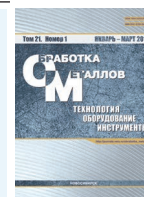




Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Моделирование методом конечных элементов для определения напряженно-деформированного состояния в сменных многогранных пластинах червячной фрезы

Дмитрий Василега^а, Виталий Киреев^б, Виталий Зырянов^{с*}

Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, г. Тюмень, 625000, Россия

^а <https://orcid.org/0000-0001-7618-7906>, d_vasilega@mail.ru, ^б <https://orcid.org/0000-0003-2285-1036>, kireevvv@tyuiu.ru,

^с <https://orcid.org/0000-0002-8191-3930>, zyrjanovva@tyuiu.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.914.025.7

История статьи:

Поступила: 11 октября 2018
 Рецензирование: 23 января 2019
 Принята к печати: 29 января 2019
 Доступно онлайн: 15 марта 2019

Ключевые слова:

Зубофрезерование
 Твердый сплав
 Сборная червячная фреза
 Напряженно-деформированное
 состояние режущих элементов

АННОТАЦИЯ

Введение. Инструментальная оснастка играет важную роль в работе машиностроительных предприятий. Наиболее важным в оснащении металлорежущего инструмента является замена режущей части из группы быстрорежущих сталей на режущую часть, изготовленную из твердого сплава, которая, в свою очередь, дает повышение стойкости и общей работоспособности режущего инструмента. Когда режущая способность материала инструмента увеличивается, взаимозаменяемость падает. Важным является всесторонний исследовательский подход, который учитывает проектирование инструмента, использующего твердый WC-Co. Проектирование, изготовление и испытание зубчатых режущих инструментов, отработка режимов резания должны проводиться в отношении конкретной обрабатываемой детали и ее материала. При разработке такого типа инструмента необходимо учитывать особенности сплава WC-Co как режущего материала, режимы резания, разрушение инструмента и другие моменты, связанные с его использованием. **Цель работы:** изучить влияние геометрии сменной многогранной пластины на распределение опасных напряжений растяжений. **В работе исследованы** результаты расчета напряженного деформированного состояния в сменной пластине из материала WC-Co. Зоны растяжения и сжатия наблюдаются на основной режущей кромке. Концентрация опасных растягивающих напряжений расположена в переходной зоне между прямой боковой режущей кромкой к вершине, так как именно в этой зоне имеется наибольшая стесненность резания. Соответственно наибольшее разрушение произойдет в этой зоне. Важно то, что в этой части режущей кромки будет происходить самый большой износ по задней поверхности. **Методами исследования** являются применение программы конечноэлементного анализа ANSYS для выявления опасных напряжений растяжения σ_1 . **Результаты и обсуждение.** Анализ изолиний распределения напряжений показал, что растягивающие напряжения вдоль передней поверхности сменной режущей пластины уменьшаются из-за того, что каждая сменная режущая пластина срезает свою часть материала. Первой в работу вступает зауженная режущая пластина, которая срезает металл верхней частью режущей пластины, а затем работает заниженная режущая пластина, которая работает боковыми режущими кромками. В результате проведенных исследований было установлено, что с применением прогрессивной схемы резания по сравнению со стандартной схемой, у которой исходный профиль производящей рейки изготовлен по DIN3972 при зубофрезеровании, существенно снижаются опасные напряжения растяжения в режущих твердосплавных пластинах.

Для цитирования: Василега Д.С., Киреев В.В., Зырянов В.А. Моделирование методом конечных элементов для определения напряженно-деформированного состояния в сменных многогранных пластинах червячной фрезы // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 1. – С. 50–60. – doi:10.17212/1994-6309-2019-21.1-50-60.

Введение

Процессу формообразования зубчатых колес, а также повышению производительности и стойкости инструмента было посвящено множество научных работ [1–4]. В них проводились исследования инструмента в зависимости от различных факторов: кинематических параметров процесса резания [5]; влияния на стойкость

*Адрес для переписки

Зырянов Виталий Андреевич, аспирант
 Тюменский индустриальный университет
 ул. Володарского, 38,
 625000, г. Тюмень, Россия
 Тел.: 8 (919) 924-07-89, e-mail: zyrjanovva@tyuiu.ru

зубообрабатывающих инструментов [6] в условиях однопроходной и многопроходной обработки; геометрических и конструктивных параметров зубообрабатывающих фрез [7]; технологических параметров режимов резания [8]; схем резания зубообрабатывающими фрезами, характеризующихся различным сочетанием направлений подачи [9]; технического состояния металлорежущего оборудования; методов врезания в обрабатываемую заготовку [10]; материала инструмента и заготовки; наличия или отсутствия смазывающей охлаждающей жидкости; требований, предъявляемых к точности и качеству процесса резания [11]. В исследованиях процесса формообразования делается заключение о том, что на стойкость зубообрабатывающего инструмента в значительной степени влияют размеры срезаемых слоев, оказывающих свое воздействие на износ каждого зуба фрезы отдельно и в целом на весь режущий инструмент, мощность резания и крутящий момент, что служит препятствием для выбора оптимальных режимов резания.

Эти выводы подтверждаются исследованиями торцевого и цилиндрического фрезерования, которые показывают, что размеры разрезаемого слоя (длина и толщина) в момент врезания и его выхода из зоны резания с заготовкой при равных условиях определяют силы резания и износ зубьев червячной фрезы. Результаты коррекции профиля и высоты зубьев инструмента червячного типа, выполненные с целью выравнивания распределенной нагрузки на них, привели к снижению износа режущих зубьев червячной фрезы. Исходя из этого задачи комплексной оптимизации параметров фрезерования зубчатых колес решаются с учетом состояния металлорежущего станка, режущего инструмента и обрабатываемой заготовки.

Инструментальная оснастка имеет большое значение в работе машиностроительных предприятий. Однако наиболее важным элементом оснащения технологического оборудования является металлорежущий инструмент [12–14]. Замена инструмента из быстрорежущей стали на режущий инструмент с использованием спеченных твердых сплавов WC—Co [15–17] дает повышение производительности и общей эффективности обработки [18–24] за счет увеличения режущей способности материала, но при

этом наблюдается снижение универсальности применения инструмента. Таким образом, при разработке такого типа инструмента необходимо учитывать особенности режущего материала, режимы резания и другие факторы, относящиеся к его эксплуатации [25–28]. Целью настоящей работы является повышение работоспособности червячных фрез с использованием сменных многогранных пластин на основе исследования напряженно-деформированного состояния. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- 1) проведение имитационного моделирования процесса зубофрезерования;
- 2) определение поперечных сечений срезаемых слоев;
- 3) исследование напряженного состояния сменных многогранных пластин.

Методика исследований

Для выполнения поставленных задач необходимо было провести исследования процессов загрузки, напряженно-деформированного состояния методом имитационного моделирования с использованием CAD-системы Компас-3D и CAE-системы конечноэлементного анализа ANSYS. Исследование воздействия геометрии режущей пластины из твердого сплава WC—Co на их деформированное состояние в плоскости схода стружки поможет определить влияние распределения напряжений в пластине при одинаковых условиях работы инструмента (нарезаемый модуль, количество зубьев колеса и подаче инструмента), а также поможет определить зоны наибольших деформаций на передней поверхности [29–34].

Метод имитационного моделирования процесса резания заключается в том, что наглядно показано положение режущего инструмента в процессе обработки. Это дает возможность отследить траекторию движения червячной фрезы и обрабатываемой заготовки, впоследствии можно выявить поперечное сечение срезаемого слоя. Величина площадей поперечных сечений срезаемых слоев продемонстрирует, как режущие пластины загружаются в процессе обработки. Для того чтобы графически отобразить процесс формообразования, важно расположить в опре-

деленной последовательности обрабатываемую заготовку и червячную фрезу.

Для того чтобы привести доводы об эффективности прогрессивной схемы резания, был промоделирован процесс зубообработки.

Для образца была взята червячная фреза с производящей рейкой, изготовленной по DIN 3972 ($m = 5$ мм, количество режущих зубьев равно семи, число инструментальных реек – восьми).

Параметры нарезаемого зубчатого колеса: $m = 5$ мм, $Z = 30$, $D_f = 150$ мм. Реализовывался способ осевого резания, т. е. подача режущего инструмента осуществлялась вдоль оси обрабатываемой заготовки (рис. 1).

Моделирование процесса зубообработки заключается в демонстрации червячной фрезы в процессе резания. Это дает нам возможность проследить траекторию движения режущего инструмента по отношению к обрабатываемой заготовке, вследствие этого формируются площади поперечного сечения срезаемого слоя. Величина площади поперечного сечения срезаемого слоя показывает, как загружаются режущие пластины.

Для того чтобы графическим способом осуществить моделирование процесса зубообработки, нужно в правильной последовательности расположить нарезаемое зубчатое колесо и режущий инструмент.

1. Изображается окружность, равная траектории движения первой режущей пластины при зубообработке.

2. Чертится эскиз обрабатываемой заготовки с обозначением делительного диаметра.

3. Между центрами режущего инструмента и зубчатого колеса обозначается межосевое расстояние.

4. Располагается окружность B (показывает окружной диаметр червячной фрезы по вершинам режущих зубьев) на расстоянии между центрами режущего инструмента и зубчатого колеса (см. рис. 1);

5. Окружность B переносится на определенную высоту таким образом, чтобы эта окружность только касалась профиля зубчатого колеса.

6. Осуществляется выбор величины подачи режущего инструмента на оборот обрабатываемой заготовки S (мм/об).

7. Откладывается величина подачи режущего инструмента S от центра окружности вдоль оси обрабатываемой заготовки до тех пор, пока ось режущего инструмента не будет в одной плоскости с верхним торцом обрабатываемой заготовки.

8. Перемещаем окружность по вертикали вдоль оси колеса на величину S . Таким образом, осуществляется моделирование процесса подачи фрезы. При этом, чтобы зафиксировать положение окружности при каждом перемещении на подачу S , необходимо в месте пересечения окружности и колеса изобразить вертикальную линию, которая будет символизировать величину врезания фрезы в заготовку на одну величину подачи.

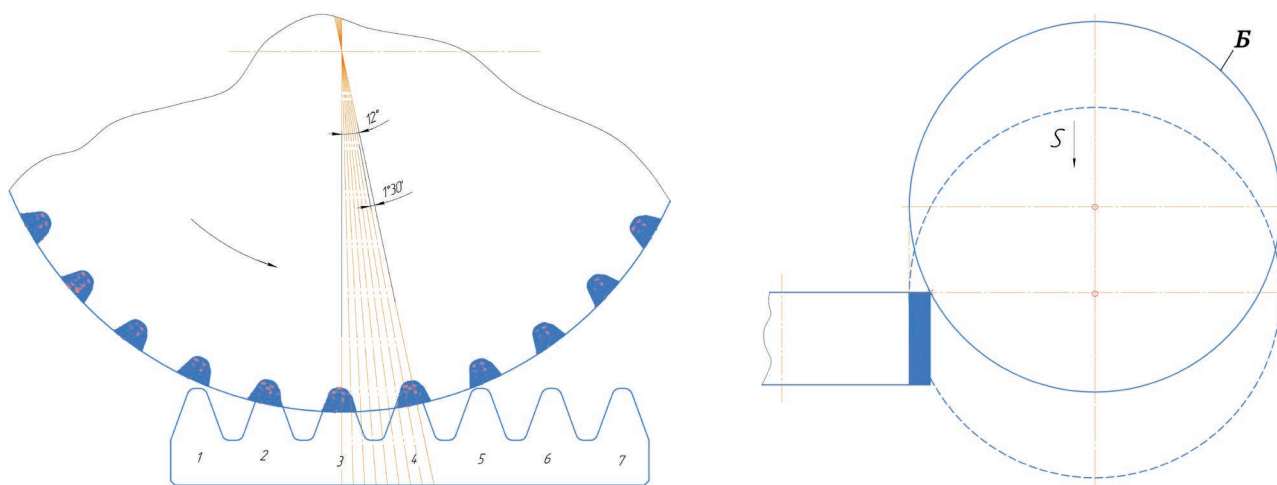


Рис. 1. Имитация процесса зубообработки червячной фрезой с производящей рейкой, изготовленной по DIN3972

Fig. 1. Simulation of the gear processing with a hob cutter with a counterpart rack manufactured in accordance with DIN3972

9. В результате таких перемещений окружности формируются траектории движений режущих пластин, полученные за все время осуществления подачи.

10. Далее определяется угловой шаг поворота колеса S_k . Данная характеристика дает информацию об угле поворота обрабатываемой заготовки при врезании в корпус следующей по счету пластины.

В процессе осуществления численного моделирования для червячных фрез с производящей

рейкой, изготовленной по прогрессивной схеме резания (рис. 2), производились замеры площадей поперечного сечения срезаемого слоя.

Результаты и их обсуждение

По результатам замеров полученных площадей поперечного сечения срезаемых слоев для стандартной и прогрессивной схем резания осуществлялось построение графиков работы зубьев [35, 36], из которых можно констатировать

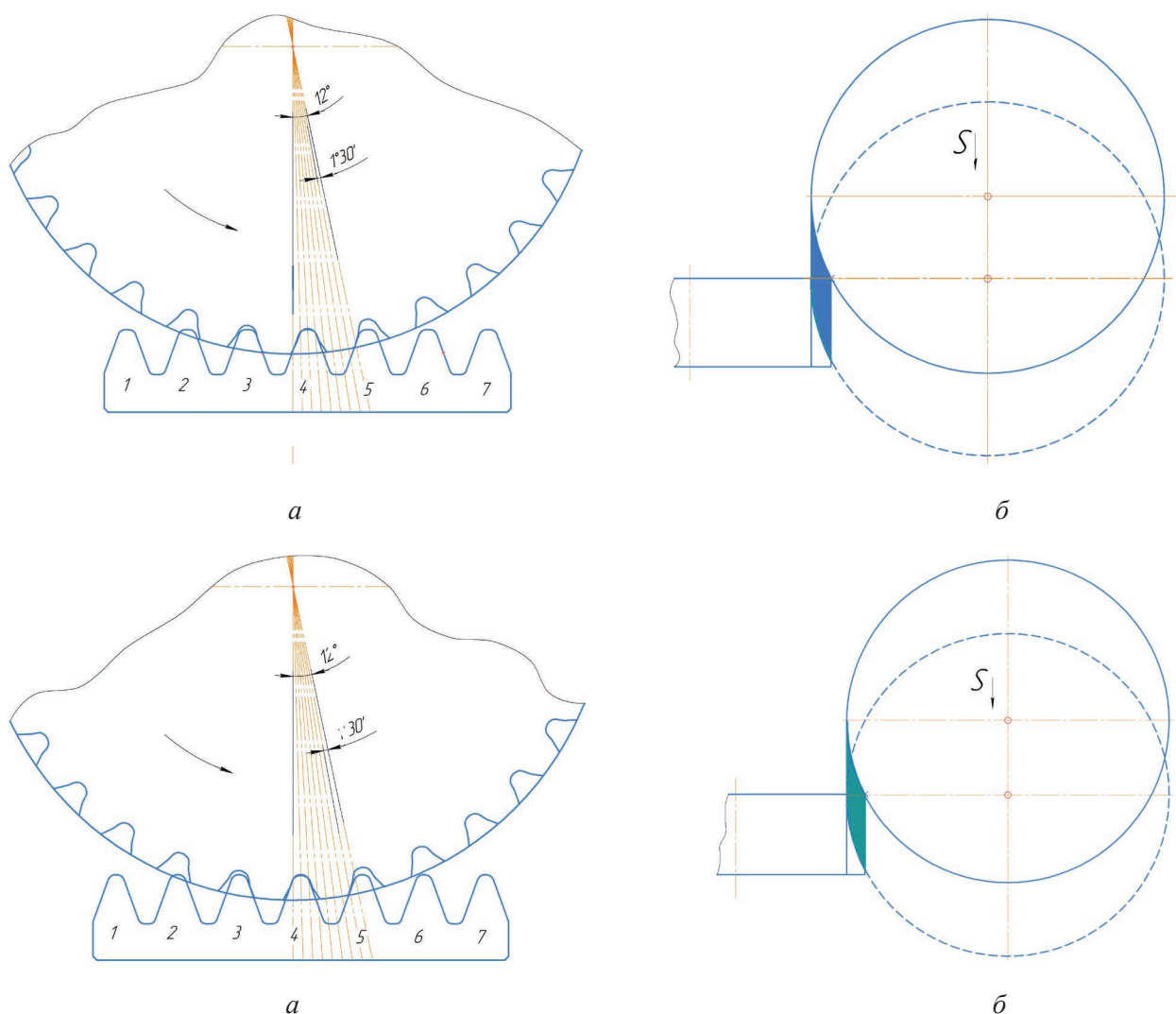


Рис. 2. Имитация процесса зубообработки червячной фрезой с производящей рейкой, изготовленной по прогрессивной схеме резания:

a, б – имитация процесса зубообработки червячной фрезой для заниженного исходного контура инструментальной рейки (e1); *в, г* – имитация процесса зубообработки червячной фрезой для зауженного исходного контура инструментальной рейки (e2)

Fig. 2. Simulation of the gear processing with a hob cutter with a counterpart rack manufactured in accordance with the progressive scheme of cutting:

a, б – simulation of the gear processing with a hob cutter for the underestimated initial contour of a rack-type tool (e1); *в, г* – simulation of the gear processing with a hob cutter for the narrowed initial contour of a rack-type tool (e2)

об изменениях прогрессивного фрезерования в сравнении с полнопрофильным. Нагрузка на зубья снижается, и наблюдается более равномерное ее распределение на них, что, в свою очередь, является положительным фактором для применения инструмента, оснащенного твердым сплавом WC-Co. Максимальная нагрузка на зуб № 4 смещается ближе к началу фрезерования (площадь поперечного сечения срезаемого слоя составляет порядка $1,9 \text{ мм}^2$). Максимальная площадь поперечного сечения срезаемого слоя зуба № 3 составляет $1,4 \text{ мм}^2$. Зубья № 2 и 5 задействованы меньше, чем в полнопрофильной схеме резания, площади поперечного сечения срезаемых слоев для этих зубьев не превышают $0,4 \text{ мм}^2$.

По результатам сравнительного анализа для полнопрофильной и прогрессивной схемы фрезерования можно сделать следующие выводы. 1. Если в случае полнопрофильного фрезерования площадь срезаемых слоев постепенно увеличивается к середине времени нарезания и после этого начинает постепенно уменьшаться, то при прогрессивном резании максимальные площади срезаемых слоев находятся в самом начале резания. При этом нагрузка на прогрессивные зубья более равномерна, что более благоприятно для конструкции инструмента. 2. При прогрессивном резании уменьшается площадь поперечного сечения срезаемого слоя в сравнении с полнопрофильным резанием. Максимальная площадь у полнопрофильной фрезы составляет $2,85 \text{ мм}^2$, у прогрессивной фрезы – $1,9 \text{ мм}^2$. Уменьшение площади поперечного сечения срезаемого слоя (а соответственно и нагрузки на зубья) также способствует уменьшению износа режущих кромок зубьев. 3. В прогрессивной схеме резания больше задействованы зубья № 3 и 4, а зубья № 2 и 5 почти не нагружены в сравнении с полнопрофильной схемой. Таким образом, можно заключить, что при прогрессивном резании нагрузка на зубья будет меньше, чем при полнопрофильном благодаря разделению стружки и попеременной работе зубьев. Меньшая нагрузка снижает силы резания и тем самым повышает эффективность режущего инструмента.

Следующий важный этап исследований – осуществление конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния сменных режущих пластин в условиях полнопрофильной и прогрессивной схем резания.

Была проведена экспериментальная задача по совершенствованию конечно-элементной сетки и определено влияние количества элементов в сетке на результаты напряженного состояния в сплаве WC-Co с использованием программы конечно-элементного анализа ANSYS. Далее в программный комплекс вносились условия только тех моментов, когда во время процесса резания наблюдались самые большие площади срезаемого слоя при различных профилях производящей рейки.

Для задания корректных граничных условий нужно задать свойства материала, коэффициент Пуассона и модуль Юнга, распределенную нагрузку по передней поверхности пластины и граничные условия по заделкам.

Самые наибольшие площади поперечного сечения срезаемых слоев передней поверхностью пластины при обычной схеме зубофрезерования (производящая рейка изготовлена по DIN 3972) показаны на рис. 3.

На рис. 4 изображены самые наибольшие площади поперечного сечения срезаемых слоев передней поверхностью пластины при прогрессивной схеме зубофрезерования.

Полученные изображения цветовой градации напряжений σ_1 для твердого сплава WC-Co с производящей рейкой, изготовленной по DIN3972, показаны на рис. 5. На режущих лезвиях пластины имеются зоны растяжения и

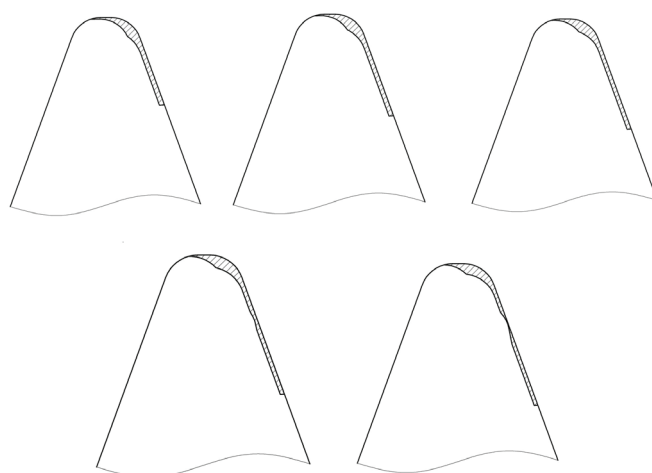


Рис. 3. Поперечные сечения срезаемых слоев для инструмента с производящей рейкой, изготовленной по DIN3972

Fig. 3. Cross-sections of the cut-off layers for the tool with a counterpart rack manufactured in accordance with DIN3972

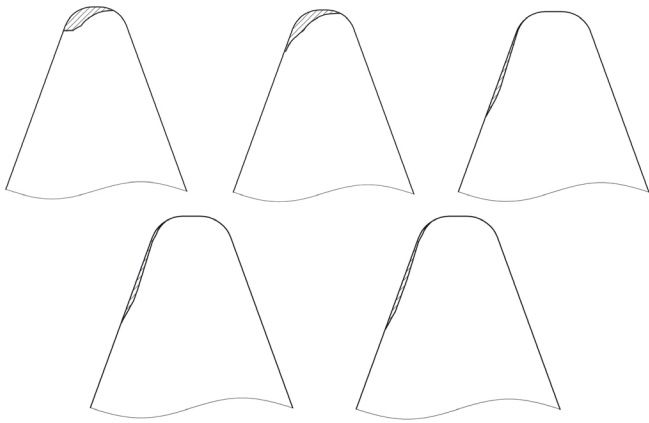


Рис. 4. Поперечные сечения срезаемых слоев для инструмента с прогрессивной схемой резания

Fig. 4. Cross-sections of the cut-off layers for the tool with the progressive scheme of cutting

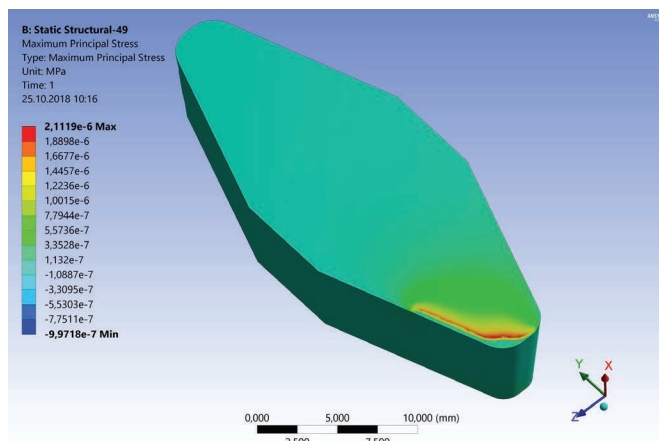


Рис. 5. Картины напряжений растяжения σ_1 для пластин из твердого сплава WC–Co с производящей рейкой, изготовленной по DIN3972 (цветовая градация напряжений растяжения σ_1)

Fig. 5. Pictures of tensile stresses σ_1 for WC–Co hard alloy plates with a counterpart rack manufactured in accordance with DIN3972 (color gradation of tensile stresses σ_1)

зоны сжатия. Концентрация напряжений растяжения находится в зоне, где стыкуются вершинная режущая кромка и входная режущая кромка. В этой области на передней поверхности будут образовываться лунки, снижающие прочность режущей кромки, что приводит к затруднению образования стружки. Соответственно наибольшее разрушение по передней и задней поверхности будет происходить именно в этой зоне, так как именно в этой области наблюдается самая большая стесненность резания.

На рис. 6 и 7 изображены полученные образцы напряжений и диаграммы распределения основных напряжений растяжения для пластин с производящей рейкой, изготовленной по прогрессивной схеме резания. Анализ закономерностей изолиний распределения напряжений σ_1 в зубьях фрезы показал, что напряжения растяжения вдоль передней поверхности твердого сплава WC–Co снижаются из-за того, что каждая пластина срезает свой участок обрабатываемого материала.

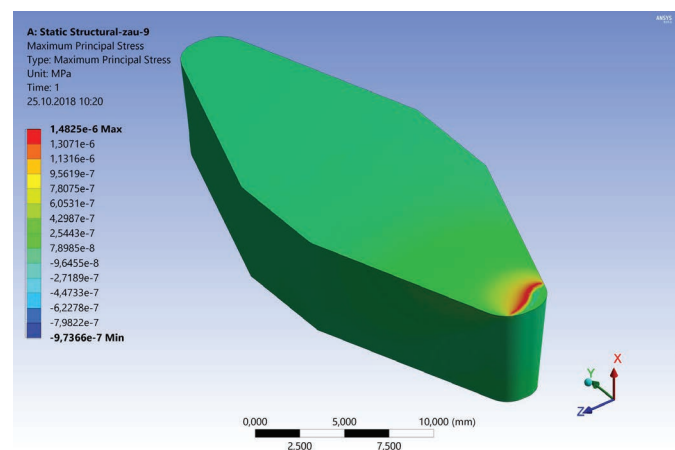


Рис. 6. Картины напряжений растяжения в твердом сплаве WC–Co с зауженным контуром e1 (цветовая градация напряжений растяжения σ_1)

Fig. 6. Pictures of tensile stresses in WC–Co hard alloy with the narrowed contour e1 (color gradation of tensile stresses σ_1)

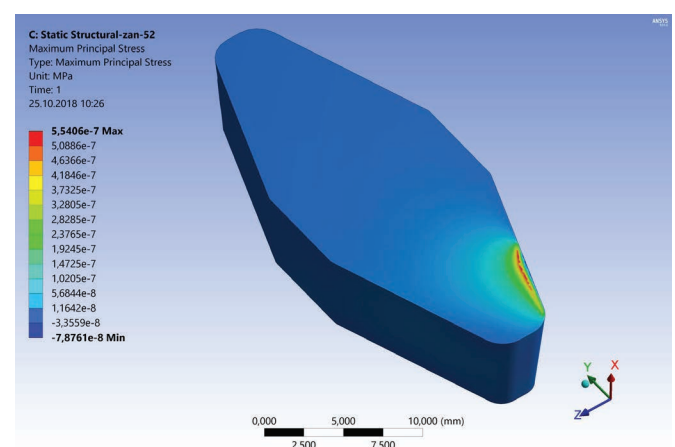


Рис. 7. Картины напряжений растяжения в твердом сплаве WC–Co с зауженным контуром e2 (цветовая градация напряжений растяжения σ_1)

Fig. 7. Pictures of tensile stresses in WC–Co hard alloy with the narrowed contour e2 (color gradation of tensile stresses σ_1)

Это связано с тем, что сначала работает режущая пластина с профилем e_1 , которая срезает обрабатываемый материал с верхней части пластины, а затем работает пластина с профилем e_2 , которая работает с боковыми режущими кромками.

Анализ показал, что с точки зрения напряженного состояния наилучшие результаты при вычислении дает инструмент с производящей рейкой, изготовленной по прогрессивной схеме резания. Таким образом, производящая рейка, изготовленная по прогрессивной схеме резания, оказывает большое влияние на напряженное состояние в твердом сплаве WC-Co.

Цветовая градация главных напряжений показывает, что все напряжения рассредоточены вдоль всей режущей кромки равномерно без ярко выявленных зон сосредоточения напряжений растяжения. Деформирование вдоль режущей кромки является однородным, без выраженных скачков. Решение трехмерных задач помогло установить, что степень деформации основной режущей кромки различна для пластин различной формы.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. По результатам исследований проведено имитационное моделирование процесса зубофрезерования с производящей рейкой, изготовленной по DIN3972, и с прогрессивной схемой резания.

2. В результате проведенного имитационного моделирования определены поперечные сечения срезаемых слоев с производящей рейкой, изготовленной по DIN3972, и с прогрессивной схемой резания.

3. Исследовано напряженно-деформированное состояние сменных многогранных пластин при различных контурах инструментальных реек, которое показало снижение главных опасных напряжений растяжений σ_1 .

Список литературы

1. Смирнов Н.Н. Зубофрезерование многозаходными червячными фрезами с различными схемами резания: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1982.

2. Ничков А.Г., Шунаев Б.К. Влияние схемы резания при зубофрезеровании на износ зубьев червячной фрезы // Тезисы докладов Второй научно-технической конференции Уральского политехнического института. – Свердловск, 1968.

3. Артамонов Е.В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень: Вектор Бук, 2003. – 192 с.

4. Артамонов Е.В., Костив В.М. Инструментальные твердые сплавы и их влияние на работоспособность металлорежущих инструментов: учебное пособие. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1998. – 136 с.

5. Ничков А.Г. Основы комплексного исследования процесса зубофрезерования и оптимизации его конструктивных и технологических параметров в простых и комбинированных схемах нарезания зубчатых колес червячными фрезами: дис. ... д-ра техн. наук. – Тула, 1991.

6. Ничков А.Г. Стойкость червячной фрезы в зависимости от схемы резания // Передовой научно-производственный опыт резания металлов: тезисы докладов конференции. – Свердловск, 1971. – С. 29–33.

7. Медведицков С.Н. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами. – М.: Машиностроение, 1981. – 106 с.

8. Ничков А.Г., Мартыненко В.А., Лоскутов В.В. Повышение стойкости червячных фрез за счет выбора рациональных параметров зубофрезерования // Проблемы совершенствования малогабаритных зубофрезерных станков: материалы конференции. – Вильнюс, 1975. – С. 129–138.

9. Zhonghe Y, Zhaohui L, Smith M.R. Mechanisms and machine theory. – Beijing, China: High Education Press, 2001.

10. Шунаев Б.К., Петрова С.П. Комбинированные схемы фрезерования зубчатых колес с радиальным врезанием червячной фрезы // Прогрессивные конструкции и методы обработки в инструментальном производстве. – Пермь, 1975.

11. Скребнев Г.Г. Определение условий рационального применения твердосплавных зуборезных фрез и возможности повышения ими производительности процесса зубофрезерования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 1995.

12. A gear cutting predictive model using the finite element method / W. Liu, D. Ren, S. Usui, J. Wadell, T.D. Marusich // Procedia CIRP. – 2013. – Vol. 8. – P. 51–56.

13. Egorov S.B., Kapitanov A.V., Loktev D.A. Modern methods and technological solutions for effective processing of gear wheels // Materials Science Forum. – 2016. – Vol. 870. – P. 397–403. – doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.870.397.



14. Выбор оптимального процесса обработки зубчатых колес / И.В. Рубан, З.А. Годжаев, В.М. Рубан, С.Д. Зайцев // Вестник машиностроения. – 2008. – № 7. – С. 40–41.

15. *Artamonov E.V., Vasil'ev D.V.* Determining the optimal cutting speed in turning by composite cutters on the basis of the chip // Russian Engineering Research. – 2014. – Vol. 34 (6). – P. 404–405.

16. *Artamonov E.V., Kireev V.V.* Effectiveness of cutting by hods with replaceable hard-alloy plates // Russian Engineering Research. – 2014. – Vol. 37 (7). – P. 473–474.

17. *Artamonov E.V., Vasilega D.S., Tveryakov A.M.*, Determining the maximum-performance temperature of hard-alloy cutting plates // Russian Engineering Research. – 2014. – Vol. 34 (6). – P. 402–403.

18. Gear hobbing: a contribution to analogy testing and its wear mechanisms / S. Steina, M. Lechthaler, S. Krassnitzer, K. Albrecht, A. Schindler, M. Arndt // Procedia CIRP. – 2012. – Vol. 1 (1). – P. 220–225.

19. *Tokawa T., Nishimura Y., Nakamura Y.* High productivity dry hobbing system // Mitsubishi Heavy Industries. Technical Review. – 2001. – Vol. 38, N 1. – P. 27–31.

20. Обработка зубчатых колес: повышение производительности и качества / Н.А. Курочкин, Б.М. Солоницын, О.В. Таратынов, В.В. Клепиков // Грузовик. – 2005. – № 3. – С. 28–31.

21. High performance gear hobbing with powder-metallurgical high-speed-steel / B. Karpuschewski, H.-J. Knoche, M. Hipke, M. Beutner // Procedia CIRP. – 2012. – Vol. 1 (1). – P. 196–201.

22. *Паншьева Н.Д., Акушская О.М.* Повышение эффективности процесса нарезания зубчатых колес // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2, ч. 2. – С. 54.

23. *Канатников Н.В., Харламов Г.А.* Повышение эффективности обработки прямозубых конических зубчатых колес // Научные технологии в машиностроении. – 2015. – № 3. – С. 8–16.

24. A review of new strategies for gear production / G. Hyatt, M. Piber, N. Chaphalkar, O. Kleinhenz, M. Mori // Procedia CIRP. – 2014. – Vol. 14. – P. 72–76.

25. *Xu S., Zhang Y.* The finite element modeling and analysis of involute spur gear // Advanced Materials Research. – 2012. – Vol. 516–517. – P. 673–677.

26. *Bahattin K.* Analysis of spur gears by coupling finite and boundary element methods // Mechanics Based Design of Structures and Machines. – 2006. – Vol. 34, iss. 3. – P. 307–324.

27. Forte P., Paoli A., Rationale A.V. A CAE approach for the stress analysis of gear models by 3D digital photoelasticity // International Journal of Interactive Design and Manufacturing. – 2015. – Vol. 9, iss. 1. – P. 31–43.

28. *Sun Q., Sun Y., Li L.* Strength analysis and tooth shape optimization for involute gear with a few teeth // Advances in Mechanical Engineering. – 2018. – Vol. 10, iss. 1. – doi: 10.1177/1687814017751957.

29. *Miklos I.Z., Miklos C., Alic C.I.* Finite element analysis of cylindrical gear with mechanical event simulation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 393. – P. 012046. – doi: 10.1088/1757-899X/393/1/012046.

30. Современные технологические подходы при изготовлении цилиндрических зубчатых колес в условиях мелкосерийного производства и особенности расчета и проектирования зуборезного инструмента / В.П. Балков, Л.И. Каменецкий, А.С. Кирютин, Е.А. Негинский, О.С. Отт, Д.Н. Пищулин // Металлообработка. – 2015. – № 4 (88). – С. 2–6.

31. *Tsai S.-J., Ye S.-Y.* A computerized approach for loaded tooth contact analysis of planetary gear drives considering relevant deformations // Mechanism and Machine Theory. – 2018. – Vol. 122. – P. 252–278. – doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2017.12.026.

32. *Lyu Y., Chen Y., Lin Y.* The design formulae for skew line gear wheel structures oriented to the additive manufacturing technology based on strength analysis // Mechanical Sciences. – 2017. – Vol. 8, iss. 2. – P. 369–383. – doi: 10.5194/ms-8-369-2017.

33. Machinability improvement of gear hobbing via process simulation and tool wear predictions / X. Dong, C. Liao, Y.C. Shin, H.H. Zhang // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2016. – Vol. 86, iss. 9–12. – P. 2771–2779.

34. *Srinivasan N., Shunmugam M.S.* Limiting conditions in gear shaping for corrected involute gears // International Journal of Machine Tool Design and Research. – 1983. – Vol. 23, iss. 4. – P. 227–235.

35. *Artamonov E.V., Kireev V.V.* The compound hob for processing gearbox pinions used in hoist for well repairs // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 770. – P. 469–475.

36. *Artamonov E.V., Kireev V.V., Zyryanov V.A.* Improving the efficiency of hobbing mills // Russian Engineering Research. – 2017. – Vol. 37, N 5. – P. 447–449. – doi: 10.3103/S1068798X17050057.

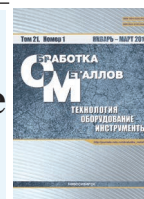
Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Modelling by a Method of Finite Elements for Determination of Stress-Deformed State in Retrofittable Hob Cutter with Indexable Inserts

Dmitrij Vasilega^a, Vitalii Kireev^b, Vitaliy Zyryanov^{c,}*

Tyumen Industrial University, 38 Volodarskogo, Tyumen, 625000, Russian Federation

^a <https://orcid.org/0000-0001-7618-7906>, d_vasilega@mail.ru, ^b <https://orcid.org/0000-0003-2285-1036>, kireevvv@tyuiu.ru,

^c <https://orcid.org/0000-0002-8191-3930>, zyrjanovva@tyuiu.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 11 October 2018

Revised: 23 January 2019

Accepted: 29 January 2019

Available online: 15 March 2019

Keywords:

Gear milling

Hard alloy

Assembly hob gear

Stress-deformed condition
of cutting elements

ABSTRACT

Introduction. Tooling equipment plays a major role for machine-building enterprises. The most important part in equipping the metal-cutting tool is the replacement of the cutting part from the group of high-speed steels by the cutting part made of hard alloy, which in turn gives an increase in durability and overall performance of the cutting tool. When cutting power of the tool increases then its changeability decreases. That is the reason why it is more rational to use complete approach which takes into account designing of a tool using a hard alloy WC-Co. Designing, production and test of gear cutting tools, development of cutting modes should be carried out in relation to a particular workpiece and its material. **The purpose of the work:** to study the influence of the geometry of the removable insert on distribution of dangerous tensile stresses. **The paper studies** the results of the calculation of the stress-strain state in a removable plate made of a WC-Co material. Tension and compression zones are observed on the main cutting edge. The concentration of dangerous tension stresses is located in the transition zone between the straight side cutting edge and the top, since there is the greatest constraint on cutting in this zone. Accordingly, the greatest destruction will occur in this zone. It is important that in this part of the cutting edge there will be the largest wear on the back surface. **The research methods:** ANSYS finite-element analysis program is used to detect dangerous tensile stresses σ_1 . **Results and Discussion.** Analysis of the stress distribution isolines showed that tensile stresses along the front surface of the removable cutting insert are reduced due to the fact that each removable cutting insert cuts off its part of the material. First, a narrowed cutting insert enters the work, which cuts off the metal with the upper part of the cutting insert, and then an understated cutting insert operates, which works with side cutting edges. As a result of the study, it was found that with a progressive cutting scheme, compared to the standard one, in which the original profile of the counterpart rack was made according to DIN3972 during gear milling, dangerous tensile stresses in cutting carbide plates are significantly reduced.

For citation: Vasilega D.S., Kireev V.V., Zyryanov V.A. Modelling by a method of finite elements for determination of stress-deformed state in retrofittable hob cutter with indexable inserts. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2019, vol. 21, no. 1, pp. 50–60. doi:10.17212/1994-6309-2019-21.1-50-60. (In Russian).

References

1. Smirnov N.N. *Zubofrezerovanie mnogozakhodnymi chervyachnymi frezami s razlichnymi skhemami rezaniya*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Gear milling by much screw worm mills with different schemes of cutting. Author's abstract of PhD eng. sci. diss.]. Kiev, 1982.
2. Nichkov A.G., Shunaev B.K. [Influence of the scheme of cutting at gear milling on wear of teeth of a worm mill]. *Tezisy dokladov Vtoroi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii Ural'skogo politekhnicheskogo instituta* [Proceedings of the Second Scientific and Technical Conference of the Ural Polytechnic Institute]. Sverdlovsk, 1968. (In Russian).

* Corresponding author

Zyryanov Vitaliy A., Ph.D. (Engineering) student,
Tyumen Industrial University

38 Volodarskogo, Tyumen, 625000, Russian Federation

Тел.: 8 (919) 924-07-89, **e-mail:** zyrjanovva@tyuiu.ru



3. Artamonov E.V. *Prochnost' i rabotosposobnost' smennykh tverdosplavnykh plastin sbornykh rezhushchikh instrumentov* [Durability and operability of replaceable hard-alloy plates of the combined cutting tools]. Tyumen State Oil and Gas University. Tyumen', Vektor Buk Publ., 2003. 192 p.

4. Artamonov E.V., Kostiv V.M. *Instrumental'nye tverdye splavy i ikh vliyanie na rabotosposobnost' metallorazhushchikh instrumentov* [Tool hard alloys and their influence on operability of metal-cutting tools]. Tyumen', Tyumen State Oil and Gas University Publ., 1998. 136 p.

5. Nichkov A.G. *Osnovy kompleksnogo issledovaniya protsessa zubofrezirovaniya i optimizatsii ego konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov v prostykh i kombinirovannykh skhemakh narezaniya zubchatykh koles chervyachnymi frezami*. Diss. dokt. tekhn. Nauk [Bases of a complex research of process of gear milling and optimization of its design and process parameters in the simple and combined schemes of cutting of cogwheels worm mills. Dr. eng. sci. diss.]. Tula, 1991.

6. Nichkov A.G. [Firmness of a worm mill depending on the scheme of cutting]. *Peredovoi nauchno-proizvodstvennyi opyt rezaniya metallov: tezisy dokladov konferentsii* [Proceedings of the conference "Advanced research and production experience of metal cutting"]. Sverdlovsk, 1971, pp. 29–33. (In Russian).

7. Medveditskov S.N. *Vysokoproizvoditel'noe zubonarezanie frezami* [High-performance gear cutting by mills]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981. 106 p.

8. Nichkov A.G., Martynenko V.A., Loskutov V.V. [Increase in firmness of worm mills due to the choice of rational parameters of gear milling]. *Problemy sovershenstvovaniya malogabaritnykh zubofreznykh stankov: materialy konferentsii* [Problems of improvement of small-sized gear milling machines: conference of materials]. Vilnius, 1975, pp. 129–138. (In Russian).

9. Zhonghe Y, Zhaohui L, Smith M.R. *Mechanisms and machine theory*. Beijing, China, High Education Press, 2001.

10. Shunaev B.K., Petrova S.P. Kombinirovannye skhemy frezerovaniya zubchatykh koles s radial'nym vrezaniem chervyachnoi frezy [The combined schemes of milling of cogwheels with radial incision of a worm mill]. *Progressivnye konstruksii i metody obrabotki v instrumental'nom proizvodstve* [Progressive designs and methods of processing in tool production]. Perm, 1975.

11. Skrebnev G.G. *Opreделение uslovii ratsional'nogo primeneniya tverdosplavnykh zuboreznykh frez i vozmozhnosti povysheniya imi proizvoditel'nosti protsessa zubofrezirovaniya*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Definition of conditions of rational application of hard-alloy gear-cutting mills and possibility of increase in productivity of gear milling process by them. Autor's abstract of PhD eng. sci. diss.]. Volgograd, 1995.

12. Liu W., Ren D., Usui S., Wadell J., Marusich T.D. A gear cutting predictive model using the finite element method. *Procedia CIRP*, 2013, vol. 8, pp. 51–56.

13. Egorov S.B., Kapitanov A.V., Loktev D.A. Modern methods and technological solutions for effective processing of gear wheels. *Materials Science Forum*, 2016, vol. 870, pp. 397–403. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.870.397.

14. Ruban V.I., Godzhaev A.Z., Ruban V.M., Zaitsev S.D. Vybor optimal'nogo protsessa obrabotki zubchatykh koles [A choice of the tooth-wheels optimal manufacturing process]. *Vestnik mashinostroeniya = Bulletin of mechanical engineering*, 2008, no. 7, pp. 40–41.

15. Artamonov E.V., Vasil'ev D.V. Determining the optimal cutting speed in turning by composite cutters on the basis of the chip. *Russian Engineering Research*, 2014, vol. 34 (6), pp. 404–405.

16. Artamonov E.V., Kireev V.V. Effectiveness of cutting by hods with replaceable hard-alloy plates. *Russian Engineering Research*, 2014, vol. 37 (7), pp. 473–474.

17. Artamonov E.V., Vasilega D.S., Tveryakov A.M. Determining the maximum-performance temperature of hard-alloy cutting plates. *Russian Engineering Research*, 2014, vol. 34 (6), pp. 402–403.

18. Steina S., Lechthalera M., Krassnitzera S., Albrechta K., Schindlerb A., Arndta M. Gear hobbing: a contribution to analogy testing and its wear mechanisms. *Procedia CIRP*, 2012, vol. 1 (1), pp. 220–225.

19. Tokawa T., Nishimura Y., Nakamura Y. High productivity dry hobbing system. *Mitsubishi Heavy Industries. Technical Review*, 2001, vol. 38, no. 1, pp. 27–31.

20. Kurochkin N., Solonitsyn B.M., Taratynov O.V., Klepikov V.V. Obrabotka zubchatykh koles: povysenie proizvoditel'nosti i kachestva [Processing of gears: improving productivity and quality]. *Gruzovik = Truck*, 2005, no. 3, pp. 28–31.

21. Karpuschewski B., Knoche H.-J., Hipke M., Beutner M. High performance gear hobbing with powder-metallurgical high-speed-steel. *Procedia CIRP*, 2012, vol. 1 (1), pp. 196–201.

22. Papsheva N.D., Akushskaya O.M. Povyshenie effektivnosti protsessa narezaniya zubchatykh koles [Improving the efficiency of gear cutting]. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering Journal of Don*, 2015, no. 2, pt. 2, p. 54.
23. Kanatnikov N.V., Kharlamov G.A. Povyshenie effektivnosti obrabotki pryamozubykh konicheskikh zubchatykh koles [Efficiency improvement of processing of straight-toothed bevel gears]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii = Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*, 2015, no. 3, pp. 8–16.
24. Hyatt G., Piber M., Chaphalkar N., Kleinhenz O., Mori M. A review of new strategies for gear production. *Procedia CIRP*, 2014, vol. 14, pp. 72–76.
25. Xu S., Zhang Y. The finite element modeling and analysis of involute spur gear. *Advanced Materials Research*, 2012, vol. 516–517, pp. 673–677.
26. Bahattin K. Analysis of spur gears by coupling finite and boundary element methods. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 2006, vol. 34, iss. 3, pp. 307–324.
27. Forte P., Paoli A., Rationale A.V. A CAE approach for the stress analysis of gear models by 3D digital photoelasticity. *International Journal of Interactive Design and Manufacturing*, 2015, vol. 9, iss. 1, pp. 31–43.
28. Sun Q., Sun Y., Li L. Strength analysis and tooth shape optimization for involute gear with a few teeth. *Advances in Mechanical Engineering*, 2018, vol. 10, iss. 1. doi: 10.1177/1687814017751957.
29. Miklos I.Z., Miklos C., Alic C.I. Finite element analysis of cylindrical gear with mechanical event simulation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 393, p. 012046. doi: 10.1088/1757-899X/393/1/012046.
30. Balkov V.P., Kamenetskii L.I., Kiryutin A.S., Neginsky E.A., Ott O.S., Pishchulin D.N. Sovremennye tekhnologicheskie podkhody pri izgotovlenii tsilindricheskikh zubchatykh koles v usloviyakh melkoseriynogo proizvodstva i osobennosti rascheta i proektirovaniya zuboreznogo instrumenta [Up to date approaches for technology of small lot cylindrical gears production and special features of gear cutting tool computing and design engineering]. *Metalloobrabotka = Metalworking*, 2015, no. 4 (88), pp. 2–6.
31. Tsai S.-J., Ye S.-Y. A computerized approach for loaded tooth contact analysis of planetary gear drives considering relevant deformations. *Mechanism and Machine Theory*, 2018, vol. 122, pp. 252–278. doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2017.12.026.
32. Lyu Y., Chen Y., Lin Y. The design formulae for skew line gear wheel structures oriented to the additive manufacturing technology based on strength analysis. *Mechanical Sciences*, 2017, vol. 8, iss. 2, pp. 369–383. doi: 10.5194/ms-8-369-2017.
33. Dong X., Liao C., Shin Y.C., Zhang H.H. Machinability improvement of gear hobbing via process simulation and tool wear predictions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016, vol. 86, iss. 9–12, pp. 2771–2779.
34. Srinivasan N., Shunmugam M.S. Limiting conditions in gear shaping for corrected involute gears. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, 1983, vol. 23, iss. 4, pp. 227–235.
35. Artamonov E.V., Kireev V.V. The compound hob for processing gearbox pinions used in hoist for well repairs. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 770, pp. 469–475.
36. Artamonov E.V., Kireev V.V., Zyryanov V.A. Improving the efficiency of hobbing mills. *Russian Engineering Research*, 2017, vol. 37, no. 5, pp. 447–449. doi: 10.3103/S1068798X17050057.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2019 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).