

УДК 621.914

Э.Р. Ваниев, Симферополь, Украина

## **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ СТАЛИ 12Х18Н10Т В ПРИСУТСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ СОТС**

*У статті наведені результати моделювання стійкості інструменту від режимних параметрів прироблення, а також режимів різання приробленого інструменту і дослідження їх впливу на стійкість зубів фрез з Р6М5 при фрезеруванні сталі 12Х18Н10Т окремо для кожної з використовуваних технологічних середовищ (суха обробка, рицинова і рапсова олії, МР-99, І-20А). Показана перевага використання рослинних олій при фрезеруванні сталі аустенітного класу швидкорізальним інструментом.*

*В статье приведены результаты моделирования стойкости инструмента от режимных параметров приработки, а также режимов резания приработанного инструмента и исследование их влияния на стойкость зубьев фрез из Р6М5 при фрезеровании стали 12Х18Н10Т отдельно для каждой из используемых технологических сред (сухая обработка, касторовое и рапсовое масла, МР-99, И-20А). Показано преимущество использования растительных масел при фрезеровании стали аустенитного класса быстрорежущим инструментом.*

*The paper presents the results of the simulation tool life of the running operating parameters, as well as the cutting tool run-in and study of their effects on resistance of teeth cutters for milling steel HS 6-5-2 X12CrNiTi18-10 separately for each of the used technological environments (dry processing, castor and canola oils, MR-99, I-20A). The advantage of the use of vegetable oils for milling austenitic steel HSS tool.*

**Постановка задачи и цель исследований.** Фрезерование представляет собой разновидность механической обработки, функционирование которой, как системы, зависит от множества факторов (переменных), обуславливающих как протекание процесса резания в виде физико-химических явлений его сопровождающих, так и его выходные характеристики – производительность и себестоимость обработки, стойкость инструмента, показатели качества поверхности и др. [1-4].

Рассмотрение системы механической обработки и особенностей процесса резания, как совокупность взаимосвязанных явлений, возникающих при образовании структуры, позволяет утверждать, что использование СОТС оказывает существенное влияние на их интенсивность и тем самым влияет на стойкость инструмента.

В современной теории резания процесс стружкообразования рассматривается как термомеханический процесс [2, 5, 6], определяемый множеством взаимосвязанных первичных параметров механической

обработки. Учитывая это влияние СОТС на механизм процесса резания без взаимосвязи с другими факторами, не может быть установлен в такой мере. Однако влияние СОТС на параметры процесса резания во взаимосвязи с другими факторами, определяющими, систему механической обработки практически не исследовано.

Исходя из термомеханического подхода в теории резания контактные нагрузки, действующие на инструмент, и температура резания для пары обрабатываемый материал-инструмент, прежде всего, определяются режимами резания и технологической средой (СОТС), в присутствии которой происходит обработка. Поэтому исследование влияние режимов резания в некотором диапазоне их изменения и различных СОТС на стойкость инструмента при фрезеровании стали 12Х18Н10Т является актуальной задачей и имеет большое практическое значение при разработке рекомендаций по использованию СОТС в различных условиях эксплуатации.

**Целью исследований** является установление влияние режимов резания на стойкость быстрорежущих фрез при использовании различных СОТС с использованием технологии минимальной смазки (ТМС) для разработки рекомендаций по рациональному использованию технологических сред при обработке стали 12Х18Н10Т.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известно, что в процессе резания наблюдается три вида износа: приработочный, нормальный и катастрофический. Исследованиями [7] установлено, что приработка инструмента на более низких режимах резания приводит к значительному повышению стойкости инструмента в сравнении с дальнейшей его эксплуатации на более высоких режимах резания. Это объясняется тем, что в процессе приработки на контактных поверхностях инструмента наблюдается пластическая деформация контактных (локальных) микрообъемов, впоследствии которой происходит их упрочнение (включая образование химических соединений).

В работе [8] показано, что упрочнение инструмента резанием зависит от среды, в которой осуществляется приработка. По результатам, приведенным в этой работе можно предположить, что при обработке сталей аустенитного класса, к которым относится и сталь 12Х18Н10Т, одним из перспективных направлений повышения работоспособности инструмента является применение СОТС на основе растительных масел с использованием технологии минимальной смазки. Однако приведенные исследования проводились только при точении. Поэтому они в полной мере не могут быть отнесены к фрезерованию. Кроме того вопрос эффективного использования различных СОТС во взаимосвязи с другими факторами, определяющим процесс резания в этих исследованиях не рассматривался.

В работе [9] впервые на основе математического моделирования с использованием одного из методов самоорганизации – группового учета аргументов в результате обработки экспериментальных данных была получена модель в виде зависимости стойкости фрезы от режимов резания и обобщенной характеристики той или иной СОТС. В качестве обобщенной характеристики СОТС была выбрана адгезионная составляющая ( $\mu_a$ ) коэффициента трения пары 12X18H10T – P6M5.

Предполагалось получить модель в виде функции  $T = f(V_{\text{пр}}, S_z, V_c, t, \mu_a)$ , где скорость приработки изменялась в диапазоне  $V_{\text{пр}} = (12,2 \div 27,9)$  м/мин, а скорость фрезерования после приработки при постановке экспериментов изменялась в диапазоне  $V_c = (27,4 \div 49,6)$  м/мин.

Значения остальных переменных в каждом эксперименте были одинаковыми, как на стадии приработки, так и при работе инструмента после приработки и изменялись в пределах  $S_z = (0,1 \div 0,3)$  мм/зуб,  $t = (0,4 \div 2)$  мм и  $\mu_a = (0,13 \div 0,31)$ , соответственно для смазки МР-99 –  $\mu_a = 0,13$ , для рапсового масла –  $\mu_a = 0,2$ , для касторового масла –  $\mu_a = 0,26$  и для И-20А –  $\mu_a = 0,31$ .

Таким образом, по аналогии согласно работе [8] отличие режима приработки инструмента от режима его работы после приработки определялось только скоростью приработки.

В результате получена модель, которая с точностью 15% описывает зависимость исследуемых переменных следующего вида:

$$\begin{aligned} \ln T = & 8,913 - 3,899 \cdot \ln V_c \cdot S_z + 3,88 \cdot 10^{-1} \cdot \ln V_c \cdot \ln S_z - \\ & - 1,578 \cdot S_z \cdot \ln \mu_a \cdot \ln V_c + 3,316 \cdot 10^{-4} \cdot V_c \cdot \mu_a \cdot (\ln V_c)^2 \cdot (\ln S_z)^2 - \\ & - 3,528 \cdot 10^{-3} \cdot V_c \cdot t \cdot S_z^2 \cdot \ln \mu_a \cdot \ln V_c \end{aligned} \quad (1)$$

Влияние исследуемых переменных на стойкость осуществляется в тесной взаимосвязи друг с другом. В данных моделях влияние скорости приработки на стойкость исследуемого инструмента не выявлено.

Это может быть объяснено тем, что коэффициент адгезионной составляющей  $\mu_a$  коэффициента трения не может служить характеристикой СОТС несущей информацию об эффектах каждой из них, как это было предложено в работе [10]. Поэтому не представляется возможным синтезировать одну модель, по которой можно было определять стойкость фрез в зависимости от вида различных СОТС.

Таким образом возникает задача построения моделей в виде зависимостей  $T = f(V_{\text{пр}}, S_z, V_c, t)$  при использовании отдельно каждой из СОТС.

**Моделирование стойкости инструмента с использованием различных сред.** Синтез зависимостей  $T = f(V_{\text{пр}}, S_z, V_c, t)$  осуществлялся по

методике предложенной в работе [9] и в тех же пределах исследуемых переменных ( $V_{np}$ ,  $S_z$ ,  $V_c$  и  $t$ ). В результате обработки экспериментальных данных получены следующие модели, адекватность описывающие процесс:

– МР-99 (относительная точность – 6%)

$$\ln T = 5,16 - 1,2 \cdot t \cdot S_z - 1,28 \cdot 10^{-1} \cdot S_z \cdot V_c + 1,165 \cdot 10^{-4} \cdot \ln V_c \cdot V_c^2 \cdot S_z + 1,215 \cdot 10^{-1} \cdot \ln t \cdot t - 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot V_{np} \cdot S_z^3 \cdot t \cdot \ln V_c \cdot V_c^2 \quad (2)$$

– рапсовое масло (относительная точность – 8%)

$$\ln T = 5,33 + 2,03 \cdot 10^{-2} \cdot S_z \cdot V_c + 5,47 \cdot 10^{-3} \cdot \ln S_z \cdot \ln V_{np} \cdot S_z^2 \cdot V_c^2 + 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot \ln t \cdot V_{np} \cdot \ln S_z \cdot \ln V_{np} \cdot S_z^2 \cdot V_c^2 \quad (3)$$

– касторовое масло (относительная точность – 8%)

$$\ln T = 6,38 - 4,94 \cdot 10^{-1} \cdot S_z \cdot V_{np} - 6,88 \cdot 10^{-2} \cdot \ln t \cdot V_{np} - 1,1 \cdot 10^{-2} \cdot \ln V_c \cdot V_c + 8,67 \cdot 10^{-4} \cdot V_c \cdot t \cdot S_z^2 \cdot V_{np}^2 + 1,29 \cdot 10^{-5} \cdot t \cdot V_c^2 \cdot \ln V_c \cdot S_z \cdot V_{np} \quad (4)$$

– И-20А (относительная точность – 10%)

$$\ln T = 4,11 - 1,04 \cdot 10^{-3} \cdot V_{np} \cdot V_c + 2,99 \cdot 10^{-1} \cdot (\ln S_z)^2 - 1,03 \cdot 10^{-1} \cdot \ln V_c \cdot S_z \cdot (\ln S_z)^2 \quad (5)$$

– всухую (относительная точность – 7%)

$$\ln T = 4,598 - 2,21 \cdot 10^{-1} \cdot S_z^2 - 3,83 \cdot 10^{-1} \cdot t \cdot \ln t - 1,96 \cdot 10^{-3} \cdot V_{np}^2 \cdot S_z^2 - 4,65 \cdot 10^{-2} \cdot \ln V_c \cdot (\ln t)^3 \cdot t - 3,23 \cdot S_z^3 \cdot t^3 \cdot \ln V_c \cdot (\ln t)^3 \quad (6)$$

Анализ структур полученных моделей показывает, что режимные параметры оказывают влияние на стойкость во взаимосвязи друг с другом. Следует отметить, что в присутствии индустриального масла И-20А, в выбранных пределах изменения глубина резания на стойкость инструмента при фрезеровании стали 12Х18Н10Т не оказывает влияния.

Количественную оценку каждого из факторов для каждой из исследуемых СОТС можно определить при исследовании зависимостей:

$$T = f(S_z), T = f(V_{np}), T = f(V_c) \text{ и } T = f(t).$$

**Влияние исследуемых переменных на стойкость инструмента.**

Исследование каждой из рассматриваемых переменных проводилось по графическим зависимостям стойкости от каждой из переменных, полученных соответственно по моделям (2, 3, 4, 5 и 6). Выбор значений режимных

параметров для построения стойкостных зависимостей от них продиктованы рекомендациями приработки при точении стали 12Х18Н10Т [8].

Так, на рис. 1 представлены зависимости  $T = f(S_z)$  стойкости инструмента от подачи на зуб для различных СОТС. Анализ этих зависимостей показывает, что наибольшее влияние на стойкость оказывает подача на зуб ( $S_z$ ) в присутствии касторового масла (графики 4). При том интенсивность ее влияния на стойкость в большей степени проявляется при скорости приработки  $V_{пр} = 28$  м/мин.

При приработке со скоростью  $V_{пр} = 28$  м/мин, подачей  $S_z = 0,1$  мм/зуб стойкость фрезы достигает 347 мин, т.е. более чем в 2,4 раз выше стойкости фрезы при сухой обработке на тех же режимах.

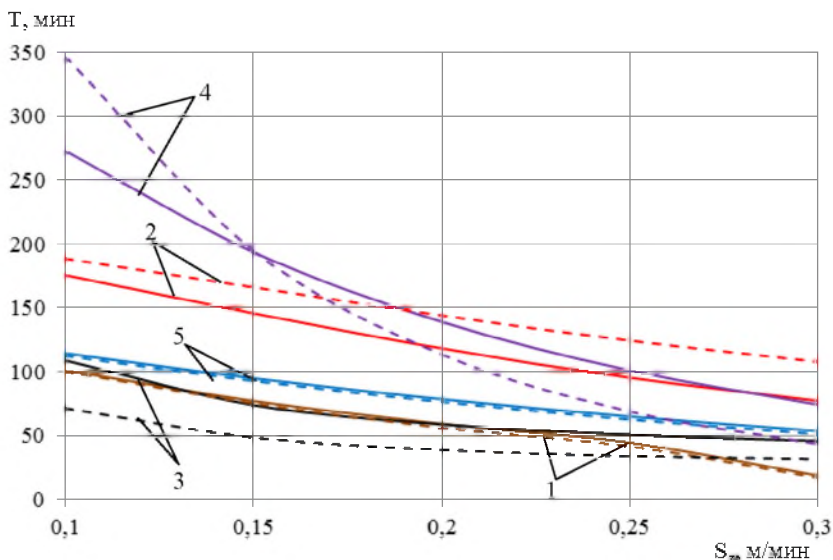


Рисунок 1 – Зависимости  $T = f(S_z)$  при фрезеровании стали 12Х18Н10Т:  
 —  $V_{пр} = 15,5$  м/мин; - - -  $V_{пр} = 28$  м/мин,  $V_c = 28$  м/мин;  $t = 0,4$  мм;  
 1 – сухая обработка, 2 – рапсовое масло (ТМС), 3 – И-20А (ТМС),  
 4 – касторовое масло (ТМС), 5 – МР-99 (ТМС)

Стойкость фрезы при  $V_{пр} = 15,5$  м/мин равна 272 мин, т.е. на 2% ниже, чем при исследуемой максимальной скорости приработки. При подаче  $S_z = 0,3$  мм/зуб как при  $V_{пр} = 15,5$  м/мин, так и при  $V_{пр} = 28$  м/мин стойкость фрез в присутствии касторового масла в 2,5 раза выше стойкости сухой обработки на этих же режимах (при сухой обработке  $T = 16,8$  мин, касторовое масло  $T = 43,2$  мин).

Использование рапсового масла при  $S_z = 0,15$  мм/зуб,  $V_{пр} = 15,5$  м/мин и при  $V_{пр} = 28$  м/мин соответственно повысило стойкость фрез в 1,9 и 2,2 раза в сравнении с сухой обработкой.

С увеличением  $S_z$  эффективность использования касторового и рапсового масел в сравнении с сухой обработкой повышается. Так в присутствии касторового масла при скоростях приработки  $V_{пр} = 15,5$  м/мин и  $V_{пр} = 28$  м/мин стойкость инструмента соответственно в 4,1 и 2,5 раза выше стойкости при сухой обработке. При использовании рапсового масла при тех же значениях подачи на зуб и скоростей приработки стойкость соответственно выше по сравнению с сухой обработкой в 4 и 6 раз.

Проведенный анализ и анализ графических зависимостей показывают, что при  $V_{пр} = 15,5$  м/мин в диапазоне  $S_z$  от 0,1 мм/зуб до 0,2 мм/зуб лучше результаты по стойкости инструмента наблюдается при использовании касторового масла. При приработке зубьев фрез в  $V_{пр} = 28$  м/мин наблюдается повышение их стойкости при использовании касторового масла до  $S_z = 0,15$  мм/зуб.

На рис. 2 приведены графические зависимости  $T = f(V_{пр})$  стойкости инструмента от скорости приработки.

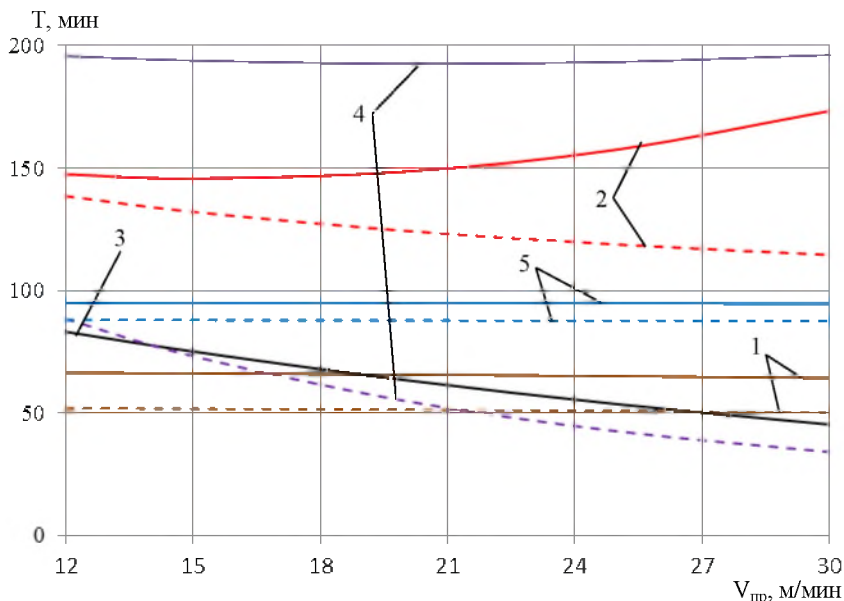


Рисунок 2 – Зависимости  $T = f(V_{пр})$  при фрезеровании стали 12X18H10T:

- $t = 0,4$  мм; - - -  $t = 1,2$  мм;  $V_c = 28$  м/мин;  $S_z = 0,15$  мм/зуб;
- 1 – сухая обработка, 2 – рапсовое масло (ТМС), 3 – И-20А (ТМС),
- 4 – касторовое масло (ТМС), 5 – МР-99 (ТМС)

Их анализ показывает, что во всем диапазоне принятого в исследованиях изменения скорости приработки и одних и тех же значениях подачи на зуб ( $S_z = 0,15$  мм/зуб) и скорости фрезерования после приработки ( $V_c = 28$  м/мин), при малых глубинах резания ( $t = 0,4$  мм) скорость приработки в присутствии касторового масла не оказывает влияния на стойкость зубьев фрез.

В тоже время при глубине фрезерования  $t = 1,2$  мм с повышением скорости приработки снижается стойкость инструмента. Так, в исследуемом диапазоне скоростей приработки с ее увеличением наблюдается снижение стойкости на 2,2 раза. Это позволяет утверждать, что приработка в присутствии касторового масла должна осуществляться при малых глубинах резания не зависимо от скорости приработки  $V_{пр}$ .

При использовании рапсового масла наблюдается небольшое влияние скорости приработки на стойкость инструмента в сравнении с касторовым маслом. При глубине резания  $t = 0,4$  мм увеличение скорости приработки в рассматриваемом ее диапазоне изменения вызывает увеличение стойкости на 18%.

В тоже время при глубине резания  $t = 1,2$  мм – снижение стойкости на 17%. Проведенный анализ показывает, что приработку при фрезеровании в присутствии рапсового масла следует проводить при малых глубинах резания. При сухой обработке и при фрезеровании в присутствии МР-99 скорость приработки в исследуемом диапазоне ее изменения практически не оказывает влияния на стойкость зубьев фрез. С увеличением скорости приработки при фрезеровании с использованием И-20А стойкость зубьев фрезы снижается на 1,8 раза.

Нас рис. 3 приведены графические зависимости  $T = f(V_c)$  стойкости зубьев фрез от скорости фрезерования приработанных на скоростях приработки  $V_{пр} = 15,5$  м/мин и  $V_{пр} = 28$  м/мин.

Их анализ показывает, что наибольшее влияние на стойкость оказывает скорость фрезерования в присутствии рапсового масла. С увеличением скорости фрезерования  $V_c$  в пределах от 28 м/мин до 50 м/мин стойкость снижается для  $V_{пр} = 15,5$  м/мин в 2,6 раза, для  $V_{пр} = 28$  м/мин в 1,9 раза. При использовании касторового масла при принятых режимных параметрах приработки и дальнейшей эксплуатации фрез увеличение скорости резания  $V_c$  оказывает меньше влияния в сравнении с использованием рапсового масла (графики 2 и 4).

Такое влияние скорости фрезерования на стойкость может объясняться состоянием контактных слоев, образуемых во время приработки и дальнейшей эксплуатации инструмента.

Увеличение скорости  $V_c$  в рассматриваемом диапазоне ее изменения уменьшает стойкость фрез в присутствии МР-99 менее, чем на 10%, не

зависимо от значения скорости приработки, и в присутствии И-20А на 35÷50 в зависимости от скорости приработки. При сухой обработке скорость фрезерования при  $S_z = 0,15$  мм/зуб и  $t = 0,4$  мм не зависимо от  $V_{пр}$  не оказывает влияния на изменение стойкости инструмента.

Анализ графических зависимостей  $T = f(t)$  стойкости зубьев фрез от глубины резания (рис. 4) показывает, что при фрезеровании с подачей  $S_z = 0,15$  мм/зуб и  $V_c = 28$  м/мин наибольшее влияние глубины резания на стойкость инструмента наблюдается в присутствии касторового масла.

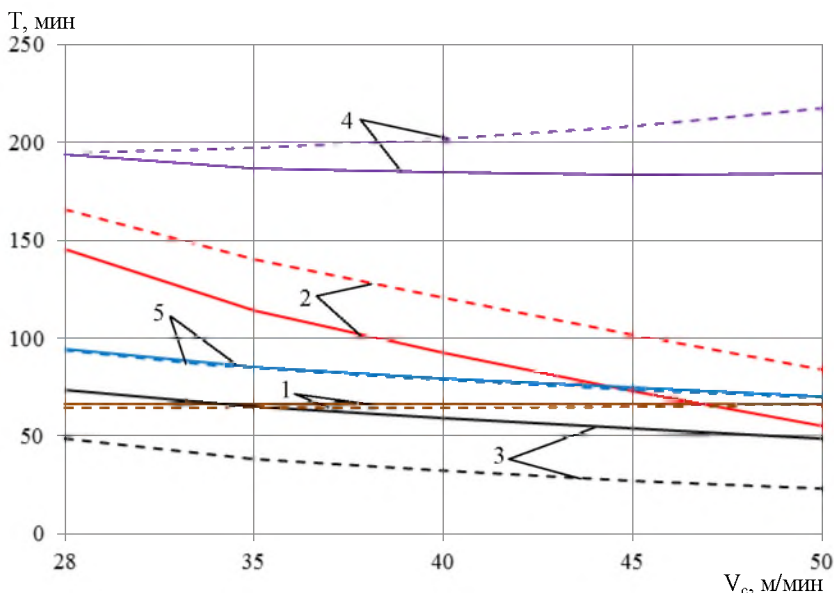


Рисунок 3 – Зависимости  $T = f(V_c)$  при фрезеровании стали 12Х18Н10Т:  
 —  $V_{пр} = 15,5$  м/мин; - - -  $V_{пр} = 28$  м/мин;  $V_c = 28$  м/мин;  $t = 0,4$  мм;  
 1 – сухая обработка, 2 – рапсовое масло (ТМС), 3 – И-20А (ТМС),  
 4 – касторовое масло (ТМС), 5 – МР-99 (ТМС)

Так, при  $V_{пр} = 15,5$  м/мин при увеличении глубины резания до  $t = 1,2$  мм наблюдается интенсивное уменьшение стойкости (2,7 раза). При дальнейшем увеличении глубины резания до  $t = 2,0$  мм интенсивно уменьшается стойкость инструмента до 1,4 раза. При  $V_{пр} = 28$  м/мин интенсивное снижение стойкости (6 раз) наблюдается при увеличении глубины резания до  $t = 1,2$  мм. Дальнейшее увеличение глубины резания до  $t = 2,0$  мм уменьшает стойкость зубьев фрез на 1,5 раза.



Сопоставляя результаты исследований влияния режимных параметров приработки и дальнейшей эксплуатации фрез после приработки на стойкость инструмента в присутствии касторового масла (рис. 1, 2, 3, 4) показывают, что с уменьшением подачи  $S_z$ , глубины резания стойкость инструмента резко увеличивается, что позволяет рекомендовать наиболее эффективное использование касторового масла при фрезеровании стали 12X18H10T в условиях чистовой обработки.

Влияние глубины резания на стойкость инструмента в присутствии рапсового масла значительно меньше, чем при использовании касторового масла. При  $V_{пр} = 15,5$  м/мин некоторое снижение наблюдается при увеличении глубины резания до  $t = 0,8$  мм. При  $V_{пр} = 28$  м/мин уменьшение стойкости инструмента при увеличении глубины до  $t = 1,2$  мм в 1,4 раза. Дальнейшее повышение глубины резания не влияет на изменение стойкости.

Таким образом, анализируя результаты зависимостей стойкости от режимных параметров процесса приработки инструмента и его работы после приработки фрезерование при использовании рапсового масла более эффективно применять в условиях получистового резания.

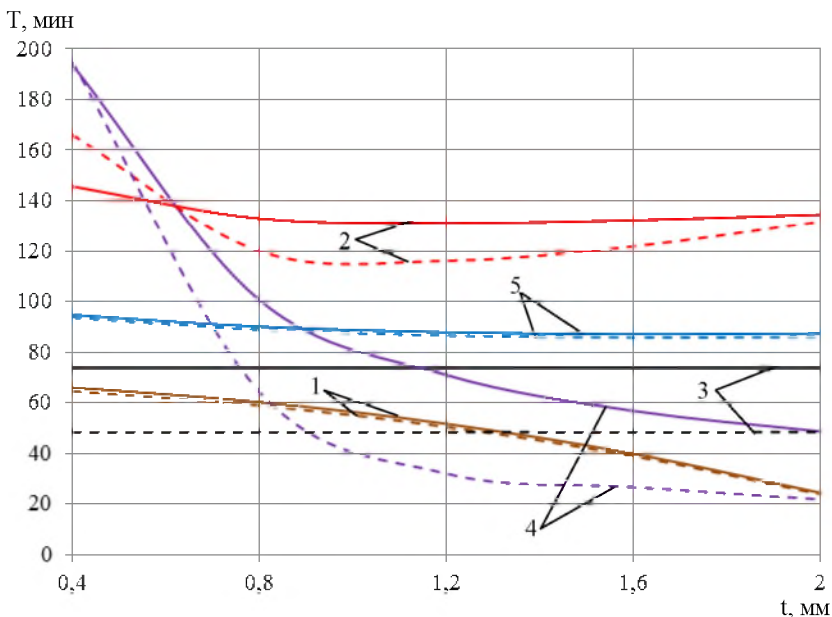


Рисунок 4 – Зависимости  $T = f(t)$  при фрезеровании стали 12X18H10T:  
 —  $V_{пр} = 15,5$  м/мин; - - -  $V_{пр} = 28$  м/мин;  $V_c = 28$  м/мин;  $S_z = 0,15$  мм/зуб;  
 1 – сухая обработка, 2 – рапсовое масло (ТМС), 3 – И-20А (ТМС),  
 4 – касторовое масло (ТМС), 5 – МР-99 (ТМС)

Изменение глубины резания от 0,4 мм до 2,0 мм при сухом резании не зависимо от значений скорости приработки, уменьшает стойкость зубьев фрез в 2,7 раза.

Проведенный анализ влияния режимов приработки и режимов фрезерования приработанного инструмента позволяет сделать следующие выводы.

**Выводы.** Проведенный анализ влияния на стойкость инструмента режимов приработки и режимов фрезерования приработанным инструментом в присутствии различных технологических сред показал, что использование растительных масел (касторового и рапсового) значительно повышает стойкость зубьев фрез в сравнении с сухой обработкой и с использованием таких СОТС как МР-99 и И-20А.

Показано, что для чистой обработки наиболее эффективно применить в качестве СОТС с использованием технологии минимальной смазки касторовое масло. При фрезеровании с глубинами резания более 0,5 ÷ 0,8 мм целесообразно применять рапсовое масло.

Установлено, что наибольшее влияние на стойкость инструмента в принятом диапазоне изменения режимов резания оказывают подача на зуб и глубина резания для растительных масел, используемых в качестве СОТС, а при сухой обработке и при использовании СОТС МР-99 и И-20А – подача на зуб.

**Список использованных источников:** 1. *Яцерицын П.И.* Теория резания: учебник / П.И. Яцерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – 2-е издание, исправлено и дополнено – Мн.: Новое знание, 2006. – 512 с. 2. *Мазур М.П.* Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залого, Ю.К. Новоселов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазур. – Львів: Новий Світ – 2000, 2010. – 422 с. 3. *Старков В.К.* Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве / В.К. Старков – М.: Машиностроение, 1989. – 297 с. 4. *Родин П.Р.* Монолитные твердосплавные концевые фрезы / Родин П.Р., Равская Н.С., Касьянов А.И. – Киев: Вища школа. Изд-во при Киев. ун-те, 1985. – 64 с. 5. *Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С.* Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 448 с. 6. *Розенберг Ю.А.* Резание материалов: учебник для технических вузов / Ю.А. Розенберг. – Курган: ОАО «Полиграфический комбинат», Зауралье, 2007. – 294 с. 7. *Якубов Ф.Я.* Структурно-энергетические аспекты упрочнения и повышения стойкости режущего инструмента / Ф.Я. Якубов, В.А. Ким. – Симферополь, 2005. – 300 с. 8. *Якубов Ч.Ф.* Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием. – Симферополь: ОАО «Симферопольская городская типография» (СГТ), 2008. – 156 с. 9. *Якубов Ч.Ф.* Моделирование стойкости фрезы из Р6М5 при измерении условий её предварительной приработки и дальнейшей эксплуатации при фрезеровании стали 12Х18Н10Т / Якубов Ч.Ф., Ваниев Э.Р. // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні: Збірник наукових праць «Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Вип. №746 – Львов: Національний університет «Львівська політехніка», 2012. – С. 207 – 210. 10. *Бесарабец Ю.И.* О возможности использования в качестве оценки трибологических свойств СОТС коэффициента трения пары инструментальный-обрабатываемый материалы / Бесарабец Ю.И., Ваниев Э.Р., Скринник П.В. // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – Вып. 82. – С. 10-17.

*Поступила в редколлегию 02.07.2013*