

УДК 621.787.4

Зайдес С. А., д-р техн. наук, проф., **Хо Минь Куан**, аспирант
Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
Тел. / Факс: +7 904 820 08 54; E-mail: minhquanho2605@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ МАЯТНИКОВОМ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

На основе моделирования термического процесса с помощью программы Ansys 19.1. представлено влияние основных технологических параметров и режимов маятникового поверхностного пластического деформирования (ППД) на температуру в зоне контакта. Показано распределение температурных полей в рабочем инструменте и в заготовке.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование, секториальный рабочий инструмент, термический процесс, компьютерное моделирование, поверхностный слой.

Zaides S.A., Ho Minh Quan

SIMULATION OF THE THERMAL PROCESS WITH A PENDULUM SURFACE PLASTIC DEFORMATION

Based on thermal process simulation using Ansys 19.1. the influence of the main technological parameters and modes of pendulum surface plastic deformation (SPD) on the temperature in the contact zone is presented. The distribution of temperature fields in the working tool and in the workpiece is shown.

Keywords: surface plastic deformation, sectorial working tool, thermal process, computer simulation, surface layer.

1. Введение

В металлообрабатывающей промышленности широко используют горячекатаный и холоднотянутый сортовой прокат в виде эффективных заготовок для изготовления длинномерных деталей типа валов и осей. Калиброванный прокат круглого поперечного сечения успешно используют и для изготовления разнообразных деталей на станках-автоматах и автоматических линиях, где необходимы заготовки с достаточно точными диаметральными размерами для закрепления их в цанговых патронах металлорежущих станков [1-2].

Надежность изделий машиностроения во многом зависит от качества изготовления отдельных деталей, которое оценивается состоянием поверхностного слоя. Именно поверхностный слой деталей в первую очередь подвергается силовым и температурным воздействиям, именно поверхностный слой испытывает влияние коррозионных сред, контактных давлений, сил трения и др. внешних воздействий. Таким образом, работоспособность деталей машин зависит от качества поверхностного слоя, который можно значительно улучшить, применяя на окончательных механических операциях отделочно-упрочняющую обработку поверхностным пластическим деформированием (ППД) [3].

В процессе пластического деформирования совершается работа, затрачиваемая непосредственно на деформирование металла и работа, связанная с трением в зоне контакта заготовки с рабочим инструментом. При механической обработке выделяется тепло, которое расходуется на нагрев заготовки, рабочего инструмента и теплоотдачу в окружающую среду [4].

Исследования температурных полей показывают, что при ППД при малых глубинах упрочнения практически все тепло образуется за счет деформации металла [5, 6]. Пластическая деформация сопровождается упрочнением металла, величина которого оценивается по результатам изменения твердости или микротвердости поверхностного

слоя. Тепловые явления в очаге деформации при определенных температурных условиях могут снизить результаты, достигнутые ППД – уменьшить величину остаточных напряжений и степень наклепа.

При ППД тепло формируется в очаге деформации и при интенсивных режимах обработки образуются термопластические напряжения. Эти напряжения, складываясь с напряжениями, вызванными от собственной пластической деформации, изменяют их величину, а иногда и характер распределения.

Интенсивное давление в зоне контакта и силы трения могут сформировать достаточное высокое температурное поле, которые могут вызвать изменение структуры материала. Так, при алмазном выглаживании при высоких скоростях обработки температура в зоне контакта может достигать 600 – 850С [7, 8]. При такой температуре происходят не только структурные изменения в упрочняющем слое, но и повреждение рабочего инструмента (алмаза).

Чтобы сохранить механические свойства материала, достигнутые поверхностным деформированием, на практике обычно обработку ППД ведут на низких режимах, которые отрицательно сказываются на производительности технологического процесса обработки [9].

Таким образом, с учетом вышеизложенного, технологические задачи должны решаться с учетом температурных полей, образующиеся при механической обработке. Авторами статьи разработан новый способ ППД, основанный на маятниковом движении секториального рабочего инструмента [10], влияние которого на температурные процессы представляют интерес для определения НДС упрочненного слоя с учетом температурного воздействия на материал заготовки.

Целью данной работы является определение температуры в очаге деформации в зависимости от основных технологических параметров маятникового поверхностного пластического деформирования.

Кинематическая схема процесса. Для обеспечения интенсификации напряженного состояния в очаге деформации, которое позволит снизить величину радиального натяга при обработке нежестких цилиндрических деталей типа валов и осей, авторами статьи разработан новый способ ППД [10], основанный на маятниковом воздействии секториального рабочего инструмента (рис. 1). Особенность новой кинематики деформирующего инструмента заключается в том, что поверхностное пластическое деформирование осуществляется за счет поочередных процессов качения и скольжения рабочего инструмента.

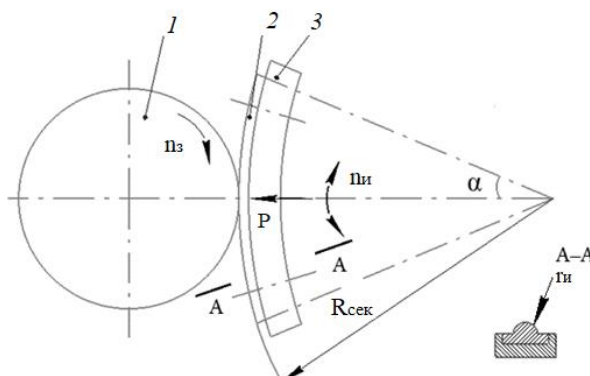


Рисунок 1. Кинематическая схема маятникового ППД
1-заготовка, 2-деформирующий элемент, 3-рабочий сектор инструмента.

2. Методика моделирования термопроцесса при маятниковом ППД.

Для определения температуры в зоне контакта рабочего инструмента с заготовкой с помощью компьютерной программы моделирования ANSYS 19.1 необходимо использовать вкладку Custom Systems и выбрать опцию thermal-Stress (термо-стрессовый анализ), которая позволяет объединить заданные и тепловые и механические параметры в одну задачу [11-12] (см. рис. 2).

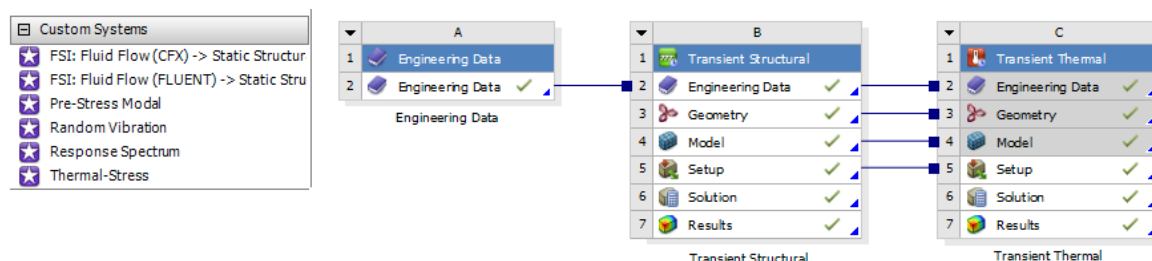


Рисунок 2. Модель объединения структурного и термического анализа в ANSYS 19.1

Модуль термического моделирования автоматически принимает заданные свойства конечно-элементной модели в динамической задаче, результаты которой отражаются в работе [13] такие как: механические характеристики материала заготовки и рабочего инструмента (Engineering data), геометрические параметры (geometry), расчетные модули (model), краевые условия (setup) [12].

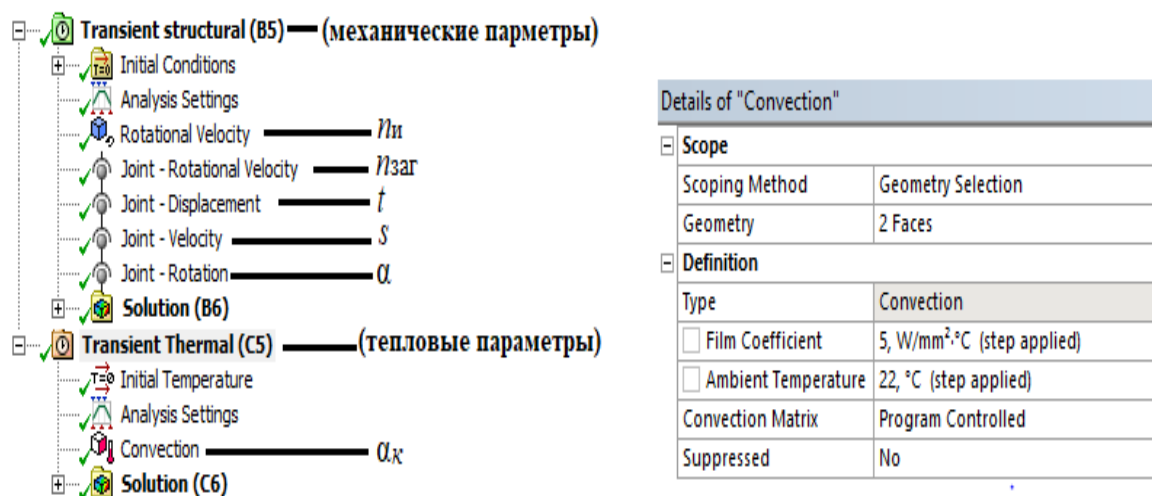


Рисунок 3. механические и термические параметры процесса маятникового ППД

Для определения температуры в зоне контакта кроме условий, характеризующих кинематику процесса маятникового ППД и трения, которые настроены на этапе динамического моделирования необходимо задать условие конвекции и окружающей среды (см. рис. 3). Прията естественная конвекция $\alpha_k = 5$ Вт/мм².°С; температура окружающей среды $t^0 = 22^{\circ}\text{C}$. Маятниковое ППД моделировалось с базовыми параметрам, представленными в табл. 1.

Таблица 1. Значения базовых параметров упрочнения

n_3 ОБ/МИН	$n_{ин}$, ДВ.Х/МИН	t , ММ	s , ММ/ОБ	$r_{и}$, ММ	$R_{сек}$, ММ	α , ГРАД
100	100	0,1	0,1	5	25	30

3. Результаты компьютерного моделирования.

На рис. 4 представлено распределение температурных полей в очаге деформации, которые показывают, что максимальная температура, возникает в зоне контакта в результате воздействия рабочего инструмента с заготовкой и постепенно уменьшается к противоположному краю поперечного сечения цилиндра (см. рис. 4, а).

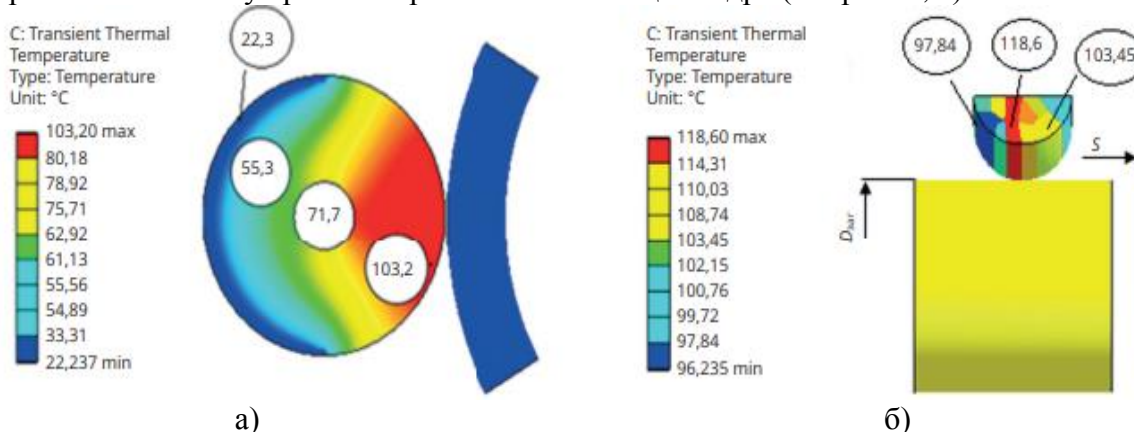


Рисунок 4. Распределение температурных полей в зоне контакта в заготовке (а) и в рабочем инструменте (б)

Следует отметить, что при маятниковом ППД в условиях базовых режимов обработки в зоне контакта формируется максимальная температура равная, примерно, 101-105 С°, которая уменьшается в направлении к центру цилиндрической заготовки. При этом максимальная температура в рабочем инструменте почти на 20-30% больше, чем в заготовке, и формируется она в зоне контакта, противоположной направлению подачи.

На рис. 5 представлено влияние величины натяга и продольной подачи на температуру в зоне контакта при маятниковом ППД. Установлено, что температура в зоне контакта рабочего инструмента с заготовкой повышается при увеличении величины натяга от 0,05 до 0,4 мм и достигает от 65 до 145°С. Величина радиального натяга влияет на величину давления в зоне контакта, что непосредственно сказывается и на температуре инструмента и заготовки.

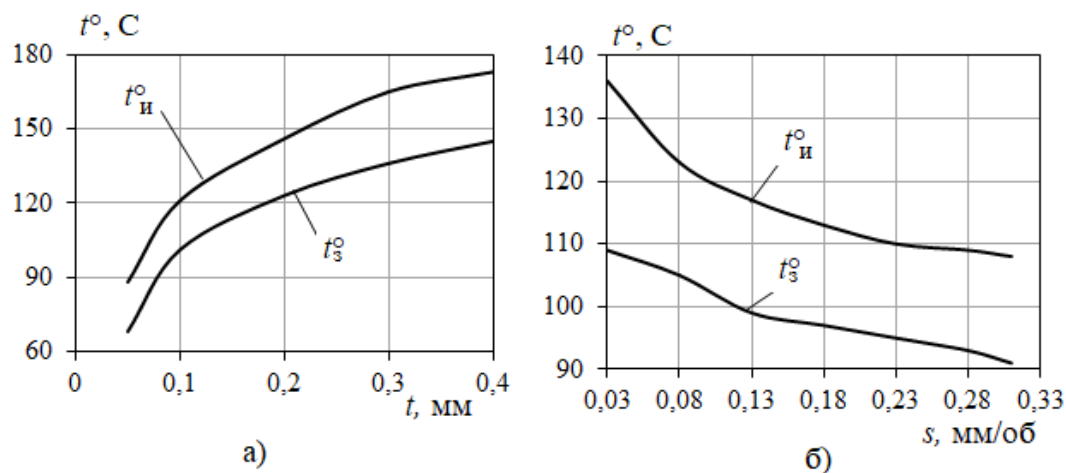


Рисунок 5. Влияние величины натяга (а) и величины продольной подачи (б) на температуру в зоне контакта

При этом повышение продольной подачи приводит к снижению температуры в зоне контакта. Кроме того, следует отметить, что при изменении величины подачи в интервале 0,13-0,33 мм/об температура в зоне контактная изменяется в небольшом диапазоне. Это происходит потому, что при определенной величине подачи происходит меньшая степень перекрытия пластических следов от действия рабочего инструмента, что непосредственно связано с уменьшением степени аккумуляции тепла в очаге деформации.

На рис. 6 представлено влияние частоты вращения заготовки и частоты маятникового движения рабочего инструмента на максимальную температуру в зоне контакта. Следует отметить, что значительное изменение температуры (варьируется в диапазоне 75 - 140°C) в зоне контакта происходит вследствие изменения частоты вращения заготовки и частоты маятникового движения рабочего инструмента, причем с их увеличением температура заготовки и инструмента повышается (см. рис. 6).

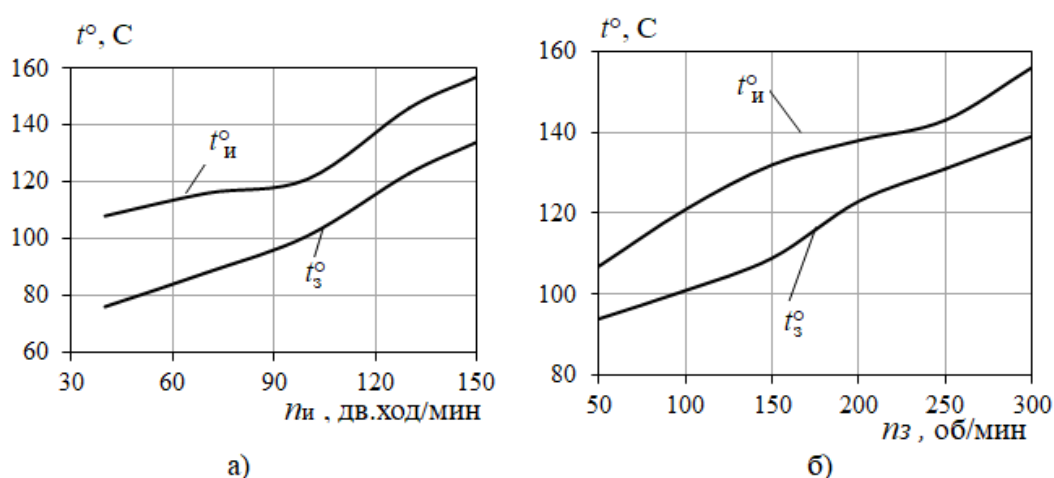


Рисунок 6. Влияние частоты маятникового движения рабочего инструмента (а) и частоты вращения заготовки (б) на температуру в зоне контакта

Полученные значения температуры, возникающей в очаге упругопластической деформации при маятниковом ППД, следует учитывать при определении остаточных напряжений, так как повышение температуры в зоне контакта может привести к восстановлению искаженной кристаллической решетки металла, а это скажется не только на снижении величины сжимающих остаточных напряжений, но и степени упрочнения поверхностного слоя.

4. Заключение.

Полученные результаты компьютерного моделирования для определения температуры в очаге деформации позволяют сделать следующие выводы:

1. При маятниковом ППД в зоне контакта рабочего инструмента с заготовкой возникает температура, максимальное значение которой составляет 101-105°C при базовых режимах обработки. Температура, возникающая в рабочем инструменте при всех режимах обработки больше, чем в заготовке на 20-30%.

2. Величина температуры в зоне упругопластической деформации при маятниковом ППД изменяется в пределах от 65 до 145°C и зависит от основных технологических параметров процесса (частота вращения заготовки, частота маятникового движения рабочего инструмента, а также величина натяга и величина

продольной подачи). Увеличение величины подачи приводит к незначительному снижению температуры в очаге деформации от (110 до 90С°).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ning Nie, Lihong Su, Guanyu Deng, Huijun Li, Hailiang Yu, Anh Kiet Tieu. A review on plastic deformation induced surface/interface roughening of sheet metallic materials // *Journal of Materials Research and Technology* 2021; 15: 6574-6607, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.11.087>
2. Sunal Ahmet Parasiz, Yasin Kuddusi Kutucu, Onur Karadag. On the utilization of Sachs model in modeling deformation of surface grains, for micro/meso scale deformation processes // *Journal of Manufacturing Processes* 68 (2021) 1086-1099. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.06.033>
3. Кабатов, А. А. Анализ финишных методов обработки поверхностным пластическим деформированием / А. А. Кабатов // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. – 2013. – № 58. – С. 49–54.
4. Drachev, O. I. Improving the accuracy of machining of non-rigid shaft / Drachev O. I. Bobrovskii A. V., Zotov A. V. // *MATEC web of Conferences*. – 2018. – Vol. 224. – Article 01085. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201822401085>
5. Отений, Я. Н. Температура в контактной зоне при обработке деталей поверхностным пластическим деформированием / Я. Н. Отений // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. №2. – 2006. – С. 57-62.
6. Shen Li, Do Kyun Kim, Simon Benson. The influence of residual stress on the ultimate strength of longitudinally compressed stiffened panels // *Ocean Engineering*. – vol. 231. – 2021. – ISSN 0029-8018. – <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108839>
7. Резников, А. Н. Тепловые процессы в технологических системах: учебник для вузов / А. Н. Резников, Л. А. Резников. – Машиностроение, 1990. – 288 с.
8. Резников, А. Н. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Е. И. Алексенцев, А. Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
9. Скуратов, Д. Л. Теплофизика процесса алмазного выглаживания / Д. Л. Скуратов, А. Н. Швецов, А. Д. Веколов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – Т22(№4). – 2020. – С. 34-49.
10. Пат. 2757643 RU. Способ поверхностно-пластического деформирования наружной поверхности детали в виде тела вращения / Зайдес С. А., Хо Минь Куан.; заяв 04.02.21; опубл. 19.10.21.
11. Ильичева, О. А. Технология логического моделирования и анализа сложных систем / О. А. Ильичева // *Инженерный вестник Дона*. – 2012. – №4. – С.13-35. – URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1234.
12. Соболев, А. Н. Исследование процессов пластического деформирования с использованием пакета ANSYS/ED5.6. [Текст] / А. Н. Соболев. // *Автоматизация и управление в машиностроении*. – 2001. – №16. – С. 32–46.
13. Зайдес, С. А. Определение напряженно-деформированного состояния цилиндрических деталей при круговой осцилляции секториального рабочего инструмента. / С. А. Зайдес, Хо Минь Куан // *Упрочняющие технологии и покрытия*. – 2022. – №1. – Т. 18. – С. 6-13. – <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2022-18-1-6-13>.

Поступила в редколлегию 09.02.2023 г.