

Заключение

1. Чем больше передний угол, тем больше внутренние напряжения в режущем клине, но увеличение переднего угла до $+35^\circ$ не приводит к катастрофическому увеличению напряжений при точении стали 40Х, при этом лучше удаляется стружка и улучшается качество обработанной поверхности.

2. При обработке стали 40Х острым токарным резцом из Т15К6 с подачей $s = 0,52$ мм/об предельно допустимый передний угол $\gamma = +32^\circ$, больше которого будет происходить поломка резца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Развитие науки о резании металлов /В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.
2. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
3. Козлов В.Н., Цуй Ц., Чжан Ц., Хуан Ч. Методика измерения контактных напряжений на поверхностях режущего инструмента/ В.Н. Козлов, Ц. Цуй, Ц. Чжан, Ч. Хуан // Наука и образование: материалы VI Всероссийского фестиваля науки. XX Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных/ отв. ред. А. Ш. Бодрова, Е. В. Колесникова. –Томск: Изд-во Том. гос. пед. ун-та, 2016, с. 97-105.

Чэнь Юэчжоу, Чжан Цзяюй, Козлов Виктор Николаевич

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Козлов Виктор Николаевич, к.т.н., доцент

РАСЧЁТ ЭПЮР КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Для расчёта на прочность режущих инструментов необходимо знать распределение контактных напряжений на поверхностях режущего клина. Экспериментальное изучение распределения очень трудоёмко и требует специальных дорогостоящих приборов.

Поляризационно-оптический метод позволяет определить характер распределения напряжений, изменение коэффициента трения вдоль передней поверхности резца (Рис. 1), но возможна обработка только мягких материалов (например, свинца, кадмия и т.п.) при небольших ско-

ростях резания. При этом методе резец изготавливается из оптически активного материала, например, оргстекла, материал которого изменяет свои оптические свойства при изменении внутреннего напряжения.

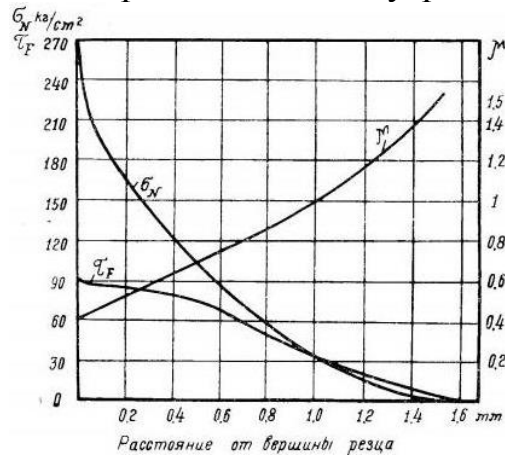


Рис. 1. Эюры контактных напряжений на передней поверхности резца при резании свинца [1, 2]

Метод лазерной интерферометрии заключается в том, что на боковую поверхность заготовки и инструмента направляется поляризованный монохроматический луч лазера (рис. 2). Монохроматический свет используется для того, чтобы свет не разбивался на спектр, что уменьшает чёткость картин полос. Отражённый от резца и заготовки свет попадает на экран, где происходит интерференция волн света базового и отражённого от боковой поверхности резца излучения из-за микроскопического увеличения ширины резца под действием силы резания. При этом методе сложно разделить нормальные и касательные контактные напряжения, а также действующие на передней и задней поверхности.

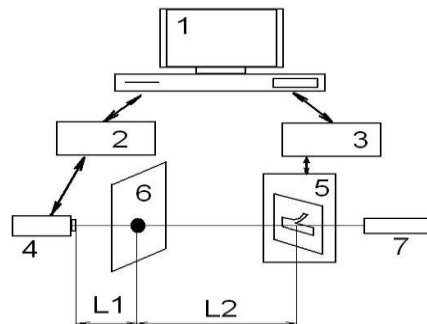


Рис. 2. Схема установки сканирования спеклограмм [3].

Метод разрезного резца позволяет отдельно определять нормальные и касательные контактные напряжения, а также действующие на передней и задней поверхности. Этот метод был разработан Гордоном М.Б. в 1965 г., а затем стал широко использоваться при разных способах его реализации благодаря его универсальности.

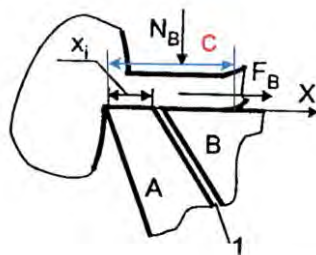


Рис. 3. Схема, поясняющая принцип измерения разрезным резцом.

В более надёжном способе используется очень широкий резец (шириной 120 мм), который состоит из двух частей – пластины А и пластины В (рис. 3) [4]. Зазор между пластинами должен быть не более 0,02 мм. Этот зазор располагается так, чтобы размер \$x_i\$ дискретно изменялся от 0,2 мм до величины, немного большей, чем длина контакта с стружкой от 0,1-0,2 мм.

По результатам измерения нормальной \$NB\$ и касательной \$FB\$ сил резания в каждой из секций разрезного резца можно рассчитать нормальную \$\sigma N\$ и касательную \$\tau F\$ контактные нагрузки по формулам:

$$\sigma_N(x) = \frac{1}{b_1} \frac{dN_B}{dx}; \quad \tau_F(x) = \frac{1}{b_1} \frac{dF_B}{dx}.$$

где \$dNB\$ – приращение нормальной силы \$NB\$ (Н) на пластине \$B\$ при уменьшении расстояния \$x_i\$ на величину \$dx\$ (мм); \$dFB\$ – приращение касательной силы \$FB\$ (Н) на пластине \$B\$ при уменьшении расстояния \$x_i\$ на величину \$dx\$; \$b_1\$ – ширина стружки (мм).

Недостатком метода разрезного резца являются высокая стоимость и большое время для проведения экспериментов из-за большой трудоёмкости изготовления специальных режущих пластин и частой их поломкой при попадании стружки в зазор между пластинами.

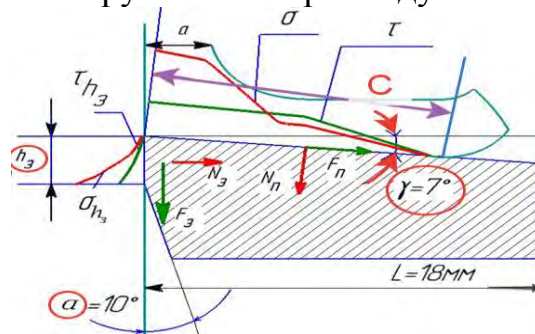


Рис. 4. Распределение контактных напряжений на поверхностях резца. с – длина контакта стружки с передней поверхностью

Из-за перечисленных недостатков методов экспериментального определения эпюр контактных напряжений возникает необходимость разработки методики их расчёта. За основу расчёта параметров эпюр взято свойство эпюр касательных контактных напряжений \$\tau\$ (МПа):

1) на первой половине (от режущей кромки) длины контакта стружки с передней поверхностью величина τ постоянна, т.е. на участке пластического контакта стружки с передней поверхностью длиной $s_1 \approx 0,5s$ (мм);

2) на второй части длины контакта стружки τ практически прямолинейно уменьшаются до нуля в точке отрыва стружки от передней поверхности;

3) малая зависимость характера эпюр τ от обрабатываемого материала и материала режущего инструмента, вида обработки, режима резания и геометрии режущего инструмента.

4) закономерность изменения условного коэффициента трения $\mu = \tau/\sigma$ вдоль контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента.

При экспериментальном исследовании распределения контактных напряжений осуществляется точение заготовки и с использованием динамометра измеряются технологические составляющие P_z , P_x и P_y силы резания (Н). В наших исследованиях использовался динамометр Kistler. При отсутствии динамометра эти силы могут быть рассчитаны по формулам из справочника.

По технологическим составляющим силы резания рассчитываются физические составляющие силы резания: нормальная N и касательная F силы (Н) с учётом переднего угла γ [1].

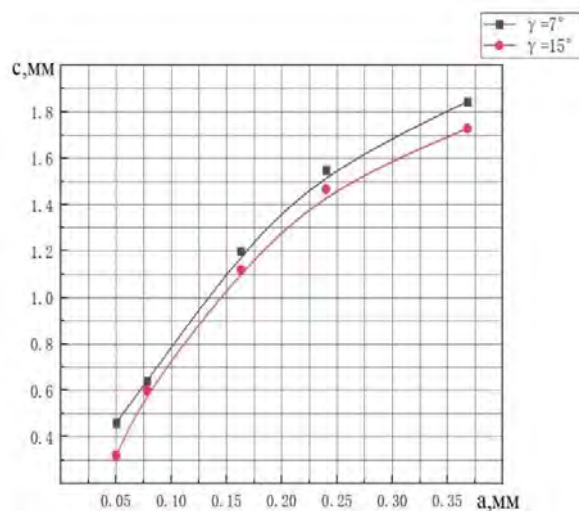


Рис. 5. Графики зависимости длины контакта s (мм) от толщины среза a (мм)

1) После резания измеряется длина контакта s (мм) стружки с передней поверхностью инструмента при различных передних углах γ . При отсутствии экспериментальных данных величина s определяется по графикам при соответствующей величине переднего угла γ ($^\circ$) (рис. 5).

2) На основании проведённых экспериментов строятся графики изменения длины контакта стружки s (мм) от толщины среза a (мм) (рис. 5): $a=s \times \sin \varphi$, где s – подача (мм/об); φ – главный угол в плане.

3) По экспериментальным точкам графиков изменения длины контакта s от толщины среза a с помощью программного обеспечения MatLab определяется функциональная связь между s и a при разных передних углах γ , т.е. $s = f(a)$: при $\gamma=7^\circ$: $s=0,026+8,955a-10,903a^2$ (мм); при $\gamma=15^\circ$: $s=-0,1028+9,564a-12,483a^2$ (мм).

4) Рассчитываются физические составляющие силы резания касательные контактные напряжения на передней поверхности инструмента, т.к. их характер мало зависит от режимов резания. Длина пластического участка контакта стружки с передней поверхностью резца $s_1 \approx 0,5s$. На этом участке, т.е. при $x < 0,5 \times s$ у эпюры касательных контактных напряжений τ имеется линия параллельная передней поверхности (горизонтальный участок при $\gamma=0^\circ$).

При дальнейшем отдалении от режущей кромки имеется прямолинейное уменьшение до нуля в точке $x_1 = s$, где x_1 – расстояние от режущей кромки до рассматриваемой точки (мм).

Такой характер позволяет использовать формулу

$$\tau_{\max} = \tau_{\text{const}} = F / (c \times 0,75 \times b),$$

где τ_{const} – величина τ на горизонтальном участке этой эпюры (МПа); b – ширины контакта стружки с передней поверхностью резца ($b \approx t / \sin \varphi$) (мм);

5) Строится эпюра касательных контактных напряжений τ (МПа).

6) Переходим к построению эпюры нормальных контактных напряжений σ (МПа) относительно эпюры касательных контактных напряжений τ (МПа). В основе лежит закономерность изменение условного коэффициента трения $\mu = \tau / \sigma$ вдоль передней поверхности, которая мало зависит от режимов резания и переднего угла γ (рис. 6) [1, 2, 3, 4].

7) Непосредственно у режущей кромки нормальные контактные напряжения имеют наибольшую величину σ_{\max} (рис. 7).

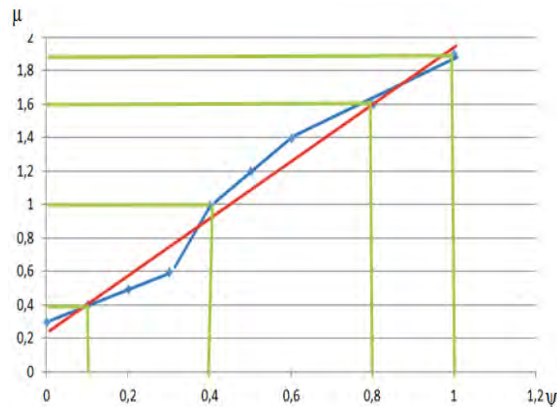


Рис. 6. Изменение условного коэффициента трения μ вдоль длины контакта стружки с передней поверхностью. $\psi_i = x_i/c$ – относительная длина контакта. ■ – усреднённые экспериментальные данные; красная линия – аппроксимация прямолинейной зависимостью

В первом приближении $\sigma_{тах} \approx 2 \sigma_b$, где σ_b – это временное сопротивление разрыву (МПа). В дальнейшем величина $\sigma_{тах}$ корректируется таким образом, чтобы нормальная сила $N_{эп}$ (Н), рассчитанная по объёму эпюра σ , была равна нормальной силе, определённой по экспериментальным данным $N_{эксп}$ (Н), т.е.

$$N_{эп} = b \times \int_0^c \sigma_i \times dx \approx N_{эксп},$$

где x_i – расстояние от режущей кромки до рассматриваемой точки на длине контакта, оно изменяется от 0 (координата у режущей кромки, т.е. при $x_i = 0$ мм) до $x_i = c$ (расстояние от режущей кромки до точки отрыва стружки от передней поверхности).

7) При относительной длине контакта стружки $\psi = x_i/c \approx 0,4$, т.е. при $x = 0,4 \times c$ будет пересечение графика σ с графиком τ , т.к. в этой точке условный коэффициент трения $\mu=1$, то есть там $\tau=\sigma$ (см. рис. 6 и 7).

8) У эпюры нормальных контактных напряжений σ в области $x \leq 0,5c$ имеется небольшой горизонтальный участок, т.е. $\sigma = \text{const}$, а при дальнейшем отдалении от режущей кромки ($x > 0,5c$) у эпюры σ имеется участок с прямолинейным уменьшением σ до нуля в точке $x=c$ (рис. 7).

9) В конце контакта стружки с передней поверхностью инструмента в точке $\psi \approx 0,8$ (т.е. при $x \approx 0,8c$) должно быть $\sigma_i \approx \tau_i/1,6$ (см. рис.6 и 7).

10) На расстоянии от режущей кромки $l_1 \approx a$ (мм) величина $\sigma_{l1} \approx (0,92 \dots 0,93) \times \sigma_{тах}$, т.к. там ещё нет стружки, она только формируется, давление от резца идёт на заготовку, поэтому там имеется лишь небольшое уменьшение нормальных контактных напряжений σ по сравнению с величиной $\sigma_{тах}$.

12) По рассчитанным точкам строим эпюру σ и корректируем её, изменяя в области от режущей кромки ($x = 0$ мм) до $x = 0,4 \times c$, чтобы соблюдалось равенство

$$N_{\text{эп}} = b \times \int_0^c \sigma_i \times dx \approx N_{\text{экс}} .$$

Для этого рассчитываем площадь эпюры σ :

$$S_{\sigma} = \sum s_i \sigma_i \text{ (МПа/мм)};$$

13) Нормальная сила по эпюре σ $N_{\sigma} = S_{\sigma} \times b$ (Н) должна быть равна нормальной силе по экспериментальным данным $N_{\text{экс}} (Н)$.

14) Касательная сила по эпюре τ $F_{\text{эп}} = S_{\tau} \times b$ (Н) должна быть равна касательной силе по экспериментальным данным $F_{\text{экс}} (Н)$.

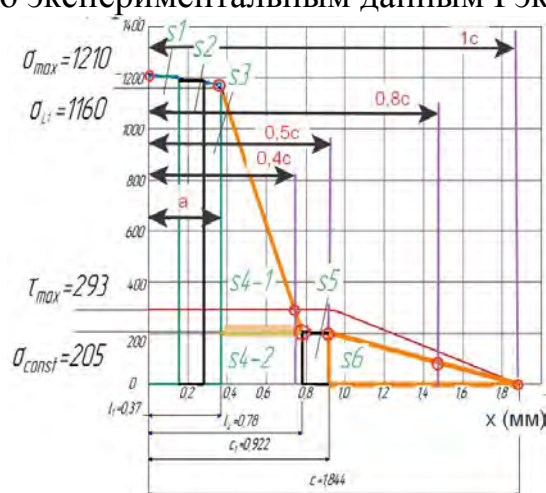


Рис. 7. Положение опорных точек \circ при построении эпюры нормальных контактных напряжений σ и проверка правильности построения эпюр нормальных σ и касательных τ контактных напряжений на передней поверхности реза

Заключение

1. В основе построения эпюр контактных напряжений на передней поверхности лежит определение физических составляющих N и F силы резания, длины контакта стружки с инструментом, стабильность характера эпюры касательных контактных напряжений и изменение коэффициента трения на передней поверхности.

2. После построения эпюр обязательно должна быть выполнена проверка равенства физических составляющих силы резания, рассчитанных по эпюрам, с физическими составляющими силы резания, измеренными при резании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Развитие науки о резании металлов /В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.

2. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
3. Филиппов А.В., Проскоков А.В. Исследование процесса стружкообразования при резании металлов методом цифровой корреляционной спекл-интерферометрии. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2014, № 2, с. 100–113.
4. Козлов В.Н., Цуй Ц., Чжан Ц., Хуан Ч. Методика измерения контактных напряжений на поверхностях режущего инструмента/ В.Н. Козлов, Ц. Цуй, Ц. Чжан, Ч. Хуан // Наука и образование: материалы VI Всероссийского фестиваля науки. XX Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных/ отв. ред. А. Ш. Бодрова, Е. В. Колесникова. –Томск: Изд-во Том. гос. пед. ун-та, 2016, с. 97-105.

Шабалдин Александр Павлович (Россия),
Журбенко Анастасия Олеговна (Россия)

Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет (Сибстрин), г. Новосибирск

Научные руководители:

Харинова Наталья Владимировна, к.т.н., доцент;
Табанюхова Марина Владимировна, к.т.н.,
заведующий кафедрой Строительной механики

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В УЗЛАХ ПЛОСКОЙ ФЕРМЫ

Аннотация: в данной работе исследовалось напряженное состояние в узле плоской фермы двумя способами: численно с помощью метода конечных элементов и экспериментально, методом фотоупругости. В плоскости образца получены поля максимальных касательных напряжений обоими методами. Данная работа является продолжением работы [1].

Ферма – это конструкция, состоящая из идеально прямолинейных стержней, соединенных в узлах цилиндрическими шарнирами и работающая на восприятие узловых нагрузок [2-5].

Для исследования применён численный и физический эксперименты. Решение, полученное в программном комплексе SCAD, проверено с помощью физического эксперимента. В данной работе применён поляризационно-оптический метод исследования напряжений, а именно метод фотоупругости [6, 7].