

УДК 621.9.014: 621.833.1

С.И. Тахман, Л.В. Рохин, О.А. Тюкалов

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАДИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПРЯМОЗУБЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС ЧЕРВЯЧНЫМИ ФРЕЗАМИ

Изменение сил резания при фрезеровании зубьев нарезаемых колёс червячными фрезами ставит задачу оценки технологических составляющих в двух системах координат – действующих на фрезу в целом (окружная, радиальная и осевая) и на нарезаемое колесо (крутящий момент, вертикальная сила и сила отжима). Каждая из этих составляющих меняется при движении зуба фрезы по углу контакта с заготовкой (по законам фрезерования) и при перемещении режущих выступов фрезы вдоль линии зацепления (по законам огибания). По первой закономерности зубья фрезы поочерёдно входят под стружку и проходят дугу контакта, увеличивая толщину срезаемого слоя по синусоидальному закону. По второй закономерности в каждой точке линии зацепления режущий выступ фрезы занимает свою угловую позицию относительно нарезаемой величины, что по-разному ориентирует технологические составляющие в каждой из систем координат.

Для совмещения подходов к оценке сил, действующих на фрезу и на колесо, физические составляющие сил на режущих кромках приходится прикладывать к линиям симметрии режущего выступа фрезы и впадины колеса, в которой этот выступ находится. Расчёт сил проводится на одном обороте фрезы в «установившемся» режиме обработки колеса (после полного врезания на глубину впадины при условии, что ширина зубчатого венца нарезаемого колеса

$$B > \left(1,5 \cdot \sqrt{(2 \cdot r_{a1} \cdot m) - (2,25 \cdot m^2)} \right).$$

При зубофрезеровании червячными фрезами для оценки нагрузки на режущий инструмент, кроме главной составляющей силы резания необходимо знать и радиальную составляющую на фрезе, которая оказывает эффект её отжима от обрабатываемой заготовки. Для оценки сил резания, кроме механических свойств обрабатываемого материала, необходимо знать площадь срезаемого слоя, величину и расположение активных длин режущих кромок на зубьях фрезы в любой момент процесса резания. Для решения поставленных задач использована разработанная 3D модель процесса зубофрезерования [1], созданная в системе параметрического проектирования T-FLEX CAD.

Для принятых условий моделирования ($z_1=14$, $z_2=25$, $m=4$ мм, $S_{верт}=2,5$ мм/об.заг., обрабатываемый материал – 12ХН3А, зуб нормальной высоты, встречное фрезерование, винтовые стружечные канавки на однозаходной фрезе, передний угол $\gamma=0^\circ$) определены площади среза и активные длины режущих кромок, полученные через каждые 5° за один оборот фрезы [2, 3].

Расчёт сил P_y проведён по методике [4].

Из источника [2]: при заданных геометрических параметрах зуба фрезы степень деформации стружки в единицах относительного сдвига $\varepsilon=3,5$; усадка стружки при $\gamma=0^\circ$ $\zeta=3,2$; предел текучести обрабатываемого материала $\sigma_t=685$ Н/мм²; истинное напряжение образца при разрыве $S_B=1032$ Н/мм²; касательное напряжение в условной плос-

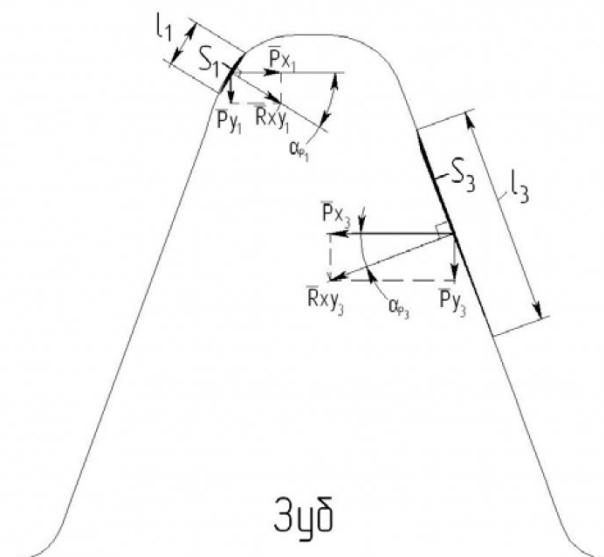


Рис. 1. Схема определения угла α_{pk} в сечении зуба

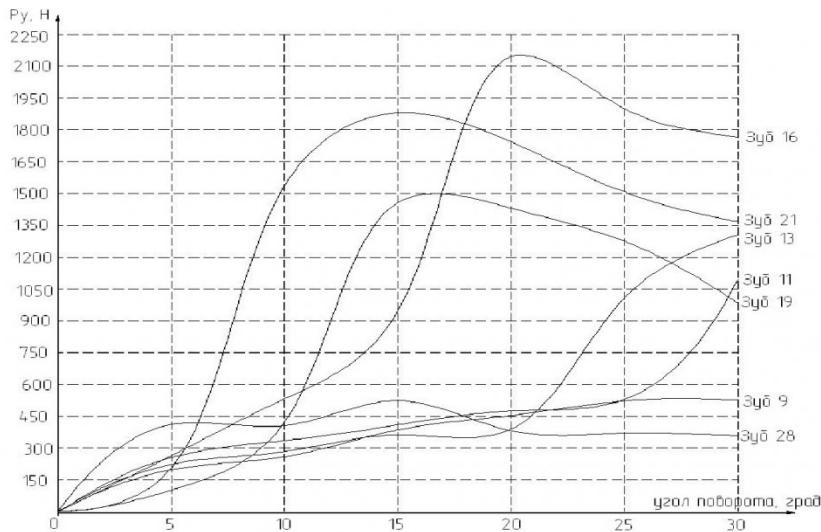


Рис. 2 Графики изменения силы P_y по углу контакта фрезы с заготовкой (номер зуба определяет угол его расположения во впадине за счёт движения обката)

кости сдвига $\tau_p=775$ Н/мм². В этих условиях удельная сила на передней поверхности инструмента вдоль скорости резания C_{nn} составляет 1938 МПа.

Для определения радиальной составляющей силы P_{yk} необходимо знать угол α_{pk} между равнодействующей сил в основной плоскости R_{XYk} и силой, действующей перпендикулярно оси симметрии зуба P_{Xk} для каждого элемента площади среза, который рассчитывается через координаты границ каждой активной длины участков кромок режущего зуба (рис. 1). На рисунке показан случай, при котором вершинный участок зуба в процессе резания не участвует, т.е. $R_{XYZ}=0$.

$$P_{yk} = R_{XYk} \cdot \sin \alpha_{pk} \quad (1)$$

Равнодействующая сил P_x и P_y рассчитывается через удельные силы на передней и задней поверхностях по зависимости

$$R_{XYk} = U_{pp} \cdot S_k + U_{3n} \cdot l_k. \quad (2)$$

Удельная сила в направлении нормали к главной составляющей в основной плоскости на передней поверхности инструмента составляет

$$U_{pp} = C_{pp} \cdot \operatorname{tg} \omega, \quad (3)$$

где ω – угол действия равнодействующих сил на соответствующем участке.

По [5]: угол сдвига

$$\operatorname{tg} \Phi_0 = \frac{\cos \gamma}{\zeta - \sin \gamma} = \frac{1}{\zeta} = \frac{1}{3,5} = 0,2857;$$

угол действия равнодействующей сил ω на передней поверхности режущего выступа червячной фрезы

$$\operatorname{tg} \omega = 1 - (1,1 - \operatorname{tg} \Phi_0) = 1 - (1,1 - 0,2857) = 0,6564$$

. Тогда удельная сила U_{pp} на передней поверхности инструмента в направлении, перпенди-

кулярном вектору скорости резания в основной плоскости, в зависимости (2) составляет

$$U_{pp} = 1938 \cdot 0,6564 = 1272 \text{ МПа}$$

Удельная сила на задней поверхности инструмента в этом же направлении рассчитывается по уравнению

$$U_{3n} = 1,5 \cdot \tau_p \rho (3,17 \cdot \varepsilon + 1) \cdot \operatorname{tg} \omega \cdot K_\rho + \sigma_T \cdot h_3, \quad (4)$$

где K_ρ – коэффициент, учитывающий изменение ε на малых толщинах.

При $a_{max} = S_z \cdot \sin \theta < a_0 = 1,74 \cdot \rho$

$$K_\rho = \sqrt{\frac{a_{max}}{a_0}},$$

где a_{max} – толщина стружки на выходе с дуги контакта;

a_0 – граница изменения усадки стружки на тонких срезах;

$S_z = 0,007$ мм./зуб. – подача на зуб червячной фрезы;

$\theta = 32,86^\circ$ – угол контакта фрезы с заготовкой;

$\rho = 0,01$ мм. – рабочий радиус округления режущих кромок зубьев фрезы.

Тогда

$$K_\rho = \sqrt{\frac{0,0038}{0,0174}} = 0,467.$$

При $h_3 = 0,3$ мм. – принятая по рекомендациям максимальная ширина площадки износа на задней поверхности инструмента U_{3n} составляет

$$U_{3n} = 1,5 \cdot 775 \cdot 0,01 \cdot (3,17 \cdot 3,5 + 1) \times \\ \times 0,6564 \cdot 0,467 + 685 \cdot 0,3 = 43 + 206 = 249 \text{ Н/мм}$$

Суммируя значения P_{yi} от каждой кромки зу-

ба находящегося под стружкой в данный момент времени получим суммарную величину радиальной составляющей силы действующей на каждый зуб червячной фрезы (при данном угле поворота). Радиальные составляющие на нарезаемом колесе из-за их проектирования на линию симметрии впадин приходится объединять в общую силу с учётом угловых шагов колеса.

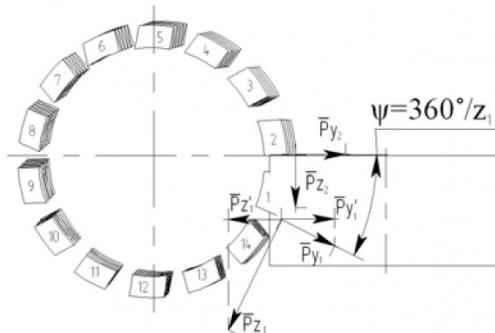


Рис. 3 Схема расположения сил P_z и P_y на фрезе (ψ – угловой шаг зубьев фрезы)

Изменения величины сил P_y по углу контакта зубьев фрезы с заготовкой для некоторых положений их во впадине нарезаемого колеса представлены на рис. 2. При этом нумерация зубьев после 14 продолжается на следующих витках.

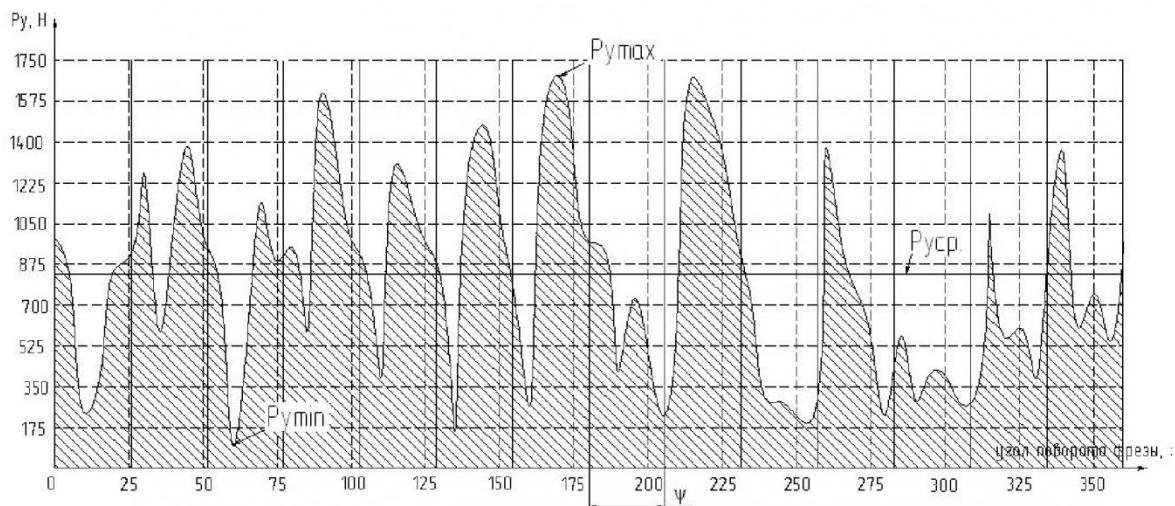


Рис. 4 График изменения суммарной силы отжима на одном обороте фрезы при формировании полной высоты зуба

Путём суммирования рассчитанных величин сил P_y на зубьях с учётом расположения каждого режущего выступа реек на своём уровне по углу контакта получены значения суммарных сил отжима для каждой из четырнадцати реек.

Значения сил P_z [2] и P_y на режущих выступах геометрически складываются с учётом направления их действия по мере поворота фрезы для оценки проекций этих сил на плоскость, перпендикулярную оси заготовки (рис. 3). Уравнение

мгновенной суммарной силы отжима, действующей на фрезу в данный момент времени, учитывает все зубья z_1 , находящиеся под стружкой. Для схемы на рис. 3:

$$\sum P_y = P_{y2} + (P_{y1} \cdot \cos \psi) - (P_{z1} \cdot \sin \psi).$$

На рис. 4 показан характер изменения суммарной силы отжима на одном обороте фрезы в «установившемся» режиме обработки.

Расчёт средней силы отжима P_{ycp} на фрезе проведён с использованием удельной работы каждого режущего выступа реек фрезы на дуге контакта с нарезаемым колесом (индекс i относится к номерам зубьев расположенных на дуге контакта)

$$P_{ycp} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{i=1}^{z_1} P_{Y\varphi i} \cdot d\varphi. \quad (5)$$

Площадь под кривой силы P_y , представляющая собой числитель формулы (5), является подынтегральной. Полученная средняя величина силы P_{ycp} показана штрихпунктирной линией (рис. 4).

Максимальные и минимальные значения берутся с графика на рис. 4.

Таким образом, с помощью разработанной схемы моделирования и с учётом геометрических

условий силового взаимодействия червячной фрезы и нарезаемого колеса можно определять мгновенные максимальные и минимальные значения, а также среднюю величину радиальной составляющей силы резания в процессе зутофрезерования при любых условиях обработки.

Максимальные значения можно использовать в качестве ограничителя при назначении режимов обработки или в системах оптимизации режимов резания при зутофрезеровании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тахман, С.И. Создание 3D модели процесса зубофрезерования/ С.И. Тахман, Л.В. Рохин, О.А. Тюкалов //Вестник КГУ: серия «Технические науки». – Курган: Изд-во КГУ, 2010. – №1(17). – С.118–120.
2. Тахман С.И. Теоретический расчёт графика изменения главной составляющей силы резания при зубофрезеровании/ С.И. Тахман, Л.В. Рохин, О.А. Тюкалов//Современные проблемы машиностроения: труды V Международной научно-технической конференции. –Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2010.–С.638-643.
3. Тахман С.И. Обобщённое описание зоны резания и исследование изменения главной составляющей силы резания при обработке прямозубых зубчатых колёс червячными фрезами/С.И. Тахман, О.А. Тюкалов//Инновационные технологии в автоматизированном машиностроении и арматуростроении: материалы Международной научно-технической конференции. – Курган: Изд-во КГУ, 2010.– С.152-157.
4. Розенберг Ю.А., Тахман С.И. Силы резания и методы их определения: учебное пособие.– Курган.: Изд-во КМИ, 1995.–Ч.1.–130с.
5. Зорев, Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов.– М.: МашГиз, 1956.– 368с.

□Авторы статьи:

Тахман Симон Иосифович, докт. техн. наук, проф. каф. "Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты" (Курганский государственный университет). Тел.: 8-(3522) 23-04-05	Рохин Леонид Владимирович, канд.техн.наук, доц. каф. "Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты" (Курганский государственный университет). Тел.: 8-(3522) 23-04-05	Тюкалов Олег Александрович аспирант каф. "Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты" (Курганский государственный университет) e-mail: oleg.384@mail.ru
--	--	---

УДК 621.01

Ю.Г. Гуревич, В.Е. Овсянников, В.А. Фролов

К ВОПРОСУ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

В машиностроении для изготовления деталей машин очень часто используется феррито-перлитный серый чугун марок СЧ 15, СЧ 20. Однако, одним из факторов, который затрудняет более широкое его внедрение в промышленную практику, являются проблемы, возникающие при его упрочнении. Дело в том, что поверхностная закалка ТВЧ не применяется для серых чугунов из-за того, что процесс превращения феррита в аустенит является длительным, а объемная закалка обеспечивает только перлитные структуры. Традиционные методы диффузионного хромирования позволяют получить лишь небольшую глубину упрочненного слоя (0.010-0.040 мм) из-за образования карбидов.

Наиболее часто для упрочнения деталей из серого чугуна на сегодняшний день используются достаточно трудоемкие и весьма энергоемкие методы, такие как электролитическое хромирование и лазерная закалка [1,2], которые помимо всего прочего позволяют получить сравнительно небольшую толщину упрочненного слоя (до 0.25 мм).

Целью данной работы являлась разработка простой, надежной и экономически выгодной технологии поверхностного упрочнения деталей из феррито-перлитного серого чугуна, которая обеспечит износостойкость их поверхности на необходимую толщину при минимальном изменении исходной микроструктуры и макрографии.

Таблица 1. Оценка технического уровня метода диффузионного хромирования

№	Наименование показателя	Значение показателей			q_i	
		DP 055	YLR 3000	Дифф. хром		
1.	Производительность установки, шт/смену	3	3	4	1,3	1,3
2.	Толщина упрочненного слоя, мм	0,2	0,2	1,08	5,4	5,4
3.	Потребляемая мощность, кВт	50	20	10	5	2
4.	Относительная износостойкость упрочненного слоя	4	4	4	1	1
5.	Занимаемая площадь, m^2	3	5	3	1	1,6
6.	Стоимость установки, тыс. руб.	1020	2500	100	10	25