

ВЛИЯНИЕ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

© 2016 Н.Д. Папшева, О.М. Акушская

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 20.09.2016

Приведены результаты исследования влияния алмазного выглаживания на физико-механические характеристики поверхностного слоя и износостойкость инструмента.

Ключевые слова: алмазное выглаживание, пластическая деформация, износостойкость.

Алмазное выглаживание относится к методам отделочно – упрочняющей обработки и заключается в поверхностном пластическом деформировании детали или инструмента алмазным инструментом, имеющем сферическую форму. При этом в процессе обработки происходит сглаживание неровностей поверхности, оставшихся после предшествующей обработки, повышается поверхностная твердость, возникают остаточные сжимающие напряжения. Всё это приводит к повышению эксплуатационных характеристик и срока службы деталей машин и инструментов, которые в значительной степени определяются состоянием поверхностного слоя. Особенность данного метода определяется применением в качестве деформирующего инструмента алмаза, обладающим такими свойствами как высокая твердость, теплопроводность, низкий коэффициент трения по металлу [1-3]. Вследствие высокой твердости алмазом можно обрабатывать различные материалы, в том числе инструментальные стали, закалённые до HRC 60-65.

Так как алмазное выглаживание производится инструментом с малым радиусом r до 4 мм, то усилия выглаживания будут небольшими (до 250 Н), что дает возможность обработки маложестких и тонкостенных деталей.

При обработке алмазная сфера выглаживателя, прижатая с определенным радиальным усилием P_y к поверхности детали, скользит по ней, вызывая пластическую деформацию поверхностного слоя [4]. В результате исходные микронеровности сглаживаются и образуется новый микрорельеф, характеризующийся значительно меньшей высотой микронеровностей. Предшествующей обработкой перед выглаживанием режущих инструментов является шлифование (заточка). При этом шлифованная поверхность содержит следы резания отдельных зерен, по-

сле алмазного выглаживания обработанная поверхность приобретает характерный блеск. Основным фактором, влияющим на параметры шероховатости, является усилие выглаживания P_y , с возрастанием которого увеличивается глубина внедрения и площадь контакта выглаживателя с обрабатываемой поверхностью, что приводит к существенному снижению среднеарифметической высоты микронеровностей R_a (рис. 1). При достижении значения $P_y = 200$ Н снижение шероховатости прекращается и достигает 0,05 мкм.

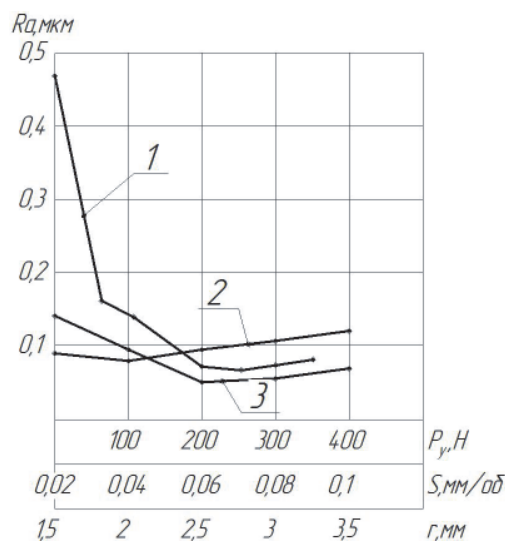


Рис. 1. Зависимость среднеарифметической высоты микронеровностей R_a от усилия выглаживания P_y

Подача является вторым по значению фактором, влияющим на шероховатость поверхности. С увеличением подачи происходит возрастание R_a , что вызвано уменьшением степени пластической деформации вследствие малой кратности приложения нагрузок. На шероховатость упрочняемой поверхности оказывает влияние и радиус инструмента r , с увеличением которого значения R_a снижаются. Так при увеличении радиуса r с 1,5 до 3 мм R_a уменьшается с 0,2 до 0,08 мм (рис. 1). Как показали результаты исследований, основное уменьшение шерохова-

Папшева Нина Дмитриевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные станочные и инструментальные системы». E-mail: ask@samgtu.ru
Акушская Ольга Мордуховна, старший преподаватель кафедры «Автоматизированные станочные и инструментальные системы».

тости происходит во время первого прохода, с увеличением числа проходов до 3-х величина R_a уменьшается незначительно.

При шлифовании быстрорежущих сталей в поверхностном слое возникают растягивающие остаточные напряжения величиной до 600 МПа. Качественно иной характер имеют эпюры остаточных напряжений после алмазного выравнивания. Интенсивная пластическая деформация поверхностного слоя и изменение его объема в связи с фазовым $\gamma \rightarrow \alpha$ превращением способствует возникновению остаточных напряжений сжатия.

Установлено, что изменение P_y с 150 до 200 Н сопровождается увеличением остаточных сжимающих напряжений с 150 до 700 МПа (рис. 2). Уменьшение подачи от 0,15 до 0,02 мм/об ведет к увеличению остаточных напряжений до 8,8 ГПа.

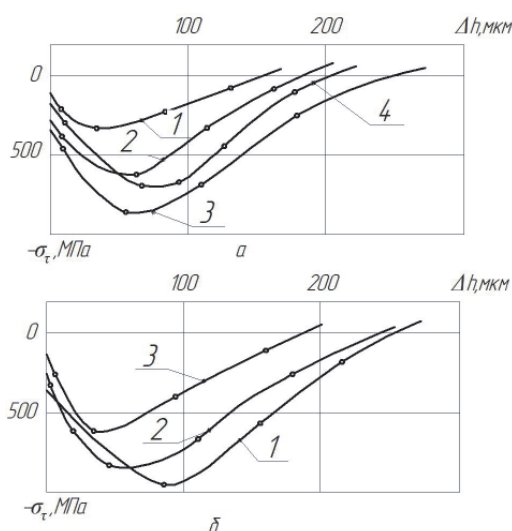


Рис. 2. Влияние усилия выравнивания P_y и подачи S на тангенциальные остаточные напряжения

Одной из основных характеристик качества поверхностного слоя, существенно влияющей на работоспособность режущего инструмента, является поверхностная твердость. Исследование влияния алмазного выравнивания на поверхностную твердость проводили методом многофакторного планирования. Принятая методика позволила свести к минимуму число опытов, необходимых для установления наиболее вероятной зависимости показателей процесса от его параметров, и получить большую информацию о взаимодействии отдельных факторов.

В качестве параметра оптимизации была выбрана величина максимальной поверхностной твердости HV . Варьируемыми факторами являлись радиальное усилие P_y , радиус алмазной сферы r , продольная подача S , скорость вращения детали V , число проходов i . Зависимость HV от параметров выравнивания аппроксимировалась уравнением

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5,$$

где y – параметр оптимизации,

b_0, b_1, \dots, b_5 – коэффициенты регрессии,

x_1, \dots, x_5 – независимые переменные.

Для решения уравнения был выбран ортогональный центральный композиционный план с 1/4 реплики, по результатам экспериментов определяли коэффициенты регрессии b . Построенная математическая модель имеет следующий вид:

$$y = 910 + 27,5 x_1 - 7,5 x_2 - 5 x_3 - 5 x_4 - 2,5 x_5.$$

Анализ уравнения показывает, что наибольшее влияние на поверхностную твердость оказывают радиальное усилие P_y и радиус инструмента r .

Результаты определения микротвердости показали, что с увеличением радиального усилия P_y от 50 до 200 Н максимальное значение микротвердости H_d возрастает с 9,8 ГПа до 10,2 ГПа. Дальнейшее увеличение P_y приводит к некоторому снижению H_d , что можно объяснить явлением перенаклепа (рис. 3а). Величина подачи, определяя кратность приложения деформирующей силы к каждой точке обрабатываемой поверхности, влияет на микротвердость. При подачах 0,02...0,07 мм/об наблюдается максимальное повышение микротвердости (рис. 3б). Интенсивность деформационного упрочнения составила в зависимости от режимов обработки 15-18%. Анализ статистической обработки результатов измерений микротвердости показал, что отклонения уменьшаются по сравнению со шлифованием. Соответственно уменьшается поле рассеивания значений H_d , то есть структура поверхностного слоя становится более однородной.

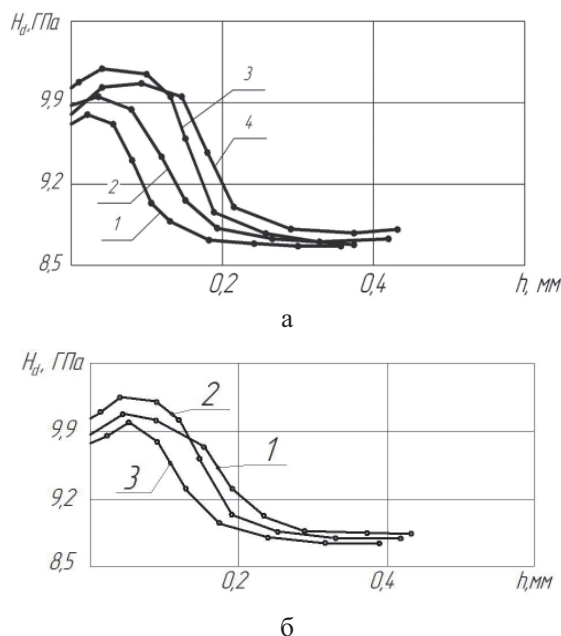


Рис. 3. Влияние усилия выравнивания на распределение микротвердости обрабатываемый материал Р9К5
а – $P_y = 50$ Н, 2. $P_y = 100$ Н, 3. $P_y = 200$ Н, 4. $P_y = 300$ Н;
б – 1. $S = 0,02$ мм/об, 2. $S = 0,07$ мм/об, 3. $S = 0,15$ мм/об.

При алмажном выравнивании в поверхностном слое образуется мелкодисперсная структура с высокой плотностью дислокаций (ρ). Происходит

развитие микроискажений, выделение мелкодисперсных карбидов и фазовые $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, что способствует повышению износостойкости инструментов.

При алмазном выглаживании наблюдается дробление зерен ($D=8,4 \cdot 10^{-6}$ см) и образование мелкодисперсной структуры в поверхностном слое глубиной до 200 мкм (рис. 4а)

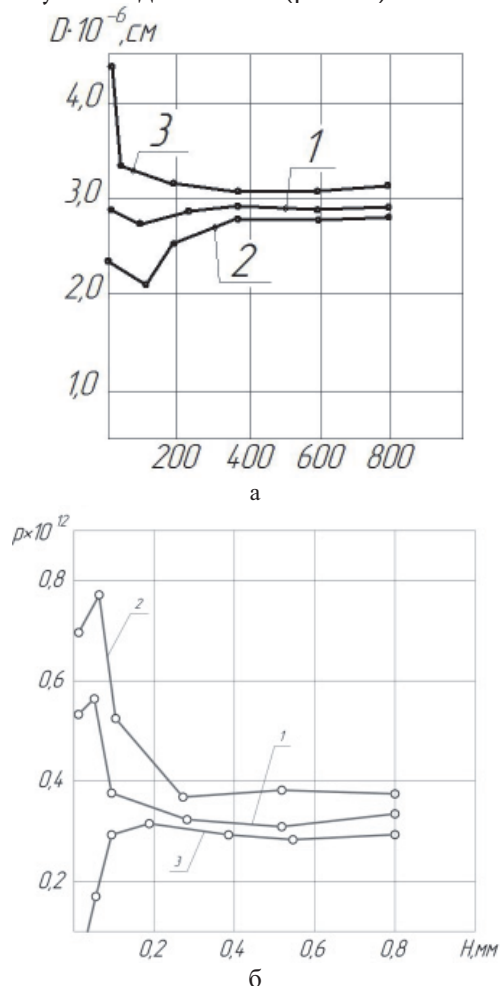


Рис. 4. Влияние радиального усилия P_y на дробление зерен D (а) и плотность дислокаций ρ (б): 1. $P_y = 50$ Н, 2. $P_y = 200$ Н, 3. Неупрочн.

Происходит рост микроискажений, выделение мелкодисперсных карбидов и фазовые $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, что способствует повышению износостойкости инструментов. Причем максимальные значения микроискажений с увеличением P_y растут, располагаясь на некотором расстоянии от поверхности, что объясняется локальным выделением тепла при выглаживании. При этом растет плотность дислокаций (ρ до $0,7 \cdot 10^{12}$) (рис. 4б), а количество остаточного аустенита A снижается с 27 до 15% (рис. 5а).

Для оценки напряженно-деформированного состояния установлена функциональная связь между напряжением и деформацией, деформа-

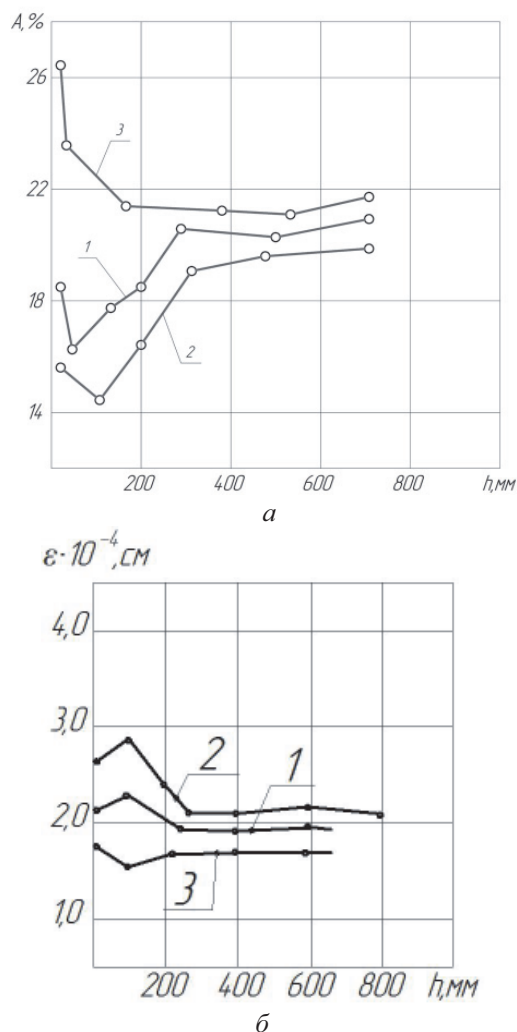


Рис. 5. Изменение тонкой кристаллической структуры при алмазном выглаживании: (а – остаточный аустенит-А, б – микроискажения) 1. $P_y = 50$ Н, 2. $P_y = 200$ Н, 3. Неупрочн.

цией и твердостью. Как видно из рис. 5б зависимость интенсивности пластической деформации ϵ_i от радиального усилия P_y носит экстремальный характер.

Максимальное значение ϵ_i имеет место при $P_y = 200$ Н. Дальнейшее увеличение усилия приводит к снижению ϵ_i , что связано с перенаклепом и нарушением сплошности поверхностного слоя. Максимальное значение ϵ_i находится на некотором расстоянии от поверхности. Это подтверждается результатами рентгеноструктурного анализа, которые фиксируют наибольшую плотность дислокаций на некотором расстоянии от поверхности.

При алмазном выглаживании силы трения, влияющие на нагрев области обработки, пластическую деформацию и параметры качества поверхности, возникают в зоне контакта в результате преодоления адгезионных связей, которые возникают между поверхностями инструмента и обрабатываемой детали [5]. При этом коэффи-

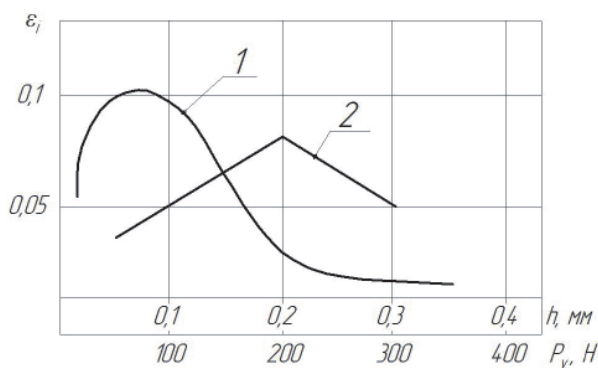


Рис. 6. Интенсивность деформации при алмазном выглаживании:
1. $\epsilon_i = \varphi(h)$; 2. $\epsilon_{i\max} = \varphi(P_y)$

коэффициент трения $f_{тр}$ включает деформационную $f_{деф}$ и адгезионную $f_{адг}$ составляющую:

$$f_{тр} = f_{деф} + f_{адг}.$$

Деформационная составляющая коэффициента трения может быть определена по формуле

$$f_{деф} = 0,55\sqrt{\frac{h}{r}},$$

где h – глубина внедрения выглаживателя, мм;
 r – радиус рабочей части выглаживателя, мм.

Адгезионная составляющая для стали Р9К5 $f_{адг} = 0,036$. Результаты расчета, представленные на рис.7, показывают увеличение коэффициента трения $f_{тр}$ с 0,042 до 0,07 и деформационной составляющей $f_{деф}$ с 0,015 до 0,045 при возрастании силы выглаживания от 50 до 300 Н.

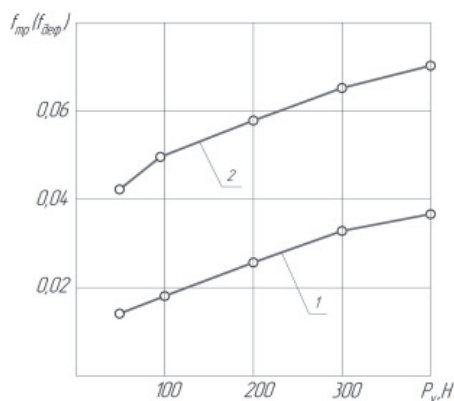


Рис. 7. Влияние силы выглаживания на коэффициент трения
1 – $f_{деф}$; 2 – $f_{тр}$

Исследованиями установлено, что износостойкость выглаженного инструмента повышается в 1,5-2,5 раза. Причем, наибольшее повышение износостойкости наблюдается у инструмента, поверхностный слой которого характеризуется большими значениями остаточных сжимающих напряжений, более высокой микротвердостью. Последнее наиболее эффективно достигается путем увеличения усилия упрочнения P_y .

Стойкостные испытания проводились с использованием метода радиоактивных изотопов, который позволяет получить дополнительную информацию о характере износа режущего инструмента. Этот метод характеризуется высокой чувствительностью и дает возможность резко сократить время испытаний. В качестве метода активирования было выбрано нейтронное облучение.

Анализ графиков, приведенных на рис.8, показывает, что начальный удельный износ у всех резцов достигает максимальных значений (стадия приработки), затем интенсивность износа резко снижается. В области установившегося износа после 30 минут работы удельный износ у неупрочненных резцов составил $\Delta\rho = 185$ имп/сек, у выглаженных $\Delta\rho = 65$ имп/сек.

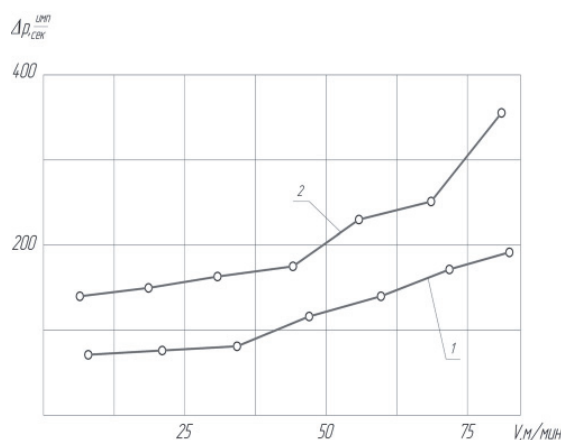


Рис. 8. Влияние алмазного выглаживания на удельный износ (материал Р9К5, $P_y = 200$ Н)

Исследование влияния скорости резания на удельный износ показали, что наименьший износ упрочненных резцов наблюдается при скорости 20-25 м/мин. С увеличением скорости резания удельный износ упрочненных резцов растет менее интенсивно и составляет при скорости 80 м/мин $\Delta\rho = 183$ имп/сек и для неупрочненных резцов $\Delta\rho = 330$ имп/сек.

При точении износ режущего инструмента происходит в основном по задней поверхности, поэтому с целью повышения производительности целесообразно подвергать выглаживанию только заднюю поверхность.

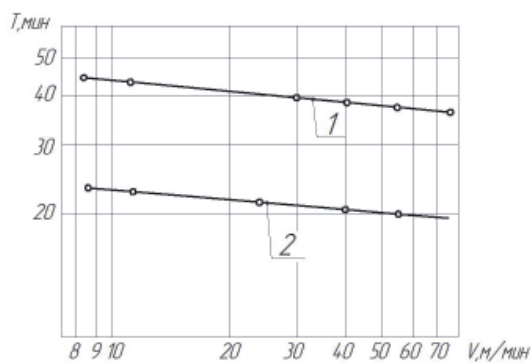


Рис. 9. Влияние алмазного выглаживания на стойкость режущего инструмента

На рис. 9 представлен график зависимости стойкости инструмента T от скорости обработки V , из которого следует, что алмазное выглаживание в два раза повышает стойкость инструмента по сравнению со шлифованием, при этом с уменьшением скорости обработки стойкость возрастает.

Характерно, что при переточке инструмента по неупрочненной поверхности эффект упрочнения сохраняется. Это позволяет использовать режущий инструмент в течение всего периода эксплуатации без промежуточной операции алмазного выглаживания после каждой переточки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 2002. 300 с.
2. Торбило В.М. Алмазное выглаживание. М.: Машиностроение, 1972. 105 с.
3. Двойнев А.Г., Барац Ф.Я., Александров С.Г. Совершенствование отделочно-упрочняющей обработки рабочих поверхностей алмазным выглаживанием // Автоматизация и современные технологии. 2007. № 4. С. 36-39.
4. Губанов В.Ф. Параметры шероховатости выглаженных поверхностей // Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. № 11. С. 6-9.
5. Михин Н.М. Трение в условиях пластического контакта. М.: Наука, 1968. 104 с.

DIAMOND BURNISHING INFLUENCE ON PERFORMANCE CUTTING TOOL

© 2016 N.D. Papsheva, O.M. Akushskaya

Samara State Technical University

The results of studies of the effect of diamond burnishing on the physico-mechanical characteristics of the surface layer and the wear resistance of the tool.

Keywords: diamond burnishing, plastic deformation, wear resistance.