

Ю.И. Бесарабец, канд. техн. наук, Киев, Украина,  
Э.Р. Ваниев, Симферополь, Украина, П.В. Скринник, Киев, Украина

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ОЦЕНКИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОТС КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПАРЫ «ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ – ОБРАБАТЫВАЕМЫЙ МАТЕРИАЛЫ»**

*Показано, що коефіцієнти тертя поверхонь в присутності різних технологічних середовищ можуть використовуватися як оцінки трибологічних властивостей МОТС при різанні. В результаті моделювання процесу фрезерування в середовищах з рівними значеннями коефіцієнтів тертя технологічних середовищ встановлено, що стійкість інструменту при фрезеруванні сталі 12Х18Н10Т залежить від подачі, швидкості припрацювання і швидкості фрезерування після припрацювання.*

*Показано, что коэффициенты трения трущихся поверхностей в присутствии различных технологических сред могут использоваться в качестве оценки трибологических свойств СОТС при резании. В результате моделирования процесса фрезерования в средах с равными значениями коэффициентов трения технологических сред установлено, что стойкость инструмента при фрезеровании стали 12Х18Н10Т зависит от подачи, прирабочной скорости и скорости фрезерования после приработки.*

*It is shown that the coefficients of friction of the friction surfaces in presence different technological environments can be in use as an estimation of tribological behaviors of lubricant-cooling agent at cutting. As a result of mathematical simulation of milling process in environments with the equal values of coefficients of friction it is determined, that tool life at milling steel 12Cr18Ni10Ti became depends on a feed, run-in speed and milling speed after running-in.*

**Вступлення.** Процес різання представляє собою результат взаємодії робочих поверхностей інструмента з заготовкою, що відбуваються в опрацьованій технологічній середі [1, 2, 3]. Його механізм визначається станом багатьох входних параметрів і складною сукупністю фізико-хімічних явищ, що виникають при цьому.

Багатьма дослідженнями [4, 5, 6, 7] показано, що протікання явищ, що супроводжують процес різання, в багатьох випадках залежить від технологічної середі, в якій відбувається різання. Найчастіше в якості технологічної середі при різанні служать різні смазочно-охолоджувальні технологічні середі (СОТС). Процес різання характеризується виключно високими значеннями відносної деформації матеріалу заготовки і режущою інструмента, а також інтенсивним тертям робочих поверхностей інструмента до заготовки (по задній поверхності) і стружку (по передній поверхності) [3, 5, 8].

Відомо, що протікання контактних процесів при різанні в багатьох випадках залежить від виду використовуваної СОТС. Однак, дослідження по виявленню впливу на різання різних СОТС проводились для кожного виду СОТС окремо без урахування взаємодії.

действия с другими факторами, определяющими процесс резания. Это обусловлено тем, что отсутствует общий критерий оценки трибологических свойств СОТС, используемых при обработке резанием.

Вместе с тем, известны работы [9,10] по идентификации трибологических свойств СОТС при различных контактных давлениях в парах инструментальный-обрабатываемый материалы. Это, в свою очередь, ставит задачу исследования возможности использования результатов этих исследований, в качестве общего критерия оценки трибологических свойств различных СОТС для определенных трущихся поверхностей. Исследования показывают, что каждая пара инструментальный-обрабатываемый материалы в присутствии той или иной технологической среды характеризуется различными значениями коэффициента трения. Это позволяет предположить, что коэффициент трения может служить оценкой свойств СОТС для трущихся поверхностей из различных материалов.

В работе [3] рассмотрен механизм влияния СОТС на упрочнение контактных слоев и стойкость инструмента из быстрорежущих сталей для условий непрерывного резания. Отмечается, что при температурах резания в диапазоне  $200\div 400^{\circ}\text{C}$  факторы, способствующие росту удельных нормальных нагрузок обуславливают повышение упрочнения и износостойкости контактных слоев инструмента. При этом в этих исследованиях в качестве таких факторов выступают только свойства обрабатываемого материала и смазывающее действие СОТС. Поэтому также возникает задача установления влияния на стойкость инструмента указанных факторов во взаимосвязи с режимами приработки и резания, что и рассматривается в данной статье применительно к резанию стали аустенитного класса.

**Общая характеристика методики** решения поставленных задач включает: выбор СОТС с коэффициентом трения наиболее близким к значению коэффициента трения трущихся поверхностей заданной пары трения к обработке в сухую; построение модели процесса резания как функции стойкости инструмента ( $T$ ) от подачи ( $S$ ), скорости приработки ( $V_{пр}$ ), скорости резания ( $V_c$ ) после приработки инструмента, глубины резания ( $t$ ) и коэффициента трения ( $\mu$ ).

Исследования проводились при фрезеровании стали 12Х18Н10Т двузубыми фрезами диаметром 100мм. из стали Р6М5 с постоянной шириной фрезерования  $B=7\text{мм}$ .

По данным работы [9] значение коэффициента трения для пары Р6М5 – 12Х18Н10Т в сухую и в присутствии в качестве СОТС касторового масла, соответственно равны для сухой обработки  $\mu=0,25$  и  $\mu=0,26$  для обработки в присутствии касторового масла.

Выбор при исследованиях фрезерования как вида обработки обусловлен тем, что влияние технологических сред на основе растительных масел, наименее исследовано для условий прерывистого резания.

Исследования по решению задач, связанных с определением возможности использования коэффициента трения трущихся пар в качестве оценки трибологических сред и установления влияния на стойкость инструмента исследуемых переменных, проводились на основе моделирования процесса по экспериментальным данным с последующей постановкой контрольных опытов.

**Моделирование процесса** фрезерования как функции  $T=f(S_z, V, V_{пр}, t, \mu)$  проводилось с использованием метода группового учета аргументов на основе экспериментальных данных [11].

Моделирование рассматриваемого процесса включает следующие этапы:

- выбор переменных и границ их изменения;
- построение статического плана и его реализация;
- выбор пространства исходных данных;
- синтез модели и проверка ее адекватности.

В качестве исследуемых переменных были выбраны режимы резания, после приработки, режимы приработки и коэффициент трения трущихся пар в сухую и в присутствии касторового масла.

Пределы изменения режимов приработки выбраны на основе анализа рекомендуемых режимов для непрерывной обработки [3], а режимы резания после приработки на основе рекомендаций для фрезерования стали 12Х18Н10Т быстрорежущим инструментом. При этом пределы изменений подачи на зуб и глубины фрезерования приняты равными, как для случая приработки, так и при резании после нее.

При выборе границ изменения переменных для скорости фрезерования после приработки наибольшее значение приработочной скорости резания равно нижней границе изменения скорости резания после приработки.

Таким образом, в качестве переменных, которые варьировались на пяти уровнях, были выбраны:

- подача на зуб –  $S_z$ , мм/зуб ( $X_1$ );
- скорость резания после приработки –  $V_c$ , м/мин ( $X_2$ );
- скорость резания приработки –  $V_{пр}$ , м/мин ( $X_3$ );
- глубина резания -  $t$ , мм ( $X_4$ );
- коэффициент трения трущихся пар в определенной технологической среде -  $\mu$  ( $X_5$ ), варьруемый на двух уровнях.

Для построения математической модели с использованием МГУА был реализован статический план из 25 опытов. Уровни изменения переменных представлены в таблице 1.

Для составления программы обработки экспериментальных данных с использованием МГУА необходимо было выбрать пространство исходных данных, т.е. масштабное пространство ввода в информационную матрицу множества переменных. Как показал опыт использования МГУА для получения моделей процессов резания, это пространство надо задавать с учетом ви-

да функций. В резании металлов для описания зависимостей стойкости инструмента от режимов резания используются логарифмические функции. В связи с этим пространство исходных данных в информационной матрице было расширено до  $\bar{X}$ ,  $\ln \bar{X}$ .

Таблица 1 – Уровни изменения переменных

Переменные Уровни изменения	$S_z$ , мм/зуб ( $X_1$ )	$V_c$ , м/мин ( $X_2$ )	$V_{пр}$ , м/мин ( $X_3$ )	$t$ , мм ( $X_4$ )	$\mu$ ( $X_5$ )
Верхний	0,3	50	12,5	2	0,26
Нижний	0,1	28	50	0,4	0,25

В результате обработки экспериментальных данных получена модель, которая адекватно описывает процесс с точностью аппроксимации 9,1%:

$$\ln T = 4,076 - 0,038 S_z, V_c, \ln V_{пр}. \quad (1)$$

Анализ структуры модели показывает, что в заданном интервале изменения значений коэффициента трения  $\mu$ , этот коэффициент влияния на стойкость инструмента не оказывает.

Это объясняется тем, что, не смотря на то, что коэффициенты трения имеют разную химико-физическую природу, они на стойкость инструмента не оказывает влияния.

Таким образом, можно утверждать, что коэффициент трения может служить оценкой трибологических свойств различных СОТС для заданной пары трущихся поверхностей.

Также на стойкость инструмента не оказывает влияния и глубина резания в исследуемых пределах ее изменения от 0,4 до 2мм.

В рассматриваемом случае стойкость инструмента в исследуемом диапазоне изменения переменных в равной степени, как для сухой обработки, так и в присутствии касторового масла зависит от подачи, скорости приработки и скорости резания после приработки и определяется взаимодействием этих переменных.

Рассмотрим влияние факторов, определяющих приработку на стойкость инструмента при различных скоростях резания.

#### **Влияние факторов, определяющих режимы приработки и скорости резания после приработки на стойкость инструмента.**

Анализ влияния подачи на зуб  $S_z$ , мм/зуб, скорости приработки  $V_{пр}$ , м/мин на стойкость инструмента после приработки по модели (1) показывает, что наибольшее влияние на процесс приработки оказывает подача и несколько меньшее скорость приработки. При этом в исследуемом диапазоне их изменения наибольшая стойкость инструмента, независимо от последующей ско-

рости резания, достигается при минимальных значениях подачи на зуб и скорости приработки.

На рис. 1 и 2 приведены графические зависимости  $T=f(S_z)$  и  $T=f(V_{пр})$ , полученные по модели (1).

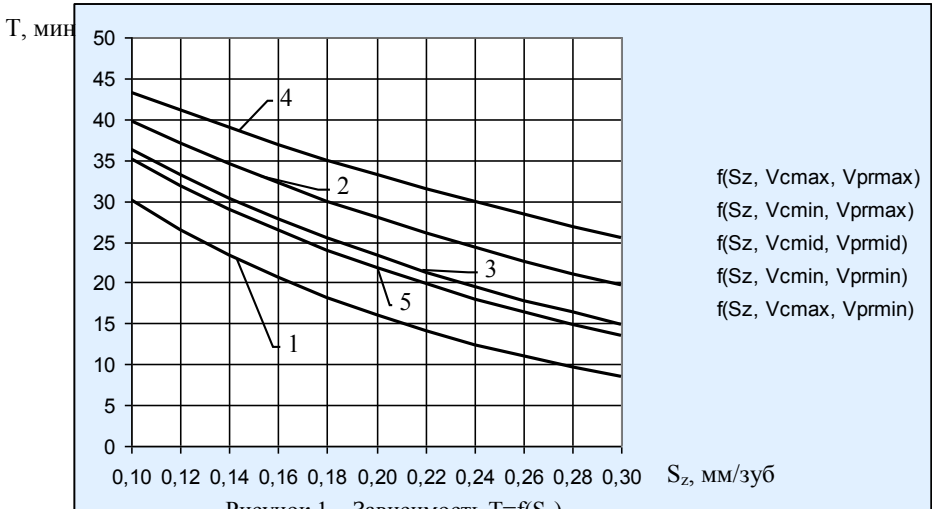


Рисунок 1 – Зависимость  $T=f(S_z)$ ,

- 1 –  $V_{пр}=28$  м/мин,  $V_c=50$  м/мин; 2 –  $V_{пр}=28$  м/мин,  $V_c=28$  м/мин;  
 3 –  $V_{пр}=20$  м/мин,  $V_c=39$  м/мин; 4 –  $V_{пр}=12$  м/мин,  $V_c=28$  м/мин;  
 5 –  $V_{пр}=12$  м/мин,  $V_c=50$  м/мин;

Анализ этих зависимостей показывает, что эффективность приработки (повышение стойкости инструмента) зависит от комбинации режимов приработки и режимов резания после его приработки.

Так как режимы приработки и режимы последующей работы инструмента влияют на стойкость во взаимосвязи, то в зависимости от целей (повышение стойкости инструмента, повышение производительности или других параметров) приработочные режимы могут изменяться.

рис.3 приведены графические зависимости стойкости инструмента  $T$  – от скорости резания  $V_c$  при различных подачи на зуб  $S_z$  и приработочной скорости  $V_{пр}$ . Их анализ показывает, что при  $V_c=28$  м/мин., подаче на зуб  $S_z=0,1$  мм/зуб и приработочной скорости  $V_{пр}=12$  м/мин. (кривая 1, точка *a*) стойкость составляет  $T=43$  мин. При той же скорости  $V_c=28$  м/мин. у неприработанного инструмента ( $V_{пр}=28$  м/мин.,  $S_z=0,3$  мм/зуб., кривая 5 точка *a*) стойкость равна  $T=19$  мин. То есть за счет приработки стойкость повысилась более чем в 2 раза. В то же время у приработанного инструмента при скорости резания  $V_c=50$  м/мин. (кривая 1, точка *в*) стойкость равна  $T=35$  мин., а у неприработан-

ного (кривая 4, точка *в*) –  $T=9$ мин, т.е. за счет приработки наблюдается в этом случае повышение стойкости почти в 4 раза.

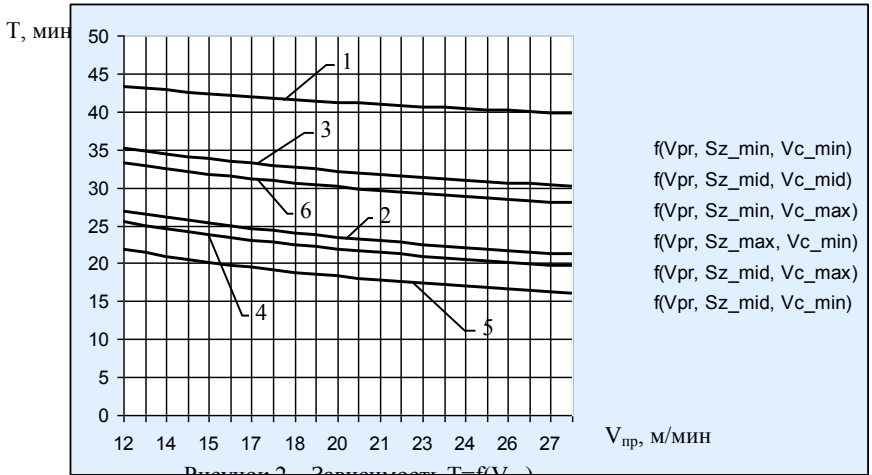


Рисунок 2 – Зависимость  $T=f(V_{пр})$ ,

- 1 –  $V_c=28$  м/мин,  $S_z=0,1$  мм/зуб; 2 –  $V_c=39$  м/мин,  $S_z=0,2$  мм/зуб;  
 3 –  $V_c=50$  м/мин,  $S_z=0,1$  мм/зуб; 4 –  $V_c=28$  м/мин,  $S_z=0,3$  мм/зуб;  
 5 –  $V_c=50$  м/мин,  $S_z=0,2$  мм/зуб; 6 –  $V_c=28$  м/мин,  $S_z=0,2$  мм/зуб;

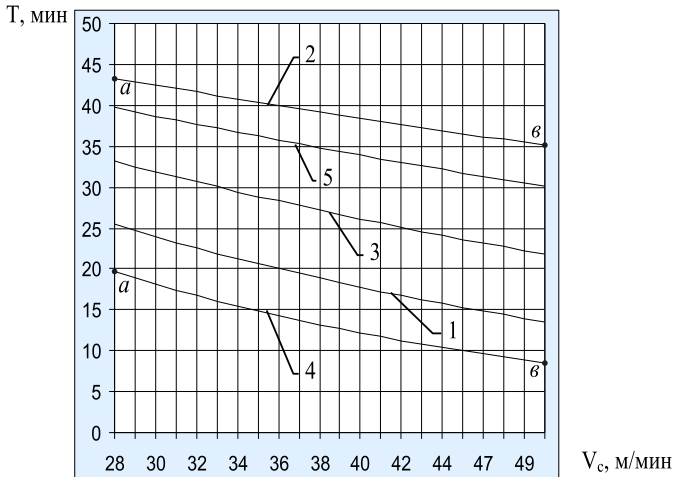


Рисунок 3 – Зависимость  $T=f(V_c)$ ,

- 1 –  $V_{пр}=12$  м/мин,  $S_z=0,3$  мм/зуб; 2 –  $V_{пр}=12$  м/мин,  $S_z=0,1$  мм/зуб;  
 3 –  $V_{пр}=12$  м/мин,  $S_z=0,2$  мм/зуб; 4 –  $V_{пр}=28$  м/мин,  $S_z=0,3$  мм/зуб;  
 5 –  $V_{пр}=28$  м/мин,  $S_z=0,1$  мм/зуб;

На Таким образом, исследования показывают, что эффективность приработки зависит от режимов последующей эксплуатации инструмента.

**Сравнительные стойкостные испытания** фрез при разных режимах, приработки и последующей их работы приведены на рис 4.

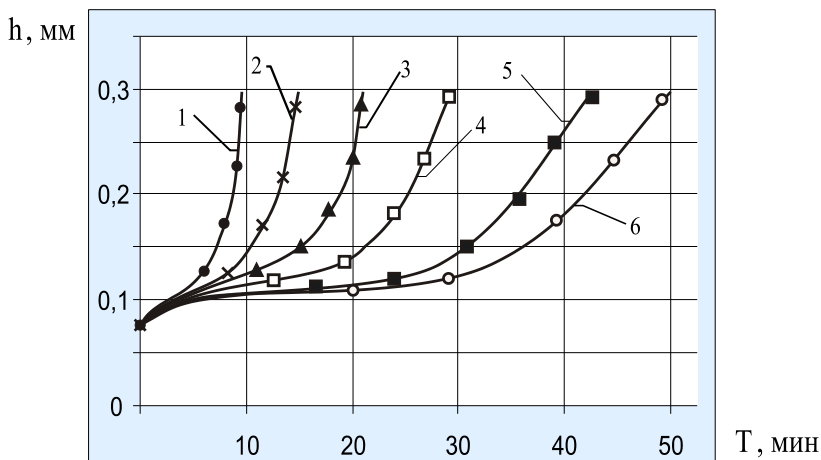


Рисунок 4 – Износ фрезы при фрезеровании стали 12X18H10T,

- 1 –  $V_c = 50$  м/мин,  $S_{zc} = S_{zpr} = 0,3$  мм/зуб,  $V_{пр} = 12$  м/мин ;
- × 2 –  $V_c = 50$  м/мин,  $S_{zc} = 0,3$  мм/зуб,  $S_{zpr} = 0,1$  м/зуб,  $V_{пр} = 12$  м/мин;
- ▲ 3 –  $V_c = 28$  м/мин,  $S_{zc} = 0,3$  мм/зуб,  $S_{zpr} = 0,1$  м/зуб,  $V_{пр} = 12$  м/мин;
- 4 –  $V_c = 50$  м/мин,  $S_{zc} = S_{zpr} = 0,15$  м/зуб,  $V_{пр} = 12$  м/мин;
- 5 –  $V_c = 50$  м/мин,  $S_{zc} = S_{zpr} = 0,3$  м/зуб,  $V_{пр} = 12$  м/мин;
- 6 –  $V_c = 28$  м/мин,  $S_{zc} = S_{zpr} = 0,15$  м/зуб,  $V_{пр} = 12$  м/мин;
- все как в ▲ только  $S_{zc} = S_{zpr} = 0,1$  м/зуб.

Сравнительные стойкостные испытания проводились при фрезеровании стали 12X18H10T приработанными фрезами с разными режимами приработки при глубине фрезерования в сухую  $t = 0,5$  мм и ширине фрезерования 7 мм. с разными скоростями и подачами резания. На рис.4 приведены результаты стойкостных испытаний фрез в виде графических зависимостей  $T = f(h)$  при различных режимах приработки фрез и их работы после приработки.

Анализ этих зависимостей, полученных по экспериментальным данным, подтверждает выводы, сделанные по модели о взаимовлиянии исследуемых переменных на стойкость инструмента.

Приведенные зависимости и результаты влияния переменных, полученные по модели, показывают, что скорость приработки при эксплуатации инструмента с низкими подачами во всем диапазоне скоростей резания повыша-

ет стойкость инструмента в 1,1-1,15 раза, что практически лежит в пределах ошибки испытаний и моделирования (рис. 1, кривые 1 и 3).

При работе с большими подачами  $S_{ZC}$ , как показали проведенные испытания, за счет приработки с режимами  $V_{пр}=12$  мм/мин. и подаче приработки  $S_{Zпр}=0,15$  мм/зуб. стойкость в диапазоне скоростей резания  $V_c=28\div 50$  мм/мин. повышается в 1,5÷2 раза. С уменьшением рабочей подачи  $S_{ZC}$  увеличивается эффект от приработки фрез в исследуемом диапазоне скоростей резания  $V_c$ .

**Выводы.** В работе показано, что коэффициент трения пары инструментальный-обрабатываемый материалы в присутствии той или иной технологической среды может служить оценкой трибологических свойств среды.

На основе моделирования с использованиями МГУА установлено и подтверждено экспериментально, что при фрезеровании в средах с равными значениями коэффициентов трения стойкость инструмента зависит от режимов приработки и режимов работы приработанного инструмента.

**Список использованных источников:** 1. Ящерицын П.И. Теория резания: учебник / П.И. Ящерицын, 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. Залога, Ю.К. Новоселов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазур. - Львів: Новий Світ -2000, 2010.-422 с. 3. Якубов Ч. Ф. Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием. - Симферополь: ОАО «Симферопольская городская типография» (СГТ), 2008. - 156 с. 4. Подураев В.И. Резание труднообрабатываемых материалов / В.И. Подураев. - М.: Высшая школа, 1974. - 587 с. 5. Клушин М.И. Технологические свойства СОЖ для обработки металлов резанием / Под ред. М.И. Клушина. - М.: Машиностроение, 1992. - 270 с. 6. Кабалдин Ю.Г. О некоторых особенностях влияния внешней среды при прерывистом резании // Тр. ГНИ, 1972. - Т. 28. - Вып. 2. - С. 6 - 7. 7. Тихонов В.М., Сухоруков З.М. Трение и износ при резании в вакууме / В кн.: Вопросы теории действия смазочно-охлаждающих технологических средств в процессах обработки металлов резанием. Т.3. - Горький, 1975.-С. 203-219. 8. Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К. Поверхностная прочность материалов при трении. - К.: Техника, 1976. - 292 с. 9. Ваниев Э.Р. Влияние различных СОТС на адгезионную составляющую коэффициента трения при высоких контактных давлениях. // Вісник СевНТУ. Серія «Машиноприладобудування та транспорт». - Севастополь, 2011.- Вып.118.-С. 37-40. 10. Залога В. А. Методология экспериментального определения деформационной и адгезионной составляющих среднего коэффициента трения при резании / В.А. Залога, Д. В. Криворучко, С.С. Некрасов // Науковий журнал «Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського». - Кременчук, 2010. - Випуск 6/2010 (65) частина 1.-С. 63 -70. 11. 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.

*Поступила в редколлегию 15.06.2012*