

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
ПРИ ФИНИШНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ**

© 2016 Н.В. Носов, Ю.А. Шилова, Н.В. Лысенко

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 20.09.2016

В статье показана область применения финишной абразивной обработки, обеспечивающая точность размеров и формы поверхности, кроме того обеспечивается оптимальная шероховатость округлой формы неровностей и небольшим упрочнением.

Ключевые слова: хонингование, режимы резания, шероховатость, характеристика брусков, качество поверхности.

Эксплуатационные свойства деталей машин существенно зависят от точности и параметров качества поверхностного слоя, которое определяется геометрическими и физико-механическими характеристиками (шероховатость, остаточные напряжения, структурные состояния и степень наклепа). Выявление физической природы и механизма формирования свойств поверхностного слоя при абразивной обработке брусками с целью сознательного управления, качеством поверхности при высокой производительности является одной из важных задач технолога.

Для классических методов финишной обработки – хонингование, суперфиниширование, доводка – характерно равенство радиусов инструмента и заготовки, при котором достигается максимальная точность обработки и наименьшая высота волнистости.

В результате обработки экспериментальных данных получены зависимости для определения среднеарифметического отклонения профиля для предварительного и отделочного хонингования [1].

Установлено, что при предварительном хонинговании в зависимости от режимов обработки рельеф режущей поверхности имеет свои, характерные для данного режима, высотные характеристики на фиксированном уровне. Исследования показали, что режимы обработки непосредственно через геометрию рельефа брусков оказывают влияние на параметры шероховатости обработанной поверхности.

Так увеличение удельного давления брусков от 40 до 100 МПа изменяет параметр среднеарифметического отклонения профиля R_a с 2,8 до 4,2 т.е. в 1,5 раза, одновременно с этим растет значение параметра R_{max} .

Носов Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения». E-mail: tms@samgtu.ru

Шилова Юлия Александровна, аспирант кафедры «Технология машиностроения».

Лысенко Николай Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения».

При изменении концентрации алмазов в алмазном слое бруска от 50 до 100%, значение R_a уменьшается с 3,7 до 3,15 мкм. Первое связано с тем, что с ростом удельного давления брусков, с одной стороны, возрастает средний уровень выступают зерен над связкой и высота сглаживания рельефа, с другой стороны, увеличиваются нагрузки на режущие зерна, а при увеличении концентрации алмазов, наоборот, высотные параметры режущей поверхности и нагрузки снижаются, при этом микрорельеф обработанной /поверхности формируется с меньшей шероховатостью.

При отделочной обработке иначе влияют на микрогеометрические характеристики обработанной поверхности. Установлено, например, что наибольшее влияние на R_a и R_{max} оказывают удельное давление брусков и время хонингования, а в меньшей степени – скорости резания и зернистость брусков. Сравнительно высокая шероховатость обработанной поверхности при давлении брусков в диапазоне 40-60 кгс/см² объясняется удалением следов исходной шероховатости, т.е. технологической наследственностью. При хонинговании с удельным давлением 80-100 МПа следы исходной шероховатости устраняются полностью и возникающая шероховатость ($R_{max}=1,65-2,25$ мкм, $R_a=0,12$ мкм) обеспечивается глубиной внедрения режущих зерен в обрабатываемую поверхность. При этом следует отметить, что в конце цикла обработки сьем металла практически прекращается, а процесс микрорезания трансформируется в процесс микровыглаживания обработанной поверхности алмазными зернами.

Сказанное выше хорошо подтверждается экспериментальными данными изменения исходных параметров шероховатости в зависимости от времени обработки. Установлено, что в первые 30 секунд хонингования исходное значение R_a снижается с 3,7 мкм до 0,15 мкм, т.е. в 24,6 раза, в течение последующих 30 секунд шероховатости уменьшается незначительно и составляет 0,12

Таблица 1. Микрогеометрические характеристики поверхностей при хонинговании крупнозернистыми брусками САМ 400/315, МСЗМ, 50% с последующей обработкой брусками АСО 80/63, 50% на эластичной связке Р9

Режимы обработки	Параметры шероховатости									
	Предварительная обработка				Отделочная обработка ρ					
$P, Н/см^2$	R_a	R_{max} мкм	S_m мм	$t_{p1,5}$ %	R_a	R_{max} мкм	S_m мм	$t_{p1,5}$ %	$\rho_{ср}$ мкм	β град
40	2,8	7,2	0,14	14	0,28	3,7	0,9	44	175	2° 34'
60	3,1	8,7	0,14	10	0,17	2,4	2,1	56	395	2° 10'
80*	3,7	9,7	0,14	8	0,12	2,25	2,6	75	460	2° 02'
100	4,1	11,3	0,14	6	0,12	1,65	3,0	97	615	
$v_0, м/мин$										
20	3,9	10,6	0,15	6	0,13	2,7	2,0	64	325	2° 24'
30*	3,7	9,7	0,14	8	0,12	2,25	2,6	75	460	2° 02'
40	3,2	8,6	0,14	12,5	0,12	1,9	3,5	87	1060	1° 15'
50	2,9	7,9	0,14	15	0,12	1,7	5,0	95	2650	0° 47'
$v_1, м/мин$										
4	3,3	8,9	0,14	12,5	0,16	2,1	3,7	84	1164	1° 12'
8*	3,7	9,7	0,14	8	0,12	2,25	2,6	75	460	2° 02'
12	4,1	10,5	0,15	6,5	0,12	2,3	2,4	64	439	2° 01'

Примечание: * отмечены постоянные факторы режима резания в других сериях опытов. Время обработки $\tau=60$ с.

мкм. За первую минуту обработки с поверхности детали удаляется припуск 34 - 36 мкм на диаметр, в дальнейшем съём металла снижается в 3,5 - 4 раза и составляет всего несколько микрометров.

Анализ полученных данных по замеру геометрии режущих зерен марки АСО и сопоставление их с наибольшей высотой неровностей профиля обработанной поверхности R_{max} при отделочном хонинговании позволяет сделать заключение, что значение отношения h/ρ стремится к пределу 0,38 - 0,27, при котором обеспечивается быстрый переход от микрорезания к преобладающему пластическому деформированию.

Проведены исследования субмикрорельефа обработанной поверхности после различных видов абразивной обработки. Электронно-микроскопические исследования проводили на микроскопе УМВ 100К с помощью угольно-хромовых реплик. Установлено, что субмикрорельеф обработанной поверхности после шлифования алмазными и абразивными кругами и предварительного хонингования характеризуется глубокими единичными рисками, вырывами, надирами. Отделение стружки от основного металла происходит с образованием рваной поверхности с наличием мелких трещин и уступов, что свидетельствует об активном протекании процесса адгезионного схватывания инструментального и обрабатываемого материалов. Кроме того, при абразивном шлифовании титановых сплавов кругами 63С40 СМ1К6 происходит шаржирование обработанной поверхности частицами

зерен инструментального материала, которые прочно удерживаются на поверхности образца и обезжириванием полностью не удаляются. Этот факт, как известно, оказывает отрицательное влияние на работоспособность пар трения и на прочность сцепления покрытий с обработанной поверхностью.

Существенной особенностью процесса отделочного хонингования абразивными брусками 63С на эластичной связке ФК является непрерывное самозатачивание брусков, а следовательно, и непрерывное резание металла, поэтому обработанная поверхность по характеру формирования близка к поверхности после микрорезания со слабыми следами адгезионного схватывания, о чем свидетельствует состояние субмикрорельефа.

При отделочном хонинговании алмазными брусками субмикрорельеф обработанной поверхности представляет собой слабо выраженный рельефный рисунок без трещин и сколов.

На поверхности образца после отделочного хонингования видны отдельные неглубокие риски и наслоения на поверхности среза в виде следов нерегулярного микрорельефа, что свидетельствует о пластической деформации типа течения металла с образованием микронавалов толщиной сотые доли микрометра. Субмикрорельеф обработанной поверхности с отдельными рисками, образованный алмазными зернами, способствует созданию оптимального профиля поверхности, улучшению условий размещения смазки и может существенно увеличить срок

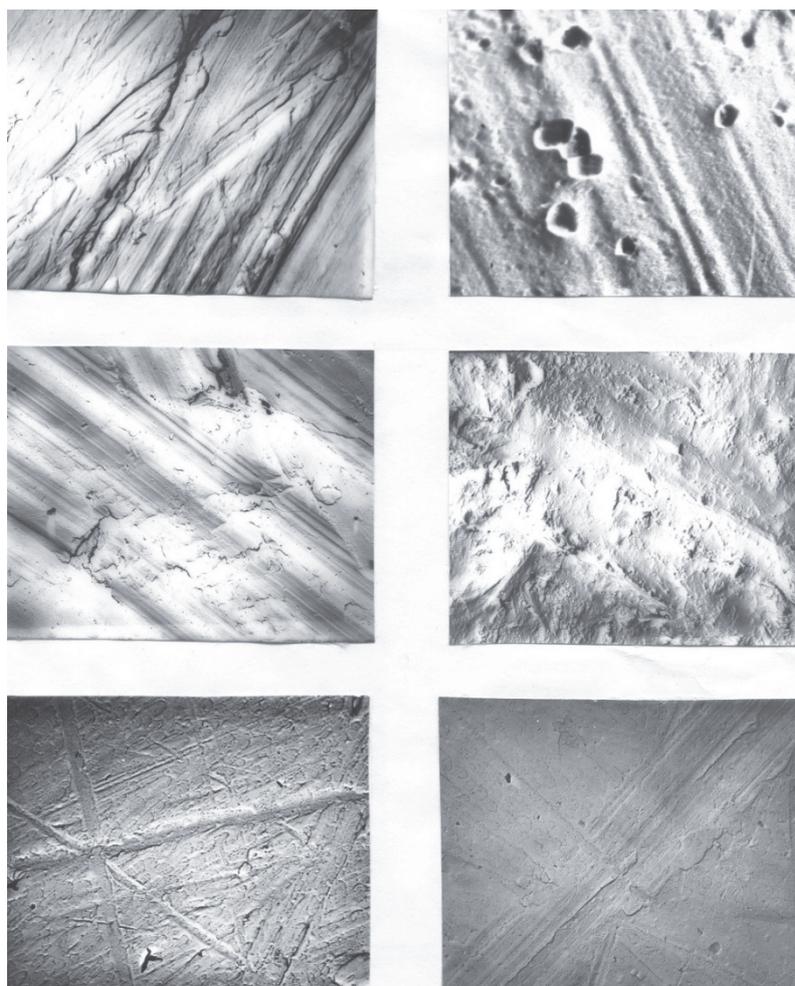


Рис. 1. Влияние метода абразивной обработки на микрорельеф $\times 2500$

службы деталей. Отметим, что поверхности отверстий, обработанные абразивными и алмазными брусками, отличаются не только характером микрорельефа, но и отражательной способностью – блеском. При осмотре невооруженным глазом поверхность после хонингования абразивным бруском имеет тусклый, т.е. матовый цвет, а после обработки алмазными брусками – глянцевый оттенок, характерный для пластического деформирования.

Исследование процесса отделочного хонингования титановых сплавов алмазными брусками выявило большие возможности по сравнению со способами резания лезвийными и абразивными инструментами влиять на другие элементы микрогеометрии поверхности - помимо параметров R_a и R_{max} , в частности, на величины радиусов скругления вершин неровностей ρ , угла наклона боковых сторон профиля к средней линии (β) и шаг неровностей профиля S_m (см. табл. 1). Микрорельеф, создаваемый отделочным хонингованием, выгодно отличается от микрорельефа после точения, где радиусы округления вершин 100-150 мкм, $\beta = 8-12^\circ$, шлифования ($\rho = 10-12$ мкм, $\beta = 9-10^\circ$) и предварительного хонингования крупнозернистыми брусками ($\rho=50-60$ мкм, $\beta = 8-12^\circ$)

пологой обтекаемой формой микронеровностей, большим радиусом скругления выступов и шагом неровностей, подобно тому, как это происходит при отделочно-упрочняющей обработке. На завершающей стадии отделочного хонингования формируются микронеровности с малыми углами наклона образующих выступов ($\rho = 1^\circ 12' - 2^\circ 34'$), радиусами скругления вершин в широком интервале ($\rho = 175-2650$ мкм) и средним шагом неровностей S_m от 0,9 до 5 мм.

Наряду с рассмотренными характеристиками микрогеометрии большое внимание на эксплуатационные свойства сопрягаемых поверхностей деталей, в частности износостойкость, контактную жесткость, оказывает относительная опорная длина профиля, характеризующая распределение материала в шероховатом слое. Кривые распределения опорных поверхностей микронеровностей определялись в зависимости от режимов обработки и характеристики брусков при предварительном и отделочном хонинговании и строились в абсолютных значениях по высоте R_{max} . Методика построения таких кривых общеизвестна.

В ходе исследования получены графические изменения относительной опорной длины профиля tr обработанной поверхности в зависи-

мости от зернистости брусков и вида связки. Установлено, что значение t_p на уровне сечения $\rho = 1,5$ мкм при хонинговании брусками зернистостью 500/400, 400/315 и 315/250 (соответственно кривые 1, 2, 3) отличаются незначительно - в пределах $t_{p,1,5} = 6-15\%$. Последующая обработка поверхности брусками на эластичной связке Р9 в сочетании с алмазами марки АСО 80/63 позволяет увеличить $t_{p,1,5}$ до 75% (кривая 4).

Установлено, что влияние режимов обработки на опорную поверхность аналогично их влиянию на высоту микронеровностей. Во всех случаях с уменьшением максимальной высоты неровностей профиля R_{max} и угла наклона профиля (β , увеличивается значение среднего шага S_m и радиус округления неровностей r (см. табл. 1), а обработанная поверхность обладает наибольшей опорной способностью.

При хонинговании с малыми удельными давлениями и небольшими скоростями резания

($\rho < 80 \text{ Н/см}^2, v_0 < 30 \text{ м/мин}$) обработанная поверхность представляет собой чередование выступов с сеткой относительно глубоких рисок ($R_{max} = 3,7-2,4$ мкм) шириной 15-30 мкм, при этом относительная опорная длина профиля t_p такой поверхности составляет 50-75% на уровне сечения 1,5-2 мкм. По характеру выступов микропрофиля такую поверхность назвали плосковершинной, а процесс обработки - плосковершинным хонингованием. Преимущества такого вида поверхности для трущихся пар, работающих со смазкой на примере блоков цилиндра, гильз двигателей, компрессоров и насосов достаточно доказаны.

В ходе исследования установлены зависимости относительной опорной длины профиля от продолжительности хонингования на эластичной связке. В первые 40 секунд хонингования t_p резко возрастает, а после характер кривой более плавный. Из анализа данных следует, что, из-

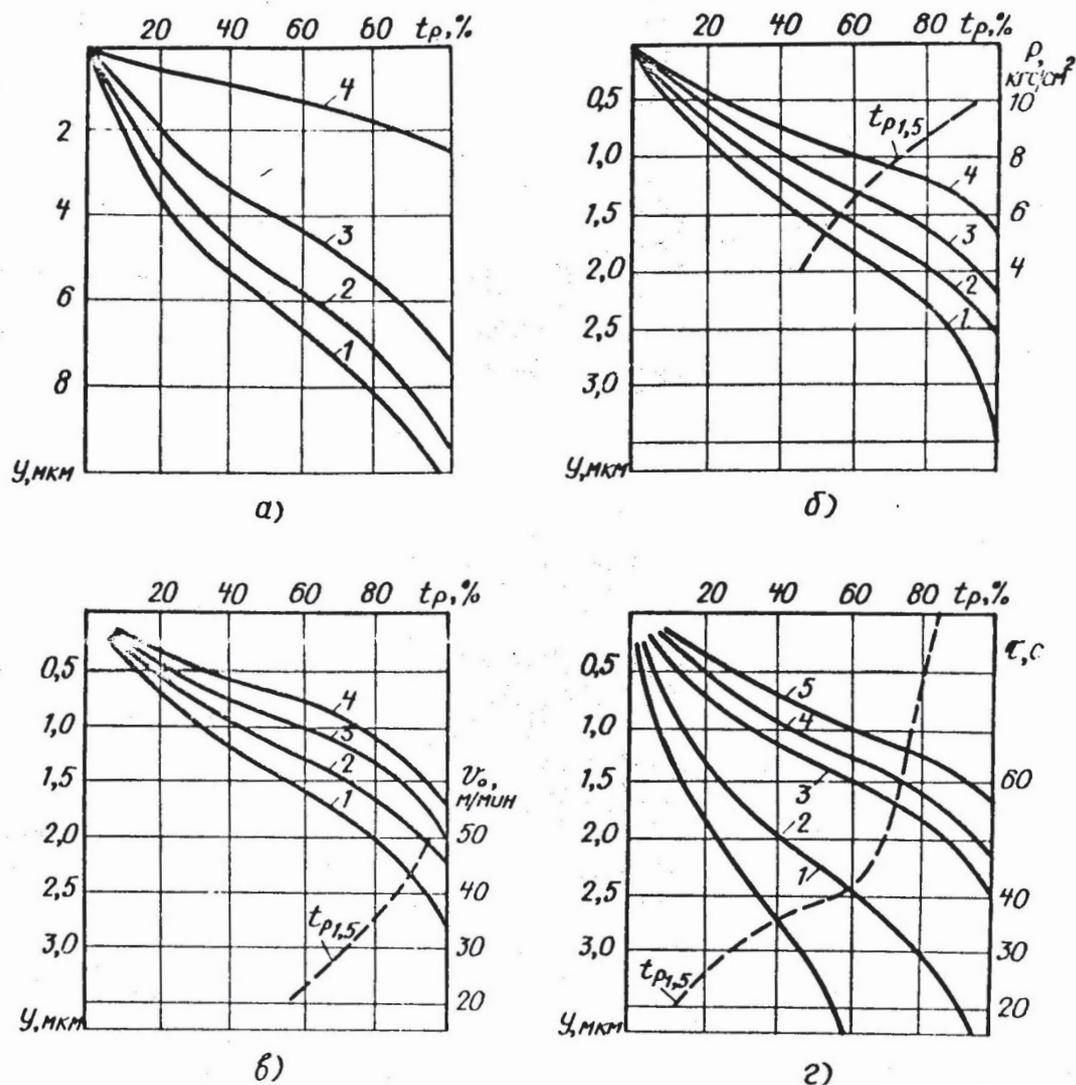


Рис. 2. Влияние процесса хонингования

на относительную длину профиля при обработке брусками:

а) 1 – САМ 500/400; 2 – САМ 400/315; 3 – САМ 315/250, МСЗМ, 50%; 4 – АСО 80/63, Р9, 50%; б), в), г). – АСО 80/63, Р9, 50%.

Режимы обработки: а), г) – $P = 80 \text{ Н/см}^2, t_0 > 30 \text{ м/мин}, v = 8 \text{ м/мин}$;

б) – кривые 1, 2, 3, 4 соответственно $P = 40, 60, 80, 100 \text{ Н/см}^2$; в) – $v = 20, 30, 40, 50 \text{ м/мин}$; г) – $t = 20, 30, 40, 60, 120 \text{ с}$.

меня продолжительность процесса хонингования, можно получить требуемую опорную длину профиля, исходя из технико-эксплуатационных свойств изделия. Аналогичные данные получены с увеличением концентрации алмазов в брусках.

Таким образом, из анализа результатов исследования параметров микрогеометрии обработанной поверхности можно сделать вывод о том, что при отделочном хонинговании высокопрочных титановых сплавов формируется благоприятный рельеф с округленной формой неровностей, малыми углами наклона сторон профиля и высокой относительной опорной длиной профиля за счет пластического сглаживания рельефа.

С целью полного и глубокого изучения физического состояния поверхностного слоя после хонингования применялись одновременно следующие методы исследования:

- измерение микротвердости по глубине поверхностного слоя;
- металлографические исследования;
- рентгеноструктурный анализ.

Измерения микротвердости поверхности сплава ВТЗ-1 показали, что хонингование как предварительное, так и отделочное упрочняет поверхностный слой. В исследованных режимах обработки наблюдалось повышение микротвердости поверхностного слоя титановых сплавов на 20-40 единиц с вероятной степенью наклепа $\delta = 6-10\%$ (исходная микротвердость сплава ВТЗ-1 $H_{\mu} = 3250 \text{ Н/мм}^2$, (рис. 3). Максимальное значение микротвердости зафиксировано на хонингованных образцах у поверхности. Глубина наклепа после обработки в большинстве случаев не превышает 20-25 мкм, а градиент наклепа - 15000-17000 Н/мм. Следует отметить, что при предварительном хонинговании, при прочих равных условиях, степень наклепа в 1,3-1,5 раза выше, чем при отделочном. Последнее, видимо, можно объяснить тем, что при хонинговании мелкозернистыми брусками на эластичной связке нагрузки на зерна малы, так как в работе принимают участие большое количество режущих зерен, а, как известно, наклеп возрастает при усилении нагрузки на режущее зерно. При хонинговании абразивными брусками на эластичной связке ФК изменения микротвердости на поверхности образцов не обнаружено - разброс микротвердости находился в пределах ошибки измерения.

Степень наклепа δ и градиент наклепа λ при отделочном хонинговании существенно зависят от режимов обработки. Так, увеличение удельного давления брусков с 40 до 100 Н/см² повышает степень наклепа с 5,6% до 10,4%, а градиент наклепа - с 9000 до 17000 Н/мм³.

Увеличение окружной скорости хона с 20 до 40 м/мин также повышает поверхностную твердость (кривая 2). Это связано с тем обстоятельством, что с увеличением скорости v_0 растет скорость

деформирования и кратность приложения нагрузок, которые являются решающими факторами в образовании наклепа поверхностного слоя.

Например, если при $v_0 = 20 \text{ м/мин}$ степень наклепа составляла 5,8%, а градиент наклепа 9500 Н/мм³, то при $v_0 = 40 \text{ м/мин}$ степень наклепа - 8,6%, а градиент наклепа примерно равен 1400 Н/мм. Установлено, что изменение скорости возвратно-поступательного движения и, практически не оказывает влияния на поверхностную твердость.

Эксперименты показали, что фактор времени также влияет на величину наклепа, причем увеличение времени хонингования от 60 до 120 секунд повышает степень наклепа в среднем в 1,2 раза (см. рис. 3, б, кривая 3), так как в связи с продолжительным трением алмазных зерен об обраба-

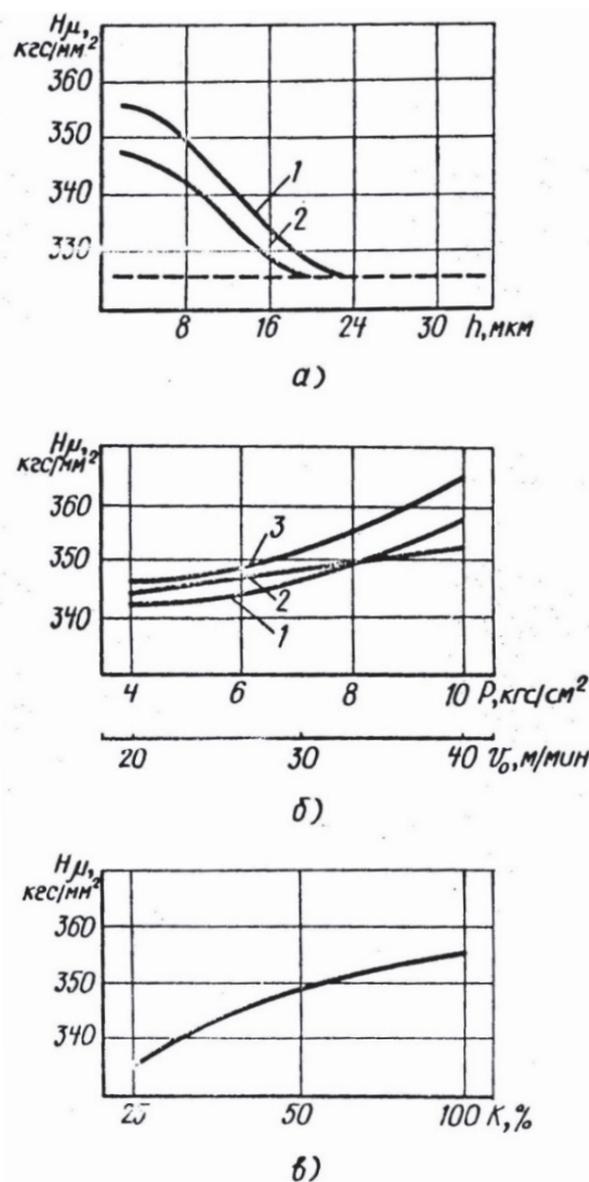


Рис. 3. Микротвердость поверхностного слоя сплава ВТЗ – 1 после хонингования:

а – предварительная (1) и отделочная (2) обработки; б – 1,3 - $H_{\mu} = f(P)$; 2 - $H_{\mu} = f(v_0)$, 1 - $\tau = 60 \text{ с}$, 3 - $\tau = 120 \text{ с}$; в - $H_{\mu} = f(K)$.

Бруски: АСО 80/63, Р9, 50%.

Режимы обработки: $P=80 \text{ Н/см}^2$; $v_0 - 30 \text{ м/мин}$, $\tau = 8 \text{ м/мин}$

тываемую поверхность возрастает пластическая деформация металла поверхностного слоя.

Увеличение концентрации алмазов в алмазном слое эластичной связки при отделочном хонинговании ведет также к повышению степени наклепа поверхностного слоя. Большое количество алмазных зерен на рабочей поверхности инструмента усиливает полирующее действие и пластическое деформирование обрабатываемой поверхности детали, что выражается в измельчении кристаллических зерен и увеличении степени искажения кристаллической решетки. Уменьшение размера режущих зерен при неизменной концентрации алмазов приводит к аналогичным результатам.

Таким образом, установлено, что отделочное хонингование титановых сплавов в интервале исследуемых режимов обработки повышает поверхностную твердость материала, которая возрастает с увеличением давления брусков, окружной скорости, времени обработки и концентрации алмазов. При хонинговании титановых сплавов ВТ6 и ВТ14 получены аналогичные данные зависимости поверхностной микротвердости от технологических факторов и характеристики брусков.

Металлографическими и рентгенографическими исследованиями установлено, что какие-либо фазовые изменения в поверхностном слое хонингованных образцов отсутствуют. Этот факт хорошо согласуется с результатами исследования контактных температур, которые при хонинговании, как уже отмечалось, не превышают 200-250 °С. Аналогичные данные получены другими авторами при хонинговании чугунов и сталей.

Результаты исследования характеристик тонкой структуры поверхностного слоя показали, что хонингование вносит существенные изменения составляющих субструктуры, выражающиеся в значительном дроблении кристаллических блоков D, увеличении искажений II рода, а также плотности дислокаций N_D за счет силового фактора (табл. 2). Это подтверждается графиками изменения микротвердости поверхностного слоя дислокации встречаясь с препятствиями (например с дислокациями в других кристаллографических плоскостях), блокируются, в результате происходит их закрепление. В недеформированных отожженных образцах средняя плотность дислокаций для сплава ВТ3-1 составляет $0,71 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$, а для сплава ВТ6 - $0,81 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ после предварительного хонингования число дислокаций в деформированном слое увеличивается в 3,5 - 4,2 раза и составляет соответственно $2,8 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ и $3,45 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$. После отделочного хонингования плотность дислокаций возрастает по сравнению с исходным состоянием в 3,2-3,9 раза.

Сопоставление тонкой кристаллической структуры сплава ВТ3-1 в исходном состоянии и после отделочного хонингования алмазными брусками на эластичной связке Р9 показало,

что в последнем случае наблюдается дробление блоков почти вдвое, то есть (360-390) А против 650 А, а также увеличении микродеформации $(2,8 - 3,0) \cdot 10^{-3}$ против $2,4 \cdot 10^{-3}$. При хонинговании абразивными брусками на связке ФК субструктура поверхностного слоя обрабатываемой детали претерпевает меньшие изменения, здесь наблюдается незначительное дробление блоков и рост микроискажений.

При шлифовании титановых сплавов ВТ3 и ВТ6 кругами 63С16СМ1К6 наблюдалось изменение состава (β -фазы, по сравнению с исходным состоянием она уменьшилась до 10,2-11,5%, то есть в 1,56 раза. Кроме того, в этом случае мы наблюдаем укрупнение блоков, уменьшение искажений II рода и плотности дислокаций. Аналогичные данные при шлифовании сплавов на основе титана получены другими авторами работ, которые пришли к выводу, что при шлифовании температуры в зоне контакта круга с обрабатываемой поверхностью при «жестких режимах» превышают 800-100°С, при которых происходит уменьшение β -фазы. Это приводит к разупрочнению поверхностного слоя, то есть снижению микротвердости по сравнению с исходным состоянием материала, а при температуре 1250-1300°С происходит полное исчезновение β -фазы [2]. Отделочное хонингование после операции шлифования изменяет характеристики тонкой кристаллической структуры, но содержание β -фазы остается несколько ниже исходного значения после отжига. То есть в данном случае проявляется технологическая наследственность, так как глубина изменения содержания β -фазы в поверхностном слое при шлифовании больше, чем удаляется припуск при хонинговании. Поэтому при построении технологического процесса отделочной обработки технологам необходимо учитывать это обстоятельство и назначать в качестве предварительной обработки хонингование крупнозернистыми брусками, которое не вносит изменений в фазовый состав поверхностного слоя.

Установлено, что при обработке абразивными брусками в поверхностном слое детали, как правило, формируются благоприятные остаточные напряжения сжатия [3].

Предварительное и отделочное хонингование по-разному оказывают влияние на характер формирования остаточных напряжений. Если при обработке крупнозернистыми брусками снижаются значительные припуски (0,2-0,5 мм на диаметр) и технологическая наследственность не проявляется, то при отделочной обработке она играет существенную роль в формировании напряженного поверхностного слоя. После хонингования алмазными брусками АСО 80/63 на эластичной связке Р9 уровень напряжений в поверхностном слое титанового сплава ВТ6 увеличивается по сравнению с предварительной обработкой, однако глубина проникновения напряжений сжатия

Таблица 2. Результаты рентгеноструктурного анализа поверхностного слоя

Вид обработки	Глубина мкм	Сплав ВТ3-1				Сплав ВТ6			
		$\beta, \%$	D, А	$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} \cdot 10^{-3}$	$N_D \cdot 10^{-11}, \text{см}^{-2}$	$\beta, \%$	D, А	$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} \cdot 10^{-3}$	$N_D \cdot 10^{-11}, \text{см}^{-2}$
Исходное состояние, отжиг	С поверх.	18	650	2,4	0,71	16	61 0	2,7	0,81
Предварительное хонингование: $v_0=30$ м/мин; $v_1=8$ м/мин; $\rho=80$ Н/см ²	С поверх.	17,9	340	3,2	2,88	16	32	3,7	2,85
	18	510	2,7	1,15	16	0	3,1	1,25	
	15	650	2,4	0,71	16	49	2,7	8,83	
	30					0 60 0			
Предварительное хонингование: $v_0=30$ м/мин; $v_1=8$ м/мин; $\rho=80$ Н/см ²	С поверх.	18	315	3,5	3,0	15,7	29	4,1	3,45
	18	540	2,8	1,03	16	0	3,2	1,07	
	15	640	2,5	0,73	16	53	2,8	0,81	
	30					0 61 0			
Отделочное хонингование АСО 80/63 Р9: $v_0=30$ м/мин; $v_1=8$ м/мин; $\rho=80$ Н/см ²	С поверх.	18	390	2,8	2,0	16	33	3,3	2,85
	18	650	2,4	0,71	16	0	2,7	0,81	
	30					61 0			
Отделочное хонингование АСО 80/63 Р9: $v_0=30$ м/мин; $v_1=8$ м/мин; $\rho=100$ Н/см ²	С поверх.	18	360	3,0	2,3	15,9	31	3,5	3,22
	18	650	2,4	0,71	16	0	2,7	0,81	
	30					61 0			
Шлифование. Круг 63С16СМ1К6: $v_k=35$ м/мин; $v_u=40$ м/мин; $t=0,02$ мм; $S_{пр}=2$ м/мин	С поверх.	11,5	700	2,1	0,60	10,2	69 0	2,5	0,65
Шлифование+отделочное хонингование 80/63 Р9. Режимы п. 7, 6, 5	С поверх.	14	480	2,3	1,30	13	42 0	2,6	1,7

уменьшается на величину снятого припуска и составляет 90-100 мкм.

В процессе отделочной обработки технологические факторы оказывают слабое влияние на величину остаточных напряжений.

При увеличении удельного давления брусков в процессе обработки тангенциальные остаточные напряжения возрастают, а глубина их проникновения остается постоянной.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Исследования показали, что при двухкрат-

ном хонинговании высокопрочных титановых сплавов формируется благоприятный микрорельеф обработанной поверхности с округленной формой неровностей и малыми углами наклона сторон профиля, со среднеарифметическим отклонением профиля $R_a=0,12 \pm 0,15$ мкм и высокой относительной опорной длиной профиля.

2. Процесс хонингования способствует повышению микротвердости поверхностного слоя на 20 ± 40 единиц с вероятной степенью наклепа $6 \pm 10 \%$.

3. Субструктура поверхностного слоя детали после операции хонингования претерпевает

некоторые изменения, которые выражаются в значительном дроблении блоков и увеличении плотности и дислокаций.

4. В поверхностном слое детали формируются благоприятные остаточные напряжения сжатия, величина и глубина залегания которых зависят от режимов резания и вида предшествующее обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лысенко Н.В., Носов Н.В., Дмитриев В.А. Опреде-

ление параметров шероховатости поверхности с использованием профилограмм: метод. указ. к лаб. работе. Самара: СамГТУ, 1994. 21 с.

2. Урывский Ф.П. Формирование поверхностного слоя при алмазном и абразивном шлифовании титановых сплавов // В кн.: Повышение точности и качества обработки деталей машин и качества обработки деталей машин и приборов. М.: МДНТП, 1977. С. 3-5.

3. Лысенко Н.В. Формирование остаточных напряжений в поверхностном слое деталей при обработке абразивными брусками // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. технические науки. 2004. № 21. С. 93-94.

PHYSICAL AND MECHANICAL STATE OF SURFACE LAYER IN FINISHING ABRASIVE PROCESSING OF THE FRICTION SURFACE

© 2016 N.V. Nosov, Yu.A. Shilova, N.V. Lysenko

Samara State Technical University

The scope of finishing abrasive processing providing the accuracy of the sizes and form of a surface is shown in article, besides the optimum roughness of rounded shape of roughnesses and small hardening is provided.

Keywords: honingovaniye, cutting modes, roughness, characteristic of whetstones, quality of a surface.

Nikolay Nosov, Doctor of Technics, Professor, Head at the Mechanical Engineering Technology Department.

E-mail: tms@samgtu.ru

Yuliya Shilova, Graduate Student at the Mechanical Engineering Technology Department.

Nikolay Lysenko, Candidate of Technics, Associate Professor at the Mechanical Engineering Technology Department.