



стружки может сказаться лишь через соответствующее изменение коэффициента трения.

Но если в процессе резания при данном угле резания имеет место определенная величина коэффициента трения, то этому значению коэффициента трения соответствует вполне определенная величина усадки стружки независимо от того, какие значения имели при этом иные параметры процесса. Ниже мы попытаемся доказать высказанную точку зрения.

В 1893 г. проф. Зворычкиным К. А. [4] было аналитически получено уравнение для угла  $\beta_1$

$$\beta_1 = \delta - \frac{\delta}{2} - \left( \frac{\mu + \mu_1}{2} \right),$$

где:  $\beta_1$  — угол, определяющий положение плоскости сдвига,

$\delta$  — угол резания,

$\mu$  и  $\mu_1$  — коэффициенты внешнего и внутреннего трения.

Таким образом, уже здесь имеется указание на то, что угол  $\beta_1$  (а, следовательно, и величина усадки стружки  $\zeta$ , им определяемая) зависит от угла резания и коэффициента трения.

В приведенном уравнении проф. Зворыкина К. А. не находят своего самостоятельного влияния на угол  $\beta_1$  (или на усадку стружки) ни величина подачи, скорости резания, ни физико-механические характеристики металла, никакие иные параметры процесса резания.

Основываясь на экспериментальных исследованиях, в 1949 г. проф. Розенберг А. М. и проф. Еремин А. Н. [5] приходят к выводу о том, что „с изменением температуры на передней грани изменяется коэффициент трения стружки по передней грани и геометрия нароста, что определяет направление равнодействующей силы на передней грани. Направление равнодействующей силы в свою очередь определяет положение плоскости максимальных скалывающих напряжений и величину усадки“. То есть и здесь подчеркивается, что величина усадки зависит лишь от направления равнодействующей силы на передней поверхности, которое в свою очередь определяется геометрией инструмента (передним углом) и коэффициентом трения. Иные же параметры процесса резания могут оказывать влияние на величину усадки лишь постольку, поскольку они изменяют коэффициент трения стружки по передней поверхности.

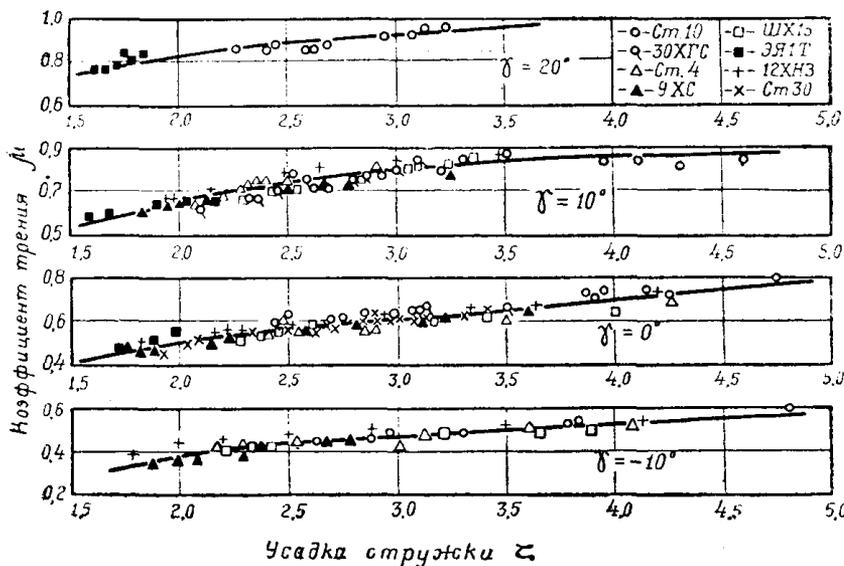
Это положение удовлетворительно подтверждается обширными экспериментальными данными последних лет, полученными различными исследователями.

Экспериментально впервые зависимость  $\zeta = f(\mu)$  для постоянного переднего угла  $\gamma = +10^\circ$  была получена Н. Н. Зоревым [6]. Обработке были подвергнуты стали различных марок. Приводимый автором график дал хорошее совмещение опытных точек для самых различных сталей на одну общую кривую. Однако Н. Н. Зорев при этом делает оговорку, что для различных материалов в силу разницы их механических свойств, определяющих напряженное состояние пластической зоны, кривые  $\zeta = f(\mu)$  не должны совпадать. Автор предполагает, что хорошее совмещение опытных точек на одной общей кривой  $\zeta = f(\mu)$  объясняется непосредственным влиянием скорости резания на ориентацию главных осей деформации в пластической зоне.

Подобное предположение, по нашему мнению, является недостаточно убедительным. В самом деле, трудно предполагать, чтобы совместное влияние механических свойств обрабатываемого материала и скорости резания во всех случаях приводило бы к совмещению опытных точек на одну общую зависимость. Наличие однозначной связи усадки стружки с коэффициентом трения объективно указывает на определенную роль

коэффициента трения стружки по передней грани в процессе стружкообразования. В этой однозначной связи  $\zeta = f(\mu)$  не нашли своего самостоятельного влияния на усадку стружки различные физико-механические характеристики обрабатываемых металлов.

Несколько позднее, в 1952—1953 гг. Л. А. Хворостухин [7] установил, что полученная Зоревым Н. Н. зависимость между коэффициентом трения и усадкой стружки хорошо подтверждается при точении различных марок сталей и для передних углов  $\gamma = +20^\circ; +10^\circ, 0^\circ - 10^\circ$  (фиг. 1).



Фиг. 1

В таблице 1 приведен химический состав сталей, подвергаемых обработке. Здесь же указаны их некоторые физико-механические характеристики.

Таблица 1

Марка стали	C <sup>0/0</sup>	Mn <sup>0/0</sup>	Si <sup>0/0</sup>	Cr <sup>0/0</sup>	Ni <sup>0/0</sup>	Ti <sup>0/0</sup>	$\sigma_0 \frac{кг}{мм^2}$	n	H <sub>B</sub>
10	0,05—0,15	0,35—0,65	0,17—0,37	—	—	—	54,6	0,28	110—116
Ст—4	0,18—0,27	0,4—0,7	0,12—0,35	—	—	—	62	0,25	132
30	0,25—0,35	0,25—0,35	0,17—0,37	0,3	—	—	77	0,2	150
ШХ—15	0,95—1,1	0,2—0,4	0,15—0,35	1,3—1,65	0,2	—	83,8	0,27	199—204
30ХГС	0,25—0,35	0,8—1,1	0,9—1,2	0,8—1,1	—	—	84,5	0,23	198
9ХС	0,85—0,95	0,3—0,6	1,2—1,6	0,95—1,25	0,3	—	94,5	0,155	197—202
12ХНЗА	0,17	0,25—0,55	0,17—0,37	0,8—1,1	0,5	—	78	0,165	178
ЭЯТ	0,15	0,9	0,7	17,44	10,2	0,5	85,5	0,455	163—167

Здесь  $\sigma_0$  — условный предел текучести,  
 $n$  — показатель политропы напряжений при сжатии,  
 $H_B$  — твердость по Бринелю.

При этом опыты для каждого из передних углов проводились с различными подачами, глубинами резания, при различных скоростях резания.

Однако все эти факторы, как и различие физико-механических характеристик обрабатываемых сталей, не нашли своего самостоятельного влияния в зависимости  $\zeta = f(\mu)$ . Для каждого из передних углов мы наблюдаем удовлетворительное совмещение всех опытных точек на одну общую кривую, причем относительное расположение опытных точек на графиках не связано с какими-либо иными параметрами процесса резания.

Здесь будет уместным заметить, что зависимость  $\zeta = f(S)$ , которую приводят в своей работе проф. Кривоужов В. А. и к.т.н. Невзоров А. И. [2], была получена ими при проведении опытов с постоянной скоростью резания. Вполне естественно при этом, что с увеличением толщины среза (подачи) имело место увеличение температуры резания, сопровождающееся снижением коэффициента трения стружки по передней поверхности режущего инструмента, что и обуславливало снижение величины усадки стружки с увеличением подачи. Последнее авторами работы объясняется иначе. Их точка зрения будет ясна из следующего замечания: „является естественным, что при высокой скорости резания при малой толщине стружка успевает прогреться за время деформации; при большей толщине стружки этого может и не быть. В результате с увеличением подачи  $S$  усадка стружки уменьшается“. Такое объяснение, по нашему мнению, является неубедительным. Во-первых, если бы толщина среза (подача) оказывала непосредственное влияние на величину усадки стружки в результате различной способности к прогреву стружек различной толщины, то при постоянной температуре резания следовало бы ожидать большую усадку у тонкой стружки. Однако, как показывают опыты [5,8], усадка стружки при постоянной температуре резания с изменением подачи практически не изменяется. Кроме того, в рассматриваемой же нами работе авторы ее приводят график зависимости  $\zeta = f(V)$  при постоянной подаче  $S = 0,15$  мм/об.

Из этого графика видно, что в диапазоне скоростей резания 50—600 м/мин усадка стружки с увеличением скорости резания (а следовательно, и с увеличением температуры резания) заметно уменьшается. При этом стружка сходит все более и более нагретой. Если же придерживаться точки зрения авторов работы [2], то следовало бы ожидать увеличения усадки стружки, так как при постоянной толщине среза более прогретая стружка должна бы больше деформироваться. Однако фактически этого нет.

Однозначная связь между коэффициентом трения и степенью пластической деформации срезаемого слоя металла, подмеченная Зоревым Н. Н. и Хворостухиным Л. А., имеет место не только при точении сталей. Об этом свидетельствуют опыты Промптова А. И. [9] по торцевому фрезерованию сталей (фиг. 2).

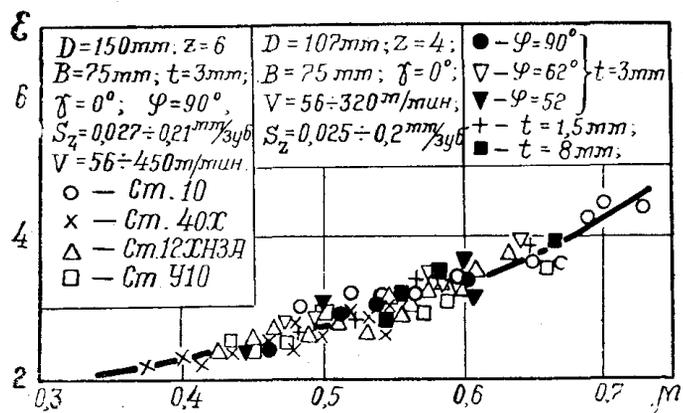
Очевидно, что если с увеличением коэффициента трения возрастает усадка стружки, то при этом будет увеличиваться и относительный сдвиг  $\varepsilon$ . На фиг. 2 представлен график  $\varepsilon = f(\mu)$ . Здесь нанесены точки, полученные по данным опытов, проведенных по сталям 10, 35, У10, 12ХНЗА, 40Х с изменением параметров резания в пределах: скорости резания  $V = 56—450$  м/мин, подачи на зуб  $S_z = 0,027—0,21$  мм/зуб, глубины резания  $t = 1,5—8$  мм и главного угла в плане  $\varphi = 52—90^\circ$ . Из приведенного графика видно, что относительный сдвиг удовлетворительно определяется коэффициентом трения стружки по передней поверхности при изменении условий резания в достаточно широких пределах.

В таблице 2 нами приведены результаты опытов Ю. А. Розенберга [10] по точению серого чугуна.

Анализ таблицы показывает, что и при точении чугуна при постоянном переднем угле наблюдается та же качественная связь между коэффициентом трения и степенью деформации, ибо с ростом угла трения  $\eta$  угол  $\beta_1$

уменьшается, а, следовательно, возрастет усадка стружки, так как между усадкой стружки и углом  $\beta_1$  существует зависимость:

$$\zeta = \frac{\cos(\beta_1 - \gamma)}{\sin \beta_1}$$



Фиг. 2

Таблица 2

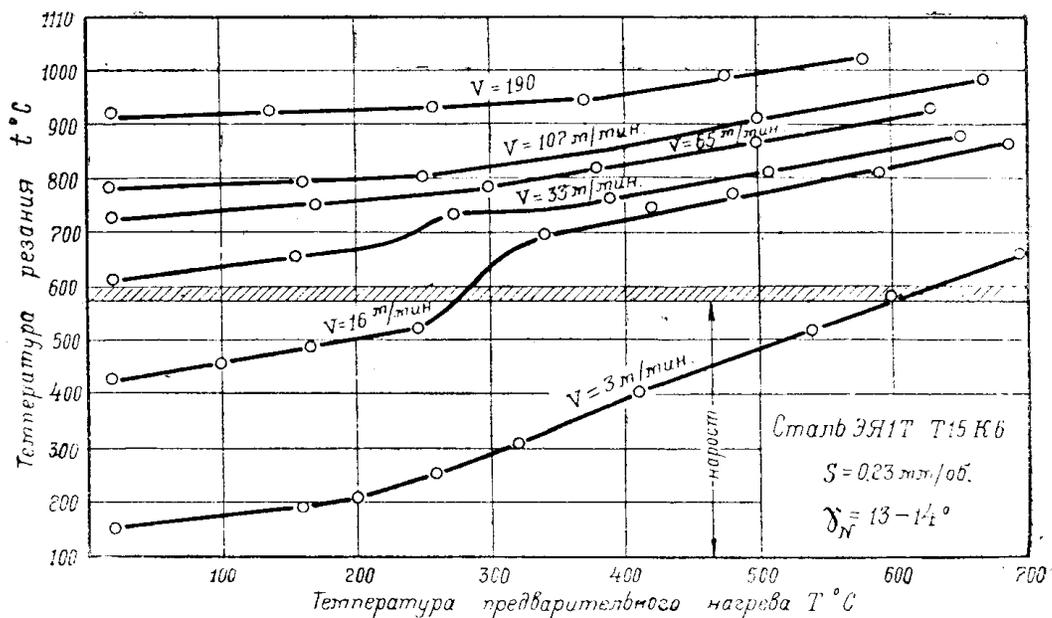
$\gamma = +20^\circ$		$\gamma = +10^\circ$		$\gamma = 0^\circ$		$\gamma = -10^\circ$	
$\beta_1$	$\eta$	$\beta_1$	$\eta$	$\beta_1$	$\eta$	$\beta_1$	$\eta$
29°	43°20'	24°	39°20'	20°30'	34°25'	15	25°35'
41°	40°20'	35°	36°	30°	32°45'	21°30'	25°30'
46°	36°27'	42°30'	31°35'	36°	30°40'	26°30'	24°25'
50°	31°30'	47°	27°10'	39°	27°40'	31°30'	23°30'
52°30'	29°35'	50°	24°20'	42°30'	24°40'	35°30'	21°35'
53°30'	28°10'	51°	23°15'	45°	21°	38°	18°40'

Для выяснения влияния факторов процесса резания на деформацию стружки определенный интерес представляют результаты наших опытов по точению стали ЭЯТ и ст. 40 в холодном и нагретом состоянии. Нагрев обрабатываемых болванок осуществлялся в электрической печи камерного типа. Температура нагрева  $T$  в опыте контролировалась специальным термощупом. Температура резания  $t$  измерялась методом естественной термопары. На фиг. 3, 4, 5 представлены соответственно графики  $t=f(T)$ ,  $\zeta_a=f(T)$  и  $\mu=f(T)$  для шести скоростей резания от 3 до 190 м/мин.

Из фиг. 3 видно, что с увеличением температуры предварительного нагрева стали температура резания возрастает для всех исследованных скоростей резания. Отметим, что для скорости резания 16 м/мин в зоне температур подогрева 250–350°С наблюдается значительный подскок температуры резания, а при точении со скоростью 33 м/мин некоторый подскок температуры резания заметен при увеличении температуры нагрева стали от 150 до 270°С. Проводя опыты, можно было обнаружить, что при точении стали со скоростью 3 м/мин нарост имел место на всем диапазоне температур подогрева стали вплоть до 600°С. Лишь при  $T=700^\circ\text{C}$  нарост

не был обнаружен. При точении со скоростью 16 м/мин исчезновение нароста можно было наблюдать при нагреве стали до 300°C. Если обратиться к фиг. 6, где представлены зависимости  $t=f(V)$  и  $\zeta=f(V)$ , полученные при обработке стали ЭЯ1Т в холодном состоянии, то можно убедиться, что нарост имел место в том же диапазоне температур резания.

Следовательно, наличие нароста обуславливалось лишь определенным температурным режимом, устанавливавшимся на передней поверхности резца, независимо от того, за счет изменения каких факторов устанавливался этот режим. При точении холодной стали температура резания менялась за счет изменения скорости резания, в опытах же с нагретой сталью — за счет изменения температуры нагрева стали при постоянной скорости резания. Зона температур резания, при которых имеет место нарост на фиг. 3, ограничена горизонтальной полосой.



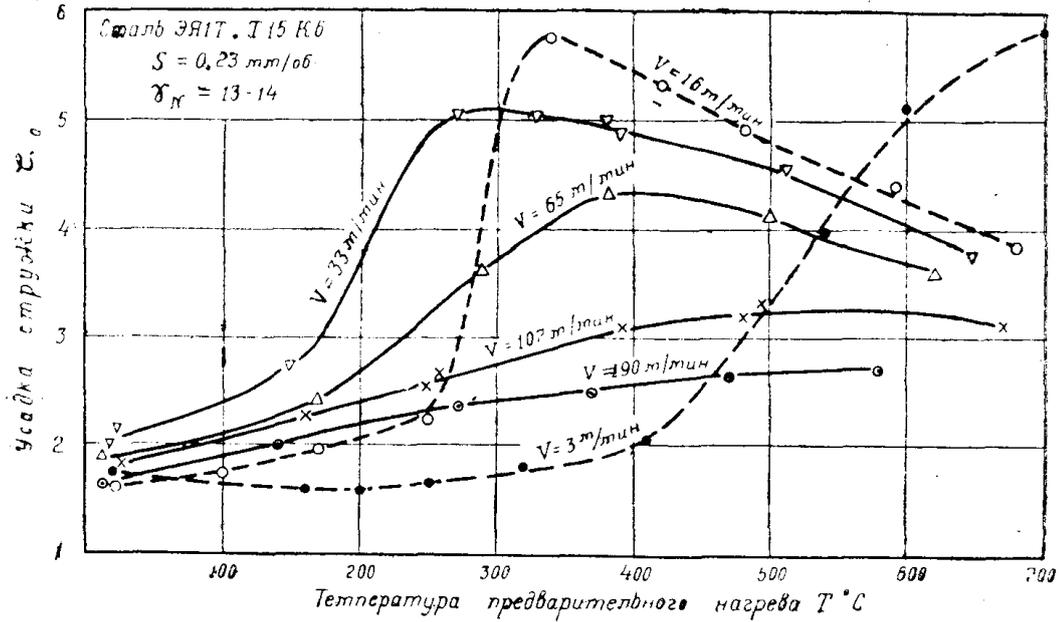
Фиг. 3

Анализируя характер изменения усадки стружки (фиг. 4) с увеличением температуры нагрева нержавеющей стали, можно заметить, что усадка стружки очень сильно зависит как от степени нагрева стали, так и от скорости резания. Характер кривых  $\zeta=f(T)$  при  $V=3 \text{ м/мин}$  и  $V=16 \text{ м/мин}$  обуславливался наличием нароста на резце. Момент же исчезновения нароста сопровождался чрезвычайно сильным ростом усадки стружки ( $V=16 \text{ м/мин}$ ) от  $\zeta_a=2,2$  до  $\zeta_a=5,8$ . Столь сильный рост усадки стружки, а, следовательно, степени пластической деформации, не мог не сопровождаться интенсивным тепловыделением, что, повидимому, и нашло свое отражение в отмеченном выше „подскоке“ температуры резания.

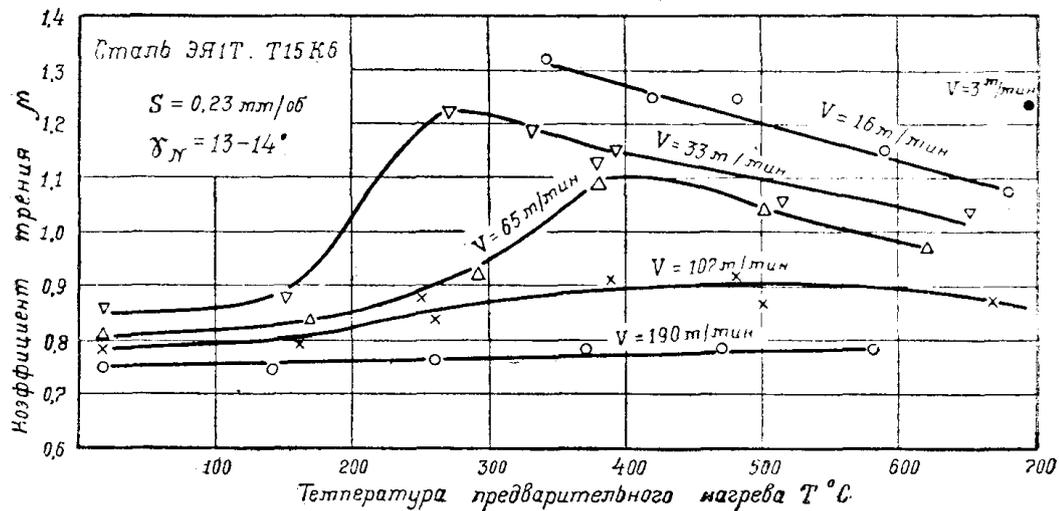
Кроме того, из рассмотрения фиг. 4 следует, что для скоростей резания, при которых нарост отсутствует, усадка стружки с увеличением температуры нагрева изменяется по кривым, имеющим максимум. Причем, максимум кривой усадки стружки для меньших скоростей резания сдвинут в область более низких температур нагрева стали и имеет при этом большее абсолютное значение. Подчеркнем некоторую особенность процесса резания, которая была вскрыта при обработке нагретой стали ЭЯ1Т. Заключается эта особенность в том, что изменение температуры резания вследствие изменения температуры нагрева стали, оказывало иное влия-

ние на характер изменения усадки стружки по сравнению с тем влиянием, которое имело место в случае изменения температуры резания за счет изменения скорости резания при точении стали в холодном состоянии.

Из фиг. 6 видно, что с увеличением температуры резания выше  $600^{\circ}\text{C}$  за счет увеличения скорости резания выше  $33 \text{ м/мин}$  (т. е. в области, где нарост отсутствует) наблюдается монотонное снижение величины усадки



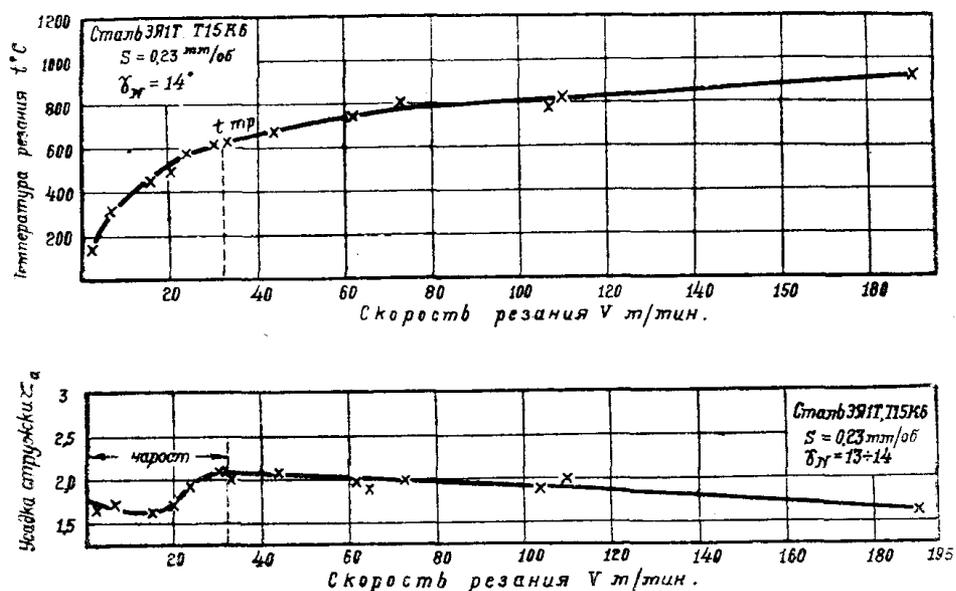
Фиг. 4



Фиг. 5

стружки. При точении же нагретой стали с постоянной скоростью резания ( $33, 65, 107$  или  $190 \text{ м/мин}$ , фиг. 4), но когда температура резания, проходя те же значения ее, что и при обработке холодной стали, повысилась за счет увеличения температуры нагрева стали, можно наблюдать изменение усадки стружки по некоторым кривым, имеющим максимум. Следовательно, известное положение [8] о том, что в процессе резания (для данного обра-

батываемого материала и при постоянном переднем угле) определенной температуре резания независимо от способа ее получения соответствует постоянная усадка стружки, справедливо лишь при обработке резанием малолегированных сталей как в холодном, так и нагретом состоянии [11]. Это правило не распространяется на процесс резания высоколегированных сталей (в частности стали ЭЯ1Т) в нагретом состоянии.



Фиг. 6

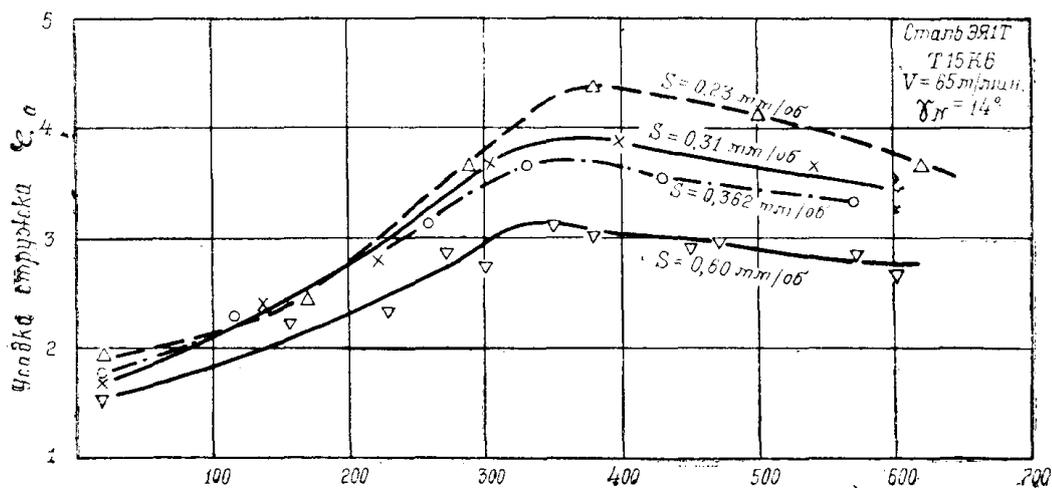
Наличие же нароста на резце, его максимальное развитие и исчезновение обуславливается температурой резания независимо от способа ее получения. Справедливость этого положения, как показывают опыты, распространяется на стали углеродистые [8, 11] и высоколегированные (фиг. 3, 4, 6).

Кривые изменения усадки стружки с нагревом стали можно будет объяснить, если проследить при этом за характером изменения коэффициента трения между стружкой и передней поверхностью резца. На фиг. 5 представлены зависимости  $\mu = f(T)$  для всех исследованных скоростей резания. Значения коэффициента трения для скоростей резания 3 и 16 м/мин подсчитаны нами лишь для тех опытов, где отсутствовал нарост. Нетрудно заметить, что общий характер функциональных зависимостей  $\mu = f(T)$  подобен тому, который мы наблюдали при анализе зависимостей  $\zeta_a = f(T)$ . Во всех случаях, где с изменением температуры нагрева нержавеющей стали наблюдается увеличение коэффициента трения, можно было наблюдать и рост усадки стружки. Снижение коэффициента трения вызвало соответствующее снижение усадки, максимум коэффициента трения при определенной температуре предварительного подогрева обуславливает максимум усадки стружки при той же температуре подогрева стали.

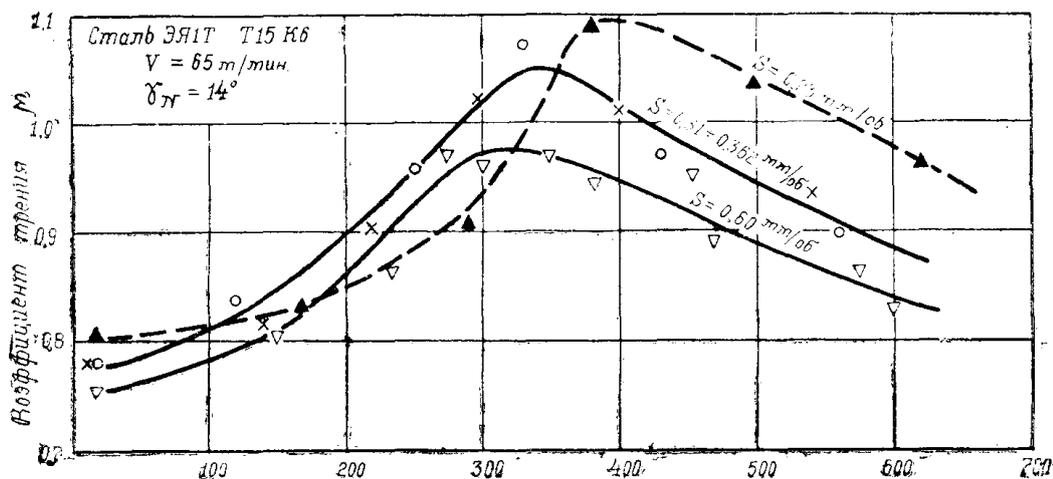
Таким образом, можно констатировать, что характер изменения усадки стружки при постоянном угле резания определяется соответствующим изменением коэффициента трения между стружкой и передней поверхностью резца, а так же геометрией нароста, если в процессе резания создаются условия для его образования. Не имея возможности в рамках настоящей статьи останавливаться на некоторых соображениях по поводу причин наблюдаемого характера изменения зависимостей  $\mu = f(T)$ , тем

более, что это не имеет прямого отношения к обсуждаемому вопросу, мы ограничимся лишь указанием на то, что в процессе обработки резанием нагретой стали ЭЯТ была вскрыта некоторая особенность, на которой мы кратко уже останавливались.

На фигурах 7, 8, 9 представлены аналогичные же зависимости  $\zeta_a = f(T)$ ,  $\mu = f(T)$  и  $t = f(T)$ , полученные при точении нагретой стали ЭЯТ с постоянной скоростью резания и различными подачами. Совместное рассмот-



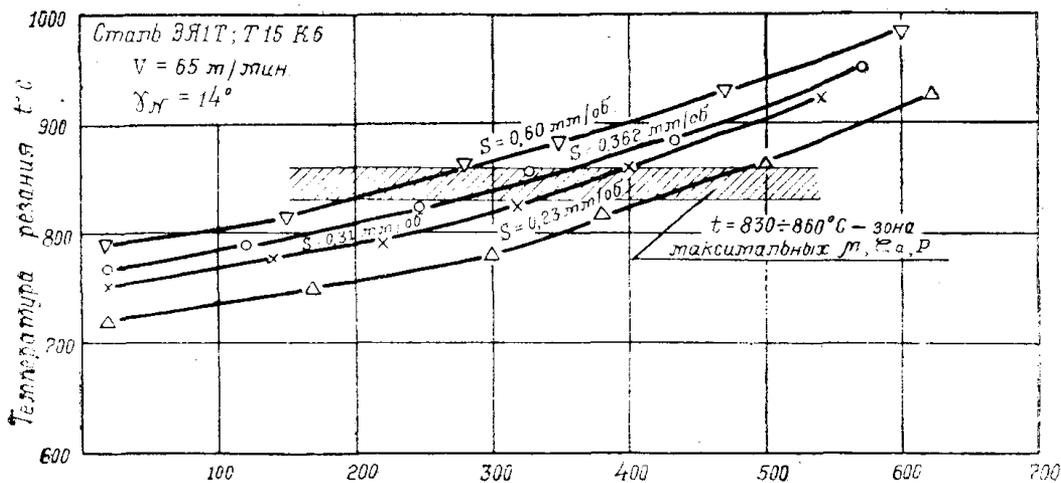
Фиг. 7



Фиг. 8

рение этих фигур позволяет сделать заключение о том, что подача оказывает влияние на усадку стружки и коэффициент трения как температурный фактор. Об этом свидетельствует то обстоятельство, что максимумы кривых  $\zeta_a = f(T)$  и  $\mu = f(T)$  для различных подач наступают примерно при одинаковой температуре резания, ограниченной на фиг. 9 горизонтальной полосой. Различие же абсолютных значений максимумов усадок стружки и коэффициентов трения для различных подач объясняется нами различным состоянием обрабатываемого металла в точках максимумов кривых в силу разной степени его нагрева. Вполне естественно, что для раз-

личных обрабатываемых материалов (или для различного состояния одного и того же металла благодаря разной степени его нагрева) при постоянной температуре резания следует ожидать различных значений коэффициента трения, а, следовательно, и усадки стружки.



Фиг. 9

Тот факт, что с нагревом стали ЭЯ1Т изменяются ее физико-механические характеристики, иллюстрируется фигурами 10, 11, 12. Здесь представлены полученные нами зависимость твердости по Бринелю от температуры нагрева стали и диаграммы сжатия образцов стали ЭЯ1Т при температурах: 20°C, 150°C, 300°C, 400°C и 500°C. По этим диаграммам нетрудно получить значения условного предела текучести ( $\sigma_0$ ) и показателя политропы напряжений ( $n$ ) при сжатии. Эти данные сведены в таблице 3. В той же таблице приведены значения временного сопротивления ( $\sigma_B$ ) при различных температурах нагрева стали ЭЯ1Т по данным А. А. Шмыкова [12].

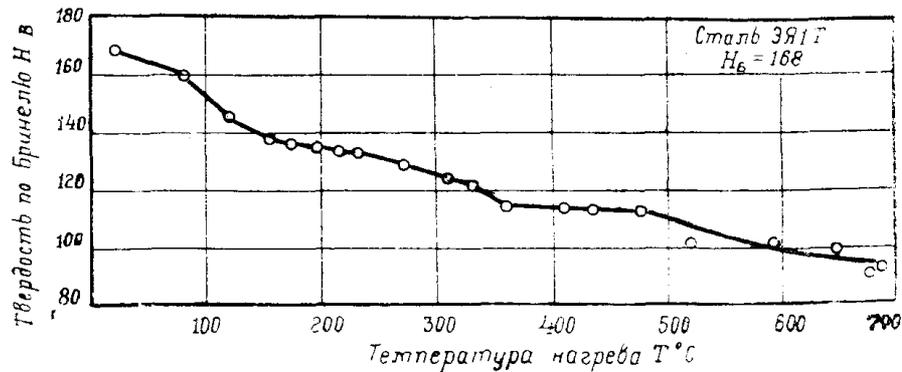
Таблица 3

Т°С	20	150	300	400	500	700	800	900
$\sigma_B \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$	66	—	—	48,7	—	30,3	18,3	10
$\sigma_0 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$	88	78	66	65	59	—	—	—
$n$	0,47	0,40	0,37	0,35	0,3	—	—	—

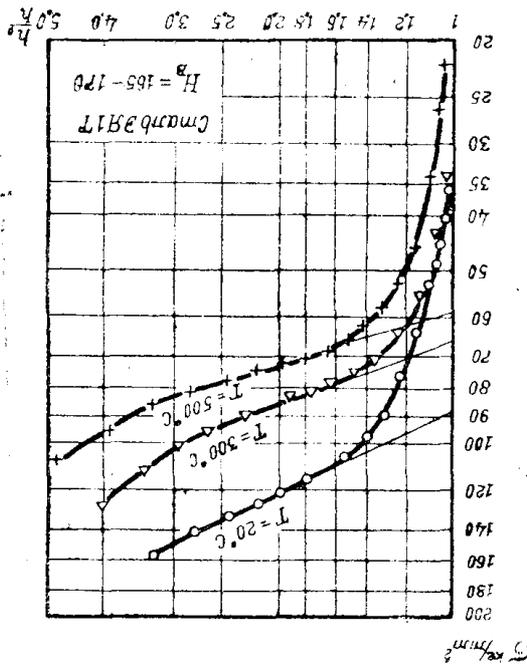
Анализ фиг. 10 и таблицы 3 показывает, что с увеличением температуры нагрева стали происходит монотонное снижение всех приведенных физико-механических характеристик:  $H_B$ ,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_0$ ,  $n$ .

Следовательно, с нагревом стали ЭЯ1Т изменяется ее состояние, изменяются физико-механические характеристики ее, вследствие чего мы и наблюдали различные значения коэффициента трения в точках максимумов кривых  $\mu = f(T)$ , когда температура резания при различных подачах имела

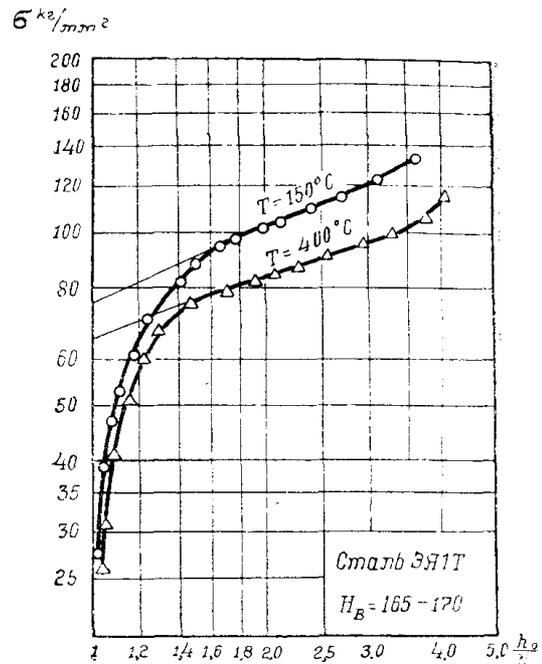
примерно одинаковое значение (фиг. 8, 9). Кроме того, из совместного рассмотрения фиг. 4, 7, 10 и таблицы 3 видно, что монотонное изменение физико-механических характеристик стали ЭЯ1Г с ее нагревом не влечет за собой соответствующего изменения усадки стружки. Вследствие этого нам не представляется возможным поставить изменение усадки стружки в непосредственную зависимость от физико-механических свойств обрабатываемых металлов.



Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12

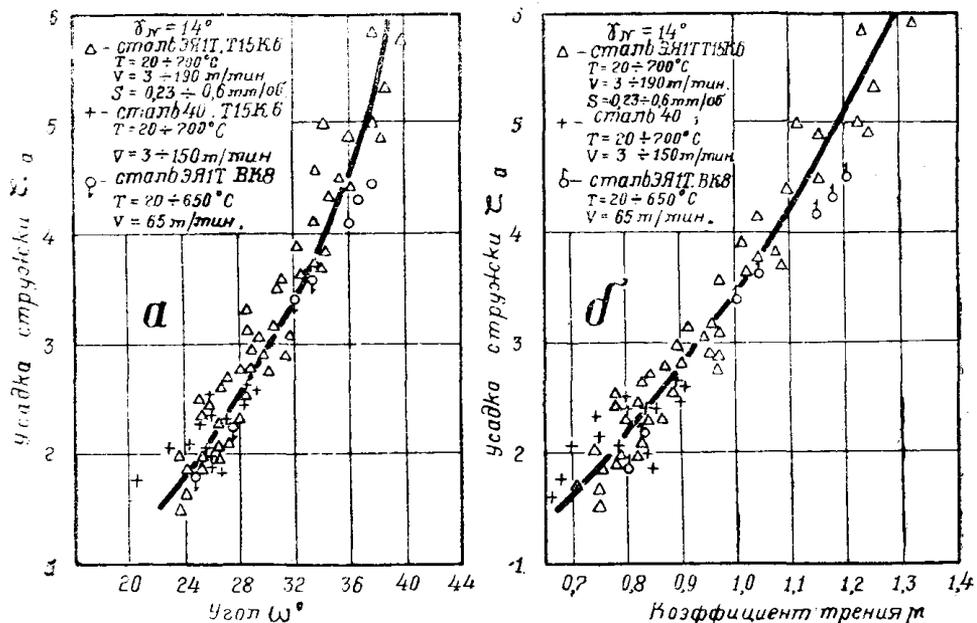
Исследования процесса резания нагретой нержавеющей стали нами проведены при достаточно широких изменениях условий резания. Скорость резания изменялась в пределах от 3 до 190 м/мин, подача от 0,23 до 0,6 мм/об. Точению подвергалась нержавеющая сталь, нагретая от 20 до 700°C, когда физико-механические свойства ее значительно изменялись. Резец оснащался пластинками твердых сплавов Т15К6 и ВК8.

Часть опытов была проведена по точению холодной и нагретой ст. 40. При точении нагретой стали ЭЯ1Г были вскрыты некоторые особенности

ее обработки резанием по сравнению с обработкой ее в холодном состоянии и с процессом резания холодных и нагретых углеродистых сталей.

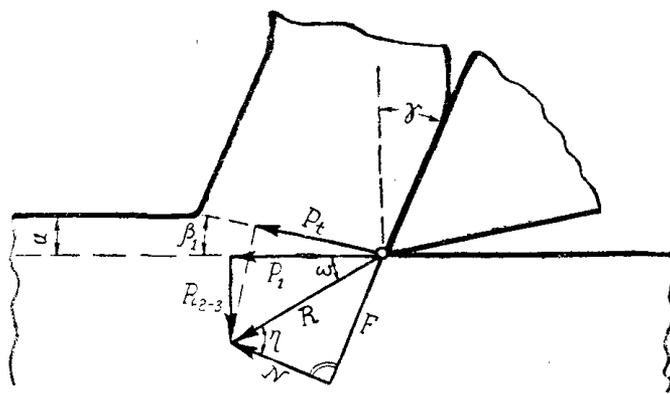
Однако при значительной разнице условий резания все же можно достаточно ясно увидеть общую взаимосвязь явлений процесса резания.

На фиг. 13 а, б в координатах усадка стружки  $\zeta_a$  — угол  $\omega$  и усадка стружки  $\zeta_a$  — коэффициент трения  $\mu$  нанесены опытные точки, полученные при точении холодной и нагретой до  $700^\circ\text{C}$  стали ЭЯ1Т резцом, оснащен-



Фиг. 13

ным сплавом Т15К6 и ВК8, а также опытные точки, полученные при точении холодной и нагретой стали 40. Все экспериментальные точки с достаточной степенью точности расположились вдоль некоторой кривой. Отклонения экспериментальных точек от кривой по углу  $\omega$  не превышают  $8-10\%$ . При этом заметим, что относительное расположение опытных точек на графике не связано с какими-либо условиями резания. Угол  $\omega$  характеризует собой направление равнодействующей силы резания (фиг. 14).



Фиг. 14

На основании фиг. 13а можно сделать вывод о том, что между углом  $\omega$  и усадкой стружки существует однозначная связь, следовательно величина

усадки стружки при постоянном переднем угле инструмента определяется направлением равнодействующей силы резания.

Однако само направление равнодействующей силы зависит от коэффициента трения стружки по передней поверхности. Естественно ожидать, что в случае наличия связи между коэффициентом трения и направлением равнодействующей, с одной стороны, и направлением равнодействующей и усадкой стружки, с другой стороны, должна существовать и однозначная связь между коэффициентом трения и усадкой стружки. Характер расположения опытных точек рис. 13б убедительно подтверждает это положение.

Таким образом, для широкого изменения условий резания для сталей, нагретых до различных температур, общая взаимосвязь явлений в процессе резания, на которую указывали А. М. Розенберг и А. Н. Еремин, сохраняется. Различные условия обработки, режимы резания не нашли своего самостоятельного влияния в зависимости  $\zeta_{\alpha} = f(\mu)$ .

Не оказывает, в частности, непосредственного влияния на величину усадки стружки и пластичность обрабатываемого металла. Так совершенно бесспорным является тот факт, что пластические свойства сталей ЭЯТ и ст. 40 с изменением температуры их нагрева изменялись. Однако, как видно из фиг. 13, и для обрабатываемых материалов с различными пластическими свойствами сохраняется однозначная связь  $\zeta = f(\mu)$ , различная пластичность не нашла своего самостоятельного влияния в этой зависимости.

Подводя итог сказанному, можно отметить, что однозначная связь между коэффициентом трения и степенью пластической деформации срезаемого слоя, определяемой усадкой стружки, проявляется при чрезвычайно широких условиях обработки резанием. Эта связь была получена при точении и фрезеровании сталей, при точении чугуна, при обработке сталей в холодном и нагретом состоянии, для различной геометрии режущего инструмента, в широком диапазоне изменений режимов резания (скорости, подачи, глубины), т. е. однозначная зависимость степени пластической деформации срезаемого слоя от коэффициента трения носит характер общности.

Это обстоятельство объективно указывает на то, что для данного угла резания степень пластической деформации срезаемого слоя металла в конечном счете определяется только величиной коэффициента трения стружки по передней поверхности режущего инструмента.

Влияние режимов резания и физико-механических свойств обрабатываемых материалов на степень пластической деформации срезаемого слоя может проявиться лишь через соответствующее их влияние на изменение коэффициента трения стружки по передней поверхности режущего инструмента. Но если в процессе резания при данном угле резания установилась определенная величина коэффициента трения стружки по передней поверхности режущего инструмента, то этому значению коэффициента трения соответствует вполне определенная величина степени пластической деформации срезаемого слоя (или определенная величина усадки стружки) независимо от того, какие значения имели при этом иные параметры процесса резания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беспрозванный И. М.—Основы теории резания металлов. Машгиз, 1948.
2. Кривоухов В. А. Невзоров А. И.—Процесс резания металлов при высокой скорости. Госиздат оборонной промышленности, Москва, 1953.
3. Грановский Г. И., Грудов П. П., Кривоухов В. А., Ларин М. Н., Малкин А. Я.—Резание металлов. Гос. научно-техническое издательство машиностроительной литературы, Москва, 1954.
4. Зворыкин К. А.—Работа и усилие, необходимые для отделения металлических стружек, 1893.

5. Розенберг А. М. Еремин А. Н.—К теории процесса резания металлов. „Станки и инструмент“ № 10, 1949.
  6. Зорев Н. Н.—Исследование элементов механики процесса резания. Машгиз, 1952.
  7. Хворостухин Л. А.—Расчет сил при скоростном резании на основе физико-механических характеристик металлов. Диссертация, г. Томск, 1953.
  8. Еремин А. Н.—Физическая сущность явлений при резании сталей. Машгиз, 1951.
  9. Промптов А. И.—Динамика скоростного фрезерования сталей торцевыми фрезами. Диссертация, г. Томск, 1953.
  10. Розенберг Ю. А.—Исследование процесса резания серого чугуна. Диссертация, г. Томск, 1952.
  11. Мостовой В. М.—Исследование процесса резания стали с искусственным предварительным нагревом. Известия ТПИ, т. 75, 1954.
  12. Шмыков А. А.—Справочник термиста. Гос. научно-техническое издательство машиностроительной литературы. Москва, 1952.
-