

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ

Ю. С. Усов, Д. Н. Тагай

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель М. П. Кульгейко

Качество изделий, эксплуатационные свойства деталей машин и надежность их работы в значительной степени зависят от технологии их изготовления и в особенности – от технологии чистовой и отделочной обработки, в процессе которых формируется поверхностный слой деталей.

Одним из методов отделочной обработки, обеспечивающим существенное улучшение эксплуатационных свойств деталей машин, является алмазное выглаживание. Этот способ обработки обеспечивает благоприятное с позиции эксплуатационных свойств сочетание параметров шероховатости, микрорельефа поверхностного слоя, микротвердости, величины и характера распределения технологических остаточных напряжений при изготовлении широкого круга ответственных деталей, таких, как штоки, валы, оси и другие, изготавливаемые, как правило, из высокопрочных сталей и работающие в условиях высоких скоростей, повышенного износа и циклических знакопеременных нагрузок [1].

Актуальной научно-технической задачей является формирование перспективных направлений развития процессов выглаживания для обеспечения высоких показателей качества и ресурса деталей из различных конструкционных материалов. Основное преимущество процесса выглаживания индентором – возможность получения пластическим деформированием упрочненного слоя значительной глубины, наличие которого обеспечивает повышение ресурса деталей и изделий в целом [2].

Анализ процесса выглаживания [3] позволил установить основные значимые факторы контактного взаимодействия инструмента и заготовки, которые формируют показатели качества поверхностного слоя детали в зависимости от технологических параметров процесса:

- удельная сила контактного взаимодействия выглаживателя и заготовки в зоне очага деформации;
- трение на контактной поверхности заготовки и выглаживателя, возникающее при движении инструмента.

Удельная сила контактного взаимодействия определяется силой выглаживания, отнесенной к площади контакта выглаживателя с заготовкой, она пропорциональна глубине вдавливания и определяет толщину упрочненного слоя [2].

Для расчета силы выглаживания можно пользоваться формулой [1]:

$$P = C \cdot \varepsilon \cdot \sigma_m \cdot R^2, \quad (1)$$

где C – коэффициент, учитывающий конкретные условия обработки; $\varepsilon = h/R$ – относительная глубина внедрения; h – глубина внедрения выглаживателя; R – радиус рабочей части выглаживателя; σ_T – предел текучести обрабатываемого материала.

Практическое использование формулы (1) не всегда возможно, так как не всегда известна величина σ_T для обрабатываемого материала. Удобнее выразить сопротивление деформации поверхностного слоя металла через величину его твердости. В качестве характеристики твердости целесообразно принять твердость по Виккерсу HV как наиболее удобную характеристику, позволяющую оценить в единицах одной шкалы твердость как мягких, так и высокопрочных материалов.

Для учета масштабного фактора, связанного с соотношением радиусов инструмента и обрабатываемой детали, заменим в формуле (1) радиус инструмента R приведенным радиусом:

$$R = \left(\frac{D \cdot R}{D + R} \right)^2, \quad (2)$$

где D – диаметр обрабатываемой детали.

После указанных преобразований формула (1) примет вид:

$$P = C \cdot \varepsilon \cdot \text{HV} \left(\frac{D \cdot R}{D + R} \right)^2, \quad (3)$$

где C – коэффициент; $C = \pi$.

С увеличением приведенного радиуса выглаживания требуется создавать большие усилия в зоне контакта выглаживателя с деталью, т. е., чем больше диаметр обрабатываемой детали и радиус инструмента, тем больше усилия выглаживания. Таким образом, для конкретного обрабатываемого материала и режима обработки (при $\varepsilon = \text{const}$) сила выглаживания зависит от диаметра обрабатываемой детали.

На рис. 1 представлены графики зависимости нормальной составляющей силы выглаживания P от диаметра детали D для некоторых материалов при отделочно-упрочняющей обработке. Как следует из графиков, сила выглаживания значительно возрастает при увеличении диаметра до 50 мм для мягких материалов и до 75 мм – для твердых материалов. Более резкое увеличение усилия наблюдается с увеличением твердости материала детали. При дальнейшем увеличении диаметра детали до 100 мм нормальная составляющая силы выглаживания незначительно увеличивается и в дальнейшем практически остается постоянной.

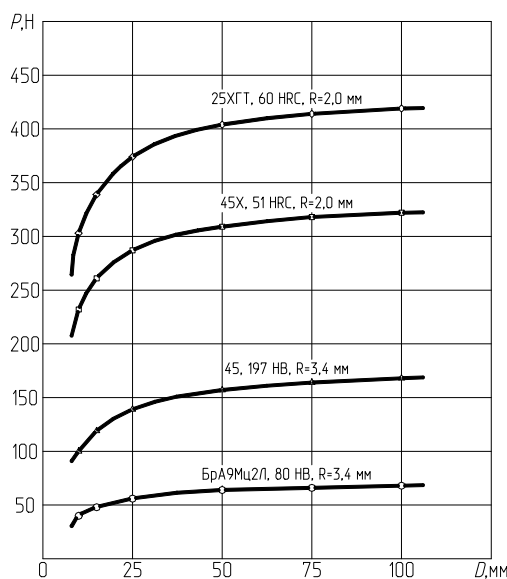


Рис. 1. Зависимость силы выглаживания P от диаметра детали D для конструкционных материалов с различной твердостью

В процессе выглаживания в зоне контакта инструмента с деталью возникают силы трения, которые влияют на процесс протекания пластической деформации, нагрев инструмента и детали, на качество обрабатываемой поверхности. Трение возникает вследствие деформирования тонкого поверхностного слоя материала обрабатываемой детали внедрившимся инструментом и преодоления адгезионных связей, возникающих между инструментом и обрабатываемой поверхностью. Установлено [4], что в случае трения в условиях пластического контакта коэффициент трения:

$$f = f_{\text{деф}} + f_{\text{адг}}, \quad (4)$$

где $f_{\text{деф}}$ – деформационная составляющая коэффициента трения; $f_{\text{адг}}$ – адгезионная составляющая коэффициента трения.

Деформационная составляющая коэффициента трения может быть рассчитана [1] по формуле

$$f_{\text{деф}} = \frac{0,31}{R} \sqrt{\frac{P}{\text{HV}}}, \quad (5)$$

или

$$f_{\text{деф}} = 0,55 \sqrt{\frac{h}{R}}. \quad (6)$$

Адгезионную составляющую коэффициента трения теоретически рассчитать трудно, поэтому ее обычно определяют экспериментально. Коэффициент трения при выглаживании определяется опытным путем как отношение тангенциальной силы P_z к нормальной силе P_y . В наибольшей степени на величину коэффициента трения влияют вид обрабатываемого материала и глубина внедрения (или функционально связанная с ней сила выглаживания).

На рис. 2 представлены графики зависимости коэффициента трения $f_{\text{тр}}$ и его деформационной составляющей $f_{\text{деф}}$ от силы P при алмазном выглаживании некоторых сталей. Значения деформационной составляющей коэффициента трения $f_{\text{деф}}$ рассчитаны по формуле (5). Адгезионная составляющая принята $f_{\text{адг}} = 0,035$ – для закаленных сталей и $f_{\text{адг}} = 0,05$ – для нормализованных сталей [1].

При увеличении силы выглаживания коэффициент трения и его деформационная составляющая растут, а адгезионная составляющая остается примерно постоянной (рис. 2). Аналогичный вид имеет зависимость коэффициента трения от глубины внедрения выглаживателя.

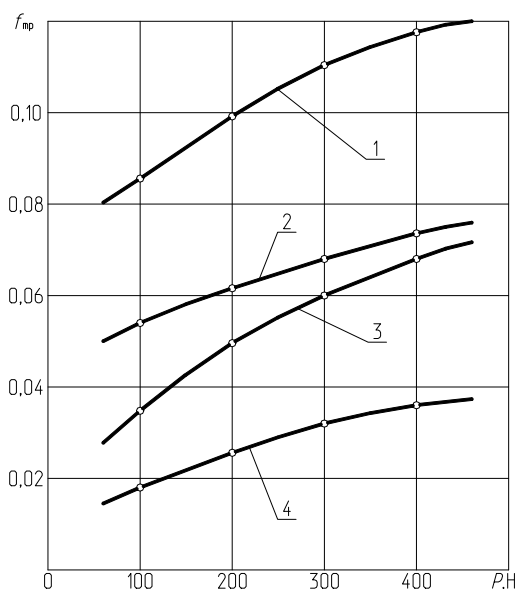


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения $f_{\text{тр}}$ (1 и 2) и его деформационной составляющей $f_{\text{деф}}$ (3 и 4) от силы P :
 1, 3 – сталь 25ХГТ; 60 HRC; $R = 2,0$ мм;
 2, 4 – сталь 45; 197 HB; $R = 2,0$ мм

Коэффициент трения зависит также от твердости обрабатываемого материала. Установлено, что с увеличением твердости коэффициент трения уменьшается, что объясняется уменьшением его деформационной составляющей [см. формулу (6)].

Таким образом, в результате исследований определены зависимости силы выглаживания P от диаметра детали D и коэффициента трения $f_{\text{тр}}$ от силы P для некоторых широко применяемых материалов. Установлено, что с увеличением диаметра деталей до 50 мм требуемая сила P возрастает, а в дальнейшем остается практически на том же уровне. С увеличением силы выглаживания P коэффициент трения $f_{\text{тр}}$ и его деформационная составляющая $f_{\text{деф}}$ возрастают. Значительное увеличение $f_{\text{деф}}$ наблюдается при увеличении силы P до 400–500 Н.

Литература

1. Торбило, В. М. Алмазное выглаживание / В. М. Торбило. – М. : Машиностроение, 1972. – 105 с.
2. Чепан, П. А. Эксплуатационные свойства упрочненных деталей / П. А. Чепан, В. А. Андрияшин. – Минск : Наука и техника, 1988. – 192 с.
3. Титов, В. А. Повышение ресурса изделий из титановых сплавов методом алмазного выглаживания / В. А. Титов, А. В. Титов // Кузнечно-штамповочное пр-во. – 2010. – № 4. – С. 18–24.
4. Михин, Н. М. Трение в условиях пластического контакта / Н. М. Михин. – М. : Наука, 1968.