ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ПЛОСКОСТЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ **ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**





ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ПЛОСКОСТЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Под общей редакцией васл. деят. науки и техники УССР, докт. техн. наук А. А. Маталина

Издательство «Техніка» Киев — 1972 $6\Pi 4.2$ **643**

УДК 621.787

Технология обработки плоскостей пластическим деформированием. Белов В. А. «Техніка», 1972, 72 стр. Приводятся результаты исследований и промышленного использования механического упрочнения плоских металлических поверхностей. Рассматриваются новые методы механического упрочнения плоскостей и режимы обработки различных материалов. Приводится технико-экономический анализ применения чистового упрочнения плоско-

ВОЛОВ... Табл. 15, илд. 23, бибыя 8. динеская. cena (CCP COLUMN

ARAE OFORIGINATIVE

-11366

стей. Рассчитана на технологов машиностроительных за-

Рецензент канд. техн. наук Г. Э. Таурит Редакция литературы по машиностроению и транспорту Заведующий редакцией инж. М. А. Василенко

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Директивах XXIV съезда КПСС предусматривается дальнейшее ускорение темпов научно-технического прогресса, внедрение новых прогрессивных технологических процессов, обеспечивающих улучшение эксплуатационных

характеристик машин, повышение их качества. Надежность и долговечность машин, механизмов и приборов во многом зависит от качества тонких поверхностных слоев деталей. Шероховатость поверхности является одним из основных показателей качества. Для повышения чистоты поверхности в технологический процесс изготовле-

чистоты поверхности в технологический процесс изготовления деталей машин и приборов включают чистовые и отделочные операции. Одним из методов чистовой обработки деталей является метод пластического деформирования. При обработке этим методом обеспечивается достижение минимальной шероховатости поверхности и улучшение физико-механических характеристик поверхностного слоя. Плоские поверхности в машинах могут быть контактными (стыковыми) и поверхностями трения. В обоих случаях они могут работать в условиях нормального и касательного нагружения стыков. Если поверхности контактные присоединительные, они воспринимают нормальные нагрузки. При этом происходит упругое и упруго-пластическое деформирование элементов рельефа поверхности,

наблюдается некоторое сближение контактирующих поверхностей.

При нормальном плоском контактировании двух деталей в тонком поверхностном слое происходит наклеп, степень которого зависит от исходного состояния этих поверхностей. Чем выше степень наклепа, тем большей стыковой жесткостью обладают поверхности контакта, тем выше надежность машины. Степень наклепа, происходящего при контактировании двух поверхностей, существенного влияния на стыковую жесткость не оказывает. Поэтому для увеличения стыковой жесткости двух плоских поверхностей необходимо создать в поверхностном слое наклеп, степень которого была бы значительно выше, чем при нормальном контактировании. Этого можно добиться, применяя методы пластического деформирования.

Если поверхности являются поверхностями трения, то, кроме повышенной степени наклепа, необходимо создать такой рельеф поверхности, который был бы оптимальным для конкретных условий эксплуатации деталей. Использование некоторых видов обработки плоских поверхностей пластическим деформированием, например вибрационного обкатывания, позволяет получать износостойкий рельеф поверхности.

Сущность чистовой обработки металлов пластическим деформированием состоит в том, что под давлением твердого металлического инструмента (ролик, шар) неровности обрабатываемой поверхности пластически деформируются. При этом шероховатость уменьшается, в поверхностном слое происходит наклеп, физико-механические характеристики металла изменяются.

Чистовая обработка давлением, основанная на пластическом деформировании поверхностного слоя металла, имеет ряд существенных достоинств [4, 5, 8]. При использовании методов чистовой обработки давлением сохраняется целостность волокон металла, что способствует повышению его эксплуатационных характеристик; исключаются при-

жоги и отпуск поверхностных слоев термически обработанных деталей; благодаря отсутствию шаржирования в поверхность инородных частиц удается сохранить чистоту поверхности даже таких пластичных металлов, как медь и алюминий. В процессе использования чистовой обработки давлением малоуглеродистых сталей и цветных металлов можно получить чистоту поверхности выше 10-го класса при сохранении исходной геометрической формы заготовки. При увеличении опорной площади поверхностей не только увеличивается их износостойкость, но и уменьшается период их приработки, улучшаются условия работы, значительно увеличивается контактная жесткость стыков.

Чистовая обработка давлением более производительна, чем резцом или абразивом, так как при этой обработке за один проход чистота поверхности повышается на три-пять классов чистоты. Благодаря простоте и надежности конструкции применяемого инструмента обработку давлением можно осуществлять в условиях любого производства. Ввиду высокой стойкости инструмента качественные показатели обработанной поверхности стабильны, поэтому создаются предпосылки для автоматизации методов обработки пластическим деформированием.

Чистовая обработка плоскостей пластическим деформированием осуществляется на строгальных, карусельных, плоскошлифовальных и фрезерных станках.

Основная цель, которая преследуется при обработке плоскостей указанным методом, состоит в достижении более высокого класса чистоты, повышенной поверхностной твердости и оптимального для определенных эксплуатационных условий рельефа поверхности. В некоторых случаях на небольших площадях можно повысить и точность плоскостей. Однако точность плоских поверхностей зависит в основном от предыдущей обработки. Результаты исследований, проведенных автором, а так-

Результаты исследований, проведенных автором, а также опыт промышленного использования показали, что чистовая обработка плоскостей пластическим деформированием является одним из прогрессивных методов чистовой обработки.

Автор надеется, что настоящая брошюра поможет читателю правильно решить конструкторские и технологические задачи, связанные с внедрением в производство указанного метода чистовой обработки.

Отзывы и пожелания просим направлять по адресу: 252601, Киев, 4ГСП, Пушкинская, 28, издательство «Техніка».

ОДНОРОЛИКОВЫЕ И ОДНОШАРИКОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОСКОСТЕЙ

Однороликовые инструменты

Однороликовые инструменты и приспособления, применяемые при чистовой обработке плоскостей методом обкатки, являются наиболее простыми, дешевыми и надежными.

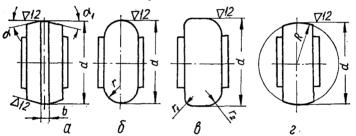


Рис. 1. Рабочие ролики для обкатки поверхностей.

Основным рабочим органом инструмента является ролик, который может иметь различную форму рабочего профиля. На рис. 1 показаны ролики, применяющиеся в промышленности [4].

Ролики с цилиндрической ленточкой и коническим заборным и обратным конусами применяются для чистовой и отделочной обработки (рис. 1, а). При увеличении ширины ленточки и диаметра роликов увеличивается площадь контакта, и для достижения более высокого класса чистоты необходимы большие усилия при обкатывании. Для нежестких деталей ширина b ленточки находится в пределах 1-6 мм, для крупных и жестких — в пределах 6-15 мм. Величину углов α и α_1 рекомендуется выбирать в пределах от 5 до 10° . При отделочной обработке эти углы несколько меньше.

Ролики с малым радиусом сферы r рабочего профиля (рис. 1, б) применяются для упрочняющей обкатки. Используя такие ролики, при незначительных усилиях можно создавать большее давление на поверхность детали. Ролики с разными радиусами r_1 и r_2 (рис. 1, θ) применяются для обработки поверхностей типа галтелей. Ролики с большим радиусом сферы R (рис. 1, e) применяют, если необходимо получить высокий класс чистоты и небольшую степень наклепа. При обработке роликами с большим радиусом сферы, в отличие от роликов с ленточками, допускается перекос, что упрощает наладку инструмента. Величина радиуса R выбирается в зависимости от материала обрабатываемой поверхности. Для достижения одинакового качества при равных удельных давлениях с увеличением твердости и прочности обрабатываемого материала наружный диаметр d и радиус R следует уменьшать [4].

Ролики изготовляют из легированных сталей ШХ15, УЮА, У12A, ХВГ, 5НХМ, их рабочие поверхности тщательно шлифуют и полируют до 11—12 классов чистоты и термически обрабатывают до твердости HRC 62—64.

По способу воздействия на обрабатываемую поверхность однороликовые обкатки делятся на жесткие и обкатки упругого действия. При использовании жестких роликовых обкаток не обеспечивается стабильное качество поверхности. Это объясняется тем, что в процессе обработки поверхностей, имеющих большие отклонения от плоскостности и параллельности, изменяется величина натяга, а это влечет за собой изменение усилия и, следовательно, степени и глубины наклепа. При незначительных отклонениях от плоскостности и параллельности жесткие обкатки повышают точность поверхности.

Наиболее распространенными в машиностроении являются обкатки упругего действия.

На рис. 2 показана роликовая обкатка, корпус 4 которой устанавливается в резцедержатель строгального станка

На игольчатом подшипнике установлен ролик 1, который может перемещаться на величину паза h, имеющегося в корпусе. Усилие пружины 3 передается на ролик через отжимную часть корпуса и игольчатый подшипник посредством штока 2. Регулировка давления пружины осуществляется гайкой 5.

Для отделочно-упрочняющей обкатки плоскостей часто применяется роликовая обкатка, показанная на рис. 3. Ролик 1 устанавливается на конических подшипниках 6, смонтированных на неподвижной оси 5, которая вставлена в со-

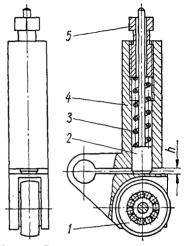


Рис. 2. Роликовая обкатка с разрезным пружинным корпусом.

осные отверстия вилки 2. Затяжка подшипников производится с помощью гайки 4 через втулку 3. Корпус 9 инструмента устанавливается в резцедержатель строгального станка. Обкатка производится под действием усилия двух тарельчатых пружин 7, которые упираются в торец корпуса 9 и вилки 2. Величина сжатия пружин контролируется индикатором 10. Штифт 8 служит для фиксации положения вилки. Он воспринимает усилия пружин в нерабочем положении инструмента. Роликовая обкатка имеет две тарельчатые пружины. Она может применяться как для чистовой, так и для упрочняющей обработки.

В отличие от рассмотренной выше роликовая обкатка, показанная на рис. 4, имеет ролик 1, установленный на оси 4, который вращается вместе с ней в подшипниках 2,

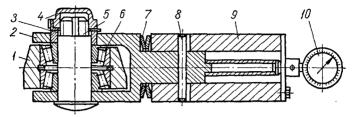


Рис. 3. Роликовая обкатка с тарельчатыми пружинами.

смонтированных в отверстиях вилки 6 и затянутых с двух сторон гайками 5. Кожух 3 служит для предохранения подшипников от загрязнения.

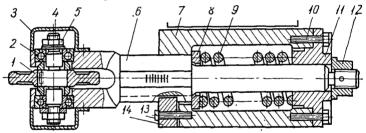


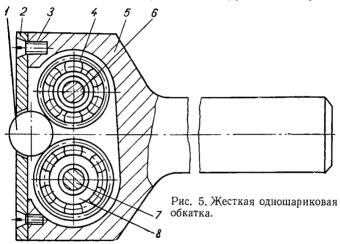
Рис. 4. Роликовая обкатка с пружиной сжатия.

Цилиндрическая часть вилки 6, вставленная в отверстие корпуса 7, закреплена от проворота с помощью шпонки 14, закрепленной на торце корпуса винтом 13. Рабочее давление ролика обеспечивается пружиной 9, расположенной между кольцом 8 и фланцем 11, привернутым винтами 10 к корпусу 7. Хвостовик вилки 6 расположен во фланце 11. Сжатие пружины осуществляется с помощью гайки 12, величина его определяется по рискам, нанесенным на лыске вилки 6. Такие роликовые обкатки используют для упрочняющей

обработки поверхностей с большими усилиями. Ролики могут быть сменными. Размеры их подбираются в зависимости от конкретных условий обкатки.

Одношариковые инструменты

Одношариковые инструменты для чистовой обкатки плоскостей имеют некоторые преимущества по сравнению с роликовыми. Изготовление роликов — трудоемкий процесс.



Для одношарикового инструмента используются шарики от подшипников, изготовление которых не связано с большими трудностями. Значительно упрощается замена изношенных шариков. Не менее важным преимуществом шариковых обкаток является и то, что при использовании их не требуется точная установка инструмента относительно обрабатываемой плоскости. При использовании роликовых обкаток их следует устанавливать без перекосов, что влечет за собой дополнительные затраты времени.

На рис. 5 показана жесткая шариковая обкатка, применяющаяся для обработки плоских поверхностей на строгальных, карусельных и токарных станках. В корпусе 5 на ссях 6 и 7 установлены два шарикоподшипника 4 и 8, служащие опорой для рабочего шарика 1, который удерживается от выпадания посредством неподвижного сепаратора 2,

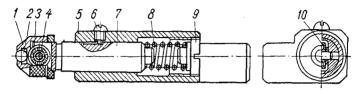


Рис. 6. Упругая однощариковая обкатка.

прикрепленного к торцу корпуса винтами 3. Жесткие шариковые обкатки применяются сравнительно редко, так как в этом случае при наличии значительных геометрических погрешностей на обрабатываемой поверхности происходит неравномерный наклеп ее, нередко ломается инструмент.

погрешностей на обрабатываемой поверхности происходит неравномерный наклеп ее, нередко ломается инструмент. Более широкое распространение получили одношариковые обкатки упругого действия. Одна из них показана на рис. 6. В отверстие корпуса 5 по скользящей посадке вставлена оправка 7. В ней закреплена ось 4, на которой расположены шайбы 10 и шарикоподшипник 3, являющийся опорой для рабочего шарика 2. Для удержания шарика служит сепаратор 1, который крепится на оправке 7. Шарик давит на обрабатываемую поверхность под действием пружины 8, предварительное сжатие которой осуществляется винтом 9. Корпус шариковой обкатки закрепляется в резцедержателе строгального или карусельного станка. В нерабочем состоянии усилие пружины 8 воспринимается специальным винтом 6.

На рис. 7 показана рычажная одношариковая обкатка, которая закрепляется также на строгальных и на карусельных станках. Достоинством данного инструмента является

то, что большое давление обеспечивается при незначительной жесткости пружины.

Рабочий шарик 1, опирающийся на шарикоподшипник 3, установленный на оси 4, удерживается от выпадания сепара-

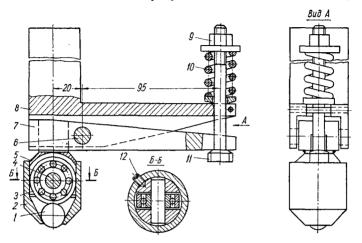


Рис. 7. Рычажно-пружинная одношариковая обкатка.

тором 2, напрессованным на вилку 5, цилиндрическая часть которой вставляется в отверстие малого плеча рычага 7. Сепаратор 2 закреплен стопорным винтом 12. Пружина 10 расположена между гайкой 9 и корпусом обкатки 8. При закручивании гайки 9 тяга 11 перемещается вверх. При этом приподнимается большое плечо рычага 7 и поворачивается вокруг оси 6.

Во всех рассмотренных одношариковых обкатках опорой для рабочих шариков служат подшипники. Существуют одношариковые обкатки, в которых рабочие шарики опираются на плоские поверхности (металлические, капроновые и др.). Конструкция таких обкаток не отличается от рассмотренных выше, но они служат лишь для чистовой

обработки поверхности, в то время как обкатки, в которых шарики опираются на подшипники, могут использоваться как для чистовой, так и для упрочняющей обработки.

Режим обработки плоскостей однороликовыми и однощариковыми инструментами

Режимы чистовой обработки плоскостей пластическим деформированием представлены в виде таблиц (см. табл. 1, 2). На основании данных, полученных в результате практи-

Таблица 1 Режимы обкатывания чугунных деталей однороликовыми обкатками

| _ | Размеры | ролика, мм | | |
|---|------------------------------|-------------------------------|---|---|
| | диаметр | радиус сферы | Рабочее усилие, <i>кГ</i> | Подача, мм/дв, ход |
| | 50 70 70 105 240 | 50 70 100 150 200 | 500 1000 1400 3000 5000 и более | 0,8—1,5 1,3—2,0 1,8—2,5 2,0—2,8 2,5—3,0 |

ческого применения обработки плоскостей однороликовыми и одношариковыми обкатками, а также данных экспериментов, проведенных автором, были разработаны рекомендации по рациональному выбору режимов обкатки. При использовании указанных рекомендаций можно повысить экономичность процесса обработки, значительно повысить класс чистоты поверхности. Так например, по данным одного из Ижорских заводов при замене шабрения направляющих расточных станков длиной 6 м и шириной 1160 мм обкаткой роликами и шариками трудоемкость чистовой обработки снизилась на 120 нормо-ч.

На Новочеркасском заводе «Нефтемаш» притирка рабочих плоскостей клиньев задвижек была заменена обработкой роликовыми обкатками, в процессе которой была достигнута шероховатость поверхности, соответствующая 10-му классу чистоты. Кроме этого, при обкатывании была

 Таблица 2

 Режимы обкатывания поверхностей одношариковыми обкатками

| Диаметр | Давление п кГ/ш | ри обкатке, <i>арик</i> | Подача, | Шерохова- гость по- | Класс чи- |
|----------------------------------|---|---|--|--|--|
| шарика, <i>мм</i> | Чугун | Сталь | мм/шарик | верхности <i>R_a, мкм</i> | стоты |
| 12 16 20 24 28 32 | 10—18 20—35 40—60 60—75 80—100 100—130 | 25—35 35—50 50—75 80—120 120—150 150—200 | 0,02 0,05 0,20 0,32 0,50 0,80 | 1,0—0,50 1,0—0,50 1,0—0,25 1,0—0,25 0,5—0,12 0,5—0,12 | 7—8 7—8 7—9 7—9 8—10 8—10 |

получена большая опорная площадь на поверхности клиньев, что обеспечило лучшее прилегание клиньев и колец, чем при притирке.

Обработка плоских поверхностей одношариковыми обкатками чаще всего применяется как чистовой метод обработки. Шероховатость обкатанной поверхности зависит в основном от размера шариков, подачи, скорости обкатывания и рабочего давления (табл. 2). Скорость обкатывания находится в пределах от 15 до 20 м/мин. Меньшие значения давления применяются для более пластичных, а большие — для менее пластичных металлов. Более низкие классы чистоты соответствуют чистоте обработки чугунных поверхностей, а более высокие — чистоте обработки стальных поверхностей.

Применение смазывающих жидкостей при обкатывании оказывает благоприятное влияние на качество поверхности.

При обкатывании стальных поверхностей в качестве смазывающей жидкости рекомендуется применять керосин или чистое (не осерненное) машинное масло. Чугунные поверхности следует обкатывать только всухую.

Указанные выше рекомендации следует использовать при обкатке роликом или шариком после предварительной обработки поверхности, в результате которой был достигнут

5-6-й класс чистоты.

ШАРИКОВЫЕ ГОЛОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПЛОСКОСТЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Особенности обработки плоскостей шариковыми головками

При обработке плоскостей однороликовыми и одношариковыми инструментами не всегда обеспечивается получение требуемых микро- и макрогеометрии поверхности. Так как рабочие органы (ролики или шарики) таких инструментов находятся под действием пружин, то в процессе обкатки копируются оставшаяся от предыдущей обработки волнистость и незначительные макроотклонения поверхности.

При обработке шариковыми головками таких недостатков нет. Это видно из схемы образования плоскости, показанной на рис. 8, при обработке одношариковой обкаткой и шариковой головкой.

Во время обработки одношариковой обкаткой (рис. 8, a) шарик, находящийся под действием усилия пружины $P_{\rm пр}$, катится по поверхности, копируя ее макропрофиль. ($P_{\rm 1}$ — $P_{\rm 6}$ — усилия, действующие на шарик в различных положениях на обрабатываемой плоскости).

При обработке шариковой головкой (рис. 8, б) шарики не копируют рельеф поверхности, поэтому в процессе обработки повышается не только класс чистоты, но и плоскостность поверхности. Штриховой линией показана поверхность

после обработки ее шариковой головкой, а сплошной волнистой — исходный профиль поверхности. Шарики под действием усилия пружины $P_{\rm пр}$ прижимаются к поверхности, при этом усилие распределяется одинаково на все шарики,

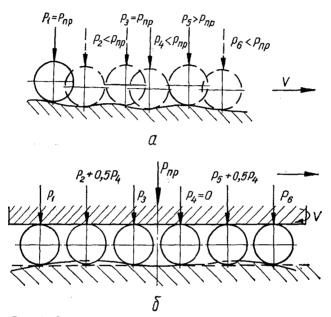


Рис. 8. Схема образования плоскости при обкатывании: a — одношариковой упругой обкаткой; δ — шариковой головкой.

но так как исходная поверхность имеет микро- и макронеровности, оставшиеся после предыдущей обработки, усилия, действующие на каждый шар, различные.

Из схемы, приведенной на рис. 8, 6, видно, что второй и пятый шарики приняли на себя усилие, действующее на четвертый шарик, так как они в какой то момент находятся на выступах, а четвертый шарик находится над впадиной

и, поддерживаемый сепаратором, не касается поверхности. Таким образом, выступы будут деформироваться с большими усилиями, поэтому плоскость поверхности, обрабатываемой шариковой головкой, выше.

Шариковые головки напоминают по своей конструкции торцовую фрезу, где вместо ножей установлены в сепараторах рабочие шарики, которые во время обработки оставляют на поверхности круговые, пересекающиеся следы.

Конструктивные разновидности шариковых головок

Шариковые головки для обработки плоских поверхностей могут быть жесткими и упругими. При использовании жестких шариковых головок плоскостность поверхности выше, так как при этом обеспечивается постоянство натяга. Однако применять их можно в том случае, если оборудование достаточно жесткое и отклонение от плоскостности и параллельности поверхности после предыдущей обработки не превышает величину установленного натяга. В противном случае нарушается равномерность пластического деформирования и происходит шелушение поверхностного слоя. Упругие шариковые головки этого недостатка не имеют и величина натяга изменяется в пределах отклонения от плоскостности и параллельности.

На рис. 9 показана пружинная шариковая головка [4]. Такие головки устанавливаются на фрезерных станках для чистовой обкатки плоских поверхностей. Если эти головки закрепляются на строгальных или на карусельных станках, на траверсах или ползунах этих станков должны быть установлены специальные устройства, приводящие во вращение шариковые головки.

На корпус 2 головки напрессовано кольцо упорного подшипника 1, по которому катятся рабочие шарики 14, расположенные в конусных гнездах сепаратора 15. Последний свободно вращается на подшипнике 13, установленном

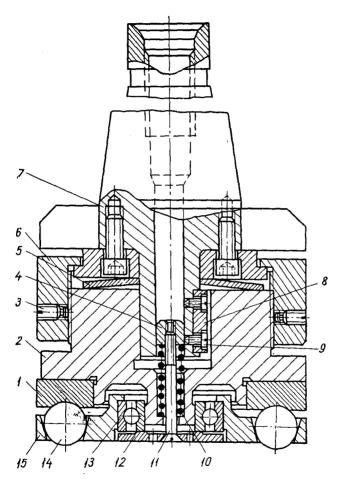


Рис. 9. Шпиндельная пружинная шариковая головка.

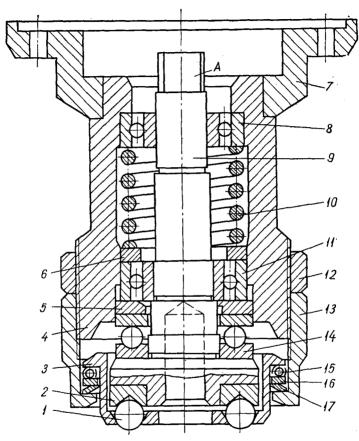


Рис. 10. Фланцевая пружинная шариковая головка.

по скользящей посадке на выступ корпуса. Под действием усилия пружины 10 происходит поджим шариков к беговой дорожке опорного кольца и перемещение подшипника с сепаратором через гайку 4, винт 11 и шайбу 12 Между хвостовиком 7 и корпусом головки расположена тарельчатая пружина 5, рассчитанная на определенное рабочее давление, регулируемое гайкой 6, которая стопорится сухарями и винтами 3.

Вращение от хвостовика к головке передается через шпонку θ , прикрепленную винтами θ к выступу хвостовика. Хвостовик имеет небольшую конусность, поэтому инструмент может самоустанавливаться относительно обрабатываемой поверхности.

Недостатком таких шариковых головок является быстрый износ подшипников шпинделя.

На рис. 10 показана фланцевая шариковая пружинная головка. Шпиндель головки 9, установленный в радиальных подшипниках 8 и 11, имеет в нижней части опорное кольцо 2 с беговой дорожкой, по которой перекатываются рабочие шарики 1, расположенные в сепараторе 3. Для создания определенного давления при обработке контргайка 12 снимается и на корпус головки навинчивается регулирующая гайка 13. При вращении гайки 13 осуществляется вертикальное перемещение шпинделя 9, которое затем передается через тарельчатую пружину 17, кольцо 16, специальный подшипник 15, сепаратор 3 на рабочие шарики 1. При этом упорный подшипник 14, опирающийся на торец фланца шпинделя, кольцо 5, подшипник 11, кольцо 6 перемещается по вертикали. Пружина 10, расположенная между кольцом 6 и подшипником 8, сжимается.

Фланец 7 служит для установки шариковой головки на неподвижное кольцо, запирающее главный подшипник шпинделя фрезерного станка.

В соответствии с тарировочным графиком подбирается необходимая величина предварительного сжатия пружины 10, а следовательно, и давление при обкатке.

21

В нерабочем положении шариковой головки усилие сжатой пружины передается через сепаратор 3, специальный подшипник 15, тарельчатую пружину 17 на регулирующую гайку 13 и на корпус 4. Шпиндель 9 в верхней части имеет лыски A. Он приводится во вращение от шпинделя станка.

Настройка шариковой головки осуществляется следующим образом. Фланец 7 головки устанавливается и закрепляется на подшипниковом кольце корпуса вертикальнофрезерного станка. Навинчивая регулирующую гайку 13 на корпус 4, посредством деталей 17, 15 и 3 приподнимают шпиндель 9, выбирая возможные зазоры. После этого подводят под головку деталь и поднимают стол станка до соприкосновения шариков с обрабатываемой поверхностью. Поднимая дальше деталь, сжимают пружину 10 на заданную величину, определяемую по лимбу вертикальной подачи (в соответствии с тарировочным графиком). Навинчивая регулирующую гайку 13 на корпус головки, сепаратором 3 приподнимают рабочие ширики 1 до соприкосновения их с поверхностью беговой дорожки опорного кольца 2, затем деталь выводится из-под головки и приподнимается на величину натяга по лимбу вертикальной подачи станка. Включается продольная подача стола и вращение шпинделя станка, в результате чего деталь постепенно входит под шарики, приподнимает их на высоту, равную установленному натягу.

Чтобы исключить неравномерность приложения нагрузки при заходе головки на поверхность детали и при сходе с нее, на столе станка необходимо устанавливать дополнительные бруски перед деталью и после нее. Поверхность этих брусков должна предварительно обрабатываться вместе с поверхностью детали.

В головке имеется спиральная пружина сжатия, поэтому давление шариков на поверхность может плавно изменяться в широких пределах.

Шариковые головки имеют ряд достоинств. Они надежны и долговечны в работе. Использование рабочих шариков и опорных беговых дорожек из стандартных упорных под-

шипников значительно удешевляет изготовление и ремонт головок. Обработка шариковыми головками — высокопроизводительный процесс, так как обкатка производится за один проход и за одну установку детали на том же станке. При оптимальных режимах пластического деформирования шариковыми головками достигается высокое качество обработанной поверхности.

Обработку плоских поверхностей (линейчатых и торцовых, сплошных и прерывистых, расположенных горизонтально, вертикально и наклонно) шариковыми головками можно производить на фрезерных, строгальных, шлифовальных и карусельных станках.

Влияние режимов обкатки плоскостей шариковыми головками на качество поверхности

При обработке плоскостей шариковыми головками основное влияние на качество поверхности оказывают следующие параметры режима: скорость обкатки, подача шариков, диаметр шариков, давление на шарик, число проходов, а также смазка. Автором были проведены исследования с целью определения влияния указанных параметров. Методика проведения экспериментов по установлению рациональных режимов обкатывания была составлена так, что при установлении влияния одного из параметров режима, остальные оставались неизменными.

Влияние скорости обкатки. Исследовалось влияние следующих скоростей на качество поверхности: 33; 66; 132; 165; 209 м/мин. Эксперименты проводились на образцах из стали Ст.3, стали 45 и чугуна СЧ 21-40. Определение шероховатости осуществлялось путем снятия профилограмм и их дальнейшей обработки. Эти же профилограммы служили для построения опорной кривой при определении несущей способности поверхности.

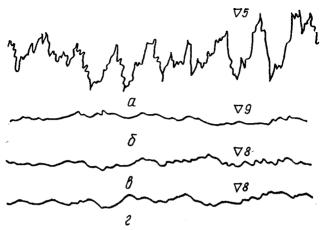


Рис. 11. Профилограммы, снятые с поверхностей образцов из стали 45, обработанных:

a — торцовым фрезерованием; δ , θ , ε — обкаткой шариковой головкой (при скорости обкатки соответственно 33, 132, 209 m/mun). Вертикальное увеличение \times 400; горизонтальное — \times 200.

Изучение микротвердости и глубины наклепанного слоя производилось на прямоугольных шлифах с помощью микротвердомера ПМТ-3 и металлографического микроскопа МИМ-7.

Зависимость шероховатости поверхности (R_a мкм, ∇), глубины

| | Скорость | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|--|--|--|
| Обрабатываемый матери- | | 3 | 3 | | 66 | | | | | | |
| ал | R _a | ∇ | h | С | R _a | ∇ | · h | С | | | |
| Чугун СЧ 21-40 Сталь Ст.3 Сталь 45 | 0,57 0,40 0,30 | 8 8 9 | 0,45 1,70 1,15 | 149 137 123 | 0,61 0,47 0,35 | 8 8 8 | 0,47 1,60 0,90 | 139 134 121 | | | |

Результаты проведенных экспериментов показали, что при увеличении скорости обкатки шероховатость поверхности несколько увеличивается. Это объясняется тем, что при малых скоростях обкатки происходит более полное смятие неровностей. Пластическая деформация преобладает над упругой вследствие того, что воздействие шариков на единицу площади при малых скоростях более продолжительно. С ростом скорости время воздействия шариков на поверхностный слой уменьшается, упругая деформация преобладает над пластической. Рост пластической деформации отстает от роста скорости приложения нагрузки. Однако увеличение скорости обкатки оказывает незначительное влияние на шероховатость, что хорошо видно из профилограмм, приведенных на рис. 11, и из табл. 3.

Анализируя табл. 3, можно сделать вывод о том, что увеличение скорости обкатки в 6,35 раза незначительно влияет на изменение шероховатости: класс чистоты поверхности из стали Ст. 3 остается неизменным, а чистота поверхности из чугуна СЧ 21-40 и стали 45 понижается на один класс. Следовательно, в целях повышения производительности обкатку можно производить на больших скоростях.

Это допустимо, если в процессе обработки необходимо только получить более высокий класс чистоты обработки поверхности. Если в процессе обкатки необходимо получить

Tаблица 3 наклепанного слоя h, m, и степени наклепа C, %, от скорости обкатки

| об | катки, | м/мин | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|--------------|-------------|--------------|----------------|
| | 13 | 32 | | 165 | | | | 209 | | | |
| R_a | ▽ | h | С | Ra | ∇ | h | С | R_a | ∇ | h | С |
| 0,6 0,5 0,4 | 8 8 8 | 0,37 1,30 0,80 | 139 131 119 | 0,66 0,55 0,38 | 7 8 8 | 0,35 1,20 0,80 | 133 129 118 | 0,55 0,42 | - 8 8 | 0,80 0,75 | 124 116 |

| | | | | | | | Пода | ча, | |
|--|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|--|
| Обрабатываемый матери- | | 0, | ,05 | | 0,2 | | | | |
| ал | R _a | ∇ | h | С | R _a | ∇ | h | С | |
| Чугун СЧ 21-40 Сталь Ст.3 Сталь 45 | 0,40 0,31 0,20 | 8 9 9 | 0,37 1,55 1,10 | 137 135 126 | 0,61 0,47 0,35 | 8 8 8 | 0,47 1,60 0,90 | 143 134 121 | |

более высокую степень и глубину наклепа, то скорости обкатки должны быть невысокими.

Влияние подачи при обкатке. Изменение подачи оказывает более существенное влияние на качество поверхности.

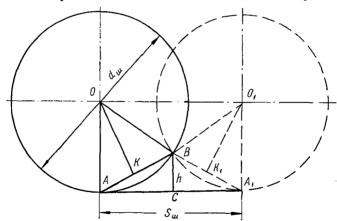


Рис. 12. Геометрическая схема для определения связи между подачей на шарик, высотой неровностей и диаметром шарика.

С увеличением подачи увеличивается расстояние между вершинами выступов за счет уменьшения кратности приложения давления на единицу площади, что вызывает возраста-

Таблица 4 глубины наклепанного слоя h. мм, и степени наклепа от подачи

| | мм/ | шарик | | | | | | | | | | _ |
|---|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|
| 1 | | 0, | 32 | | | 0 | ,51 | | 0,81 | | | |
| 1 | R_a | ∇ | h | С | R _a | ∇ | h | С | R_a | ∇ | h | С |
| | 0,82 0,62 0,50 | 7 8 8 | 0,37 1,10 0,70 | 137 124 119 | 0,90 0,67 0,58 | 7 7 8 | 0,30 0,80 0,63 | 133 121 117 | 1,10 0,72 0,65 | 7 7 7 | 0,27 0,62 0,60 | 125 120 115 |

ние шероховатости и уменьшение глубины и степени наклепа. В табл. 4 приведены результаты экспериментов, анализируя которые, можно сделать вывод о том, что при увеличении подачи в 16 раз чистота поверхности понижается на один класс для чугуна и на два класса для сталей. При этом исходная шероховатость поверхности соответствовала примерно 5-му классу чистоты поверхности. Глубина наклепанного слоя при этом уменьшается на 37% у чугуна и в 2,5 раза у стали 45. Степень наклепа уменьшается в среднем на 11%.

В соответствии с данными, приведенными в табл. 4, можно рекомендовать следующие наиболее рациональные подачи: для чугуна СЧ $21-40 - 0,2 \, mm/mapu\kappa$, для стали Ст.3 и стали $45 - 0,05 \, mm/mapu\kappa$.

Величины шероховатости, подачи и диаметра шариков взаимосвязаны: за один оборот шарика вокруг оси головки деталь перемещается на величину подачи S_{m} . Из графического построения, приведенного на рис. 12, следует, что

$$\frac{AO}{AK} = \frac{AB}{BC}$$
 или $\frac{d_{\text{III}}}{2AK} = \frac{AB}{h}$. (1)

Обозначив AB через l, находим

$$AK = \frac{AB}{2} = \frac{l}{2};$$

подставив в выражение (1) значения АВ и АК, получим

$$\frac{2d_{\text{II}}}{2l} = \frac{l}{h} \text{ или } l^2 = d_{\text{II}}h. \tag{2}$$

Из треугольника ABC определяем $AB^2 = AC^2 + BC^2$, но так как AB = l; $AC = \frac{S_{ln}}{2}$ и BC = h, то

$$l^{2} = \left(\frac{S_{u}}{2}\right)^{2} + h^{2} = \frac{S_{u}^{2}}{4} + h^{2}.$$

Подставив вместо l его значение из формулы (2), определим подачу на шар:

$$S_{\rm m}^2 = 4 (d_{\rm m}h - h^2) = 4h (l_{\rm m} - h),$$

или

$$S_{ui} = 2\sqrt{h \left(d_{ui} - h\right)}. \tag{3}$$

Получившееся выражение (3) можно упростить, если в скобках под корнем исключить величину h, так как она мала по сравнению с величиной $d_{\rm m}$ ($h < 3 \div 5$ мкм, а $d_{\rm m} = 16 \div 20$ мм). Тогда $S_{\rm m} = 2$ $\sqrt{d_{\rm m}}$ h, или

$$h = \frac{S_{\text{til}}^2}{4d_{\text{til}}}. (4)$$

Приближенно можно принять $h=R_z$ (h — высота неровностей обкатки). Минутная подача при известном числе обо-

Зависимость шероховатости поверхности (R_a мкм, ∇), глубины

| | | | | | Диам | иетр |
|--|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------|
| Обрабаты ваемый материал | | 15 | | | | |
| | R _a | ∇ | h | С | R _a | ∇ |
| Чугун СЧ 21-40 Сталь Ст.3 Сталь 45 | 0,75 0,56 0,50 | 7 8 8 | 0,47 1,65 0,90 | 144 132 127 | 0,61 0,47 0,35 | 8 8 8 |

ротов шпинделя станка $n_{\rm c\tau}$, числе шариков в головке $z_{\rm m}$, диаметре шарика $d_{\rm m}$, диаметре окружности беговой дорожки $d_{\rm r}$, величине шероховатости $R_{\rm s}$ и подаче на шар $S_{\rm m}$

$$S_{M} = n_{\rm cr} i z_{M} k 2 \sqrt{d_{M} R_{z}}$$
 (5)

где i — передаточное отношение, равное $\frac{d_{\rm m}}{d_{\rm r}}$; $K=0.94\div 0.96$ —коэффициент проскальзывания шариков при обкатке.

Влияние диаметра шариков. Эксперименты проводились при следующих размерах шариков: 15,08; 16,7; 19,05; 22 мм. Усилие пружин подбиралось таким образом, чтобы удельное давление во всех случаях было примерно равным и находилось в пределах 25—30 $\kappa\Gamma/mn^2$. Разница в размерах шариков невелика, но даже при таком небольшом различии в диаметрах шариков можно легко установить влияние этого параметра на качество поверхности.

Результаты исследований приведены в табл. 5, из которой видно, что при увеличении диаметра шариков от 15,08 до 22 мм и прочих равных условиях шероховатость поверхности чугуна СЧ 21-40 снижается на один класс, а стальных поверхностей — на два класса. Глубина и степень наклепа уменьшаются соответственно для чугунных поверхностей

Tаблица 5 наклепанного слоя h m, и степени наклепа от диаметра шарика

| 16 | ,7 | <u> </u> | 19, | 05 | 22,0 | | | | |
|----------------------|-------------------|--------------------------|-------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|
| h | С | $R_a \mid \nabla \mid h$ | | | С | R_a | ∇ | h | С |
| 0,47 1,60 0,90 | 143 134 121 | 0,57 0,28 0,29 | 8 9 9 | 0,37 1,28 0,80 | 132 123 118 | 0,50 0,20 0,27 | 8 9 9 | 0,32 1,12 0,60 | 126 120 116 |

| | Давление шариков, | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|-------------|--------------------|-------------------|----------------------|-------------|---------------------|-------------------|--|--|--|
| Обрабатываемый матери- | | 2 | 25 | | 50 | | | | | | |
| ал | R_a | ∇ | h | С | R_a | ∇ | h | С | | | |
| Чугун СЧ21-40 Сталь Ст.3 Сталь 45 | 0,61 0,31 0,35 | 8 9 8 | 0,47 1,3 0,9 | 143 134 121 | 0,63 0,25 0,29 | 8 9 9 | 0,47 1,46 1,5 | 156 142 132 | | | |

на 47 и 14%, для стальных — на 48 и 11%, т. е. уменьшение характеристик наклепа почти одинаковое.

В результате экспериментов можно сделать вывод, что при увеличении диаметра шариков повышается класс чистоты обработки поверхности, но несколько снижается степень наклепа и глубина наклепанного слоя. Это объясняется следующим: при неизменной подаче и удельном давлении с увеличением диаметра шарика возрастает кратность воздействия его на единицу площади поверхности. Шероховатость поверхности при этом уменьшается.

Уменьшение глубины и степени наклепа объясняется тем, что при малых диаметрах (на 40—50% меньших указанных) под шариками при их качении по поверхности образуется упруго-пластический клин, влияние которого распространяется на большую глубину и в большей степени,

чем при больших диаметрах.

Для получения шероховатости чугуна СЧ 21-40 ∇ 8 обкатку следует производить шариками диаметром 16,7 мм, а для получения шероховатости стальных поверхностей ∇ 9 — шариками с большими диаметрами ($d_{\rm m}=19\div$ \div 22 мм).

Если необходимо получить большую глубину наклепанного слоя и степень наклепа, то диаметр шариков следует уменьшить приблизительно до 15—16 мм.

Таблица в

наклепанного слоя h, mm, и степени наклепа от величины давления щариков

| $\kappa\Gamma$ | /шариі | ς . | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|----------------------|-------------------|--------------------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------|--------------------|-------------------|--|
| | | 75 | | 100 | | | | 125 | | | | |
| $R_a \mid \nabla \mid h \mid C$ | | | | $R_a \mid \nabla \mid h$ | | | С | $C \mid R_a \mid$ | | h | С | |
| 0,6 0,16 0,24 | 8 10 9 | 0,51 1,82 1,65 | 162 144 136 | 0.72 0,18 0,2 | 7 9 9 | 0,37 2,0 1,8 | 138 140 138 | 1,4 0,2 0,2 | 6 9 9 | 0,32 2,1 1,8 | 112 140 137 | |

В случае применения шариков больших диаметров необходимо создавать большие давления, а следовательно, требуется более жесткое оборудование.

Влияние величины давления шариков. Изучение влияния этого параметра режима обкатки проводилось при давлениях 25; 50; 75; 100; 125 $\kappa\Gamma$ /шарик, что в среднем соответствовало удельному давлению от 15 до 80 $\kappa\Gamma$ /мм².

Изменение давления шариков на поверхность оказывает значительное влияние на характеристики наклепа и меньшее — на шероховатость поверхности, особенно при обкатке стальных поверхностей. На основании результатов исследований, приведенных в табл. 6, можно сделать следующие выводы: с увеличением давления с 25 до 75 $\kappa\Gamma$ /шарик шероховатость чугунной поверхности остается почти без изменения. При дальнейшем увеличении давления до 125 $\kappa\Gamma$ /шарик шероховатость резко увеличивается, происходит перенаклеп поверхности, т. е. отслаивание, шелушение тончайших частиц металла.

Оптимальное давление при обкатке чугунной поверхности — не более $75~\kappa\Gamma/\mu$ иари κ , т. е. примерно $65~\kappa\Gamma/\mu$ м 2 , что приблизительно соответствует пределу прочности чугуна на сжатие.

При обкатке стальных поверхностей желательно увеличить давление, так как шероховатость поверхности при

| | Число | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|--|--|--|
| Обрабатываемый матери- | 1 | | | | | 2 | | | | | |
| ал | R _a | ∇ | h | С | R _a | ∇ | h | С | | | |
| Чугун СЧ 21-40 Сталь Ст.3 Сталь 45 | 0,61 0,47 0,35 | 8 8 8 | 0,47 1,60 0,90 | 143 134 121 | 0,55 0,28 0,25 | 8 9 9 | 0,45 1,80 1,20 | 145 141 128 | | | |

этом не увеличивается, а характеристики наклепа заметно возрастают. При увеличении давления в случае обкатки стальных поверхностей с 25 до 125 $\kappa\Gamma/$ шарик шероховатость поверхности остается практически постоянной (∇ 9), а глубина наклепа стали Ст.3 увеличивается при этом с 1,3 до 2,1 мм, т. е. на 62%, стали 45 — с 0,9 до 1,8 мм, т. е. в 2 раза; степень наклепа увеличивается в среднем на 11%.

Оптимальным давлением для стальных поверхностей следует считать $100-125~\kappa\Gamma/\mu$ ито составляет примерно $50-75~\kappa\Gamma/m$. Лучшие результаты достигаются при обкатывании стальных поверхностей с давлениями, не превышающими предел прочности материала более чем на 10-12%, в противном случае возникает перенаклеп и местные очаги разрушения.

Влияние числа проходов. При увеличении числа проходов до трех шероховатость поверхности чугуна СЧ 21-40 несколько снижается, но все же соответствует 8-му классу чистоты поверхности. Дальнейшее увеличение числа проходов нежелательно, так как вследствие многократного воздействия шариков тонкий поверхностный слой начинает разрушаться, отслаиваться.

Стальные поверхности менее чувствительны к перенаклепу. Поэтому увеличение числа проходов не оказывает существенного влияния на чистоту поверхности.

| | про | ходов | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------|-------------------|-------------------|--|--|
| _ | | | 3 | | | 4 | | | | 5 | | | | |
| | R _a | ∇ | h | С | R_a | ▽ | h | С | R_a | ∇ | h | С | | |
| | 0,53 0,24 0,18 | 8 9 9 | 0,45 1,90 1,50 | 142 141 132 | 0,70 0,27 0,20 | 7 9 9 | 0,42 1,75 1,40 | 138 138 132 | 1,2 0,33 0,20 | 7 8 9 | 0,3 1,6 1,4 | 122 133 132 | | |

Для повышения производительности обкатку плоских поверхностей шариковыми головками следует производить за один проход. Из табл. 7 следует, что при чистовой обкатке стали Ст. 3 за один и за пять проходов обеспечивается шероховатость поверхности $\nabla 8$. При обкатке стали 45 за один проход получается шероховатость поверхности $R_a = 0.35 \ \text{мкм}$, а за пять проходов — $R_a = 0.35 \ \text{мкм}$, т. е. уменьшается на один класс.

Глубина наклепанного слоя и степень наклепа чугуна СЧ 21-40 с увеличением числа проходов до четырех и более уменьшаются вследствие нарушения целостности тонкого поверхностного слоя, а те же характеристики наклепа стальных поверхностей с увеличением числа проходов изменяются незначительно (см. табл. 7). Для прочных сталей (типа стали 45) увеличение числа проходов целесообразно, так как при этом указанные характеристики существенно повышаются.

Были проведены эксперименты по установлению влияния чистового упрочнения плоскостей шариковыми головками на геометрическую форму поверхности. Исследовались образцы с поверхностями 100×65 мм, изготовленные из стали 45 и чугуна СЧ 21-40.

На рис. 13 приведены графики зависимости фактической опорной площади поверхности F_{Φ} от давления при обкатке

шариковой головкой. При давлении P=0 фактическая опорная площадь чугунных образцов составляет примерно $25\,\%$, стальных — $28\,\%$ от номинальной площади $F_{\rm H}$. С увеличением давления до определенной величины факти-

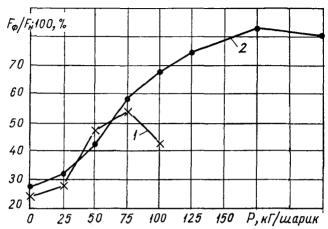


Рис. 13. Зависимость фактической площади от давления шариков при обкатке шариковой головкой:

1- чугунной поверхности; 2- стальной поверхности; V=66 м/мин; $S_{\rm III}=0.2$ мм/шарик; $d_{\rm III}=16.7\,$ мм.

ческая опорная площадь увеличивается. Дальнейшее увеличение давления приводит к снижению фактической опорной площади вследствие возникновения очагов перенаклепа и частичного разрушения тонкого поверхностного слоя. Для чугуна величина оптимального давления составляет $60~\kappa\Gamma/\text{мм}^2$. Фактическая опорная площадь увеличивается с 25% при P=0 до 54% при $P=60~\kappa\Gamma/\text{мм}^2$. Для стали 45 оптимальное давление составляет $85~\kappa\Gamma/\text{мм}^2$. Фактическая опорная площадь увеличивается с 28% при P=0 до 82% при $P=85~\kappa\Gamma/\text{мм}^2$.

Примеры промышленного использования шариковых головок в промышленности, режимы обработки шариковыми головками

Шариковые головки широко применяются для чистового и отделочного упрочнения плоских поверхностей. На Брянском заводе ирригационных машин производится

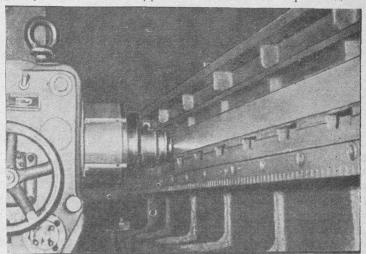


Рис. 14. Чистовая обкатка направляющих станка шариковой головкой.

размерно-чистовая обкатка поверхностей направляющих специальных станков РТ-195 (рис. 14). Шариковые головки применяются также и для чистовой обработки вместо шабрения направляющих при ремонте крупных продольнофрезерных и продольно-строгальных станков.

Предварительная обработка осуществляется торцевой фрезой, затем фреза убирается и вместо нее устанавливается шариковая головка, показанная на рис. 15. Обработка производится на продольно-фрезерном станке 6672 за одну установку станины. В результате применения чистовой

обкатки направляющих станков шариковыми головками почти полностью исключена трудоемкая операция шабрения.

Приведенные экспериментальные данные и практический опыт обработки плоскостей обкатыванием свидетельствуют



Рис. 15. Шпиндельная шариковая головка к продольно-фрезерному станку 6672.

о том, что пластическое деформирование плоских поверхностей шариковыми головками является простым и надежным методом получения высокого класса чистоты поверхности. При исходной шероховатости поверхности ∇ 5—6 в процессе обкатки достигается шероховатость поверхности ∇ 7 — ∇ 9.

Для уменьшения шероховатости поверхности обкатку шариковыми головками следует вести за один проход с подачей 0,05—0,2 мм/шарик при диаметре шариков 17,0 мм. Допускается увеличение подачи при одновременном увеличении диаметра шариков и давления. Однако при увеличении диаметра шариков и давления следует использовать более жесткое оборудование и технологическую оснастку.

Скорость качения шариков при обкатке чугуна СЧ 21-40 не должна превышать 150 м/мин; при обкатке стальных поверхностей в целях повышения производительности допускается увеличение скорости до 200 м/мин. Однако при этом уменьшаются глубина наклепанного слоя и степень наклепа.

В качестве смазки при обкатке стальных поверхностей применяют обычное машинное масло. Чугун обкатывается без

смазки, так как в процессе обработки выдавливается незначительное количество свободного графита, который и выполняет роль смазки. При соблюдении указанных рекомендаций в процессе обкатки плоскостей шариковыми головками достигается высокая чистота поверхности. Твердость упрочненного слоя плавно уменьшается от поверхности в глубину детали, вследствие чего сцепление между упрочненными неупрочненным металлом не нарушается.

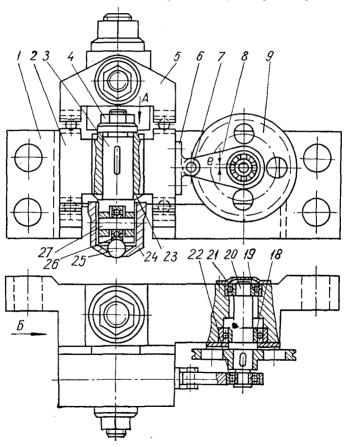
ОБРАБОТКА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТОДОМ ВИБРООБКАТЫВАНИЯ

Особенности метода виброобкатывания

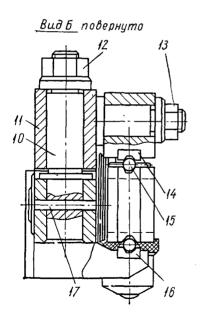
Если контактные поверхности работают под действием нормальных и касательных нагрузок, для улучшения их работоспособности необходимо создавать такой рельеф поверхностей, при котором опорная площадь была бы наибольшей и шероховатость была бы оптимальной для заданных условий эксплуатации. Из всех существующих методов обработки плоскостей пластическим деформированием обработка поверхностей виброобкатыванием, предложенная проф. Ю. Г. Шнейдером [8], является наилучшей, с точки зрения обеспечения заданных шероховатости и опорной площади поверхности.

Характерная особенность виброобработки состоит в том, что на главное движение накладываются колебательные в поперечном направлении, в результате чего рабочий орган инструмента — шарик — под действием определенного давления наносит на обрабатываемую поверхность синусоидальную сетку. На поверхности получается рисунок, вид которого зависит от основных параметров режима виброобработки: давления шарика P, амплитуды колебаний λ , числа колебаний n, скорости движения заготовки V_s (продольная подача), поперечной подачи — $S_{\text{поп}}$ (скорость обкатки). При виброобкатывании, как и при обкатывании

шариковыми головками, производится смазка стальных поверхностей отфильтрованным машинным маслом; чугун обкатывается всухую. Изменяя указанные параметры режима виброобработки, можно получить необходимый для данных эксплуатационных условий рельеф поверхности.



На рис. 16 показана одна из конструкций инструментов для виброобкатывания плоских поверхностей [2]. В две щеки неподвижного корпуса 1 запрессованы V-образные направляющие призмы 16, в которых расположены шарики. С этими шариками соединена каретка 2 с V-образными направляющими, в центральное отверстие которой вставлен хвостовик головки 3. В нижней части головки на оси 27 установлен подшипник 26, на который опирается рабочий шарик 25, расположенный в конической резьбовой втулке 24.



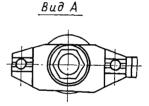


Рис. 16. Устройство для обработки плоских поверхностей виброобкатыванием.

Шарики 15 расположены в V-образных направляющих 14, запрессованных в щеки коромысла 5. Коромысло установлено на палец кронштейна 11, который в свою очередь насажен на палец 10, запрессованный в отверстие корпуса 1 и укреплен штифтом 17.

Коромысло 5 имеет две степени свободы: оно может качаться на пальце кронштейна 11 относительно горизонтальной оси и поворачиваться вместе с кронштейном относительно вертикальной оси пальца 10. При этом обеспечивается правильная установка каретки 2 по нижним и верхним шарикам 15 и ее свободное горизонтальное перемещение. Каретка имеет одну степень свободы, необходимую для осуществления колебательных движений рабочего шарика 25 по плоской обрабатываемой поверхности. Коромысло 5 и кронштейн 11 закреплены гайками соответственно 13 и 12.

Для осуществления вибрирующих движений использован эксцентриковый механизм. В корпусе I на подшипниках расположен валик 20 со шкивом 9 и шатуном 8, вращающемся в подшипнике 22, крышка 2I которого крепится к корпусу. Шатун соединен через ось 7 и стойку 6 с кареткой 2. Подшипник 22 с шатуном 8 насажен на валик 20 с эксцентриситетом e. Валик 20 вращается в подшипниках 18 и 19. При этом каретка 2 с рабочим шариком 25 колеблется в плоскости чертежа, с амплитудой, равной двум эксцентриситетам. Рабочий шарик 25 давит на обрабатываемую поверхность под действием тарированной тарельчатой пружины 23, предварительная затяжка которой производится с помощью гайки 4.

Шкив 9 получает вращение от электродвигателя через клиноременную передачу (на чертеже не показана).

Обработка плоских поверхностей виброобкатыванием может производиться на строгальных, плоскошлифовальных, фрезерных и карусельных станках. Инструмент рассмотренной конструкции можно использовать и при виброобработке цилиндрических поверхностей валов.

Режимы вибрационного упрочнения плоскостей

Автором были проведены исследования с целью разработки рекомендаций по рациональному выбору режимов виброобкатывания. Исследование процесса виброобкатывания

Рекомендуемые режимы виброобкатывания

Таблица 8

| | Режим | виброоб | работки | Параметры качества поверх- ности | | | | |
|------------------------------|---------------------|-----------|---------------------|-------------------------------------|------|------|-----------|--|
| Обрабатываемый ма- териал | P. kΓ/wa- puk | Ѕ, жм/жин | So, mm/xod cmosa | 9 | a | Ra | Класс чи- | |
| Сталь Ст. 3 | 50 | 300 | 1,0 | 0,9 | 0,5 | 0,23 | 9 | |
| Сталь 45 | 25 | » | 1,0 | 1,0 | 0,56 | 0,11 | 10 | |
| Чугун СЧ 21-40 | 25 | » | 0,5 | 3,17 | 1,92 | 0,7 | 7 | |

проводилось на заготовках из стали 45, чугуна СЧ 21-40 и стали Ст. 3, которые обрабатывали на вертикально-фрезерном станке при отключенном шпинделе. Плоские поверхности предварительно обрабатывались торцовой фрезой до 5—6-го классов чистоты. Использовалась лишь продольная подача стола.

Влияние вибрационного упрочнения на качество плоских поверхностей изучалось при следующих технологических параметрах режима обработки: давление P 25 и 50 к Γ /шарик; продольная подача S 19, 60; 150; 300; 600; 950 мм/мин; поперечная подача S_0 0,5; 1,0; 2,0 мм/ход стола. Диаметр шарика был постоянным (16,7 мм), частота колебаний составляла 12 кол/сек.

За критерий оценки качества поверхности было принято среднее арифметическое отклонение профиля R_a , коэф-

фициент b и показатель степени v из формулы (7), которые характеризуют величину опорной площади поверхности.

Лучшие результаты получены при режимах, приведенных в табл. 8.

При использовании метода виброобкатки плоскостей обеспечивается высокий класс чистоты поверхности и значительное увеличение несущей способности, что благоприятно влияет на повышение контактной жесткости стыков. Вибрационное упрочнение плоскостей является перспективным методом отделочно-упрочняющей обработки, направленным на увеличение долговечности и надежности машин за счет увеличения контактной жесткости и износоустойчивости поверхностей.

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПЛОСКОСТЕЙ НА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

Влияние чистового упрочнения плоских поверхностей на величину опорной площади

Одним из основных показателей качества поверхности деталей машин является ее шероховатость, которая характеризуется в основном двумя критериями: средним арифметическим отклонением профиля R_a и высотой неровностей R_z . Однако поверхности с одинаковой шероховатостью, но обработанные различными методами, в процессе эксплуатации ведут себя по-разному. Это объясняется тем, что на эксплуатационные свойства поверхностей оказывают влияние и другие факторы, в частности, физико-механические свойства поверхностного слоя и некоторые геометрические параметры рельефа, например, однородность выступов на единице площади, величина радиуса закруглений вершин выступов, направление и объем канавок или впадин.

От этих геометрических параметров рельефа поверхности зависит величина опорной несущей площади, которая принимает непосредственное участие в работе.

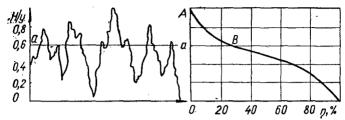


Рис. 17. Профилограммы шлифованной поверхности и её опорная кривая.

Увеличивая опорную площадь, можно повысить такие основные показатели надежности и долговечности, как контактная жесткость и износоустойчивость присоединительных поверхностей стыков.

Существующие методы чистовой обработки плоских поверхностей резанием не могут полностью удовлетворить повышенные требования надежности и долговечности.

На рис. 17 приведена профилограмма, снятая со шлифованной поверхности стального образца и ее опорная кривая. Здесь величина H_{max} условно принята равной единице. Наибольший интерес представляет уровень шероховатостей, расположенных выше линии a-a, ниже которой опорная кривая выпрямляется. Начальный участок кривой AB, в основном определяющий фактическую площадь, выражается уравнением параболы:

$$\eta = b \varepsilon^{\nu}, \tag{6}$$

где η — относительная площадь $\frac{F_{\Phi}}{F_{\mathrm{B}}}$; F_{Φ} — фактическая площадь, F_{H} — номинальная площадь; ε — относительное сближение $\frac{y}{H_{\mathrm{max}}}$; y — расстояние от вершины наибольшего

выступа до рассматриваемого уровня; H_{\max} — максимальная высота неровностей; b, v — параметры, зависящие от вида обработки.

На рис. 18 показаны кривые опорных поверхностей, обработанных чистовым фрезерованием, шлифованием,

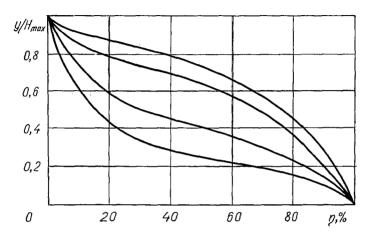


Рис. 18. Кривые опорных поверхностей стали 45, обработанных: 1 — фрезерованием, 2 — шлифованием, 3 — виброобкаткой, 4 — шариковой головкой.

обкаткой шариковой головкой и виброобкатыванием. При этом шероховатость всех поверхностей соответствовала 8-му классу чистоты поверхности.

Анализируя рис. 18, можно сделать вывод о том, что различные методы обработки поверхностей по одинаковому классу чистоты дают разную величину опорной площади. Например, при y=0.8 фрезерованные поверхности 8-го класса чистоты имеют около 5% опорной площади, шлифованные — 7%, виброобкатанные — 28% и обкатанные шариковой головкой — 40%. При y=0.6 $H_{\rm max}$ фрезерованные

поверхности имеют 8% опорной площади, шлифованные — 18%, виброобкатанные — 59% и обработанные шариковой головкой — 70%.

 T_{ab} лица 9 Значения параметров v и b при разных методах обработки

| Вид обработки | Класс чи- стоты | ν | b |
|--|---|--|--|
| Стальные г | поверхности | | |
| Торцевое фрезерование Чистовое строгание Шлифование Доводка Виброобкатка Обкатка шариковой головкой | 7 7 7 8 9 10 8 9 10 7 8 | 1,40 1,95 1,85 1,80 1,65 1,60 1,75 1,42 1 60 1,80 1,56 1,50 1,30 | 0,60 2,10 0,95 1,60 2,30 2,40 2,02 2,80 3,90 2,10 2,30 2,80 3,70 |
| Чугунные п | ове р хнос ти | | |
| Торцовое фрезерование Чистовое строгание Шлифование Доводка Виброобкатывание Обкатка шариковой головкой | 7 7 7 9 7 8 9 7 8 | 1,80 1,90 1,97 1,30 1,90 1,80 1,48 1,78 1,70 | 0,75 1,65 1,25 2,00 3,63 3,65 3,85 3,20 3,42 3,60 |

Таким образом, при использовании пластического деформирования можно получить поверхность с большей несущей опорной площадью по сравнению с чистовыми видами обработки резанием.

В табл. 9 приведены величины параметров b и v при различных видах обработки плоских поверхностей, в процессе которых получалась различная чистота обработки поверхности. Чем выше класс чистоты, тем меньше значения показателя степени v и больше величина коэффициента b.

Влияние пластического деформирования поверхностей на их контактную жесткость

Надежность машин зависит, в частности, от их жесткости, т. е. от способности отдельных узлов противостоять действию внешних сил, стремящихся деформировать отдельные детали и узлы. Жесткость наряду с прочностью и износостойкостью является важным критерием работоспособности и долговечности машины.

Жесткость любой машины или узла определяется жесткостью самих деталей, составляющих узел, машину, а также контактной жесткостью в стыках, т. е. присоединительных поверхностей.

Жесткость деталей можно повысить путем увеличения сечения, введения дополнительных ребер и т. п. Контактная жесткость зависит от целого ряда факторов, главным из которых является состояние контактирующих поверхностей.

Под жесткостью стыков поверхностей понимается отношение некоторого усилия P, действующего в определенном направлении, к перемещению поверхностей y в том же или в другом направлении. Наиболее часто жесткость рассматривается при действии усилия P по нормали к контактирующим поверхностям.

Величина контактной жесткости определяется по формулам

$$j = \frac{P}{F_{\rm H}y}$$
 или $j = \frac{q}{y} \kappa \Gamma / c M^2 \cdot M \kappa M$, (7)

где j — жесткость стыковых поверхностей; P — нормальное усилие; q — удельное давление; y — перемещение сты-

ковых поверхностей, возникающее вследствие деформации поверхностных слоев; $F_{\scriptscriptstyle \rm H}$ — номинальная площадь стыков.

При контактировании двух шероховатых поверхностей первыми вступают в контакт те выступы поверхности, которым противостоят на сопряженной поверхности такие, что сумма высот выступа первой поверхности и противолежащего ему выступа второй окажется наибольшей [7]. По мере увеличения нагрузки в контакт будут вступать новые пары противостоящих выступов, сумма высот которых меньше.

Известно, что величина фактической площади контакта меньше номинальной. Следовательно, фактическая нагрузка распределяется на меньшей площади. В первоначальный момент напряжения на отдельных выступах невелики, и происходит упругая деформация. По мере увеличения нагрузки напряжения в местах контакта быстро растут, происходит пластическая деформация. В процессе сжатия различные выступы поверхности нагружены в различной степени, поэтому часть из них будет находиться в режиме упругой, другая — в режиме пластической деформации.

гой, другая — в режиме пластической деформации.

Практически почти невозможно создать настолько гладкие и ровные поверхности, чтобы при их контакте не возникала пластическая деформация даже при небольших давлениях. Поэтому имеет место значительный гистерезис перемещений при нагрузке и разгрузке узлов и механизмов. При повторном нагружении тех же поверхностей петля гистерезиса значительно меньше, что указывает на наличие в основном упругих деформаций. Таким образом, если подвергнуть контактируемые поверхности предварительной пластической деформации, жесткость стыков значительно возрастет.

Предварительное пластическое деформирование плоских поверхностей шариковыми головками и виброобкатыванием является одним из способов увеличения контактной жесткости стыков. После указанной обработки имеющиеся неровности деформируются до такой степени, что поверхностный слой при контакте работает только в режиме

упругих деформаций. Кроме этого, в процессе предварительного пластического деформирования происходит частичное устранение отклонений макрогеометрии, а следовательно, увеличение фактической площади и уменьшение удельного давления.

Сравнительные исследования влияния обработки плоских поверхностей шариковыми головками на контактную жесткость проводились на образцах, изготовленных из стали 45 и чугуна СЧ 21-40. Поверхности стыков образцов обрабатывались торцовым фрезерованием, шлифованием периферией круга и обкаткой шариковой головкой. Шероховатость поверхностей соответствовала примерно одному классу чистоты.

Величина контактной жесткости определялась в зависимости от сближения поверхностей стыков на специальной установке, состоящей из винтового пресса, кольцевого динамометра с индикатором и тензометрических датчиков. Для исключения зазоров в установке производилось предварительное нагружение при $q_0 = 0.16 \, \kappa \Gamma / cm^2$ При этом давлении все контрольно-измерительные приборы устанавливались на нуль. Полученные величины перемещений заносились в таблицы с учетом вида обработки поверхностей стыков, удельного давления и числа нагружений.

На основании экспериментальных данных для первого нагружения необжатых образцов получена зависимость между нагрузкой и контактными деформациями поверхностей

стыков

$$y_1 = Cq^m \, \mathsf{M} \kappa \mathsf{M}, \tag{8}$$

где y_1 — контактные деформации стыка, мкм; q — удельное давление, $\kappa \Gamma/c m^2$; m — постоянный показатель степени; C — коэффициент, зависящий от материала образцов, шероховатости поверхностей контакта и метода обработки. На основании экспериментов в каждом частном случае устанавливалось значение показателя степени m и коэффициента C. Наиболее удобным способом обработки опытных

данных является графическое построение в системе логарифмических координат степенной зависимости контактной деформации от нагрузки:

$$\lg y = \lg C + m \lg q.$$

При повторных нагружениях происходят в основном упругие деформации поверхностей контакта; график зави-

Значения коэффициентов С и К

Таблица 10

| Материал | Вид обработки | Шерохова- тость поверх- ности Ra, мкм | Класс чисто- ты | c | К |
|----------------|---------------|--|--------------------|------|-------|
| Сталь 45 | Фрезерование | 1,10 | 7 | 0,95 | 0,210 |
| | Шлифование | 0,95 | 7 | 0,88 | 0,180 |
| | Обкатка | 0,40 | 8 | 0,37 | 0,102 |
| Чугун СЧ 21-40 | Фрезерование | 1,25 | 7 | 1,15 | 0,270 |
| | Шлифование | 1,15 | 7 | 0,96 | 0,160 |
| | Обкатка | 0,60 | 8 | 0,52 | 0,132 |

симости деформации от величины нагрузки близок к прямой и соответствует уравнению

$$y_2 = Kq \, \mathsf{M} \mathsf{K} \mathsf{M}, \tag{9}$$

где y_2 — контактные деформации стыка при повторном нагружении, $\mathit{мкm};\ K$ — коэффициент контактной деформации.

Для вычисления коэффициентов C и K служили соответствующие таблицы с результатами экспериментов при первом и при повторном нагружениях стальных и чугунных образцов. Значения C и K приведены в табл. 10.

Исследование проводилось при удельных давлениях 6,66; 13,32; 19,78; 26,64; 33,3; 39,96; 46,62; 53,28; 59,94; 66,6 $\kappa\Gamma/cm^2$.

В результате проведенных исследований установлено, что при первом нагружении деформация поверхностей контакта в значительной степени зависит от шероховатости этих поверхностей и от метода их обработки. При одинаковом

Tаблица 11 Соотношение пластических и упругих деформаций плоскостей при разных методах обработки, %

| | | Перво труж | | | торомания на при продежение на при пругие на при | | |
|----------------------------|--|-----------------------------------|----------------------------------|---|--|--|--|
| Материал образца | Вид обработки поверх- ностей стыка | Пласти- ческие де- формации | Упругие деформа- ции | Пластиче- ские де- формации | Упругие деформа- ции | | |
| Чугун СЧ 21-40 Сталь | Фрезерование Шлифование Обкатка Фрезерование Шлифование Обкатка | 44 47 22 41 37 18 | 56 53 78 59 63 82 | 7,0 10,0 2,7 11,0 13,0 5,7 | 93,0 90,0 97,3 89,0 87,0 94,3 | | |

удельном давлении наибольшее перемещение наблюдается у фрезерованных поверхностей и наименьшее — у обкатанных шариковой головкой, так как обкатанные поверхности при нагружении работают в основном в режиме упругих деформаций. Это справедливо как для стальных, так и для чугунных поверхностей, но для получения величины перемещений выступов на чугунной поверхности, равной величине перемещений выступов на стальной поверхности, следует приложить меньшее давление.

При повторном нагружении поверхности стыков пластически почти не деформируются, происходит в основном упругое деформирование. Однако и в этом случае обкатанные поверхности меньше пластически деформируются, чем фрезерованные и шлифованные. Для фрезерованных и шлифованных поверхностей прикладываемая нагрузка достаточна

для протекания в поверхностном слое пластических деформаций, так как фактическая площадь контакта у них значительно меньше, чем у обкатанных поверхностей.

Tаблица 12 Жесткость стыков при различных методах обработки

| | F | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------|-------------|---------------|--|-----------------|--|--|
| Материал | обработки рхностного з | чистоты | Шероховатость <i>Ra, мкм</i> | С | 1—m | κГ/сл удел | кость с м ² мкм іьном і и, кГ/ | , при давле- | е значение сти, мкм | |
| | Вид ос поверх стыка | Класс ч Шерохо <i>Ra, мк</i> я | | | | 26,6 | 46,6 | 66,6 | Среднее зн жесткости, кГ/см² мкл | |
| Сталь 45 | | | 1,1 | 0,95 | 0,25 | 2,39 | 2,74 | 3,02 | 2,72 | |
| Чугун СЧ 21-40 | Фрезе- рование | 7 | 1,25 | 1,15 | 0,25 | 1,97 | 2,26 | 2,48 | 2,24 | |
| Сталь 45 | Бание Вание | 7 | 0,95 | 0,88 | 0,3 | 3,03 | 3,65 | 4,02 | 3,57 | |
| Чугун СЧ 21-40 Сталь 45 | Обкатка | 8 | 1,15 0,4 | 0,96 0,37 | 0,28 0,3 | 2,66 7,25 | 3,06 8,58 | 3,39 9,55 | 3,03 8,47 | |
| Чугун СЧ 21-40 | | | 0,6 | 0,52 | 0,33 | 5,7 | 6,83 | 7,7 | 6,74 | |

В табл. 11 приведены средние значения соотношения пластических и упругих деформаций, вычисленных по результатам экспериментов.

На основании данных, приведенных в табл. 11, можно сделать вывод о том, что при первом нагружении доля пластических деформаций для фрезерованных и шлифованных поверхностей чугунных и стальных образцов составляет почти половину всей деформации стыков, а у обкатанных поверхностей — около 0,2 всей деформации.

При повторном нагружении фрезерованных и шлифованных поверхностей происходит в основном упругая деформация, но значительно меньше, чем у обкатанных поверхностей. Доля пластических деформаций фрезерованных

и шлифованных поверхностей стыков стальных образцов составляет около 0.12 от всей деформации, а обкатанных — лишь 0.057: для стыков чугунных фрезерованных и шлифованных образцов — 0.07—0.1, для обкатанных — 0.027.

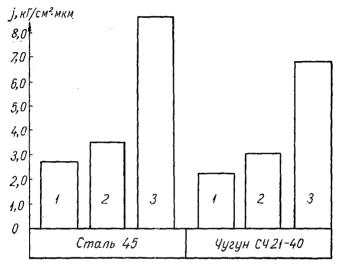


Рис. 19. Жесткость стыков, обработанных: 1 — фрезерованием; 2 — шлифованием; 3 — шариковой головкой.

Из табл. 10 видно, что коэффициент C для обкатанных образцов значительно меньше, чем для фрезерованных и шлифованных. Это подтверждает то, что в результате предварительного пластического деформирования увеличивается жесткость поверхностей за счет повышения класса чистоты и увеличения фактической площади контакта.

При повторном нагружении, так же как и при первом, коэффициент K для обкатанных образцов значительно меньше, чем для фрезерованных и шлифованных образцов.

Пластическая деформация выступов на поверхности чугуна при повторном нагружении в два раза меньше, чем

на поверхности стали, тогда как при первом нагружении поверхность чугуна имела большие остаточные деформации. Это наблюдается из-за частичного разрушения микровыступов чугунных поверхностей при контактировании.

В табл. 12 приведена жесткость различно обработанных поверхностей стыков при первом нагружении, а на рис. 19 — диаграмма, показывающая влияние метода обработки на жесткость. В данном случае жесткость определялась как давление, приходящееся на $1 \ cm^2$ площади, при котором поверхность стыка деформируется на $1 \ m\kappa m$, т. е. единицы жесткости — $\kappa \Gamma/cm^2 \cdot m\kappa m$.

Из табл. 12 и диаграммы, приведенной на рис. 19, видно, что при первом нагружении жесткость стыков обкатанных стальных образцов в 3,1 раза больше жесткости фрезерованных и в 2,4 раза больше жесткости шлифованных; для чугунных образцов жесткость обкатанных стыков соответственно больше в 3 и в 2,2 раза.

Влияние чистового упрочнения плоскостей на их износостойкость

Износостойкость поверхностей трения, являющаяся одним из важных показателей долговечности работы машин, зависит от многих факторов. Она зависит не только от химического состава и структуры металлов трущихся деталей, но в значительной степени и от шероховатости их поверхностей, от состояния тонкого поверхностного слоя, определяющегося микротвердостью, степенью наклепа и степенью искажения кристаллической решетки [5].

По мнению многих ученых, в результате предварительного упрочнения уменьшается износ за счет деформации смятия, происходит диффузия кислорода воздуха в металл и образование в нем твердых химических соединений FeO, Fe_2O и F_2O_3 , которые обычно образуются при окислительном износе, протекающем с ничтожно малой скоростью.

Кроме того, в процессе предварительного упрочнения поверхностных слоев повышается их жесткость и уменьшается взаимное внедрение.

В процессе трения на трущихся поверхностях в период приработки создаются оптимальные шероховатость и наклеп, снижающий пластичность металлов и уменьшающий возможность схватывания. Степень и вид шероховатости оказывают существенное влияние на величину периода приработки, после которого на трущихся поверхностях появляется оптимальная шероховатость и начинается период нормального износа.

Следовательно, для уменьшения износа в период приработки (он иногда составляет 60—70% допустимого) необходимо создать определенную степень предварительного наклепа и шероховатость, близкую к оптимальной для заданных условий трения. Чем ближе будет шероховатость по величине и форме к оптимальной, тем быстрее закончится период приработки, тем большая доля величины допустимого износа останется на период нормального, эксплуатационного износа, тем долговечнее будут детали и машина в целом.

В процессе использования известных методов обработки плоских поверхностей резанием предварительное достижение оптимальной шероховатости и степени наклепа, которые необходимы для увеличения износостойкости, не обеспечиваются. Это достигается путем предварительного упрочнения плоскостей шариковыми головками.

Изучался процесс трения, период приработки трущихся поверхностей, подвергавшихся различным видам обработки, а также протекание нормального износа и влияние предварительного упрочнения поверхностей на их износостойкость.

Эксперименты проводились на круглых стальных и чугунных образцах, торцы которых обрабатывались чистовым строганием, фрезерованием торцовым, периферийным шлифованием и обкаткой шариковой головкой. Образцы изготавливались из стали 45 и чугуна СЧ 21-40.

После предварительной обработки образцы устанавливались в четырехместное приспособление и в процессе истирания прижимались к поверхности эталонной плиты, которая была изготовлена из стали ШХ15 и закалена до твердости HRC 62. Поверхность трения плиты была тщательно обработана и доведена затем до 12-13-го классов чистоты.

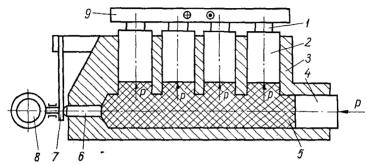


Рис. 20. Схема четырехместного приспособления для установки образцов при испытании их на износ.

На рис. 20 показана схема четырехместного приспособления для исследования образиов на износ. Образец I, установленный в плунжер 2, прижимается к плите 9 под действием давления гидропласта 5 в полости корпуса 3. Это давление создается при движении поршня 4 под действием силы P. Для контроля усилия прижима образиов I к поверхности эталонной плиты 9 служит тарированная балочка 7, которая изгибается при воздействии на нее плунжера 6. Величина изгиба балочки фиксируется индикатором 8. При испытании образиов на износ необходимо, чтобы

При испытании образцов на износ необходимо, чтобы торцы образцов были плотно прижаты к поверхности эталонной плиты. Для этой цели было изготовлено специальное приспособление, показанное на рис. 21, применение которого обеспечивает самоустанавливаемость образцов во время их истирания. В образце *I* диаметром 11,3 мм, площадь торца которого составляет 1 см², имеется диаметральное

отверстие, в которое входят установочные винты 6 с гайками 7. Винты 2 ввинчиваются в кольцо 5, которое по диаметрально расположенным отверстиям, устанавливается под углом 90° к оси винтов 6 на конуса винтов 2, ввернутых в полу-

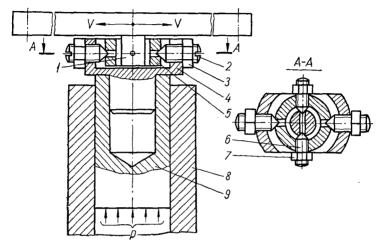


Рис. 21. Схема закрепления образцов при испытании их на износ.

втулку 4 и застопоренных гайками 3. Полувтулка 4 запрессована в отверстие плунжера 9, который под действием давления P гидропласта, перемещается вверх по отверстию корпуса 8, прижимая образец к поверхности эталонной плиты, совершающей возвратно-поступательные движения со скоростью V. Таким образом, образец имеет две степени свободы: он может качаться вокруг оси винтов 6, установленных в кольце 5, и вместе с последним качаться вокруг оси винтов 6, установленных в полувтулке 4. При этом торец образца плотно прилегает к истирающей плите.

Для определения степени износа при истирании применялся метод потери веса, рекомендованный многими исследователями и дающий вполне удовлетворительные результаты.

Через определенное время истирания образец тщательно промывался в спирте и просушивался, затем взвешивался на аналитических весах ВА-200 и показания заносились в соответствующие таблицы. Кроме этого, производилось фотографирование поверхности трения образцов, а также снятие профилограмм и их дальнейшая обработка. Это давало возможность следить не только за процессом истирания, но также и за изменением шероховатости поверхностей трения.

Предварительная обработка поверхностей трения производилась по 7—8-му классам чистоты. Истирание происходило в среде граничной смазки, использовалось отфильтрованное масло индустриальное 30 (машинное Π). Полный цикл истирания длился 72 u, взвешивание и анализ изменения поверхности трения образцов производились через каждые 4 u. Указанное время истирания было выбрано потому, что в основном период приработки почти у всех образцов продолжался от 20 до 60 u. Истирание образцов происходило при удельных давлениях q=12; 20; 28 $\kappa\Gamma/cm^2$ и скорости трения, изменявшейся от 0 до 0,53 $m/ce\kappa$.

Обкатка образцов шариковой головкой производилась на следующих режимах: скорость — 66 м/мин; подача — 0,2 мм/шарик; диаметр шариков — 16,7 мм; давление — 50 кГ/шарик. Обкатка производилась за один проход. При этом шероховатость соответствовала 8-му классу чистоты; глубина наклепанного слоя у чугуна составляла 0,472 мм, у стали — 0,9 мм; степень наклепа чугуна — 1,43, стали — 1,21.

Износ чугунных поверхностей. По данным исследований построена табл. 13, в которой исходная шероховатость и износ обкатанных образцов при каждом удельном давлении условно приняты за единицу.

Анализируя табл. 13, можно отметить, что исходная шероховатость образцов, обработанных резанием, отличается от исходной шероховатости обкатанных образцов значительно меньше, чем износ. Например, шероховатость фрезерованного образца при $q=12~\kappa\Gamma/cm^2$ в 1,76 раза больше

шероховатости обкатанного, а износ фрезерованной поверхности больше в 3,17 раза.

Значительное отличие износа фрезерованной поверхности по сравнению с износом обкатанной объясняется тем, что

Таблица 13 Износостойкость чугунных и стальных плоскостей при различных методах обработки

| , | | I | Перохо | ватост | ь | | | | |
|------------------------|---------------------|-------|--------------------|--------------|-------|----------------|-------|--------------------|-------|
| не при тре- /см² | Метод обработки об- | | дная <i>мкм</i> | относь на | | абсоль g, / | | относитель- ный | |
| Давление нии, кГ/см | разцов | Чугун | Сталь | Чугун | Сталь | Чугун | Сталь | Чугун | Сталь |
| 12 | Обкатка | 0,98 | 0,79 | 1,00 | 1,00 | 0,82 | 1,55 | 1,00 | 1,00 |
| | Шлифование | 1,62 | 1,22 | 1,66 | 1,55 | 2,20 | 2,65 | 2,70 | 1,74 |
| | Фрезерование | 1,72 | 1,27 | 1,76 | 1,61 | 2,60 | 2,40 | 3,17 | 1,87 |
| | Строгание | 2,10 | 1,86 | 2,14 | 2,36 | 3,90 | 3,75 | 4,76 | 2,42 |
| 20 | Обкатка | 1,05 | 0,92 | 1,00 | 1,00 | 1,20 | 2,20 | 1,00 | 1,00 |
| | Шлифование | 1,59 | 1,28 | 1,51 | 1,39 | 2,60 | 3,15 | 2,16 | 1,44 |
| | Фрезерование | 1,98 | 1,46 | 1,88 | 1,59 | 2,90 | 3,60 | 2,42 | 1,64 |
| | Строгание | 2,15 | 1,92 | 2,05 | 2,09 | 4,70 | 4,35 | 3,90 | 1,98 |
| 28 | Обкатка | 0,94 | 0,94 | 1,00 | 1,00 | 1,40 | 2,70 | 1,00 | 1,00 |
| | Шлифование | 1,38 | 1,22 | 1,47 | 1,30 | 2,95 | 3,45 | 2,10 | 1,28 |
| | Фрезерование | 1,75 | 1,18 | 1,86 | 1,26 | 3,10 | 3,83 | 2,20 | 1,42 |
| | Строгание | 2,20 | 1,83 | 2,34 | 1,95 | 5,20 | 5,10 | 3,70 | 1,82 |

период приработки обкатанного образца заканчивается значительно раньше, чем у фрезерованного. Это видно также из графика, приведенного на рис. 22. Для обкатанного образца период приработки длится 20—24 ч, а для фрезерованного образца — около 52 ч; для шлифованного образца — 48 ч. Падение кривых изменения шероховатости резко замедляется примерно от точки конца периода приработки.

Наиболее интенсивный износ наблюдается на строганных поверхностях. Период приработки для них составляет около 60—64 ч. За это время выступы значительно притупляются, увеличивается фактическая площадь. В процессе

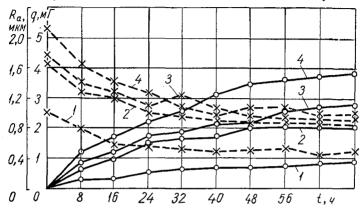


Рис. 22. Изменение шероховатости R_a и износа (сплошные линии) чугунных образцов, обработанных:

I — шариковой головкой; 2 — шлифованием периферией круга; 3 — фрезерованием торцовым; 4 — строганием.

приработки строганных образцов основное влияние на износ оказывает шероховатость и рельеф поверхности, т. е. неоднородность выступов, неодинаковые радиусы закругления их вершин и т. п. При $q=12~\kappa\Gamma/cm^2$ шлифованные образцы изнашиваются в 2,2 раза, фрезерованные — в 2,5 раза и строганные почти в 5 раз больше, чем обкатанные.

При увеличении давления происходит более интенсивный износ в период приработки. Но по достижении оптимальной шероховатости износ резко уменьшается и после 72 и истирание почти не происходит. Это особенно заметно на обкатанных образцах.

Из диаграммы, приведенной на рис. 23, видно, что величина приведенного износа за 72 и истирания у обкатанных

образцов наименьшая, у строганных — наибольшая. Фрезерованные и шлифованные образцы занимают промежуточное значение.

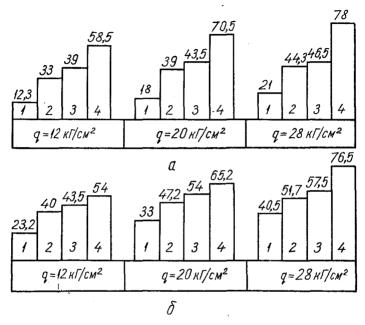


Рис. 23. Приведенный износ, %, за 72~u истирания образцов: 1 — обкатанных; 2 — шлифованных; 3 — фрезерованных; 4 — строганных, a — чугун СЧ 21-40; 6 — сталь 45.

Износ стальных поверхностей. Условия и методика проведения экспериментов были такие же, как и при истирании чугуна.

По результатам экспериментов были построены графики. Износ стальных и чугунных поверхностей подчиняется единому закону и поэтому указанные графики здесь не приведены.

Износ стальных образцов при тех же условиях истирания несколько больше, чем у чугунных. Это можно объяснить тем, что при обкатке чугуна некоторая часть свободного графита выдавливается на поверхность, и в микровпадинах образуются графитовые включения. Эти включения при трении выполняют роль смазки, замедляя износ. Результаты испытаний на износостойкость при различ-

ных методах обработки стальных плоскостей приведены в табл. 13, показывающей влияние метода обработки на износ

стальных образцов при истирании в течение 72 ч.

Из таблицы видно, что обкатанные стальные образцы имеют износостойкость значительно большую, чем фрезерованные, строганные и шлифованные.

В процессе истирания шероховатость стальных образцов уменьшается значительно быстрее по сравнению с чугунными, быстрее достигается оптимальная шероховатость, большая доля допустимого износа приходится на период приработки. Это говорит о том, что стальные поверхности в период приработки изнашиваются интенсивнее чугунных.

На рис. 23 приведена диаграмма общего износа стальных и чугунных образцов за $72\ u$ истирания при различных удельных давлениях. Экспериментальные данные показывают, что обработка плоских поверхностей методом чистового упрочнения шариковыми головками способствует значительному увеличению контактной жесткости стыков за счет создания оптимальной шероховатости, повышенной опорной и фактической площади, а также за счет предварительного пластического деформирования поверхностного слоя.

В условиях граничной смазки при окислительном износе поверхности трения чугуна СЧ 21-40, обработанной шариковой головкой при одинаковых условиях истирания, имеют износостойкость в 2,3 раза выше шлифованных, в 2,6 выше фрезерованных и в 4, 1 раза выше строганных.

Износостойкость поверхности стали 45, обкатанной шари-

ковой головкой, при тех же условиях истирания в 1,1 раза

выше износостойкости шлифованных, в 1,67 раза выше фрезерованных и в 2,07 раза выше строганных.

Как указывалось выше, в период приработки основное влияние на износ оказывает величина и вид шероховатости, а также состояние поверхностного слоя: микротвердость и степень наклепа, полученные в процессе механической обработки. В период нормального износа основное влияние на износ оказывает рельеф и величина опорной площади поверхностей трения, а также степень наклепа, сформировавшиеся к концу периода приработки.

Применение предварительного чистового упрочнения плоских поверхностей значительно увеличивает их жесткость и износостойкость, увеличивает тем самым долговечность и надежность деталей, механизмов и машин.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Степень технической и экономической целесообразности применения того или иного технологического процесса определяется в процессе технико-экономического анализа. На основании этого анализа можно судить о перспективности разработанного процесса обработки и дать рекомендации по его внедрению в производство. Технико-экономический анализ проведен и в области обработки поверхностей пластическим деформированием.

Исследования проводились на изготовленных из стали 45 и чугуна СЧ 21-40 деталях, имевших плоские поверхности площадью 300 × 68 мм. При использовании каждого метода чистовой обработки плоскости предварительно обрабатывались торцовым фрезерованием до 5-го класса чистоты. Фрезерование и обкатка производились на вертикально-фрезерном станке 6Н12, шлифование — на плоскошлифовальном станке 371М1.

В качестве критерия оценки технической эффективности сравниваемых методов чистовой обработки плоскостей были приняты среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм, и геометрическая точность плоскости (отклонение от плоскости на 100 мм длины).

Шероховатость поверхности контролировалась профилометром-профилографом модели 201 завода «Калибр», отклонение от плоскостности — микронной головкой с точностью до 0,5 мкм.

За критерий оценки экономической эффективности сравниваемых методов обработки были приняты трудоемкость и технологическая себестоимость.

Показателем трудоемкости служила величина штучнокалькуляционного времени, зависящего от подготовительнозаключительного времени при переходе от одного метода к другому, а также от объема производства. Трудоемкость определяли с учетом режимов обработки, при которых обеспечивается изготовление требуемого количества изделий при наименьших затратах. Количество деталей в партии принимали равным 50 шт.

Показателем технологической себестоимости служила стоимость чистовой обработки плоскости одной детали, определяемая по формуле

 $C_{\rm T} = AT_{\rm K} + C_{\rm H}$

где A — отнесенные к 1 $\mathit{мин}$ работы станка затраты на заработную плату; на амортизацию; на ремонт и модернизацию оборудования и приспособлений, режущего и мерительного инструмента; на электроэнергию, вспомогательные материалы, амортизацию, ремонт и содержание производственных помещений; на общие цеховые расходы (6); T_{κ} — штучно-калькуляционное время; C_{κ} — затраты на инструмент для чистовой обработки плоскости. Для фрезы и шлифовального круга

$$C_{u} = \frac{H + \Pi K}{T_{x}(K+1)} t_{\text{Mam}},$$

где H — начальная покупная стоимость инструмента; Π — затраты на одну переточку; K — общее число переточек, допустимое для инструмента; $T_{\rm T}$ — технологическая стойкость инструмента между переточками; $t_{\rm маш}$ — машинное время чистовой обработки плоскости. Для шариковой головки величина $C_{\rm u}$ была определена при расчете фактических затрат на ее изготовление. Стоимость материалов и других затрат, связанных с изготовлением шариковой головки в инструментальном цехе Брянского машиностроительного завода составила 50 руб. Эта сумма является начальной стоимостью инструмента H. В процессе исследований было установлено, что поверхности шариков начинают ухудшаться после 80—85 μ , т. е. около 5000 μ 0 μ 1. Тогда можно считать, что для шариковой головки

$$C_{\rm M} = \frac{H}{T_{\rm T}} t_{\rm Mail} = 0.01 t_{\rm Mail}.$$

Чистовое фрезерование плоскостей осуществлялось торцовой фрезой с резцами, оснащенными пластинками ВК8 и Т15К6. Режимы фрезерования были выбраны с учетом достижения наименьшей шероховатости поверхности. При фрезеровании чугуна СЧ 21-40 удалось получить 7-й, а при фрезеровании стали — 8-й классы чистоты. Чистовое шлифование проводили периферией круга ПП марки Э60 СМ2К, рекомендуемого для шлифования стали 45 и чугуна СЧ 21-40; размеры круга выбирались с учетом площади поверхности (диаметр 300 мм, ширина 32 мм). Режимы шлифования были рассчитаны и проверены с учетом требований по обеспечению определенной шероховатости и плоскостности поверхности.

Машинное время было рассчитано и проверено хронометражом для обработки по 7-му классу чистоты. Для определения машинного времени при получении более высоких классов чистоты машинное время, полученное для 7-го класса умножали на коэффициенты, учитывающие более длительное выхаживание при шлифовании. Были приняты следующие коэффициенты: 1,17 — для 8-го класса и 1,32 — для 9-го

класса чистоты поверхности. Величину подачи на ход стола S_0 определяли также с помощью коэффициентов, учитывающих точность плоскости, состояние обрабатываемого материала и заполнение стола.

Обкатывание плоскостей производили шариковой головкой, показанной на рис. 10. Для достижения высокой плоскостности и чистоты поверхности обкатывание проводили сразу же после предварительного фрезерования за одну установку детали.

Данные о режимах обработки и трудоемкости фрезерования, шлифования и обкатки приведены в табл. 14, из которой следует, что для получения одинаковых шероховатости и точности обработанной поверхности, обкатывание стальных и чугунных плоскостей шариковыми головками является по сравнению с чистовым фрезерованием и шлифованием менее трудоемкой операцией. Кроме того, при чистовом фрезеровании можно добиться шероховатости поверхности $\nabla 8$ при обработке стальных и не выше $\nabla 7$ при обработке чугунных поверхностей, тогда как при шлифовании и обкатке обеспечивается более высокий класс чистоты.

Результаты подсчета технологической себестоимости чистовой обработки одной плоскости для сравниваемых методов при A=0.02 руб. и значениях $T_{\rm k}$, взятых из табл. 14, приведены в табл. 15.

Из табл. 15 следует, что технологическая себестоимость чистовой обработки плоскостей C_{T} обкатыванием шариковой головкой значительно меньше, чем при чистовом фрезеровании и шлифовании при одинаковых требованиях по обеспечению определенных шероховатости и точности поверхности. С повышением класса чистоты обработанной поверхности значение C_{τ} возрастает, причем, для фрезерования и шлифования более значительно, чем для обкатки плоскостей. Таким образом, следует вывод, что обкатка плоскостей шариковыми головками может быть рекомендована как

размерно-чистовой метод обработки, при использовании

| | | | | | Pez | кимы | и тр | удоем | кость | обра | ботки | |
|----------------------------|--------------------------------|---|------------------|-------------------------|----------|--------|------------------|-----------|------------|-------------------------|-------------|---|
| | | | | | | , | | M | етоды | чистов | юä | |
| | ММ | | 1 | | Фре | зерова | ние | | | Шл | ифо | , |
| | 8 | E | Режим Время, мин | | | | | | мин | Режим | | |
| Обрабатываемый материал | Точность плоскости, мкм/100 мм | точность плоскости, межу и Класс чистоты поверхности S_{z_i} мм/зуб | | S _M , мм/мин | V, м/мин | Т, мм | _т маш | tmr | $T_{ m K}$ | S ₀ , мм/ход | Stk, MM/x00 | |
| | 20 | 7 | 0,08 | 47,5 | | | 6,66 | 9,16 | 9,93 | 8 | 0,03 | |
| | | 8 | 0,06 | 37,5 | | | 8,3 | 10,96 | 11,73 | | | |
| Сталь 45 | | 9 | ~ | - | 207 | 1 | _ | | _ | | | |
| | | 7 | 0,1 | 60 | | | 5,2 | 7,55 | 8,32 | | | |
| | 50 | 8 | 0 ,0 8 | 47,5 | | | 6,66 | 9,16 | 9,93 | 8 | 0,05 | |
| | | 9 | - | | | | - | - | - | | | |
| Чугун СЧ 21-40 | 20 | 7 | 0,08 | 37,5 | | | 8,3 | 10,96 | 11,73 | | 0,04 | |
| , | | 8 | | - | | | - | - | - | 8 | | |
| | | 7 8 | 0,1 | 47,5 — | 164 | 1,5 | 6 ,6 6 | 9,16 — | 9,93 | 8 | 0,07 | |
| | | | | | | | | | | | | l |

| Примечание. В заблице введены следующие обозначения: V— |
|--|
| $V_{\rm K}$ — окружная скорость шлифовального круга; t — глубина резания; |
| подача на ход стола; S_{t_h} — подача на глубину; $S_{\rm m}$ — подача на один шарик; |
| рик; Π — припуск на шлифование; $t_{\text{маш}}$, $t_{\text{шт}}$, $T_{\text{к}}$ — соответственно время |

| ва | ние | | | | | | | (| Эбкать | вание | | | |
|-------------|-----------------------|-----------------------|------------------|--------------------|------------|----------------|------------------------|---------------------------|------------------------|-------------|-------------------|-----------------|---------|
| | | | Вр | емя, м | ин | Режим Время, м | | | | | | | ин |
| П, мм | V _{д,} м/мин | V _{K9} м/мин | ⁴ маш | tur | $T_{ m K}$ | п, об/мин | V ₀ , м/мин | S _Ш , мм/шарик | S _{м, мм/мин} | Р, кг/шарик | t _{Mall} | t _{uT} | T_{u} |
| | | | 5,95 | 7,8 | 8,35 | 475 | 104,5 | | 190 | 50 | 1,96 | 5,45 | 5 |
| | | | 6,96 | 9,69 | 10,24 | 375 | 82,5 | 0,05 | 150 | 87,5 | 2,48 | 6,02 | 6 |
| 25 | 5 | · — | 7,85 | 10,57 | 11,22 | 300 | 66 | | 118 | 112,5 | 3,15 | 6 ,7 5 | 6 |
| | | <u> </u> | 3,57 | 5,24 | 5,79 | 600 | 132 | | 235 | 25 | 1,58 | 5,03 | 5 |
| | | | 4,17 | 5 _{\$} 94 | 6,49 | 475 | 104,5 | 0,05 | 190 | 62,5 | 1,96 | 5,45 | 3 |
| | | | 4,71 | 6,5 | 7,05 | 375 | 82,5 | | 150 | 87,5 | 2,48 | 6,02 | • |
| | | | 4,25 | 6,71 | 7,26 | 475 | 105,5 | | 235 | 31,3 | 1,58 | 5,00 | ; |
| _ | _ | 15 | 4,96 | 7,49 | 8,04 | 375 | 82,5 | 0,06 | 190 | 25 | 1,96 | 5,45 | |
| | | | 2,7 | 4,29 | 4,84 | 475 | 104,5 | | 300 | 18,8 | " | 4,66 | 1 |
| | | | 3,16 | 4,8 | 5,35 | 375 | 82,5 | 0,08 | 235 | 25 | 1,58 | 5,03 | |

скорость резания; $V_{\rm d}$ — скорость движения обрабатываемой детали; $S_{\rm z}$ — подача на один зуб фрезы; $S_{\rm m}$ — минутная подача; $S_{\rm 0}$ — поперечная $V_{\rm 0}$ — скорость обкатки; n — число оборотов головки; P — нагрузка на шамашинное, штучное, штучно-калькуляционное.

которого обеспечивается значительное повышение производительности и экономичности чистовой обработки плоскостей.

На основании всестороннего технического и экономического анализа можно сделать вывод о том, что применение

Tаблица 15 Затраты на инструмент $C_{\rm u}$ и технологическая себестоимость $C_{\rm T}$, руб., чистовой обработки плоскостей различными методами

| | ė | | Мет | оды чис | товой о | бработк | и плоско | стей |
|-------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | плоско- | ru ru | Фрезер | ование | Шлиф | ование | Обкат | вание |
| Обрабатываемый материал | Точность п сти, мкм 100 мм | мкм жм сс чис | | Ст | Сы | C_{T} | C 18 | $C_{\mathbf{T}}$ |
| Сталь 45 | 20 | 7 8 | 0,032 0,037 | 0,23 0,27 | 0,077 0,19 | 0,244 0,298 | 0,019 0,025 | 0,131 0,149 |
| | 50 | 9 7 8 | 0,024 0,032 | 0,19 0,23 | 0,102 0,046 0,054 | 0,326 0,162 0,184 | 0,031 0,016 0,019 | 0,170 0,120 0,131 |
| | 20 | 9 7 8 | 0,037 | 0,27 | 0,061 0,055 0,065 | 0,202 0,200 0,225 | 0,025 0,016 0,019 | 0,149 0,120 0,131 |
| Чугун СЧ 21-40 | 50 | 8 | 0,032 | 0,23 | 0,035 | 0,132 0,148 | 0,012 0,016 | 0,109 0,120 |

метода обработки плоскостей пластическим деформированием способствует улучшению качества поверхностного слоя деталей машин. Возрастают физико-механические характеристики поверхности, значительно уменьшается шероховатость и повышается точность плоскости. Себестоимость операции обкатки плоскости шариковыми головками и виброобкатками значительно ниже себестоимости чистовой обработки методами резания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов В. А. Накатный инструмент для отделочно-упрочняющей обработки плоских металлических поверхностей. Авт. свид. № 134100.— «Бюллетень изобретений», 1966, № 23.

2. Белов В. А. Устройство для обработки плоских поверхностей виброобкатыванием. Авт. свид. № 209507.— «Бюллетень изобре-

тений», 1968, № 5.

3. Браславский В. М. Обработка направляющих роли-

ками. — «Станки и инструмент», 1958, № 10.

4. Коновалов Е. Г., Сидоренко В. А. Чистовая и упрочняющая ротационная обработка поверхностей. Минск, «Высшая школа», 1968.

5. Маталин А. А. Качество поверхности и эксплуатационные

свойства деталей машин. М. — Л., Машгиз, 1956.

6. Маталин А. А., Рысцова В. С. Точность, производительность и экономичность механической обработки. М.— Л., Машгиз, 1963.

7. Рыжов Э. В. Основы расчета стальных поверхностей де-

талей машин на контактную жесткость. М., Машгиз, 1962.

8. Ш нейдер Ю. Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом.— В сб.: «Передовая технология и автоматизация управления процессами обработки деталей машин». Л., «Машиностроение», 1970.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| Предисловие 3 |
|--|
| Однороликовые и одношариковые инструменты, для чистовой об- |
| работки плоскостей |
| Однороликовые инструменты |
| Одношариковые инструменты |
| Режим обработки плоскостей однороликовыми и одноша- |
| риковыми инструментами |
| Шариковые головки для обработки плоскостей пластическим де- |
| формированием |
| Особенности обработки плоскостей шариковыми головками 16 |
| Конструктивные разновидности шариковых головок 18 |
| Влияние режимов обкатки плоскостей шариковыми головка- |
| ми на качество поверхности |
| Примеры промышленного использования шариковых головок |
| в промышленности, режимы обработки шариковыми головками 35 |
| Обработка плоских поверхностей методом виброобкатывания 37 |
| Особенности метода виброобкатывания |
| Устройство для обработки плоских поверхностей виброобка- |
| тыванием |
| Режимы вибрационного упрочнения плоскостей 41 |
| Влияние поверхностного пластического деформирования плоскостей |
| на их эксплуатационные свойства |
| Влияние чистового упрочнения плоских поверхностей на ве- |
| личину опорной площади |
| Влияние пластического деформирования поверхностей на их |
| контактную жесткость |
| Влияние чистового упрочнения плоскостей на их износостой- |
| кость |
| Технико-экономический анализ чистовой обработки плоских по- |
| верхностей пластическим деформированием |
| Литература 69 |

Василий Андреевич Белов, канд, техн. наук

Технология обработки плоскостей пластическим деформированием

Редактор инж. В. С. Козаченко Обложка художника В. М. Флакса Художественные редакторы О. Ф. Кузьменко, В. И. Глазунов Технический редактор Н. И. Старченкова Корректор Ж. С. Яловая.

Сдано в набор 16. VIII 1971 г. Подписано к печати 7. XII 1971 г. Формат бумаги 70×1084/22. Бумага типографская № 1. Объем: 2.25 физ. л.; 3,15 усл. л.; 2,97 уч.-изд. л. Тираж 2600. БФ 28 388. Цена № 10. Зак. 455.

Издательство «Техніка», 252601, Кнев, 4ГСП, Пушкинская, 28

Напечатано с матриц Киевского полиграфического комбината на книжной фабрике «Октябрь» Комитета по печати при Совете Министров УССР, Киев, Артема, 23а.

19коп



24547=

