

Abstract

ON THE TRANSFORMATION OF THE SHOCK OF THE ZIDEMPORATED MECHANICAL SYSTEM IN THE OSCILLATOR

The vertical absolutely inelastic impact of a falling body on a solid body, which is fixed on a spring with a viscous damper, is considered. It is shown that, as a result of such a shock, an oscillatory dissipative system, with its characteristic aperiodic motion, can transform into a dissipative oscillatory system. Sufficient conditions are established for this. An analytical solution of the differential equation of oscillatory motion after impact is obtained. Closed formulas are derived for calculating the maximum displacement of the system and the time it takes to reach it. It is shown that the obtained analytical results generalize the well-known Cox formula in the theory of mechanical impact. The aperiodic motion of an oscillatory dissipative system is also studied when it remains so after impact. It is shown that even in this case the dynamic coefficients of displacements and forces can also be large, i.e. considerably exceed two units. It is established that the dynamic gain coefficient exceeds the dynamic factor by displacement. Principles of calculations are given, which confirm the adequacy of the derived formulas.

Key words: *closed mechanical system, linear viscous friction, mechanical shock, generalized Cox formula, coefficients of dynamism, displacement and effort.*

УДК 669.018: 669.295: 621.785: 621.9

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СВЕКЛОРЕЗНЫХ НОЖЕЙ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ И КАРБОНИТРАЦИИ

**Спольник А.И., д.ф.-м.н., проф., Калиберда Л.М., доц.,
Гайдусь А.Ю., к.т.н., доц.**

(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко)

Комплексным исследованием установлено существенное влияние лазерной обработки и карбонитрации на твердость, износостойкость и теплопроводность стали У7А, используемой для изготовления ножей для измельчения сахарной свеклы. Изучено влияние этих обработок и их сочетания на эксплуатационные характеристики ножей.

Проблема. Применение режущих инструментов в сахарной промышленности предусматривает повышенные требования к их прочности и износостойкости. Для резания свеклы применяют специальные свеклорезные (диффузионные) ножи. В настоящее время наибольшее распространение получили безреберные свеклорезные ножи, изготавливаемые из инструментальной стали У7 и У7А. Согласно существующим данным, на Украине на сахарных заводах средней мощности за смену выходят из строя около 500 штук диффузионных ножей. В результате тратится много времени на замену ножей, т.е. снижается производительность труда. Ножи не подлежат ремонту, затрачиваются средства (средняя цена одного ножа 200грн) на закупку новых. Это отрицательно сказывается на рентабельности производства сахара.

Анализ литературных данных. Для повышения ресурса эксплуатации ножей являются целесообразным апробация новых способов повышения износостойкости и их режущей поверхности.

Существует более сотни методов поверхностной упрочняющей обработки металлов и сплавов, с помощью которых удается в той или иной степени повышать работоспособность деталей узлов трения и инструментов [1]. Технология поверхностного упрочнения совершенствуется все более ускоряющимися темпами, чему в немалой степени способствует развитие теоретических представлений о поверхностной прочности металлов.

По назначению все методы упрочнения поверхностей трения можно разбить на две группы. К первой относятся те из них, которые позволяют получать поверхность со свойствами, обеспечивающими возможность оптимальной перестройки и дополнительного упрочнения в условиях эксплуатации (образование вторичных структур). Это механический и фазовый наклеп, некоторые виды физико-термической обработки. Все они расширяют диапазон процессов нормального трения и изнашивания. Вторую группу составляют методы создания первичных структур с максимально возможной стабильностью по отношению к химическим и механическим воздействиям.

Резание сопровождается развитием высоких контактных напряжений и температур, т.е. условий, которые практически не реализуются при нормальном трении. В связи с этим, при резании имеют место наростообразование, формирование застойных зон, изнашивание рабочих поверхностей инструментов, не соответствующее интенсивности критериям нормального трения,

образование ювенильных поверхностей обрабатываемого металла, которое способствует развитию схватывания.

Таким образом, лезвия инструментов находятся в условиях интенсивного механического и теплового воздействия, поэтому процесс активации при резании может протекать весьма интенсивно. Следовательно, основная задача поверхностного упрочнения инструментов сводится к созданию высокостабильных первичных структур. С этой целью можно использовать некоторые из методов поверхностного упрочнения второй группы, в частности борирование, карбонитрацию, азотирование, поверхностную термическую обработку, электроискровое легирование, нанесение износостойких покрытий.

Поверхностная термическая обработка (ПТО) применяется в тех случаях, когда необходимо изменить свойства поверхности, не повлияв значительно на свойства сердцевины изделия. ПТО основана на методах нагрева, позволяющих осуществить кратковременный и интенсивный подвод энергии к поверхности изделия, в силу чего поверхностные объемы быстро разогреваются до необходимой температуры, а подповерхностные остаются практически холодными. При анализе влияния поверхностного упрочнения инструментов из быстрорежущих сталей на их работоспособность главное внимание обращают на изменения твердости, теплостойкости и износостойкости инструментального материала. Одним из основных факторов, влияющих на работоспособность инструментов из быстрорежущих сталей, является температурный режим резания, определяющий характер контактных процессов на рабочих поверхностях инструментов и закономерности наростообразования на передней поверхности [2]. Сталь У7А очень чувствительна к температурному режиму, что является частой причиной выхода из строя изготовленных из нее режущих инструментов.

Постановка задачи. Для повышения ресурса эксплуатации ножей целесообразна апробация новых способов повышения их износостойкости и оптимизация режимов существующих методов обработки их режущей поверхности.

Из известных способов поверхностного упрочнения [1-2] лишь немногие можно использовать для повышения работоспособности режущих инструментов из быстрорежущих сталей. Среди таких способов значительный интерес представляют еще редко применяющиеся и недостаточно изученные лазерная обработка [3,4] и карбонитрация [5,6]. Далее, при анализе влияния поверхностного упрочнения инструментов из быстрорежущих сталей на их

работоспособность главное внимание обращают на изменения твердости, теплостойкости и износостойкости инструментального материала. Углеродистые инструментальные стали У-7, У-7А относятся к нетеплостойким сталям, небольшой прокаливаемости и повышенной вязкости. Эти стали чувствительны к перегреву, поэтому режимы термической обработки (отжиг, закалка) должны выдерживаться в довольно узких пределах. В работе [7] предложен комплексный подход к проблеме износостойкости свеклорезных ножей. Большим достоинством этой работы является проведение испытаний предложенного комплекса упрочнения на реальных аппаратах для измельчения свеклы. Выбор того или иного метода упрочнения остается за заводами-изготовителями ножей. Этот выбор связан с затратами на их внедрение и дальнейшее использование. Разработка более доступных методов, как по технологии, так и по затратам, безусловно актуально. В настоящей работе ставится задача проверки применимости методики повышения износостойкости режущего инструмента, предложенной в [8], к стали У-7А.

Методика исследований и результаты. Используя методику, описанную в [7], заготовки образцов для исследований в виде кубиков с размером ребра 10 мм вырезали из прутков стали У7А в состоянии поставки. Заготовки подвергали обычной для этой стали термообработке: закалке от 800°С в масло и последующему трехкратному отпуску при 560 °С (длительность каждого отпуска 1 ч, охлаждение с печью). Твердость стали после термообработки составляла (54 – 64)HRCэ.

Далее заготовки со всех сторон шлифовались на глубину 1 мм. Готовые образцы для исследований имели форму кубика с размером ребра 10 мм. Режущую поверхность затачивали на универсальном заточном станке модели ЭП-642 эльборовым кругом. Геометрия заточки: $\gamma = 0^\circ$; $\phi = 45^\circ$; $\phi_1 = 15^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 12^\circ$; $\lambda = 0^\circ$, где γ - передний угол; ϕ - главный угол в плане; ϕ_1 - вспомогательный угол в плане; α - задний угол; α_1 - вспомогательный задний угол; λ - угол наклона главного лезвия. Такой выбор геометрии режущей части резца обусловлен стремлением упростить методику изучения прочностных характеристик.

Изготовленные образцы были использованы для металлографических исследований влияния карбонитрации и лазерной обработки на структуру стали, для измерения твердости.

Карбонитрацию осуществляли в печи Ц-75 при 570°С ($\pm 10^\circ$ С) в течение 20 мин. Для получения рабочей атмосферы использовали

гранулированный карбамид (величина гранул 1...5 мкм). Поскольку на поверхности стали при карбонитрации образуется рыхлый слой окарины толщиной ~100 мкм, все образцы и ножи после обработки зачищали наждачной шкуркой. Микротвёрдость после этого была равной (11500...13000) МПа.

Лазерную обработку осуществляли на импульсной лазерной установке "Квант-16". Задав шись диаметром пучка 4,5 мм и длительностью импульса $5 \cdot 10^{-3}$ с, в широких пределах варьировали наиболее важный параметр обработки - энергию импульса (10...30 Дж). Оптимальный режим обработки (плотность энергии 1,8 Дж/мм²) был использован для упрочнения образцов.

Изучение зависимости микроструктуры, образующейся в результате лазерного воздействия на поверхность, от плотности энергии в пучке позволило выбрать оптимальный режим обработки, приводящий к формированию специфической структуры. Полученная структура отличалась слабой травимостью в 4%-м растворе азотной кислоты в этиловом спирте, более высоким по сравнению с исходным состоянием стали (после термообработки) твердостью и износостойкостью. Металлографические исследования стали У7А после лазерной обработки по оптимальному режиму показывают, что глубина упрочненного слоя составляет ~ 50 мкм.

Исследование микроструктуры стали У7А после карбонитрации и лазерной обработки осуществляли на металлографическом микроскопе МИМ- 7, микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 100 г.

Исследование зависимости микротвердости от глубины залегания исследуемых объемов под поверхностью карбонитрированного образца позволили выделить две области: приповерхностную толщиной 5...6 мкм, где микротвердость имеет одинаковый уровень (~ 10 000 МПа), и внутреннюю область толщиной ~15 мкм, где микротвердость монотонно уменьшается от 10000 МПа до уровня, характерного для стали после термообработки (~8000 МПа). Результаты измерений микротвердости карбонитрированного слоя (измерения на поверхности образцов) в зависимости от температуры последующего дополнительного отпуска (отпуск осуществляли в муфельной печи под слоем чугуной стружки; длительность отпуска при каждой температуре 1 ч показали, что твердость карбонитрированного слоя во всем интервале исследуемых температур отпуска на 1400...2200 МПа

выше твердости сердцевины. Таким образом, использованный режим карбонитрации обеспечивает заметное (~ на 50 °С) повышение теплоустойкости стали.

В целом, результаты испытаний позволяют считать, что используемый режим карбонитрации обеспечивает эффективное и характерное для этого вида химико-термической обработки изменение свойств исследуемой стали.

Влияния карбонитрации и лазерной обработки на теплофизические свойства стали Р6М5 подробно исследовано в [8]. Результаты этой работы говорят о том, что карбонитрация приводит к повышению теплопроводности стали, а лазерная обработка - к ее уменьшению. Причина такого влияния указанных обработок на теплопроводность возможно заключается в изменении концентрации легирующих элементов в α - твердом растворе стали в результате карбонитрации. Она уменьшается в связи с частичным уходом легирующих элементов из твердого раствора в образующиеся нитриды, а в случае лазерной обработки - наоборот, концентрация легирующих элементов в твердом растворе увеличивается в связи с частичным растворением карбидной фазы при лазерном нагреве. В случае, когда предметом резания является свекла, теплопроводность ножей не является существенным фактором, влияющим на их износостойкость.

Выводы. Карбонитрация повышает износостойкость и теплопроводность стали. Предлагаемый режим лазерной обработки обеспечивает повышение нагрузки задираобразования и износостойкость стали, но уменьшает ее теплопроводность. Существенно, что этот вид обработки не изменяет форму изделия, позволяет проникать в труднодоступные места и не требует дополнительной обработки изделия после упрочнения. Также известно, что лазерная обработка повышает антикоррозионные свойства стальных изделий. Совместное применение этих видов обработки приводит к существенному увеличению износостойкости изделия из стали У7А.

Список литературы

1. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник / Под ред. Л.С. Ляховича. - М: Металлургия, 1981.-424 с.
2. Коровкин А.В., Усачев Г.А., Кравченко С.С. Прогрессивная технология нанесения износостойких покрытий на инструмент и его эксплуатация // Обзорная информация,- Тольятти, 1985.-77 с.

3. К.И. Крылов, В.Т. Прокопенко, А.С. Митрофанов. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении. Л.: «Машиностроение», 1978.

4. Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, А.И. Кокора. Лазерная обработка материалов. М.: «Машиностроение», 1975.

5. Д.А. Прокошкин: А.с. №576350 (СССР): Способ химико-термической обработки инструмента. Открытия. Изобрет., 1977, №38, с.58.

6. Д.А. Прокошкин. *Химико-термическая обработка металлов - карбонитрация*. М.: «Металлургия», 1984.

7. И.А. Фабричникова, В.В. Коломиец. Разработка и внедрение комплексного способа упрочнения свеклорезных ножей для срезания стружки.//Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2013.-V.15.- №7.- С.128-234.

8. В.М. Мацевитый, И.Б. Казак, А.И. Спольник. Влияние лазерной обработки, карбонитрации и их сочетания с вакуумно-плазменным покрытием TiN на некоторые свойства стали Р6М5.//ВАНТ. ННЦ ХФТИ, №2, 2001.

Анотація

ПРО МОЖЛИВІСТЬ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СВЕКЛОРЕЗНИХ НОЖЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМБІНОВАНОГО ВПЛИВУ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ І КАРБОНІТРАЦІЇ

Комплексним дослідженням встановлено істотний вплив лазерної обробки і карбонітрації на твердість, зносостійкість і теплопровідність сталі У7А, використовуються для виготовлення ножів для подрібнення цукрових буряків. Вивчено вплив цих обробок та їх поєднання на експлуатаційні характеристики ножів.

Abstract

ABOUT THE POSSIBILITY OF INCREASING THE WEIGHT-RESISTANCE OF BEET CUTTER KNIVES BY MEANS OF COMBINED EXPOSURE TO LASER TREATMENT AND CARBONITRATION

Comprehensive research has established a significant effect of laser processing and carbonitration on the hardness, wear resistance and thermal conductivity of U7A steel used for the manufacture of knives for grinding sugar beet. The effect of these treatments and their combination on the performance characteri