

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ РЕЗЦА

Козлов В. Н., Чжан Ц., Цуй Ц., Боголюбова М.Н.

Научные руководители: Козлов В. Н., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
e-mail: kozlov-viktor@bk.ru

Ключевые слова: износ инструмента, распределение контактных нагрузок, методика исследования контактных напряжений.

Keywords: tool wear, contact load distribution, strength of cutting tool, method of contact stresses research.

Оценка прочности инструмента требует знания величины и характера распределения контактных напряжений на поверхности инструмента [1].

Контактные напряжения на рабочих поверхностях инструмента могут быть измерены тремя методами: поляризационно-оптическим [2], интерферометрическим [3] и методом разрезного реза [4].

Для исследования контактных напряжений на передней поверхности инструмента с использованием метода разрезного реза лучше всего использовать специальный четырёхкомпонентный токарный динамометр конструкции Красильникова В.А. [4] (рис. 1).

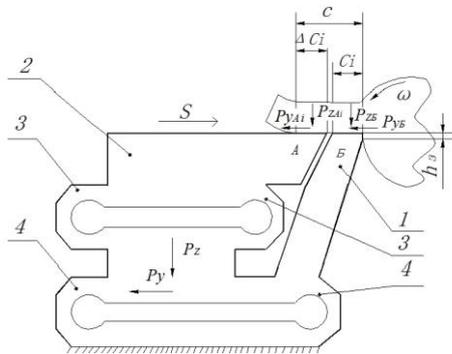


Рис. 1. Схема измерения сил резания на передней поверхности резца методом разрезного реза

Нижний пояс этого динамометра с упругими элементами 4 используется для измерения общих технологических составляющих P_z и P_y силы резания для контроля их постоянства в серии экспериментов.

Верхний пояс динамометра с упругими элементами 3 используется для измерения вертикальной составляющей силы резания P_{zA_i} и радиальной составляющей P_{yA_i} , действующих на пластину А на участке ΔC_i , находящимся на расстоянии C_i от режущей кромки разрезного реза ($\Delta C_i = C - C_i$).

Последовательно увеличивая длину участка ΔC_i пластины А, измеряем нормальную N_{A_i} и

касательную F_{A_i} силы резания, действующие на этом участке и рассчитываем контактные нагрузки как отношение приращения этих сил к приращению площади поверхности.

Изготавливаем пластины А и Б таким образом, чтобы расстояние C_B от режущей кромки до косоугольного зазора с углом ψ_B между пластинами было больше длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента С ($C_B > C$) (рис. 2).

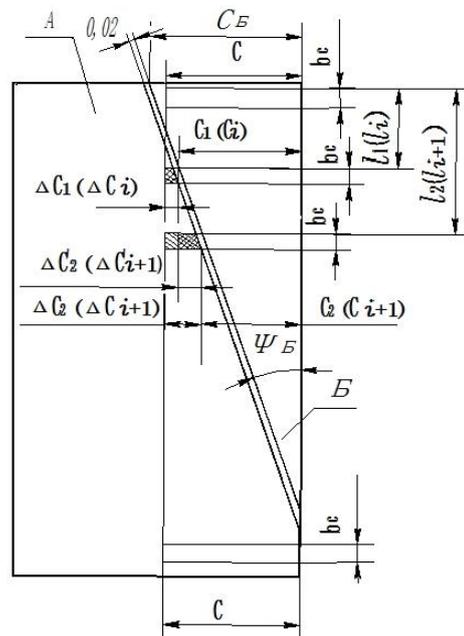


Рис. 2. Схема измерения контактных

Последовательно сдвигая динамометр вместе с разрезным резцом вдоль периферии диска от начального положения на небольшое расстояние l_i измеряем силы P_{zA_i} и P_{yA_i} , которые действуют на пластине А на участке длиной ΔC_i . В следующий раз длина участка контакта стружки с передней поверхностью резца на пластине А будет $\Delta C_{i+1} = C - C_{i+1}$. Приращение длины контакта на пластине А по сравнению с предыдущим случаем обозначим $\Delta C'_{i+1}$ ($\Delta C'_{i+1} = \Delta C_{i+1} - \Delta C_i$).

Приращение вертикальной составляющей силы при этом приращении участка на величину $\Delta C'_{i+1}$ обозначим $\Delta P_{zA_{i+1}}$ ($\Delta P_{zA_{i+1}} = \Delta P_{zA_{i+1}} - \Delta P_{zA_i}$). Учитывая, что при переднем угле $\gamma = 0^\circ$ нормальная сила N_{A_i} на участке ΔC_i будет равна вертикальной составляющей силы резания P_{zA_i} ($N_{A_i} = P_{zA_i}$), а касательная сила $F_{A_i} = P_{yA_i}$, рассчитываем

удельную нормальную и касательную силу резания на участке $\Delta C'_{i+1}$:

$$q'_{N_{i+1}} = (N_{A_{i+1}} - N_{A_i}) / [(\Delta C_{i+1} - \Delta C_i) \cdot b_c];$$

$$q'_{F_{i+1}} = (F_{A_{i+1}} - F_{A_i}) / [(\Delta C_{i+1} - \Delta C_i) \cdot b_c],$$

где b_c – ширина контакта стружки с передней поверхностью инструмента.

При небольшом смещении вдоль периферии диска Δl_{i+1} ($\Delta l_{i+1} = l_{i+1} - l_i$) приращение длины контакта стружки с пластиной А будет небольшое ($\Delta C'_{i+1} \rightarrow 0$), поэтому удельная нормальная сила на этом участке будет считаться как нормальное напряжение σ в этой точке ($\sigma_{i+1} \approx q'_{N_{i+1}}$). Аналогично и для касательного напряжения τ ($\tau_{i+1} \approx q'_{F_{i+1}}$).

При использовании вышеуказанного динамометра для измерения контактных нагрузок на фаске задней поверхности резца измеряются силы, действующие на пластину А на участке h_i фаски задней поверхности (рис. 3).

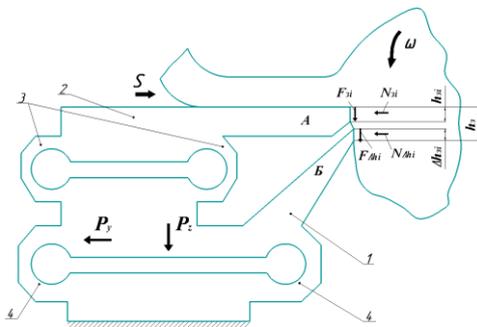


Рис. 3. Схема работы динамометра при исследовании контактных нагрузок на задней поверхности резца на токарном станке при горизонтальной подаче s

Для повышения чувствительности при измерении контактных нагрузок на передней поверхности резца в конструкции динамометра предусмотрена пониженная жёсткость упругих измерительных элементов 3 верхнего пояса по сравнению с жёсткостью элементов 4 нижнего пояса, что вызывает проблемы для данной схемы измерения.

Под действием радиальной составляющей силы резания P_{y_n} на передней поверхности резца и нормальной силы N_{z_i} на фаске задней поверхности пластины А происходит упругая деформация измерительных элементов 3 (рис. 3). Пластина А смещается влево относительно пластины Б и появившийся острый уступ пластины Б начинает срезать дополнительную стружку с поверхности диска. Щель между пластинами забивается, что приводит к нарушению условий измерения сил.

Для устранения этой проблемы измерение контактных нагрузок на фаске задней поверхности необходимо выполнять не на токарном станке, а на горизонтально-фрезерном при вертикальной подаче s стола станка (рис. 4). При такой схеме

стружка сходит по передней поверхности, которая расположена вертикально. Фаска задней поверхности длиной h_3 располагается горизонтально. На пластину А будут действовать силы только на участке длиной Δh_i . ($\Delta h_i = h_3 - h_i$).

Под действием радиальной P_{y_B} и

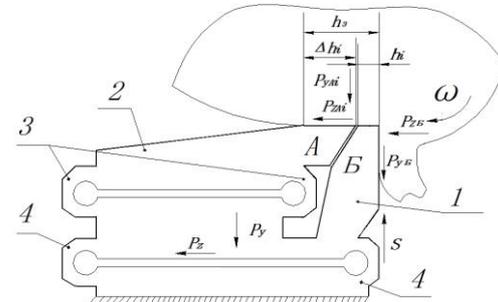


Рис. 4. Схема работы динамометра при исследовании контактных нагрузок на задней поверхности резца на горизонтально-фрезерном станке при вертикальной подаче s

тангенциальной P_{z_B} составляющих силы резания происходит упругая деформация измерительных элементов 4 нижнего пояса динамометра. Пластина Б переместится немного вниз и влево вследствие упругой деформации измерительных элементов 4. Пластина А вместе с измерительными элементами 3, закрепленными на упругих элементах 4, тоже переместится в этом же направлении. Поэтому уступа между пластинами не возникает.

Пластины А и Б изготавливаем таким образом, чтобы расстояние C_B от режущей кромки до косоугольного зазора с углом ψ_B между пластинами было больше длины фаски на задней поверхности h_3 с ($C_B > h_3$) (аналогично рис. 2).

Удельная нормальная и касательная силы на фаске задней поверхности при приращении участка на длину $\Delta h'_{i+1}$ рассчитываются по уравнениям:

$$q'_{N_{h_{i+1}}} = (P_{y_{A_{i+1}}} - P_{y_{A_i}}) / [(\Delta h_{i+1} - \Delta h_i) \cdot b_{dc}];$$

$$q'_{F_{h_{i+1}}} = (P_{z_{A_{i+1}}} - P_{z_{A_i}}) / [(\Delta h_{i+1} - \Delta h_i) \cdot b_{dc}],$$

где b_{dc} – ширина контакта фаски задней поверхности резца с обрабатываемым диском.

При небольшом смещении вдоль периферии диска $\Delta l_{i+1} \rightarrow 0$ удельная нормальная сила на этом участке будет считаться как нормальное напряжение на фаске задней поверхности σ_h в этой точке ($\sigma_{h_{i+1}} \approx q'_{N_{h_{i+1}}}$). Аналогично и для касательного напряжения на фаске задней поверхности τ_h ($\tau_{i+1} \approx q'_{F_{h_{i+1}}}$).

Отработка методики проведения эксперимента при прямоугольном свободном точении диска из мягкой латуни Л63 в условиях сливного стружкообразования на горизонтально-фрезерном станке 6Н82Г показала экстремальный характер нормальных контактных напряжений на задней поверхности σ_h (рис. 5).

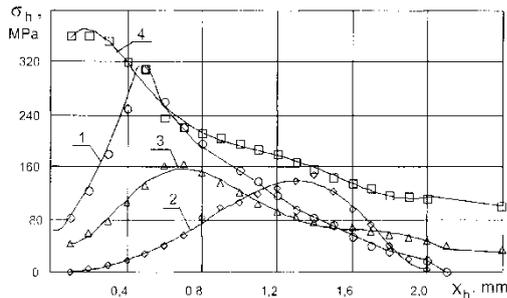


Рис. 5. Распределение нормальных контактных нагрузок на фаске задней поверхности инструмента, $\gamma=0^{\circ}$, $\alpha_{\phi}=0^{\circ}$. Л63-Р6М5:
1 - $S=0,06$ мм/об, $V=100$ м/мин;
2 - $S=0,21$ мм/об, $V=100$ м/мин;
3 - $S=0,21$ мм/об, $V=217$ м/мин;
4 - ЛмцА 57-3-1 – Р6М5, $S=0,41$ мм/об, $V=100$ м/мин.

Под действием составляющей P_{yn} на передней поверхности резца в области стружкообразования происходит упругая деформация поверхности резания в области режущей кромки, что приводит к опусканию границы полуплоскости поверхности резания [5]. Восстанавливающаяся позади режущей кромки поверхность взаимодействует с плоскостью фаски, дополнительно деформируясь до ее уровня. При таких условиях наибольшие деформации будут не у режущей кромки, а на некотором от неё удалении, поэтому нормальные контактные напряжения будут увеличиваться при удалении от режущей кромки.

Влияние кривизны обработанной поверхности, будет проявляться в виде экстремального характера графиков (рис. 5).

При образовании сливной стружки силы со стороны передней поверхности достаточно стабильны [7, 8]. При элементном стружкообразовании во время отделения элемента стружки от заготовки происходит резкое уменьшение нагрузки на передней поверхности инструмента [7, 8]. Упруго восстанавливающаяся поверхность среза создаёт при этом дополнительное давление вблизи режущей кромки, что подтверждается рис. 5, на котором представлены результаты измерения нормальных контактных нагрузок на фаске задней поверхности при резании хрупкой латуни ЛМцА57-3-1, дающей элементную стружку. Наибольшие контактные напряжения наблюдаются у режущей кромки. Косвенно это подтверждается повышенным износом по задней поверхности при обработке материалов, образующих элементную стружку [9].

Заключение

1. Для изучения распределения контактных напряжений на передней поверхности резца динамометр необходимо устанавливать на токарный станок и выполнять подачу в

горизонтальном направлении, для изучения распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности – на стол горизонтально-фрезерного станка и выполнять подачу в вертикальном направлении.

2. Характер нормальных контактных нагрузок на фаске по задней поверхности зависит от вида стружки и это связано с прогибом поверхности резания под действием силы на передней поверхности.

Литература

1. Артамонов Е. В., Помигалова Т. У., Утешев М. Х. Исследование напряжений, деформаций и прочности сменных режущих пластин методом конечных элементов / Е. В. Артамонов, Помигалова Т. У., Утешев М. Х. / под общей ред. М.Х. Утешева. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2002. – 147 с.
2. Полетика М.Ф., Утешев М.Х. Исследование процесса резания поляризационно-оптическим методом. – Известия Томского политехнического института, 1964, т. 114, С. 21-32.
3. Утешев М.Х., Некрасов Ю.И., Артамонов Е.В. Голографическая установка для исследования напряжённо-деформированного состояния режущей части инструмента // Станки и инструмент. – 1978.- № 6. – с. 38-39.
4. Полетика М.Ф., Красильников В.А. Динамометр для измерения сил и напряжений на передней поверхности резца. – Станки и инструмент, 1971, №2, с. 37-38.
5. Kozlov, V.N. Flank Contact Load Distribution at Cutting Tool Wear. – The 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST 2012) “Innovative technology and advanced engineering”, IFOST conference, September 17-21.2012, pp. 147-151.
6. Oraby S. E., Hayburst D. R. Tool life determination based on the measurement of wear and tool force ratio variation / S. E. Oraby, D. R. Hayburst // International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44, (2004), pp. 1261- 1269.
7. Полетика М.Ф., Афонасов А.И. Условия контакта по задней поверхности режущего инструмента при элементном стружкообразовании. – Прогрессивные технологические процессы в машиностроении. – Томск, 1997, с. 14-17.
8. Афонасов А.И., Ласуков А.А. Элементное стружкообразование при резании металлов / Вестник машиностроения, 2014, т. 3, с. 152-155.
9. Sun, S. , Brandt, M., Mo, J.P.T. Evolution of tool wear and its effect on cutting forces during dry machining of Ti-6Al-4V alloy. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Volume 228, Issue 2, February 2014, Pages 191-202.