 3 до 120 микрон, т. е. в 40 раз.

4. С увеличением  $S > 0,011 \text{ мм/об}$  величине неровностей  $H$  возрастает и тем относительно быстрее, чем меньше  $v$ .

5. При  $S < 0,011 \text{ мм/об}$ , независимо от величины и геометрии резца в плане (при  $r \geq 0,1 \text{ мм}$ ), величина неровностей  $H \approx 3 \text{ м}$  остается постоянной и соответствует высшему качеству чистоты поверхности, достижимому при обточке стали 5120 без поливки.

6. По характеру влияния на величину  $H$  диапазон  $v = 2 - 200 \text{ м/мин}$  делится на 3 зоны:  $v \leq 15$ ;  $v = 15 - 150$  и  $v = 150 - 200 \text{ м/мин}$ .

7. Для всех значений  $S > 0,01 \text{ мм/об}$  наибольшая величина неровностей  $H$  (худшее качество поверхности) получается при  $v = 15 \text{ м/мин}$ <sup>1)</sup> наименьшая при  $v = 150 - 200 \text{ м/мин}$ . В области малых подач последнее иосуществимо и при работе с  $v < 2 \text{ м/мин}$ .

8. С увеличением  $v > 200 \text{ м/мин}$  величина  $H$  остается постоянной (при  $S = \text{const}$ ).

9. Выбор рационального режима резания чистовой обточки стали 5120 можно производить или аналитически по уравнению (6), или графически по диаграммам рис. 13 и 16.

10. Наиболее вероятная высота неровностей, которая может быть при заданном режиме резания, определяется по уравнению (12).

11. Чтобы повысить производительность, оставляя неизменным качество поверхности (по величине  $H$ ), следует работать (в пределах  $v = 2 - 200 \text{ м/мин}$ ) с тем большей  $S$ , чем соответственно выше выбрана  $v$ .

12. При переходе в область  $v > 200 \text{ м/мин}$  (при  $H = \text{const}$ ) дальнейшее повышение производительности идет только за счет  $v$ .

<sup>1)</sup> Точнее — чем меньше  $S$ , тем несколько больше  $v$ , и наоборот.

### Замеченные опечатки

Страница	Строка	Напечатано	Следует
71	Формула 8	$m = \frac{\lg \left\{ \frac{\tau_n - 1}{\tau_n - \Theta} + \frac{1}{e} \right\}}{\lg C}$	$m = \frac{\lg \left\{ \frac{\tau_n - 1}{\tau_n - \Theta} + \frac{1}{e} \right\}}{\lg C}$
82	Формулы 17 и 18	<i>A w ep</i>	<i>A w cp</i>
83	2 снизу	Проведенные	Приведенные
93	14 сверху	годы лет	годы
99	5 "	c st	const
99	6 "	величин <i>H</i> могут	величину <i>H</i> и могут
102	2 снизу	2,7(91	2,7(91 <i>S</i> ) 0,535—0,006 <i>V</i>
104	7 "	свойством	смыслом
107	19 "	действие	влияние на
114	10 "	физических свойствах	физическом смысле
119	9 сверху	кривых поверхностей.	кривых.