

нению только путем обкатки без термической обработки. В каждой партии было принято по десять образцов.

После упрочнения все образцы были испытаны на усталостную долговечность при чистом изгибе и симметричном цикле нагружения. Испытания проводились на машине МУИ-6000 с номинальным напряжением в расчетном сечении, равным 58 МПа.

В результате испытаний было установлено, что наибольшую долговечность показали образцы, прошедшие двукратное механико-термическое упрочнение наружной поверхности. В среднем их долговечность превышала на 20-25% долговечность образцов, упрочненных только обкаткой, и составила в среднем $31,8 \times 10^6$ циклов.

Исходя из этого, можно сделать заключение, что упрочнение титановых сплавов методом ППД не исчерпывает возможности поверхностного упрочнения; многократное механико-термическое упрочнение наружной поверхности позволяет достигнуть большей долговечности при циклическом нагружении.

Л и т е р а т у р а

1. О д и н г И.А. Теория дислокации и ее применение.-М.:Машиностроение, АН СССР, 1959.
2. И в а н о в а В.С., Г о р д и е н к о Л.К. Новые пути повышения прочности металлов.-М.:Наука, 1964.
3. Г о р д и е н к о Л.К. Субструктурное упрочнение металлов и сплавов.-М.:Наука, 1973.
4. В а н Б ю р и н. Дефекты в кристаллах.-М.: ИЛ, 1962.

УДК 621.787.4

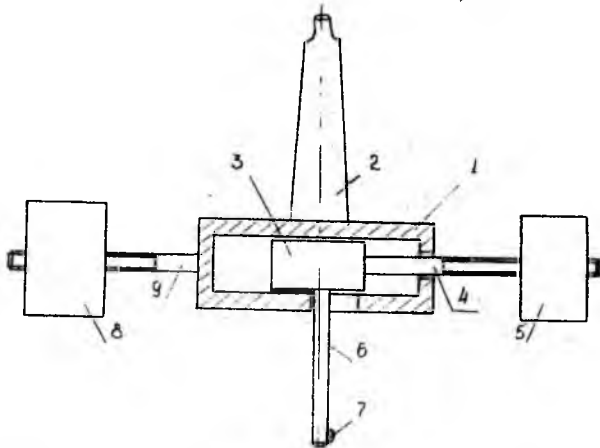
С.Р. А б у л ь х а н о в

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ОТВЕРСТИЙ
МАЛОГО ДИАМЕТРА В ДЕТАЛЯХ ИЗ СТАЛИ 12Х18Н9Т
ПРИ ОБРАБОТКЕ АЛМАЗНЫМ ВЫГЛАЖИВАНИЕМ

Алмазное выглаживание относительно новый, но уже достаточно распространенный способ отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностно-пластическим деформированием. Оно отличается простотой применяемого инструмента (ныжонецник, заправленный по сфере с $R_{сф} = 1,5-3$ мм),

приспособления (упругие и пружинные оправки) и оборудования (токарные, сверлильные и расточные станки). Алмазный инструмент имеет очень высокую твердость, теплопроводность, низкую шероховатость (10–13 класс), высокую износостойкость и допускает большие скорости скольжения (до 7 м/с).

Для выглаживания отверстий малого диаметра (5–15 мм) создано инерционное приспособление, изображенное на рис.1. В основу работы



Р и с. 1. Приспособление для алмазного выглаживания отверстий малого диаметра: 1 – корпус; 2 – хвостовик; 3 – бегунок; 4 – штанга; 5 – инерционный груз; 6 – шток; 7 – алмазный индентор; 8 – противовес; 9 – штанга

приспособления положен принцип использования центробежной силы. Приспособление состоит из корпуса 1 с коническим хвостовиком 2, с помощью последнего оно крепится в шпинделе станка. В направляющих корпуса 1 перемещается бегунок 3, к которому прикрепляется штанга 4 с инерционным грузом 5. Последний для регулирования центробежной силы может перемещаться по резьбе. С бегунком 3 также связан жестко шток 6 с алмазным индентором 7. При вращении приспособления инерционный груз 5 смещается вместе с бегунком, поэтому алмазный индентор прижимается к обрабатываемой поверхности отверстия и воздействует на нее с силой

$$P_y = F_y = m \omega^2 z,$$

где m – масса инерционного груза, кг; z – радиус, на который отстоит центр масс инерционного груза от оси приспособления, м; ω – циклическая частота вращения приспособления.

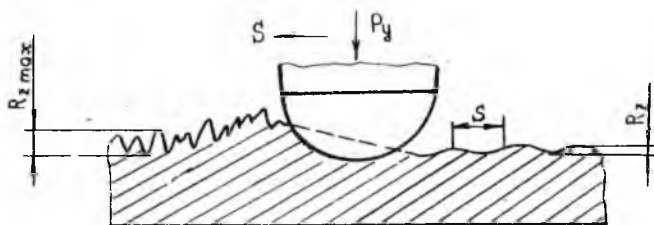
Приспособление оснащено противовесом 8, который установлен на штанге 9, последняя укреплена на корпусе I. Противовес имеет возможность перемещаться вдоль штанги по резьбе. Оснащение приспособления противовесом 8 исключает упругие отжимы шпинделя и автоколебания системы.

Вращение приспособления и его осевая подача обеспечивают равномерное выглаживание не только цилиндра отверстия, но и его радиусных фасок, а также переходных конусов ступенчатых отверстий. Наличие в приспособлении инерционного груза позволяет избежать необходимости предварительной тарировки. Необходимая сила выглаживания P_y рассчитывается аналитически и настраивается изменением расположения инерционного груза 5 на штанге 4, а также изменением частоты вращения приспособления. Кроме того, небольшие изменения действительных размеров обрабатываемого отверстия не сказываются на силовом режиме обработки.

На основании имеющихся работ [1,2] формирование поверхности при алмазном выглаживании представляется следующим образом (рис.2).

Сферический индентор прижимается к детали с силой P_y , внедряется в нее на некоторую глубину $h \geq R_{max}$ и скользит по поверхности. Металл, приведенный в пластическое состояние, течет огибая индентор и образует наплывы в виде подложных валиков впереди и с боков индентора. Через несколько оборотов оправки размеры наплывов стабилизируются, процесс обработки происходит равномерно, шероховатость значительно снижается.

Регулирование характеристик состояния поверхностного слоя легко осуществляется в широком диапазоне за счет выглаживания P_y , радиуса сферы $R_{сф}$, подачи S и числа проходов i , что позволяет надежно обеспечить заданное качество поверхностного слоя.



Р и с. 2. Схема деформирования микронеровностей поверхности при алмазном выглаживании

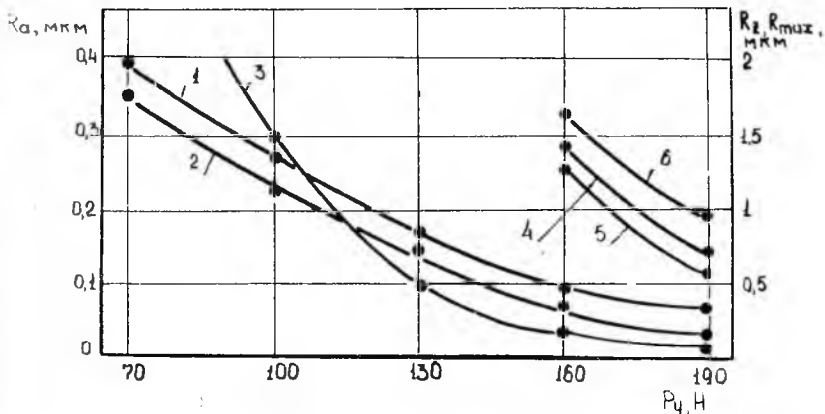
В статье приводятся результаты исследований шероховатости при алмазном выглаживании отверстий диаметром 10 мм в образцах из стали 12Х18Н9Т. Определение параметров шероховатости проводилось с помощью профилометров-профилографов моделей 201 и 252. Для выглаживания использовался искусственный алмаз с радиусом $R_{сф} = 1,5$ мм. На рис.3 показана зависимость R_a , R_z , R_{max} от силы выглаживания P_y . Как видно, с увеличением силы P_y от 70 до 160 Н высотные параметры шероховатости поверхности, предварительно обработанной зенкером, уменьшаются более чем в 5 раз. Дальнейшее увеличение силы P_y мало улучшает шероховатость поверхности. Такая зависимость параметров шероховатости от силы выглаживания может быть объяснена следующим образом.

В области небольших P_y (до 70 Н) происходит лишь частичное снятие микронеровностей, о чем свидетельствуют остаточные гребешки на обработанной поверхности. При расширении области пластического контакта за счет увеличения P_y характер процесса обработки меняется: микронеровности полностью снимаются, что объясняет уменьшение параметров шероховатости при варьировании P_y в диапазоне от 70 до 160 Н. Дальнейшее увеличение силы P_y не приводит к значительной дополнительной деформации металла.

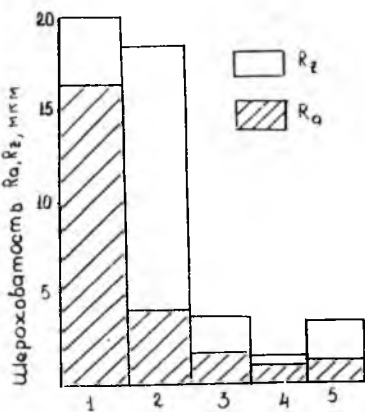
В результате течения металла на обработанной поверхности формируются новые микронеровности с равномерным волнистым профилем небольшой высоты и с шагом, равным величине подачи инструмента. Алмазное выглаживание отверстий непосредственно после сверления с силой $P_y = 100...190$ Н также существенно снижает шероховатость и обеспечивает $R_a = 0,2-0,5$ мкм, $R_z = 0,6-1,5$ мкм. Однако эти величины в два раза больше соответствующих параметров, полученных при использовании алмазного выглаживания после зенкерования. Это может быть объяснено тем, что после сверления имеют место более грубые микронеровности, которые при данных силах полностью не проглаживаются.

На рис.4 приведены диаграммы R_a и R_z после различных видов обработки отверстий. По высотным характеристикам R_a и R_z наилучшие показатели имеют образцы, обработанные сверлением, зенкерованием ($P_y = 160$ Н). Высотные параметры в два раза меньше, чем в случае применения развертывания.

Представляют также интерес образцы, первоначально обработанные сверлением, а затем выглаживанием ($P_y = 190$ Н). По высотным характеристикам шероховатости эти образцы могут конкурировать с образцами, подвергнутыми зенкерованию и развертыванию. А это значит, что из



Р и с. 3. Влияние силы выглаживания P_y на R_a , R_z , R_{max}
 1, 2, 3 - после сверления, зенкерования и выглаживания;
 4, 5, 6 - после сверления и выглаживания



Р и с. 4. Диаграмма шероховатости обработанной поверхности после различных видов обработки: 1 - сверление ($D = 10$ мм, $v_p = 0,8$ м/с, $S = 0,14$ мм/с); 2 - сверление + зенкерование ($D = 9,77$ мм, $v_p = 0,08$ м/с, $S = 0,14$ мм/с); 3 - сверление + зенкерование + развертывание ($D = 10$ мм, $v_p = 0,06$ м/с, $S = 0,01$ мм/с); 4 - сверление + зенкерование + выглаживание ($R_{сф} = 1,5$ мм, $P_y = 160$ Н, $v_p = 0,05$ мм/с, $v_p = 0,06$ м/с); 5 - сверление + выглаживание ($R_{сф} = 1,5$ мм, $P_y = 190$ Н, $S = 0,04$ мм/с, $v_p = 0,1$ м/с)

технологического процесса может быть исключена одна технологическая операция - зенкерование.

В результате проведенных работ сделаны следующие выводы:

1. При поверхностном упрочнении отверстий $D = 10$ мм в сплаве 12Х18Н9Т алмазным выглаживанием шероховатость поверхности зависит от силы выглаживания P_y и находится в пределах $R_a = 0,4 - 0,07$ мкм.

2. Использование алмазного выглаживания отверстий малого диа-

метра позволяет по сравнению с традиционными комплексными методами обработки отверстий без увеличения трудоемкости уменьшить шероховатость поверхности и улучшить ее микрорельеф.

Л и т е р а т у р а

1. М и т р я е в К.Ф., Е г о р о в В.И. Влияние поверхностного упрочнения на выносливость жаропрочных сталей. Материалы научно-технической конференции 10-13 октября 1972 г.—Куйбышев: КуАИ.
2. П а п ш е в Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием.—М.:Машиностроение, 1978.