

ния (Zr,Hf,Nb,Ti)C с ГЦК решеткой по типу NaCl формируется при температуре горячего прессования 1700 оС из эквимольной порошковой смеси ZrC-HfC-NbC-TiC.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, номер проекта FWRW-2021-0009

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cantor B. et al. Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys //Materials Science and Engineering: A. – 2004. – Т. 375. – С. 213-218.
2. Yeh J. W. et al. Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: novel alloy design concepts and outcomes //Advanced Engineering Materials. – 2004. – Т. 6. – №. 5. – С. 299-303. Tsai M. H., Yeh J. W. High-entropy alloys: a critical review //Materials Research Letters. – 2014. – Т. 2. – №. 3. – С. 107-123.
3. Zhang R. Z., Reece M. J. Review of high entropy ceramics: design, synthesis, structure and properties //Journal of Materials Chemistry A. – 2019. – Т. 7. – №. 39. – С. 22148-22162.
4. Oses C., Toher C., Curtarolo S. High-entropy ceramics //Nature Reviews Materials. – 2020. – Т. 5. – №. 4. – С. 295-309
5. Zhang R. Z., Reece M. J. Review of high entropy ceramics: design, synthesis, structure and properties //Journal of Materials Chemistry A. – 2019. – Т. 7. – №. 39. – С. 22148-22162.

Ю Цзяньюй (Китай), Ци Мэнсюй (Китай), Чжао Цзялунь (Китай),
Козлов Виктор Николаевич

Томский политехнический университет, г. Томск

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

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ЦЕЛЬНЫХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ

Концевые фрезы широко используются в машиностроении на вертикально-фрезерных станках для обработки уступов, пазов и плоскостей небольшой ширины.

Для уменьшения неравномерности резания и облегчения врезания в заготовку на концевых фрезах используются правозаходные (с правым направлением) винтовые стружечные канавки, т.е. с отрицательным углом наклона главной режущей кромки λ , который на фрезах обозначается как угол ω . Обычно $\omega = 30-35^\circ$ в зависимости от их диаметра, обрабатываемого и инструментального материала [1].

В связи со сложной формой фрез они чаще всего изготавливаются из быстрорежущей стали (Р6М5, Р6М5К5 и т.п.), которая имеет большую прочность по сравнению с твёрдым сплавом, но меньшую стойкость.

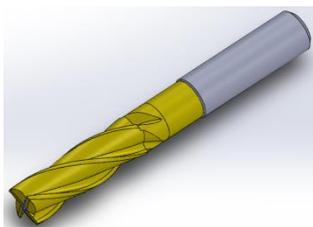


Рисунок 1. 3-D модель концевой цельной фрезы с цилиндрическим хвостовиком

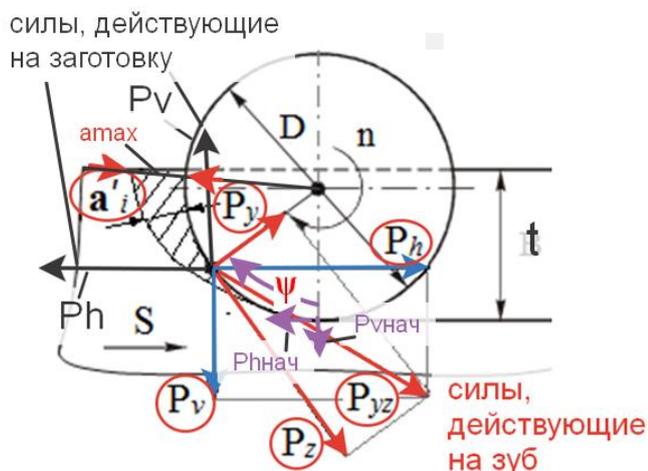


Рисунок 2. Схема действия составляющих силы резания при несимметричном встречном концевом фрезеровании

Для определения оптимальной геометрии фрезы необходимо знать силы, действующие на зуб фрезы, в зависимости от угла подъёма винтовой канавки ω и переднего угла γ в зависимости от толщины среза a .

При фрезеровании из-за поворота фрезы толщина среза меняется. При встречном фрезеровании она изменяется от нуля при врезании зуба фрезы ($a_i = 0$ мм) до наибольшего значения при выходе зуба фрезы ($a_i = a_{max}$) (рис. 2).

При фрезеровании изменяется не только величина составляющих P_z и P_y силы резания, действующих на зуб фрезы, но и их направление (рис. 2). В начальный момент при врезании зуба на заготовку действуют силы $P_{h\text{нач}}$ и $P_{v\text{нач}}$, а при дальнейшем повороте зуба у силы $P_{v\text{нач}}$ изменяется её направление на $P_{v\text{и}}$. Поэтому большой проблемой является измерение составляющих P_z и P_y силы резания, т.к. с помощью динамометра, на котором закрепляется заготовка, можно измерять только

составляющие P_h и P_v силы резания, действующие вдоль продольной подачи s (мм/мин) и перпендикулярно ей соответственно.

При фрезеровании торцевой фрезой с одним зубом с углом наклона главной режущей кромки $\varphi = 45^\circ$ в условиях, когда ширина фрезерования B равна диаметру фрезы D , можно измерить при врезании $P_v = P_y$ и $P_h = P_z$, а при выходе зуба из контакта с заготовкой $P_v = P_z$ и $P_h = P_y$ (рис. 3 а).

Фрезерование торцевой фрезой с $\varphi=45^\circ$ (а) и точение резцом с $\varphi=45^\circ$ (б)

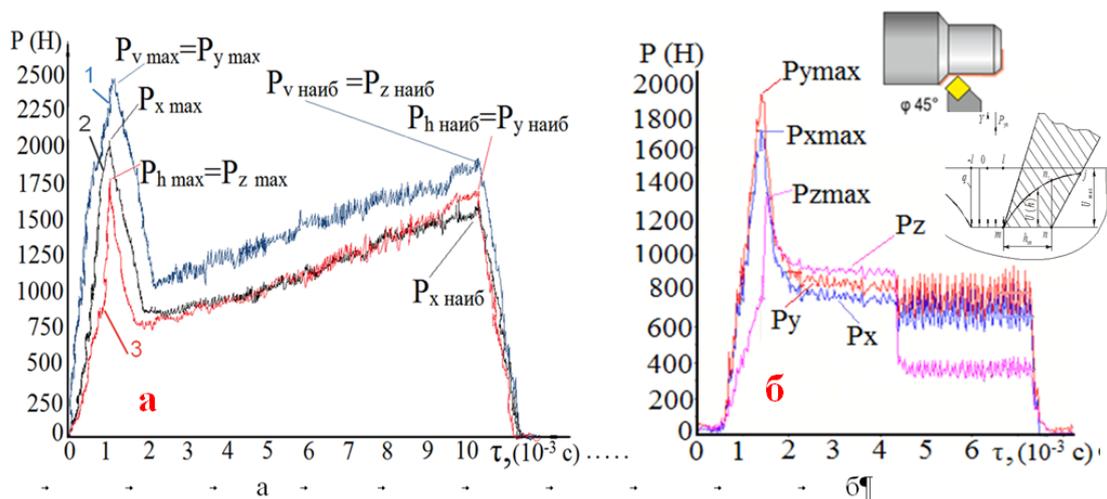


Рисунок 3. Графики изменения составляющих силы резания при торцовом фрезеровании (а) и при моделировании врезания зуба фрезы с использованием токарного резца (б). Ордината – составляющие силы резания (Н), абсцисса – время обработки τ (с).

а — при торцовом фрезеровании фрезой с одним зубом с углом наклона главной режущей кромки $\varphi = 45^\circ$, 1 – P_v , 2 – P_x , 3 – P_h ;

б — при точении резцом с врезанием в коническую поверхность, оставленную после предыдущей обработки резцом с углом в плане $\varphi = 45^\circ$, $s = 0,07$ мм/об, $v = 120$ м/мин, $t = 1,8$ мм, длина фаски износа по задней поверхности $h_z = 0,95$ мм

Эксперименты показали, что в момент врезания зуба фрезы происходит сначала быстрое увеличение сил (рис. 3 а), но после начала образования стружки эти силы быстро уменьшаются, а затем начинают увеличиваться из-за увеличения толщины среза a_i , которая может быть рассчитана по формуле:

$$a_i = a'_i \cdot \sin \psi_i = s_z \cdot \sin \varphi \cdot \sin \psi_i, \quad (1)$$

где a'_i – проекция толщины среза на виде сверху;

s_z – подача на зуб;

φ – главный угол в плане (рис. 4);

ψ_i – центральный угол поворота фрезы от начальной точки врезания зуба до рассматриваемого положения зуба.

Наибольшая сила будет соответствовать наибольшей толщине среза a_{max} , рассчитываемой по формуле:

$$a_{max} = \frac{B}{D} \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{B}{D}} \quad (2)$$

где B – ширина фрезерования при торцовом фрезеровании (рис. 4);
 D – диаметр фрезы.

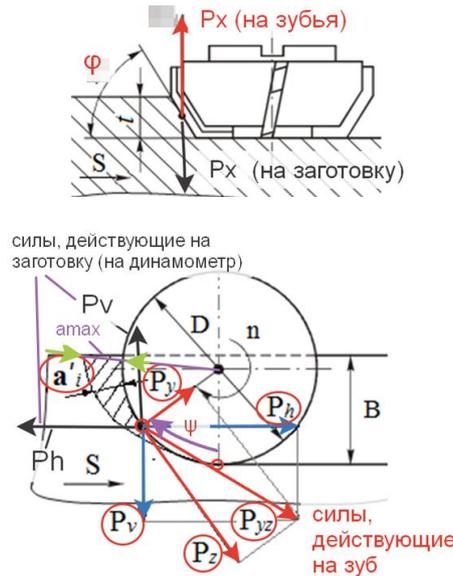


Рисунок 4. Схема действия составляющих силы резания при несимметричном встречном торцовом фрезеровании

Для моделирования врезания зуба фрезы выполнялась обточка прутка с врезанием в коническую поверхность, оставшуюся от предыдущей обработки (рис. 3 б), которая показала аналогичный характер изменения сил резания, но без увеличения сил после наступления установившегося резания, т.к. при продольном точении прутка толщина среза не изменяется: $a = s \cdot \sin\phi = \text{const}$.

Кратковременное увеличение сил при врезании объясняется нами как результат вдавливания слоя металла под режущую кромку инструмента. Радиус округления режущей кромки даже у остро заточенного инструмента $\rho = 5-1$ мкм, который зависит от зернистости инструментального материала [2].

При концевом фрезеровании понятие «глубина резания» изменяет своё определение и измеряется перпендикулярно оси фрезы (рис. 2). Уравнения (1) и (2) также изменятся на (3) и (4) с учётом того, что при

фрезеровании концевой фрезой главный угол в плане φ равен 90° , следовательно $\sin\varphi = \sin 90^\circ = 1$:

$$a_i = s_z \cdot \sin \psi_i, \quad (3)$$

$$a_{max} \approx S_z \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{d}} \quad (4)$$

где t – глубина резания (рис. 2).

При фрезеровании концевой фрезой из-за небольшой жёсткости (малый диаметр D при достаточно большом вылете l из цанги (рис. 5)) необходимо уменьшить глубину резания. В наших стойкостных испытаниях для уменьшения расхода обрабатываемого материала применялась глубина резания $t = 1$ мм, что при диаметре фрезы больше 16 мм даёт нам право говорить о том, что составляющая P_h , измеряемая динамометром, будет приблизительно равна P_z , а P_v – приблизительно равна P_y (рис. 5).

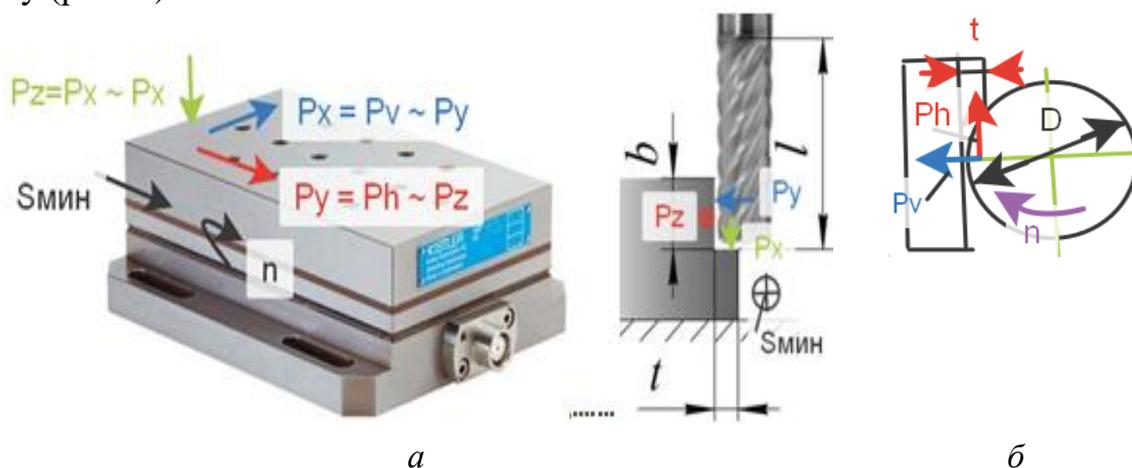


Рисунок 5. Схема действия составляющих силы резания при концевом фрезеровании с небольшой глубиной резания t . а – направления сил, фиксируемых динамометром; б – направления действия сил на заготовку от фрезы на виде сбоку; в – направления действия сил от фрезы на заготовку (на динамометр) на виде сверху

Для экспериментов использовался динамометр Kistler (рис. 5), в программном обеспечении DynoWare которого сила, действующая вертикально, показывается на мониторе как P_z , хотя для концевой фрезерования это P_x ; сила, действующая вдоль направления поперечной подачи (т.е. вдоль динамометра) показывается как P_y , хотя для фрезерования это P_h ; сила, действующая поперёк подачи показывается как P_x , хотя для фрезерования это P_v .

С учётом малой глубины резания t принимаем, что $P_z = P_h$, $P_y = P_v$, $P_x = P_x$ (рис. 5).

В ходе экспериментов фиксировались зависимости составляющих P_z , P_y и P_x силы резания и длина фаски износа h_z по задней поверхности от времени обработки (рис. 6), что позволило выделить силы P_z п, P_y п и P_x п на передней поверхности и на фаске износа P_z h, P_y h и P_x h.

По технологическим силам P_z п, P_y п и P_x п на передней поверхности и переднему углу γ зубьев фрезы рассчитывались физические составляющие силы резания на передней поверхности: нормальная N и касательная F , которые затем использовались для построения эпюр контактных напряжений [2].

Составляющие P_z h, P_y h и P_x h использовались для построения эпюр контактных напряжений на фаске задней поверхности зубьев концевой фрезы [3].

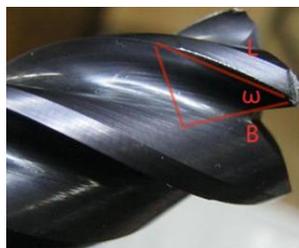


Рисунок 6. Износ твёрдосплавной фрезы по задней поверхности и вершинам

В зависимости от угла наклона винтовой канавки ω (рис. 6) будут изменяться и силы резания. В работе Филиппова А.В. [4] рассмотрено влияние угла наклона главной режущей кромки λ при брющем точении на составляющие силы резания (рис. 7), что может соответствовать влиянию угла ω , т.к. они работают в схожих условиях. В этой работе угол λ изменялся от -60° до -30° , а в работе [5] рассмотрено влияние на силы угла наклона винтовой канавки ω от -25° до 0° (рис. 8).

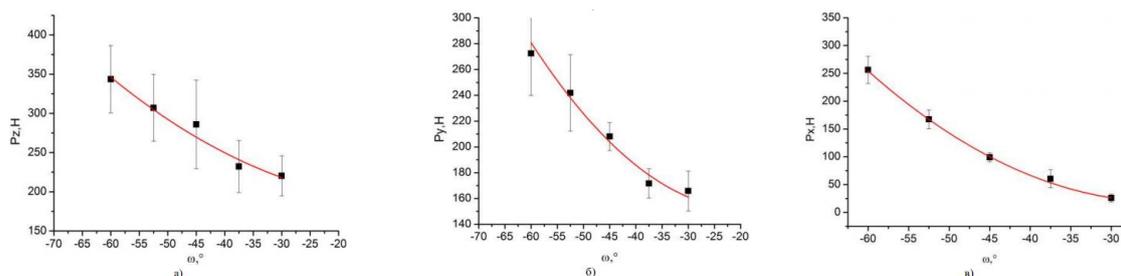


Рисунок 7. Влияние угла наклона лезвия на составляющие силы резания при бреющем точении а) P_z , б) P_y , в) P_x [4]

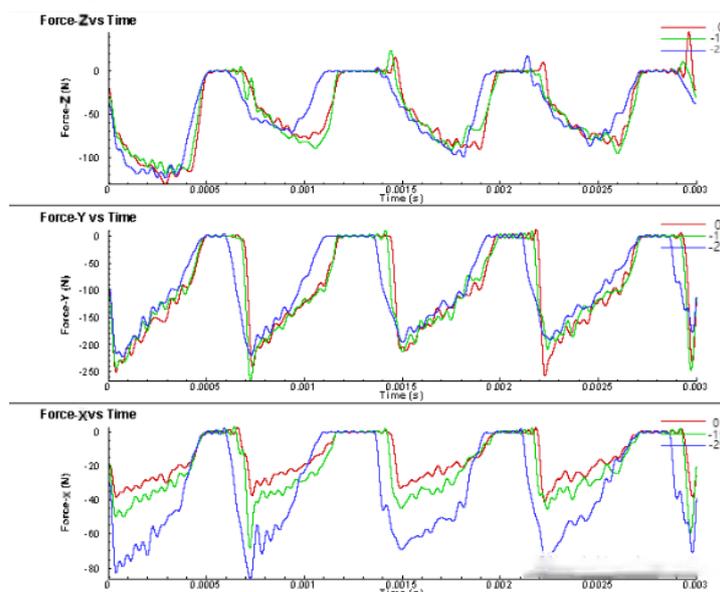


Рисунок 8. Влияние угла подъёма винтовой канавки фрезы ω на составляющие силы резания в зависимости от времени работы [5]

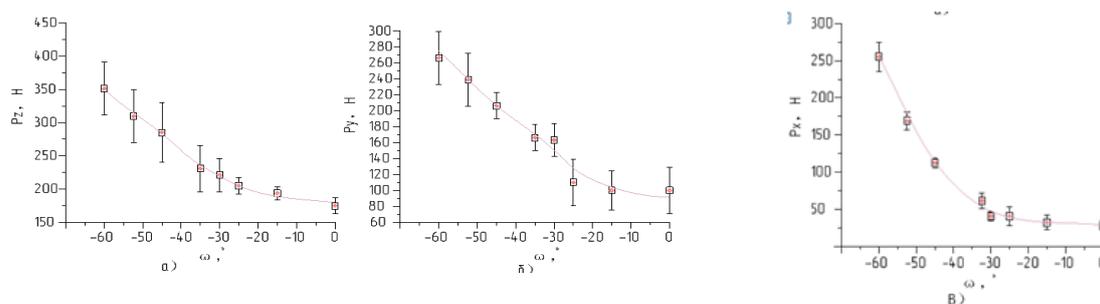


Рисунок 9. Влияние угла наклона лезвия на составляющие силы резания при бреющем точении а) P_z , б) P_y , в) P_x

Контактные напряжения прикладывались к модели фрезы и рассчитывалось напряжённо-деформированное состояние (НДС) фрезы.

Анализ НДС при разных подачах и геометрии фрезы позволил определить её рациональные параметры и режимы резания.

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. Чэнь Юэчжоу. Расчёт эпюр контактных напряжений при обработке стали / Чэнь Юэчжоу, Чжан Цзяюй, В. Н. Козлов; науч. рук. В. Н. Козлов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов сборник докладов X Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 22-24 апреля 2020 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — Томск : Изд-во ТПУ , 2020 . — [С. 243-250] .
3. Kozlov V. N., Zhang J., Zhang J., Guo Y., Sabavath S. K. Research of Contact Stresses Distribution on Plunge-Cutting into a Steel Workpiece [Electronic resource] / V. N. Kozlov [et al.] // Key Engineering Materials : Scientific Journal. — 2018. — Vol. 769 : High Technology: Research and Applications (HTRA 2017). — [284-289].
4. Филиппов А.В. Повышение точности обработки нежестких валов путём оптимизации параметров бреющего точения, 2015. С. 152-153.
5. https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=55131a0fada758676358e307b35498f8&site=xueshu_se.

Юсеф Али (Сирия)

Московский государственный технологический университет "СТАНКИН", г. Москва

Научный руководитель: Шварцбург Леонид Эфраимович, д.т.н. проф.

МИНИМИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭНЕРГИИ

Аннотация.

В статье рассмотрены основные аспекты воздействия потребляемой при реализации технологических процессов энергии на окружающую среду и человека. Выделены особенности функционирования энергетических предприятий и обоснованы формы негативного воздействия выделяемой энергии на природную среду и человеческий организм. Опи-