

УДК 621.924

**ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
МЕТАЛЛА ПРИ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ****Макаров А.В., Сергиев А.П., Журавлев А.В., Макарова Е.В.***Старооскольский технологический институт имени А.А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»,
Старый Оскол, e-mail: tomm_sti_misis@mail.ru*

Проведен анализ влияния технологических параметров центробежной отделочно-зачистной обработки в свободных абразивных средах на степень деформационного упрочнения и глубину наклепа обработанной поверхности.

Ключевые слова: абразив, упрочнение, пластическая деформация, микротвердость

**STRAIN HARDENING OF THE METAL SURFACE LAYER
AT A CENTRIFUGAL ABRASIVE MACHINING****Makarov A.V., Sergiev A.P., Zhuravlev A.V., Makarova E.V.***Stary Oskol University named by Ugarov A.A. (branch) National University of Science
and Technology «MISiS», Stary Oskol, e-mail: tomm_sti_misis@mail.ru*

The analysis of the influence of technological parameters of centrifugal finishing and stripping treatment free of abrasive media on the degree of strain hardening and work hardening depth in the treated surface.

Keywords: abrasive, reinforcement, plastic deformation, microhardness

При внедрении вершины абразивного зерна в обрабатываемый металл волны пластического деформирования, охватывают не только срезаемый слой, но и металл, расположенный как впереди по ходу движения инструмента, так и за линией среза.

Металл вновь образованной поверхности у самой режущей кромки абразивной частицы подвергается воздействию нормальной сжимающей силы и силы трения, действующей в направлении линии среза. Нормальная сила вызывает деформацию сжатия, а сила трения – деформацию растяжения в поверхностном слое обрабатываемого материала. Таким образом, в процессе микрорезания поверхностный слой обрабатываемой детали подвергается неоднородной пластической деформации, затухающей по глубине слоя, в результате чего обрабатываемая поверхность упрочняется.

Величина наклепа зависит от степени пластической деформации его поверхностного слоя, на которую в свою очередь влияют продолжительность воздействия внешних деформирующих сил и пластические свойства деформируемого материала. Поэтому чем выше скорости пластического деформирования поверхностного слоя, тем меньше степень упрочнения поверхностного слоя. Значение микротвердости поверхностного слоя деталей оказывает большое влияние на их эксплуатационные свойства: износостойкость поверхностей при трении, усталостную прочность, кон-

тактную выносливость и коррозионную стойкость.

Различно объясняя физическую сущность процесса износа, различные авторы высказывают единое мнение о большом влиянии микротвердости поверхностного слоя на износостойкость поверхностей при трении.

Б.И. Костецкий считает, что основным видом износа металлов является окислительный [1]. При пластическом деформировании во время наклепа увеличивается диффузия кислорода в металл трущихся поверхностей с образованием твердого раствора кислорода в металле. При предельном насыщении металла кислородом образуются однородные химические соединения с высокой твердостью и хрупкостью, которые уменьшают интенсивность изнашивания.

Несколько иной подход к физической сущности процесса трения дается в работе И.В. Крагельского [2], где взаимодействие трущихся поверхностей подразделяется на два вида: механическое взаимодействие (внедрение) и молекулярное (притяжение, схватывание). Отмечается, что молекулярное взаимодействие сопутствует механическому и степень их взаимного проявления зависит от конкретных условий изнашивания. Но для снижения износа необходимо уменьшить взаимное внедрение трущихся поверхностей и ограничить молекулярное взаимодействие для предотвращения

схватывания. С этой точки зрения повышение микротвердости в результате наклепа при абразивной обработке способствует уменьшению взаимного внедрения и контактного схватывания, то есть увеличивает износостойкость трущихся поверхностей.

Износостойкость упрочненных наклепом трущихся поверхностей зависит не только от исходной микротвердости, но и от конкретных условий эксплуатации. Наклеп оказывается более эффективным в трущихся деталях при эксплуатации их с небольшими скоростями скольжения и нормальными давлениями. При высоких скоростях скольжения и больших давлениях наклеп незначительно влияет на износостойкость деталей, а в отдельных случаях (при работе в особо тяжелых условиях) может и снижать ее.

Количественной связи микротвердости с износостойкостью пока не установлено. Как подчеркивает А.А. Маталин [3], установить такую универсальную связь весьма сложно, так как резко отличаются условия испытаний материалов на твердость и условия износа деталей при трении. Так, при испытании металла на твердость вдавливанием алмазной пирамиды учитывается только пластическая деформация при статическом действии внешней нагрузки. При износе же имеют место пластическая и упругая деформации, окисление, молекулярное сцепление, скалывание, срез и усталостное разрушение при сочетании статической и динамической нагрузок. Упрочнение металла в результате наклепа при механической обработке оказывает большое влияние на усталостную прочность деталей машин. При этом наклепанный поверхностный слой детали препятствует росту существующих и возникновению новых усталостных трещин.

Характер деформации обрабатываемого материала при абразивной обработке зависит от соотношения глубины резания t и радиуса скругления вершины абразивного зерна r . От соотношения данных величин зависят значения переднего угла резания γ_i и фактического угла резания δ_i [4]:

$$\gamma_i = \arcsin \frac{r - t_i}{r},$$

$$\delta_i = 90^\circ + \arcsin \frac{r - t_i}{r},$$

где t_i – толщина снимаемого слоя в некоторой точке i .

С ростом значений данных углов эффект резания уменьшается, а степень пластической деформации обрабатываемого материала увеличивается.

В соответствии с исследованиями И.В. Крагельского переход от пластического деформирования к резанию происходит при выполнении следующего условия

$$\frac{t}{r} \geq \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2\tau}{\sigma_T} \right),$$

где τ – прочность на срез адгезиозной связи; σ_T – предел текучести металла.

При малых величинах глубины резания помимо пластического всегда имеет место и упругое деформирование поверхности обрабатываемого металла.

В работе М.М. Тененбаума [5] приводится критическое соотношение для перехода от упругого к пластическому деформированию материала

$$\frac{t}{r} > 240 \left(\frac{\sigma_T}{E} \right)^2,$$

где E – модуль упругости.

В работе [6] приведены следующие соотношения, устанавливающие зависимость перехода от одного вида разрушения обрабатываемого материала к другому при соотношении глубины резания и радиуса скругления вершины абразивного зерна: $t/r \geq 0,5$ – процесс микрорезания; $0,01 < t/r < 0,5$ – процесс пластического деформирования; $t/r < 0,01$ – процесс упругого деформирования.

Проанализируем влияние факторов абразивной обработки на степень деформации обрабатываемого материала. Радиус скругления единичного абразивного выступа находится в прямой зависимости от размеров абразивного зерна. Таким образом, рост размеров зерна увеличивает величину фактического угла резания, вследствие чего возрастает степень пластического деформирования обрабатываемого материала. Глубина внедрения абразивного выступа в поверхностный слой при заданном радиусе скругления вершины зерна определяется нормальной нагрузкой и физико-механическими свойствами обрабатываемого материала. Нормальная сила контактного давления абразивной частицы на обрабатываемую поверхность увеличивается с ростом значений следующих факторов: относительной скорости перемещения абразивного зерна, угла атаки, размеров абразив-

ных частиц [7]. Таким образом, справедливо предположить, что рост значений каждого из вышеперечисленных факторов увеличивает степень пластической деформации обрабатываемого материала.

Зависимость между технологическими параметрами процесса абразивной обработки и глубиной упрочненного слоя, которая играет решающую роль в эффективности процесса упрочнения деталей, представляет большой практический интерес. Зная эту зависимость, можно сознательно регулировать и изменять величину наклепа поверхностного слоя деталей, варьировать его параметры, добиваться оптимальных условий наклепа.

М.М. Савериным [8] была установлена зависимость глубины упрочненного слоя при дробеструйном наклепе от технологических параметров обработки и физико-механических свойств обрабатываемого материала. В частности им было установлено, что глубина и степень наклепа прямо пропорциональна скорости дроби, ее диаметру, синусу угла атаки и обратно пропорциональна квадратному корню из твердости обрабатываемого материала. Несмотря на существенные различия в процессах взаимодействия с обрабатываемой поверхностью дроби и абразивных частиц, аналогичные зависимости наблюдаются и при абразивной обработке [9].

Изменение режимов обработки, ведущее к увеличению силы нормального давления уплотненного абразивного потока на обрабатываемую поверхность при центробежной обработке приводит к возрастанию деформационного упрочнения поверхностного слоя. Основное влияние на величину силы нормального давления при отделочной обработке в поле центробежных сил оказывают следующие факторы: относительная скорость перемещения уплотненного потока рабочей среды, зернистость абразивного материала, угол атаки.

Увеличение относительной скорости абразивной частицы приводит к росту ее кинетической энергии, а также силы контактного давления на обрабатываемую поверхность, что увеличивает степень пластической деформации обрабатываемого материала.

Увеличение размеров абразивного зерна приводит к росту степени наклепа поверхностного слоя. Это происходит по двум причинам. Во-первых, с ростом размеров абразивного зерна растет кинетическая энергия абразивной частицы. Во-вторых, с ростом размеров абразивного зерна уменьшает-

ся острота режущих граней, что, приводит к снижению глубины внедрения частицы в поверхностный слой обрабатываемой детали, вследствие чего увеличивается степень пластической деформации металла.

С ростом угла атаки происходит увеличение нормальной и уменьшение касательной составляющей силы контактного давления, вследствие чего снижается вероятность микрорезания. Полезная работа, совершаемая абразивной частицей, с ростом угла атаки в большей степени затрачивается на деформационное упрочнение поверхностного слоя.

В работе [10] приведены результаты экспериментальных исследований влияния вышеперечисленных факторов на степень деформационного упрочнения и глубину наклепа. Исследования проводились на экспериментальной установке с возможностью варьирования в широком диапазоне конструктивных и технологических параметров, позволяющей реализовать центробежный способ отделочной обработки [11].

Выводы

Значения степени и глубины наклепа определяются механизмом взаимодействия абразивной частицы и обрабатываемой поверхности, который зависит от технологических режимов обработки и физико-механических свойств материала детали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костецкий Б.И. Износостойкость металлов. – М.: Машиностроение, 1980. – 52 с.
2. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
3. Маталин А.А. Технические методы повышения долговечности машин. – Киев, «Техника», 1971. – 254 с.
4. Маслов Е.Н. Основы теории шлифования металлов. – М.: Машгиз, 1951. – 179 с.
5. Тененбаум М.М. Сопrotивление абразивному изнашиванию. – М.: Машиностроение, 1976. – 387 с.
6. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин. – Киев: Техника, 1989. – 279 с.
7. Макаров А.В. Технология и оборудование для отделочно-зачистной обработки в свободных абразивных средах, уплотненных центробежными силами: дис. канд. техн. наук. – Старый Оскол, 2001. – С. 103–104.
8. Саверин М.М. Дробеструйный наклеп. Теоретические основы и практика применения. – М.: Машгиз, 1955. – 312 с.
9. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
10. Сергиев А.П., Макаров А.В., Тюрина С.В. Деформационное упрочнение поверхностного слоя металла в зоне контакта со свободным абразивным зерном // Известия ОрелГТУ. Научный журнал. Серия «Машиностроение. Приборостроение». – 2004. – № 2. – С. 31–35.
11. Сергиев А.П., Медведев Р.В., Макаров А.В., Александров А.В., Марченко Ю.В., Шаповалов А.И. Особенности динамических центробежных машин для отделочно-зачистной обработки // Вестник машиностроения. – 2001. – № 12. – С. 11–13.