

*Походня И. К.* Газы в сварных швах. М., «Машиностроение», 1972. 255 с. с ил.

*Походня И. К., Суптель А. М., Шлепаков В. Н.* Сварка порошковой проволокой. Киев, «Наукова думка», 1972. 222 с. с ил.

*Прох Л. И., Шпаков Б. М., Яворская Н. М.* Справочник по сварочному оборудованию. Киев, «Техника», 1978. 406 с. с ил.

*Разигов М. И.* Автоматическая наплавка в среде углекислого газа. М., Машгиз, 1962. 208 с. с ил.

*Разигов М. И., Толстов И. А.* Справочник мастера наплавочного участка. М., «Машиностроение», 1966. 200 с. с ил.

*Рыкалин Н. Н.* Расчеты тепловых процессов при сварке. М., Машгиз, 1963. 292 с. с ил.

*Самсонов Г. В., Эпик А. П.* Тугоплавкие покрытия. М., «Металлургия», 1973. 406 с. с ил.

Сварка и резка в промышленном строительстве. Справочник монтажника. Под ред. Б. Д. Малышева. М., Стройиздат, 1980. 786 с. с ил.

Сварка в машиностроении. Т. 2. Справочник под ред. А. И. Акулова. М., «Машиностроение», 1978. 462 с. с ил.

Справочник по сварке. Т. 3. Под ред. В. А. Винокурова. М., «Машиностроение», 1970. 458 с. с ил.

Справочник по сварке. Т. 4. Под ред. А. И. Акулова. М., «Машиностроение», 1971. 416 с. с ил.

Справочник сварщика. Под ред. В. В. Степанова. М., «Машиностроение», 1974. 501 с. с ил.

*Сторожик Д. А., Тылкин М. А., Гребен*

*ник В. М.* Изготовление и эксплуатация загрузочных устройств доменных печей. М., «Металлургия», 1973. 320 с. с ил.

Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. Б. Е. Патона. М., «Машиностроение», 1974. 768 с. с ил.

*Тылкин М. А.* Прочность и износостойкость деталей металлургического оборудования. М., «Металлургия», 1965. 348 с. с ил.

*Тылкин М. А.* Повышение долговечности деталей металлургического оборудования. М., «Металлургия», 1971. 608 с. с ил.

*Фрумин И. И., Юзвенко Ю. А., Лейначук Е. И.* Технология механизированной наплавки. М., «Высшая школа», 1964. 304 с. с ил.

*Фрумин И. И.* Автоматическая электродуговая наплавка. Харьков, Металлургиздат, 1961. 421 с. с ил.

*Шварцер А. Я.* Электрошлаковая наплавка. Донецк, Книжное издательство, 1962. 52 с. с ил.

*Шехтер С. Я.* Восстановление оборудования механизированной наплавкой. М., «Металлургия», 1965. 136 с. с ил.

*Шехтер С. Я., Шварцер А. Я.* Наплавка деталей металлургического оборудования. Справочник. М., «Металлургия», 1981. 160 с. с ил.

Электроды для дуговой сварки и наплавки. Каталог под ред. И. И. Фрумина. Киев, «Наукова думка», 1967. 350 с. с ил.

*Юзвенко Ю. А., Кирилюк Г. А.* Наплавка порошковой проволокой. М., «Машиностроение», 1973. 47 с. с ил.

*Юзвенко Ю. А.* Наплавка. Киев, «Наукова думка», 1976. 69 с. с ил.

## Глава XII

### УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ

Упрочнение деталей пластическим деформированием поверхности применяют в основном для повышения их усталостной прочности, контактной выносливости и износостойкости; существенное значение имеет и достижение более высоких классов шероховатости поверхности деталей за счет поверхностного деформирования. Этому способствуют уменьшение высоты шероховатости и сглаживание формы микронеровностей в результате деформирования. Поэтому детали, обработанные пластическим деформированием поверхности, имеют значительно более высокую несущую способность, чем детали, не подвергнутые этому виду упрочняющей обработки.

Наиболее распространенным способом упрочнения пластическим деформированием поверхности является обкатка деталей

роликами. В то же время определенное распространение в технике получили обкатка пружинящими шариками, упрочнение дробеструйным и центробежно-шариковым наклепом, упрочнение чеканкой. В последние годы все шире применяется поверхностная термомеханическая обработка. Основные виды поверхностного упрочнения пластическим деформированием схематически показаны на рис. XII.1.

#### 1. Обкатка деталей роликами

##### Технологические параметры обкатки роликами

Деформация металла при обкатке начинается с вдавливания ролика в поверхность детали. Исходный контакт ролика с де-

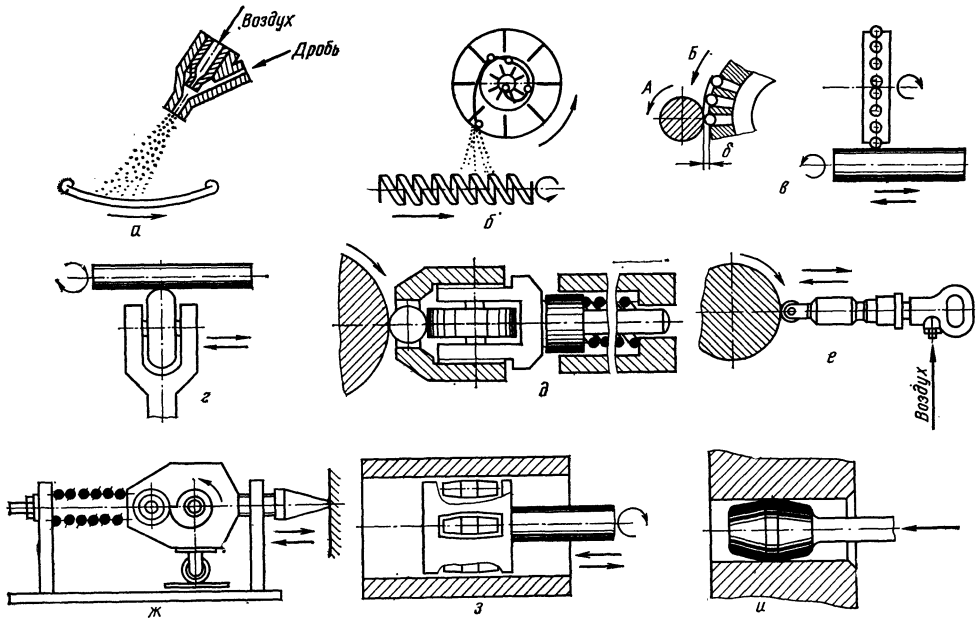


Рис. XII.1. Основные виды упрочнения пластическим деформированием поверхности:

*a* — пневматический наклеп дробью; *б* — механический наклеп дробью; *в* — центробежно-шариковый наклеп; *г* — обкатка роликами; *д* — обкатка шариками; *е* — обкатка вибрирующим роликом; *ж* — наклеп механической чеканкой; *з* — раскатывание отверстия роликами; *и* — дорнование

талью в зависимости от конфигурации контактирующих тел может быть точечным или линейным. Под действием приложенной силы ролик вдавливается в деталь, образуя на ее поверхности отпечаток, форма которого играет важную роль в последующем процессе пластической деформации при обкатке.

Отпечаток эллиптической формы образуется при обкатке детали произвольной формы роликом кругового профиля, если радиус его кривизны не равен радиусу кривизны детали, взятому с противоположным знаком. Ролики с рабочим профилем, очерченным в осевом сечении по окружности, т. е. изготовленные в форме тора, бочки или сферы (в частности, шарик), имеют преимущества, обеспечивающие им широкое применение в производственной практике. При их использовании постоянная форма отпечатка сохраняется независимо от точности установки ролика и жесткости системы станок — инструмент — деталь. Ролики кругового профиля широко используются при чистовой обкатке и служат основным инструментом для упрочнения. Прямоугольный отпечаток создается при линейном исходном контакте ролика с деталью.

Условием образования линейного контакта служит равенство абсолютных величин кривизны профиля ролика и детали. Например, линейный контакт имеют цилиндрическая деталь с роликом прямоугольного профиля при параллельных образующих, галтель и торообразный ролик — при равных по абсолютной величине радиусах кривизны и т. п. Прямоугольный отпечаток создает наилучшие условия деформации

при обкатке без продольной подачи коротких поверхностей, когда ширина ролика перекрывает длину обкатываемого участка (полноконтатные ролики).

Применение роликов, имеющих линейный контакт с деталью, для обкатки с продоль-

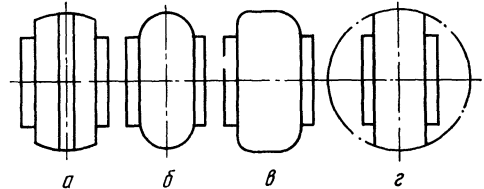


Рис. XII.2. Ролики для обкатки:

*a* — с цилиндрическим пояском; *б* — с тороидальным контуром; *в* — со специальным контуром; *г* — со сферическим контуром

ной подачей требует принятия мер, снимающих концентрацию контактных напряжений на краю отпечатка, противоположном направлению подачи; в этом месте прекращается контакт детали с роликом и окончательно формируется обкатанная поверхность.

Ролики обычно изготавливают из стали марок X12, X12M, XBG, 5XHM, ШХ15, У10, У12 и закалывают на твердость HRC58—65. Для повышения износостойкости рабочие поверхности роликов иногда наплавляют твердыми сплавами. Основные виды роликов, применяемых при чистовой обкатке, схематически показаны на рис. XII.2.

Деформация поверхности зависит от силы обкатки, профильного радиуса ролика,

Таблица XII.1

Заходная впадина в начале обкатанного участка

Материал детали	Твердость HB	Диаметр де- тали, мм	Диаметр ро- лика, мм	Радиус профиля ролика, мм	Сила обкат- ки, кгс	Подача, мм/об	Глубина заходной впадины, мм	Ширина заходной впадины, мм	
								изме- ренная	рассчитан- ная по формуле (XII.1)
Алюминиевый сплав	84	114	50	54	600	0,61	0,04	12	10,8
				16	600	0,43	0,08	12	10,8
				5,5	600	0,3	0,18	11,2	10,8
Сталь 20	131	115	50	54	840	1,04	0,02	9,3	10
				5,5	840	0,3	0,18	9,5	10
Сталь Ст5	180	300	105	3	1500	0,3	0,3	12	11,5
Сталь 50	196	235	105	12	6000	0,5	0,5	20	22
		475	105	10	6000	0,5	0,45	22	22
Сталь 34ХН1М	270	500	105	10	5950	0,5	0,4	18	18

подачи, соотношения диаметров детали и ролика. Наибольшие деформации поверхности, приводящие к недопустимому уменьшению диаметра детали (образованию впадины), наблюдаются в начале обкатанной поверхности. В табл. XII.1 приведены значения заходной впадины, полученные при обкатке различных валов.

Глубина впадины зависит от силы, радиуса профиля ролика и подачи; она невелика при использовании роликов с большим профильным радиусом, характерным для чистой обкатки, и может достигать несколько десятых долей миллиметра при упрочнении.

Ширина впадины растет по мере увеличения силы обкатки и уменьшения твердости материала детали. Эту величину важно знать при проектировании технологического процесса упрочняющей обкатки, чтобы вывести впадину за пределы, где необходимы точные размеры упрочняемого участка вала. Обобщение опытных данных позволило В. М. Браславскому предложить следующую формулу для расчета ширины впадины  $L$  (мм) в начале обкатанной поверхности:

$$L = 4 \sqrt{P/HB}, \quad (XII.1)$$

где  $P$  — сила обкатки, кгс;  
 $HB$  — твердость материала, кгс/мм<sup>2</sup>.

Равномерность подачи роликов при обкатке деталей играет в формировании обкатываемой поверхности весьма существенную роль. Действительно, дискретное перемещение очага деформации в направлении, перпендикулярном к плоскости обкатывания, приводит к появлению нового микропрофиля, обусловленного взаимодействием следов соседних проходов ролика. Нарушение непрерывности и постоянства подачи роликов приводит к неравномерности пластической деформации, а значит, и к образованию волнистости на обкатываемой поверхности. Волнистость может возникнуть и в результате релаксационных колебаний суппорта станка. Действительно, металло-

режущие станки рассчитаны на иное, чем при обкатке, соотношение составляющих сил резания. Вследствие этого направляющие суппорта попадают в неблагоприятных условиях, способствующих при больших нагрузках и малых подачах возбуждению релаксационных колебаний, т. е. периодическим остановкам суппорта из-за различия коэффициентов трения, покоя и движения в направляющих.

К неравномерности деформации, а следовательно, к волнистости поверхности при обкатке могут привести не только колебания подачи. Неравномерная твердость металла иногда вызывает появление волнистости, особенно при обкатке роликами литых деталей. Кроме того, на обкатанной поверхности более заметна волнистость, возникшая еще в процессе предварительной обработки детали.

Возможны два способа борьбы с волнистостью: уменьшением колебаний подачи (применением роликов с диаметром, кратным диаметру детали) и уменьшением биения роликов. Первый способ практически мало удобен — в каждом случае обкатки необходимо выбирать специальный ролик. Более рационален второй способ. При этом для уменьшения волнистости следует использовать ролики с точным рабочим профилем, обработанным с базой на установочную поверхность, а также применять надежные подшипники, исключающие дополнительную погрешность при установке роликов; после сборки приспособления осевое биение ролика должно быть не более 0,01—0,02 мм. К образованию волнистости могут привести и другие дефекты роликов: колебания радиуса кривизны, местные царапины, неоднородная шероховатость рабочей поверхности. Все это устраняется точным изготовлением и своевременным перешлифовыванием роликов по мере их износа. Существенное влияние на волнистость оказывает и угол вдавливания ролика. Опыт показывает, что для роликов кругового профиля в обычных производственных условиях угол вдавливания в осевом сечении должен быть в пределах 2—3°.

Для установления параметров технологического процесса при чистовой обкатке деталей роликами кругового профиля в производственных условиях удобно пользоваться номограммой зависимости силы от геометрических параметров ролика и детали. На рис. XII.3 приведена такая номограмма для цилиндрических деталей из стали 20 (НВ140). Силы, выполненные на ней сплошными линиями, дают на деталях из стали 20 отпечатки с углом вдавливания в плоскости подачи  $\varphi = 2^\circ 30'$  при отношении осей отпечатков  $b/a \geq 0,25$ . Для более вытянутых отпечатков (выше точек перелома кривых) средний угол вдавливания  $\varphi = 5^\circ$ .

Если ограничить средний угол величиной  $2^\circ 30'$ , точки перелома кривых снижаются до значения  $b/a = 1$ . Тогда все отпечатки, вытянутые в направлении подачи, будут иметь углы вдавливания в осевом сечении ролика  $\varphi < 2^\circ 30'$ , что повышает надежность предотвращения волнистости, но ограничивает чистовой эффект обкатки двумя — тремя классами.

Для иллюстрации способа использования номограммы, приведенной на рис. XII.3, найдем силу, необходимую для обкатки вала из стали 20 диаметром 250 мм роликом, имеющим диаметр и профильный радиус 100 мм. Сила, допускаемая по углу вдавливания в осевом сечении, составляет 2500 кгс; такая сила гарантирует отсутствие волны и обеспечивает высокий класс шероховатости. При наличии других ограничений (недостаточная жесткость детали, слабый станок) можно рассчитывать на удовлетворительную обкатку при меньшей силе — до 1400 кгс. Для дальнейшего снижения силы необходимо уменьшить диаметр или профильный радиус ролика.

Для деталей с криволинейной образующей вместо профильного радиуса ролика  $r$  при выборе силы по номограмме следует учитывать приведенный радиус:

$$r_{пр} = rR/(r + R). \quad (\text{XII.2})$$

Подачу при обкатывании можно определить, исходя из шероховатости вновь создаваемого микропрофиля. С увеличением исходной шероховатости улучшение качества поверхности наблюдается при большем числе повторных проходов ролика, поэтому при обкатке поверхностей с исходной шероховатостью 4-го класса целесообразны повторные продольные проходы: при  $R_z = 32 \div 40$  мкм принимаются три прохода, при  $R_z = 20 \div 32$  мкм — два. Обкатка менее шероховатых поверхностей выполняется за один проход. Поддачи, установленные с учетом указанных условий, приведены в табл. XII.2.

Табл. XII.2 дает возможность выбрать подачу в зависимости от профильного радиуса  $r$ , требуемой и исходной шероховатости поверхности. При обкатке деталей с криволинейной образующей подачу выбирают по приведенному радиусу, рассчитанному по формуле (XII.2).

Трансформация роликов, заключающаяся в увеличении профильных радиусов при уменьшении диаметров, приводит к пре-

Т а б л и ц а XII.2

Подачи при обкатке деталей роликами кругового профиля

Профильный или приведенный радиус ролика, мм	Подача $S$ , мм/об, для получения класса шероховатости						
	7-го		8-го		9-го		
	при исходном классе шероховатости						
	4-м	5-м	6-м	5-м	6-м	6-м	7-м
5	0,07	0,15	0,30	0,07	0,15	0,07	0,15
6,3	0,09	0,18	0,36	0,09	0,18	0,09	0,17
8	0,12	0,23	0,46	0,12	0,23	0,12	0,19
10	0,15	0,29	0,56	0,15	0,29	0,15	0,21
12,5	0,18	0,37	0,64	0,18	0,34	0,18	0,24
16	0,23	0,47	0,72	0,23	0,32	0,23	0,27
20	0,29	0,58	0,80	0,29	0,42	0,29	0,30
25	0,37	0,83	0,88	0,37	0,48	0,35	0,35
32	0,47	0,94	1,00	0,47	0,54	0,39	0,39
40	0,58	1,12	1,12	0,58	0,60	0,43	0,43
50	0,74	1,24	1,24	0,66	0,66	0,48	0,48
63	0,92	1,40	1,40	0,72	0,72	0,54	0,54
80	1,17	1,60	1,60	0,84	0,84	0,60	0,60
100	1,45	1,80	1,80	0,96	0,96	0,66	0,66
125	1,80	2,00	2,00	1,05	1,05	0,75	0,75
160	2,25	2,25	2,25	1,23	1,23	0,85	0,85
200	2,55	2,55	2,55	1,35	1,35	0,95	0,95
250	2,90	2,90	2,90	1,55	1,55	1,10	1,10
320	3,20	3,20	3,60	1,70	1,70	1,20	1,20
400	3,60	3,60	3,60	1,90	1,90	1,40	1,40
500	4,00	4,00	4,00	2,20	2,20	1,55	1,55
630	4,60	4,60	4,60	2,40	2,40	1,70	1,70

вращению их в цилиндрические тела. Вытянутый эллиптический отпечаток стремится к прямоугольному. Ролики с прямолинейным профилем можно применять для обкатки при условии устранения концентрации напряжений на краю их контакта с обкатанной поверхностью. Это достигается округлением профиля или установкой ролика под небольшим углом к обкатываемой поверхности, придающим отпечатку каплевидную форму.

На основе обобщения экспериментальных данных В. М. Браславский построил графики зависимости силы обкатки, отнесенной к длине контакта, от диаметра роликов прямолинейного профиля и числа проходов (рис. XII.4). Эти графики рекомендуются использовать при обкатке деталей из стали 20 с твердостью НВ140. Они дают возможность определить силы обкатки, обеспечивающие уменьшение шероховатости с 3—4-го до 7—9-го классов за 1, 2, 4, 8 и 16 проходов роликов. Для выбора силы полное число проходов следует принимать равным числу продольных проходов, умноженному на отношение подачи  $S$  к длине контакта  $2a$ . При этом длину контакта можно считать равной ширине цилиндрического участка профиля роликов.

Для определения силы обкатки деталей из стали, твердость которой выше или ниже величины НВ140, следует силу, найден-

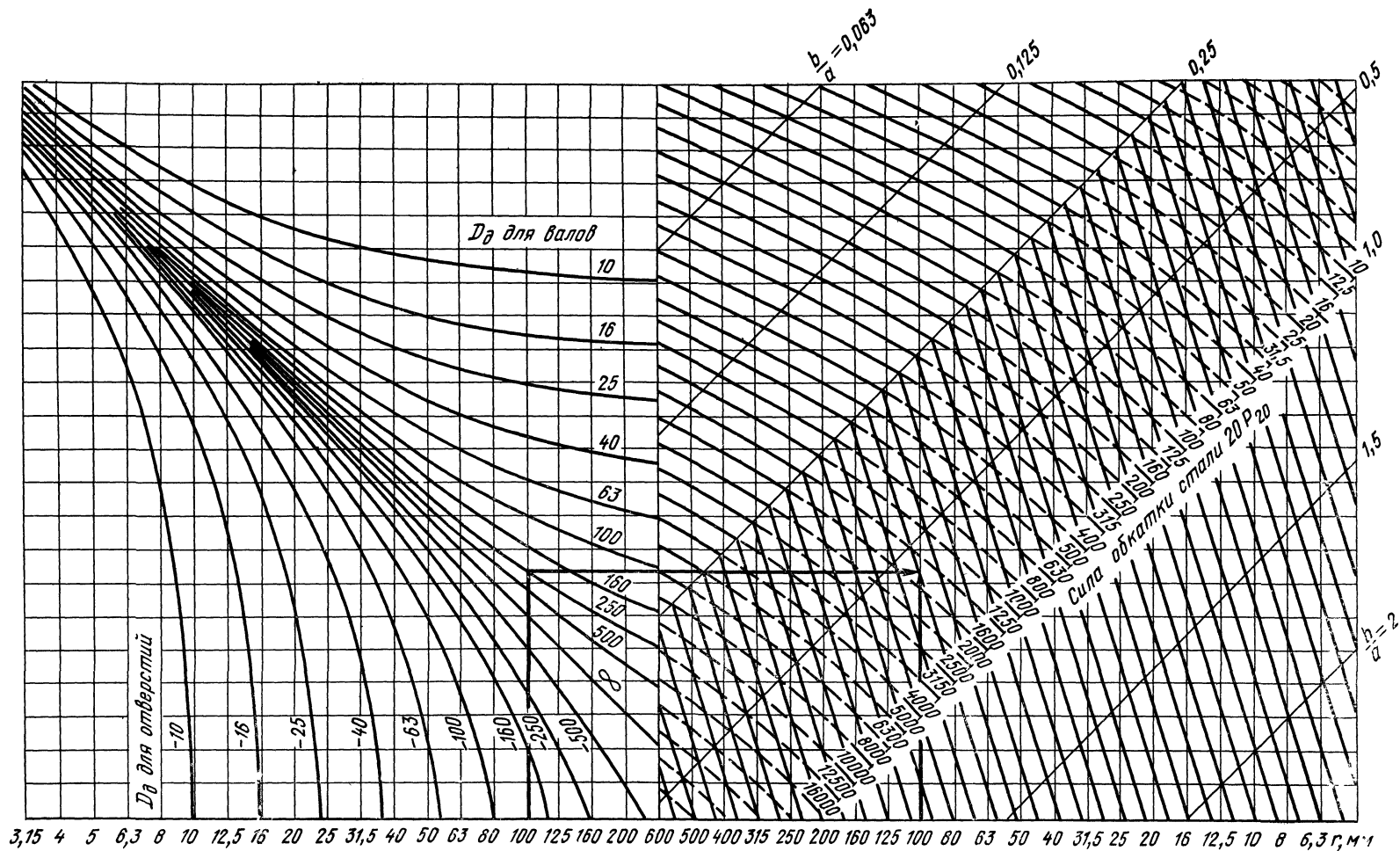


Рис. XII.3. Зависимость силы обкатки от размеров детали и ролика кругового профиля

ную по рис. XII.4, умножить на коэффициент обрабатываемости  $K_p$ . Значения этого коэффициента приведены ниже:

НВ.....	120	140	160	180	200
$K_p$ .....	0,8	1,0	1,25	1,5	1,7

Продолжение

НВ.....	220	240	260	280	300
$K_p$ .....	1,95	2,2	2,45	2,7	3,0

Продолжение

НВ.....	320	340	360	380	400
$K_p$ .....	3,3	3,6	4,0	4,4	5,0

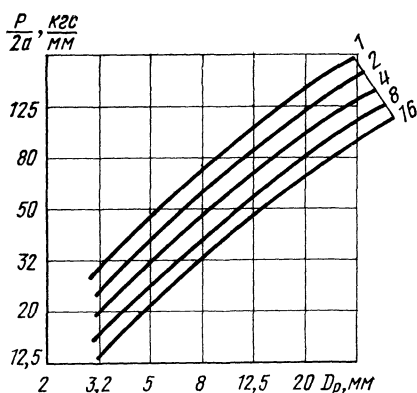


Рис. XII.4. Зависимость погонной силы обкатки от диаметра роликов прямолинейного профиля и числа проходов

Рассматривая шероховатость поверхности как отклонение от номинальной формы детали, можно говорить об обкатке роликами как об эффективном способе уточнения микропрофиля деталей машин. В меньшей мере это относится к волнистости, возможность уменьшить которую зависит от соотношения шага волны и размеров зоны деформации. Волна с малым шагом устраняется достаточно эффективно. Соотношением зоны деформации с габаритными размерами обрабатываемой детали определяется возможность уточнения ее размеров и формы в макрообъеме. Для деталей малых размеров процесс обкатки является процессом холодного формообразования.

Допуск на валы высоких классов точности малых диаметров во много раз меньше усадки; например, для вала диаметром 5 мм 2-го класса точности он составляет всего 0,008 мм. Поэтому из заготовок, изготовленных с припуском, не превосходящим усадку, обкаткой довольно легко получить детали повышенной точности. По мере увеличения размеров деталей деформация приобретает поверхностный характер и на изменении размеров сказывается в основном через перераспределение материала микронеровностей, смятие гребешков и заполнение впадин.

В табл. XII.3 приведены изменения диаметров стальных деталей в зависимости от исходной шероховатости поверхности и способа ее обработки.

Т а б л и ц а XII.3

Изменение диаметров валов (отверстий) при обкатке

Способ предварительной обработки	Класс шероховатости подготовленной поверхности	Изменение диаметра после обкатки, мм
Точение	4	0,03—0,05
	5	0,02—0,04
	6	0,01—0,02
Шлифование	5	0,01—0,03
	6	0,005—0,015
Точение широким резцом	5	0,01—0,02
	6	До 0,01

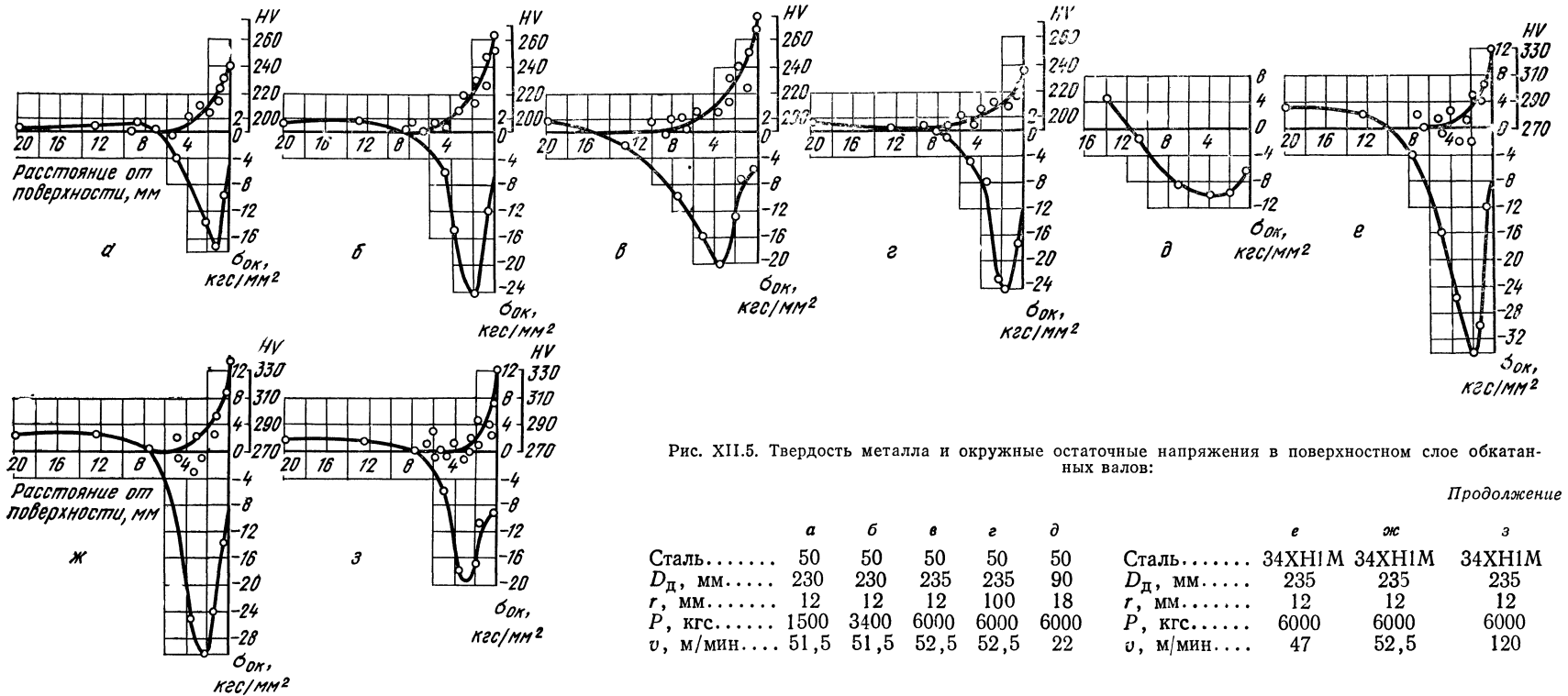
Эти величины приняты на УЗТМ для корректировки размеров при обкатке деталей высоких классов точности.

Если допуск на обрабатываемую деталь по величине сравним с ожидаемым изменением диаметра или меньше его, деталь должна быть подготовлена под обкатку с требуемым допуском, но с измененным размером, увеличенным для валов и уменьшенным для отверстий. Практически это означает, что размеры деталей диаметром до 250 мм 3-го класса точности и всех диаметров 2-го класса точности следует корректировать. Детали 3-го класса точности с диаметром более 250 мм и детали 4-го класса, а также все менее точные детали обкатывают после изготовления их по окончательным чертежным размерам.

Вопрос о повышении точности, т. е. о сужении поля допуска в результате обкатки, связан с возможностью регулировать рабочую силу обкатки. Очевидно, что при малой жесткости системы станок — инструмент — деталь, когда для успешного проведения операции необходимо сохранение силы в пределах, ограниченных допустимым углом вдавливания, можно говорить лишь о сохранении точности, полученной на предварительных операциях.

Для того чтобы в результате обкатки повысить точность размеров обкатываемых деталей, необходимо использовать систему с высокой жесткостью, которая при изменении натяга за счет колебания размеров заготовки вызвала бы заметное изменение силы и соответствующее изменение усадки. При этом указанное изменение силы не должно приводить к снижению качества обкатанной поверхности. Этому требованию в наибольшей мере удовлетворяет процесс обкатки с каплевидной формой контакта роликов прямолинейного профиля. Постоянный угол вдавливания роликов такого профиля предохраняет обкатываемую поверхность от волнистости и позволяет получать требуемое качество поверхности в некотором диапазоне сил.

Например, при раскатывании отверстий в зависимости от допуска  $\epsilon_1$  на предварительно расточенное отверстие натяг головки в отверстии изменяется. При высокой



Т а б л и ц а XII.4

Относительное сужение поля допусков  
( $\epsilon_1 - \epsilon_2$ )/ $\epsilon_1$ 

Исходный класс точности	Требуемый класс точности			
	2	2a	3	3a
2	0			
2a	0,33	0		
3	0,5	0,25	0	
3a	0,75	0,67	0,5	0
4	0,85	0,78	0,7	0,4

жесткости системы инструмент — деталь это изменение вызывает соответственное изменение силы обкатки, а следовательно, и различные приращения диаметра раскатываемого отверстия. В результате допуск на раскатанное отверстие  $\epsilon_2$  будет меньше, чем в заготовке.

Относительное сужение поля допуска ( $\epsilon_1 - \epsilon_2$ )/ $\epsilon_1$  характеризует повышение точности размеров, достигаемое при раскатывании отверстий. Относительное сужение поля допусков, необходимое для перевода размера деталей в более высокий класс точности, приведено в табл. XII.4.

При упрочняющей обкатке повышается твердость поверхности, появляются сжимающие остаточные напряжения, увеличивается усталостная прочность деталей. В качестве примера на рис. XII.5 показаны эпюры окружных остаточных напряжений в поверхностном слое обкатанных валов из стали марок 50 и 34ХН1М.

Сопоставление эпюр напряжений с соответствующими графиками распределения твердости в поверхностном слое обкатанных валов показывает, что наиболее деформированный слой металла у поверхности не является наиболее напряженным. Вблизи поверхности отмечается спад напряжений. С ростом силы обкатки увеличиваются толщина слоя со сжимающими остаточными напряжениями и глубина расположения их максимума. Напряжения же в поверхностном слое сначала увеличиваются, затем начинают убывать. Увеличение радиуса профиля ролика при сохранении прочих элементов режима обкатки вызывает некоторое уменьшение толщины слоя со сжимающими напряжениями и глубины расположения их максимума, но вместе с тем приводит к возрастанию напряжений в зоне максимума и у поверхности.

Эпюра остаточных напряжений в образце небольшого диаметра отличается сравнительно малым значением наибольших сжимающих напряжений и увеличенными растягивающими напряжениями в средней части образца, что является результатом деформации металла на слишком большую относительную глубину, составляющую около 0,2 радиуса образца. В этом случае можно отметить относительно меньший спад напряжений у поверхности.

Увеличение скорости обкатки с 17 до 120 м/мин вызывает уменьшение максимальных остаточных напряжений. При обкатке образцов из стали 34ХН1М, обладающей более высоким пределом текучести, чем сталь 50, получены большие сжимаю-

Т а б л и ц а XII.5

Рекомендуемые силы обкатки

Предел текучести стали, кгс/мм <sup>2</sup>	Силы обкатки, кгс, при диаметре обкатываемой детали, мм							
	100	125	160	200	250	320	400	500
20	380	600	950	1500	2400	3800	6000	6000
	750	1200	1900	3000	4800	6000		
25	480	750	1200	1900	3000	4900	6000	6000
	950	1500	2400	3800	6000	6000		
32	600	950	1500	2400	3800	6000	6000	6000
	1200	1900	2400	3800	6000			
40	750	1200	1900	3000	4800	6000	6000	6000
	1500	2400	3800	6000	6000			
50	950	1500	2400	3800	6000	6000	6000	6000
	1900	3000	4800	6000				
63	1200	1900	3000	4800	6000	6000	6000	6000
	2400	3800	6000	6000				
80	1500	2400	3800	6000	6000	6000	6000	6000
	3000	4800	6000					
100	1900	3000	4800	6000	6000	6000	6000	6000
	3800	6000	6000					

Примечания: 1. Силы, указанные правее ломаной линии, создают наклепанный слой толщиной менее 0,05 радиуса детали.

2. В числителе даны силы при  $1,5P - 0,05$ , в знаменателе — при  $3P - 0,05$ , где  $P - 0,05$  — сила необходимая для создания наклепанного слоя толщиной 0,05 радиуса детали.



Таблица XII.6

Профильный радиус ролика и подача

Сила обкатки, кгс	Профильный радиус ролика, мм	Подача, мм/об
1000	3—6	0,2
2000	4—8	0,3
3000	6—10	0,4
4000	8—16	0,45
5000	10—20	0,5
6000	12—24	0,5

щие напряжения в поверхностном слое при меньшей глубине их залегания. Наибольшие зафиксированные остаточные напряжения для вала из стали 50 составляют 24 кгс/мм<sup>2</sup>, или 0,83  $\sigma_t$ , и для вала из стали 34ХН1М 34 кгс/мм<sup>2</sup>, или 0,53  $\sigma_t$ . Остаточные напряжения у самой поверхности валов мало различаются для рассматриваемых материалов и колеблются в пределах от 6 до 12 кгс/мм<sup>2</sup>. Отношение толщины слоя со сжимающими остаточными напряжениями к толщине деформированного слоя, установленной по распределению твердости, для обоих материалов находится в пределах 1,2—1,5.

В результате совместных работ УЗТМ и ЦНИИТмаша разработаны руководящие материалы для выбора режимов упрочняющей обкатки подступичных частей крупных валов. В табл. XII.5 указаны силы обкат-

ки, рекомендуемые в зависимости от диаметра вала и предела текучести обкатываемого материала.

Силы выбираются в диапазоне от полуторадо трехкратной силы, создающей на поверхности детали слой толщиной 0,05 радиуса. Силы ограничены величиной 6000 кгс. Существенное увеличение силы против значений, указанных в табл. XII.5, нецелесообразно, так как это может вызвать снижение сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое обкатываемой детали.

В табл. XII.6 указаны профильные радиусы торообразных роликов и подачи, рекомендуемые в зависимости от сил обкатки. Обкатка такими роликами выполняется за один продольный проход при скорости не более 50 м/мин. В связи с большим углом вдавливания роликов рекомендованные режимы упрочняющей обкатки не гарантируют отсутствия волнистости на обкатанной поверхности. Для получения необходимой точности и чистоты поверхности производится повторная чистовая обкатка роликом с увеличенным радиусом кривизны или механическая обработка шлифованием или точением. Упрочняющий эффект при этом снижается незначительно в том случае, если удаляется относительно малая часть наклепанного слоя.

В табл. XII.7 приведены принятые в тягелом машиностроении припуски на диаметр при шлифовании крупных валов. Если начало обкатанной поверхности располагается на участке вала с точным диаметральной размером, припуск на после-

Таблица XII.7

Припуски на диаметр при шлифовании крупных валов

Длина, мм	Припуск, мм, при диаметре детали, мм					
	81—120	121—180	181—260	261—360	361—500	501—800
251—500	0,6 <sub>-0,23</sub>	0,7 <sub>-0,26</sub>	0,8 <sub>-0,3</sub>	—	—	—
501—800	0,7 <sub>-0,23</sub>	0,7 <sub>-0,26</sub>	0,8 <sub>-0,3</sub>	0,9 <sub>-0,34</sub>	0,9 <sub>-0,38</sub>	1 <sub>-0,45</sub>
801—1200	0,8 <sub>-0,23</sub>	0,8 <sub>-0,26</sub>	0,9 <sub>-0,3</sub>	1 <sub>-0,34</sub>	1 <sub>-0,38</sub>	1 <sub>-0,45</sub>
1201—2000	0,9 <sub>-0,23</sub>	0,9 <sub>-0,26</sub>	1 <sub>-0,3</sub>	1 <sub>-0,34</sub>	1 <sub>-0,38</sub>	1 <sub>-0,45</sub>

Таблица XII.8

Эффективность рекомендуемых режимов обкатки крупных валов

Тип образцов	Диаметр, мм	Состояние образцов	Предел выносливости, кгс/мм <sup>2</sup>	Повышение предела выносливости за счет обкатки, %
Гладкие	42	Необкатанные	24,5	20
		Обкатанные	29,5	
	180	Необкатанные	20	
		Обкатанные	27,5	
Со втулкой	42	Необкатанные	11	122
		Обкатанные	24,5	
	180	Необкатанные	7	
		Обкатанные	21	

Таблица XII.9

Влияние технологических параметров на результаты обкатки деталей роликом

Изменение параметра режима обкатки	Твердость поверхности	Глубина наклепа	Остаточные напряжения	Шероховатость поверхности
Увеличение силы обкатки	Значительно увеличивается	Значительно увеличивается	Интенсивно возрастают до некоторого предела, после чего снижаются	Сначала снижается на 1—2 класса, затем возрастает
Увеличение профильного радиуса ролика или диаметра шарика	Уменьшается	Уменьшается	Возрастают до максимума, затем снижаются	Повышается на 2—3 класса
Увеличение диаметра ролика	»	»	Имеют максимум при увеличении, с уменьшением снижаются	Снижается в пределах одного класса
Увеличение продольной подачи	Уменьшается	Незначительно уменьшается	Имеют максимум при определенной величине	Несколько увеличивается
Увеличение числа проходов	Увеличивается	Не изменяется	Близкие к максимальным достигаются при 1-м проходе, 2-й и 3-й несколько повышают, последующие проходы снижают	1-й проход понижает, 2—4-й не изменяют, последующие снижают
Увеличение скорости обкатки	Не изменяется	»	Не изменяются	Не изменяется
Увеличение исходной твердости обрабатываемой детали	Уменьшается	Несколько увеличивается	Возрастают	Снижается на 1—2 класса
Увеличение исходной шероховатости	То же	Уменьшается	Снижаются	Снижается на 2—3 класса

Таблица XII.10

Режимы упрочняющей обкатки гладких и подступичных частей валов

Наименование детали	Диаметр, мм	Марка стали	Твердость НВ	Параметры обкатки			
				диаметр ролика, мм	профильный радиус ролика, мм	сила обкатки, кгс	подача, мм/об
Штифты (круглые шпонки) составного коленчатого вала	80	35ХНВ	290—320	105	10	3000	0,54
Торсионы исчезающих упоров прокатных станов	115	45ХН2МФ	375—460	68	8	1500	0,30
Валы привода клетей станов холодной прокатки труб	180	18Х2Н4ВА	341—367	105	5	3500	0,35
Валки холодной прокатки	120	9Х	62—64*	80	4	1000	0,08
Шейки вала редуктора прокатного стана	130	35	186—203	110	20	1020	0,1
Валы напорного механизма стрелы экскаватора ЭКГ-4	170; 205	34ХН1М	197—241	105	10	4000	0,5
Штоки штамповочных молотов	220	35ХНВ	260—290	105	7	3500	0,2
Валы конусных дробилок 2100	480	40	180—200	105	7	4000	0,5
То же, 2200	520	35ХН1М	197—241	105	12	4000	0,49
Шатунные шейки составного коленчатого вала	500	35ХНВ	260—270	130	12	5900	0,5
Коренные шейки составного коленчатого вала	520	35ХНВ	260—270	105	12	5650	0,5
Отверстия в щеках под посадку шеек	500; 520	35ХНВ	260—270	105	10	4600	0,2
Шейки вала ротора генератора электростанции	250	35ХНВ	245—260	105	8	2500	0,4

\* Твердость в единицах НРС.

дующую обработку следует увеличить на 50%, учитывая необходимость удаления заходной впадины. Если есть возможность вывести начало обкатки за пределы точно-го участка на длину, равную ширине заходной впадины, припуск назначается минимальный.

В некоторых случаях, когда на обкатанной поверхности допускается небольшая волнистость, например при упрочнении гладких валов, поверхность которых во время работы не соприкасается с другими деталями, или при обкатке подступичных частей валов большого диаметра, имеющих широкий по абсолютной величине допуск, целесообразно обкатывать валы роликами с увеличенными профильными радиусами в пределах рекомендованных величин (см. табл. XII.6) и не подвергать их последующей механической обработке.

Эффективность рекомендуемых режимов была проверена испытаниями крупных валов на усталостную прочность. Испытывали гладкие валы и валы с напрессованной втулкой диаметром 42 и 180 мм. Относительная толщина наклепанных слоев составила для малых образцов 0,052 радиуса, для больших 0,044 радиуса. Результаты испытаний, выполненных в ЦНИИТмаше на базе 10<sup>7</sup> циклов, приведены в табл. XII.8. Они свидетельствуют о высокой эффективности выбранных режимов обкатки, особенно для образцов с напрессованной втулкой. При увеличении диаметра образцов упрочняющий эффект обкатки возрастает.

Влияние режима обкатки роликами на результаты обработки качественно показано в табл. XII.9.

В табл. XII.10 представлены технологические режимы обкатки ряда деталей машин.

### Оборудование для обкатки деталей роликами

Реализация оптимального режима обкатки связана с возможными используемыми станков. Одним из условий при этом явля-

ется возможность создания и стабилизации силы обкатки необходимой величины. Устройства для обкатки деталей могут быть одно- и многороликовые. При односторонней схеме обкатывания универсальными одно-роликковыми устройствами сила обкатки полностью воспринимается узлами станка, поэтому она ограничивается размерами и технической характеристикой станков. В табл. XII.11 указана допустимая сила обкатки на станках разных типов и размеров. При применении многороликовых устройств из общей жесткости технологической системы исключается поперечная жесткость станка. Разгрузка суппорта станка от силы обкатки упрощает силовую схему процесса. Сила замыкается между деталью и обкатным устройством. Если при этом деталь имеет стенки достаточной большой толщины, то величина и постоянство силы определяются конструкцией и жесткостью инструмента. При обкатывании или раскатывании тонкостенных деталей их жесткость должна быть учтена.

В зависимости от способа создания давления на ролик все применяемые для обкатки деталей устройства можно разделить на механические, пневматические и гидравлические. Более других распространены механические устройства, в которых нагрузка на ролик создается с помощью пружины или пружинно-рычажной системы. Пример конструктивного оформления однороликовых и трехроликовых механических устройств показан на рис. XII.6. На рис. XII.6, а показано однороликовое обкатное устройство конструкции ленинградского завода «Электросила». Устройство состоит из цилиндра 1, пружины 2 и державки 3. При обработке цилиндрических деталей устройство монтируют на суппорте токарного станка. Усилие на ролике 4 создается пружинной 2. Приведенная конструкция крепления ролика предназначена для сравнительно легких работ. При тяжелых режимах обкатки возникают большие осевые усилия на ролик, вызывающие необходимость установки на-

Т а б л и ц а XII.11

Сила, допускаемая при обкатке одним роликом на металлорежущих станках\*

Высота центров, мм	Токарные станки		Карусельные станки				Продольно-строгальные станки	
	сила, кгс, допускаемая при эксплуатации		диаметр планшайбы, мм	сила, кгс, допускаемая при обкатке суппортом		длина стола, мм	допускаемая сила, кгс	
	длительной	кратковременной		вертикальным	боковым			
200	300	500	800	450	600	2000	1000	
300	600—1000	900—1500	850—1400	500	800	3500	2400	
500	1500	1600—2500	1400—1850	650—800	1000	4000	3000	
550—650	2000—3000	3000—5000	2000—2500	850—1000	1500	5000	4000	
800—1000	5000	6000	2600—3700	1000—1600	2000	6000	5000	
1250—1500	6000	7000	4000—4600	1600	3000	8000—12000	6000—8000	

\* Уточняется в зависимости от особенностей станков.

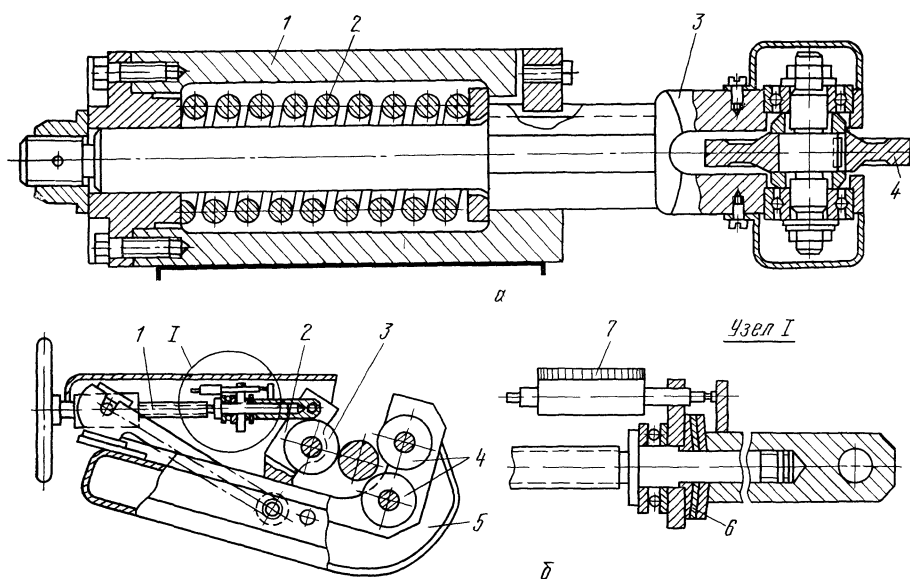


Рис. XII.6. Конструкции однорولیкового (а) и трехролікового (б) устройств

ряду с радиальными и упорными подшипниками.

Трехроліковое обкатное устройство (рис. XII.6, б) состоит из винта 1, коромысла 2, роликов 3 и 4, корпуса 5, пружин 6 и динамометра 7. При вращении маховика, закрепленного на винте 1, происходит сжатие пружин 6 и ролик 3 прижимается к детали. В связи с тем что корпус приспособления 5 имеет возможность самоустанавливаться относительно детали, одновременно с роликом 3 к детали прижимаются и ролик 4, а все усилие обкатки воспринимается корпусом 5 и не передается на станок. Величина прижима роликов устанавливается по динамометру 7.

На рис. XII.7 показана конструкция трехролікового обкатного устройства К-4, разработанного в ЦНИИТмаше, которое обеспечивает обработку цилиндрических поверхностей диаметром 122—202 мм при максимальной силе обкатки до 7000 кгс. Устройство состоит из корпуса 1, в котором установлены ролики 2. Верхний обкатывающий ролик установлен на рычаге 3, шарнирно связанном с корпусом. Оси 4 всех роликов установлены в эксцентрично расточенных втулках 5. При повороте втулок осуществляется сближение или раздвижение роликов в соответствии с диаметром обкатываемой поверхности. Усилие создается сжатием пружины 6. Устройство закрепляется непосредственно на обкатываемом изделии, установленном в центрах токарного станка. Подача осуществляется поводком 7 и кроком 8, установленными на суппорте станка. Крок 8 удерживает механизм от проворачивания. Винт 9 препятствует падению механизма при сходе его с изделия. Установку и сьем изделия производят при откинутом рычаге 10. Установка втулок 5 осуществляется по тарировочному графику, на котором указан угол поворота втулок в за-

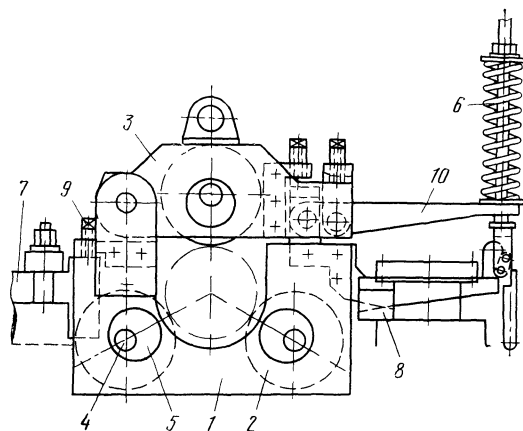


Рис. XII.7. Схема устройства К-4

висимости от диаметра обкатываемого изделия. Каждая втулка имеет шкалу для отсчета угла поворота.

Четырехроліковые приспособления применяются сравнительно редко, так как они не имеют каких-либо преимуществ по сравнению с трехроліковыми; конструктивно же они значительно сложнее.

В пневматических приспособлениях усилие на роликах создается с помощью пневмоцилиндра или диафрагмы, в гидравлических — с помощью гидроцилиндра. Усилие на обкатывающий ролик передается либо непосредственно от штока цилиндра, либо через рычажную передачу.

Анализ конструкций устройств для обкатывания и изучение опыта обкатывания роликами на заводах показывают целесообразность использования универсальных приспособлений. В соответствии с этим в ЦНИИ МПС разработаны универсальные двухро-

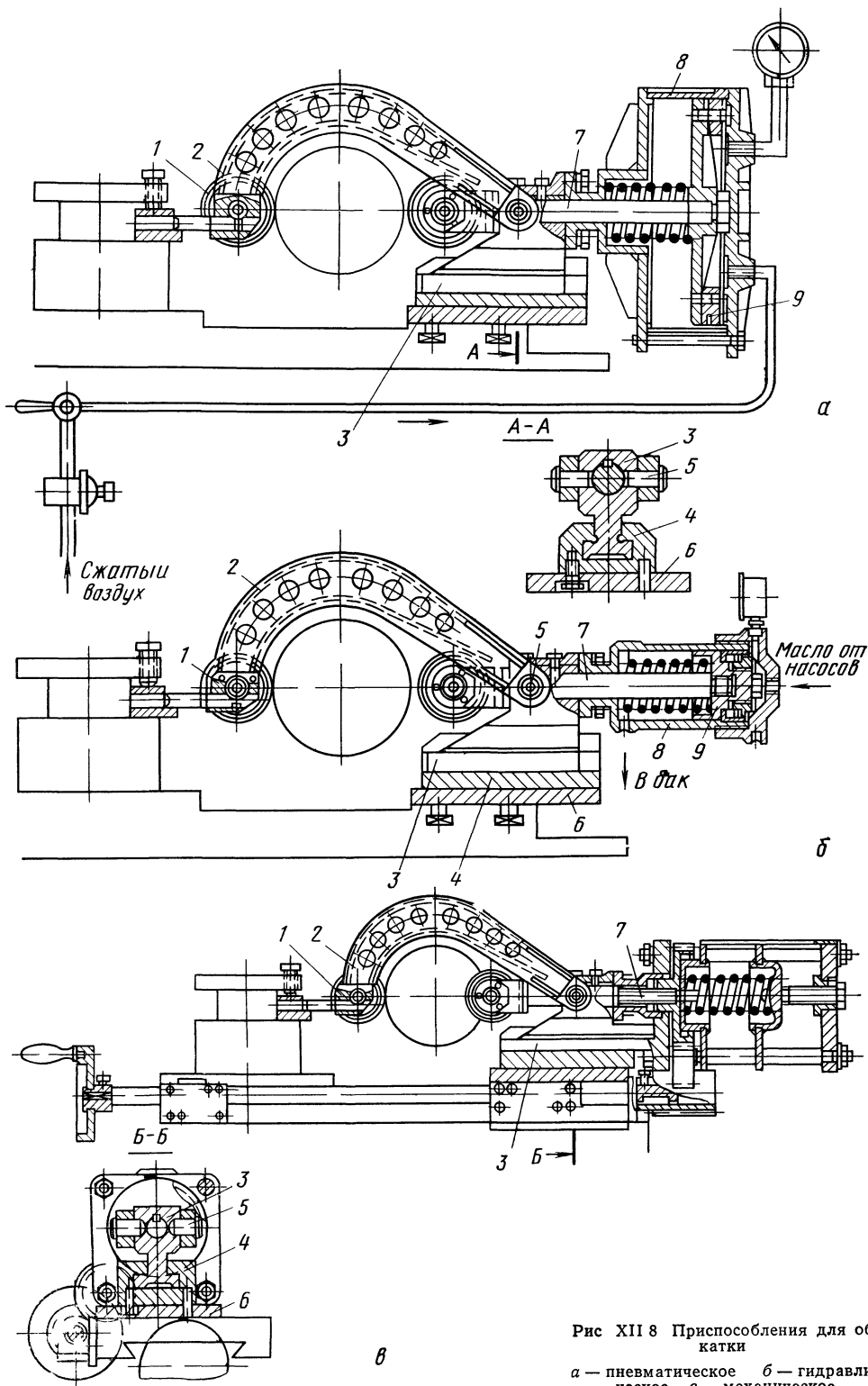


Рис XII 8 Приспособления для обкатки  
 а — пневматическое б — гидравлическое, в — механическое

ковые приспособления трех типов: с усилием, создаваемым пружиной, пневмосистемой и гидросистемой (рис. XII.8). Приспособления состоят из скобы 2, обкатывающих роликов 1, головки 3, скользящей по Т-образному пазу направляющей 4, валика 5, осно-

ме с помощью регулирующей аппаратуры. Усилия на ролике, создаваемые в рассмотренных приспособлениях, колеблются от 100—200 кгс для пневматических приспособлений до 5000—10 000 кгс для гидравлических.

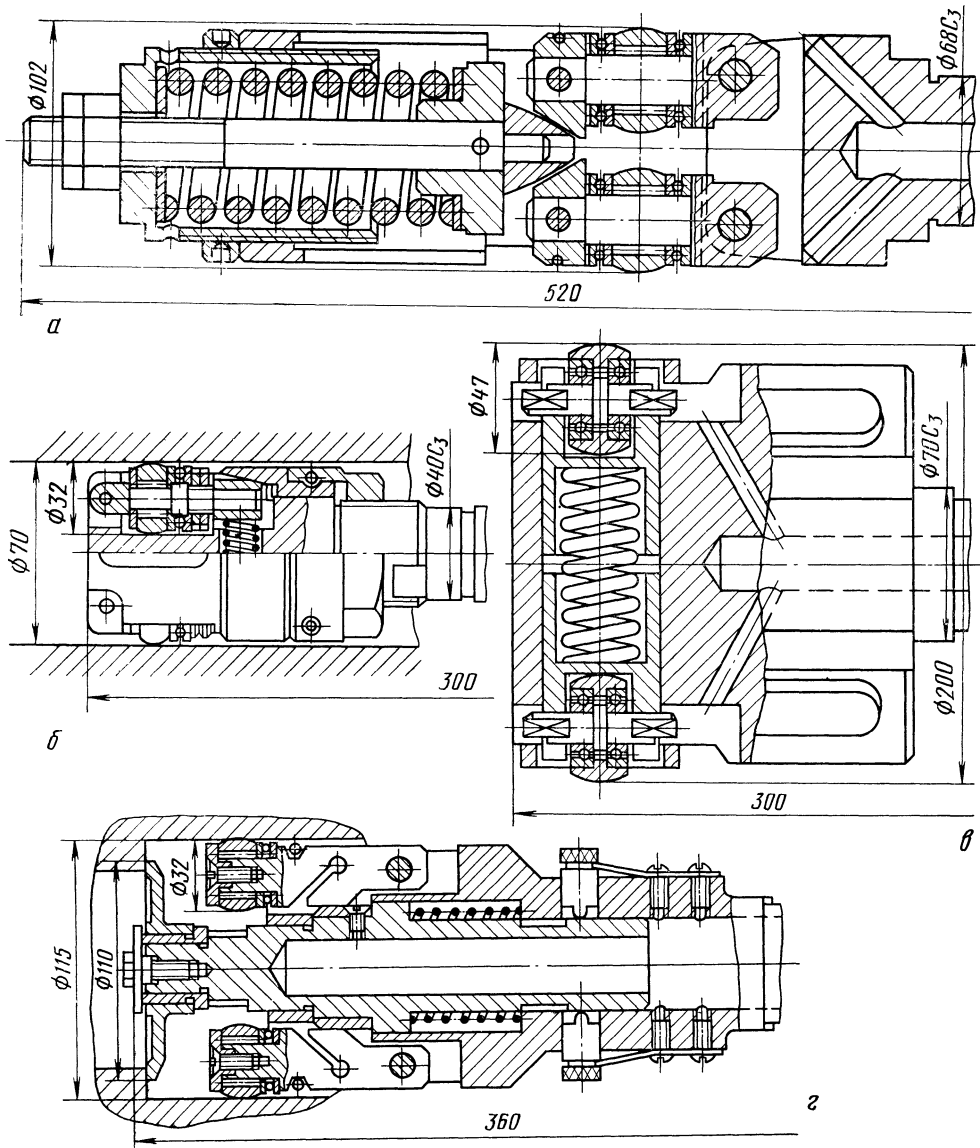


Рис. XII.9. Двухроликовые головки для раскатывания глубоких отверстий

вания 6, соединяющего головку со скобой, цилиндра 8 и поршня 9. Усилие, создаваемое пружиной или поршнем, передается через шток 7 на обкатывающий (правый на чертеже) ролик. Одновременно через скобу 2 усилие передается и на левый ролик. Таким образом, давление, передаваемое на ролик, замыкается в скобе 2. Усилие на ролике регулируется в механических приспособлениях винтом, а в пневматических и гидравлических — изменением давления в систе-

Для раскатывания внутренних поверхностей на токарных и расточных станках широко применяют универсальные однороликовые устройства с пружинящими корпусами уменьшенной длины. Их устанавливают в расточную оправку или борштангу вместо резца.

Для раскатывания глубоких отверстий применяют двух- или многороликовые устройства, не передающие силу обкатки на станок. На рис. XII.9 показаны головки для

раскатывания глубоких отверстий диаметром 60—200 мм, применяемые на УЗТМ.

Головка с продольно расположенной винтовой пружиной (рис. XII.9, а) имеет малую жесткость и широкий диапазон регулирования силы обкатки. Опорные поверхности клина, разжимающего ролики, расположены под углом 30° к продольной оси головки. Сила сжатия пружины делится между двумя роликами, но благодаря углу 30° и соотношению плеч рычагов она должна составлять лишь 0,6 от необходимой силы

располагать под роликами на линии действия силы обкатки.

На рис. XII.9, в показана головка для раскатывания глубоких отверстий диаметром 200 мм. Под действием пружины ее ролики разжимаются в поперечном отверстии корпуса до упора в обрабатываемую поверхность. В свободном состоянии головки оси роликов упираются в ограничительные фланцы.

Конструкция головки (рис. XII.9, г) для раскатывания глубоких или ступенчатых

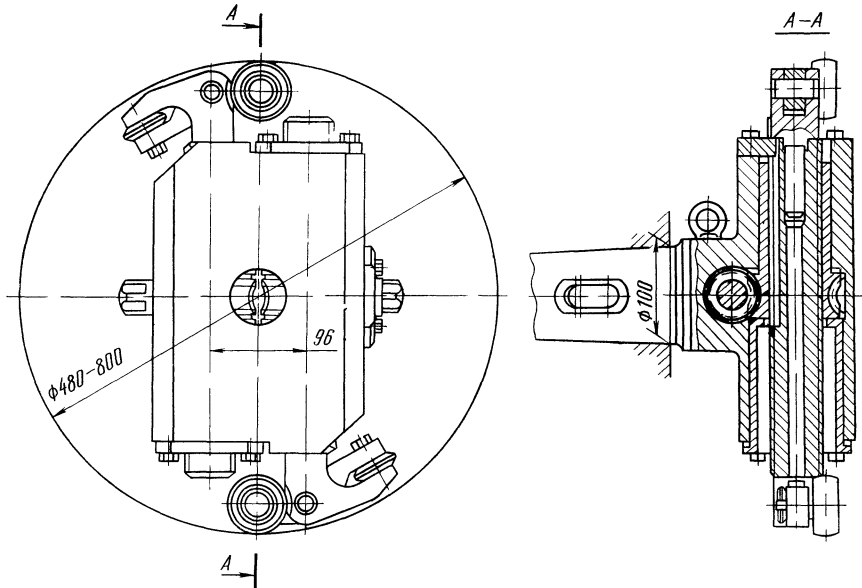


Рис. XII.10. Регулируемое двухроликовое устройство для раскатывания отверстий диаметром 480—800 мм

обкатки. Диаметральный размер приспособления по роликам настраивается на 1—2 мм больше, чем раскатываемый диаметр. При использовании пружины достаточной длины приспособления такого типа можно применять для раскатывания отверстий с малой конусностью.

Ролики головки, показанной на рис. XII.9, б, вращаются на рычагах, разжимаемых поперечно расположенной пружиной. Диаметральный размер головки по роликам ограничивается коническим кольцом, передвигаемым по корпусу. В отличие от предшествовавшей конструкции эта головка предназначена для раскатывания отверстий лишь в одном направлении, что определяется по установкой упорных подшипников с одной стороны роликов.

Обычно раскатывание выполняется за один сквозной проход, в конце которого головка снимается с борштанги. При раскатывании отверстий длиной до 500 мм на токарных и расточных станках используется вариант конструкции таких головок с удлиненной оправкой и длинной гайкой, позволяющей сжать рычаги с роликами в конце прохода. По мере увеличения диаметра раскатываемых отверстий пружины удается

отверстий имеет ролики, опирающиеся на сердечник, свободно перемещающийся вдоль оси. При подходе роликов ко дну раскатываемого отверстия сердечник утапливается, рычаги теряют опору, усилие с роликов снимается и головка свободно выводится из детали. Утепленный сердечник удерживается внутри корпуса защелками, которые надо оттянуть, чтобы сердечник под действием пружины вышел в переднее положение и восстановил размер головки по роликам.

Головками, показанными на рис. XII.9, раскатывают разнообразные детали, в том числе гильзы пневматических и гидравлических цилиндров прокатного оборудования и горнодобывающих машин, буровые штанги.

Для разгрузки шпинделей расточных станков при раскатке часто встречающихся отверстий диаметром 300—800 мм созданы двухроликовые устройства для размеров: одно на диапазон 300—480 мм, другое 480—800 мм (рис. XII.10). Резьбовые штоки таких устройств несут головки с роликами, подпружиненными тарельчатыми пружинами. Ролики разводятся и поджимаются к раскатываемой поверхности с помощью червячной передачи. Такими устройствами на

расточных станках обрабатывают такие детали, как подушки валков прокатных станов, цилиндры электропущек для забивки летки доменной печи, корпуса конусных дробилок, корпуса гидравлических буферов прокатных станов.

Для обкатки плоских поверхностей иногда применяют устройство, устанавливаемое на фрезерном станке (рис. XII.11). Оно состоит из накатной головки 1, аналогичной

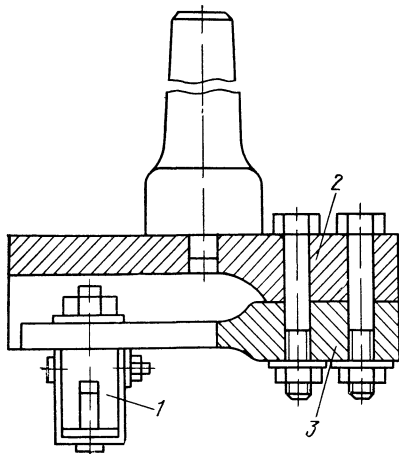


Рис. XII.11. Устройство с пластинчатой пружиной для обкатки плоских поверхностей

применяемой при обкатке валов, корпуса 2 с хвостовиком, устанавливаемым в шпинделе станка, и пластинчатой пружины 3. Заготовка закрепляется на столе станка, подводится под обкатное приспособление и с необходимым усилием поджимается к нему. Усилие устанавливают по индикатору, воспринимающему деформацию пластинчатой пружины.

Плоскости больших размеров обкатывают на продольно-строгальных станках. В этом случае также применяют универсальные однорольковые устройства. Их устанавливают в резцедержателях станков взамен резцов; обкатывают с использованием как прямого, так и обратного ходов стола. В результате обкатки поверхностей стальных деталей класс шероховатости повышается с 4—5-го до 7—8-го.

Усталостная поломка зубьев силовых передач — одна из основных причин преждевременного выхода из строя зубчатых колес различных машин. Крупномодульные цилиндрические и конические зубчатые колеса разрушаются в приводах роллангов и дробилок, в редукторах экскаваторов и подъемных машин. Причиной поломки, как правило, является концентрация напряжений у корня зубьев, связанная с резким изменением рабочего сечения, формой переходного профиля галтелей. Дополнительная концентрация напряжений возникает из-за грубой шероховатости или резцов на поверхности впадин и галтелей, где дефекты механической обработки встречаются наиболее часто. Шероховатость поверхности впадин крупномодульных зубчатых колес,

как правило, не превышает 4-5-го класса. Кроме того, изгибная прочность зубьев может быть снижена поверхностной закалкой с нагрева токами высокой частоты в тех случаях, когда закалка не захватывает дно впадины и остаточные растягивающие напряжения выходят на поверхности в опасных сечениях зубьев вблизи галтелей.

При упрочнении цилиндрических зубчатых колес крупных модулей высокая степень наклепа при небольших силах может быть достигнута за счет применения зубчатых роликов с малым радиусом кривизны рабочей поверхности в осевом сечении. На рис. XII.12 показано устройство для обкатки зубчатых колес на токарном станке. Оно состоит из корпуса, нагружающего механизма и рабочего ролика в виде зубчатого колеса, делительная окружность которого проходит вблизи окружности головок. Он собран из двух дисков, между которыми зажаты зубья-пуансоны, обладающие высокой твердостью. Форма пуансонов соответствует профилю впадин упрочняемого колеса, а размер обеспечивает контакт с натягом при входе зубьев во впадины. Ролик установлен в вилке, расположенной в направляющих корпуса. Сила обкатки регулируется сжатием двух параллельных пружин.

Высокая степень наклепа достигается за счет малого радиуса кривизны зубьев-пуансонов ролика в осевом сечении. Изменением профильного радиуса степень наклепа можно регулировать независимо от остальных размеров ролика и упрочняемого колеса. Ролик соприкасается с упрочняемым колесом только по переходным участкам у корня зуба. Эвольвентные участки зубьев колеса в работе не участвуют. Поэтому межцентровое расстояние в паре упрочняемое колесо — ролик меняется от максимума в момент, когда зуб ролика пересекает линию центров, до минимума, когда ее пересекает зуб упрочняемого колеса. Такой характер работы приводит к динамическому приложению нагрузки, усиливающему деформацию металла, а следовательно, и упрочняющий эффект обкатывания.

Для того чтобы пуансоны ролика могли ударять по ножкам зубьев, упрочняемое колесо должно иметь ускорение относительно шпинделя станка. Такая возможность создается при установке упрочняемого колеса в центре токарного станка на поводковой оправке. После прохождения пуансона через линию центров (положение, показанное на рис. XII.12) пружины удлиняются, разгоняя колесо до тех пор, пока следующий пуансон не ударит по соответствующему зубу. В этот момент колесо затормаживается, опираясь на два пуансона. Дальнейшее вращение колеса начинается, как только кулачок шпинделя станка догонит поводок оправки. При этом начинаются очередной цикл сжатия пружин и упрочнение следующего зуба.

Приспособление крепят в резцедержателе токарного станка и для упрочнения зубьев по всей ширине перемещают суппортом вдоль оси упрочняемого колеса.

Для упрочнения впадин зубчатых колес на токарном и поперечно-строгальном стан-



ках иногда применяют приспособления, показанные на рис. XII.13. Силу обкатки в этих приспособлениях устанавливают с помощью тарированных пружин. Приспособ-

спроектирован специальный станок, с помощью которого производят обкатку роликами одновременно двух диаметрально противоположных впадин между зубьями.

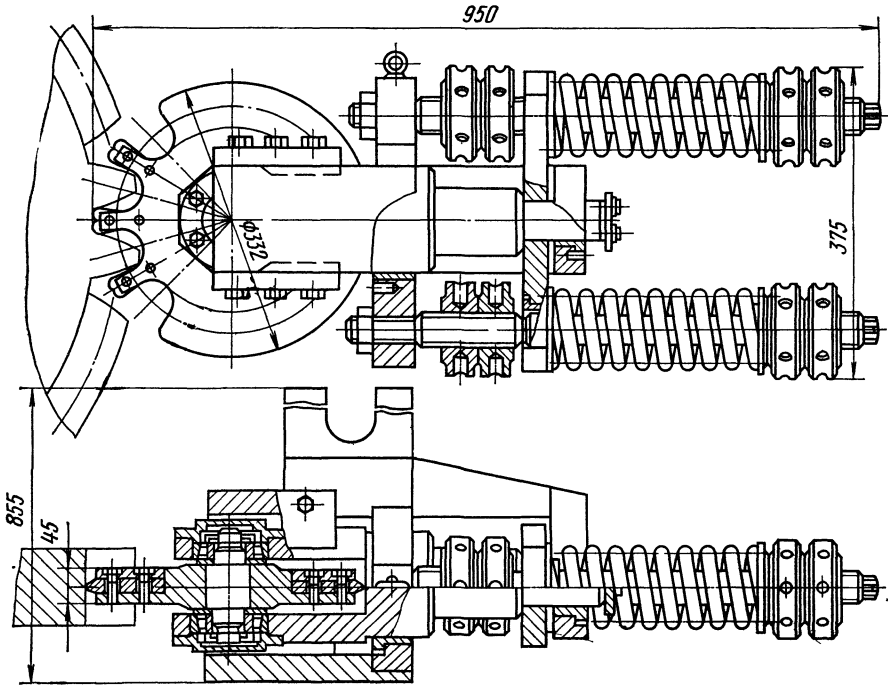


Рис. XII.12. Устройство для поперечной обкатки зубчатых колес на токарном станке

ления закрепляют на суппорте станка, заготовку — в оправке в центрах токарного станка или на столе поперечно-строгально-

Такая система позволяет почти полностью разгрузить шпиндель станка от усилий, создаваемых роликами.

Основная трудность обкатки роликами конических зубчатых колес связана с переменной шириной впадин между зубьями. Для упрочнения конических колес разработан способ обкатки впадин винтовыми роликами, деформирующие поверхности которых расположены по двум винтовым линиям взаимно противоположного направления. Во время качения ролика в плоскости осевого сечения упрочняемого колеса винтовые линии его профилей развертываются по сторонам трапеции, представляющим собой образующие ножек упрочняемых зубьев.

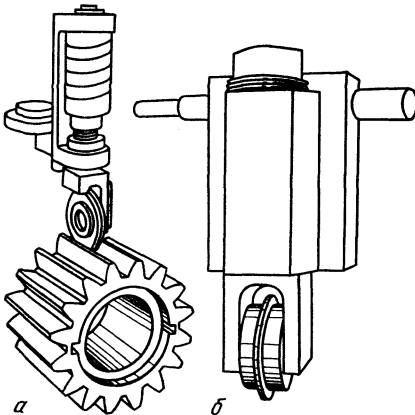


Рис. XII.13. Роликовые державки для обкатки зубчатых колес:

*a* — на токарном станке; *b* — на поперечно-строгальном станке

го станка. Упрочнение осуществляется при перемещении ролика вдоль впадины.

Для обкатки впадин тяжело нагруженных зубчатых колес в ЦНИИТмаше был

Хорошие результаты обеспечивает применение разработанного УЗТМ полуавтоматического станка для обкатки конических зубчатых колес (рис. XII.14). Станок состоит из следующих основных узлов: станины роликовой головки с гидравлическим механизмом и гидроцилиндром для возвратно-поступательного перемещения роликовой головки, механизма круговой подачи роликов и поворотных приспособлений для установки упрочняемых колес.

Роликовая головка имеет два ролика, каждый из которых в свою очередь состоит из двух дисков, напескованных на общую ось. Оси роликов соединены шестеренными передачами с рейкой, шарнирно связанной со штоком цилиндра подачи. Сила обкатки создается гидравлическим цилиндром.

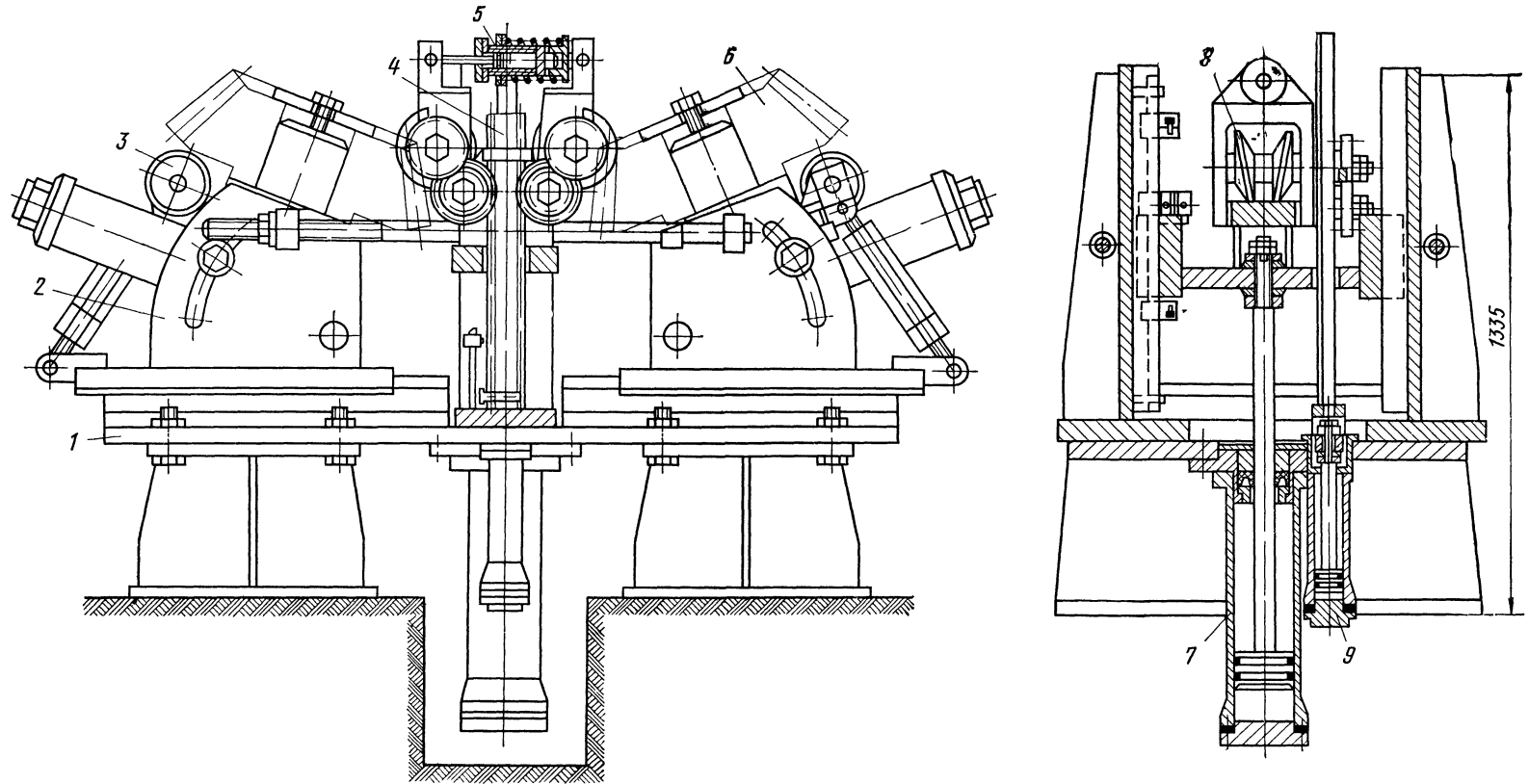


Рис. XII 14. Полуавтоматический станок для обкатки конических зубчатых колес:

1 — станина; 2 — установочное приспособление; 3 — механизм поворота упрочняемого колеса; 4 — механизм подачи роликов; 5 — механизм нагружения роликов; 6 — упрочняемое колесо; 7 — гидравлический цилиндр рабочего хода; 8 — рабочий ролик; 9 — гидравлический цилиндр подачи

Гидропружинный механизм обеспечивает постоянство силы обкатки во время обкатывания независимо от колебаний межцентрового расстояния роликов.

Установочные приспособления для упрочняемых колес имеют регулируемый угол наклона центровых оправок; они могут перемещаться по направляющим станины. Приспособления оснащены гидравлическими ме-

верху на заданную величину, определяемую объемом масла в дозаторе гидросистемы. После 15—22 двойных ходов роликовой головки, в течение которых завершается обкатка очередной пары зубьев, рейка опускается, ролики возвращаются в исходное положение, упрочняемые колеса поворачиваются на угол, соответствующий шагу зубьев. Затем начинается цикл обкатки

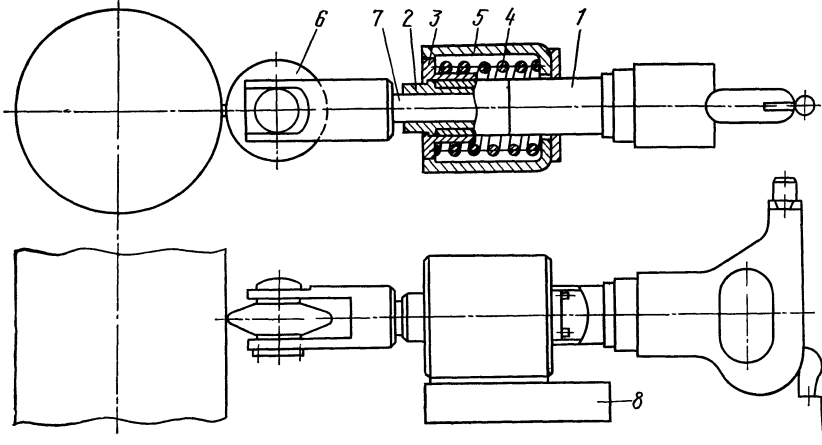


Рис. XII.15. Общий вид приспособления с вибрирующим роликом

ханизмами поворота упрочняемых колес на шаг зубьев после обкатки каждой очередной впадины. Техническая характеристика станка приведена ниже:

Диаметр упрочняемых колес, мм . . . . .	430—810
Угол наклона начального конуса упрочняемых колес, град . . . . .	15—25
Диаметр рабочих роликов, мм . . . . .	150—205
Длина хода роликовой дорожки, мм . . . . .	500
Наибольшая сила обкатки на роликах, кгс . . . . .	1300
Скорость перемещения роликовой головки, мм/с:	
вниз . . . . .	63
вверх . . . . .	55
Мощность электродвигателя, кВт . . . . .	10
Габаритные размеры станка, мм . . . . .	1900×900×1335
Масса станка, кг . . . . .	5000

Станок имеет настроечный и полуавтоматический режимы работы. Во время каждого рабочего хода роликовой головки вниз нагружение роликов происходит в момент, когда они входят во впадины упрочняемых колес. При выходе роликов из впадин во время хода головки вверх давление снижается. Это предохраняет торцы упрочняемых колес при входе и выходе роликов от излишней деформации.

После каждого хода роликовой головки, когда она достигает верхнего положения, рейка подачи смещается гидроцилиндром

следующей пары зубьев. По окончании обкатки всего колеса станок автоматически выключается.

Во многих случаях для обкатки валов диаметром более 200 мм целесообразно применять метод обкатки вибрирующим роликом, разработанный И. В. Кудрявцевым. Устройство (рис. XII.15) состоит из пневматического клепального молотка, в корпусе 1 которого запрессована втулка 2. Втулка 2 дополнительно крепится резьбовой втулкой 3. Пружина 4, заключенная в обойме 5, осуществляет поджим к обкатываемому изделию ролика 6, установленного в вилке на стержне 7 молотка. Во избежание проворачивания стержня 7 во втулке 2 их сопрягающиеся поверхности выполнены в виде шестигранника. С помощью стержня 8, приваренного к корпусу молотка, приспособление крепится в резцедержателе токарного станка. В период обкатки осуществляется подача воздуха в молоток. Дополнительные удары молотка по ролику позволяют получить требуемую степень деформации при сравнительно небольших усилиях.

Для упрочнения резьбовых деталей в ЦНИИТмаше разработано приспособление для обкатывания резьбы вибрирующим роликом (рис. XII.16). Приспособление состоит из основания 1, устанавливаемого в резцедержателе токарного станка, настроенного на нарезание резьбы заданного шага. Ролик 7, укрепленный на конце рычага 5, прижимается к обкатываемой поверхности тарированной пружиной 4. На валу 2 установлен кулачок, к которому прижат боек 6. При вращении вала 2 от электродвигателя 3 боек совершает возвратно-

поступательные движения и наносит удары по ролику. При перемещении суппорта ролик формирует на поверхности заготовки винтовую канавку заданного шага. При способе позволяет произвести полное профилирование резьбы с шагом до 8—

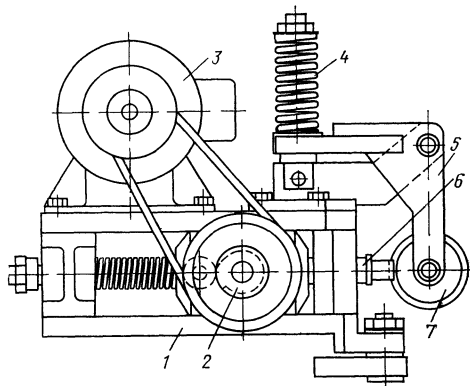


Рис. XII.16. Схема устройства с вибрирующим роликом для образования резьбового профиля

10 мм на гладком валу или окончательную формовку и уплотнение предварительно нарезанной резьбы неполного профиля.

#### Практика обкатки роликами деталей машин

Обкатку роликами широко применяют на ряде предприятий: УЗТМ, НКМЗ, СКМЗ, ЖЗТМ, ММК, металлургическом заводе им. Ильича, Челябинском тракторном заводе и др. В результате обкатки существенно повышается долговечность ряда ответственных деталей. Приведем примеры применения обкатки на ряде предприятий.

Штоки штамповочных молотов подвержены усталостным перегрузкам и разрушению в месте запрессовки. При запрессовке относительно тонкого штока в массивную бабу создается высокая концентрация напряжений. Результатом тяжелых условий эксплуатации является низкая стойкость штоков. Усталостные поломки обычно происходят у основания конического хвостовика возле выхода штока из запрессовки. Для повышения долговечности штоков молотов с массой падающих частей 6,5 и 7 т на УТЗМ используют следующий технологический процесс.

После чистового обтачивания штока опасную зону (конический хвостовик на половине длины у большего диаметра и цилиндрическая часть на длине 150 мм) обкатывают роликом на токарном станке с помощью универсального однороликового устройства. Обкатывают в направлении уменьшения диаметра конуса (рис. XII.17) при следующем режиме: сила обкатки 3500 кгс, диаметр ролика 105 мм, профильный радиус ролика 7 мм, подача 0,4 мм/об, скорость 30 м/мин. По мере подачи ролика вдоль конической поверхности сила постепенно уменьшается, так как уменьшает-

ся степень сжатия пружин. Вследствие постепенного уменьшения силы обкатки геометрия конуса не нарушается. Это позволяет обкатывать штоки без последующей механической обработки. Стойкость штоков в результате обкатки роликами повышается в среднем в 2,5 раза.

Торсионные валы исчезающих упоров прокатных станков, работающие в режиме циклического скручивания, на УЗТМ упрочняют обкаткой роликами. Валы имеют диаметр 115 или

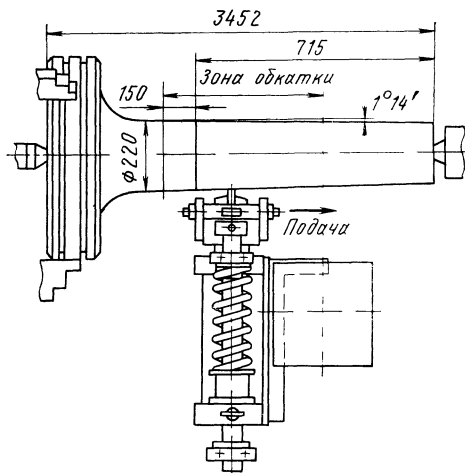


Рис. XII.17. Установка штока штампового молота для упрочнения

140 мм и длину соответственно 2 или 3,8 м. Цилиндрическое тело торсионного вала сопрягается с утолщенными головками галтелями радиусом 300 мм. Пневматическое двухцилиндровое устройство для обкатки торсионных валов (рис. XII.18) устанавливают на поперечных салазках суппорта токарного станка. Во время обкатки по мере продольной подачи суппорта поршни цилиндров сходятся или расходятся в зависимости от диаметра обкатываемого сечения, а ролики прижимаются к поверхности вала с постоянной силой.

Торсионные валы изготавливают из стали 45ХН2МФА; твердость их после термической обработки HRC40—48. Ролики при обкатке торсионных валов интенсивно изнашиваются. Одним комплектом роликов можно обкатать лишь пять валов, после чего их следует перешлифовать для восстановления исходного профиля. Режим обкатки торсионных валов: профильный радиус роликов 8 мм, сила обкатки 1500 кгс, подача 0,3 мм/об, скорость 30 м/мин.

Во время термической обработки, предшествующей обкатке, некоторые торсионные валы получают значительную поводку, допускаемую техническими условиями. В результате поводки биение поверхности валов при установке в центрах достигает 6—8 мм. Для обкатки валов с таким биением на токарном станке удаляется винт поперечной подачи суппорта. Во время об-

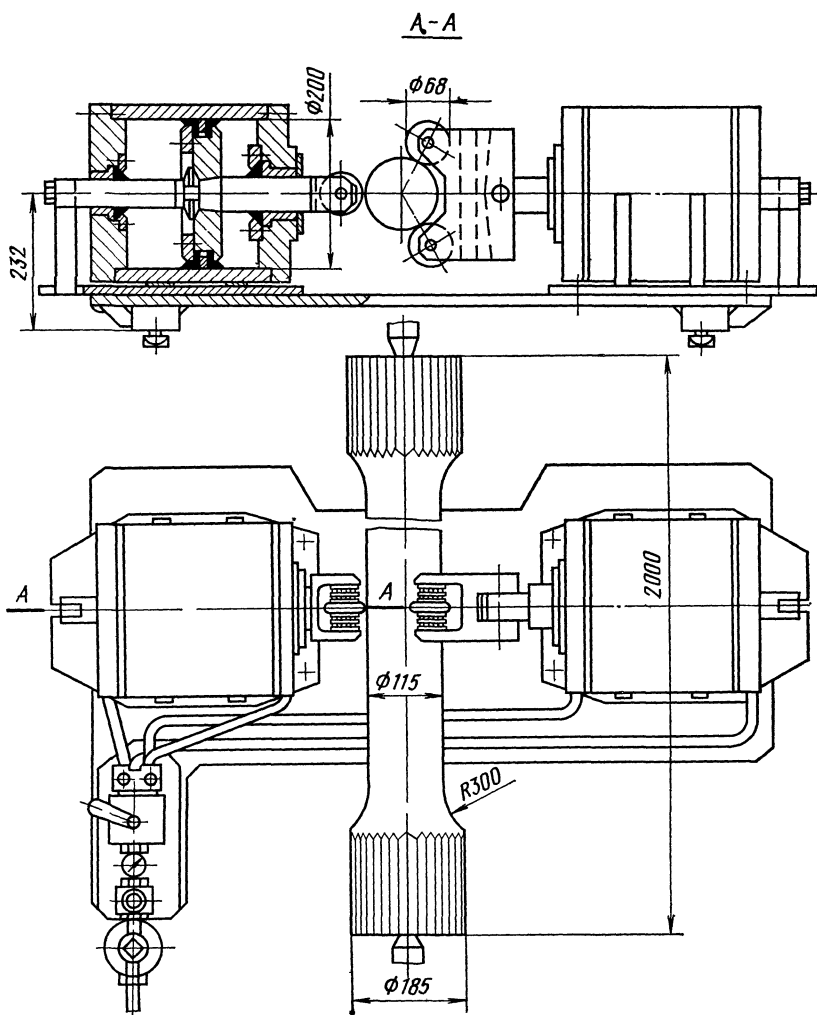


Рис. XII 18. Устройство для обкатки торсионных валов исчезающих упоров прокатных станов

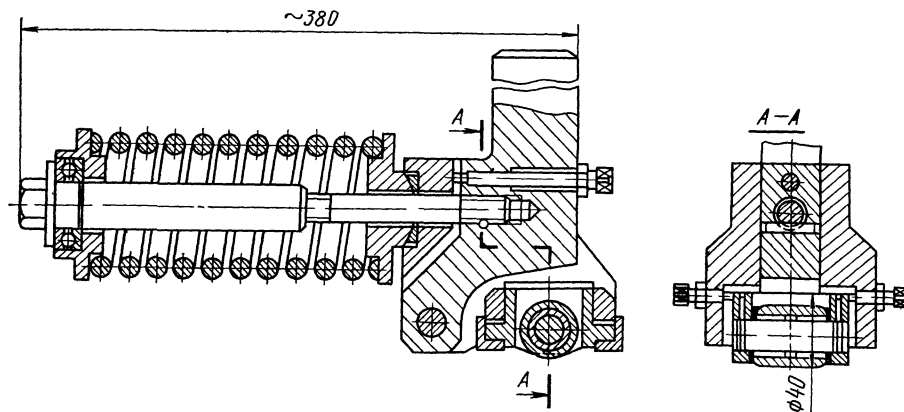


Рис. XII 19. Устройство с самоустанавливающимся роликом для обкатки плоскостей

катки устройство плавает в поперечном направлении, центрируясь по детали. Торсионные валы поступают на операцию обкатки с шероховатостью 5-го класса. После обкатки шероховатость соответствует 7—8-му классу, однако на поверхности, как правило, бывает заметна волнистость, возникающая из-за больших углов вдавливания роликов. Обкатка торсионных валов повышает их предел выносливости на 40—80%.

Валы дробящего конуса конусных дробилок на УЗТМ обкатывают на токарном станке с высотой центров 1250 мм при силе обкатки 6000 кгс. Подступичную часть вала диаметром 800 мм и прилегающие к ней переходный участок конической формы и неполную галтель радиусом 400 мм обкатывают роликом с профильным радиусом 24 мм, а хвостовик, работающий в скользящем контакте с втулкой эксцентрика, — роликом с профильным радиусом 125 мм.

Медные плиты кристаллизаторов машин для непрерывного литья заготовок обкатывают с помощью устройства с самоустанавливающимся роликом (рис. XII.19). Низкая твердость и высокая пластичность красной меди, затрудняющие ее резание, способствуют хорошей обрабатываемости пластическим деформированием. Положение ролика фиксируется после его самоустановки двумя упорными болтами. Это предотвращает перекосы ролика в момент его входа на обкатываемую поверхность. Благодаря длинному линейному контакту обкатка медных плит успешно выполняется при значительных подачах, достигающих 10 мм на каждый двойной ход стола. Шероховатость поверхности после обкатки соответствует 8-му классу.

Чугунные направляющие металлорежущих станков на УЗТМ подвергаются обкатке роликами с профильным радиусом 70—130 мм при подаче 1—2 мм на двойной ход стола и при максимальной скорости, допускаемой станком. Для подготовки к обкатке направляющие предварительно строгают в два прохода: первый с глубиной резания 1—1,5 мм, подачей 5—6 мм на двойной ход и скоростью резания 12 м/мин; второй — с глубиной 0,1—0,2 мм, подачей 8—10 мм на двойной ход и скоростью 6 м/мин. При этом обеспечивается получение поверхности 5-го класса шероховатости. За счет обкатки класс шероховатости повышается до 7-го. Обкатка повышает твердость поверхности чугуновых направляющих на 15—18% и уменьшает коэффициент трения на 20%.

При плоских направляющих станков приспособления для обкатки устанавливают в резцедержателях вертикально и выверяют так, чтобы точка контакта роликов с обкатываемой поверхностью располагалась в середине рабочего профиля. Поперечная подача приспособления осуществляется перемещением суппорта по траверсе продольно-строгального станка. При призматической форме направляющих суппорт поворачивают так, чтобы винт вертикальной

подачи резцедержателя располагался параллельно наклонной поверхности направляющей. Приспособление для обкатки устанавливают нормально к обкатываемой поверхности и подают его винтом вертикальной подачи.

Широкое распространение на заводах получила обкатка фасонных поверхностей кругового профиля. К таким поверхностям относятся выпуклые и вогнутые опорные поверхности подшипников и подпятников, ручки канатных барабанов, галтельные сопряжения ступенчатых и коленчатых валов, осей, цилиндров и других деталей.

Галтели проще всего обкатывать роликом, профильный радиус которого равен радиусу кривизны галтели. Обкатка в этом случае выполняется с помощью универсальных однороликовых приспособлений, повернутых на угол до 45° к оси упрочняемого вала. Для галтелей малого радиуса этот метод достаточно эффективен. При рабочей силе 6000 кгс можно обкатывать галтели радиусом до 5 мм. Применяют и другие способы обкатки галтелей.

Особый интерес представляет обкатка фасонных поверхностей на строгальных станках.

Рабочий профиль зубчатых валков для прокатки волнистых листов перед обкаткой на продольно-строгальных станках фрезеруют червячными фрезами. Фрезерование не обеспечивает требуемого класса шероховатости поверхности. Большая длина контакта зубьев фрезы с деталью и низкая жесткость валков длиной 3300 мм вызывают вибрации при резании, на поверхности детали образуются грубая волнистость и задиры. Рычажное приспособление для обкатки, подобное показанному на рис. XII.19, имеет два ролика, установленных независимо подпружиненных рычагах. Обкатываются одновременно две разноименные поверхности двух зубьев, имеющие наименьшее отклонение от общей плоскости. Такие отклонения вызывают колебания угла приложения силы обкатки и ограничивают жесткость силовой схемы обкатывающего устройства. Применение винтовых пружин достаточной длины и жесткости позволяет обкатывать весь профиль при допустимых колебаниях силы. Грубая шероховатость подготовленной поверхности и относительно невысокая требуемая чистота позволили обкатывать зубчатые валики при повышенной для выпуклых участков силе: 700 кгс. Колебания подачи ролика по профилю при постоянной подаче суппорта 0,8 мм на двойной ход не выводят поверхность из пределов требуемой шероховатости.

Медные стенки кристаллизаторов радиального типа для машин непрерывного литья заготовок имеют выпуклую или вогнутую цилиндрическую форму с большим радиусом кривизны (до 7000 мм). Для обкатки кристаллизаторов этого типа используют устройство, показанное на рис. XII.19, с роликом кругового профиля радиусом 100 мм, ось которого зафиксирована упор-

ными болтами. Сила обкатки 300 кгс, подача 0,8 мм на двойной ход. Большой радиус кривизны детали и небольшая дуга ее профиля ( $10^\circ$ ) способствуют сохранению подачи в пределах  $\pm 0,5\%$ . Однако точка контакта смещается за время обкатки по профилю ролика на 17 мм. Поэтому ролик должен иметь постоянную кривизну профиля и высокое качество поверхности.

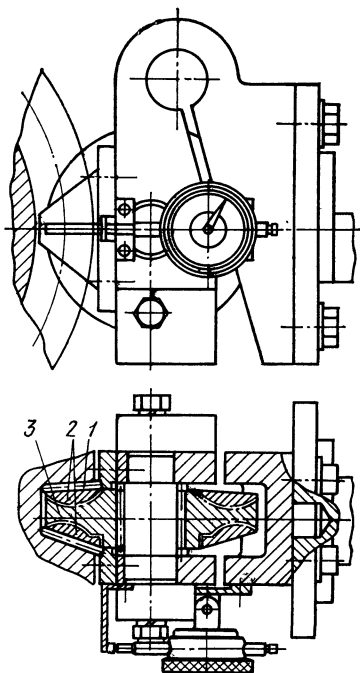


Рис. XII.20. Устройство для обкатки упорной резьбы с шагом 64 мм:

1 — рабочие ролики; 2 — тороконические шайбы; 3 — опорный диск

В результате обкатки поверхность медных стенок кристаллизаторов приобретает шероховатость 8-го класса.

Упорную резьбу нажимных винтов прокатных станов обкатывают с помощью устройства, показанного на рис. XII.20. Рабочие иглочатые ролики диаметром 5 мм установлены в пазах сепараторов под углами, соответствующими номинальным углам профиля обкатываемой резьбы. Для сохранения при обкатке параллельности роликов образующим обкатываемой поверхности в этом устройстве применены опорные тороконические шайбы, являющиеся промежуточными элементами между роликами и опорным диском, свободно вращающимся на оси в корпусе устройства.

Устройство для обкатки резьбы на нажимных винтах устанавливают на 25 мм ниже центров станка, что позволяет исключить затягивание роликов во впадину при обратном направлении вращения детали. Угол подъема резьбы на среднем диаметре составляет лишь  $2,5^\circ$ , поэтому нет необходимости в развороте приспособления. Плос-

кость роликов остается горизонтальной. Обкатку резьбы выполняют за два прохода (при частоте вращения  $2,8 \text{ мин}^{-1}$  с силой 2400 кгс, соответствующей силе на роликах 200 кгс/мм). Обкатываемая поверхность обильно смазывается машинным маслом. При обкатке достигается 9-й класс шероховатости поверхности. Устройство, показанное на рис. XII.20, может быть размещено во впадине достаточной ширины. Такие устройства успешно применяют для обкатки трапецеидальных резьб с шагом более 30 мм, червяков с модулем 10 мм, упорных резьб с расширенной впадиной.

Винты электропечи для забивки летки доменных печей, имеющие резьбу Уп. 230×40, обкатывают с помощью устройства с опорным роликом консольного типа. Ролик имеет коническую форму с углом при вершине, равным углу впадины обкатываемой резьбы. Его размеры позволяют ввести вместе с ним во впадину рабочий иглочатый ролик диаметром 4 мм. Самоустановка роликов по обкатываемой поверхности резьбы достигается поворотом головки, несущей ролики, на цапфах, центр кривизны которых расположен в середине осевого сечения впадины. Плоскость роликов устанавливают на 12 мм выше линии центров (обкатку производят при прямом направлении вращения детали). Сила обкатки 1800 кгс, частота вращения детали  $5 \text{ мин}^{-1}$ , число проходов 3. Шероховатость поверхности упорной стороны витка резьбы после обкатки 8-й класс (2,5—3 мкм) при исходной шероховатости 3—4-го класса (35—53 мкм).

Ручей канатного барабана представляет собой резьбу вогнутого кругового профиля. Поскольку ручки имеют незамкнутую винтовую поверхность, для их обкатки нельзя использовать технологические схемы обработки галтелей. Для обкатки ручьев канатных барабанов на УЗТМ применяют устройство, показанное на рис. XII.21. Рабочими роликами в этом устройстве служат цилиндры диаметром 5 мм, опирающиеся на цилиндрический валик, приводимый электродвигателем. Устройство закрепляется в рецедержателе карусельного станка, вводится роликами в ручей и подается с шагом нарезки ручья на каждый оборот детали. Вращение детали с частотой  $0,37 \text{ мин}^{-1}$  при этом играет роль движения круговой подачи, составляющей 0,8 мм на один ролик за каждый оборот сепаратора. Обкатка выполняется за три продольных прохода, причем перед каждым проходом устройство смещается вдоль оси детали на 0,5 мм для создания необходимого натяга. Класс шероховатости поверхности при этом повышается с 4-го до 7-го.

Вал механизма грейферной тележки рудно-угольного перегружателя работает в условиях высоких переменных нагрузок, вызывающих поломки при эксплуатации в местах посадки на вал ходовых колес, подшипников, зубчатого колеса, а также у галтели. Упрочняющую обкатку таких валов на СКМЗ проводят на токарном станке с вы-

сотой центров 500 мм, используя устройство с вибрирующим роликом. Режим обкатки: энергия удара 3,4 кгс·м, статическое усилие 750 кгс, диаметр ролика 90 мм, профильный радиус ролика 7 мм, подача

не только увеличить долговечность вала, но и заменить сталь 40ХН, применявшуюся ранее, на сталь 40Х, что обеспечило значительный эффект за счет экономии никеля. Барабаны летучих ножиц хо-

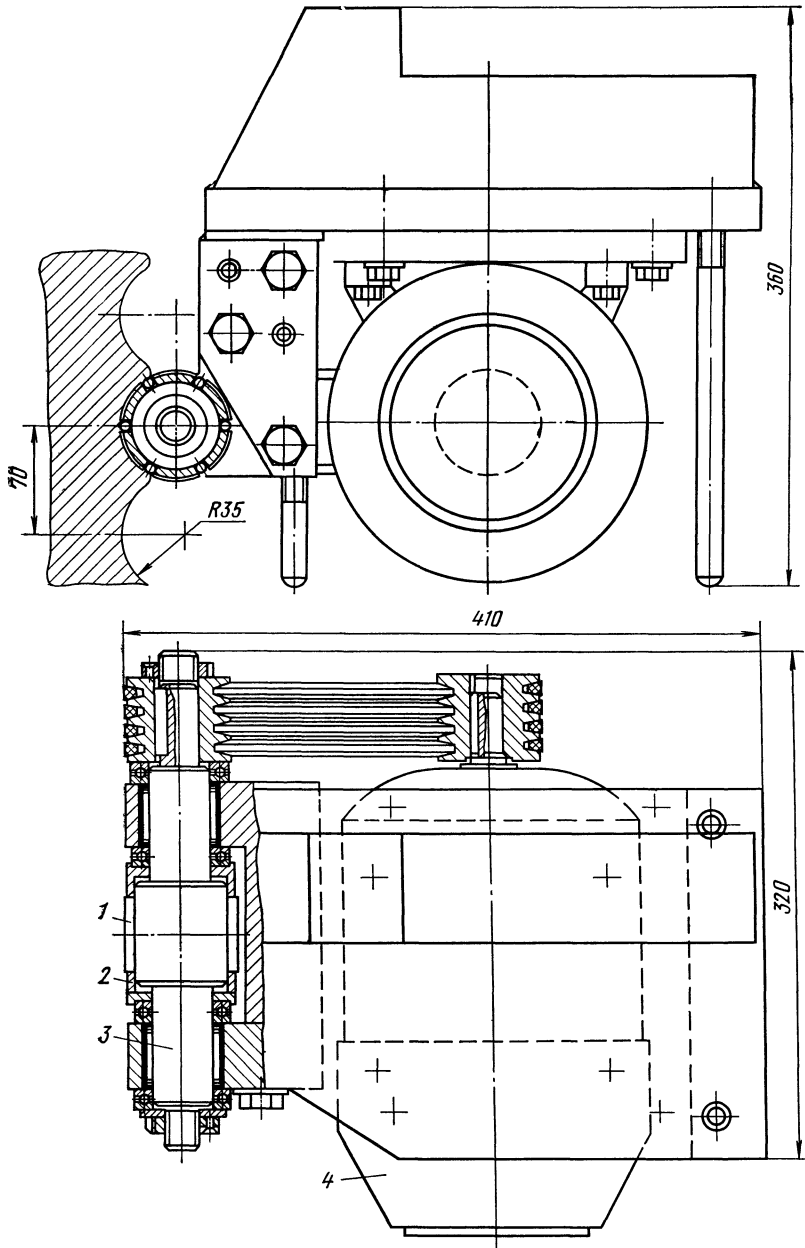


Рис. XII.21. Устройство для обкатки ручьев канатных барабанов:

1 — рабочие ролики; 2 — сепаратор; 3 — опорный валок; 4 — электродвигатель

1,53 мм/об, частота вращения 5 мин<sup>-1</sup>, число проходов 1. При упрочнении галтелей устройство с суппортом разворачивают под углом 45° к оси вала. После обкатки выполняют чистовую механическую обработку для удаления волнистости и вмятин от ударов бойка. Такая обработка позволила

лодной резки листа в процессе эксплуатации испытывают значительные знакопеременные и динамические нагрузки. На их шейках установлены с натягом подшипники качения и шестерни. Это приводит к концентрации напряжений. Посадочные места упрочняют обкаткой вибри-



рующим роликом. Режим обкатки: энергия удара 3,4 кгс·м, статическое усилие 750 кгс, диаметр ролика 90 мм, профильный радиус ролика 7 мм, подача 1 мм/об, частота вращения 3 мин<sup>-1</sup>, число проходов 1. Галтели упрочняют, разворачивая приспособление под углом 45° к оси барабана. После обкатки проводят чистовую механическую обработку. Применение обкатки вибрирующим роликом позволило, не снижая долговечности барабана, заменить термическое улучшение (закалку с высоким отпуском) нормализацией. Это значительно упростило термическую обработку и позволило существенно сократить цикл изготовления барабана.

Валки станов холодной прокатки, изготовленные из стали 9Х и имеющие твердость после термической обработки HRC62—64, подвергаются обкатке роликами с помощью однороликового устройства. Режим обкатки: сила обкатки 800 кгс, диаметр ролика 80 мм, профильный радиус ролика 4 мм, частота вращения 200 мин<sup>-1</sup>, подача 0,08 мм/об, число проходов 1. Применение такого режима приводит к существенному повышению стойкости валков станов холодной прокатки.

Плунжеры гидравлических цилиндров передвижения столов, траверсы слитколомателей, валы толкателей печей обкатывают однороликовым приспособлением по режиму: сила обкатки 1200 кгс, диаметр ролика 80 мм, скорость обкатки 17 м/мин, подача ролика 1,2 мм/об, число проходов 1. Износостойкость упрочненных по этому режиму деталей существенно повышается.

Зубчатые колеса ( $m=26$  мм,  $z=22$ ) бортовых передач карьерных экскаваторов на УЗТМ упрочняют на специальном станке-полуавтомате. Станок имеет две стойки с центрами для установки упрочняемого колеса, механизм привода вращения колеса и силовую головку с механизмом подачи, подвода и нагружения рабочего ролика. На этом станке можно реализовать следующие режимы упрочнения: частота вращения упрочняемого колеса 2—5 мин<sup>-1</sup>; подача роликов вдоль зуба упрочняемого колеса 0,6; 1,04; 1,32; 1,6 мм/об; сила обкатки 1000—3000 кгс. Цикл обкатки, состоящий из двух проходов ролика, реверсирование после первого прохода и остановка станка по окончании упрочнения, осуществляются автоматически. Зубчатые колеса бортовых передач экскаваторов упрочняют по следующему режиму: сила сжатия пружины 1300 кгс, подача ролика 1,32 мм/об, частота вращения колеса 2,5 мин<sup>-1</sup>; продолжительность упрочнения одного колеса составляет 2 ч.

В настоящее время на машиностроительных и металлургических заводах обкатке роликами подвергают широкую номенклатуру деталей. К их числу можно отнести штоки молотов и прессов различной мощности, оси, пальцы и цапфы различного оборудования, трансмиссионные валы рольгангов, валы роликов правильных машин, плунжеры, шлицевые валы различных раз-

меров, цилиндрические и конические зубчатые колеса, ручки канатных барабанов, валы с резьбой, червяки и др. Возможность упрочнения деталей независимо от содержания углерода в стали, обеспечение высокого класса шероховатости поверхности, высокая производительность и простота процесса наряду с небольшими затратами на изготовление несложных обкаточных устройств, а также накопленный передовыми заводами опыт по технологии упрочняющей обкатки роликами делают целесообразным применение этого метода в промышленности.

## 2. Чеканка

Сущность способа упрочнения чеканкой заключается в том, что с помощью специального приспособления механического, пневматического или электромеханического типа наносят удары по упрочняемой поверхности (см. рис. XII.1, ж). В результате удара инструмента (ударника с бойками) изменяется качество поверхности и в тонком поверхностном слое создаются остаточные напряжения сжатия величиной до 100 кгс/мм<sup>2</sup>. Шероховатость поверхности обычно находится в пределах 2—4-го классов по ГОСТ 2789—73. За счет чеканки может быть получена глубина наклепа до 30 мм. Твердость поверхности, обработанной чеканкой, на 30—50% превышает твердость исходной заготовки.

Во многих случаях, встречающихся на практике, для упрочнения таких элементов деталей машин, как галтели, зубчатые колеса, шлицевые валы, сварные швы и другие, способ упрочнения чеканкой более эффективен и экономически выгоден, чем обкатка роликами или шариками. Галтели крупных валов, изготовленных из стали марок 45, 40Х и 40ХН и чугуна ВЧ45-5 и прошедших термическую обработку, можно упрочнять с помощью чеканочных приспособлений бойками со сферическими наконечниками с большой энергией удара. Вдоль образующей галтели можно наносить одну или несколько канавок. Каждую канавку можно получить в результате одного, двух и более проходов. Радиус сферы бойка при упрочнении галтелей одноканавочной чеканкой приближается к радиусу галтели. С увеличением числа канавок радиус сферы уменьшается. Например, при обработке галтели с радиусом 5 мм при одноканавочной чеканке боек с радиусом сферы 3—4 мм устанавливается посередине галтели под углом 45° к оси обрабатываемого вала. Если обработка будет проводиться трехканавочной чеканкой, то радиус сферы бойка следует брать 2 мм и боек последовательно устанавливать под углами 90, 45 и 30° к оси вала. Соответствующим подбором режима чеканки (шага чеканки, числа проходов, скорости и энергии удара бойка) можно достигнуть равнопрочности ступенчатого вала в галтелях и гладкой части и повысить несущую способность валов в 1,5 раза и более.

Максимальная эффективность упрочнения достигается при двух- и трехканавочной

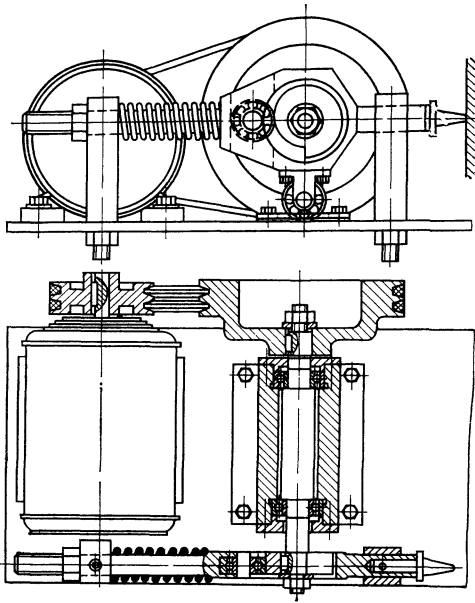


Рис. XII.22. Чеканочное пружинно-кулачковое приспособление

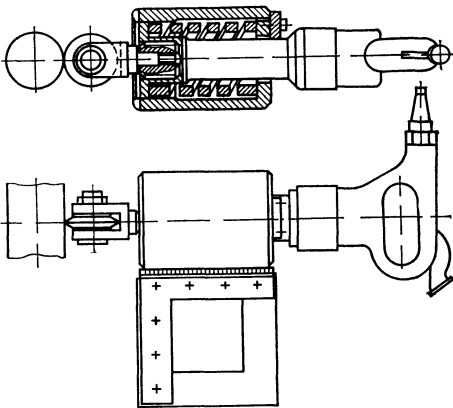


Рис. XII.23. Схема чеканочного приспособления типа ЧМ-3

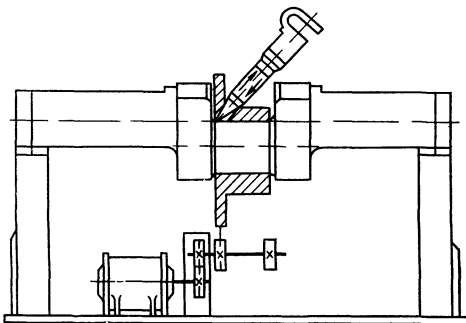


Рис. XII.24. Кинематическая схема чеканочного приспособления для внестаночного упрочнения галтелей прямых и коленчатых валов

чеканке. Это означает, что для галтелей с большими радиусами оптимальные режимы упрочнения получаются при перемещении бойка вдоль образующей галтели. Небольшая разница в эффективности упрочнения двух- и трехканавочной чеканкой позволяет сделать вывод, что нет необходимости проводить упрочнение галтелей по всей их поверхности. Для достижения оптимальной шероховатости поверхности после чеканки следует предусмотреть механическую обработку на глубину до 0,5 мм или заглаживающие проходы по галтелям бойками увеличенных радиусов.

Чеканочное приспособление с механическим приводом (рис. XII.22) устанавливается на обычных металлорежущих станках или специализированных, предназначенных для упрочнения определенных деталей. Так, на НКМЗ для механизации процесса упрочнения пластин разных конструкций были изготовлены и успешно использованы специализированные четырехшпиндельные чеканочные приспособления. Для создания наклепанного слоя глубиной до 35 мм ЦНИИТмаш разработал и внедрил пневматические чеканочные приспособления ЧМ-1, ЧМ-2 и ЧМ-3 с энергией удара соответственно 3, 3,4 и 4,5 кгс·м. Во время работы приспособление крепится в резцедержателе токарного станка.

Чеканочные приспособления серии ЧМ-3 (рис. XII.23) изготовлены на основе пневматических молотков РМ-6, СМ-3 и МО-10 и отличаются энергией удара. Приспособление для внестаночного упрочнения галтелей особо крупных прямых и коленчатых валов (рис. XII.24) крепится на шейке вала и состоит из разъемной стальной муфты, две половины которой скреплены болтами. К одной из половин муфты приварен шарнирный кронштейн, в котором под углом 45° укреплен корпус пневматического молотка со сферическим бойком, имеющим радиус, равный или близкий к радиусу обрабатываемой галтели. Во время обработки детали муфта медленно вращается, боек пневматического молотка наносит частые последовательные удары по галтели вала.

На УЗТМ процесс чеканки галтелей применяется для упрочнения цилиндров тяжелых гидравлических прессов. Рабочий цилиндр пресса представляет собой массивную деталь, работающую в условиях циклической нагрузки. Цикличность, вызываемая характером работы пресса, нередко приводит к усталостным перегрузкам и даже к разрушению цилиндров во время эксплуатации. Опасной в смысле возможного начала разрушения является зона галтелей у борта, служащего для крепления цилиндра в прессе. Концентрация напряжений в переходном сечении остается высокой, несмотря на предельно большой, допускаемый конструкцией, радиус и тщательную обработку поверхности галтели. Диаметр цилиндра 2525 мм, масса 50 000 кг.

На рис. XII.25 показано устройство для упрочнения галтелей цилиндров. Оно собрано на плите и крепится болтами на верхних салазках суппорта крупного токарного станка. Верхняя поворотная плита несет

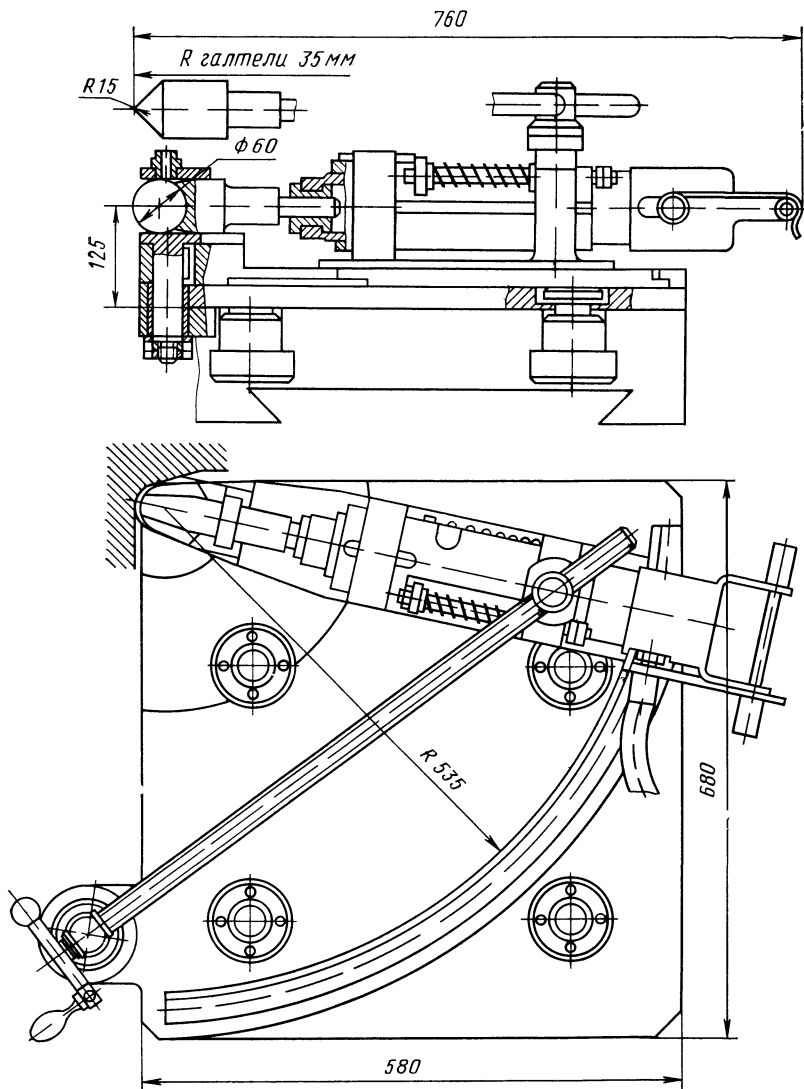


Рис XII 25 Устройство для чеканки галтелей цилиндров

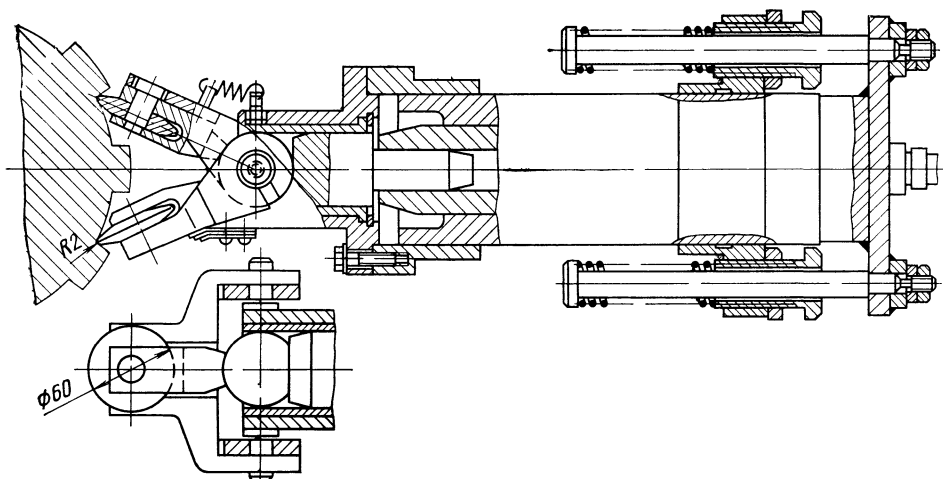


Рис XII 26 Приспособление для упрочнения шлицевых валов чеканкой

пневмоударник, закрепленный в гильзе. Под действием пружин гильза с пневмоударником постоянно поджимается в направляющих стойки к обрабатываемой поверхности, что обеспечивает максимальную отдачу энергии удара. Боек цельной конструкции или с переходным шариком располагается в направляющей стойке. Применение шарика позволяет увеличить стойкость бойков за счет уменьшения износа их рабочей поверхности. Для уменьшения нагрева бойка в зону контакта его с направляющей принудительно подают смазку. Нижний хвостовик направляющей служит осью поворота верхней плиты. Боек для подачи по образующей упрочняемой галтели поворачивается вручную винтом с рукояткой. Угол поворота фиксируется на шкале, одно деление которой соответствует повороту бойка на 0,3 мм. Во время работы пневмоударник соединяется с сетью сжатого воздуха шлангом. При настройке приспособления сжатие пружины регулируется так, чтобы сила прижима пневмоударника к обрабатываемой поверхности составляла 30—50 кгс.

Цилиндры упрочняют на токарном станке с высотой центров 1500 мм. Приспособление устанавливают на заднем суппорте станка. Резцом, закрепленным в резцедержателе переднего суппорта, обтачивается галтель. После обтачивания приспособление для чеканки с бойком, имеющим радиус кривизны 15 мм, подводится к обрабатываемой поверхности до совмещения оси поворота пневмоударника с центром кривизны галтели. Цилиндру сообщается вращение с частотой 0,2 мин<sup>-1</sup> и происходит упрочнение криволинейной поверхности галтели. Круговая подача на один удар составляет при этом 1,5 мм. По окончании каждого оборота цилиндра ударник поворачивается на 10 делений шкалы, что соответствует подаче бойка на 3 мм по дуге галтели.

После того как ударник примет положение, перпендикулярное к конической переходной поверхности, боек заменяют. Устанавливают шарик с радиусом 30 мм и включают продольную подачу суппорта 3 мм/об. Одновременно с продольным перемещением по мере уменьшения диаметра обрабатываемой поверхности суппорт с приспособлением подают в поперечном направлении вручную. Мерой поперечной подачи служит постоянство длины пружин прижима пневмоударника. Затем упрочняют торцовую пригальтельную поверхность бурта. Для этого приспособление возвращается в исходное положение, пневмоударник разворачивается перпендикулярно торцу и получает поперечную подачу 3 мм/об.

За счет чеканки галтелей долговечность цилиндров тяжелых гидравлических прессов повышается в 3—4 раза. Поэтому операция чеканки галтелей введена в технологию и является обязательной при изготовлении цилиндров крупных прессов, выпускаемых УЗТМ.

Для упрочнения чеканкой шлицевых валов на УЗТМ используют устройство, показанное на рис. XII.26. При подводе к уп-

Т а б л и ц а XII.12

Эффективность поверхностного упрочнения ряда деталей обкаткой роликами и чеканкой

Наименование упрочняемой детали	Марка стали	Упрочняемая поверхность	Способ упрочнения	Эффект упрочнения
Штоки штамповочных молотов с массой падающих частей 6,5—7 т	35ХНВ	Зона запрессовки стейба диаметром 220 мм с коническим концом	Обкатка роликом с усилием 3500 кгс	Увеличение долговечности в 2,5 раза
Цилиндры тяжелых гидравлических прессов с рабочим усилием 7000 тс	35ХНМ	Галтель радиусом 35 мм и пригальтельные зоны	Чеканка пневматическим ударником с энергией удара 8 кгс·м	Увеличение долговечности с 250 тыс. до 930 тыс. циклов
Колонны прессов, валы конусных дробилок крупного дробления	40, 34ХНМ	Упорные резьбы с шагом 12—24 мм	Чеканка вибрирующим роликом с энергией удара 3,2 кгс·м	Увеличение предела выносливости при изгибе на 50%
Валы конусных дробилок крупного дробления	40, 34ХНМ	Подступинные части диаметром 400—600 мм	Обкатка гидравлическим устройством с усилием 7000 кгс	Увеличение предела выносливости при изгибе на 50—80%
Стальные ролики прокатных станов, центральные цапфы, валы редукторов поворота и оси экскаваторов ЭКГ-4,6	40, 40Х, 34ХНМ	Галтели радиусом 8; 10; 15 и 20 мм	Обкатка роликами с бинием рабочего профиля при усилии 500—2500 кгс	Повышение предела выносливости на 30—50%
Бортовые шестерни экскаваторов ЭКГ-4,6	30ХМЛ, 34ХНМ	Корень зубьев $m=26$ мм	Поперечная обкатка с усилием 1300 кгс	Увеличение долговечности в 2—4 раза
Конические шестерни привода конусных дробилок мелкого и среднего дробления	34ХНМ	Корень зубьев $m=30$ мм	Обкатка винтовыми роликами с усилием 700 кгс	Увеличение долговечности в 3—10 раз
Полуоси экскаваторов ЭКГ-5	34ХНМ	Корень шлицев $D10 \times 210 \times 230$	Чеканка роликами с энергией удара 1,8 кгс·м	Увеличение долговечности в два раза

прочняемому валу ролики приспособления самоустанавливаются в пазах у основания шлицев в результате поворота направляющих на цапфах вокруг общей оси. Чеканку шлицевых валов выполняют на токарном станке при неподвижной детали и продольном перемещении суппорта. Оптимальной является чеканка с энергией удара 2,1 кгс·м и подачей, обеспечивающей от 10 до 20 ударов на 1 мм длины упрочняемой поверхности.

В ЦНИИТмаше разработана технология чеканки впадин между зубьями (дна и галтелей) крупномодульных зубчатых колес из стали 40ХНТ, предварительно закаленных с нагрева токами высокой частоты. Режим чеканки: число ударов бойка в минуту 1200, подача стола фрезерного станка 300 мм/мин, диаметр ударной части бойка 3 мм, усилие пружины до удара (в положении завода) 40 кгс, число ударов бойка (на линейный миллиметр в направлении образования дорожки) 4, число проходов (два прохода по радиусу и один по впадине) 3. За счет наклепа чеканкой предел выносливости увеличивается на 30—35%, а твердость — на 35% (с НВ260 до НВ353).

Эффективность упрочнения ряда деталей обкаткой роликами и чеканкой (по данным УЗТМ) представлена в табл. XII.12.

### 3. Дробеструйная обработка

Дробеструйную обработку применяют для повышения конструктивной прочности деталей, работающих при циклических переменных нагрузках, а также для деталей, подвергаемых ударным нагрузкам. Примером упрочняемых этим методом деталей машин и инструментов являются рессоры, пружины, торсионные валы, зубчатые колеса, глубиннонасосные штанги, спиральные сверла, пуансоны, гибочные матрицы, вкладыши подшипников, буровые шарошки и др. Иногда дробеструйную обработку используют для предотвращения растрескивания деталей из цветных сплавов.

Сущность процесса дробеструйной обработки состоит в наклепывании поверхности детали стальной или чугуновой дробью

диаметром 0,4—2 мм, движущейся с большой скоростью. Осуществляют наклеп дробью с помощью пневматических (см. рис. XII.1, а) или механических (см. рис. XII.1, б) дробеметов, обеспечивающих скорость вылета дроби в пределах 50—85 м/с. В пневматических дробеметах дробь движется под действием сжатого воздуха, а в механических — под действием центробежной силы, развивающейся в быстровращающемся роторе (на поверхность детали дробь выбрасывается с помощью лопастей). Более широкое распространение на практике получили механические дробеметы.

Глубина и степень наклепа, качество обработанной поверхности зависят от скорости полета дроби, ее твердости и динамической прочности, угла атаки и других параметров. В настоящее время наиболее часто применяют стальную дробь, обладающую более высокой прочностью, чем чугунная. Практика показывает, что расход стальной дроби в 30—60 раз меньше, чем расход чугунной, и, несмотря на значительную стоимость (стальная дробь дороже чугунной в 4—5 раз), расходы на стальную дробь в 8—10 раз меньше, чем на чугунную. Для обработки изделий из цветных сплавов часто применяют алюминиевую или стеклянную дробь.

В табл. XII.13 показано влияние увеличения одного из технологических параметров при постоянном значении остальных на результаты дробеструйной обработки.

Видно, что увеличение размера дроби приводит к повышению шероховатости поверхности и росту остаточных напряжений сжатия, глубины наклепа и механических свойств поверхностного слоя. Шероховатость поверхности увеличивается с ростом скорости и диаметра дроби и уменьшается с увеличением твердости обрабатываемой детали. Практически в результате дробеструйной обработки может быть получена шероховатость от 5-го до 7-го класса (по ГОСТ 2789—73). Применение стальной дроби обеспечивает получение лучшей микрогеометрии поверхности. Исходная шероховатость поверхности практически не влияет на эффективность дробеструйной обработки.

Таблица XII.13

Влияние изменения технологических факторов на показатели качества обработанной дробию поверхности

Изменяющийся (в сторону увеличения) технологический фактор	Показатель качества поверхности			
	остаточные напряжения сжатия	твердость слоя (степень наклепа)	глубина наклепанного слоя	шероховатость поверхности
Твердость материала	+	—	—	—
Скорость полета дроби	+	+	+	+
Диаметр дроби	+	+	+	+
Угол атаки	+	+	+	+
Расстояние от места вылета дроби	—	—	—	—
Продолжительность обработки до «насыщения»	+	+	+	—
Расход дроби	+	+	+	+

Примечание. Знак плюс (+) означает увеличение показателя, знак минус (—) — уменьшение показателя

Т а б л и ц а XII.14

Оптимальные режимы упрочнения при наклепе дробью

Наименование детали	Диаметр стальной дроби, мм	Скорость полета дроби, м/с	Производительность ротора, кг/мин	Примечание
Клапанные пружины	0,6—0,8	60	100	Продолжительность наклепа 10—12 мин
Пружины передней подвески	0,6—0,8	90	100	Продолжительность наклепа 4—6 мин
Листовые рессоры	0,8—1,2	90—100	120—140	Скорость подачи заготовок на двусторонней установке 4 м/мин
Полуоси	0,8—1,2	90	120	Частота вращения полуоси 30—50 мин <sup>-1</sup> , продолжительность наклепа на двусторонней установке 3,5 мин

Оптимальные режимы обработки дробью некоторых деталей представлены в табл. XII.14.

Наиболее эффективна дробеструйная обработка деталей после цементации, цианирования или после закалки с нагрева токами высокой частоты. Такое сочетание обработки обычно называют комплексным упрочнением. В поверхностном слое цементированных или цианированных деталей вследствие наличия остаточного аустенита могут возникнуть остаточные напряжения, значительно снижающие их усталостную прочность. При дробеструйной обработке происходит частичное или полное превращение остаточного аустенита в мартенсит, сопровождающееся увеличением объема, повышением твердости и возникновением остаточных напряжений сжатия, что в конечном счете способствует повышению усталостной прочности деталей.

Эффективно применение дробеструйной обработки и для упрочнения зубьев зубчатых колес, нагреваемых под закалку токами высокой частоты в петлевом индукторе. При такой закалке у основания зуба возникают остаточные напряжения растяжения. Дробеструйная обработка способствует устранению этого недостатка.

Дробеструйная обработка, как и другие способы упрочнения наклепом, находит широкое применение для повышения долговечности и надежности сварных узлов различных машин, особенно работающих в условиях вибрации. Известно, что отпуск после сварки низкоуглеродистой стали понижает усталостную прочность сварных соединений с поперечным швом, а последующий дробеструйный наклеп шва и околошовной зоны значительно повышает долговечность сварных соединений.

Упрочнение дробеструйным наклепом позволяет увеличить срок службы сварных швов на 310%, коленчатых валов двигателей — на 900%, спиральных пружин — на 1370%, рессор — на 500%, крупномодульных зубчатых колес — на 1400%. Эффективность наклепа таких деталей, как листовые рессоры, повышается при обработке их в напряженном состоянии, совпадающем с тем, которое имеет место в эксплуатации.

Применение дробеструйного наклепа позволяет повысить предел выносливости при симметричном изгибе у деталей без концентраторов напряжений на 20—30%, а у деталей с концентраторами напряжений — на 40—60%.

#### 4. Центробежно-шариковый наклеп

Центробежно-шариковый наклеп (см. рис. XII.1, в) применяют для упрочнения наружных и внутренних поверхностей деталей, изготовленных из черных и цветных

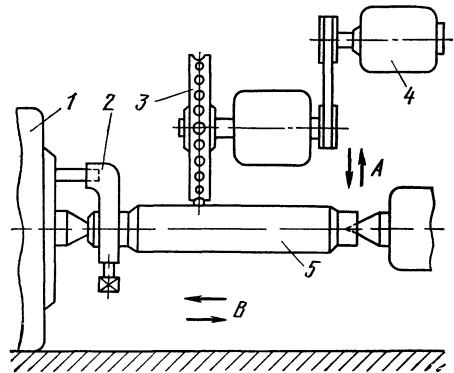


Рис XII.27 Схема установки для центробежно-шарикового наклепа тел вращения

сплавов. Наиболее удобна и производительна обработка этим способом тел вращения — гильз цилиндров, поршневых колец, торсионных валов, вкладышей подшипников и др.

В качестве оборудования для центробежно-шарикового наклепа применяют токарные, шлифовальные и другие станки как общего, так и специального назначения. На рис. XII.27 представлена схема установки для упрочнения тел вращения с использованием круглошлифовального станка. Заготовка 5 с помощью хомутика 2 устанавливается в центрах. Вращение за-

Т а б л и ц а XII.15

Режимы обработки при центробежно-шариковом наклепе

Параметры	Обрабатываемый материал		
	сталь	бронза	чугун
Скорость вращения приспособления, м/с . . . . .	15—40	8—15	15—20
Подача, мм/об . . . . .	0,04—0,16	0,02—0,2	0,08—0,1
Величина выхода шарика из гнезда, мм . . . . .	0,1—0,25	0,1—0,15	0,1—0,2
Число проходов . . . . .	2—3	2	2
Повышение твердости поверхности, % . . . . .	17—25	25—30	30—60

готовки осуществляется механизмом передней бабки 1 станка. Электродвигатель 4 приводит во вращение шлифовальный шпиндель станка с приспособлением (упрочнителем) 3. Движение стола станка в направлении, указанном стрелками В, для регулирования величины выхода шариков из гнезд сепаратора в направлении, указанном стрелками А, осуществляется механизмом станка. Упрочнитель представляет собой сепаратор с рядом цилиндрических отверстий по периферии, в которых находятся шарики (см. рис. XII.1). При быстром вращении центробежная сила стремится выбросить шарика из сепаратора, но они могут лишь выдвигаться из своих гнезд на определенную величину и производить наклеп поверхности.

Глубина и степень наклепа, а также величина остаточных напряжений сжатия увеличиваются с ростом скорости вращения приспособления и заготовки, величины выхода шариков из сепаратора и диаметра шариков, так как величина ударной (центробежной) силы шариков в этом случае будет возрастать. Шероховатость поверхности будет увеличиваться с ростом диаметра шарика и подачи, а также величины выхода шарика из сепаратора. Режимы обработки деталей из различных материалов при центробежно-шариковом наклепе представлены в табл. XII.15.

За счет центробежно-шарикового наклепа твердость силумина повышается на 50%, стали марки 25 — на 25%, чугуна — на 30—60% и латуни — на 40%. Глубина наклепа изделий из мягких материалов достигает 0,8—1,5 мм, а из материалов средней твердости 0,4—0,8 мм. Величина остаточных напряжений сжатия в поверхностных слоях достигает 40—80 кгс/мм<sup>2</sup>.

#### Библиографический список

- Браславский В. М.* Обкатывание роликами фасонных поверхностей. — «Станки и инструмент», 1968, № 8, с. 19—21 с ил.
- Браславский В. М.* Технология обкатки крупных деталей роликами. М., «Машиностроение», 1975. 159 с. с ил.
- Вопросы прочности крупных деталей машин (Труды ЦНИИТмаша, кн. 112). М., «Машиностроение», 1976.
- Дрозд М. С., Федоров А. В., Сидякин Ю. И.* Расчет глубины распростране-

ния пластической деформации в зоне контакта тел произвольной кривизны. — «Вестник машиностроения», 1972, № 1, с. 54—57 с ил.

*Елизаветин М. А., Сателъ Э. А.* Технологические способы повышения долговечности машин. М., «Машиностроение», 1964. 439 с. с ил.

*Коновалов Е. Г., Сидоренко В. А.* Чистовая и упрочняющая ротационная обработка поверхностей. Минск, «Высшая школа», 1968. 363 с. с ил.

*Кудрявцев И. В.* Внутренние напряжения как резерв прочности в машиностроении. М., Машгиз, 1951. 278 с. с ил.

*Кудрявцев И. В., Минков Я. Л., Дворникова Е. Э.* Повышение прочности и долговечности крупных деталей машин поверхностным наклепом. М., НИИинформтяжмаш, вып. 12—69—18, 1970. 144 с. с ил.

*Кудрявцев И. В.* Поверхностный наклеп для повышения прочности и долговечности деталей машин. М., «Машиностроение», 1969. 100 с. с ил.

*Кудрявцев И. В.* Современное состояние и перспективы развития методов повышения прочности и долговечности деталей машин ППД. — «Вестник машиностроения», 1970, № 1, с. 9—13 с ил.

*Кудрявцев П. И., Чудновский А. Д.* О применении метода поверхностного упрочнения к деталям, работающим в условиях малоциклового усталости. — «Вестник машиностроения», 1970, № 1, с. 144—146 с ил.

*Лурье Г. Б., Штейнберг Я. И.* Упрочняюще-отделочная обработка рабочих поверхностей деталей машин поверхностным пластическим деформированием. М., НИИ-маш, 1971. 156 с. с ил.

Методы повышения долговечности деталей машин. М., «Машиностроение», 1971. 272 с. с ил. Авт.: В. Н. Ткачев, Б. М. Фиштейн, В. Д. Власенко и др.

*Папшев Д. Д.* Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. М., «Машиностроение», 1978. 152 с. с ил.

*Папшев Д. Д.* Упрочнение деталей обкаткой шариками. М., «Машиностроение», 1968. 130 с. с ил.

*Проскуряков Ю. Г.* Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов. М., «Машиностроение», 1971. 208 с. с ил.

Родзевич П. И., Никберг И. М., Барац А. И. Упрочнение деталей металлургического оборудования. М., Металлургиздат, 1963. 343 с. с ил.

Стойкость валков чистового холодного проката. М., «Машиностроение», 1964. 127 с. с ил. Авт.: Д. А. Драйгор, А. С. Венжега, М. Я. Белкин и др.

Технология тяжелого машиностроения. Под ред. С. И. Самойлова. М., «Машиностроение», 1967. 595 с. с ил.

Тылкин М. А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования. М., «Металлургия», 1971. 608 с. с ил.

Школьник Л. М., Шахов В. И. Технология и приспособления для упрочнения и отделки деталей накатыванием. М., «Машиностроение», 1964. 184 с. с ил.

Шнейдер Ю. Г. Инструмент для чистой обработки металлов давлением. М.—Л., «Машиностроение», 1971. 247 с. с ил.

Юдин Д. Л., Зобнин Н. П., Найш М. Н. Упрочнение пластическим деформированием крупномодульных зубчатых колес.—«Вестник машиностроения», 1970, № 1, с. 19—21 с ил.

## Глава XIII МЕТАЛЛИЗАЦИЯ РАСПЫЛЕНИЕМ

### 1. Способы металлизации

Процесс металлизации распылением состоит в расплавлении напыляемого материала, распылении его струей сжатого воздуха или газа и осаждении на поверхности изделий путем удара и деформации частиц. В зависимости от применяемого источника тепла различают газовую, электродугую, высокочастотную и плазменную металлизацию. Напыляемый материал может применяться в виде проволоки, ленты или порошка.

Схема распылительных головок металлизаторов представлена на рис. XIII.1. Наибольшее распространение получили электродуговые металлизаторы проволочного типа (рис. XIII.1, а). Электрическая дуга горит между двумя электродами в потоке сжатого воздуха, который захватывает капли расплавленного металла, измельчает их и направляет на поверхность детали. Дуга получает постоянный или переменный ток от сварочных трансформаторов или от преобразователя постоянного тока. Электродуговые аппараты могут быть использо-

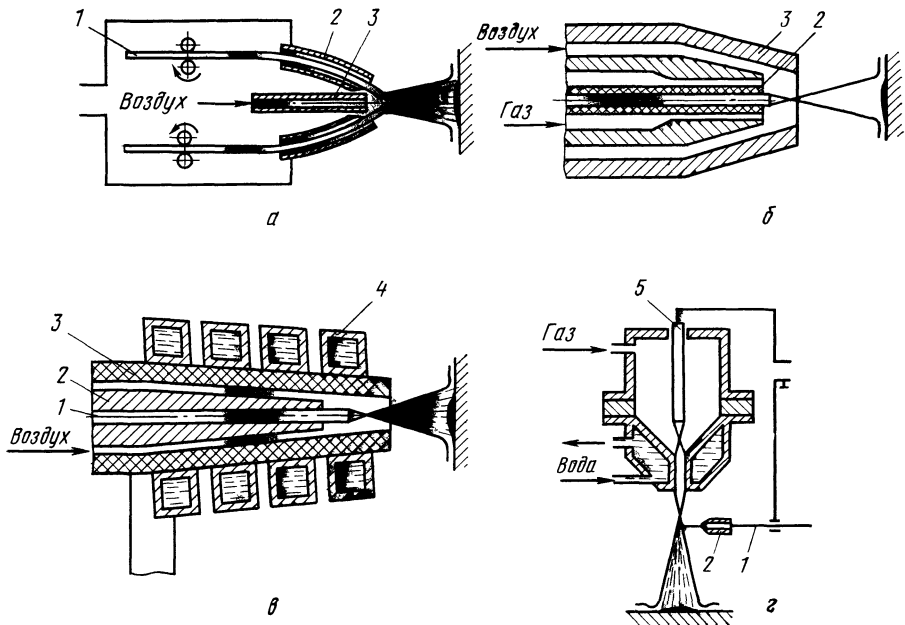


Рис. XIII.1. Схема распылительных головок электродугового (а), газового (б), высокочастотного (в) и плазменного (г) металлизаторов:

1 — распыляемая проволока; 2 — наконечники для проволоки; 3 — воздушное сопло; 4 — индуктор; 5 — вольфрамовый электрод