

УДК 629.1

Е. В. Сидорова, канд. техн. наук, доц.

Донецкий национальный технический университет, Донецкая Народная Республика

Тел.: +38 (062) 301 08 05; E-mail: sydorova@gmail.com

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕЙ ПЛАСТИНЫ ЗА СЧЁТ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА СОТС ПОСРЕДСТВОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

В работе представлена методика расчёта стойкости режущей пластины при точении с применением СОТС на базе термомеханического имитационного моделирования, которая позволила в 2,5 раза увеличить стойкость инструмента для случая продольного точения легированной стали 42CrMo4 твердосплавной режущей пластиной с TiAlN-покрытием за счёт рационального выбора смазывающего и охлаждающего действий СОТС. Были установлены зависимости термомеханического нагружения и стойкости режущей пластины от совокупности действий СОТС. На основании проведенных исследований была предложена практическая реализация выбора СОТС. Методика позволяет значительно снизить объём экспериментальных исследований, применима для широкой гаммы обрабатываемых материалов и режущих пластин.

Ключевые слова: точение, СОТС, термомеханическое нагружение, стойкость, режущая пластина, TiAlN-покрытие, сталь 42CrMo4.

E. V. Sydorova

INCREASE OF THE CUTTING INSERT TOOL LIFE BY A RATIONAL CHOICE OF THE CUTTING FLUID THROUGH A CUTTING SIMULATION

The paper presents a methodology for calculation of the cutting insert tool life for turning with cutting fluid through a thermo-mechanical simulation, which allowed increasing the tool life in 2.5 times for the case of longitudinal turning of alloyed steel 42CrMo4 by TiAlN-coated carbide cutting insert through a rational choice of coolant and lubricant cutting fluid action. Were established the dependencies of the thermomechanical loading and cutting insert tool life of a complex cutting fluid action. A practical implementation of cutting fluid selection on the basis of the realized research was proposed. The methodology can significantly reduce the amount of experimental research, is applicable for a wide range of work materials and cutting inserts.

Keywords: turning, cutting fluid, thermomechanical loading, tool life, cutting insert, TiAlN-coating, steel 42CrMo4.

1. Введение

Для увеличения стойкости режущей пластины при обработке резанием применяют различные методы дополнительного воздействия.

Одним из распространённых способов повышения стойкости инструмента является использование смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС). Однако, применение того или иного вида СОТС с различным сочетанием смазывающих и охлаждающих действий может быть эффективным, неэффективным или иметь отрицательный эффект в зависимости от условий процесса резания, как это показано в работе [1].

Решение данного вопроса экспериментальным методом требует значительных материальных и временных затрат.

Получившие в настоящее время широкое распространение методы термомеханического моделирования [2-4] позволяют решать многие задачи, связанные с оптимизацией процессов резания, значительно сокращая таким образом вышеупомянутые затраты, однако полностью не исключают части экспериментальных

исследований. Поэтому существует необходимость в комплексном подходе при решении таких задач.

Имитационное моделирование процесса резания и серия экспериментальных испытаний позволяют установить зависимость стойкости режущей пластины от термомеханического нагружения, на основе чего может быть разработана модель режущей пластины. Достаточно разработать одну такую модель, чтобы иметь возможность прогнозировать стойкость пластины для различных условий обработки (обрабатываемый материал, режим резания, СОТС и др.).

Целью данной работы является повышение стойкости режущей пластины за счёт рационального выбора СОТС посредством имитационного моделирования процесса резания. Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

- 1) разработать методику расчёта стойкости режущей пластины при точении с применением СОТС;
- 2) разработать термомеханическую имитационную модель процесса точения с применением СОТС;
- 3) определить термомеханическое нагружение и стойкость режущей пластины без применения СОТС;
- 4) установить зависимость термомеханического нагружения и стойкости режущей пластины от различного сочетания смазывающих и охлаждающих действий;
- 5) выбрать СОТС, обеспечивающее максимальную стойкость режущей пластины для заданных условий обработки.

2. Методика расчёта стойкости режущей пластины при точении с применением СОТС

Расчёт стойкости режущей пластины базируется на термомеханической имитационной модели и модели стойкости режущей пластины.

Термомеханическая имитационная модель реализуется в программной среде *ABAQUS Explicit*, использующей метод конечных элементов, для получения данных о термомеханическом состоянии обрабатываемого материала и режущего инструмента.

В модели учитываются:

- физико-механические свойства обрабатываемого материала и режущего инструмента;
- коэффициенты закона Джонсона-Кука, описывающего поведение материала при больших деформациях;
- геометрические параметры режущего инструмента;
- значения параметров трибологического и теплового взаимодействия контактирующих поверхностей;
- режим резания;
- смазывающее и охлаждающее действия СОТС.

При моделировании поведения материала при больших деформациях соблюдаются следующие основные принципы: принципы соблюдения законов физики, принцип эквивалентности, принцип детерминизма, принцип местного действия, принцип учёта свойств материала и принцип объективности. Закон наклёпа материала при больших деформациях описывается законом Джонсона-Кука. Закон контакта между поверхностью режущего инструмента и обрабатываемой поверхностью определяются совокупностью механических и тепловых явлений. Контактные механические явления описываются изотропной моделью трения Кулона. Контактные

тепловые явления представляются коэффициентом распределения теплового потока, образующегося на границе контакта обрабатываемого материала и режущего инструмента. Граничные условия задаются на основе Произвольного подхода Лагранжа-Эйлера. Подробная методика термомеханического моделирования представлена в работе [5], моделирования смазывающего и охлаждающего действий СОТС – [6].

Модель стойкости режущего инструмента представляет собой регрессионное уравнение зависимости стойкости T от термомеханических параметров нагружения (контактного нормального напряжения σ , контактного касательного напряжения τ и контактной температуры θ), полученного на основании экспериментальных исследований и имитационного моделирования

$$T(\sigma, \tau, \theta) = e^{k+x \cdot \ln(\sigma)+y \cdot \ln(\tau)+z \cdot \ln(\theta)}, \quad (1)$$

где k, x, y, z – коэффициенты уравнения регрессии.

Стойкость оценивается согласно ISO 3685 «Испытания на стойкость токарных резцов» [7] по критическому значению износа по задней поверхности $VB_B = 0,3$ мм, что непосредственно влияет на размерную точность обрабатываемой поверхности.

Данные исследования были выполнены для условий продольного точения режущей пластиной ATI Stellram с 4E-геометрией CNMG542A–4E SP0819 CNMI60608E 4E. Данная режущая пластина состоит из подложки мелкозернистого наноструктурированного карбида SP0819 и сверхтвёрдого PVD-нанопокрyтия TiAlN, которое значительно повышает теплостойкость и сопротивление износу при точении. Максимальная рабочая температура 1000°C. Державка Sandvik Coromant DCLNR3232P-16 обеспечивает наклон режущей пластины: передний угол $\gamma = 9^\circ$; задний угол $\alpha = 6^\circ$; главный угол в плане $\varphi = 50^\circ$, вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 50^\circ$. Режущая кромка пластины закруглённая. Толщина PVD-покрyтия – 5 мкм.

При исследованиях обработке подвергалась легированная сталь 42CrMo4 (твёрдость 38 HRC), характеристики и закон поведения при больших деформациях которой представлен в работе [8, 9], в условиях высокопроизводительного режима резания: скорость резания $v = 200$ м/мин, подача – $s = 0,3$ мм /об, глубина резания $t = 3$ мм.

Регрессионное уравнение зависимости стойкости T от термомеханических параметров нагружения (контактного нормального напряжения σ , контактного касательного напряжения τ , контактной температуры θ) для данной режущей пластины [5]

$$T(\sigma, \tau, \theta) = e^{25,06+0,01 \cdot \ln(\sigma)-0,79 \cdot \ln(\tau)-3 \cdot \ln(\theta)} \quad (2)$$

В работе действие СОТС рассматривается как совокупность охлаждающего действия, представленного коэффициентом теплоотдачи α , и смазывающего действия, представленного средним коэффициентом трения μ . Под смазывающим и охлаждающим действиями понимается конечный результат взаимодействия СОТС с зоной резания, обеспечивающий то, или иное действие.

Для определения влияния совокупности смазывающего и охлаждающего действий СОТС на термомеханическое нагружение режущей пластины в моделях

использовали уровни и интервалы варьирования факторов (коэффициента теплоотдачи α и среднего коэффициента трения μ), представленные в таблице 1. Интервалы варьирования значений коэффициентов были рассчитаны для наиболее широко применяемых СОТС при подаче низконапорной струёй под давлением 0,1..0,4 МПа.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

факторы	уровни			интервал варьирования
	нижний -1	средний 0	верхний +1	
коэффициент теплоотдачи α , кВт/(м ² ·К)	20	40	60	20
средний коэффициент трения μ	0,12	0,22	0,32	0,1

В качестве примера практической реализации того или иного сочетания смазывающих и охлаждающих действий могут быть рассмотрены следующие СОТС.

Средство «Унизор-М» (5%-ный синтетический раствор «Унизор-М» на базе водорастворимых олигомеров, ПАВ, функциональных присадок с включением ингибиторов коррозии и биоцидов) вида *MAG* сочетает в себе, по отношению к другим рассматриваемым СОТС, высокие охлаждающие и низкие смазывающие свойства.

Средство «Ферробетол-М» (5%-ная эмульсия «Ферробетол-М» на базе растительных и минеральных масел, ПАВ и антифрикционных присадок) вида *MAV* является эмульсией по типу «масло в воде» с антифрикционными присадками и обладает высокими смазывающими свойствами, но низкими охлаждающими.

Средство «ЭкоЭМ-1» (5%-ная полусинтетическая микроэмульсия «ЭкоЭМ-1» на базе растительных и минеральных масел, ПАВ и антифрикционных присадок) вида *MAF* является полусинтетической микроэмульсией по типу «масло в воде» с антифрикционными присадками и обладает высокими смазочными свойствами и средними охлаждающими.

Средство «*STARCUT E9*» (5%-ная эмульсия «*STARCUT E9*» на базе минеральных масел и присадок высокого давления) вида *MAA* является эмульсией и обладает средними смазывающими и низкими охлаждающими свойствами.

Средство «*SAFECUT M120*» (5%-ная полусинтетическая микроэмульсия «*SAFECUT M120*» на базе минеральных масел, функциональных присадок с включением ингибиторов коррозии и биоцидов) вида *MAE* является полусинтетической микроэмульсией и включает в себя средние охлаждающие и смазывающие свойства.

3. Определение смазывающего и охлаждающего действия СОТС, обеспечивающего максимальную стойкость режущей пластины при точении

Применение предложенной имитационной модели позволило установить, что без применения СОТС параметры термомеханического нагружения режущей пластины для заданных условий обработки стали *42CrMo4* имеют следующие значения: контактное нормальное напряжение $\sigma = 2345$ МПа, контактное касательное напряжение $\tau = 85$ МПа, контактная температура $\theta = 656$ °С. При этом стойкость режущей пластины составила $T = 9$ мин.

Представленная методика также позволила оценить влияние действий СОТС на термомеханическое нагружение режущей пластины (рис. 1).

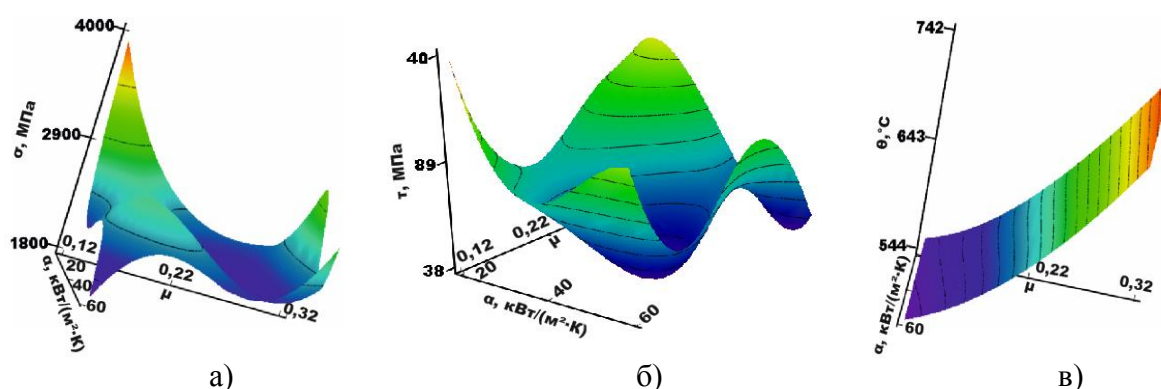


Рисунок 1. Влияние смазывающего и охлаждающего действия СОТС на термомеханическое нагружение при точении стали 42CrMo4 ($v = 200$ м/мин, $s = 0,3$ мм/об, $t = 3$ мм):

а) контактное нормальное напряжение σ ; б) контактное касательное напряжение τ ; в) контактная температура θ

Полученные результаты численного моделирования нагружения режущей пластины при обработке резанием, прежде всего, объясняются чувствительностью обрабатываемого материала к эффекту наклепа, температуре и скорости деформации, а также характером трибологического взаимодействия обрабатываемого материала с режущей пластиной.

Стойкость режущей пластины в зависимости от сочетания смазывающего и охлаждающего действия СОТС при точении стали 42CrMo4 представлена на рисунке 2.

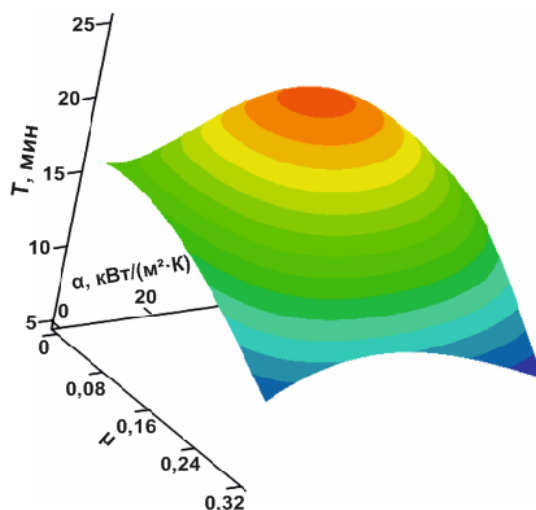


Рисунок 2. Стойкость режущей пластины в зависимости от сочетания смазывающего и охлаждающего действия СОТС при точении стали 42CrMo4 ($v = 200$ м/мин, $s = 0,3$ мм/об, $t = 3$ мм)

Представленный интерполяционный график двумерной зависимости показывает, что значения стойкости режущей пластины варьируются в промежутке $T = 9–23$ минут, а максимальная стойкость режущей пластины $T = 23$ мин достигается при средних значениях смазывающего и охлаждающего действия СОТС, что в 2,5 раза

выше, чем без применения СОТС или в случае нерационального применения СОТС. Практическая реализация данных действий среди рассматриваемых видов СОТС может быть выполнена за счёт применения средства «SAFECUT M120».

4. Заключение

Представленная методика расчёта стойкости режущей пластины при точении с применением СОТС на базе разработанной термомеханической имитационной модели позволила в 2,5 раза увеличить стойкость инструмента для случая продольного точения легированной стали 42CrMo4 твердосплавной режущей пластиной с TiAlN-покрытием за счёт применения средства «SAFECUT M120». Методика позволяет значительно снизить объём экспериментальных исследований, применима для широкой гаммы обрабатываемых материалов и режущих пластин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидорова, Е. В. Обоснование выбора СОТС для обеспечения минимального износа режущего инструмента / Е. В. Сидорова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. — Донецьк: ДонНТУ, 2012. — Вип. 9 (205): Машинобудування і машинознавство. — С. 64-71.
2. Pantalé, O. Modélisation et simulation tridimensionnelles de la coupe des métaux: thèse présentée pour obtenir le grade de docteur: mécanique / Pantalé Olivier; Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes. — Soutenue 10.07.96. — Tarbes, 1996. — 177 p.
3. Kalay, F. Simulation numérique de l'usinage Application à l'aluminium AU4G (A2024-T351) [Электронный ресурс] / F. Kalay // Techniques de l'ingénieur: les bases documentaires techniques et scientifiques. — Режим доступа: <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/travail-des-materiaux-assemblage-ti153/simulation-numerique-de-l-usinage-bm7002> - (20.12.2015).
4. Koné, F. Étude expérimentale, modélisation et simulation numérique de l'usinage à sec des aciers inoxydables : étude de l'effet des revêtements mono et multi couches / Koné Fousseny; Université de Lorraine. — Soutenue 05.10.12. — Saint-Dié-des-Vosges, 2012. — 166 p.
5. Sydorova, H. Pratique de la modélisation des processus de coupe avec assistance / H. Sydorova // HAL: l'archive ouverte du Centre pour la communication scientifique directe. - 2014.
6. Михайлов, А. Н. Моделирование воздействия СОТС на процесс обработки заготовок резанием / А. Н. Михайлов, Е. В. Сидорова // Научноёмкие технологии в машиностроении. — М.: Машиностроение, 2012. — №1. — С. 11–13.
7. ISO 3685. Essais de durée de vie des outils de tournage à partie active unique. Décembre 1993. - AFNOR, 1993.- 55 p.
8. Pantalé, O. Plateforme de prototypage virtuel pour la simulation numérique en grandes transformations thermomécaniques rapides: habilitation à diriger des recherches / Pantalé Olivier; Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes. — Soutenue 19.07.05. — Toulouse, 2005. — 229 p.
9. Germain, G. Contribution à l'optimisation du procédé d'usinage assisté laser: thèse présentée pour obtenir le grade de docteur: mécanique, matériaux et procédés / Germain Guénaël; ENSAM d'Angers. — Soutenue 04.12.06. — Angers, 2006. — 175 p.

Поступила в редколлегию 28.02.2017 г.