

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТОСПОСОБНОСТИ  
ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СБОРНЫХ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ  
ДИАМЕТРОМ 125 И 160 ММ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ  
ТРАКТОРА МТЗ НА СТАНКАХ С ЧПУ**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Конструкции современных высокопроизводительных торцовых фрез для обработки конструкционных сталей и чугунов отличает использование в качестве режущей части высокопрочных и износостойких твердосплавных сменных неперетачиваемых пластин (СНП), простых и надежных способов крепления и регулирования пластин или кассет, специальной геометрии режущей части, обеспечивающей стружкодробление и уменьшение сил резания (позитивная геометрия - положительный главный передний угол), зачистных пластин, что позволяет использовать инструмент как для черного, так и для чистового фрезерования. Радиальное, тангенциальное или торцевое расположение пластин в корпусе расширяет технологические возможности фрез и позволяет упростить технологию их изготовления [1-5].

Эксплуатационные возможности современных торцовых фрез в некоторых случаях превосходят возможности оборудования эксплуатируемого на производстве, что выражается в нехватки мощности и жесткости при работе на допустимых режимах фрезерования. В связи с этим при использовании фрез большое значение имеет правильно выбранный шаг зубьев (крупный, нормальный или мелкий), форма, расположение и способ крепления пластин, главный угол в плане, направление фрезерования. Также наметилась тенденция уменьшения диаметра инструмента с использованием методов многопроходной обработки на станках с ЧПУ, что приводит к уменьшению энергозатрат и склонности к вибрациям при резании, в сочетании с оптимальным использованием ресурса инструмента.

На практике при обработке корпусных деталей из чугуна при схожих условиях обработки применяются разнообразные торцовые фрезы, отличающиеся конструкцией (числом зубьев, формой, геометрией пластин и инструмента в целом) и параметрами режима резания, что было рассмотрено на примере обработки детали - 80-1701025-А «Корпус» трактора «Белорус».

Для оценки работоспособности сборных торцовых фрез использовать общепринятый критерий - заданную величину допустимого износа, не представляется возможным. Этот критерий носит детерминированный характер и не учитывает особенности конструкции и специфику работы, этого многолезвийный инструмент, все зубья которого участвуют в процессе резания и в равной степени влияют на общую стойкость. Разброс механических свойств, состояния поверхностного слоя, припуска на обработку у заготовок, качества пластин и параметров точности их установки в гнезда корпуса фрезы, жесткости системы СПИД, параметров режима резания приводят к случайному разбросу величин износа граней, либо поломке отдельных зубьев инструмента. На производстве часто используются технологические критерии смены инструмента, такие как параметры точности обработки, допустимая шероховатость, а также такие показатели (в том числе и субъективные), как характерный шум, вибрации станка, замена других инструментов наладки, перерыв на обед.

Высокая стоимость и стохастический характер процессов, приводящих к разрушению торцовых фрез, приводят к необходимости принятия такого критерия смены, который бы позволил максимально использовать ресурс этих инструментов в конкретных производственных условиях.

В случае обработки серого чугуна твердосплавными торцовыми фрезами допустимый износ  $h_z$  составляет:  $h_z = 1,5..2,0$  мм [6, табл.30,с.55];  $h_z = 0,8..1,5$  мм [7, табл. 22, с. 231];  $h_z = 1,4..1,8$  мм [8, с. 194].

Стойкость фрез определяется в зависимости от их конструкции, диаметра и материала обрабатываемого изделия:  $T=150..180$  мин [6,табл.32, с.61];  $T=120$  мин [7,табл.22 с.230];  $T=150..250$  мин [8, с.121].

Как видим, различные нормативы дают отличную друг от друга информацию, как по допустимому износу, так и по стойкости. Поэтому для точного определения нормы расхода инструмента является целесообразным установить фактические пределы его износа, исходя из конкретных условий, имеющих место при выполнении данной операции.

Для торцовых фрез с СНП нет объективных критериев замены и износа. Не исследовались параметры работоспособности современных конструкций торцовых фрез на рекомендуемых производителями режимах резания и режимах реально применяемых на производстве.

В связи с этим встают задачи по выявлению причин замены, исследованию состояния рабочих граней и закономерностей рассеивания величин износа высокопроизводительных торцовых фрез в момент съема со станка, а также по определению критерия смены этого многолезвийного инструмента, учитывающего наличие случайных факторов характерных для процесса обработки деталей на производстве.

Такие исследования уже проводились на Минском тракторном заводе, на участке механообработки «Корпуса сцепления» № 70-1601015. Материал обрабатываемой детали - серый чугун марки СЧ20 с твердостью 170...240 НВ. Обработка плоскостей производилась торцовыми фрезами с СНП диаметром 315мм (количеством зубьев  $z=24$  и  $z=40$ ) на продольно-фрезерных станках ГФ 1979, встроенных в автоматическую линию[9].

На данном этапе для исследования работоспособности и эффективности использования были выбраны высокопроизводительные торцовые фрезы с СНП фирмы «Iscar» Ø160 мм (рис.1,а) и «Walter» Ø125 мм (рис.1,б, в) для черновой и чистовой обработки плоскостей в деталях из серого чугуна. Выбранные фрезы предназначены для выполнения похожих переходов, но существенно отличаются конструктивно и параметрами режима резания.

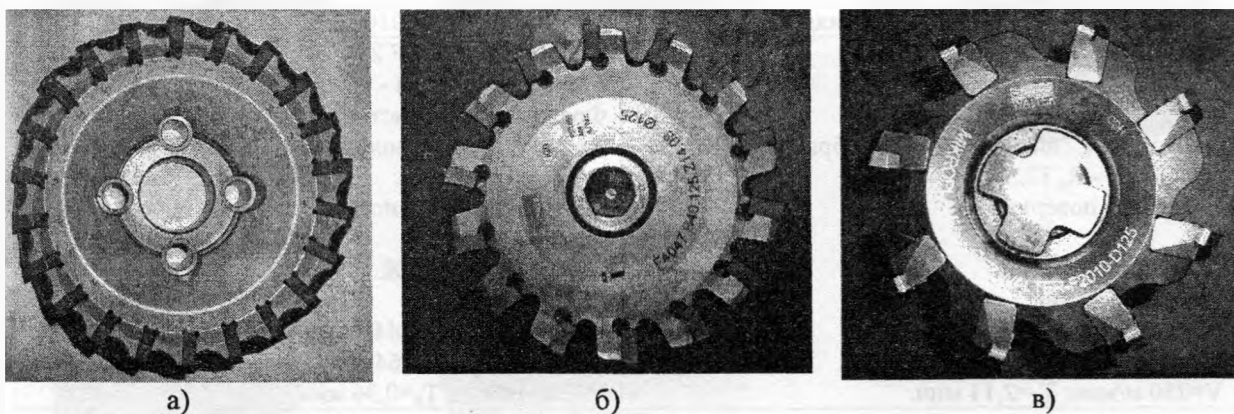


Рис. 1. Фрезы торцовые:  
а) Ø160 F45-WGD160-22-40-FX-R08 «Iscar»; б) Ø125 F4047.B40.125.Z14.08 «Walter»;  
в) Ø125 F2010.B.125Z08.06 R720M «Walter»

Исследования проводились на участке механообработки в цехе малых серий (ЦМС) - деталь- 80-1701025-А «Корпус». Материал обрабатываемой детали - серый чугун марки СЧ25 ГОСТ 1412-85 с твердостью 170...241 НВ. Код по ISO – 08.2. Обработка плоскостей проводится торцовыми фрезами  $D=160$  мм фирмы «Iscar». Фреза- F45 WGD160-22-40-FX-R08 с МНП ONMU 080608-TN. Количество граней-8. Количество рабочих граней -16 (двухсторонняя). Угол в плане  $\varphi=45^\circ (44^\circ 3')$ . Передний угол – отрицательный. Марка сплава – ic 4100. Область применения по ISO – K05- K20.

**Таблица 1 – Характеристики операции механообработки в ЦМС**

Операция 020	Операция 030
Станок – ИС800ПМФ4. Вид фрезерования - торцовое. Фрезерование - черновое. Допустимая шероховатость обработанной поверхности - $R_a$ 12.5. Структура поверхности - песчаные включения.  Охлаждение - СОЖ. Режимы резания: $t=2.0...3.0$ мм; $S=1400$ мм/мин; $L_{p,x}=6300$ мм; $n=400$ мин <sup>-1</sup> ; $V=200$ м/мин; $T_o=4,5$ мин.	Станок – СWK 630 “Heckert”. Вид фрезерования - торцовое. Фрезерование - чистовое. Допустимая шероховатость обработанной поверхности - $R_a$ 3.2. Структура поверхности - предварительно обработана. Охлаждение - СОЖ. Режимы резания: $t=0.5...1.0$ мм; $S=1400$ мм/мин; $L_{p,x}=6200$ мм; $n=400$ мин <sup>-1</sup> ; $V=200$ м/мин; $T_o=4,43$ мин.

Аналогичные исследования проводились на участке механообработки в механическом цехе 1 (МЦ-1) - деталь- 80-1701025-А «Корпус». Материал обрабатываемой детали - серый чугун марки СЧ25 ГОСТ 1412-85 с твердостью 170...241 НВ. Код по ISO – 08.2. Обработка плоскостей проводится торцовыми фрезами  $D=125$  мм фирмы “Walter”. Фреза F4047.B.40.125.Z14.08 с МНП SNMX 120512-F27 (черновая фреза). Количество граней-4. Количество рабочих граней -8 (двухсторонняя). Угол в плане  $\varphi=75^\circ$ . Передний угол – отрицательный. Марка сплава – WKP25 . Область применения по ISO – K15- K35. Фреза F2010.B.125.Z08.06 R720M с СНП SNGX 1205-ANN-F57 (чистовая фреза). Количество граней-4. Количество рабочих граней -8 (двухсторонняя). Угол в плане  $\varphi=45^\circ$ . Передний угол – отрицательный. Марка сплава – WKP25 . Область применения по ISO – K05- K25.

**Таблица 2 – Характеристики операции механообработки в МЦ-1**

Операция 010 (предварительная обработка)	Операция 010 (чистовая обработка)
Станок – SAS TCF 2.6. Вид фрезерования - торцовое. Фрезерование - черновое. Допустимая шероховатость обработанной поверхности - $R_a$ 12.5. Структура поверхности - литье.  Охлаждение - СОЖ. Режимы резания: $t=2...3$ мм; $i=2$ ; $S=2229$ мм/мин; $L_{p,x}=2355 \times 2$ мм; $n=637$ мин <sup>-1</sup> ; $V=250$ м/мин; $T_o=2,11$ мин.	Станок – SAS TCF 2.6. Вид фрезерования - торцовое. Фрезерование - чистовое. Допустимая шероховатость обработанной поверхности - $R_a$ 3.2. Структура поверхности – предварительно обработана. Охлаждение - СОЖ. Режимы резания: $t=0.6$ мм; $i=1$ ; $S=2446$ мм/мин; $L_{p,x}=2355$ мм; $n=764$ мин <sup>-1</sup> ; $V=300$ м/мин; $T_o=0,96$ мин.

В ходе исследований работоспособности торцовых фрез  $\varnothing 160$  «Isca» в ЦМС выявлены следующие причины замены инструментов:

Операция 020. Фрезерование черновое:

- визуальный контроль за износом пластины;
- ухудшение шероховатости обработанной поверхности  $R_a$  12.5 (появление глубоких зазоров).

Операция 030. Фрезерование чистовое:

- ухудшение шероховатости обработанной поверхности  $R_a$  3.2;
- плановая замена через  $\approx 50$  деталей.

В ходе исследований работоспособности торцовых фрез  $\varnothing 125$  «Walter» в МЦ-1 выявлены следующие причины замены:

Операция 010. Фрезерование черновое: плановая замена через 17 деталей

Операция 010. Фрезерование чистовое: плановая замена через 50 деталей.

Характерные виды повреждения пластин торцовых фрез, в момент съема со станка представлены на рис. 2.

Анализ состояния инструмента показал, что преобладающим видом повреждения режущих граней является износ по задней поверхности (рис. 3, 4). На черновых операциях встречаются режущие грани со следами выкрашивания и сколами, что является характерным подтверждением физики процесса разрушения поверхностного слоя твердосплавной пластины в условиях прерывистое резание, когда прилагаемая к режущей кромке нагрузка постоянно изменяется. При наличии в поверхностном слое детали песчаных включений проявляется интенсивный абразивный износ, и стойкость пластин значительно падает, иногда в 3-4 раза. Анализ взаимного влияния состояния режущих граней торцовых фрез показал, что поломка зуба приводит к повышенному износу следующих за ним зубьев, что связано с увеличением толщины снимаемого слоя металла и нагрузки на зуб.

За время проведения испытаний ни один корпус торцовой фрезы не был поврежден в результате скалывания режущей грани пластины.

Так как в ходе исследований выявлено, что наиболее характерным видом повреждения режущих граней пластин торцовых фрез в момент съема со станка является износ по задней поверхности, то были проведены измерения величин этого износа  $h_z$  (рис. 2,б).

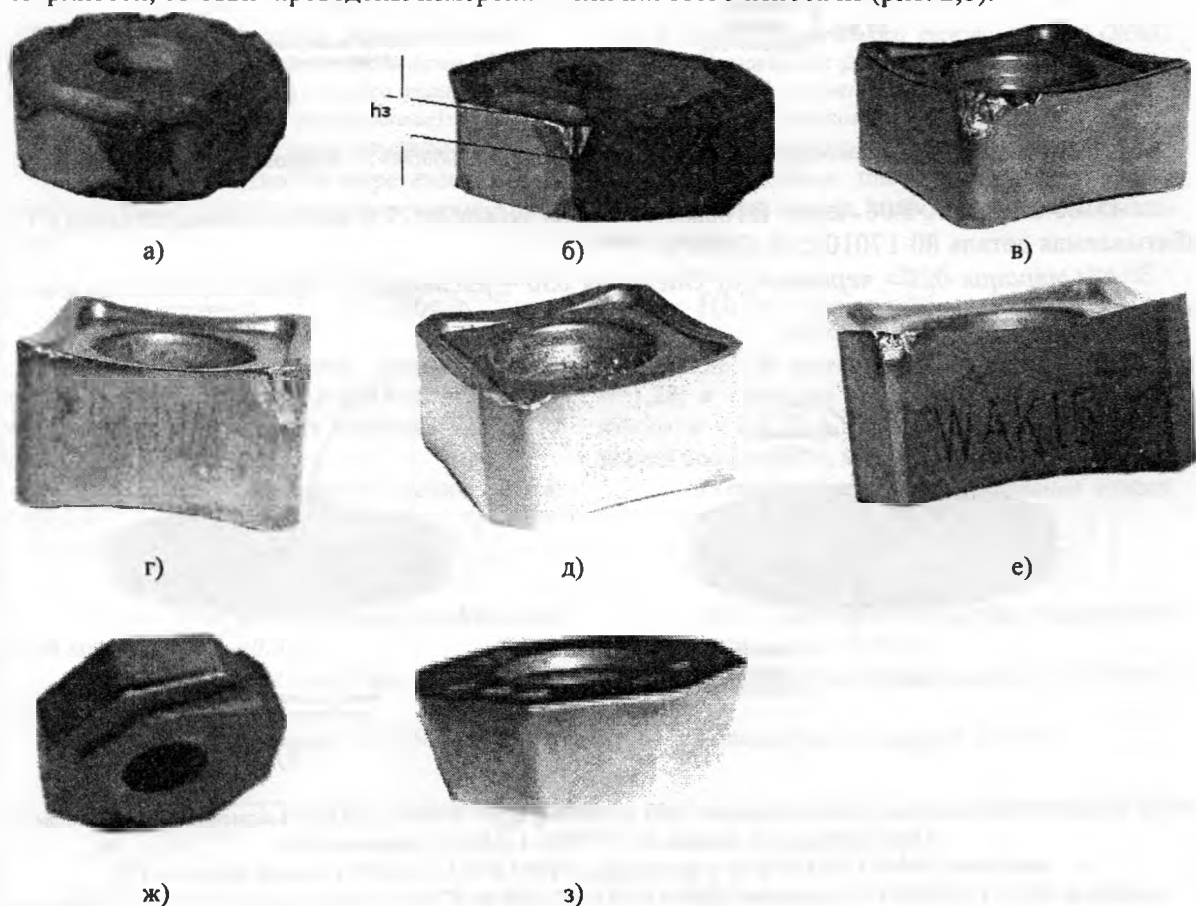


Рис. 2. Виды повреждений СНП торцовых фрез:

а) пластина ONMU 080608-TN - абразивный износ (черновая операция); б) пластина ONMU 080608-TN - нормальный износ по задней поверхности (чистовая операция); в) пластина SNMX 120512-F27 - выкрашивание режущей кромки (черновая операция); г) пластина SNMX 120512-F27 - абразивный износ (черновая операция); д) пластина SNGX 1205ANN-F67 - нормальный износ по задней поверхности со сколом (чистовая операция); е) пластина SNGX 1205ANN-F67 - нормальный износ (чистовая операция); ж) пластина ONHU 0806AN-N-W (зачистная) - нормальный износ (чистовая операция); з) пластина ODHX 0605ZZN-AS7 (зачистная) - нормальный износ (чистовая операция)

Измерения выполнялись при помощи лупы Бринелля со шкалой, имеющей цену деления 0,05 мм.

Количество измерений:

- операция 020 пластина ONMU 080608-TN – 1760;
- операция 030 пластина ONMU 080608-TN – 1600;
- операция 030 пластина ONHU 0806AN-N-W – 160;
- операция 010 пластина SNMX 120512-F27 – 2016;
- операция 010 пластина SNGX 1205ANN-F67 – 1008;
- операция 010 пластина ODHX 0605ZZN-A57 (зачистная) – 288.

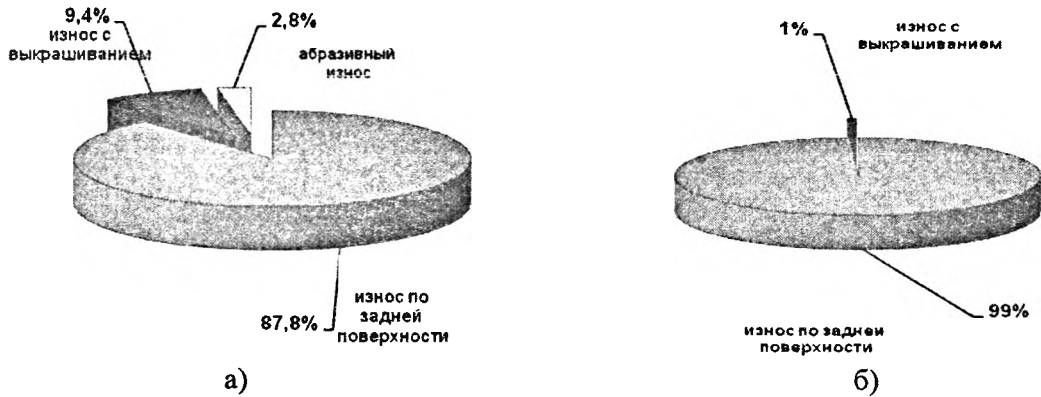


Рис. 3. Характер повреждения режущих граней СНП ONMU 080608-TN торцовых фрез F45WG

D160-22-40-FX-R08 'Iscar' Ø160мм с числом зубьев  $z=22$  в момент съема со станка. Обрабатываемая деталь 80-1701025-A (ЦМС):

а) Операция 020 - черновая; б) Операция 030 – чистовая,  $z=22$  ( $20+2$ ) (две зачистные пластины ONHU 0806AN-N-W)

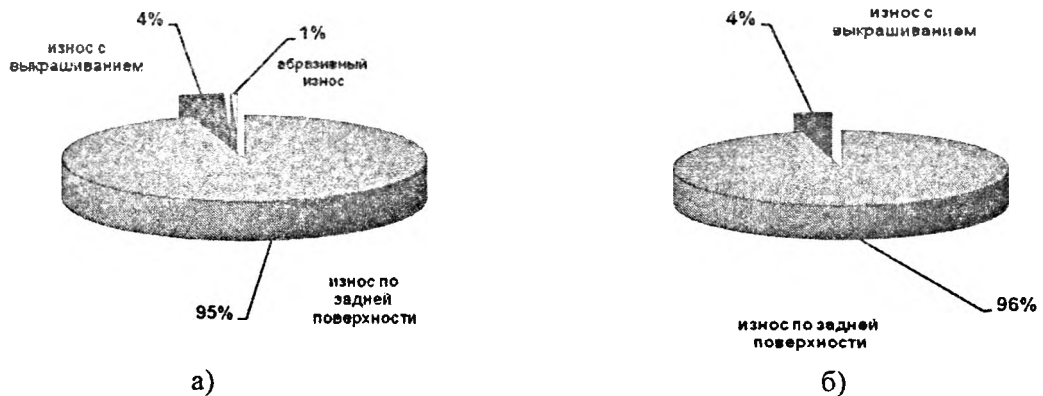


Рис. 4. Характер повреждения режущих граней СНП торцовых фрез 'Walter' Ø125мм в момент съема со станка.

Обрабатываемая деталь 80-1701025-A (МЦ-1). Операция 010:

а – пластины SNMX 120512-F27 торцовых фрез F4047.B40.125.Z14.08 с числом зубьев  $z=14$ ;  
б – пластины SNGX 1205ANN-F67 торцовых фрез F2010.B.125.Z08.06 R720M с числом зубьев  $z=8$  ( $7+1$ ) (одна зачистная пластина)

В ходе замеров величин износа СНП сборных торцовых фрез в производственных условиях была получена совокупность результатов измерений. Для проведения статистического анализа была произведена обработка результатов: группирование, построение гистограмм износа в программе Excel.

В результате статистической обработки полученных данных построены эмпирические и поставлены им в соответствии теоретические законы распределения величин износа пластин торцовых фрез (рис. 5, б), произведено сопоставления функции теоретического и эмпирического распределения износа режущих граней по критерию Колмогорова  $\lambda$  (рис. 7, 8) при помощи программы разработанной в среде программирования Mathcad [10-12].

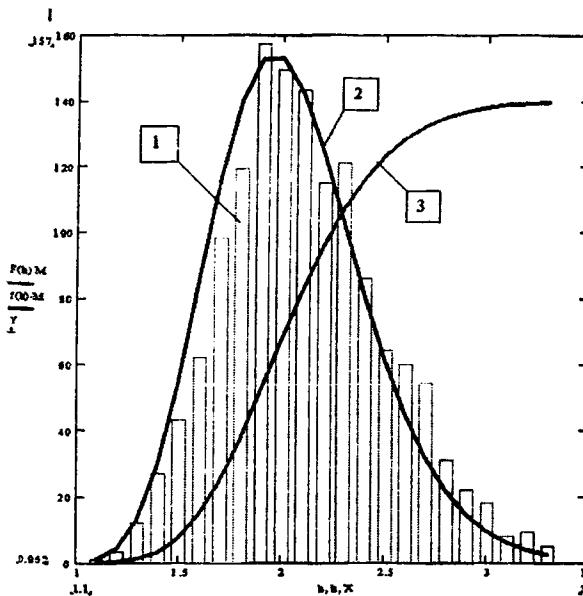


Рис. 5. Распределение износа режущих граней ONMU080608-TN торцовых фрез диаметром 160 мм и числом зубьев  $z=22$  в момент съема со станка (операция 020 – черновое фрезерование):

1 – гистограмма износа пластин;  
2 – кривая плотности теоретического распределения износа, подчиняющаяся нормальному закону;

$$f(h) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(h-m)^2}{2\sigma^2}} = 1,026e^{-\frac{(h-2,1)^2}{0,303}}$$

где  $m$  – статистическое среднее износа;  $m=2,1$ ;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение износа;  $\sigma = 0,389$ ;  $h$  – текущее значение износа по задней поверхности, мм;

3 – график функции распределения износа:

$$F(h) = F_0\left(\frac{h-m}{\sigma}\right) = F_0\left(\frac{h-2,1}{0,389}\right),$$

где  $F_0$  – функция табуляции; коэффициент парной корреляции  $r = 0,938$ ;

$M$  – коэффициент масштаба (на графике):

$M=40$ .

Количество измерений:  $n=1760$ .

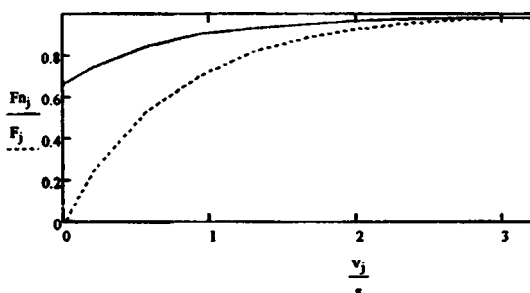


Рис. 7. Сопоставление функции эмпирического  $F_j$  и теоретического  $F_0$  распределения износа режущих граней СНП ONMU080608-TN (черновая фреза), подчиняющихся нормальному закону распределения

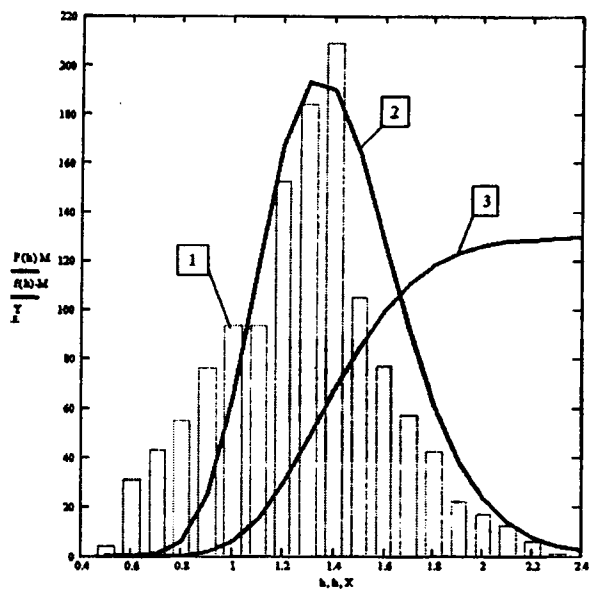


Рис. 6. Распределение износа режущих граней ONMU 080608-TN торцовых фрез диаметром 160 мм и числом зубьев  $z=22$  в момент съема со станка (операция 030 – чистовое фрезерование):

1 – гистограмма износа пластин;  
2 – кривая плотности теоретического распределения износа, подчиняющаяся нормальному закону;

$$f(h) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(h-m)^2}{2\sigma^2}} = 1,069e^{-\frac{(h-1,28)^2}{0,278}}$$

где  $m$  – статистическое среднее износа:  $m=1,28$ ;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение износа:  $\sigma = 0,373$ ;  $h$  – текущее значение износа по задней поверхности, мм;

3 – график функции распределения износа:

$$F(h) = F_0\left(\frac{h-m}{\sigma}\right) = F_0\left(\frac{h-1,28}{0,373}\right),$$

где  $F_0$  – функция табуляции; коэффициент парной корреляции  $r = 0,92$ ;

$M$  – коэффициент масштаба (на графике):

$M=30$ ;

Количество измерений:  $n=1600$ .

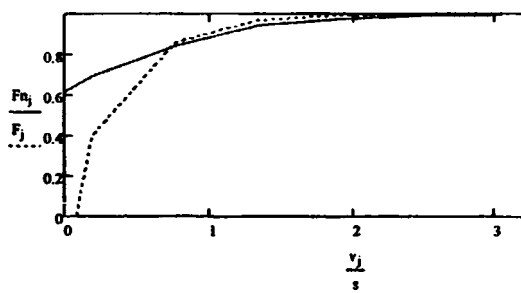


Рис. 8. Сопоставление функции эмпирического  $F_j$  и теоретического  $F_0$  распределения износа режущих граней МНП ONMU080608-TN (чистовая фреза), подчиняющихся нормальному закону распределения

В результате было выявлено, что величины износа имеют большой разброс значений у черновых сборных торцовых фрез с МНП с числом зубьев 22 от 1,2 до 3,3 мм; с числом зубьев 14 от 0,3 до 2,1 мм.

Анализ полученных зависимостей показал, что рассеивание износа зубьев торцовые фрезы, по задней поверхности в момент съема со станка, наилучшим образом описывается нормальным, логнормальным и законом Вейбулла.

При анализе влияния износа пластин по задней поверхности на размерную стойкость  $h_p$  (мм), при черновой обработке, была использована формула [13]:

$$h_p = \frac{h_3}{\left[ \frac{1}{\tan(\alpha)} - \tan(\gamma) \right] \cdot \left[ \frac{1}{\tan(\varphi)} + \frac{1}{\tan(\varphi_1)} \right] \cdot \sin(\varphi)},$$

где  $h_3$  - износ по задней поверхности, мм;  $\alpha$ - задний угол фрезы, град;  $\gamma$ - передний угол фрезы, град;

$\varphi$ - главный угол в плане, град;  $\varphi_1$ - вспомогательный угол в плане, град.

Для черновой фрезы F45 WGD160-22-40-FX-R08 'Iscar' с пластиной ONMU080608-TN она составила:

$$h_p = \frac{2,1}{\left[ \frac{1}{\tan(-8^\circ)} - \tan(-5^\circ) \right] \cdot \left[ \frac{1}{\tan(44,3^\circ)} + \frac{1}{\tan(0,7^\circ)} \right] \cdot \sin(44,3^\circ)} = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ мм.}$$

а для фрезы F4047.B40.125.Z14.08 'Walter' с пластиной SNMX 120512-F27:

$$h_p = \frac{0,76}{\left[ \frac{1}{\tan(-6^\circ)} - \tan(-5^\circ) \right] \cdot \left[ \frac{1}{\tan(75^\circ)} + \frac{1}{\tan(15^\circ)} \right] \cdot \sin(75^\circ)} = 0,02 \text{ мм.}$$

Как видно износ по задней поверхности пластин торцовых фрез не оказывает существенного влияния на размеры обрабатываемой детали. Таким образом, одним из путей повышения производительности и стойкости торцовых фрез, применяемых на черновых операциях может быть увеличение толщины пластин.

С целью получения объективной оценки работоспособности был произведен расчет объема снимаемого металла за период стойкости фрезы:

- Фактический средний период стойкости составляет для черновых фрез F45WG D160-22-40-FX-R08 'Iscar'  $T=102$  мин. ( $L=142\ 800$  мм;  $Q=450$  см<sup>3</sup>/мин), а для чистовых –  $T=230$  мин ( $L=322\ 000$  мм;  $Q=225$  см<sup>3</sup>/мин).

- Объем металла, снимаемого фрезами за период стойкости:

- $Q_{T1}=45900$  см<sup>3</sup>;  $Q_{T2}=51750$  см<sup>3</sup>

- Фактический средний период стойкости для черновых фрез F4047.B40.125.Z14.08 'Walter' составляет  $T=35$  мин. ( $L=71\ 330$  мм;  $Q=835$  см<sup>3</sup>/мин), а для чистовых F2010.B.125.Z08.06 R720M 'Walter' –  $T=48$  мин. ( $L=117\ 410$  мм;  $Q=305$  см<sup>3</sup>/мин)

- Объем металла, снимаемого фрезами за период стойкости:

- $Q_{T1}=29225$  см<sup>3</sup>;  $Q_{T2}=14640$  см<sup>3</sup>

- Стойкость черновых фрез фирмы 'Iscar' выраженная в минутах резания в 2.9 раза выше, чем стойкость фрез фирмы 'Walter'. Однако работоспособность фрез 'Iscar' выраженная в объеме снимаемой стружки выше, чем у фрез 'Walter' всего в 1.57 раза.

Стойкость чистовых фрез фирмы 'Iscar' выраженная в минутах резания в 4.79 раза выше, чем стойкость фрез фирмы 'Walter'. Однако работоспособность фрез 'Iscar' выраженная в объеме снимаемой стружки выше, чем у фрез 'Walter' всего в 3.53 раза.

В целом показатели работоспособности фрез фирмы 'Iscar' выше, в связи с тем, что эти инструменты оснащены большим количеством зубьев по сравнению с фрезами фирмы 'Walter', что уменьшает нагрузку на режущее лезвие, а также из-за менее жесткого регламента по условиям эксплуатации выраженного в большем допустимом износе.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- Основной причиной выхода из строя пластин является износ по задней поверхности.

- При черновой обработке существует выкрашивание (около 10% для ONMU 080608-TN и 5% для SNMX 120512-F27) из-за прерывистого процесса резания и низкого качества обрабатываемой поверхности.

- Наблюдается взаимное влияние работы режущих граней - при выкрашивании пластины, следующая пластина имеет большую величину износа.

- Величина износа при черновом фрезеровании ограничивается толщиной пластины и ухудшением шероховатости обработанной поверхности (остаются глубокие резцы). При чистовой обработке - качеством обрабатываемой поверхности.

- Среднее значение износа для пластин ONMU 080608-TN на операции 020 (черновое фрезерование) -  $h_{cp}=2,1$  мм, на операции 030 (чистовое фрезерование) -  $h_{cp}=1,28$  мм.

- Среднее значение износа для пластин SNMX 120512-F27 на операции 010 (черновое фрезерование) -  $h_{cp}=0,76$  мм, для SNGX 1205ANN-F67 (чистовое фрезерование) -  $h_{cp}=0,47$  мм.

- Разброс значений величины среднего износа можно отнести в первую очередь к выбранной стратегии эксплуатации инструментов. Для фрез фирмы 'Walter' установлен строгий регламент по замене инструмента, что в целом повышает стабильность работы инструмента, но не дает максимально использовать его ресурс.

- Анализ полученных зависимостей показал, что рассеивание износа торцовых фрез по задней поверхности в момент съема со станка наилучшим образом описывается нормальным и логнормальным и законом Вейбулла (при возрастании числа поломок режущих граней).

- В результате проведенных исследований можно сделать следующий вывод, что износ отдельных граней фрез не может быть использован в качестве оценки состояния всего инструмента. В качестве критерия работоспособности такого инструмента может быть принят комплексный критерий, представляющий вероятностную оценку распределения износа всех режущих граней фрезы, учитывающий также долю режущих граней внезапно отказавших из-за поломки.

- Однако при стабильных условиях эксплуатации в качестве размерного критерия выхода из строя торцовых фрез можно принять величину среднего износа зуба фрезы при одном обороте на длине активного участка резания.

- Одним из путей повышения работоспособности можно предложить использование режущего инструмента с пластиной большей толщины, что должно увеличить их ресурс и повысить производительность, так как размерная стойкость, под которой понимают способность инструмента обеспечивать получение деталей с определенной точностью, не оказывает существенного влияния на изменение размеров детали.

- На операции 030 при использовании фрезы F45WG D160-22-40-FX-R08 'Iscar', можно предложить раздельную смену пластин, как это производится для фрез F2010.B.125.Z08.06 R720M 'Walter'. После того, как фреза обрабатывает 25 деталей, заменяется режущая кромка зачистной пластины, а черновые остаются неизменными, и фреза обрабатывает еще 25 деталей, после чего уже сменяются все режущие грани фрезы.

- Большое влияние на стойкость режущих пластин и разброс показаний износа граней оказывает состояние поверхности обрабатываемого материала. И одним из немаловажных факторов является улучшение поставляемых заготовок, что с большей долей вероятности позволит прогнозировать стойкость режущих инструментов и позволит уменьшить разброс значений износа.



• Общую оценку показателей работоспособности фрез следует давать не только по времени резания за период стойкости, но и по объему стружки снимаемой за это время.

Таким образом, результаты работы могут быть использованы для прогнозирования стойкости торцовых фрез при производственных испытаниях, при нормировании расхода, а также при разработке мероприятий по увеличению надежности инструментов на этапе проектирования и эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог "Sandvik Coromant". 2008, ил. 2. Каталог "Isca" – «Вращающиеся инструменты». 2008, ил. 3. Каталог "Walter". 2008, ил. 4. Каталог "Ingersoll" – "Milling 2009", ил. 5. Каталог "Pramet" – "Фрезерование 2006", ил. 6. Типовые нормы износа и стойкости режущего инструмента / Руководящий материал / Государственный комитет совета министров СССР по автоматизации и машиностроению. Научно исследовательский институт технологии автомобильной промышленности – НИИТАВТОПРОМ- Москва, 1961. 7. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник/ В.И. Баранчиков, А.В. Жаринов, Н.Д. Юдина и др.; Под общ. ред. В.И. Баранчикова. - М.: Машиностроение- 1990.- 472с. 8. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник: В 2-х т.:Т.1/ А.Д. Локтев, И.Ф. Гушин, В.А. Багуев и др.- М.: Машиностроение- 1991- 640 с. 9. Ажар А.В., Грошева А.И., Ермоленко А.А. Исследование состояния рабочих граней твердосплавных пластин торцовых фрез на производстве в момент съема со станка. Машиностроение – Мн., 2005 – Вып. 21 – с.49 - 54. 10. ГОСТ 11.006-74. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. – Введ. 20.12.1974. – М. ВНИИС: Всесоюзный научно-исследовательский институт стандартизации, 1974. – 24 с. 11. ГОСТ 11.007-75. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров распределения Вейбулла. – Введ. 05.09.1975.– М.: Госстандарт СССР, 1975. – 30 с. 12. ГОСТ 11.004-74. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения. - Введ. 21.02.1974.– М.: Госстандарт СССР, 1974. – 20 с. 13. Ящерицын П.И. Теория резания: учеб./ П.И. Ящерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Мн.: Новое знание, 2005. -512с. ил.

УДК 621.9.011:517.962.1

*Туромша В.И., Довнар С.С., Туми Эль-Мабрук Абуджафер Али*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПРОДОЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ПОДВИЖНЫМ ПОРТАЛОМ С ПОМОЩЬЮ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Исследование производилось путем компьютерного численно-математического моделирования методом конечных элементов (МКЭ) [1-3]. Моделированию подлежала несущая система нового продольно-фрезерного станка завода МЗОР с подвижным порталом (т.н. типа «Гентри»). П-образный портал (рис.1) состоит из двух вертикальных колонн высотой 1,1 м и горизонтальной траверсы длиной 3,6 м, неподвижно соединенных друг с другом.

Каждая колонна через рельсовые направляющие качения опирается на свою станину. Под колонной на двух рельсах находится 6 опор качения с номинальной жесткостью  $j_0=2800$  Н/мм. Давление колонны станина длиной 9 м передает двум рядам фундаментных башмаков. Башмаки расположены через 500 мм. Как показали заводские испытания, каждый башмак имеет жесткость  $j_6=110$  Н/мм.