

УДК 621. 793. 79. 015

UDC 621. 793. 79. 015

**ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В  
ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ДЕТАЛИ  
ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ МЕТОДАХ  
ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТНЫМ  
ПЛАСТИЧЕСКИМ  
ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

**TRANSFORMATIONS IN THE D  
ETAIL SURFACE LAYER  
AT DYNAMIC METHODS OF  
PROCESSING BY SUPERFICIAL  
PLASTIC DEFORMATION**

*С. А. Новокрещенов*

Донской государственной технической  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

[novokreschenov.sergej@yandex.ru](mailto:novokreschenov.sergej@yandex.ru)

Изучены проблемы, возникающие при применении методов центробежно-ротационной и вибрационной обработки в среде стальных шаров. Рассмотрен процесс формирования наклёпанного слоя на поверхности детали. Представлены результаты исследования появления перенаклепа при центробежно-ротационной и вибрационной обработке.

**Ключевые слова:** Остаточные напряжения, вибрационная обработка, центробежно-ротационная обработка, наклёп, упрочнение, перенаклеп.

**Введение.** Важнейшими вопросами в области машиностроения на современном этапе являются повышение эффективности обработки деталей, увеличение их работоспособности, обеспечение высокого качества и конкурентоспособности на мировом рынке. Одним из способов эффективного решения поставленных задач является использование методов упрочнения поверхностным пластическим деформированием (ППД).

Среди множества динамических методов ППД самыми распространёнными являются вибрационная отделочно-упрочняющая обработка (ВиОУО) и центробежно-ротационная отделочно-упрочняющая обработка (ЦРОУО) в среде стальных шаров. Универсальность методов обусловлена возможностью обработки деталей сложной произвольной геометрии, простотой изготовления и обслуживания технологического оборудования и т. д. [1–4].

В результате многолетних исследований выявлены основные технологические возможности ЦРОУО и ВиОУО в среде стальных шаров, определены основные конструктивные элементы и параметры таких станков. Однако существует большое количество нерешенных задач, препятствующих широкому внедрению этих технологических методов в производство. Так, например, мало исследованы вопросы формирования остаточных напряжений и повышения эксплуатационных свойств обрабатываемых деталей, влияния объема загрузки рабочей камеры станка, а также

*S. A. Novokreshchenov*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[novokreschenov.sergej@yandex.ru](mailto:novokreschenov.sergej@yandex.ru)

The article analyzes the questions arising at application of methods of centrifugal-rotary and vibrating processing in the environment of steel spheres. It considers the formation process of the work hardening layer on a detail surface. The paper provides the results of research of intense work hardening occurrence at centrifugal-rotary and vibrating processing.

**Keywords:** residual stress, vibrating processing, centrifugal-rotary processing, work hardening, hardening, intense work hardening.

требует совершенствования методика прогнозирования физико-механических свойств поверхностного слоя деталей и шероховатости обработанной поверхности.

**Остаточные напряжения в поверхностном слое при ППД.** Остаточные напряжения — это напряжения, которые остались в детали после обработки. В зависимости от объема тела, в котором рассчитывают остаточные напряжения, они условно подразделяются на остаточные напряжения:

- первого рода, уравновешенные в макрообъемах тела;
- второго рода, уравновешенные в пределах размера зерен;
- третьего рода, уравновешенные в пределах нескольких межатомных расстояний.

В зависимости от характера и интенсивности физико-механических процессов, происходящих при обработке, остаточные напряжения могут иметь различный знак:

- растягивающие (+);
- сжимающие (-).

Научными исследованиями подтверждено, что разрушение детали начинается с поверхности, а именно с поверхностных микротрещин, и поэтому очень важным является значение остаточных напряжений. Современные отделочные методы обработки позволяют обеспечить высокое качество поверхности деталей, однако, как утверждает многими исследователями [1–3], после применения методов ВиОУО и ЦРОУО остаточные напряжения всегда являются сжимающими, что отрицательно влияет на развитие микротрещин на поверхности детали и в некоторых случаях приводит к эффекту «холодной сварки». Основной причиной появления сжимающих остаточных напряжений является наклеп.

Наклеп — это упрочнение материалов из-за изменения их структуры и фазового состава в процессе пластической деформации при температуре ниже температуры рекристаллизации. Наклеп сопровождается выходом на поверхность образца дефектов кристаллической решётки, увеличением прочности и твёрдости, а также снижением пластичности, ударной вязкости, сопротивления металлов деформации противоположного знака.

Эти методы не используются в машиностроении более широко, так как существует целый комплекс нерешенных задач, одной из которых является установление времени появления перенаклепа при длительной обработке методами ВиОУО и ЦРОУО.

Из анализа различных литературных источников [1–4] можно сделать вывод, что деформирование микропрофиля шероховатости происходит следующим образом: шарик вначале воздействует на микровыступы шероховатости поверхности обрабатываемой детали, в результате чего происходит пластическое деформирование выступов, вызывающее сдвиг материала в трёх разных направлениях, причём деформация происходит в поверхностном слое детали. Образуется поверхностный наклеп. Это происходит, потому что твёрдость рабочих тел значительно выше твёрдости обрабатываемого материала [2, 4]. Затем происходит дальнейшее смятие вершин микронеровностей, шероховатость поверхности детали с течением времени изменяется до определенных пределов по экспоненциальной зависимости, а при дальнейшем продолжении процесса обработки остается без изменений некоторое время [1, 2]. Однако если продолжить обработку при тех же режимах, произойдет разупрочнение (перенаклеп) поверхности, сопровождающееся разрушением поверхностного слоя и резким увеличением шероховатости поверхности (рис. 1).

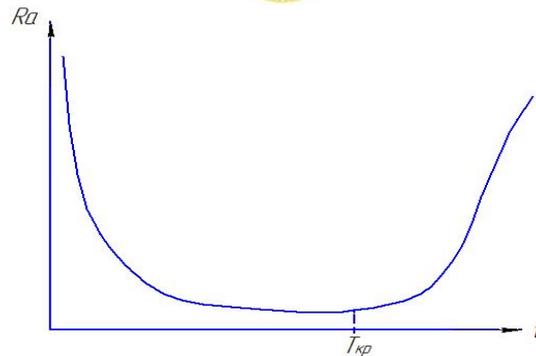


Рис. 1. Зависимость шероховатости поверхности от времени обработки

Таким образом, можно выделить три фазы деформации в зоне обработки: начальную фазу, фазу последующей обработки и фазу разупрочнения поверхности. В начальной фазе деформации неровностей шарики, соприкасаясь с выступами микрорельефа обрабатываемой поверхности, создают высокие поверхностные давления на этих выступах. В результате этого образуется внутренняя сетка линий скольжения, вдоль которой наступают пластические деформации.

В последующей фазе обработки в результате многократного ударного воздействия шариков на обрабатываемую поверхность, микрообъемы металла под действием внутренних реакций перемещаются в направлении свободных поверхностей впадин неровностей, заполняя эти впадины.

В фазе разупрочнения поверхности из-за продолжения обработки в момент времени  $T_{кр}$  происходит разрушение поверхности (рис. 2), сопровождающееся снижением микротвердости поверхностного слоя и увеличением шероховатости поверхности детали.

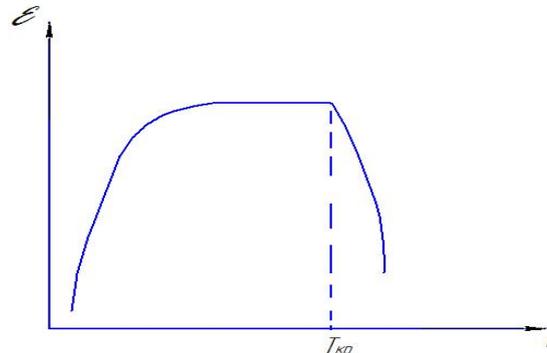


Рис. 2. Зависимость степени упрочнения от времени обработки

**Цель и задачи исследования.** При применении методов ВиОУО и ЦРОУО для достижения заданных параметров качества и физико-механических свойств поверхностного слоя деталей разработаны методики расчета технологических режимов резания и времени обработки [1, 2, 4], однако они не учитывают возникновения перенаклепа на поверхности детали от времени обработки.

Поэтому целью данной работы является определение момента возникновения перенаклепа на поверхности детали для различных материалов от времени обработки, чтобы в дальнейшем проектировать технологические процессы, учитывающие критическое время, когда происходит разупрочнение поверхности детали. Для достижения поставленной цели необходимо изучить влияние гранулированной среды, технологической жидкости, режимов обработки на время образования перенаклепа.

**Методика проведения исследований.** Экспериментальные исследования процесса ВиОУО проводились на вибрационном станке УВГ 4х10. Опыты проводились со свободной загрузкой заготовок (образцов) в рабочую камеру. Объем загрузки рабочей среды и деталей (образцов) составлял 80% объема рабочей камеры. В качестве рабочих сред использовались стальные полированные шары от шарикоподшипников диаметром 6 и 12 мм, изготовленные из стали ШХ 15 с твердостью HRC=62–64. В качестве технологической жидкости использовался 0,5 % раствор кальцинированной соды.

Экспериментальные исследования процесса ЦРОУО проводились на станке ЦРС9. Опыты проводились со свободной загрузкой образцов в рабочую камеру. Объем загрузки рабочей среды и деталей (образцов) составлял 40% объема рабочей камеры. В качестве рабочих сред использовались стальные полированные шары от шарикоподшипников диаметром 6 и 12 мм, изготовленные из стали ШХ 15 с твердостью HRC=62–64. Масса загруженных шаров диаметром  $d=6$  мм составляла 1,9 кг, шаров диаметром  $d=12$  мм — 2,2 кг.

Заготовки (образцы) — алюминиевые и латунные диски, полученные из прутков обработкой на токарном станке. Затем заготовки полировались с применением пасты ГОИ. Размеры заготовок:

1. Алюминиевая:  $d=46$  мм,  $h=8$  мм;
2. Латунная:  $d=20$  мм,  $h=8$  мм.

**Результаты экспериментов.** Из проведенных опытов следует, что при использовании технологической жидкости (ТЖ) время появления перенаклепа увеличивается (примерно в 2 раза или более). При проведении опытов ЦРОУО со стальными шарами  $d=12$  мм выяснилось (рис. 3), что без применения технологической жидкости перенаклеп возникает очень быстро (10–15 мин.), а с применением ТЖ перенаклеп возникнет позже (после 40 минут обработки перенаклеп не возник).



Рис. 3. Гистограмма, иллюстрирующая шероховатость поверхности образцов после достижения времени образования перенаклепа при ЦРОУО

При обработке в ВиОУО получено, что применение технологической жидкости также увеличивает время перенаклепа примерно в два раза (рис. 4). При этом воздействие гранулированной среды на поверхность образца не такое разрушительное, как при ЦРОУО.

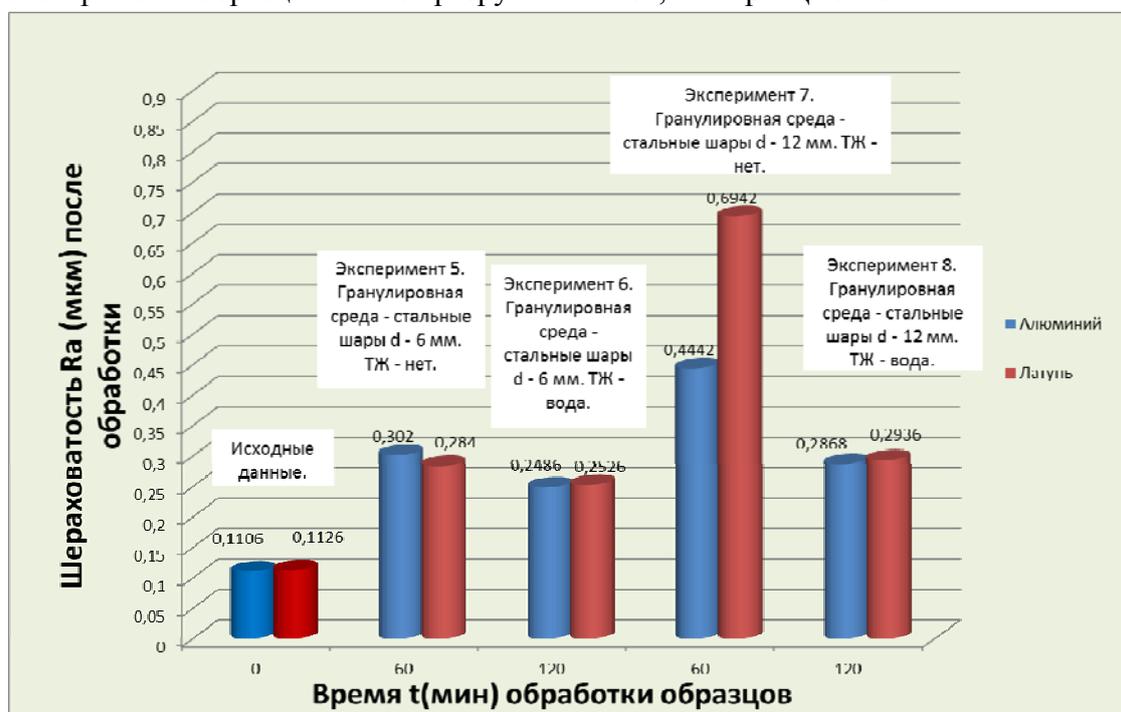


Рис. 4. Гистограмма, демонстрирующая шероховатость поверхности образцов после достижения времени образования перенаклепа при ВиОУО

**Заключение (выводы).** По результатам проведенных экспериментов установлено, что для латуни и алюминия при обработке в ЦРО, с применением ТЖ и стальных шаров  $d=6$  мм время обработки не превышает 40 мин, без ТЖ — 20 минут. Для стальных шаров  $d=12$  мм без ТЖ — 15 минут, с применением ТЖ — более 40 минут. При обработке методом ВиО с применением ТЖ и стальных шаров  $d=6$  мм время обработки не превышает 150 минут, без ТЖ — 60 минут. Для стальных шаров  $d=12$  мм без ТЖ — 60 минут, с применением ТЖ — более 120 минут.

#### Библиографический список.

1. Тамаркин, М. А. Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами : дис. ... д-ра техн. наук / М. А. Тамаркин. — Ростов-на-Дону, 1995. — 153 с.
2. Тищенко, Э. Э. Повышение эффективности отделочно-упрочняющей центробежно-ротационной обработки : дис. ... канд. техн. наук / Э. Э. Тищенко. — Ростов-на-Дону, 2004. — 147 с.
3. Tamarkin, M. A. Surface-layer quality in shot treatment / М. А. Tamarkin, E. E. Tishchenko, V. G. Lebedenko // Russian Engineering Research 30(2), pp. 144-148.
4. Сухов, М. В. Оптимизация технологических параметров вибрационной отделочно-упрочняющей обработки: дис. ... канд. техн. наук / М. В. Сухов. — Ростов-на-Дону, 2003. — 157 с.