

## РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

В. А. ГОВОРУХИН, Г. Л. КУФАРЕВ

(Представлена объединенным научным семинаром кафедр станков и резания металлов и технологии машиностроения)

Общеизвестно, что касательные напряжения при резании на высоких скоростях с ростом деформации могут расти, снижаться или оставаться неизменными. Снижение напряжений не может быть объяснено влиянием анизотропии, так как при резании с микроскоростями мы получаем непрерывный рост напряжений при увеличении степени деформации до больших значений. (смотри рис. 1 в статье «О совпадении кривой течения в процессах резания и сжатия» данного сборника). Объяснение этому следует искать в изменении температурно-скоростного режима деформации в процессе резания.

Для выяснения вопроса о влиянии температурно-скоростного режима на напряжения в процессе резания были поставлены специальные опыты по свободному резанию сталей ШХ15, 2Х13 в состоянии поставки и в отожженном состоянии, стали 40 и латуни Л62. Скорость резания изменялась от 5 до 250 м/мин, подача от 0,1 до 0,39 мм/об и передние углы в пределах  $\gamma = 0 \div 22^\circ$ . Заготовки представляли 2 спаренных диска толщиной  $b = 3$  мм каждый; на внутренней поверхности одного из дисков наносилась координатная делительная сетка в полярной системе координат с базой 0,05 мм по радиусу и 5 минут по полярному углу. Изучение процесса резания производилось на корнях стружек, полученных с помощью специального приспособления. Один из корней стружек использовался для измерения искажения координатной делительной сетки, второй — для приготовления микрошлифа и измерения микротвердости по зоне стружкообразования. Расчет деформаций производился на ЭЦВМ «Минск-1» по разработанной методике для 19 корней стружек, полученных на различных режимах резания и материалах. По распределению значений микротвердости в зоне стружкообразования проводились линии равных значений твердости — изосклеры твердости.

Полагая, что процесс резания является установившимся процессом (сливная стружка), и сплошность материала не нарушается в зоне стружкообразования, можно рассчитать время, за которое каждая материальная точка проходит путь от одного узла сетки до другого по

линии течения, по зависимости  $\Delta t = \frac{a_0}{V_0}$ ,

где  $a_0$  — база делительной сетки, или расстояние между двумя соседними лучами делительной сетки на данном радиусе.

$v_0$  — скорость резания.

Располагая полем твердости, делительной сеткой и временем  $\Delta t$ , можно рассчитать скорость нагружения  $\dot{\sigma}$  в данном процессе по зоне стружкообразования.

$$\dot{\sigma} = \frac{\Delta\sigma_i}{\Delta t} \text{ кг/мм}^3 \cdot \text{сек},$$

$\Delta\sigma_i$  — приращение интенсивности напряжений на участке зоны стружкообразования.

Переход от микротвердости к интенсивности напряжений осуществлялся на основании независимости связи между твердостью и  $\sigma_i$  от вида напряженного состояния и тарировочного графика  $\sigma_i = f(H)$ , полученного при статическом сжатии каждого материала.

В результате исследования было установлено, что скорость нагружения в пластической зоне примерно постоянна. При увеличении скорости резания от уровня микроскорости до 10 м/мин скорость нагружения резко возрастает до величины порядка  $1 \cdot 10^4$  кг/мм<sup>2</sup> сек. При дальнейшем возрастании скорости резания в пределах 50 ÷ 250 м/мин. скорость нагружения монотонно возрастает от  $1 \cdot 10^5$  до  $7 \cdot 10^5$  кг/мм<sup>2</sup> сек. Ю. Я. Волошенко-Климовицкий [1] установил, что при ударном растяжении отношение динамического предела текучести  $\sigma_g$  к статическому  $\sigma_0$  уменьшается с увеличением прочности материала. Обработка экспериментальных данных Ю. Я. Волошенко-Климовицкого при скорости нагружения  $\dot{\sigma} = 3 \cdot 10^6$  кг/мм<sup>2</sup> сек, которая почти совпадает со скоростями нагружения в процессе резания, показала, что они хорошо аппроксимируются уравнением  $\sigma_g = 27 \cdot \sigma_0^{0,35}$ .

Следовательно, и в процессе резания динамический предел текучести должен подчиняться этой зависимости, так как процесс резания является одним из видов пластической деформации. Но проведенные эксперименты по резанию указанных выше металлов показали, что конечные напряжения, рассчитанные по измеренным силам в процессе резания и известной деформации, в большинстве случаев уменьшаются с ростом степени деформации (рис. 1). Очевидно, что это может быть вызвано только влиянием температурного фактора, который приводит к снижению напряжений в процессе деформации. Подтверждением этому являются результаты экспериментов К. А. Нассонова [2] по резанию предварительно подогретой стали ЭЯ1Т до различных температур. Он установил, что при одной температуре предварительного подогрева касательные напряжения в процессе резания уменьшаются тем сильнее, чем выше степень деформации и время воздействия этого тепла в зоне резания на материал.

Исходя из этого, с учетом скоростного и температурного факторов, зависимость для расчета напряжений в процессе резания должна иметь вид

$$\sigma_p = B \cdot e_i^c + (27 \cdot \sigma_{0,2}^{0,35} - \sigma_{0,2}) - \sigma_t,$$

где  $B \cdot e_i^c = \sigma_i$  — напряжение, полученное в процессе статических испытаний при комнатной температуре.  $(27 \cdot \sigma_{0,2}^{0,35} - \sigma_{0,2})$  — поправка на увеличение напряжений от скоростного фактора;  $\sigma_{0,2}$  — условный предел текучести при сжатии;  $\sigma_t$  — величина снижения напряжения от влияния температуры.

Если это так, то  $\sigma_t$  можно рассчитать по результатам экспериментов при резании, если известна кривая течения при сжатии в условиях комнатной температуры.

$$\sigma_t = \sigma_p - B \cdot e_i^c - (27 \cdot \sigma_{0,2}^{0,35} - \sigma_{0,2}).$$

Подобным образом были обработаны все результаты наших опытов и экспериментов [3]. Оказалось, что для одного и того же материала температурная поправка тем больше, чем больше степень деформации. Для каждого материала температурная поправка аппроксимировалась уравнением  $\sigma_t = A \cdot e_i^a$ . Оказалось, что наиболее надежная связь коэф-

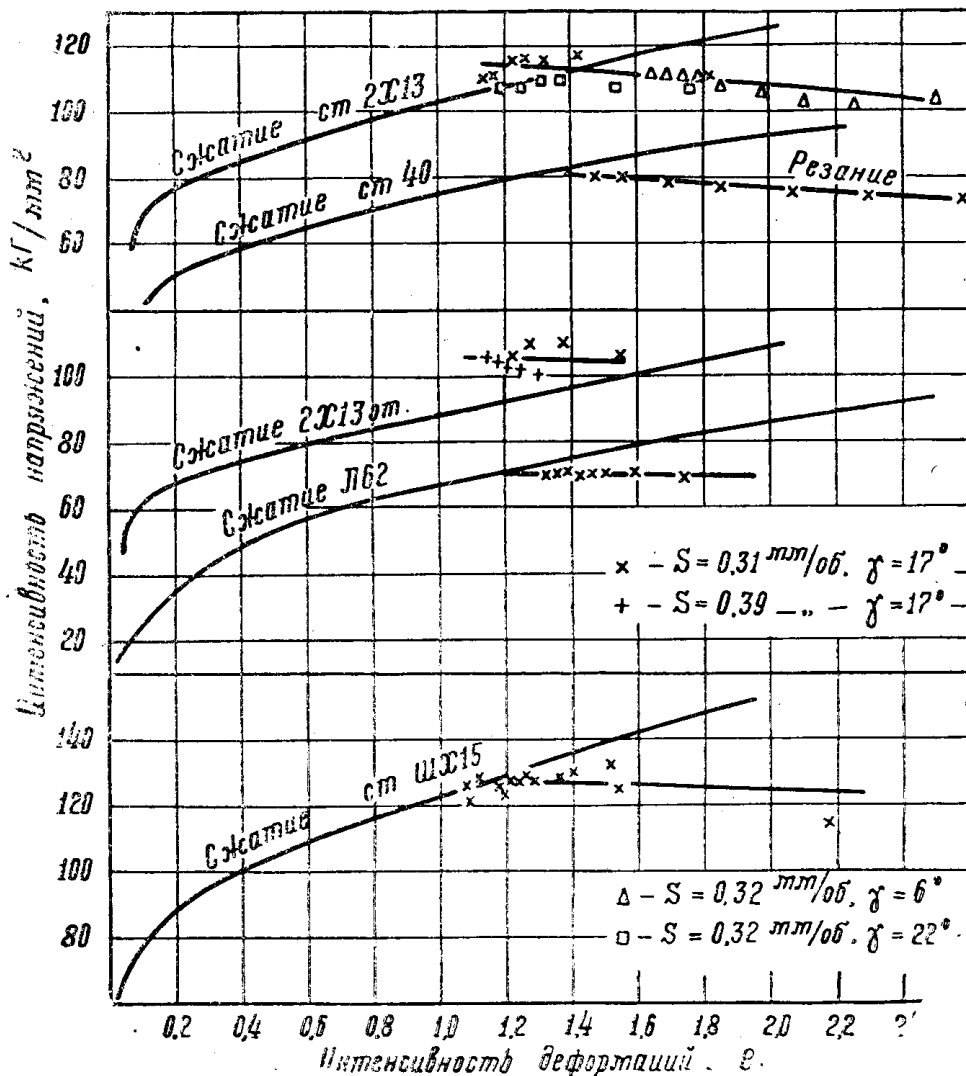


Рис. 1

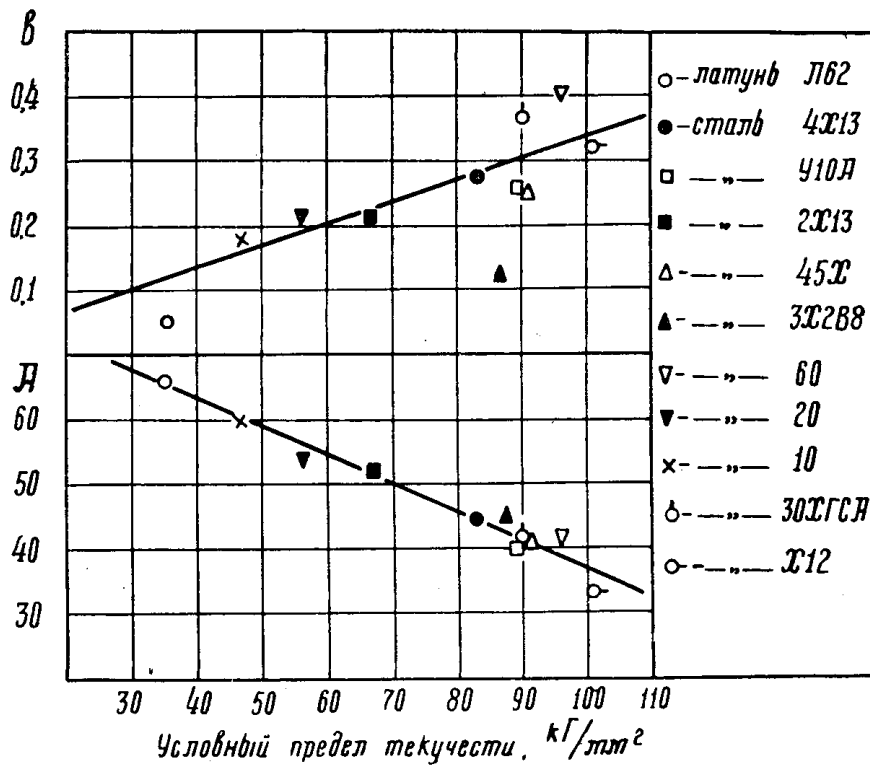
фициентов  $A$  и  $b$  имеет место только от условного предела текучести (рис. 2). На основании рис. 2 было получено, что коэффициенты  $A$  и  $b$  подчиняются следующим зависимостям:  $A = 80,4 - 0,44 \cdot \sigma_{0,2}$ ,

$$b = 0,0035 \cdot \sigma_{0,2}.$$

В результате этого был установлен окончательный вид уравнения для расчета напряжений в процессе резания:

$$\sigma_p = B \cdot e_i^c + (27 \cdot \sigma_{0,2}^{0,35} - \sigma_{0,2}) - (80,4 - 0,44 \cdot \sigma_{0,2}) \cdot e_i^{0,0035 \cdot \sigma_{0,2}}.$$

Для проверки полученного уравнения были использованы опыты



Зависимость коэффициентов  $A$  и  $b$  от условного предела текучести

Рис. 2

$\circ$  — Л62,  $\bullet$  — ст. 002,  $+$  — ст. 10,  $\times$  — ст. 40,  $\square$  — сталь 2Х13 отож.,  
 $\blacksquare$  — ст. 2Х13,  $\triangle$  — ст. 30Х,  $\blacktriangle$  — ст. 9Х,  $\nabla$  — ст. 4ХВС,  $\blacktriangledown$  — ст. 50,  
 $\circ$  — ст. ШХ15,  $\circ$  — ст. 35Х3МН,  $\circ$  — ст. 18ХНВ.

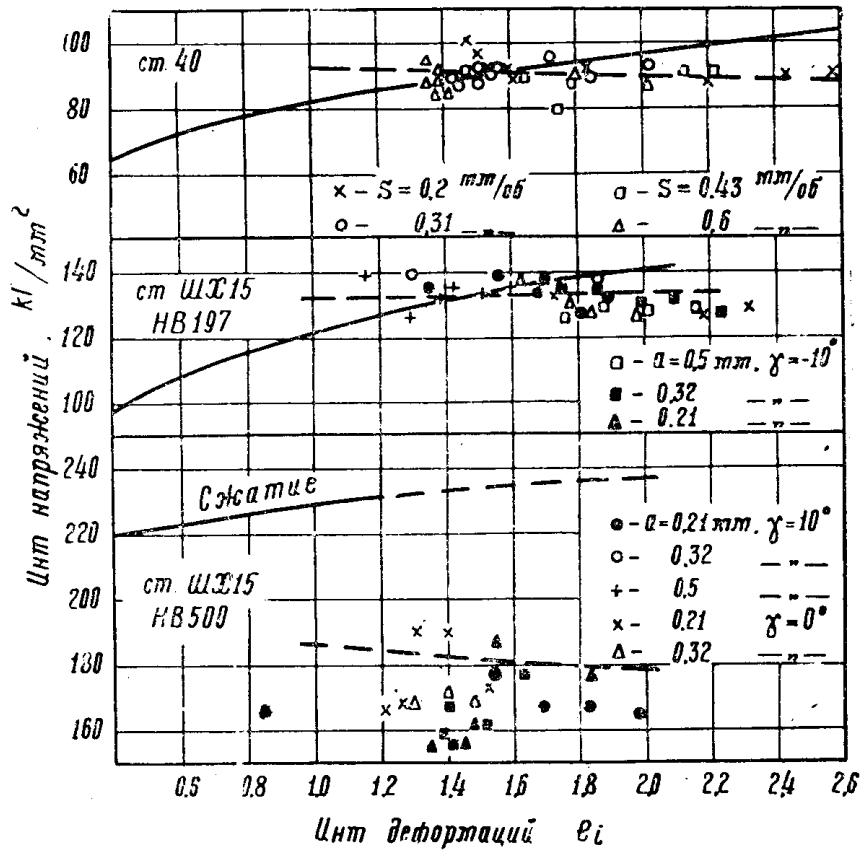


Рис. 3

Г. Л. Куфарева по резанию стали 40 в широком диапазоне изменения режимов резания и опыты Н. И. Ховаха [4] по резанию стали ШХ15 в сыром и закаленном до твердости  $HV = 500$  состояниях. На рис. 3 сплошной линией проведена кривая течения при статическом сжатии, пунктирной линией — значения напряжений в процессе резания по уравнению. Хорошее совпадение расчетных значений с экспериментальными данными подтверждает достоверность полученного уравнения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Я. Волошенко-Климовицкий. Динамический предел текучести, «Наука», 1965.
  2. К. А. Нассонов. Скоростное фрезерование стали ЭЯ1Т в нагретом состоянии. Диссертация. Томск, 1954.
  3. Н. Н. Зорев. Вопросы механики процесса резания металлов, Машгиз, 1956.
  4. Н. И. Ховах. Расчет сил резания при точении закаленной и упрочненной стали и влияние твердости на закономерности этого процесса. Диссертация, Томск, 1967.
-