

УДК 621.9.014.3

М.Х. УТЕШЕВ, В.А. БЕЛОЗЁРОВ

КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЗАДНИХ ПОВЕРХНОСТЯХ РЕЗЦОВ ИЗ СТМ ПРИ ТОНКОМ ТОЧЕНИИ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Приведены результаты экспериментальных и аналитических исследований распределения контактных напряжений на задних поверхностях резцов из СТМ при тонком точении жаропрочных сплавов на оптимальных экономических режимах резания на станках с ЧПУ.

Учитывая, что тонкое точение резцами из СТМ проводится с малыми толщинами срезаемого слоя, процесс резания в большей степени определяется контактными температурами и напряжениями на задней поверхности. Одной из основных особенностей тонкого точения жаропрочных сплавов и закаленных легированных сталей резцами из СТМ является то, что по мере увеличения фаски износа резца по задней поверхности контактная температура и контактные напряжения на задней поверхности резца из СТМ выше, чем температура и контактные напряжения на передней поверхности. Важной задачей тонкого точения жаропрочных сплавов резцами из СТМ является уменьшение контактных напряжений и контактных температур на задней поверхности. Это достигается благодаря применению инструмента из СТМ с меньшими коэффициентами теплопроводности (гексанит-Р, композит 05ИТ) и обработки жаропрочных сплавов этими инструментами на оптимальных режимах резания.

Из трех рассмотренных резцов из СТМ – эльбор-Р, композит 05ИТ, гексанит-Р – меньшей величине коэффициента теплопроводности инструментального материала у гексанита-Р соответствует большая температура и контактные напряжения на передней поверхности при постоянном коэффициенте укорочения стружки K_c . Соответственно у резца из гексанита-Р уменьшается температура и контактные напряжения на задней поверхности [1].

Согласно общепринятой гипотезе контакт между задней поверхностью инструмента и поверхностью резания возникает в результате волны упругого восстановления, которая следует за волной пластической деформации, опережающей резец. Этот контакт имеет упругопластический характер. В общем случае площадка контакта по задней поверхности состоит из трёх участков: части переходной поверхности скругления от передней к задней поверхности, плоской поверхности фаски износа и участка собственно задней поверхности. При минимальном скруглении режущей кромки наибольшим является средний участок – плоскость фаски. Он определяет и общепринятые направления составляющих – силы нормального давления N_1 и силы трения F_1 на задней поверхности.

Экспериментальное и теоретическое изучение контактных нагрузок на задней поверхности включает две самостоятельные задачи: 1) исследование зависимости суммарных контактных нагрузок, то есть сил N_1 и F_1 от условий резания; 2) исследование распределения нормальных и касательных напряжений на поверхности контакта.

А.М. Розенбергом и Н.Н. Зоревым установлено, что силы на задней поверхности от толщины среза не зависят. Это положение легло в основу наиболее распространенного метода разделения сил на передней и задней поверхностях – метода, который заключается в экстраполяции линий зависимости составляющих силы резания от толщины среза на нулевую толщину среза, причём экстраполяция производится для условий постоянной средней температуры контакта [4], либо для условий постоянного коэффициента укорочения стружки (усадки стружки) [2].

Измерение вертикальной P_z и радиальной P_y составляющих силы резания производилось нами динамометром УДМ-100 при тонком точении жаропрочных сплавов резцами из СТМ. С помощью метода экстраполяции на нулевую толщину среза при постоянном коэффициенте укорочения стружки K_e из измеряемых сил были выделены компоненты N_1 и F_1 силы на задней поверхности. Для отыскания сил N_1 и F_1 экспериментально найдены зависимости $P_y = f_1(a)$ и $P_z = f_2(a)$. При экстраполяции зависимостей $P_y = f_1(a)$ на нулевую толщину среза точка пересечения с осью координат y даёт величины сил N_1 ; точка пересечения зависимостей $P_z = f_2(a)$ с осью координат z даёт величины сил F_1 .

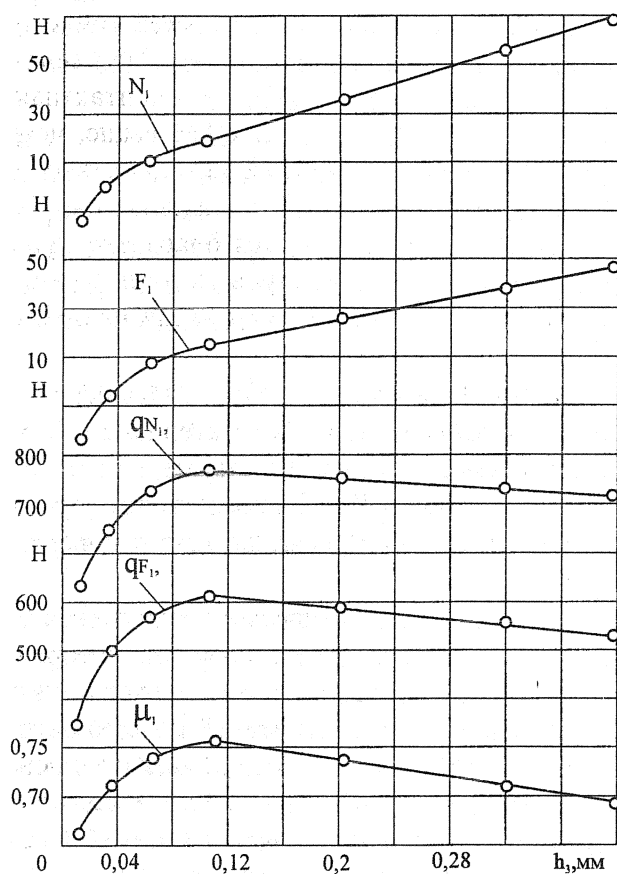


Рис. 1. Зависимости сил N_1, F_1 , средних контактных напряжений qN_1, qF_1 коэффициента трения μ_1 на задней поверхности резца из эльбора-Р от величины фаски износа резца h_3 при точении сплава ХН62МВКЮ-ВД, HRC 38; $t=0,05$ мм; $S=0,02$ мм/об; $v=0,33$ м/с

($h_3 > 0,1$ мм) уменьшаются. Коэффициент трения μ_1 изменяется в зависимости от величины h_3 аналогично qN_1, qF_1 (рис.1).

Распределение контактных напряжений по задней поверхности инструмента имеет самостоятельное значение, так как оно связано с формированием остаточных напряжений в поверхностных слоях обрабатываемой детали и изнашиванием инструмента.

В процессе исследования особенностей нагружения режущей части инструмента из СТМ необходимо изучить влияние величины фаски износа резца h_3 на контактные характеристики инструмента по задней поверхности: силы N_1, F_1 , напряжения qN_1, qF_1 , коэффициент трения μ_1 .

При увеличении фаски износа резца по задней поверхности силы N и F на передней поверхности при прочих равных условиях в первом приближении остаются постоянными, а силы N_1 и F_1 на задней поверхности возрастают. При точении сплава ХН62МВКЮ-ВД, HRC 37 – 39 на режиме резания $t = 0,05$ мм, $S = 0,02$ мм/об, $V = 0,33$ м/с острым резцом из эльбора-Р ($h_3 = 0,03$ мм) силы на задней поверхности составляют $N_1 = 4,2$ Н; $F_1 = 3$ Н. При достижении фаски износа величины $h_3 = 0,1$ мм силы на задней поверхности увеличиваются $N_1 = 17,7$ Н; $F_1 = 13,3$ Н (рис.1).

Установлено, что в зависимости от величины h_3 напряжения qN_1 и qF_1 могут увеличиваться или уменьшаться. При величине износа $h_3 = 0,1$ мм напряжения qN_1, qF_1 возрастают по сравнению с острым резцом, а на последующих стадиях износа

Особое значение приобретает исследование закономерности распределения контактных напряжений σ_{N_1}, τ_{F_1} на задней поверхности резцов из СТМ, так как тонкое точение этими резцами является окончательной операцией механической обработки, на которой происходит формирование поверхностного слоя обрабатываемой детали и, в дальнейшем, зависят эксплуатационные свойства этой детали.

Анализ показывает, что, в отличие от треугольной эпюры, распределения контактных напряжений по задней поверхности инструмента хорошо описываются экспоненциальными зависимостями [3]

$$\begin{aligned} \sigma_{N_1} &= \sigma_{M_1} \cdot e^{-A \left(\frac{x_1}{c_1} \right)}; \\ \tau_{F_1} &= \tau_{M_1} \cdot e^{-B \left(\frac{x_1}{c_1} \right)}; \end{aligned} \quad (1)$$

Распределения контактных напряжений в МПа по длине контакта на задней поверхности резца из гексанита-Р при точении сплава ХН62МВКЮ-ВД, HRC 37 – 39 на оптимальном экономическом режиме резания ($t = 0,05\text{мм}$, $S = 0,04\text{мм/об}$, $V_{\text{эк}} = 1,46\text{м/с}$) на станке с ЧПУ, выражаемые экспоненциальными зависимостями (рис.2), имеют вид

$$\begin{aligned} \sigma_{N_1} &= 560 \cdot e^{-2,662 \left(\frac{x_1}{c_1} \right)}; \\ \tau_{F_1} &= 302 \cdot e^{-2,150 \left(\frac{x_1}{c_1} \right)}; \end{aligned} \quad (2)$$

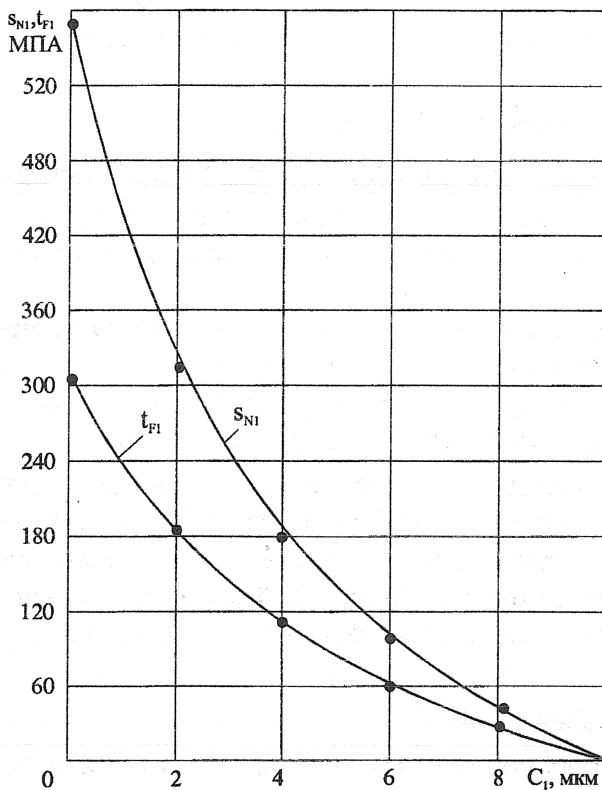


Рис.2. Распределения контактных напряжений по длине контакта на задней поверхности резца из гексанита-Р при точении сплава ХН62МВКЮ-ВД, HRC37-39 на оптимальном экономическом режиме резания на станке с ЧПУ. $t=0,05\text{мм}$; $S=0,04\text{мм/об}$; $V_{\text{эк}}=1,46\text{м/с}$; $c_1=h_3=0,01\text{мм}$ -длина контакта резца с обрабатываемой деталью по задней поверхности (фаска износа)

На рис.2 представлены экспоненциальные зависимости распределения нормальных и касательных контактных напряжений по длине контакта на задней поверхности резца из гексанита-Р при тонком точении жаропрочного сплава ХН62МВКЮ-ВД, HRC37-39 на оптимальном экономическом режиме резания на станке с ЧПУ. За критерий оптимальности принята наибольшая экономическая эффективность обработки поверхности детали (прибыль), как наиболее рациональный по нашему мнению критерий оптимальности.

Интенсификация режимов резания приводит к резкому возрастанию контактных напряжений на задних поверхностях резцов из СТМ. При точении сплава ХН62МВКЮ-ВД, HRC 37 – 39 «острым» резцом из гексанита-Р ($h_3=0,03\text{мм}$) при

$t = 0,05$ мм, $S = 0,15$ мм/об, $V = 1$ м/с максимальные контактные напряжения на задней поверхности составляют $\sigma_{M_1} = 4220$ МПа, $\tau_{M_1} = 1840$ МПа, что значительно выше максимальных контактных напряжений на передней поверхности $\sigma_M = 1710$ Ма, $\tau_M = 840$ МПа, поэтому для обеспечения достаточно высокой прочности и стойкости резцов из СТМ при точении жаропрочных сплавов необходимо ограничивать величины подачи до 0,15 мм/об и глубины резания до 0,5 мм.

При тонком точении жаропрочных сплавов резцами из СТМ при одинаковых геометрических параметрах резцов по полученным нами экспериментальным данным наибольшие контактные напряжения σ_{M_1}, τ_{M_1} на задней поверхности «острого» резца из гексанитара меньше, чем σ_{M_1}, τ_{M_1} у резцов из композита 05ИТ и эльбора-Р.

Выводы

Нами рассмотрены особенности распределения контактных напряжений по задним поверхностям резцов из СТМ по экспоненциальному закону при точении жаропрочных сплавов на разных стадиях износа резца.

1. При величине фаски износа $c_1 = h_3 = 0,01$ мм в начальный период износа (период приработки).
2. При величине фаски $h_3 = 0,03$ мм - обработка «острым» резцом.
3. При величине фаски износа $h_3 = 0,1$ мм контактные напряжения на задней поверхности резца из СТМ возрастают по сравнению с контактными напряжениями на задней поверхности «острого» резца в 1,1 – 1,35 раза и достигают наибольших значений.
4. При изменении фаски износа от 0,1 до 0,4 мм контактные напряжения на задней поверхности резца из СТМ плавно уменьшаются и стабилизируются.

Эта стабилизация контактных напряжений позволяет получить величину шероховатости обработанной поверхности $R_a = 0,2 - 0,4$ мкм при тонком точении жаропрочных сплавов резцами из СТМ на оптимальных экономических режимах резания на станках с ЧПУ, что сравнимо с абразивным многопроходным шлифованием, и является предпосылкой для управления процессом нагружения режущей части инструмента из СТМ со стороны задней поверхности (при поддержании постоянными оптимальными коэффициента укорочения стружки K_e^{opt} и коэффициента запаса прочности режущей кромки у вершины инструмента из СТМ – n_{opt}).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белозёров В. А. Повышение эффективности тонкого точения жаропрочных сплавов на станках с ЧПУ на основе исследования динамической прочности инструментов из СТМ: Автореф. дис... канд. техн. наук. Тюмень. ТюмГНГУ, 2000. - 20с.
2. Зорев Н. Н. Вопросы механики процесса резания металлов. -М.: Машгиз, 1956. – 369с.
3. Некрасов Ю. И. Исследование технологической эффективности обработки труднообрабатываемых материалов на токарных станках с ЧПУ при управлении процессами нагружения режущей части инструмента: Автореф. дис... канд. техн. наук. Киев: ИСМ АН УССР, 1981. – 24с.
4. Розенберг А. М., Ерёмин А. Н. Элементы теории процесса резания металлов. -М.: Машгиз, 1956. – 318с.