

закрепляется в тисках, установленных на столе станка (рис. 2). Движение продольной подачи $s_{мин}$ (мм/мин) придаётся столу фрезерного станка, которая в таком случае является скоростью резания v (мм/мин), но обычно используется размерность м/мин.

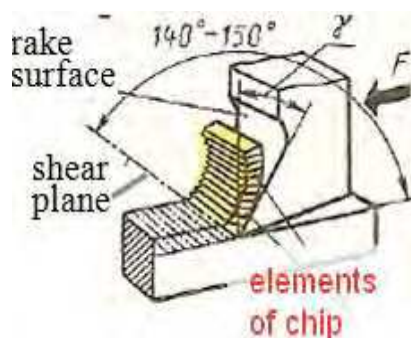


Рис. 2. Исследование процесса строгания полосы на фрезерном станке

Т.к. обрабатываемая пластина перемещается относительно неподвижного резца, то область резания легко наблюдается с боковой стороны резца. При этом обычно выполняется видеозапись процесса образования стружки, что увеличивает информативность при анализе стружкообразования. Недостатком такого метода является невысокая скорость резания, ведь даже при наибольшей продольной подаче стола $s_{мин} = 1250$ мм/мин скорость резания равна $v = s_{мин} / 60 = 20,8$ м/мин, что характерно для инструментов только из быстрорежущей стали.

При токарной обработке незакалённой конструкционной стали твёрдосплавными резцами в производстве используется скорость резания от 120-200 м/мин при черновой обработке до 450 м/мин при получистовой обработке.

В наших исследованиях, при измерении составляющих P_z , P_u и P_x силы резания при токарной обработке использовалась скорость резания $v = 120$ м/мин, для того, чтобы, с одной стороны, выйти из зоны наростообразования, а с другой – более экономно использовать заготовку, т.к. повышение скорости резания приводит к повышенному расходу заготовок.

Немаловажную роль играет и диаметр заготовки. В нашем случае удалось приобрести заготовки диаметром $d = 60$ мм. Чтобы обеспечить скорость резания $v = 120$ м/мин необходимо установить частоту вращения шпинделя $n = 1000 \cdot v / (\pi \cdot d) = 1000 \cdot 120 / (\pi \cdot 60) \approx 630$ об/мин.

Чтобы обеспечить скорость резания в два раза больше (240 м/мин), пришлось бы устанавливать уже 1200 об/мин. Сход стружки при этом происходит с такой высокой скоростью, что пред-

ставляет уже более бóльшую опасность для оператора, находиться рядом со станком очень дискомфортно. К тому же происходит более интенсивный износ режущей части резца, что вызывает изменение составляющих силы резания в одной серии экспериментов, т.е. с изменением только подачи при одинаковом износе.

В процессе обработки уменьшается диаметр заготовки, что вызывает необходимость увеличения частоты вращения шпинделя n . При проведении экспериментов минимальный диаметр заготовки принимался $d_{\min} = 35$ мм для обеспечения достаточной жёсткости заготовки длиной $l_{\text{заг}} = 500$ мм. В этом случае, для обеспечения скорости резания $v = 120$ м/мин, частота вращения шпинделя устанавливалась $n = 1000 \cdot v / (\pi \cdot d) = 1000 \cdot 120 / (\pi \cdot 35) = 1091,4 \approx 1000$ об/мин.

При такой высокой частоте вращения шпинделя задний вращающийся центр быстро нагревался, поэтому, чтобы его не заклинило, приходилось периодически делать перерыв для охлаждения. Длительная обработка связана с необходимостью появления естественного износа требуемой величины. В основном происходит износ по задней поверхности, что вызывает увеличение длины фаски износа по задней поверхности h_z (рис. 1 в). В наших экспериментах длина этой фаски доводилась до величины $h_z \text{ max} = 1,4$ мм.

Для исследования распределения контактных напряжений на фаске износа на задней поверхности затачивалась фаска длиной $h_z = 1,4$ мм с главным задним углом $\alpha_f = \alpha_h = 0^\circ$, моделирующая естественный износ по задней поверхности. Исследования показали, что при естественном износе по задней поверхности угол $\alpha_h = 0^\circ$ [1, 2, 3], и заточка фаски обеспечивала необходимую величину её заднего угла.

При проведении исследований распределения контактных напряжений на фаске износа по задней поверхности выполнялось точение сначала с наибольшей фаской $h_z \text{ max} = 1,4$ мм, а после измерения составляющих P_z , P_y и P_x силы резания с использованием токарного динамометра Kistler [4] на разных подачах s (мм/об) выполнялась переточка только по главной задней поверхности с главным задним углом $\alpha = 12^\circ$ с целью уменьшения длины фаски h_z до необходимой величины.

Это обеспечивало неизменность величины угла $\alpha_h = 0^\circ$, т.к. даже небольшие изменения которого могут существенно изменить силовое действие от поверхности резания (среза) на искусственную (заточенную) фаску износа. В ходе эксперимента сравнивалась величина составляющих P_z , P_y и P_x силы резания при искусственной фаске и при соответствующей величине длины фаски при естественном износе для подтверждения одинакового характера силового взаимодействия

резца с заготовкой как по фаске задней поверхности, так и по передней поверхности.

Исследования распределения контактных напряжений на передней поверхности выполнялись методом разрезного резца [3, 5, 6]. Применение этого метода для исследования распределения контактных напряжений на искусственной фаске износа по задней поверхности затруднено из-за высокой жёсткости контакта – даже небольшое упругое перемещение основной пластины относительно пластины с главной режущей кромкой [5] в ходе эксперимента приводит к существенному изменению величины контактных напряжений.

Поэтому для проверки достоверности результатов полученных методом разрезного резца было решено использовать метод переменной длины искусственной фаски износа по задней поверхности. Для использования этого метода принималось, что изменение длины искусственной фаски износа по задней поверхности h_3 незначительно влияет на процессы и силы на передней поверхности [1, 2, 3, 5].

В этом случае принимается, что силы на фаске задней поверхности равны разнице измеренной сил P_i и силе на резце при отсутствии фаски на задней поверхности (острого резца) $P_{\text{остр}}$. Т.к. сила в самом начале эксперимента равна силе при длине фаски на задней поверхности $h_3 \text{ max} = 1,4$ мм, то текущая тангенциальная сила $P_{z h i}$, совпадающая с вектором скорости резания v , на фаске задней поверхности рассчитывается по формуле

$$P_{z h i} = P_i - P_{\text{остр}} \quad (1)$$

Приращение (правильнее, убыль) тангенциальной силы на фаске задней поверхности при изменении длины фаски с $h_3 \text{ max} = 1,4$ мм (обозначаем символом $h_3 i-1$) до $h_3 i = 1,2$ мм рассчитывается по формуле

$$\Delta P_{z h i} = P_{z h i-1} - P_{z h i}$$

Отношение приращения силы на участке i к приращению (убыли) площади контакта на фаске $\Delta S_i = (h_3 i-1 - h_3 i) \cdot b$ (мм²) есть удельная тангенциальная сила на рассматриваемом i -том участке:

$$q_{P_{z h i}} = \Delta P_{z h i} / \Delta S_i = (P_{z h i-1} - P_{z h i}) / [(h_3 i-1 - h_3 i) \cdot b], \text{ (Н/мм}^2\text{)} \quad (2),$$

где b – ширина контакта приращённого (уменьшенного) участка на фаске задней поверхности. При косоугольном резании ($\varphi \neq 90^\circ$) $b = t / \sin \varphi$, где φ – главный угол в плане (см. рис. 1 б).

Тангенциальная сила на фаске задней поверхности $P_{z h i}$ есть касательная сила на фаске $F_{h i}$, т.к. задний угол на фаске $\alpha_h = 0^\circ$.

Если изменение длины фаски сравнительно небольшое ($\Delta h_{z i} = (h_{z i-1} - h_{z i}) < 0,1$ мм), то можно принять, что удельная тангенциальная сила на рассматриваемом i -том участке фаски приблизительно равна касательному контактному напряжению на рассматриваемом i -том участке:

$$qP_{z h i} | \Delta h_{z i} \rightarrow 0 = \tau_{h i} \text{ (Н/мм}^2\text{)} \quad (3)$$

На резец в основной плоскости (плоскость, в которой лежат вектора продольной $s_{прод}$ и радиальной (поперечной) $s_{рад}$ подачи) действует результирующая сила $P_{xy} = (P_{2x} + P_{2y})^{0,5}$. На фаске задней поверхности перпендикулярно ей действует сила $P_{xy h}$, которая рассчитывается аналогично уравнению (1) по направлениям осей OX и OY . Т.к. результирующая сила перпендикулярна поверхности фаски, то это есть нормальная сила на фаске: $N_h = P_{xy h}$.

Отношение приращения (убыли) нормальной силы N_h к уменьшению площади фаски на рассматриваемом i -том участке фаски есть удельная нормальная сила на i -том участке фаски:

$$qN_{h i} = qP_{xy h i} = \Delta P_{xy h i} / \Delta S_i = (P_{xy h i-1} - P_{xy h i}) / [(h_{z i-1} - h_{z i}) \cdot b], \text{ (Н/мм}^2\text{)} \quad (4)$$

Если изменение длины фаски сравнительно небольшое ($\Delta h_{z i} = (h_{z i-1} - h_{z i}) < 0,1$ мм), то можно принять, что удельная нормальная сила на рассматриваемом i -том участке фаски приблизительно равна нормальному контактному напряжению на рассматриваемом i -том участке:

$$qN_{h i} = qP_{xy h i} | \Delta h_{z i} \rightarrow 0 = \sigma_{h i} \text{ (Н/мм}^2\text{)} \quad (5)$$

Если учесть, что 1 Н/мм² равен 1 МПа, то в уравнениях (3) и (5) единицей измерения обычно принимается МПа.

На рис. 3 представлены графики распределения нормальных σ_h и касательных τ_h контактных напряжений (МПа) на искусственной фаске износа по задней поверхности.

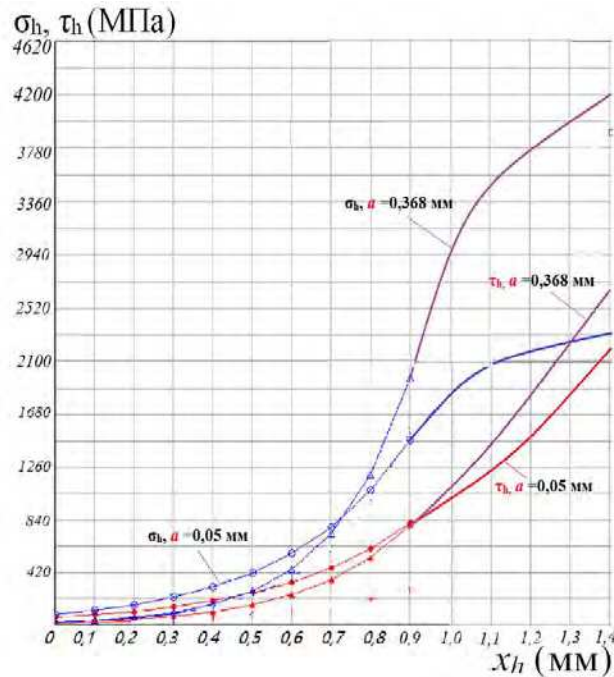


Рис. 3. Распределение нормальных σ_h и касательных τ_h (МПа) контактных напряжений на искусственной фаске износа по задней поверхности резца при обработке стали 40Х (образование сливной стружки). Сталь 40Х-Т15К6, $\varphi=45^\circ$, $v=2$ м/с, $t=2$ мм, при толщине среза a : \circ , - $a = 0,05$ мм; \diamond , $a = 0,368$ мм.

Наряду с контактными нагрузками были рассчитаны и условные коэффициенты трения $\mu_{hi} = \tau_{hi} / \sigma_{hi}$ на каждом i -том участке фаски задней поверхности.

Использование условного коэффициента трения μ_{hi} очень важно при фрезеровании, а толщина среза a при фрезеровании очень мала, то рассмотрим изменение условного коэффициента трения при наименьшей толщине среза при токарной обработке ($a = s \cdot \sin\varphi = 0,05$ мм):

$$\mu_{hi} = 0,36 \text{ (при } a = 0,05 \text{ мм (} s = 0,07 \text{ мм/об) и } h_z = 0,2 \text{ мм);}$$

$$\mu_{hi} = 0,63 \text{ (при } a = 0,05 \text{ мм (} s = 0,07 \text{ мм/об) и } h_z = 0,5 \text{ мм);}$$

$$\mu_{hi} = 0,58 \text{ (при } a = 0,05 \text{ мм (} s = 0,07 \text{ мм/об) и } h_z = 0,7 \text{ мм);}$$

$$\mu_{hi} = 0,56 \text{ (при } a = 0,05 \text{ мм (} s = 0,07 \text{ мм/об) и } h_z = 0,8 \text{ мм);}$$

$$\mu_{hi} = 0,53 \text{ (при } a = 0,05 \text{ мм (} s = 0,07 \text{ мм/об) и } h_z = 1,0 \text{ мм).}$$

При $h_z > 0,3$ мм принимаем $\mu_{h \text{ ср}} = (0,633 + 0,586 + 0,564 + 0,538) / 4 = 0,58$.

У режущей кромки на искусственной фаске износа по задней поверхности условный коэффициент трения существенно меньше, чем на некотором отдалении от режущей кромке, что объясняется нами большой температурой в этой области, что приводит к уменьшению предела прочности на сдвиг обрабатываемого материала в приконтактном слое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников Д. В., Гречишников В. Л., Кирсанов С. В., Кокарев В. И., Схиртладзе А. Г. Режущий инструмент: Учебник для вузов / Под редакцией С. В. Кирсанова. - 2-е изд. доп. М.: Машиностроение, 2005. - 528 с: ил.
2. Развитие науки о резании металлов /В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.
3. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
4. Утенков, В.М. Возможности использования динамометра Kistler для испытания металлорежущих станков / В.М. Утенков, П.А. Быков // Инженерный вестник. – 2012. - № 10. – с. 9.
5. Козлов В.Н., Дин Ц., Ли В. Исследование распределения контактных напряжений на передней поверхности инструмента при обработке стали // Современные проблемы машиностроения сборник трудов XV Международной научно-технической конференции, г. Томск, 22-25 ноября 2022 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); ред. кол. Е. Н. Пашков [и др.]. – Томск: Томский политехнический университет, 2022. – [с. 98-100];
6. Методика измерения контактных напряжений на поверхностях резца [Электронный ресурс] / В. Н. Козлов [и др.]; науч. рук. В. Н. Козлов // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 7-11 ноября 2016 г. в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики (ИК); под ред. В. С. Аврамчук [и др.]. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 2. – [С. 350-352]. – Заглавие с титульного экрана. – Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/37113>.