

В. В. АБРАМОВ, Н. В. УРУСОВ, К. М. МИРЗОЕВ, Н. А. НЕРЕТИН

ВЫГЛАЖИВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПЛОСКИМ САПФИРОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ В ВАКУУМЕ

Одним из путей повышения точности размеров, чистоты сопрягаемых поверхностей, их износостойкости, контактной усталости является применение выглаживания металлических поверхностей сверхтвердыми синтетическими материалами [1—3]. Сущность процесса чистового выглаживания состоит в том, что наконечник из сверхтвердого материала (алмаз, сапфир, рубин и пр.), прижатый с определенным усилием к предварительно механически обработанной поверхности ($\nabla 5 \div \nabla 8$), скользит по ней. Пластическое течение материала приводит к сглаживанию гребешков микронеровностей и заполнению впадин микропрофиля. При этом наблюдается упрочнение поверхностного слоя металла, изменение фазового состава, образование и последующее отслаивание чешуек, неравномерное распределение остаточных напряжений и другие явления, особенно нежелательные в устройствах точной механики. Кроме того, при принятой схеме ведения процесса возникают трудности получения поверхности 13—14 класса чистоты. Получение таких поверхностей без инородных включений методами шлифования с последующей полировкой затруднено.

Металлическая поверхность высокого класса чистоты может быть получена за счет пластической деформации микровыступов, обработанных путем воздействия на поверхность плоским инструментом с высоким классом чистоты ($\nabla 14$) собственной поверхности.

Обработку металлической поверхности осуществляют следующим образом [4]. Деталь помещают в камеру (рис. 1), в которой создается вакуум или контролируется атмосфера, и нагревают до температуры процесса ($T_{пр} \leq 0,5 T_{пл}$ С). К обрабатываемой поверхности через пластину прикладывают сжимающее осевое давление. Длительность воздействия давления может колебаться от нескольких секунд до десятков минут и определяется физико-механическими свойствами обрабатываемого материала, его состоянием, величиной приложенного давления и температурой процесса. Интенсифицировать процесс чистовой обработки металлических поверхностей можно путем изменения характера воздействия сжимающего давления или температуры. Так, термоциклирование на этапе установившейся ползучести или в области фазовых превращений, а также циклическое воздействие давления на этапе неустановившейся ползучести или ступенчатое увеличение его на установившемся

этапе приводят к более интенсивному сглаживанию микровыступов и, таким образом, ускоряют процесс чистовой обработки металлических поверхностей. В процессе чистовой обработки металлической поверхности происходит изменение высоты микровыступов и повышение класса обработки. Наряду с изменением топографии поверхности металла и механических свойств, пластическая деформация изменяет физико-химическую активность обрабатываемой поверхности и приконтактных объемов. Знание кинетики сглаживания микронеровностей на поверхностях металлов при чистовой обработке ее плоским твердым инструментом в условиях сжимающего давления и высоких температур позволяет разрабатывать оптимальную технологию обработки и управлять технологическим процессом.

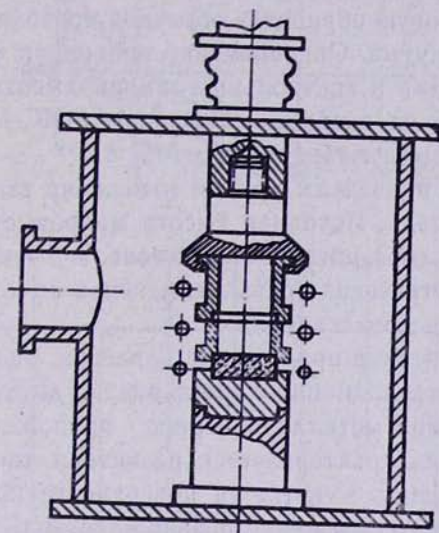


Рис. 1. Схема устройства для чистовой отделочной обработки плоским сапфировым инструментом.

Важным условием ведения процесса является применение плоского инструмента, изготовленного из материала, обладающего достаточно высокой твердостью и сопротивляемостью пластическому деформированию. В качестве материала такого инструмента нами был применен оптически прозрачный, плоско-параллельный, синтетический, монокристаллический сапфир. Поверхность сапфира была обработана до 14 класса чистоты. Выбор сапфира обусловлен тем, что чистая окись алюминия обладает исключительно высокой твердостью (9 ед. по Моосу) и сопротивляемостью пластическому деформированию. При $T=1300^{\circ}\text{C}$ и $P=1,0 \text{ кг/мм}^2$ скорость ползучести сапфира (Al_2O_3) составляет величину $0,5 \cdot 10^{-24} \text{ сек}^{-1}$ [5].

Кинетику сглаживания микровыступов изучали путем сопоставления профилограмм, снятых с фиксированных участков поверхности до и после обработки ее плоским сапфировым инструментом с высоким классом чистоты обработки собственной поверхности ($\nabla 14$). Скорость

нагрева сапфира и обрабатываемого металла, величина сжимающего давления определялись с учетом различия их механических и теплофизических свойств. После заданной выдержки образца под давлением при температуре процесса детали охлаждают и с фиксированного участка вновь снимают профилограмму. Путем сопоставления профилограмм, полученных до и после обработки поверхности плоским сапфировым инструментом, судят об изменении высоты H микровыступов и величины контактных площадок под вершинами микровыступов, образующихся за счет выпрямления волны микронеровностей при пластической деформации металла.

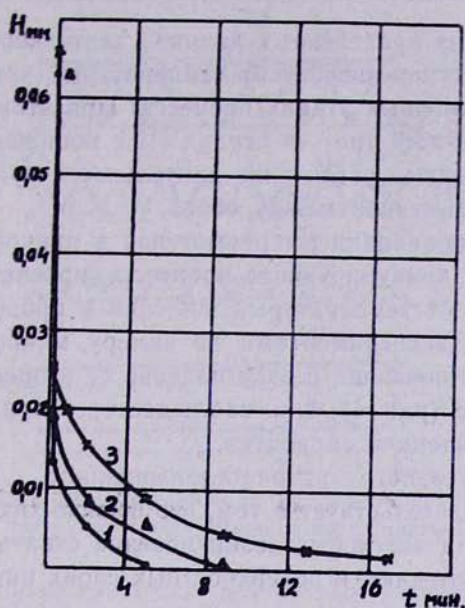
Кинетику сглаживания микровыступов на обрабатываемой поверхности изучали при температуре $700 \div 900^\circ\text{C}$ и давлении сжатия $2,0 \div 0,5 \text{ кг/мм}^2$. Чистовую обработку образцов проводили в специальном приспособлении в вакууме. Одновременно проводили фотографирование фиксированного участка и контрольные замеры высоты и ширины основания микровыступов на двойном микроскопе МИС-11. В качестве модельного материала была выбрана медь МБ.

На рис. 2, а и б приведены кривые изменения высоты микровыступов на поверхности меди. Исходная высота микровыступов после механической обработки строганием соответствовала 3 классу и составляла $70 \div 80 \text{ мкм}$. На кинетических кривых изменения высоты микровыступов меди можно отметить три стадии.

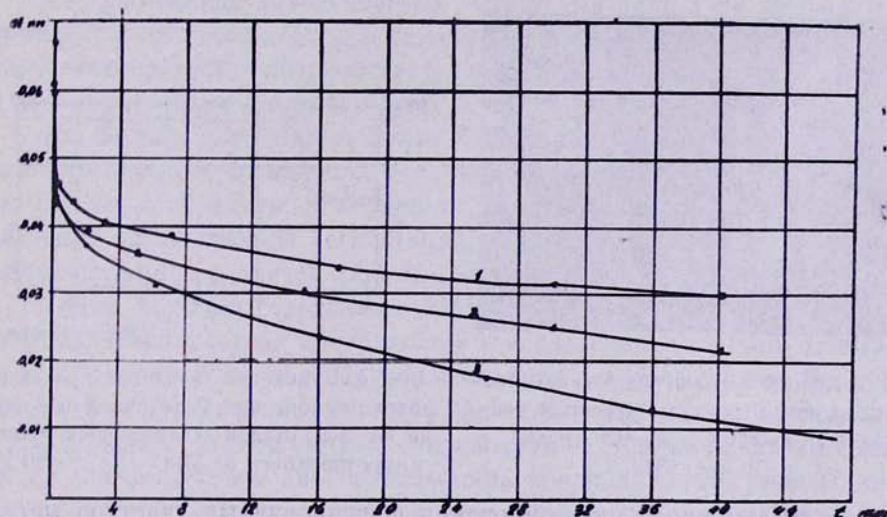
Первая стадия (период приложения давления, равный 10 сек и принятый за ноль отсчета времени) характеризует активную деформацию приконтактных объемов металла в период приложения сжимающего давления. Эта стадия характеризуется развитием тонких линий скольжения, однородно расположенных на поверхности кристалла (рис. 3). В этот период времени скольжение развивается только по одной системе плоскостей [6], под действием приложенных напряжений дислокации беспрепятственно перемещаются и выходят на поверхность кристалла, образуя деформационный микровыступ (ступеньку), который можно рассматривать как активный центр. Степень упрочнения при легком скольжении на этой стадии процесса обычно мала по сравнению со степенью упрочнения, наблюдаемой на последующих этапах процесса.

Результаты экспериментов показывают, что наиболее интенсивно уменьшение высоты микровыступов происходит в первые моменты времени. Уменьшение высоты микровыступов за этот период времени может составлять $50 \div 80\%$ в зависимости от параметров процесса, высоты и формы микронеровностей. Кроме того, интенсивность сглаживания микровыступов в период приложения сжимающего давления зависит и от динамических свойств системы нагружения установки.

Вторая стадия сглаживания микровыступов происходит в условиях, приблизительно соответствующих этапу неустановившейся ползучести. Она характеризуется высокой интенсивностью, которая с течением времени быстро уменьшается. В этот период времени частота и плотность выхода дислокаций на поверхность кристалла непрерывно увеличивают-



а



б

Рис. 2. Кинетические кривые сглаживания микровыступов меди:

а — $P = 2,0 \text{ кг/мм}^2$; 1 — $T = 800^\circ\text{C}$; 2 — $T = 750^\circ\text{C}$; 3 — $T = 700^\circ\text{C}$;б — $P = 0,5 \text{ кг/мм}^2$; 1 — $T = 700^\circ\text{C}$; 2 — 800°C ; 3 — 900°C .

ся, что обуславливает снижение интенсивности пластической деформации. Экспериментальные данные, приведенные на рис. 2, говорят о том, что в процессе сглаживания микровыступов происходит смена механизмов, контролирующих пластическую деформацию приповерхностных объемов металла, приводящих к изменению интенсивности.

Третья стадия процесса сглаживания микровыступов соответствует этапу установившейся ползучести и характеризуется постоянной скоро-

стью. Как следует из приведенных данных, длительность полного сглаживания микровыступов зависит от температуры (при $P = \text{const}$) и заканчивается на различных этапах процесса. При этом можно отметить увеличение длительности третьей стадии III с понижением температуры и давления. Дальнейшее увеличение длительности процесса приводит к свариванию микровыступов между собой.

В процессе сглаживания микровыступов в приконтактных объемах металла протекают конкурирующие процессы упрочнения и разупрочнения в зависимости от температуры, давления и продолжительности.

Специальными экспериментами по замеру микротвердости в приконтактном объеме показано резкое падение ее в приповерхностном обрабатываемом слое (рис. 4), т. е. наблюдается разупрочнение, что связано с рекристаллизацией обработки.

Глубина переходного рекристаллизованного слоя составляет $2 \div 3$ мкм. Это свидетельствует о том, что физико-химические процессы, обуславливающие, в частности, возникновение схватывания при сварке в твердой фазе, протекают в поверхностных слоях приконтактных объемов металлов.



Рис. 3. Полосы скольжения на поверхности меди после контактирования с саффором. $T=850^\circ\text{C}$; $P=0,5 \text{ кг/мм}^2$; $\tau=10 \text{ сек}$ $\times 340$.

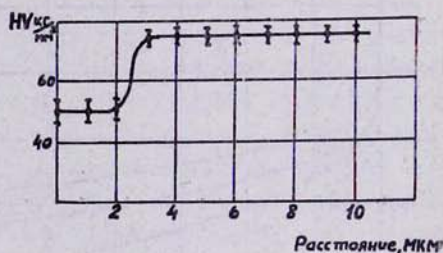


Рис. 4. Изменение твердости меди в переходной зоне при отделочной обработке на 3-й стадии сглаживания (замер микротвердости на ПМТ-3, $P=50 \text{ г}$).

Результаты профилографирования фиксированных участков металлических поверхностей и фрактографических исследований позволяют отметить 4 этапа смятия микровыступов (рис. 5) в процессе их пластического деформирования при отделочной обработке:

- 1 — смятие вершин отдельных микронеровностей (рис. 5, а, б);
- 2 — массовое образование микроучастков контакта (рис. 5, в, г).

Этот процесс обусловлен свариванием между собой боковых образующих, как правило, двух-четырех микровыступов, в результате чего образуется дискретный микроучасток плоского контакта. Дискретные микроучастки плоского контакта возникают на отдельных контактных участках и образование их постепенно распространяется на всю обрабатываемую поверхность;

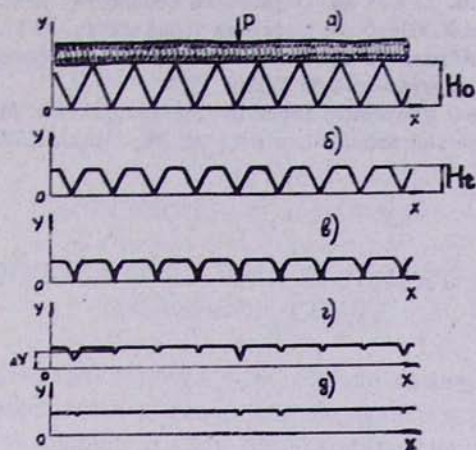


Рис. 5. Схема смятия микровыступов на поверхности при отделочной обработке плоским сапфировым инструментом.

3 — слияние образовавшихся дискретных микроучастков контакта и образование полного контакта по плоской поверхности (рис. 5, г);

4 — растекание поверхностных слоев металла (что, по-видимому, приводит к интенсификации и изменению физико-химического состояния на контактируемых поверхностях) и развитие пластической деформации в глубинные объемы металла (рис. 5, д).

На первых трех этапах, когда деформация локализуется в приконтактных объемах материала, величина деформации существенно зависит от класса обработки поверхности, температуры и давления. При этом значения относительной деформации микрорельефа обработки и объемной деформации разнятся на несколько порядков.

Таким образом, предложен новый способ отделочной обработки плоских металлических поверхностей с исследованием влияния температуры и давления на кинетику сглаживания микровыступов. На основе профилографирования и фрактографических исследований предложена схема основных этапов смятия микровыступов. Знание кинетики сглаживания микровыступов дает возможность контролировать процесс чистовой обработки и завершать его на определенном этапе процесса.

Разработанные в настоящее время промышленностью способы изготовления крупных монокристаллов сапфира позволят широко использовать его для прецизионной обработки и получения особо чистых поверхностей деталей и узлов в приборостроении.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Торбило. Процесс алмазного выглаживания и его эффективность. Сб. «Новые процессы обработки резанием». М., «Машиностроение», 1968.
2. Л. А. Хворостухин, Н. В. Плешивцев, В. Н. Бибаев. Отделочно-упрочняющая обработка алмазным выглаживанием. «Вестник машиностроения», № 8, 1969.

3. Л. Н. Грацианский, М. Т. Согоян. Отделочная обработка деталей синтетическими рубином и сапфиром. «Приборы и система управления», № 11, 1967.
4. Н. В. Урусов, В. В. Абрамов и др. Способ отделочной обработки металлических поверхностей. Авт. свидетельство № 350640, 1972.
5. Д. Дорн. Сб. «Вакансии и точечные дефекты», Металлургиздат, М., 1961.
6. Р. Хоникомб. Пластическая деформация металла. М., «Мир», 1972.