

СТАТИЧЕСКИЕ И КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАДНИЕ УГЛЫ ПО ПРОФИЛЮ ЗУБЬЕВ ЧЕРВЯЧНО-МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ С РАЗЛИЧНЫМИ СХЕМАМИ РЕЗАНИЯ

*Г.Г. СКРЕБНЕВ, канд. техн. наук, доцент
А.С. АНАНЬЕВ, канд. техн. наук, доцент
(ВолгГТУ, г. Волгоград)*

Статья получена 24 декабря 2012 года

Скребнев Г.Г. – 400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28,
Волгоградский государственный технический университет, e-mail: stanki@vstu.ru

Рассматриваются вопросы изменения статических задних углов по профилю зуба стандартных червячно-модульных фрез и фрез с модифицированным профилем в процессе обработки. Показано, что сам по себе кинематический задний угол существенного влияния на износ зубьев фрез не оказывает, так как его значения находятся в пределах минимально необходимых для нормальной работы инструмента.

Ключевые слова: червячная фреза, профиль зуба, износ, задний угол, расчет, схема резания.

В работах авторов, исследующих причины неравномерного износа по профилю зубьев червячных фрез, отмечается, что значительное влияние на износ оказывает изменение действительных геометрических параметров зубьев фрез в процессе обработки [1–7].

Задний угол α оказывает наибольшее влияние на процессы, протекающие на задней поверхности зуба. На макроуровне с увеличением α увеличивается объем истираемого материала при одинаковой величине линейного износа по задней поверхности. Кроме того, возрастает свобода перемещений задней поверхности относительно поверхности резания и облегчается доступ СОТС. На микроуровне – уменьшается зона контакта и контактные явления в зоне резания, что снижает силы трения и деформацию прилегающих к этой зоне зерен. На субатомном уровне – отдалляется порог рекристаллизации инструментального материала за счет уменьшения тепловыделений при снижении силы трения и деформаций в зоне резания, что уменьшает пластическое течение и абразивное истирание задней поверхности. Шероховатость обработанной поверхности существенно зависит от трения и контактных явлений, протекающих вдоль задней поверхности. Однако увеличение α приводит к

уменьшению угла заострения режущего клина, снижению теплоемкости зуба, увеличению радиуса округления режущих кромок.

В результате ранее проведенных многочисленных экспериментов было сделано заключение, что у стандартных червячных фрез совершенно недостаточна величина заднего угла, особенно для угловых и боковых режущих кромок. Следовательно, изменение их в процессе резания даже на доли градуса заметно скажется на характере износа инструмента.

Разработанная в Волгоградском государственном техническом университете методика автоматизированного расчета кинематических задних углов зубьев червячных зуборезных фрез и созданное на ее основе программное обеспечение позволили проанализировать кинематические геометрические параметры (прежде всего, кинематические задние углы) червячных зуборезных фрез с различными схемами резания. Для проведения численного эксперимента были выбраны (наряду со стандартными) достаточно распространенные фрезы с вершинонагруженной и прогрессивной схемами резания и фрезы со стружкоразделительными элементами в виде фасок – фрезы переменного резания и с перекрывающимися профилями. Моделировалось фрезерование прямозубых зуб-

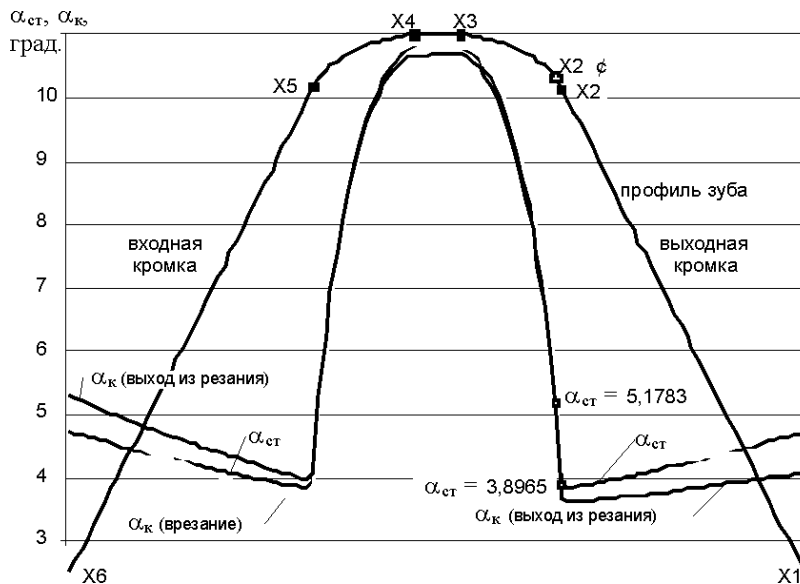


Рис. 1. Статические ($\alpha_{ст}$) и кинематические ($\alpha_{к}$) задние углы по профилю центрального зуба стандартной фрезы

чатых колес на полную высоту зуба со встречной и попутной подачами.

Исследователи, изучавшие причины неравномерного износа по профилю зуба фрезы с точки зрения различия геометрических параметров инструмента в статике и кинематике, высказывали предположение, что в процессе обработки задние углы принимают значения, близкие к нулю, а иногда и отрицательные, и что это является причиной повышенного износа выходной задней поверхности зуба. Но такое предположение не нашло подтверждения в нашем исследовании. На рис. 1 представлены задние углы в статике и кинематике, рассчитанные для центрального зуба стандартной фрезы ($m = 5$ мм, $z = 20$, $z_0 = 10$, s_0 (встречная) = 2 мм/об).

Из графиков видно, что на точки сопряжения боковых кромок с радиусными уголками ($X2$ и $X5$) приходится минимум заднего угла как в статике, так и в кинематике. При врезании зуба выходной уголок (точка $X2$) режет с увеличенными задними углами, а входной (точка $X5$) – с уменьшенными; при выходе из резания – наоборот. Кинематические задние углы на радиусных кромках незначительно отличаются от углов в статике. Но даже в точке $X2'$, отстоящей от точки сопряжения $X2$ на 0,085 мм к оси зуба, задние углы больше на $1,25^\circ$.

Далее (рис. 2 и 3) рассмотрены зависимости статических и кинематических задних углов по профилю зубьев фрез с различными схемами резания.

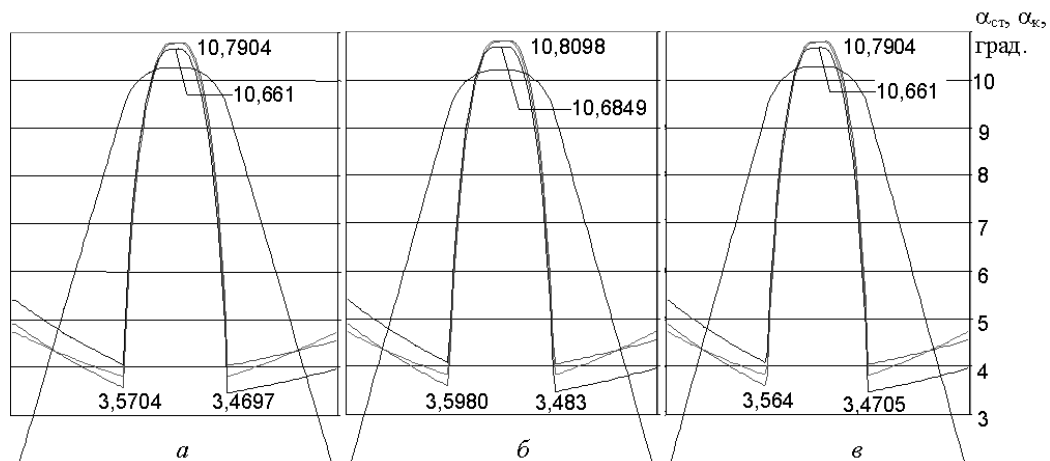


Рис. 2. Статические ($\alpha_{ст}$) и кинематические ($\alpha_{к}$) задние углы по профилю центрального зуба фрезы:

a – прогрессивной; b – стандартной; v – вершинонагруженной

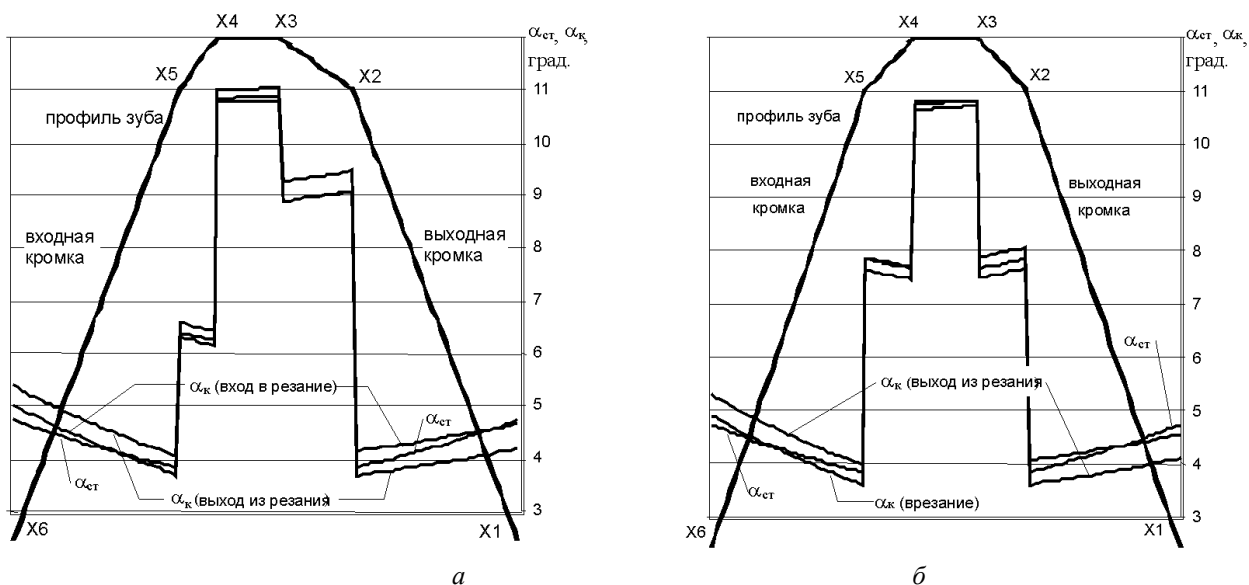


Рис. 3. Статические ($\alpha_{ст}$) и кинематические (α_k) задние углы по профилю центрального зуба фрезы:
 а – с перекрывающимися фасками; б – с равными фасками

Анализ графиков показал, что у фрез с прогрессивной, вершинонагруженной и попеременнонагруженной схемами резания задние углы практически не отличаются от задних углов зубьев стандартных фрез.

У фрез со стружкоразделительными элементами в виде фасок на модифицированных участках профиля величина заднего угла увеличивается, однако в точках X2 и X5, где задний угол

минимален, значения углов такие же, как у фрез со стандартной схемой резания.

Таким образом, сам по себе кинематический задний угол существенного влияния на износ зубьев фрез не оказывает, так как его значения находятся в пределах, минимально необходимых для нормальной работы инструмента. В процессе работы зуба задние поверхности начинают постепенно изнашиваться, что приводит к уменьшению

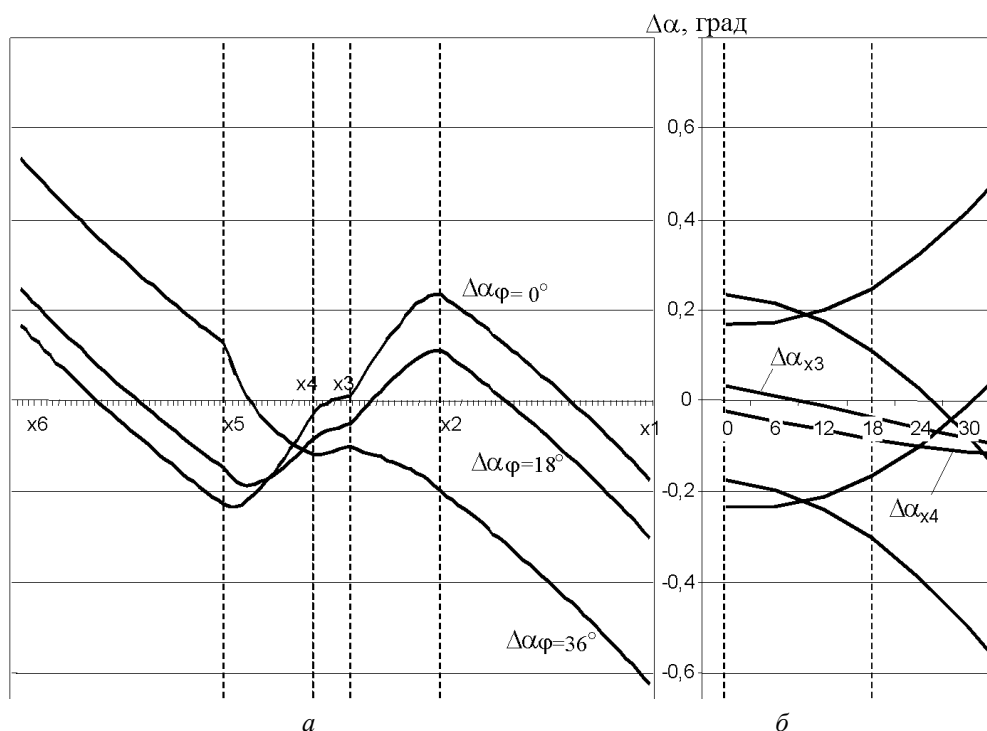


Рис. 4. Зависимость $\Delta\alpha$ от угла поворота фрезы:
 а – по профилю зубьев; б – в узловых точках

статического заднего угла. Чем меньше значение заднего угла в статике, тем больше сказывается влияние кинематического угла на износ, и при некотором критическом значении (близком к нулю) топография износа зуба по профилю будет зависеть от разницы между значениями заднего угла в статике и кинематике $\Delta\alpha$ ($\Delta\alpha = \alpha_{ст} - \alpha_{к}$).

Изменение $\Delta\alpha$ в зависимости от поворота фрезы показано на рис. 4. Из рассмотрения графиков следует, что по мере поворота фрезы кинематические задние углы на входной кромке увеличиваются, а на выходной уменьшаются.

На рис. 5 представлены графики изменения $\alpha_{к}$ и $\Delta\alpha$ от положения зуба относительно межосевого перпендикуляра, т. е. от номера зуба, из которых следует, что зубья на входном участке фрезы (с отрицательными номерами), первыми вступающие в резание, имеют увеличенные задние углы по сравнению с профилирующими зубьями на выходном участке фрезы. Причем на вершинной кромке перепад более существен, чем на боковых кромках, что сказывается на форме кривой изменения $\Delta\alpha$ по профилю зуба в зависимости от его номера. Моделирование изменения $\Delta\alpha$ в зависимости от числа зубьев нарезаемого колеса z показало, что отчетливо просматривается тенденция к уменьшению разности между значениями заднего угла в статике и кинематике при увеличении z . И, наоборот, чем меньше z , тем сильнее растет разность $\Delta\alpha$.

С увеличением модуля $|\Delta\alpha|$ линейно возрастает во всех точках профиля, однако в точках X2,

X3 (выходной уголок) углы возрастают, а в точках X4, X5 (входной уголок) уменьшаются. Известно, что от модуля зависит также ряд конструктивных параметров фрезы, например, наружный диаметр d_{a0} и число стружечных канавок фрезы z_0 . Увеличение наружного диаметра фрезы вызывает уменьшение кинематического заднего угла на выходной кромке зубьев и на входной у основания; на входном уголке, напротив, $\alpha_{к}$ уменьшается. На изменение заднего угла на вершинных кромках увеличение диаметра d_{a0} практически не влияет. При увеличении числа заходов n_{z0} задние углы на выходных кромках зубьев увеличиваются, а на входных уменьшаются, достигая отрицательных значений. На вершинных кромках $\alpha_{к}$ уменьшается по мере увеличения n_{z0} , но это влияние не так велико, как на боковых.

Изменение подачи по-разному влияет на изменение задних углов в кинематике в зависимости от положения зуба фрезы. Чем больше повернут зуб от плоскости межосевого перпендикуляра, тем больше сказывается влияние подачи на величину заднего угла. Зависимость кинематического угла от подачи линейна, причем учитывается и направление подачи: встречная – положительная, попутная – отрицательная.

На графиках (рис. 6) показаны зависимости $\Delta\alpha$ от подачи при различных углах поворота фрезы. Если в плоскости межосевого перпендикуляра ($\varphi = 0^\circ$) подача практически не влияет на изменение $\Delta\alpha$, при $\varphi = 10^\circ$ это влияние незначительно (в пределах $0,05^\circ$ при изменении

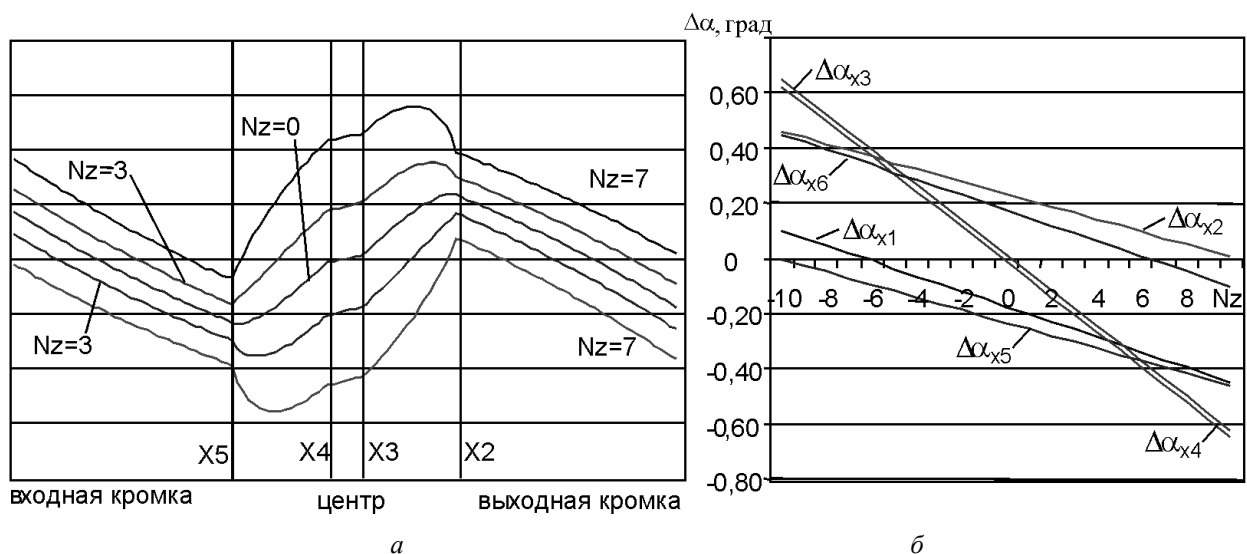


Рис. 5. Значение $\Delta\alpha$ в зависимости от номера зуба:

a – по профилю зубьев; b – в узловых точках

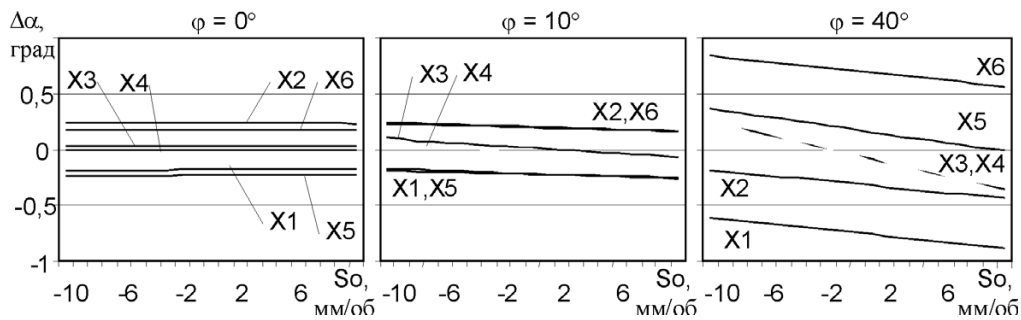


Рис. 6. Зависимость $\Delta\alpha$ от подачи в узловых точках профиля при различных углах поворота фрезы

подачи на 10 мм/об), то на выходе из резания ($\varphi = 40^\circ$) при изменении подачи на 2 мм/об угол изменяется до $0,1^\circ$ на вершинной кромке и до $0,04^\circ$ на боковых кромках. Интересен тот факт, что при попутной подаче величина заднего угла увеличивается, а при встречной – уменьшается, что помимо других факторов способствует увеличению стойкости червячных фрез при работе с попутной подачей.

Таким образом, комплекс полученных результатов убедительно подтверждает адекватность используемых методик по имитационному моделированию процесса зубофрезерования и расчетных методик по определению величины вершинных и боковых задних углов зубьев червячно-модульных фрез, а также правильность защищаемого тезиса: кинематический задний угол существенного влияния на износ зубьев фрез не оказывает.

Список литературы

1. Смольников Н.Я., Скребнев Г.Г., Крылов А.Д. Анализ процесса стружкообразования с использованием ЭВМ // Fundamental and applied technological problems of machine building. Technology-2000: Trans. Collection Int. Sci.-Techn. Conf., 28-30 Sept. 2000 / Oryol state technical university и др. – Oryol, 2000. – Part II. – С. 202–205.
2. Смольников Н.Я., Скребнев Г.Г., Крылов А.Д. Влияние параметров срезаемого слоя на износ зубьев

червячных зуборезных фрез // Вестник Читинского государственного университета. Гуманитарные науки. Технические науки. Естественные науки / ЧитГТУ. – Чита, 2001. – Вып. 21. – С. 137–146.

3. Смольников Н.Я., Скребнев Г.Г., Крылов А.Д. Зависимость износа по профилю зубьев червячных фрез от условий резания // Вестник Читинского государственного университета. Гуманитарные науки. Технические науки. Естественные науки / ЧитГТУ. – Чита, 2001. – Вып. 21. – С. 133–137.

4. Смольников Н.Я., Скребнев Г.Г., Крылов А.Д. Методика автоматизированного расчета кинематических задних углов зубьев червячных зуборезных фрез // Прогрессивные технологии в машиностроении: межвуз. сб. науч. трудов / ВолгГТУ. – Волгоград, 2002. – Вып. 5. – С. 90–96.

5. Плосков В.А. Геометрия режущих лезвий червячных фрез // Труды Уральского политехнического института. Вопросы технологии машиностроения. – 1956. – № 80. – С. 33–48.

6. Липатов А.А., Чигиринский Ю.Л., Кормилицын С.И. Исследование характера контактного взаимодействия на площадке износа задней поверхности инструмента при резании аустенитной стали // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. (Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. Вып. 7). – Волгоград, 2011. – № 13 (86). – С. 27–30.

7. Sulzer G. Leistungssteigerung bei der Zylinderherstellung durch genaue Erfassung der Zerspännkinematik. Aachen, 1973, p.156 (Перевод № А-68664).

Static and kinematic rear corners on the profile of teeth of the spindle-modular cutters with various cutting schemes

G.G. Skrebnev, A.S. Ananyev

The article takes up the issues around changing of static rear corners on the profile of tooth of the standard spindle-modular cutters and cutters with modified profile in the manufacturing process. It is shown, that in itself kinematic rear corner doesn't have significant impact on tear and wear of the tooth of the milling cutters as its values are within the minimum required for the normal operation of the instrument.

Key words: worm milling, tooth profile, tear and wear, rear corner, calculation, cutting scheme.