

УДК 621.793.02

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

Донецький національний технічний університет, Україна

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: sidorova@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛИ 42CrMo4

С целью повышения стойкости инструмента с PVD-покрытием установленное влияние лазерного нагрева позволило определить сочетание скорости резания и температуры нагрева, обеспечивающие наиболее равномерный характер распределения контактных напряжений при точении стали 42CrMo4. Для решения поставленной задачи рассматривались напряжения в различных зонах контакта режущего инструмента с обрабатываемым материалом: в зоне контакта инструмента со стружкой, с зоной больших деформаций, с зоной подминания материала округленным участком режущей кромки, с обработанным материалом. Для получения данных о контактных напряжениях была разработана модель термомеханического состояния материала и режущего инструмента с PVD-покрытием при точении с лазерным нагревом.

Ключевые слова: точение, PVD-покрытие, контактное напряжение, скорость резания, лазер, сталь 42CrMo4.

1. Введение

Для увеличения стойкости режущего инструмента при точении применяют различные методы дополнительного воздействия. В виду стремления современного производства уменьшить негативное влияние на окружающую среду, метод лазерного нагрева привлекает к себе внимание. Данный метод представляет собой нагрев лазерным пучком обрабатываемого материала рядом с зоной резания, что позволяет изменить фазовое состояние материала и, при определенных условиях, обеспечить снижение контактных напряжений в зоне резания. Такая технология является более экологически чистой и менее затратной в обслуживании, по сравнению, например, с применением смазочно-охлаждающих технологических средств. Однако требует значительных начальных инвестиций, связанных с высокой стоимостью оборудования.

Исследования влияния лазерного нагрева на процесс резания представлены в работе *Germain G.* [1]. Окончательно неизученным остается влияние лазерного нагрева на распределение контактных напряжений режущего инструмента и

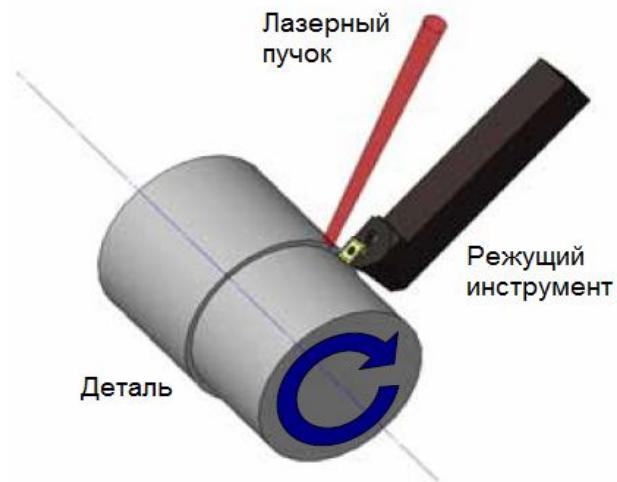


Рис. 1. Схема процесса точения с лазерным нагревом [1]

обрабатываемого материала. Равномерное распределение напряжений позволяет повысить стойкость инструмента с покрытием, за счет снижения риска появления и развития трещин, свойственного при неравномерной нагрузке. Поэтому выбор условий резания, позволяющий обеспечить наиболее равномерный характер распределения контактных напряжений, является актуальной задачей.

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 *Pantale O.* [2], Криворучко Д.В. [3] и ряда других авторов.

Таким образом, целью данной работы является определение совокупности скорости резания и температуры лазерного нагрева, обеспечивающих наиболее равномерный характер распределения контактных напряжений при точении.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- 1) разработать модель термомеханического состояния материала и режущего инструмента при точении с лазерным нагревом;
- 2) сымитировать процесс точения для различных скоростей резания и температур нагрева лазером;
- 3) идентифицировать зоны контакта инструмента со стружкой, с зоной больших деформаций, с зоной подминания материала округленным участком режущей кромки, с обработанным материалом;
- 4) проанализировать распределение контактных напряжений;
- 5) определить скорость резания и температуры лазерного нагрева, обеспечивающие наиболее равномерный характер распределения напряжений.

2. Основное содержание и результаты работы

Данные исследования были выполнены для условий продольного точения. Обрабатываемый материал – легированная конструкционная сталь *42CrMo4* ($\sigma_b = 2500$ МПа, твердость 38 HRC). Инструментальный материал *SP0819* режущей пластины *ATI Stellram CNMG542A-4E SP0819 CNMG160608E-4E* состоял из *TiAlN PVD*-покрытия на мелкозернистой твердосплавной подложке. Для всех исследований подача и глубина резания оставались постоянными: $s = 0,3$ мм/об и $t = 3$ мм. Скорость резания варьировалась в рекомендованном производителем интервале $v = 100\text{-}200$ м/мин с шагом 25 м/мин. Предварительные исследования позволили установить, что температура нагрева лазером выше 470°C может значительно повлиять на стойкость режущего инструмента и вызвать его разрушение. Поэтому температура нагрева варьировалась в интервале 20-470°C с шагом 225 °C.

При разработке модели термомеханического состояния материала и режущего инструмента с *PVD*-покрытием при точении с лазерным нагревом в программной среде *SIMULIA/Abaqus 6.10 (Dassault Systemes)* [4, 5] были учтены 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, температура лазерного нагрева материала, что позволило получить информацию о термомеханических параметрах: контактных нормальных напряжениях, контактных касательных напряжениях и контактных температурах.

После имитации процессов точения с рассматриваемыми варьируемыми параметрами были идентифицированы различные зоны контакта режущей пластины с обрабатываемым материалом: зона контакта инструмента со стружкой 1, с зоной больших деформаций 2, с зоной подминания материала округленным участком режущей кромки 3, с обработанным материалом 4 (рис. 2).

Установленное распределение нормальных и касательных напряжений (рис. 3-4) в зоне контакта режущей пластины и обрабатываемого материала позволило определить условия, обеспечивающие наиболее равномерное распределение напряжений.

Характер распределения, а также значения нормальных и касательных напряжений зависят от различных фазовых состояний стали 42CrMo4 при больших деформациях, основные из которых могут вызвать упрочнение или провал пластичности материала. Провал пластичности обрабатываемого материала, для дозвектоксидных сталей соответствует критической точке материала A_{c3} (температура конца превращения феррита в аустенит при медленном нагреве). При приближении к точке рекристаллизации A_{cl} (точка превращения перлита, находящегося в эвтектике в аустенит) сопротивление деформированию возрастает. Из-за относительно высокой теплопроводности материала основной тепловой поток сосредоточен в зоне контакта инструмента со стружкой, где наблюдаются самые высокие температуры. В остальных зонах распределение температур близкое к равномерному.

Нагрев лазером до 470°C при скоростях резания 100-125, 175 м/мин спровоцировал отрицательный эффект, характеризующийся увеличением неравномерности распределения напряжений.

Нагрев до 245°C при скорости резания 100 м/мин не является целесообразным, так как существенно не изменяет картину распределения напряжений.

Нагрев до 245°C при скоростях резания 125-150 м/мин и до 470°C при скорости резания 150 м/мин позволило снизить неравномерность распределения нормальных напряжений, в то время как касательные напряжения существенно не изменились.

Наибольший эффект при применении лазера был получен при нагреве до 245°C при скоростях резания 175-200 м/мин, а также при нагреве до 470°C при скорости резания 200 м/мин: нормальные и касательные напряжения приобрели наиболее равномерное распределение.

Однако, при нагреве лазером до 470°C и скорости резания 200 м/мин контактная температура в зоне контакта инструмента со стружкой превышала допустимое значение 1000°C.

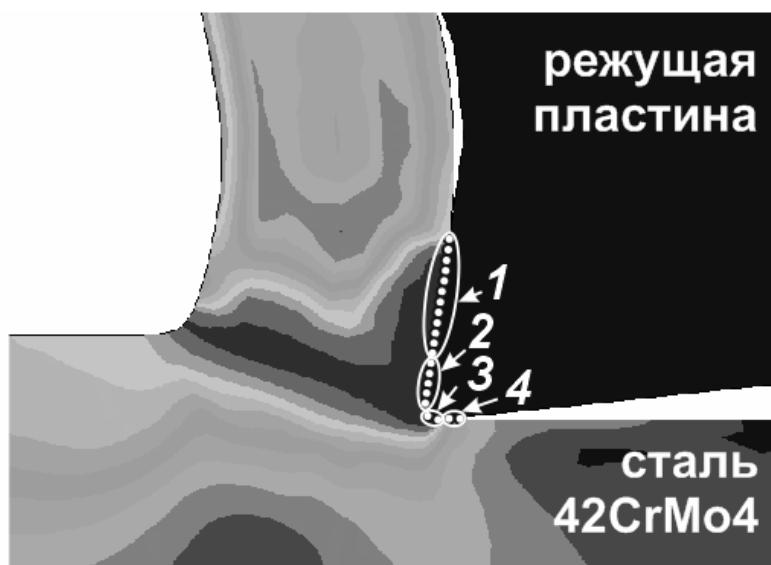


Рис. 2. Зоны контакта режущей пластины с обрабатываемым материалом

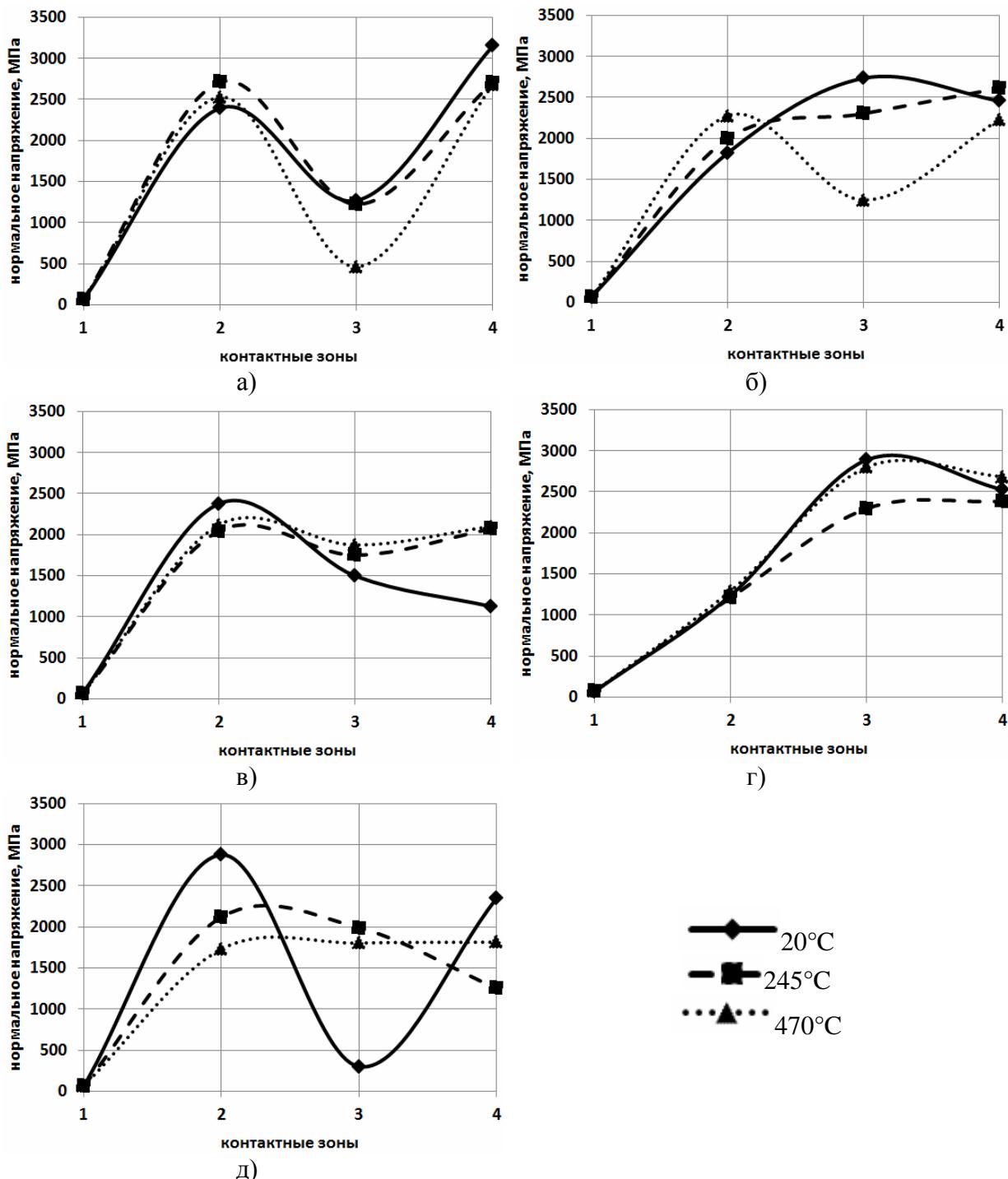


Рис. 3. Распределение нормальных напряжений в зоне контакта режущей пластины и обрабатываемого материала: а) при скорости резания 100 м/мин; б) при скорости резания 125 м/мин; в) при скорости резания 150 м/мин; г) при скорости резания 175 м/мин; д) при скорости резания 200 м/мин

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что наиболее равномерное распределение контактных напряжений без превышения допустимого значения контактных температур при продольном точении стали 42CrMo4 достигается при лазерном нагреве до температуры 245°C при скоростях резания 175-200 м/мин.

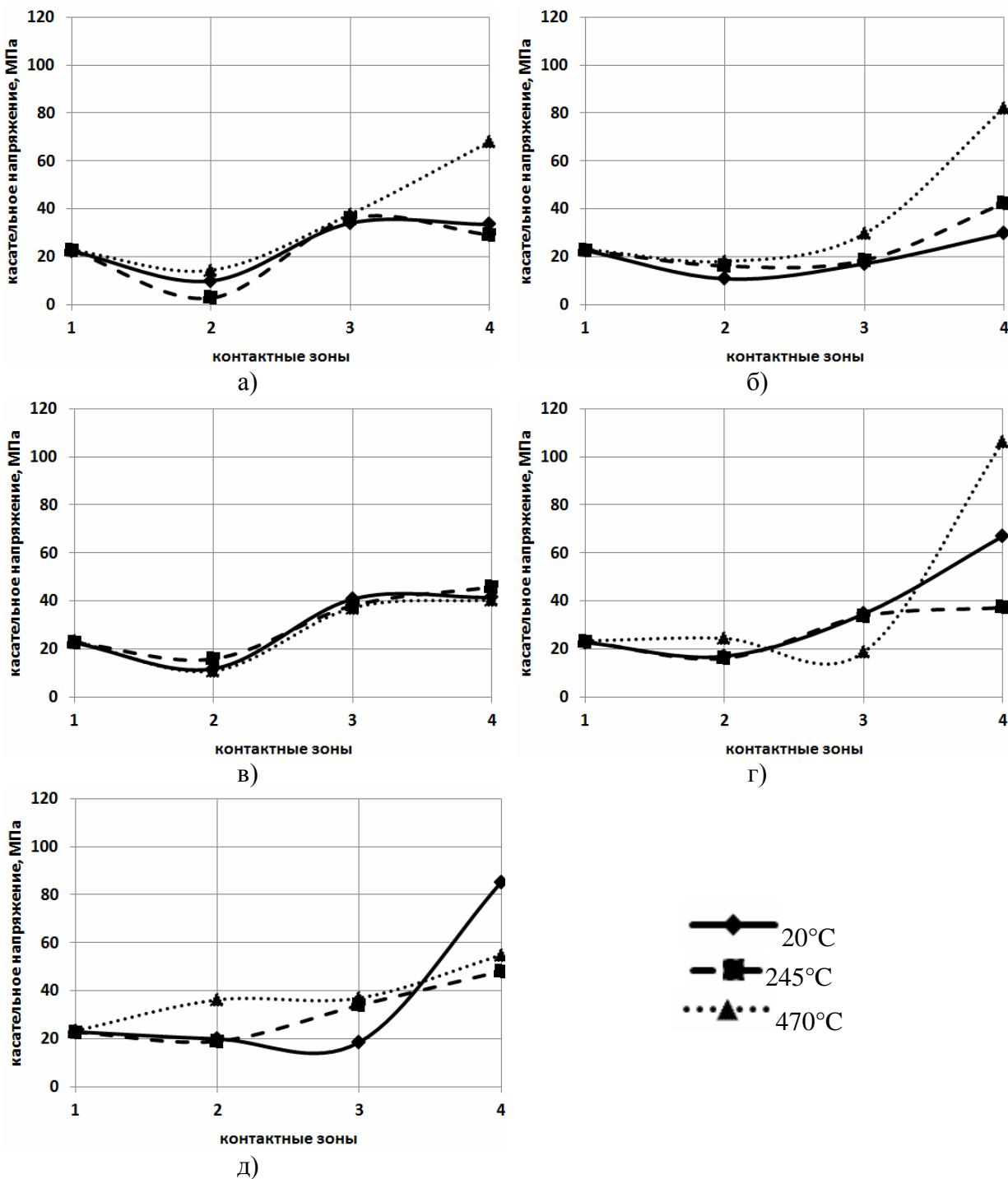


Рис. 4. Распределение касательных напряжений в зоне контакта режущей пластины и обрабатываемого материала: а) при скорости резания 100 м/мин; б) при скорости резания 125 м/мин; в) при скорости резания 150 м/мин; г) при скорости резания 175 м/мин; д) при скорости резания 200 м/мин

3. Заключение

Наиболее равномерный характер распределения нормальных и касательных напряжений при продольном точении стали 42CrMo4 обеспечивается лазерным нагревом до температуры 245°C при скоростях резания 175-200 м/мин, что позволяет

повысить стойкость инструмента с покрытием за счет снижения риска появления и развития трещин, свойственного при неравномерной нагрузке.

Представленная методика может быть применена при определении рациональных условий использования лазерного нагрева при точении углеродистых, легированных, высоколегированных, закалённых, нержавеющих сталей, жаропрочных сплавов и других материалов.

Список литературы:

1. Germain, G. Contribution a l'optimisation du procede d'usinage assiste laser: these presentee pour obtenir le grade de docteur: mecanique, materiaux et procedes / Germain Guenael; ENSAM d'Angers. – Soutenue 04.12.06. – Angers, 2006. – 175 p.
2. Pantale, O. Modelisation et simulation tridimensionnelles de la coupe des metaux: these presentee pour obtenir le grade de docteur: mecanique / Pantale Olivier; Ecole Nationale d'Ingenieurs de Tarbes. – Soutenue 10.07.96. – Tarbes, 1996. – 177 p.
3. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы: монография / Д.В. Криворучко, В.А. Залога; Под общ. ред. В.А. Залоги. — Сумы: Университетская книга, 2012. — 496 с.
4. Sydorova, E.V. Etude de l'influence du chauffage par laser et de la vitesse de coupe sur la sollicitation de l'outil lors du tournage/ E.V. Sydorova // Les problemes contemporains de la technosphere et de la formation des cadres d'ingenieurs: recueil des exposes des participants de la VII Conference internationale scientifique et methodique, du 08 au 17 octobre, 2013, Sousse. – Donetsk: UNTD, 2013. – P. 50 – 53.
5. Михайлов, А.Н. Функционально-ориентированный подход при анализе физических параметров нагружения режущей пластины с покрытием TiAlN / А.Н. Михайлов, Е.В. Сидорова // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2011. – №3. – С. 9 – 14.

Надійшла до редколегії 15.02.2014

О.В. Сидорова

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЛАЗЕРНОГО НАГРІВУ НА РОЗПОДІЛ КОНТАКТНИХ НАПРУГ ПРИ ТОЧІННІ СТАЛІ 42CrMo4

З метою підвищення стійкості інструменту з PVD-покриттям встановлений вплив лазерного нагріву дозволив визначити комбінацію швидкості різання і температури нагріву, що забезпечують найбільший рівномірний характер розподілу контактних напружень при точенні стали 42CrMo4. Для вирішення поставленого завдання розглядалися напруги в різних зонах контакту ріжучого інструменту з оброблюваним матеріалом: у зоні контакту інструменту зі стружкою, із зоною великих деформацій, із зоною підмінання матеріалу округленою ділянкою ріжучої кромки, з обробленим матеріалом. Для отримання даних про контактні напруження була розроблена модель термомеханічного стану матеріалу і ріжучого інструменту з PVD-покриттям при точенні з лазерним нагрівом.

Ключові слова: точіння, PVD-покриття, контактне напруження, швидкість різання, лазер, сталь 42CrMo4.

Ye.V. Sydorova

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF LASER HEATING ON THE CONTACT PRESSURE IN TURNING OF STEEL 42CrMo4

In order to increase PVD-coated tool life, the established influence of laser heating allowed determining the combination of cutting speed and temperature of heating, providing the most uniform distribution of contact pressure in turning of steel 42CrMo4. To solve the problem we considered pressure in different zones of contact zone of cutting tool with the workpiece: in the contact zone of the tool with chip, with large deformation zone, with the zone of crushing material by rounded part of the cutting edge, with the processed material. To obtain contact pressure data, the thermomechanical behavior model of the material and cutting tools with PVD-coated in turning with laser heating was developed.

Keywords: turning, PVD-coated, contact pressure, cutting speed, laser, steel 42CrMo4.