УДК 621.793.02

Е.В. Сидорова, канд. техн. наук, асист**.**
Донецкий национальный технический университет, Украина
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: sydorova@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В *PVD*-ПОКРЫТИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛИ *42CrMo4*

Представленное исследование позволило определить скорость резания, обеспечивающую наиболее стабильный характер распределения напряжений в PVD-покрытии на различных участках контакта режущего инструмента с обрабатываемым материалом при точении стали 42CrMo4, из рекомендуемой производителем режущих пластин ATI Stellram CNMG542A 4E SPO819 CNM160608E гаммы скоростей резания. Для решения поставленной задачи применялся функционально-ориентированный подход, а также двухуровневая модель мезоуровня (модель термомеханического состояния материала и режущего инструмента с PVD-покрытием при точении) и микроуровня (модель напряжённого состояния системы «подложка-покрытие»).

Ключевые слова: *точение, PVD-покрытие, напряжение, скорость резания, сталь 42CrMo4*

1. Введение

В настоящее время использование *PVD*-покрытия на режущем твердосплавном инструменте при точении позволяет значительно повысить его стойкость. Однако, неравномерный характер распределения напряжений в зоне резания обуславливает появление трещин в покрытии и его дальнейшее разрушение. Поэтому выбор режимов резания, позволяющий стабилизировать характер распределения данных напряжений на различных участках контакта инструмента с обрабатываемым материалом, является актуальней задачей.

Наиболее значительное влияние на термомеханическое нагружение режущего инструмента, в сравнении с глубиной резания и подачей, оказывает скорость резания, поэтому рассматривалось влияние только этого параметра.

Для получения данных о процессах при точении необходимы теоретические модели, так как малая и закрытая зона контакта режущего инструмента и обрабатываемого материала вызывают сложности определения параметров экспериментальным методом, который, помимо всего, весьма дорогостоящий.

Проблема термомеханического моделирования процесса резания решалась посредством компьютерной имитации в работах *Pantalé O.* [1], Криворучко Д.В. [2], *Özel T.* [3], *Xie L.* [4] и ряда других авторов.

Однако, для решения поставленной задачи необходимо разработать двухуровневую модель мезоуровня (модель термомеханического состояния материала и режущего инструмента с *PVD*-покрытием при точении с применением СОТС) и микроуровня (модель напряжённого состояния системы «подложка-покрытие») при точении.

Таким образом, целью данной работы является определение скорости резания, обеспечивающей наиболее стабильный характер распределения напряжений в *PVD* - покрытии режущего инструмента при точении стали *42CrMo4,* из рекомендуемой производителем режущих пластин *ATI Stellram CNMG542A 4E SPO819 CNM160608E* гаммы скоростей резания.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

1) разработать двухуровневую модель термомеханического состояния материала и режущего инструмента при точении;

2) идентифицировать макро-, мезо- и микрозоны *PVD*-покрытия режущего инструмента;

3) проанализировать термомеханическое нагружение мезозон режущей пластины;

4) определить и проанализировать распределение напряжений в *PVD*-покрытии мезозон режущего инструмента рекомендуемой производителем гаммы скоростей резания;

5) определить скорость резания, обеспечивающую наиболее стабильный характер распределения напряжений в *PVD*-покрытии.

2. Основное содержание и результаты работы

При продольном точении стали *42CrMo4* использовались проходные резцы, оснащённые режущими пластинами *ATI Stellram* с *4E*-геометрией *CNMG542A 4E SPO819 CNM160608E 4E.* Данная режущая пластина состоит из подложки мелкозернистого наноструктурированного карбида *SP0819* и сверхтвёрдого *PVD*-нанопокрытия *TiAlN*. Максимальная рабочая температура 1000°С. Державка *Sandvik Coromant DCLNR3232P-16* обеспечивает наклон режущего инструмента: передний угол $\gamma = 9°$; задний угол $\alpha = 6°$; главный угол в плане $\varphi = 50°$, вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 50°$. Режущая кромка пластины закруглённая.

Разработанная двухуровневая модель мезоуровня (модель термомеханического состояния материала и режущего инструмента с *PVD*-покрытием при точении) и микроуровня (модель напряженного состояния системы «подложка-покрытие) [5] учитывает геометрические параметры, режимы резания, термомеханические характеристики обрабатываемого материала, подложки и *PVD*-покрытия, законы поведения обрабатываемого материала при больших деформациях, тепловые и механические законы контактного взаимодействия, сцепление подложки и *PVD*-покрытия и позволяет получать информацию о термомеханических параметрах нагружения макро-, мезо- и микрозон режущего инструмента и напряжениях в *PVD*-покрытии. Термомеханические нагружения (контактное нормальное напряжение σ, контактное касательное напряжение τ, контактная температура θ) мезозон режущего инструмента, полученные из термомеханической модели процесса точения, поступают в разработанную модель микроуровня, после чего получают данные о напряжениях в системе «подложка-покрытие», а также о степени её разрушения.

Общая методология исследований базируется на функционально-ориентированном подходе, заключающемся в определении требуемой скорости резания в зависимости от нагружения функциональных зон режущего инструмента.

В процессе определения термомеханического нагружения макро-, мезо- и микрозон путём имитации термомеханического состояния материала и режущего инструмента были определены размеры макро-, мезо- и микрозон режущего инструмента в следующей последовательности (рис. 1):

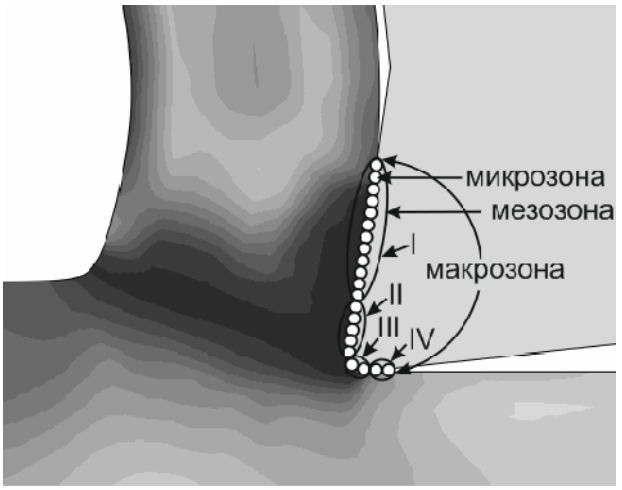

Рис. 1. Макро-, мезо- и микрозоны режущего инструмента

1) идентификация макрозоны режущего инструмента (зона контакта режущего инструмента с обрабатываемым материалом);

2) разделение макрозоны режущего инструмента на микрозоны с учётом точности расчёта, времени и мощности ЭВМ (для рассматриваемого случая выберем количество микрозон равное 40);

3) определение границы между мезозонами *II* контакта инструмента с зоной больших деформаций и *III* контакта инструмента с зоной подминания материала округленным участком режущей кромки;

4) объединение микрозон с контактным нормальным напряжением, не превышающим 2% от максимального значения, в мезозону *I* контакта инструмента со стружкой;

5) объединение микрозон от границы мезозоны *I* контакта инструмента со стружкой до границы мезозоны *III* контакта инструмента с зоной подминания материала округленным участком режущей кромки в мезозону *II* контакта инструмента с зоной больших деформаций;

6) определение границы между мезозоной *III* контакта инструмента с зоной подминания материала округленным участком режущей кромки и мезозоной *IV* контакта инструмента с обработанным материалом, где разница между граничными значениями контактного нормального или касательного напряжения по отношению к максимальному должна превышать 40%;

7) объединение микрозон от границы мезозоны *II* контакта инструмента с зоной больших деформаций до границы мезозоны *III* контакта инструмента с зоной подминания материала округленным участком режущей кромки и от границы мезозоны *III* до границы мезозоны *IV* контакта инструмента с обработанным материалом соответственно в мезозоны *III* и *IV*.

Нагружение на макроуровне $C_{макро}$, включает в себя совокупность нагружений на мезоуровне $C_{мезо}$, что, в свою очередь, включает нагружения на микроуровне $C_{микро}$

$$C_{макро} = \bigcup_{i=1}^{4} C_{мезо_i}\left(\bigcup_{i=1}^{k} C_{микро_i} \right).$$

Таким образом, термомеханическое нагружение режущего инструмента на макроуровне $C_{макро}$:

$$C_{макро} = \{C_1, C_2, \ldots, C_i, \ldots, C_{40}\};$$
$$C_{макро} = \{(\sigma_1, \tau_1, \theta_1); (\sigma_2, \tau_2, \theta_2); \ldots,(\sigma_i, \tau_i, \theta_i),\ldots, (\sigma_{40}, \tau_{40}, \theta_{40})\};$$
$$C_{макро} = \{M[C_{1\text{-}a}], M[C_{a\text{-}b}], M[C_{b\text{-}c}], M[C_{d\text{-}40}]\};$$
$$C_{макро} = \{M[\sigma_{1\text{-}a}, \tau_{1\text{-}a}, \theta_{1\text{-}a}], M[\sigma_{a\text{-}b}, \tau_{a\text{-}b}, \theta_{a\text{-}b}], M[\sigma_{b\text{-}c}, \tau_{b\text{-}c}, \theta_{b\text{-}c}], M[\sigma_{d\text{-}40}, \tau_{d\text{-}40}, \theta_{d\text{-}40}]\},$$

где $M[C_{i-j}]$ – математическое ожидание значений параметров термомеханического нагружения (контактных нормального напряжения, касательного напряжения, температуры) от *i*-той до *j*-той микрозоны, где *i* и *j* номера микрозон-границ мезозон *a*, *b*, *c*, *d*.

Имитация процесса точения стали *42CrMo4* посредством двухуровневой модели позволила получить значения термомеханического нагружения режущего инструмента. Характер влияния скорости резания на термомеханическое нагружение режущего инструмента на мезоуровне представлен на рисунке 2.

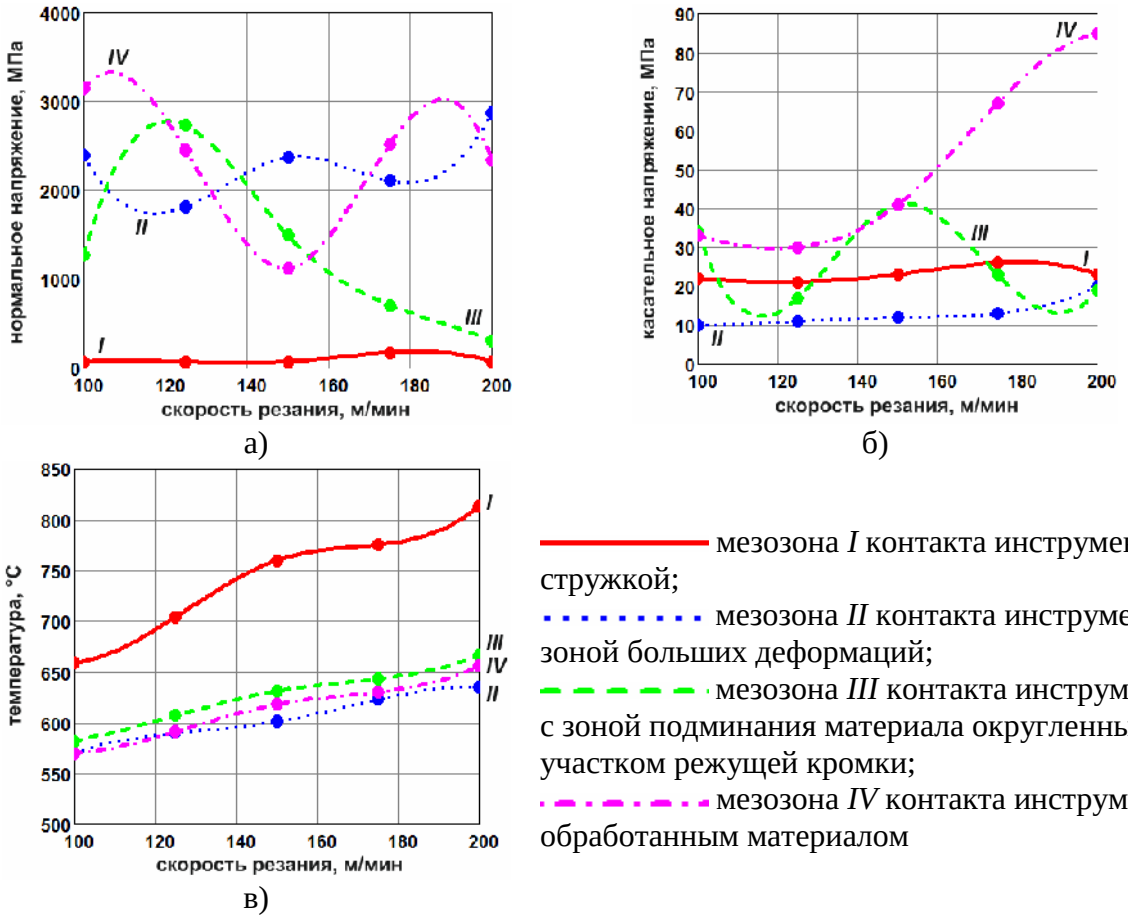

Рис. 2. Влияние скорости резания на контактные нормальное напряжение (а), касательное напряжение (б), температуру (в) на мезооуровне при точении стали *42CrMo4*

Относительно стабильный характер при изменении скорости резания имеют нормальные и касательные напряжения в мезозоне *I* контакта инструмента со стружкой и мезозоне *II* контакта инструмента с зоной больших деформаций, что объяснимо устойчивостью стружкообразования рассматриваемого материала. При малых скоростях резания (v = 100-125 м/мин) преобладают деформационные упрочнения, что объясняет высокие значения нормальных напряжений в мезозоне *III* контакта инструмента с зоной подминания материала округленным участком режущей кромки и мезозоне *IV* контакта инструмента с обработанным материалом, при этом касательные напряжения принимают низкие значения. При увеличении скорости резания (v = 125-

175 м/мин) начинает наблюдаться разупрочнение материала, что сопровождается снижением нормальных и увеличением касательных напряжений. После перехода зоны A_{c1}-A_{c3} (v = 125-150 м/мин) структура материала меняется, что влечёт за собой изменение характера напряжений. Материал разупрочняется в мезозоне *III* контакта инструмента с зоной подминания материала округленным участком режущей кромки (v = 125-200 м/мин): нормальные напряжения и касательные напряжения снижаются. С увеличением скорости резания температура возрастает. Так как материал имеет относительно высокую теплопроводность – основной тепловой поток сосредоточен в мезозоне *I* контакта инструмента со стружкой, где наблюдаются самые высокие температуры. В остальных мезозонах распределение температур близкое к равномерному.

Затем были получены значения максимальных напряжений в мезозонах *PVD*-покрытия в зависимости от скорости резания (рис. 3). Подача s = 0,3 мм/об и глубина резания t = 3 мм оставалась постоянной.

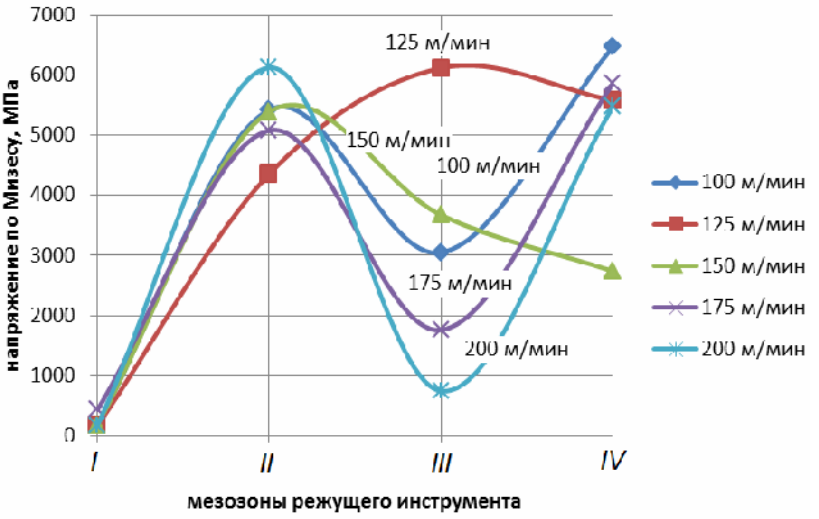

Рис. 3. Значения максимальных напряжений по Мизесу в мезозонах *PVD*-покрытия в зависимости от скорости резания при точении стали *42CrMo4* (s = 0,3 мм/об, t = 3 мм)

Как видно из рисунка 3, распределение напряжений для большинства скоростей резания имеет циклический характер: мезозоны с высокими напряжениями (мезозона *I* контакта инструмента со стружкой и мезозона *III* контакта инструмента с зоной подминания материала округленным участком режущей кромки) чередуются с мезозонами с низкими напряжениями (мезозона *II* контакта инструмента с зоной больших деформаций и мезозона *IV* контакта инструмента с обработанным материалом). Такое неравномерное распределение не является благоприятным для *PVD*-покрытия и создаёт условия для трещинообразования. Наиболее благоприятное распределение соответствует скорости резания 150 м/мин, при которой достигается точка разупрочнения материала A_{c3}. Обратная ситуации возникает при скорости резания 125 м/мин – упрочнение материала провоцирует увеличение напряжений в мезозоне *III* контакта инструмента с зоной подминания материала округленным участком режущей кромки.

3. Заключение

С целью снижения вероятности трещинообразования и обеспечения стабильного характера распределения напряжений в *PVD*-покрытии на различных участках контакта инструмента с обрабатываемым материалом при точении стали 42CrMo4 режущей пластиной *ATI Stellram CNMG542A 4E SPO819 CNM160608E 4E* рекомендуется применять скорость резания 150 м/мин (подача s = 0,3 мм/об, глубина резания t = 3 мм).

Приведённая методика может быть использована при исследовании процессов точения углеродистых, легированных, высоколегированных, закалённых, нержавеющих сталей, жаропрочных сплавов и других материалов, а также режущих инструментов с различной геометрией.

Список литературы:

1. 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.

2. Криворучко, Д.В. Моделирование процессов обработки материалов резанием // Оборудование и инструмент для профессионалов / Д. В. Криворучко, М.Г. Сторчак, В.А. Залога // Оборудование и инструмент для профессионалов. -2009. -№4 (115). – С. 46-48.

3. Ozel, T. Investigations on the effects of multi-layered coated inserts in machining Ti–6Al–4V alloy with experiments and finite element simulations / T. Ozel, M. Sima, A.K. Srivastava, B. Kaftanoglu // CIRP Annals - Manufacturing Technology. – 2010. - № 59. – P. 77–82.

4. Xie, L. Estimation of two-dimension tool wearbased on finite element method: Zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften / Xie Lijing; Universität Karlsruhe. – Tag der mündlichen Prüfung: 05.02.2004. – Karlsruhe, 2004. – 143 p.

5. Сидорова, Е.В. Технологическое обеспечение повышения стойкости инструмента с покрытием на базе функционально-ориентированного подхода / Е.В. Сидорова // Вісник СевНТУ. — Севастополь: СевНТУ, 2012. — Вип. 128: Машиноприладобудування та транспорт. - С. 214-219.

E.V. Sydorova

STUDY OF STRESS DISTRIBUTION IN THE PVD-COATED CUTTING TOOL IN TURNING STEEL 42CrMo4

This study has allowed to define the cutting speed, providing the most stable character of the distribution of stresses in PVD-coated in different areas of contact with the cutting tool material being processed in turning steel 42CrMo4, recommended by the manufacturer of the inserts ATI Stellram CNMG542A-4E SP0819 CNMI60608E-4E range of cutting speeds. To solve this problem used the function-oriented approach, as well as meso level model (model thermo-mechanical state of the material and cutting tools with PVD-coated in turning) and the micro level (the model the stress state of the system "substrate-coating").

Keywords: *turning, PVD-coated, voltage, speed cutting steel 42CrMo4.*

О.В. Сидорова

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ НАПРУГ У PVD-ПОКРИТТЯ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ТОЧІННІ СТАЛИ 42CrMo4

Представлене дослідження дозволило визначити швидкість різання, що забезпечує найбільш стабільний характер розподілу напружень в PVD-покритті на різних ділянках контакту ріжучого інструменту з оброблюваним матеріалом при точінні сталі 42CrMo4, з рекомендованої виробником ріжучих пластин ATI Stellram CNMG542A-4E SP0819 CNMI60608E-4E гами швидкостей різання. Для вирішення поставленого завдання застосовувався функціонально-орієнтований підхід, а також дворівнева модель мезоуровня (модель термомеханічного стану матеріалу і ріжучого інструменту з PVD-покриттям при точінні) і мікрорівня (модель напруженого стану системи «підкладка-покриття»).

Ключові слова: *точіння, PVD-покриття, напруга, швидкість різання, сталь 42CrMo4.*

Надійшла до редколегії 17.06.2013 р.