

## ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ ЯВЛЕНИЯМИ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ СТРУЖКИ

ЕРЕМИН А. Н.

*Кандидат технич. наук*

Экспериментальное исследование, проведенное автором (1940 г.), по определению влияния режимов резания на качество поверхности, при чистовой обточке стали 5120 без поливки, дает полное представление о характере изменения неровностей  $H$  в зависимости от  $v$  и  $S$ , но не объясняет сущности данного явления. Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо обратиться непосредственно к процессу образования стружки, так как все явления, связанные с этим процессом, являются основными источниками причин, порождающих шероховатости на обработанной поверхности.

По данным Валлихса и Франка, Шверда, Дайджеса, Эрнста и Мартеллотти, Бостона и Краус и других экспериментаторов, известных в советской литературе по резанию, установлено, что чистота поверхности при обработке вязких металлов (сталь) зависит главным образом от состояния наростов на резце в процессе снятия стружки.

Опыты показывают, что с появлением нароста, твердость которого значительно выше обрабатываемого материала (на 30—110% по Герберту [1]), фактически режет не резец, а нарост. Так как нарост имеет обычно притупленную форму, то в действительности происходит не резание, а разрыв материала, отчего обработанная поверхность получается негладкой, шероховатой, с явными признаками разрушения (появляются глубокие борозды и царапины). Чем больше величина нароста, тем сильнее его действие разрушения поверхности. Форма и размеры нароста на резце зависят, при всех прочих равных условиях, от скорости резания, угла резания и от толщины стружки, т. е. от величины подачи. Доказано, что нарост не образуется (за редким исключением) при обработке с высокими скоростями резания (70—150 м/мин и выше) и при обработке с очень низкими скоростями (1—3 м/мин и ниже). Образование нароста происходит только в известном интервале скоростей, пределы которого несколько изменяются в зависимости от свойств обрабатываемого материала и поливки резца. Для иллюстрации на рис. 19<sup>1)</sup> приведена зависимость величины нароста от  $v$  и переднего угла резца, по опытам Валлихса и Франка, при обработке стали без охлаждения. Рассматривая микрофотографии с различных стадий образования нароста по данным других исследователей (Шверд, Эрнст и Мартеллотти и др.) можно наблюдать подобную же картину изменения нароста, что и на рис. 19.

Очень важно отметить то обстоятельство, что в общем характере изменения наростов под влиянием  $v$  наблюдается тот же закон, как и в изменении неровностей на обработанной поверхности. В этом нетрудно

---

<sup>1)</sup> Для устранения повторений в рисунках последние имеют общий порядковый номер во всех трех статьях автора, помещенных в этом сборнике.

убедиться, если сравним кривые изменения наростов (рис. 19) с кривыми изменения неровностей (рис. 13) по данным наших опытов по стали 5120. В обоих случаях скорость резания имеет три зоны влияния. То же самое можно видеть из опытов Валлихса и Франка (рис. 20) и Дельере рис. 21. Кривые на рис. 20 и 21 показывают влияние  $v$  и  $S$  на величину неровностей поверхности, измеренных в направлении подачи

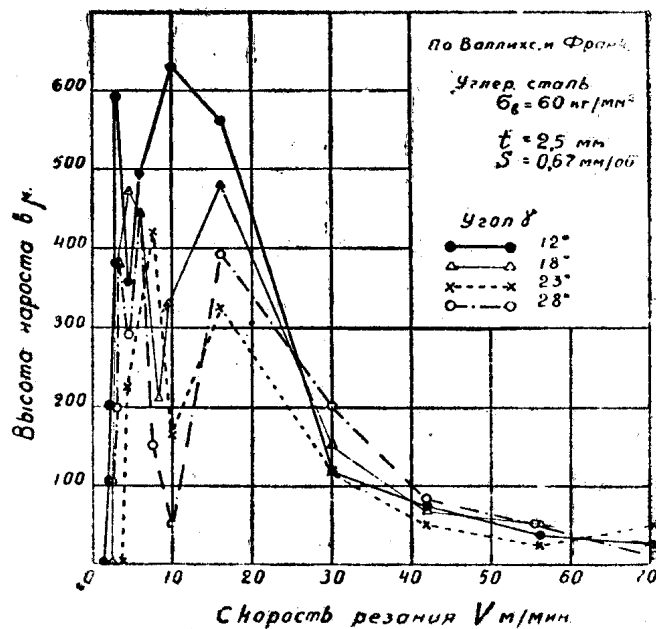


Рис. 19

резца. Такие же результаты получил в своих опытах и Шимц [7], обрабатывая материалы различной твердости (рис. 22).

Размеры нароста также возрастают, а следовательно, ухудшается и качество поверхности, если увеличивать толщину снимаемой стружки, т. е.

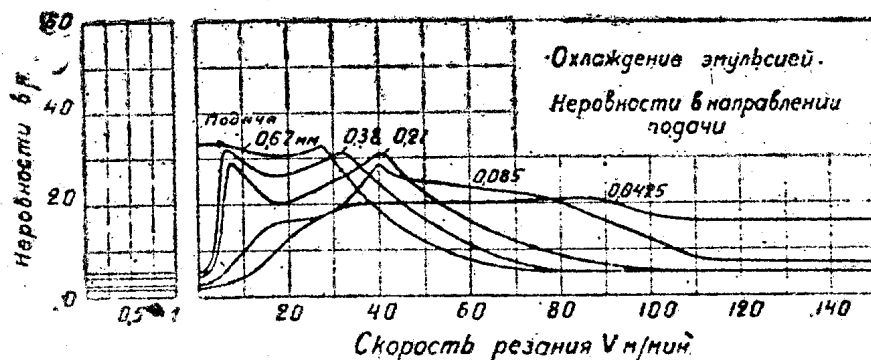


Рис. 20

увеличивать величину подачи (Шверд, Эрнст, Бостон, Прянишников и др). Это явление наблюдается в пределах скоростей, способствующих образованию нароста. Проведенные нами наблюдения за характером изменения наростов на резце от  $v$  и  $S$ , при обработке стали 5120, в общем совпадают с данными других исследователей. При изменении  $S$  в широких пределах (0,011—0,76 мм/об) появление наростов на резце не обнаружено при  $v \leq 2 \text{ м/мин}$  и  $v > 150 \text{ м/мин}$ . Для стали 5120 наибольшая величина наростов соответствует  $v = 15—20 \text{ м/мин}$  для всех значений подач  $S > 0,011 \text{ мм/об}$ . При  $S \leq 0,011 \text{ мм/об}$  нарост на резце не появлялся совсем (рис. 23).

Розенгейн и Стерней [4], Розенберг [3] и др., изучая процесс образования стружки, заметили, что при обработке с малыми скоро-

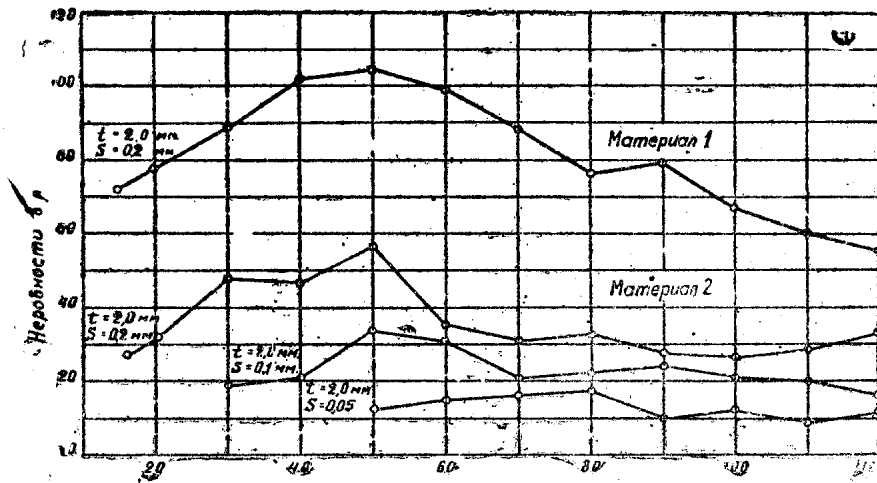


Рис. 21

стями резания, с увеличением толщины стружки (и углов резания) есть тенденция к образованию впереди резца так называемых опережающих

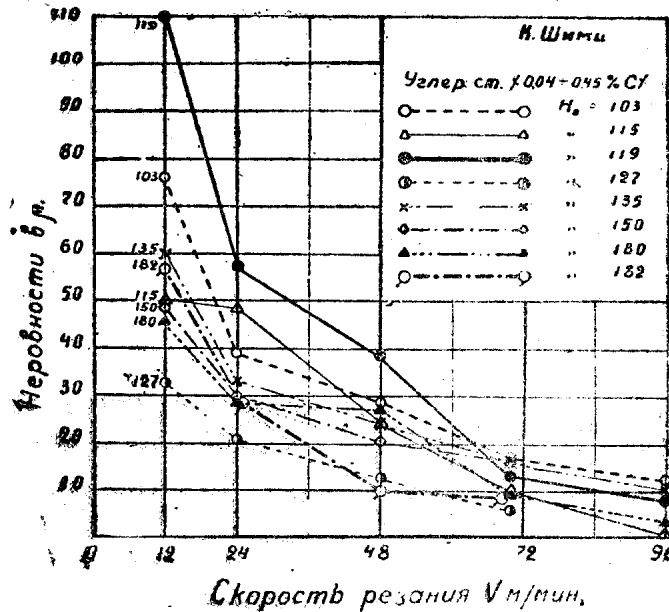


Рис. 22

трещин (рис. 24—25). Величина этих трещин, как показывает рис. 25, иногда достигает огромных размеров в сравнении с толщиной снимаемой

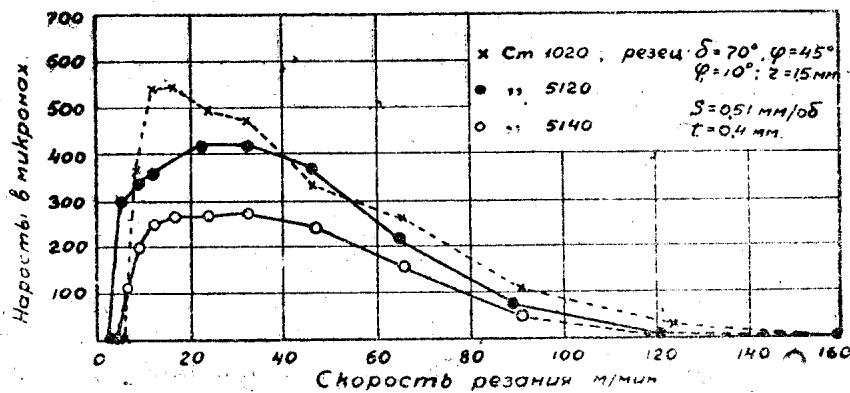


Рис. 23

стружки. Явный характер отрыва стружки, при наличии опережающих трещин, приводит неизбежно к увеличению шероховатостей на поверхности, так же как и при появлении наростов, но несколько в меньшей степени (с увеличением угла резания надрывы увеличиваются).

Рапатц [5] считает, что основная причина улучшения качества поверхности с увеличением скорости заключается в повышении температуры

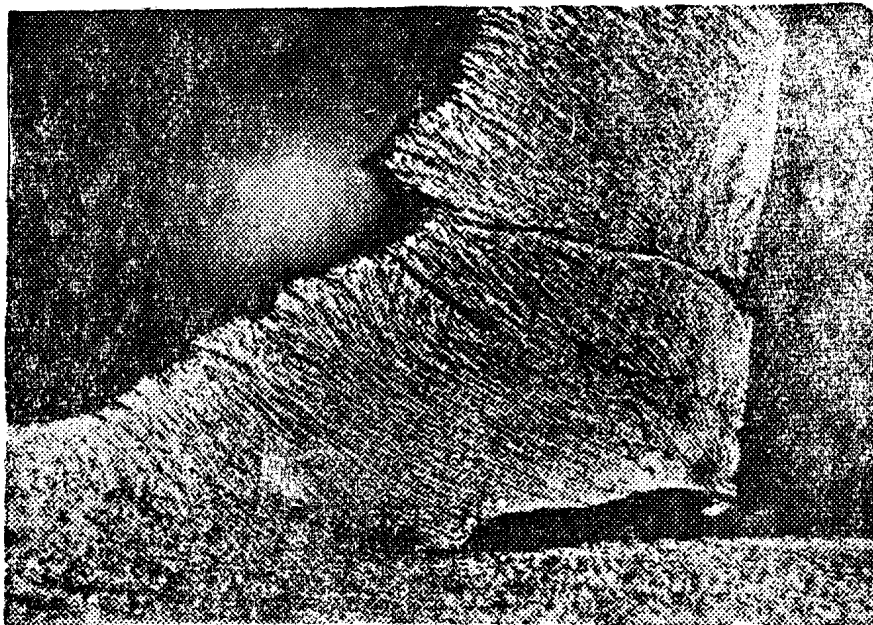


Рис. 24

резания, вследствие увеличения количества теплоты, выделяемой в единицу времени. Для доказательства Рапатц произвел опыт по обработке болванки (Сим.-март. сталь, мягкая), предварительно нагретой до 300—320°C.



Рис. 25

Оказалось, что скорость, с которой получилось впервые гладкая поверхность, снизилась до 15 м/мин, тогда как при обработке в холодном состоянии эта скорость была равна 40 м/мин.

Рапатц несколько неправ, выдвигая температуру резания, как основную причину влияния на качество поверхности. Температура резания, как фактор, не участвует непосредственно в образовании шероховатостей, а

только способствует образованию или исчезновению наростов и опережающих трещин с изменением скорости резания.

При обработке вязких металлов увеличение скорости и подачи (толщины стружки) приводит к значительным изменениям в усадке стружки  $\lambda$ . (отношение пути, пройденного резцом, к длине снятой стружки), величина которой характеризует степень деформации металла, превращаемого

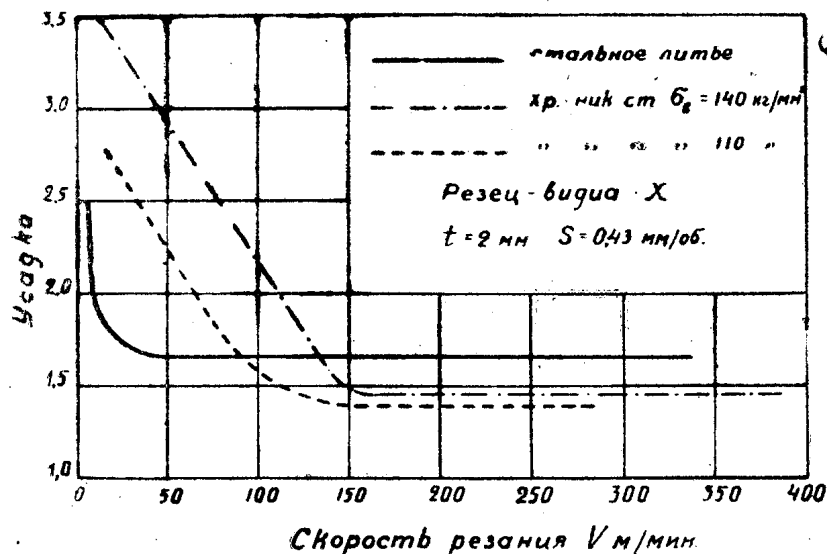


Рис. 26

в стружку. Чем больше усадка стружки, тем больше деформация, и наоборот. На рис. 26 приведена кривая изменения усадки стружки в зависимости от  $v$  при обработке стали по данным Лейензеттера, а на

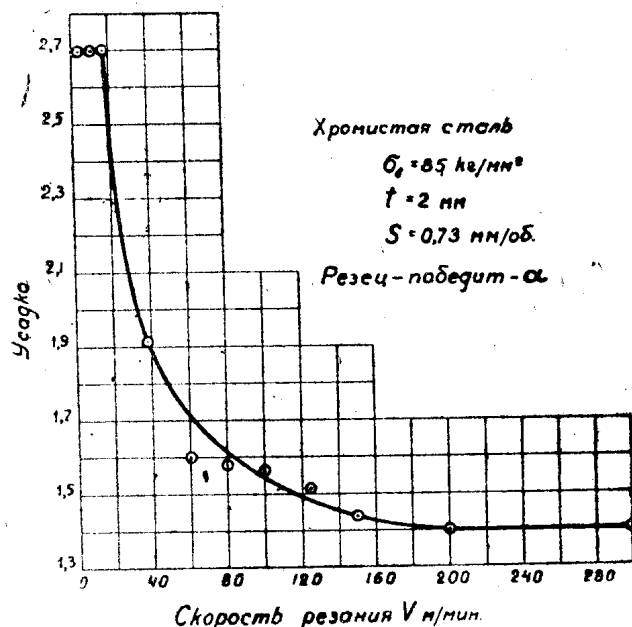


Рис. 27

рис. 27,—по опытам Клокова [2]. В обоих случаях кривые показывают, что с увеличением  $v$  усадка стружки значительно уменьшается до известного предела, после чего остается постоянной.

Так как при увеличении  $v$ , наряду с уменьшением усадки стружки, происходит улучшение чистоты обработанной поверхности, то для оценки качеств этой поверхности Лейензеттер избрал величину усадки  $\lambda$ .

Возникает вопрос, может ли величина усадки стружки служить объяснением причин образования и изменения неровностей на обработанной поверхности в зависимости от  $v$  и  $S$ .

Показатель Лейензеттера оправдывает, повидимому, свое назначение в тех пределах скоростей резания, когда с повышением  $v$  наблюдается и улучшение чистоты поверхности, и уменьшение усадки (2-я и 3-я зоны скоростей). Об этом свидетельствует внешнее сходство в характере кривых усадки (рис. 26, 27) с кривыми изменения неровностей поверхности в указанных зонах  $v$  на рис. 13, 20, 21 и 22.

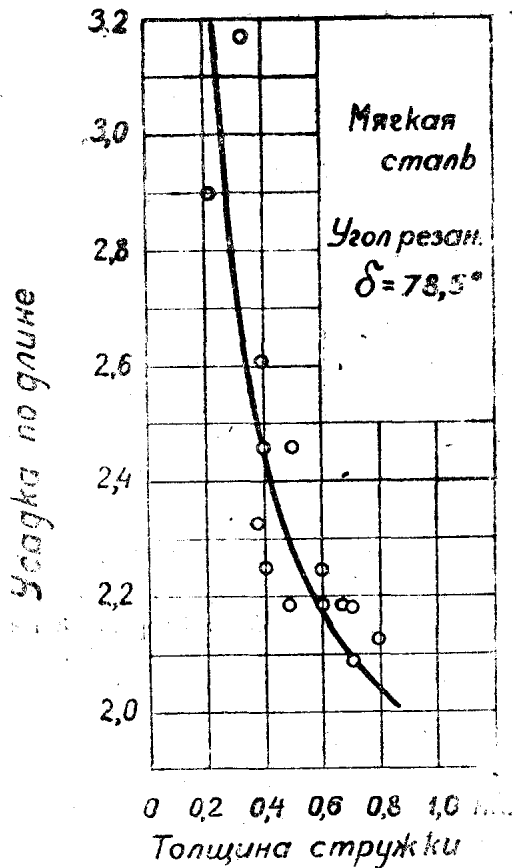


Рис. 28

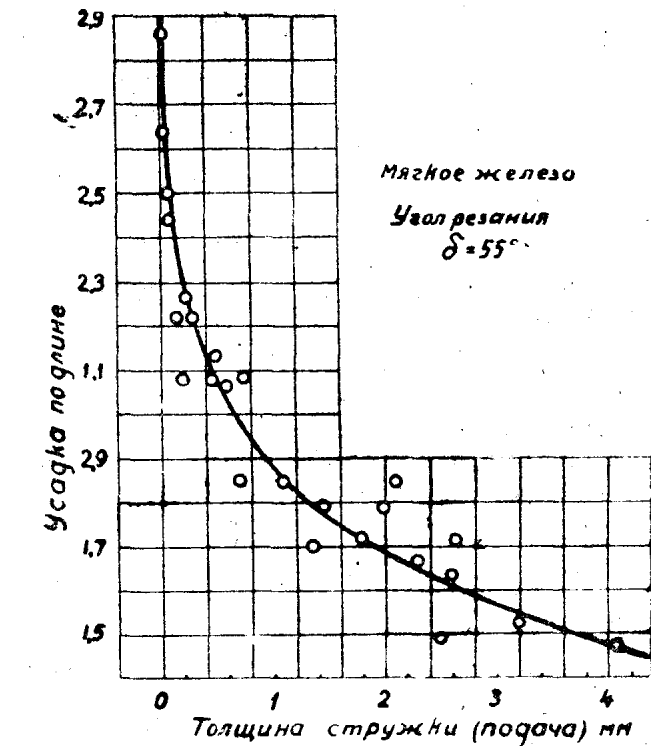


Рис. 29

Переходя в область низких скоростей резания (1-я зона  $v \leq 10-15$  м/мин), мы видим совершенно иную картину в соотношении между усадкой и качеством поверхности. По мере уменьшения  $v$  усадка стружки остается постоянной (рис. 27), или может даже возрастать, а качество поверхности начинает снова улучшаться, что отчетливо видно по падению кривых изменения неровностей  $H$  на рис. 13, 20, 21. Получается противоречие. Следовательно, в зоне низких скоростей величина усадки не может служить отображением (показателем) чистоты поверхности.

Еще большее противоречие обнаруживается, если попытаемся объяснить величиной усадки стружки причину изменения качества поверхности от толщины стружки (подачи). На рис. 28 показана кривая изменения усадки стружки в зависимости от ее толщины при обработке стали, из опытов Соколова [6] и на рис. 29 при обработке мягкого железа, по исследованиям Розенберга [3]. В том и другом случае с увеличением толщины стружки наблюдается уменьшение ее усадки. В то же время нам известно, по опытам Розенгейн и Стерней [4], Розенберга и др.

что с увеличением толщины стружки качество поверхности ухудшается вследствие образования опережающих трещин (при малых  $v$ ) и за счет возрастания наростов в пределах 1-й и 2-й зоны  $v$  (рис. 13).

Следовательно, по мере утолщения стружки усадка ее уменьшается, а чистота обработанной поверхности ухудшается (при соответствующей  $v$ ), т. е. получается полная противоположность тому, что предполагал выразить Лейензеттер.

Это показывает, что, пользуясь величиной усадки стружки, нельзя дать полного объяснения причинам изменения качества поверхности от  $v$  и  $S$ , в случае колебания последних в широких пределах.

Заканчивая на этом анализ имеющихся экспериментальных данных по процессу образования стружки, можно сделать следующие выводы:

1. Образование и характер изменения неровностей на обработанной поверхности, в зависимости от скорости резания и подачи, объясняется, главным образом, появлением наростов на резце и опережающих трещин.

2. По фазам изменения наростов на резце скорость резания имеет три зоны влияния на чистоту поверхности.

С увеличением  $v$  в 1-й зоне наросты быстро возрастают от 0 до максимума, после чего начинают уменьшаться до нуля в пределах 2-й зоны и не появляются совсем (или очень редко) в интервале 3-й зоны скоростей.

3. Увеличение толщины стружки (подачи) способствует возрастанию наростов на резце и образованию опережающих трещин. Первое происходит в пределах  $v$  1-й и 2-й зоны, второе — в пределах 1-й зоны  $v$  и ниже, т. е. в той области скоростей, близких к нулю, где нет действия наростов вообще.

4. Шероховатости, возникающие на поверхности под влиянием опережающих трещин и наростов на резце, характеризуют исключительно чистоту среза.

5. В зависимости от степени чистоты среза теоретическая высота основных гребешков профиля, образуемых геометрией резца в плане (рис. 30) будет увеличиваться или уменьшаться при изменении  $v$  и  $S$ <sup>1)</sup>.

Приведенные выводы позволяют в первом приближении разрешить поставленную в начале статьи задачу — объяснить причины изменения неровностей поверхности  $H$  в зависимости от  $v$  и  $S$  при обработке стали 5120 (рис. 13 и 16).

На рис. 13 верхняя точка перегиба каждой кривой, определяющая наибольшую высоту неровностей  $H$ , т. е. наихудшее качество поверхности при заданной  $S = \text{const}$ , показывает, что при обработке стали 5120, без применения поливки, наибольшая высота наростов на резце получается при  $v \approx 15$  м/мин. Как указывалось выше, проведенные наблюдения за появлением наростов на резце вполне подтверждают этот факт. На поверхностях, обработанных при  $v = 15$  м/мин, всегда заметны следы разрушения в виде глубоких рисок и рванин, особенно при больших значениях  $S$ . Об этом свидетельствует характер и величина неровностей на профилограммах рис. 14.

Понижение точки максимума кривых  $S = \text{const}$  (рис. 13) с уменьшением  $S$  зависит от двух причин:

1. От уменьшения высоты основных гребешков, образуемых профилем резца в плане (рис. 30).

2. От уменьшения надрывов и шероховатостей, вследствие уменьшения величины наростов на резце и опережающих трещин (при  $v = 15$  м/мин они возможны).

<sup>1)</sup> Диаграмма рис. 30, построенная по формулам Тишина С. Д. и Ильина В. К. (Информация, 1936, № 11 стр. 19) выражает зависимость теоретической высоты гребешков профиля поверхности от геометрии реза в плане ( $R$ ,  $\varphi$  и  $\varphi_1$ ) от подачи  $S$ .

Из рис. 13 видно, что с уменьшением  $S$  происходит также и постепенное сглаживание изгиба кривых  $S = \text{const}$ , т. е. стирание разницы влияния скорости резания на величину  $H$  в различных зонах  $v$  (например, при  $S = 1$  и  $0,055$  мм/об).

На диаграмме  $H - S$  (рис. 16) это явление выражено положением линий  $v = \text{const}$ , особенно для  $v \geq 15$  м/мин, направленных в точку  $O_2$  с координатами:  $H_0 = 2,7$  м;  $S_0 = 0,011$  мм/об.

Точка  $O_2$  показывает, что при  $S = 0,011$  м/мин чистота обработанной поверхности остается постоянной независимо от изменения  $v \geq 15$  м/мин.

Очевидно, уменьшая подачу (толщину стружки) до очень малой величины (в данном случае до  $S = 0,011$  мм/об), можно уменьшить до ничтожных размеров нарост на резце и тем самым свести к нулю его вредное влияние на качество поверхности даже при  $v = 15$  м/мин. Для проверки этого предположения была проведена серия опытов по обработке поверхностей с подачей  $S = 0,011$  мм/об при  $v = 5, 15, 60, 105$  и  $150$  м/мин. Результаты опытов приведены на рис. 13 (нижняя линия).

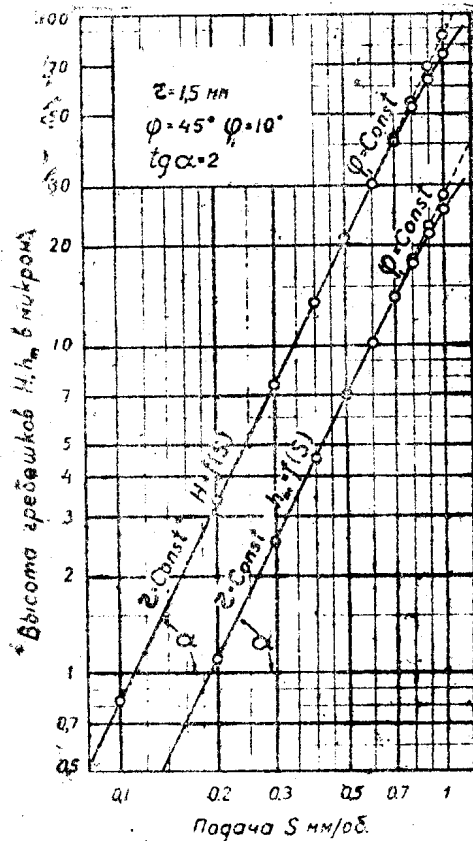


Рис. 30

По расположению точек видно, что при всех значениях  $v$  высота неровностей  $H \approx 3$  м (теоретически, по рис. 16,  $H = 2,7$  м) и кривая  $S = 0,011$  мм/об представляет в данном случае прямую линию без характерного изгиба при  $v = 15$  м/мин. Это доказывает, что при  $S = 0,011$  мм/об действительно нет вредного влияния нароста, так как его присутствие на резце вообще не было обнаружено наблюдениями во время опытов. Если допустить, что в процессе резания нарост все же образовывался, о чем можно судить по слегка матовому блеску поверхности при  $v = 15$  м/мин, то он (нарост) был настолько малых размеров, что не оказал существенного влияния на величину шероховатостей поверхности. Профилограмма, снятая с поверхности при  $v = 15$  м/мин. (рис. 18), не

обнаруживает какой-либо разницы в микрогеометрии профиля в сравнении с другими поверхностями для  $v \geq 15$  м/мин.

Так как прямая  $S = 0,011$  м/об (рис. 13) является одновременно и линией  $H = \text{const} \approx 3$  м, то поэтому подача  $S = 0,011$  мм/об была названа „критической подачей“ и величина  $H \approx 3$  м (теоретическая  $2,7$  м) — „критической чистотой“ поверхности. Та и другая величина определяет координаты „критической точки“  $O_2$  (рис. 16), о физических свойствах которой было сказано ранее.

Для обоснования закона падения кривых  $S = \text{const}$  (рис. 13) влево и вправо от точки перегиба обратимся к диаграмме  $H - S$  (рис. 16). При рассмотрении последней возникает вопрос, отчего линии  $v = \text{const}$  имеют переменный угол наклона к оси  $S$  и расположены на различной высоте. Например, в первой зоне скоростей резания ( $v \leq 15$  м/мин) линия  $v = 2$  м/мин, лежит ниже и проходит круче, чем линия  $v = 15$  м/мин. Это можно объяснить тем, что при обработке стали 5120 со скоростью резания в  $2$  м/мин. независимо от величины подачи наросты на резце отсут-



ствуют. На образование неровностей с увеличением  $S$  влияет только геометрия реза в плане и появление опережающих трещин, действие которых менее вредно (при угле резания  $\delta = 70^\circ$ ) для поверхности, чем действие наростов. С уменьшением подачи (т. е. толщины стружки) уменьшается влияние и опережающих трещин, поэтому линия  $v = \text{const}$  для 2 м/мин при переходе в область малых  $S$  опускается значительно ниже линии  $v = 15$  м/мин.

С увеличением скорости начинает проявляться вредное действие наростов и тем сильнее (по абсолютному значению  $H$ ), чем больше при этом выбрана величина подачи. Последнее хорошо заметно по резкому увеличению подъема кривых  $S = \text{const}$  в пределах I-й зоны  $v$  на рис. 13. Если судить по относительному увеличению неровностей, то вредное действие наростов происходит активнее в области малых  $S$  (табл. I).

Таблица I

$S$ мм/об	$H$ в микронах		Увеличение $H$	
	$v=2$ м/мин	$v=15$ м/мин	Абсолютное в микрон.	Относительн. в %
0,055	6	10	4	67
1,000	87	100	23	26

В соответствии с этим линии  $v = \text{const}$  (в логарифмических, координатах рис. 16) изменяют свой угол наклона в сторону уменьшения по мере увеличения  $v$  от 2 до 15 м/мин. (Поворот линий—относительно точки  $O_1$ , расположенной вне рис. 16).

При переходе во 2-ю и 3-ю зоны скоростей резания ( $v > 15$  м/мин) наклон линий  $v = \text{const}$  продолжает уменьшаться, а положение их, особенно в области больших подач, постепенно понижается за счет поворота относительно точки  $O_2$ . Одновременно на рис. 13 можно видеть, что с увеличением  $v$  во 2-й и 3-й зонах, положение правой части кривых  $S = \text{const}$  от точки перегиба становится, значительно ниже левой (1-я зона), особенно для больших значений  $S$ .

Можно ли объяснить это явление только уменьшением вредного влияния наростов на резце в связи с увеличением скорости, или здесь начинает проявлять свое действие еще какой-то фактор процесса образования стружки? Чтобы разрешить этот вопрос, было проведено сопоставление и анализ действительных высот неровностей  $H$  (рис. 16) с теоретическими (рис. 30).

Результат сопоставления представлен на рис. 31.

Линия теоретических высот гребешков поверхности проходит круче к оси  $S$  и пересекает часть экспериментальных прямых  $v = \text{const}$ . Это указывает на весьма интересное явление. Чем больше  $v$  и  $S$ , тем ниже высота действительных неровностей в сравнении с теоретическими, т. е. здесь наблюдается как бы срезание гребешков. Например, при  $S = 1$  мм/об и  $v = 200$  м/мин высота действительных неровностей меньше в 4,4 раза теоретических. На первый взгляд это кажется маловероятным и абсурдным. Однако, при внимательном анализе процесса образования стружки, данное явление становится вполне объяснимым и реальным. В первом приближении можно предположить, что явление срезания неровностей происходит по причине поперечной усадки стружки и ее наклепа. Под влиянием усадки стружка становится несколько шире теоретического сечения, а так как твердость ее всегда выше твердости обрабатываемого материала

ла (на 30÷100% по данным Герберта), то во время работы стружка сдвигаясь, начинает срезать, вернее скалывать, вершины неровностей, оставляемых профилем резца. Для пояснения процесса срезания стружкой на

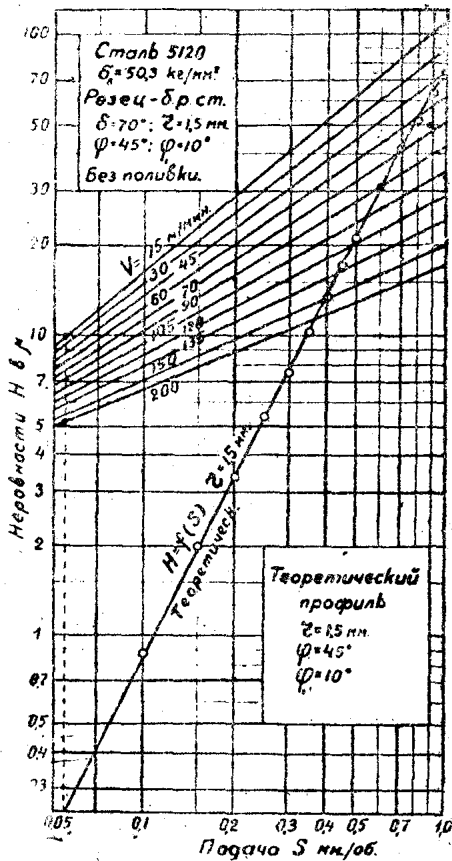


Рис. 31

волны пластических реформаций (рис. 33) твердость неровностей также несколько выше основного материала, однако твердость самой стружки настолько велика, что позволяет вполне срезать эти неровности.

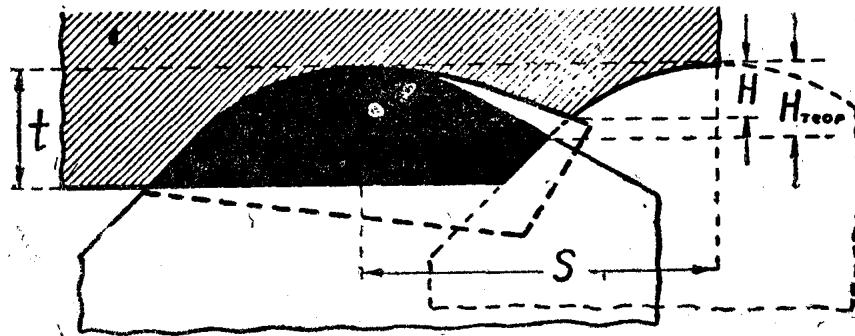


Рис. 32

С увеличением скорости резания и подачи возрастает и температура резания. Спрашивается, почему все же стружка при этом не теряет свою твердость, а следовательно, и режущее свойство? Гербертом установлено, что с повышением температуры обрабатываемая твердость материала (стружки и изделия) может колебаться в определенных пределах до тех пор (рис. 34), пока не дойдет до очень высокой температуры, вызывающей уже значительное размягчение металла. Очевидно, благодаря этой сохран-

ности наклепа до значительных температур и можно объяснить сохраняемость режущего свойства стружки, несмотря на повышение скорости резания и подачи.

По имеющимся экспериментальным данным известно, что чем больше  $v$  и  $S$  (толщина стружки), тем меньше усадка стружки не только в продольном направлении (рис. 26 и 27), но и в поперечном. На рис. 35 показана зависимость утолщения стружки (нижняя кривая) и уширение ее (верхняя кривая) от величины  $S$  по опытам Розенберга [10] с мягким железом. Из рис. 35 видно, что уширение стружки увеличивается вместе с увеличением подачи, так как глубина резания (ширина стружки) остается во время работы величиной постоянной. Несомненно, уширение стружки (при  $S = \text{const}$ ) будет уменьшаться по мере увеличения скорости. Если это так, то почему срезание неровностей продолжает все же увеличиваться с повышением  $v$ , как показывает рис. 31?

Для объяснения этого явления следует вспомнить, что с увеличением  $v$  во 2-й и 3-й зонах происходит уменьшение вредного влияния наростов на резце, отчего чистота улучшается (уменьшаются надрывы и царапины), а следовательно, уменьшается и общая высота неровностей  $H$  на обработанной поверхности. Таким образом, во 2-й и 3-й зонах скоростей с увели-

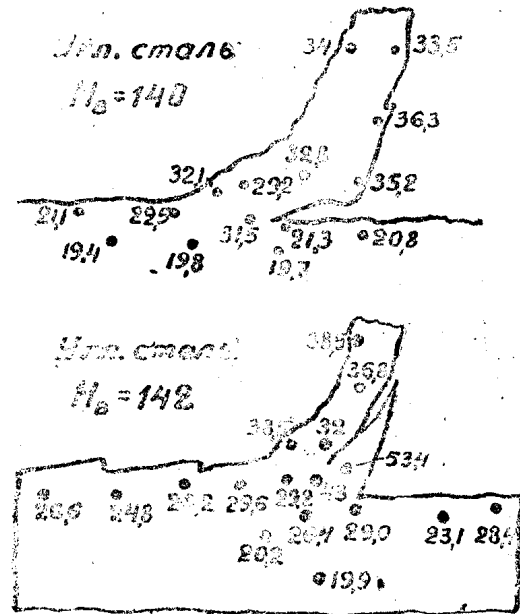


Рис. 33

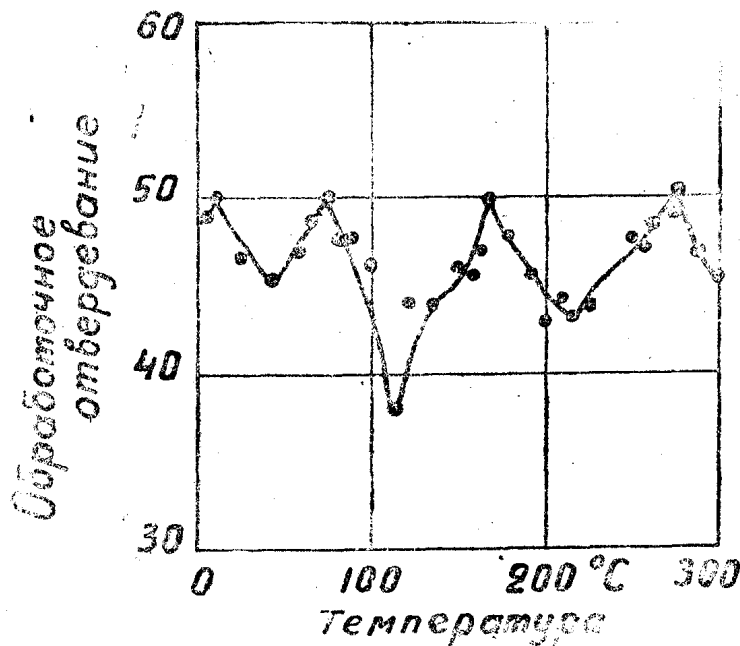


Рис. 34

чением  $v$  происходит уменьшение неровностей одновременно с двух сторон: сверху—за счет срезания стружкой вершин гребешков (несколько уменьшающееся с увеличением  $v$ ) и снизу—за счет прогрессивного умень-

шения впадин (надрывов и царапин) по мере исчезновения наростов на резце. Это двухстороннее действие и создает явление усиленного уменьшения действительных неровностей (даже ниже теоретических, рис. 31) и объясняет причину резкого снижения кривых  $S = \text{const}$  (рис. 13) с увеличением  $v$  в пределах от 15 до 150 м/мин.

Наоборот, с уменьшением  $v$  (2-я зона, рис. 13) срезание гребешков профиля (сверху) несомненно будет увеличиваться, вследствие увеличения

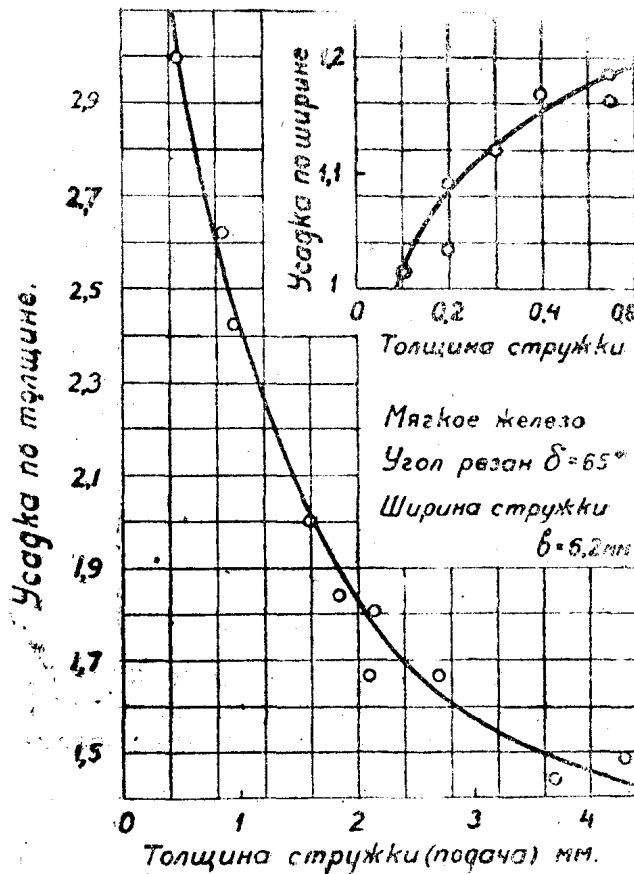


Рис. 35

усадки стружки, но наряду с этим, под влиянием возрастающих наростов на резце, сильно увеличиваются и дополнительные надрывы и шероховатости (снизу), отчего общая высота неровностей  $H$  неизбежно начинает увеличиваться, достигая максимума при  $v \approx 15$  м/мин.

Как доказать, почему с повышением  $v > 150$  м/мин (рис. 13 и 16) величина неровностей  $H$ , или что то же, чистота поверхности изменяется незначительно, а при  $v > 200$  м/мин остается почти неизменной при заданной  $s = \text{const}$  (рис. 13)? Последнее явление можно объяснить на основании следующего.

Во-первых, при обработке стали 5120 (без поливки, при  $S \leq 1$  мм/об) со скоростью резания 150 м/мин и выше достигается стабильность в чистоте среза, так как прекращается вредное влияние наростов на резце, появление которых не наблюдалось даже при больших значениях  $S$ .

Во-вторых, при этих скоростях резания достигается стабильность и в усадке стружки (при данной геометрии резца), а следовательно, — стабильность и в срезании вершин неровностей стружкой.

То и другое обстоятельство показывает, что с увеличением  $v > 200$  м/мин (при  $S = \text{const}$ ) нет никаких причин к дальнейшему уменьшению неровностей на обработанной поверхности, а потому и качество последней должно оставаться постоянным. Это подтверждается горизонтальным направлением линий  $S = \text{const}$  (рис. 13) в области  $v$  свыше 200 м/мин.

Итак, результат проведенного анализа показывает, что закон изменения чистоты поверхности (неровностей  $H$ ) в зависимости от изменения  $v$  и  $S$ , полностью соответствует законам процесса образования стружки. Иного положения не должно и быть, так как все явления, связанные с процессом снятия стружки (вместе с геометрией резца) являются основными причинами появления неровностей на обработанной поверхности.

Пользуясь данным методом анализа, разберем критически результаты опытов Валлиха и Франка по чистовой обработке стали, без охлаждения (рис. 20). Здесь, прежде всего, привлекают внимание два максимума в кривых неровностей (при  $S = \text{const}$ ). Можно предполагать, что при образовании наибольших неровностей с увеличением  $v$  происходит такое же колебание и в размерах наростов на резце. Если сравнить характер из-

нения неровностей (рис. 20) и наростов на резце (рис. 19), полученных также в опытах Валлихса и Франка, то это предположение оправдывается. Следует указать, что подобного явления по данным других исследований не наблюдалось. Например, в нашем исследовании со сталью 5120 при самых разнообразных значениях  $v$ ,  $S$  и  $t$ , не было обнаружено образования двух максимумов в кривых неровностей (рис. 13). Точно так же по опытам Де пьере (рис. 21) и Шимца (рис. 22), производивших испытания с материалами различной твердости, нет и признака появления двух повышений в кривых поверхностей. Следовательно, нет основания предполагать о существовании двух максимумов и в изменении наростов, имеющих место по данным Валлихса и Франка (рис. 19). Анализируя наши опыты по изучению процесса образования наростов (рис. 23) и опыты, проведенные другими исследователями, мы также не находим подтверждения указанному явлению.

Кроме этого, в опытах Валлихса и Франка (рис. 20) имеется и второе ничем не обоснованное положение. С повышением  $v$  от 30 м/мин и выше неровности (измеренные в направлении подачи) уменьшаются тем быстрее, чем больше  $S$ . Вряд ли это обстоятельство соответствует действительности, так как высота неровностей должна возрастать с увеличением  $S$ , под влиянием геометрии резца в плане. Особенно странно видеть (рис. 20), чтобы величина неровностей при  $S=0,0425$  была больше, чем при  $S=0,67$  в пределах  $v$  от 100 до 150 м/мин. Данное явление не подтверждается ни результатами наших опытов (рис. 12 и 16), ни опытами Де пьере (рис. 21) и не поддается объяснению с точки зрения явлений процесса образования стружки если  $\phi > 0^\circ$ .

### Заключение

1. Проведенное исследование показывает, что закономерность изменения чистоты поверхности (неровностей  $H$ ) в зависимости от изменения  $v$  и  $S$  (рис. 13 и 16) вполне объясняется явлениями процесса образования стружки.

2. Основными причинами образования шероховатостей на обработанной поверхности являются наросты на резце и опережающие трещины, которые, в свою очередь, зависят от  $v$  и  $S$  (толщины стружки).

3. Шероховатости характеризуют только чистоту среза. Общая высота неровностей на поверхности  $H$ , при измерении в направлении подачи, зависит и от чистоты среза и от высоты гребешков, образуемых профилем резца.

4. В 1-й зоне  $v \leq 15$  м/мин на величину  $H$  влияют наросты на резце и опережающие трещины, во 2-й и 3-й зонах  $v = 15 \div 200$  м/мин — наросты (и наслоения) на резце и явление срезания стружкой, вследствие поперечной усадки последней.

5. С увеличением  $v > 200$  м/мин (при  $S = \text{const}$ ), усадка стружки и чистота среза становятся стабильными, поэтому нет причин к дальнейшему изменению неровностей.

6. Температура резания (по Рапатцу) и усадка стружки (по Лейензеттеру) являются факторами, не дающими исчерпывающего объяснения закономерности изменения неровностей на поверхности при изменении  $v$  и  $S$  в широких пределах.

7. Кривые чистоты поверхности по опытам Валлихса и Франка (рис. 20) не заслуживают доверия, так как не поддаются анализу с точки зрения явлений процесса образования стружки.

8. Полное соответствие закономерности изменения чистоты поверхности по стали 5120 (рис. 13 и 16) с явлениями процесса образования струж-

ки еще раз подтверждает надежность выводов по данным опытам и дает основу теоретического обоснования зависимости  $H = f(v \text{ и } S)$ .

9. Приведенный метод анализа позволяет осуществить теоретическую проверку любой экспериментальной зависимости  $H$ , как функции любого фактора процесса резания (геометрия резца, поливка, качество обрабатываемого материала и т. д.) при условии отсутствия дрожания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Герберт Е.—Maschinenbau, 1937, s. 991; 1925, s. 72.
2. Клоков Н. Ф.—Твердые сплавы и их применение при обработке металлов резанием Труды ЦНИИМАШ, 1938, стр. 32.
3. Розенберг А. М.—Экспериментальное исследование процесса образования металлической стружки. Томск. 1929.
4. Розенгейн В. и Стерней А.—Proc. of the Inst. of Mech. Eng., London, 1925.
5. Рапатц Ф.—Реферат. Stahl und Eisen, 1920, S. 806.
6. Соколов Б. Г.—О форме обдирочных резцов. Известия бывш. Донского Политехнического Института. Том III, вып. 1, 1914.
7. Глебов С. Ф.—Научные основы наиболее выгодного резания металлов. 1936.