

622

И. И. ЕРМАК

E72

Стр.

СИ

ПОВЫШЕНИЕ  
НАДЕЖНОСТИ  
И ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
В ГОРНОМ  
МАШИНОСТРОЕНИИ

М

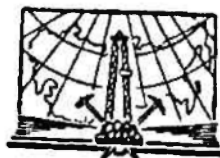
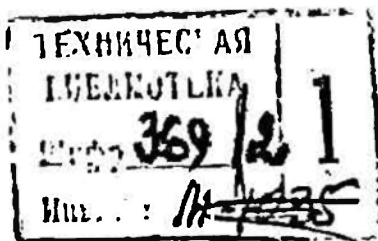
НЕДРА 1964

1-52

И. И. ЕРМАК

622  
E72

ПОВЫШЕНИЕ  
НАДЕЖНОСТИ  
И ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
В ГОРНОМ  
МАШИНОСТРОЕНИИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»

Москва 1964

## АННОТАЦИЯ

В брошюре освещаются вопросы повышения надежности и долговечности горных машин и горношахтного оборудования, в том числе основные понятия о качестве, надежности и долговечности.

Брошюра рассчитана на широкий круг работников горного машиностроения, а также инженерно-технических работников шахт, занимающихся эксплуатацией горного оборудования.

51 1-2

## ВВЕДЕНИЕ

Для осуществления поставленной XXII съездом КПСС грандиозной задачи — обеспечить комплексную механизацию производственных процессов и на этой основе ликвидировать тяжелый ручной труд уже в первом десятилетии — надежность и долговечность средств механизации и автоматизации приобретают решающее значение, особенно в горном машиностроении.

Без решения проблемы повышения надежности и долговечности невозможно обеспечить безотказность в работе комплексов автоматизированного оборудования: агрегатов для безлюдной выемки угля, конвейерных линий подземного транспорта, подъема, проходческих агрегатов, а также агрегатов для открытых работ, выполняющих все процессы (экскавация, транспортирование и отвалообразование) по программированному управлению и т. д.

Надежность и долговечность значительной части горных машин, подземного транспорта, горнорезущего инструмента и средств оборудования автоматизации, выпускаемых заводами горного машиностроения, пока не находится на достаточно высоком уровне.

Из-за недостаточной надежности и низких сроков службы многих горных машин, оборудования и средств автоматизации расходуются неоправдано большие государственные средства на изготовление повышенного количества запасных частей, а также на проведение излишне частых ремонтов.

При этом было бы неправильно сводить проблему повышения надежности и долговечности только к полному удовлетворению потребности в запасных частях. Необходимо, чтобы горное оборудование бесперебойно работало в течение заранее установленного срока и была бы исключена возможность выхода из строя деталей в процессе эксплуатации.

В настоящее время конструкторские организации, проектирующие горные машины, заводы угольного машиностроения, изготавливающие эти машины, и предприятия угольной промышленности, эксплуатирующие их, как правило (за редким исключением), не ведут в организованном порядке и по единому плану работ по изучению фактических сроков службы этих машин и повышению их до устанавливаемых ежегодно гарантий.

Освещению состояния в горном машиностроении проблемы надежности и долговечности изготавливаемого оборудования и мер по их повышению и посвящена эта брошюра.



## § 1. ЗНАЧЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ В ГОРНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Партия и правительство Советского Союза на всем протяжении хозяйственного строительства придавали и придают особое значение вопросу повышения качества продукции.

Особенно возросло значение этой проблемы сейчас, в период создания материально-технической базы коммунизма, в связи с огромными масштабами выпуска продукции и стремлением обеспечить непрерывность производственного процесса.

В программе КПСС записано: «Систематическое повышение качества продукции является обязательным требованием развития экономики. Качество продукции советских предприятий должно быть значительно выше, чем на лучших капиталистических предприятиях»<sup>1</sup>. Это значит, что программа КПСС, программа построения коммунистического общества в СССР, принятая на XXII съезде партии, подтверждает особую значимость для ускорения строительства материально-технической базы коммунизма вопроса повышения качества продукции.

«В ходе строительства коммунизма непрерывный подъем качества продукции становится первостепенной хозяйственно-политической задачей» — говорил Н. С. Хрущев в своем докладе о Программе КПСС на XXII съезде партии<sup>2</sup>.

Это значит, что проблема повышения качества продукции — надежности и оптимально выгодной долговечности ее — в этот период приобретает не только народнохозяйственное экономическое значение, но и политическое.

Борьба за ускорение создания материально-технической базы коммунизма немыслима без борьбы за использование всех резервов, таящихся в нашем социалистическом народном хозяйстве.

Одним из крупнейших резервов в машиностроении (к сожалению далеко еще неиспользованным) является повышение надежности и долговечности выпускаемых машин, механизмов, приборов и средств автоматизации.

Технический прогресс в машиностроении (в том числе и в горном) характеризуется непрерывным ростом мощностей и скоро-

<sup>1</sup> Материалы XXII съезда КПСС, Госполитиздат, 1961, стр. 385.

<sup>2</sup> Там же, стр. 179.

стей в одном агрегате и ростом производительности изготавливаемых машин.

Так, скребковый конвейер СР-70 имеет суммарную мощность приводных электродвигателей 128 кВт, тогда как конвейер СТС-3 (снятый с производства) имел 7 кВт и соответственно у этих конвейеров: скорость цепи — 0,92 и 0,46 м/сек, производительность — 5 и 0,66 т/мин.

Характерно, что только за период 1959—1962 гг. средняя мощность приводных двигателей скребковых конвейеров номенклатуры выпуска 1962 г. (КС-9, СП-48, СП-63, СР-70, УСБ-2К) увеличилась в 8 раз по сравнению со средней мощностью приводов скребковых конвейеров, выпускавшихся до 1959 г. (СКР-11, СКЗ-2, СТР-30, СКТ<sub>2</sub>-6, СТС-3).

Угольный (очистной) комбайн «Украина» имеет часовую мощность приводных электродвигателей 152 кВт, тогда как комбайн УКМГ (снятый с производства) имел 42 кВт и соответственно у этих комбайнов: рабочая скорость подачи 1,5 и 0,97 м/мин, а производительность 3 и 0,5 т/мин. За период 1959—1962 гг. средняя мощность приводов угольных комбайнов возросла на 70%, рабочая скорость — на 45%, а производительность — на 90%.

По сравнению со станками канатно-ударного бурения вновь освоенные производством станки шарошечного бурения имеют производительность в 5—6 раз выше. Резко повысились мощность и производительность обогатительного оборудования.

Наряду с ростом мощности и производительности конструкторы при создании новых машин стремятся к уменьшению габаритов и веса их.

Эта ярко выраженная тенденция современного машиностроения приводит к резкому повышению нагрузок в узлах и деталях горных машин, неизбежно вызывая более интенсивный износ их, явление усталости металла (при знакопеременных нагрузках) и в конечном счете — снижение срока службы машин и усиленный расход запасных частей.

Эти факторы в течение последних лет коренным образом изменили (в сторону резкого повышения) требования к срокам службы деталей, узлов и в целом машин и оборудования для угольной промышленности.

Следовательно, если не принять соответствующих мер по увеличению надежности и долговечности вновь создаваемых горных машин, то экономический эффект от внедрения новых, более производительных машин будет снижаться, а их преимущества не будут использованы в полной мере, что нанесет народному хозяйству огромный ущерб.

Особое значение приобретает проблема повышения надежности и долговечности в горном машиностроении в связи с решением следующих задач, поставленных XXII съездом КПСС: обеспечения комплексной механизации процессов добычи полезных ископаемых и ликвидации тяжелого ручного труда уже в первом десятилетии

генеральной перспективы развития народного хозяйства, что требует замены отдельных машин комплексами оборудования, агрегатами и автоматическими линиями.

Предварительные расчеты показывают что годовая потребность в горных машинах, оборудовании и средствах автоматизации в ближайшие годы возрастает не менее чем в 1,6 раза, а за пределами семилетнего плана — значительно больше. При этом произойдет обновление номенклатуры горных машин не только на более совершенные, но и в основном на системы машин: струговые и комбайновые комплексы с механизированной крепью, агрегаты с автоматической регулировкой исполнительных органов по мощности пласта и другие системы машин, обеспечивающие комплексную механизацию и автоматизацию, а также решение задачи — добычи угля без постоянного присутствия людей в забое.

В этих условиях надежность и долговечность горных машин является решающим фактором, обеспечивающим непрерывность производственного процесса добычи угля, рост производительности труда, а следовательно, и снижение себестоимости продукции.

В самом деле, в современном комплексе с передвижными гидрофицированными крепями с большим количеством повторяющихся элементов, расставленных вдоль лавы, выход из строя одного из этих элементов может вызвать остановку работы всего комплекса, т. е. нарушить непрерывность производственного процесса.

Поэтому перед горным машиностроением во весь рост встала проблема — повысить надежность и долговечность машин и оборудования.

Значение этой проблемы академик А. И. Берг определил следующими словами: «Можно без преувеличения сказать, что вопрос надежности и долговечности сейчас самый важный вопрос из всех вопросов технического прогресса».

## **§ 2. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЛЯ ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Проблема повышения надежности и экономически выгодной долговечности по своему значению и экономической эффективности уже давно переросла в народнохозяйственную проблему номер один.

Экономическую значимость этой проблемы подтверждают следующие данные: в нашей стране на ремонт машинного парка в 1959 г. было израсходовано свыше 13 млрд. руб.<sup>1</sup>, а в народном хозяйстве на ремонт отвлечено около 20% всего станочного парка страны.

В то же время известно, что расходы на ремонт и объем ремонта, а также потребность в запасных частях находятся в прямой

<sup>1</sup> Касницкий И. «Коммунист», 1961, № 2.

зависимости от уровня надежности и долговечности оборудования. По подсчетам экономистов установлена следующая зависимость между уровнем надежности, долговечностью и затратами на ремонт: при увеличении надежности и срока службы машин только на 25% затраты на ремонт оборудования могут быть снижены на 3,5 млрд. руб. в год.

Экономическая значимость этой проблемы для угольной промышленности также огромна.

Достаточно сказать, что по весьма скромным подсчетам повышение срока службы только скребковых конвейеров на 25—30% может дать ежегодную экономию в 6 млн. руб. и снизить расход металла на 70 тыс. т, а повышение срока службы основных угольных машин на 25—30% (что является вполне реальной задачей в ближайшие 2—3 года) может дать экономию до 140—150 млн. руб. в год.

Из-за ненадежной работы и низких сроков службы на капитальные ремонты только основного забойного горношахтного оборудования ежегодно расходуется сумма, равная 50% первоначальной стоимости этого оборудования.

Стоимость только запасных частей для ремонта и поддержания нормальной эксплуатации скребковых конвейеров превышает стоимость самих эксплуатируемых конвейеров, а из общего количества ежегодно изготавливаемых звеньев и пальцев разборных скребковых цепей и рештаков — до 50% поставляется как запасные части. Только на две наиболее изнашивающиеся детали — рештаки и скребковые цепи — ежегодно расходуется огромное количество металла.

Как показали подсчеты по ряду забойных машин, на их ремонт за период эксплуатации затрачивается сумма в пять раз и более превышающая их первоначальную стоимость. При этом по некоторым машинам расходы на ремонт не снижаются, а имеют тенденцию к повышению. Так, удельный вес стоимости ежегодного ремонта скребкового конвейера за последние годы не только не снизился, а, наоборот, значительно повысился. Аналогичное положение имеет место и со стоимостью ежегодного ремонта породопогрузочных (ЭПМ-1, ППМ-4) и ряда других машин.

Номенклатура запасных частей, изготавливаемых для ремонта и поддержания в эксплуатации действующего парка машин и горношахтного оборудования, из года в год не уменьшается, а, наоборот, возрастает и составляет в настоящее время около 20 тысяч позиций. В то же время эксплуатационники систематически ощущают недостаток запасных частей.

Такое положение объясняется прежде всего снижением износостойкости деталей и узлов и отсутствием правильно установленных норм износа и сроков службы по быстроизнашивающимся деталям.

Это явилось следствием ряда причин. Прежде всего следует

отметить крупные недостатки в планировании выпуска запасных частей к горношахтному оборудованию.

Достаточно сказать, что за последние годы рост валового выпуска горношахтного оборудования на заводах угольного машиностроения почти в два раза выше роста выпуска запасных частей. Другими словами, удельный вес запасных частей в общем выпуске горношахтного оборудования резко снизился. Кроме того, объем производства запасных частей планировался без учета ежегодного роста парка действующих машин в эксплуатации. Особенно сни-

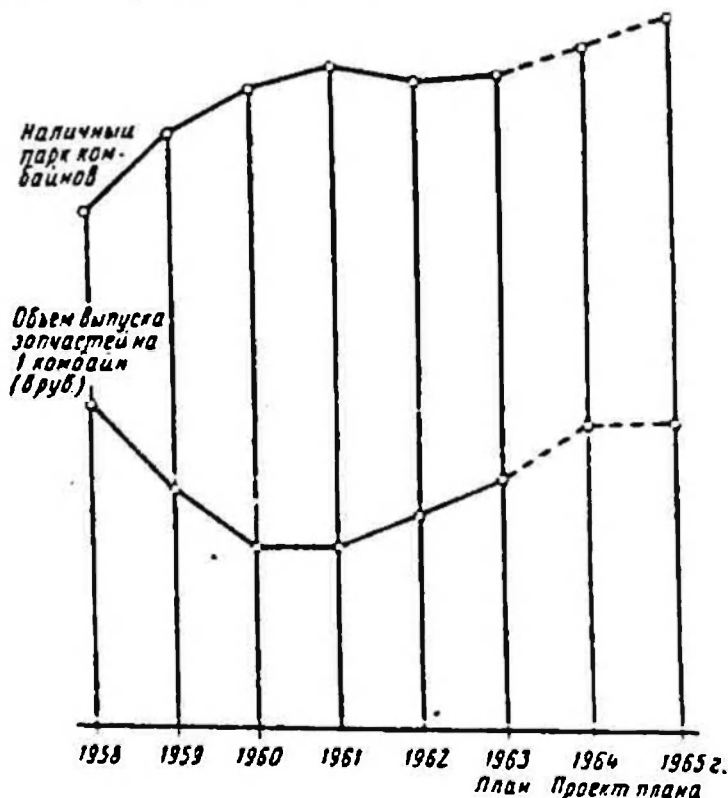


Рис. 1. Динамика роста парка комбайнов и выпуска запасных частей к ним

зился выпуск запасных частей на единицу парка действующих угольных комбайнов.

Динамика снижения выпуска запасных частей на один действующий угольный комбайн показана на рис. 1.

Не менее важной причиной следует считать отсутствие правильно установленных норм износа, а следовательно, и сроков службы быстроизнашиваемых деталей основных забойных машин (т. е. отсутствие базы для планирования запасных частей).

Однако главнейшей причиной неудовлетворительного положения с обеспечением запасными частями горношахтного оборудования следует считать недостаточный уровень работы по повышению стойкости быстроизнашиваемых деталей как со стороны проектно-конструкторских организаций, так и заводов-изготовителей, а также предприятий, эксплуатирующих горные машины.

В результате за последние годы расходы на капитальный



ремонт основного горношахтного оборудования не снижаются, а на ремонте и восстановлении парка основных машин занята почти половина общего числа рабочих, обслуживающих машины в эксплуатации. И все же из-за аварий и неполадок в эксплуатации только комбайнов и конвейеров теряется еще много рабочего времени.

На производительность и себестоимость добычи полезных ископаемых большое влияние оказывают не только недостаточная надежность и долговечность горных машин, но и низкая износостойкость горного режущего инструмента. Следует помнить, что для изготовления горнорежущего инструмента в год расходуется 50% всего количества твердого сплава, выпускаемого твердосплавной промышленностью Советского Союза.

Совершенно недопустимым является положение, когда на шахтах не производится переточка горнорежущего инструмента. Это приводит к тому, что годный для многократного использования инструмент сдается в лом.

Подсчитано, что повышение срока службы горнорежущего инструмента на 1% дает народному хозяйству только за счет снижения его расхода экономию 2,7 млн. руб. в год. Повышение стойкости инструмента также положительно сказывается на повышении производительности труда и снижении себестоимости горных работ.

Экономический эффект от повышения надежности и долговечности складывается:

от снижения потребности в горношахтном оборудовании и горнорежущем инструменте при увеличении надежности и долговечности их (снизится и потребность в машиностроительных мощностях), что равнозначно увеличению производства без дополнительных затрат труда и средств;

от снижения простоев горношахтного оборудования и уменьшения затрат на его ремонт.

Перечисленные факторы далеко не исчерпывают экономической значимости повышения надежности и долговечности в горном машиностроении, но и их достаточно, чтобы уяснить народнохозяйственную важность решения этой проблемы.

### **§ 3. НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ В УГОЛЬНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ**

Ряд заводов угольного машиностроения за последние годы провел значительную работу по улучшению качества отдельных машин.

Горловский машиностроительный завод им. Кирова — основной поставщик угольных комбайнов — совместно с институтом Донгипроуглемаш разработал новый исходный контур зацепления и создал редукторы для угольных комбайнов «Донбасс-1к» и ЛГД-2 с зубчатыми передачами Новикова, применив для зубчатых колес

вместо цементируемых высоколегированных сталей улучшенные низколегированные. В результате срок службы узла «отбойная штанга» увеличился более чем в два раза (данные по эксплуатации на шахте «Колосниковская» треста Советскуголь — с 2—3 до 9 месяцев и на шахте № 17—18 треста Красноармейскуголь — с 4—5 до 12 месяцев).

Одним из быстроизнашиваемых узлов угольных комбайнов является кольцевой бар. Срок службы кольцевого бара клепаной конструкции не превышает 5—6 месяцев. Применяв сварную конструкцию бара с закаленным смесным ручьем, завод повысил срок его службы до 12 месяцев при снижении расхода металла и трудоемкости изготовления (однако организация серийного производства сварных баров задерживается из-за неполучения металла специального профиля для ручья).

Копейский машиностроительный завод применил для врубовой машины «Урал-33» новую уравновешенную штамповальную режущую цепь с повышенным разрывным усилием, что значительно снизило порывы режущих цепей, имевшие место ранее. Завод также провел ряд мероприятий по повышению надежности и долговечности проходческих комбайнов ПК-3м. Горловский и Копейский заводы уделяют большое внимание применению гидравлики в выпускаемых машинах.

Луганский машиностроительный завод им. Пархоменко — основной поставщик обогатительного оборудования, работающего, как известно, в условиях воздействия агрессивных сред, абразивности, динамических и вибрационных нагрузок — в целях повышения надежности и долговечности выпускаемых грохотов применил пружинные изоляторы, резиновые амортизаторы и сталь с повышенными прочностными характеристиками для валов.

Такие же работы проводятся и на других заводах угольного машиностроения.

Однако эти работы не носят систематический характер, они не подчинены достижению заранее заданных параметров по повышению надежности и сроков службы деталей и в целом машин.

В то же время имеющиеся данные подтверждают недостаточную надежность и низкие сроки службы некоторых угольных машин и оборудования, в том числе и новых, которые изготавливаются взамен устаревших, снятых с производства. Так, эксплуатация породопогрузочных машин ППМ-4М на шахтах комбинатов Луганскуголь и Воркутауголь, на рудниках треста Чнатурмарганец выявила конструктивные недостатки, случаи некачественного изготовления, интенсивный износ деталей и узлов, а в результате — низкую надежность машин в эксплуатации. Это же можно сказать о новом ленточном конвейере ЛК-150, о некоторых скребковых конвейерах. Анализ подтверждает, что в некоторых случаях на серию ставятся машины не отработанные и не доведенные на стадии опытного образца или партии до заранее установленной надежности. Даже в комбайне ЛГД-2 выявлено более 25 деталей,

имеющих срок службы ниже межремонтного (без гидравлической подающей части).

Срок службы до капитального ремонта угольного комбайна ЛГД-2 не превышает 5—6 месяцев при работе на антрацитах и 7—8 месяцев — на мягких углях. Кроме того, в период до капитального ремонта заменяют бар с режущей цепью и в некоторых случаях насос гидравлической подающей части.

Недостаточная надежность и долговечность отдельных деталей и узлов выявлены эксплуатацией и в новом, оправдавшем себя, скребковом конвейере СП-63.

По данным институтов УкрНИИГидроуголь и ДонУГИ фактический срок службы углесосов не превышает 300 часов машинного времени. При этом средняя стоимость капитального ремонта углесоса 8ШНВ составляет около 50% стоимости нового углесоса.

Главными причинами низких межремонтных сроков углесосов являются несовершенство конструкции (неудовлетворительная конструкция проточной части и сальникового уплотнения, низкая стойкость подшипников и другие недостатки) и нарушения технологии изготовления (рабочие колеса и другие детали изготавливаются из стали 40Х без термической обработки).

Имеющиеся большие возможности повышения надежности работы этих машин путем применения для быстроизнашивающихся деталей износостойкого сплава 300Х12М в достаточной степени еще неиспользованы.

По данным института ВНИИПТУглемаш номенклатура деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания и ударных нагрузок и подлежащих упрочнению наплавкой при их изготовлении, охватывает около 50 наименований и свыше 230 их типоразмеров. При этом часть из них изготавливается в массовых количествах — рештаки и звездочки скребковых конвейеров, утюги и направляющие баров угольных комбайнов, пики отбойных молотков и другие детали.

Как показали подсчеты института, при внедрении упрочнения этих деталей методом наплавки можно уменьшить расход металла на 50—60 тыс. т. и получить до 8 млн. руб. годовой экономии.

Однако этот метод еще не нашел широкого применения на заводах угольного машиностроения (за исключением Ясиноватского машиностроительного завода, где наплавка является основным технологическим процессом упрочнения деталей рабочих органов проходческих комбайнов и дробилок). Медленно осваивается институтом ВНИИПТУглемаш и Анжерским заводом технология наплавки рештаков скребковых конвейеров.

Крайне низкий межремонтный срок имеют и гидравлические стойки ГС (в среднем 5—6 месяцев, а на отдельных шахтах с мокрыми лавами 2—3 месяца). Главными причинами низкого межремонтного срока стоек являются неудовлетворительное качество монтажных уплотнений и низкая стойкость антикоррозийного покрытия. Этих примеров достаточно, чтобы подтвердить особую

актуальность проведения работ по повышению надежности и долговечности горных машин.

Следует сказать, что преждевременный выход из строя горных машин и оборудования в большой степени зависит от ремонтоспособности их и от организации ремонта и эксплуатации.

Под ремонтоспособностью понимают доступность машины к обнаружению и устранению неисправностей, к восстановлению надежности и долговечности ее.

К сожалению, не все горные машины обладают этим ценным свойством. В качестве примера можно привести конструкцию комбайна «Донбасс-1», имеющую свыше десяти подузлов, которые невозможно разобрать без порчи деталей.

Рудоремонтные заводы в настоящее время охватывают капитальным ремонтом главным образом комбайны, врубовые и погрузочные машины, электродвигатели и трансформаторы. Капитальный ремонт остального оборудования ведется на шахтах без необходимых испытаний, что приводит не к восстановлению первоначальной технической характеристики машины, а, как правило, к ухудшению ее.

Рудоремонтная база горной промышленности недостаточно подготовлена к ремонту машин, имеющих гидроузлы.

Отсутствие дефектных ведомостей по ремонтируемым машинам лишает возможности иметь статистические данные по фактической долговечности деталей, узлов и в целом машин.

Недостаток запасных частей в ряде случаев приводит к неоправданному сокращению межремонтного срока. Так, при сроке службы круглозвенной цепи конвейера СП-63 в пределах 12 месяцев срок службы соединительных звеньев всего лишь 4—5 месяцев, поэтому при отсутствии их (как запасных частей) шахты часто списывают всю цепь при выходе из строя только соединительных звеньев.

При выходе из строя только узлов «подающая часть» или «режущая часть» комбайна шахта из-за отсутствия запасных узлов отправляет на ремонт весь комбайн. К тому же стоимость ремонта не зависит от состояния машины, поступающей на ремонт.

Такое положение с ремонтом горных машин не способствует решению проблемы повышения их надежности и долговечности.

Нельзя считать нормальным и существующее положение с эксплуатацией горных машин и оборудования, когда на большинстве шахт не ведется учета количества и характера аварий и отказов в работе оборудования, продолжительности простоев по этим причинам, фактических сроков службы, объемов текущих ремонтов и использования машины за межремонтный срок.

Следует сказать, что ранее на протяжении ряда лет в системе угольной промышленности велись работы в направлении определения фактических сроков службы машин, их узлов и деталей и повышения их надежности и долговечности. На ряде машиностроительных заводов были организованы специальные лаборатор-



рии по износу и долговечности оборудования, которые в настоящее время ликвидированы или не решают поставленных перед ними задач. Кроме того, на многих крупных шахтах были организованы наблюдательные пункты по сбору статистических данных о работе машин, отказах и фактических сроках службы. Эти наблюдательные пункты в последние годы тоже ликвидированы.

Выше были приведены примеры недостаточной надежности и долговечности горных машин и недостаточности организационных мер, направленных на улучшение этого дела. Однако это не значит, что заводы угольного машиностроения не в состоянии выпускать машины и оборудование высокой надежности и долговечности.

Для изготовления машин и оборудования самого высокого качества необходима целенаправленная и организационно-инженерная работа на всех этапах их создания.

Недостаточная надежность и долговечность угольных машин и горношахтного оборудования зависит от многих причин. Одной из них является еще недостаточная степень унификации машин и горношахтного оборудования.

Конструкторы угольных машин недооценивают целесообразность максимального использования унифицированных деталей и узлов. При современном развитии кооперации между заводами надежность и долговечность машин прямо или косвенно зависит также и от работы заводов смежников.

Сложность конструкций и специфичность условий эксплуатации современных горных машин (стесненность рабочего пространства, агрессивность и абразивность среды, резкие колебания нагрузок, неудовлетворительные условия теплоотдачи) усложняют изучение причин их недостаточной надежности и долговечности и ограничивают возможность использования опыта других отраслей машиностроения по этому вопросу.

#### § 4. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О КАЧЕСТВЕ — НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ — В ГОРНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Для характеристики машины, механизма, прибора и средств автоматизации до сих пор еще применяется термин «качество», по существу не имеющий конкретных числовых значений; его предельные значения определяются как «высокое качество» или «низкое качество».

Приведем ряд известных в технической литературе определений термина «качество»: «Качество — это совокупность свойств продукции, определяющих степень ее пригодности для наиболее экономичной эксплуатации по прямому назначению...» или «Качество машины — это ее соответствие установленным техническим условиям...».

Как видно, эти определения качества не позволяют оценить характеристику машины конкретными числовыми значениями.



В период осуществления комплексной механизации и автоматизации, когда к качеству горных машин, механизмов, приборов и средств автоматизации предъявляются новые, повышенные требования — обеспечения непрерывности производственного процесса и экономически выгодного их срока службы — нужно уметь измерить качество в определенных числовых показателях.

Качественную характеристику машины можно выразить через значения надежности и долговечности ее, определяемые конкретными числовыми показателями, такими как время безотказной работы, количество произведенной продукции, километраж проходки и т. д.

Что же следует понимать под надежностью и долговечностью?

К сожалению, до сих пор в отечественной литературе отсутствует полная общепризнанная и обоснованная терминология по надежности и долговечности в машиностроении.

Под определением надежности машины понимают ее способность безотказно выполнять работу на протяжении установленного межремонтного срока в заданных условиях эксплуатации.

Надежность машины характеризуется отсутствием аварийности, т. е. отсутствием узлов и деталей со сроком службы ниже первого межремонтного или срока между двумя соседними ремонтами.

Так как межремонтный срок определяется конкретной величиной времени работы, то и надежность машины может быть выражена конкретными числовыми значениями.

Следует иметь в виду, что (по принятой проф., док. техн. наук В. И. Трейером классификации) любая машина состоит из следующих основных групп деталей: активных, базовых и вспомогательных. Из них решающее значение на определение показателей надежности и долговечности машины имеет группа активных деталей.

К группе активных (или изнашивающихся — группа А) относят детали, участвующие в рабочем процессе непосредственно под нагрузкой (передающие мощность, опоры нагруженных деталей и т. п.). Следовательно, детали этой группы являются наиболее изнашивающимися.

К группе базовых (или основных — группа Б) относят детали, составляющие основы для правильного взаимного расположения активных деталей. Выход из строя деталей этой группы (стаины, корпуса и т. п.) связан с полным износом машины.

К группе вспомогательных (группа В) относят детали управления механизмами и обеспечения нормальной работы активных и базовых деталей (устройства для смазки, охлаждения и т. п.). Выход из строя этой группы обычно обуславливается случайными поломками.

Под определением долговечности машины понимают срок ее службы, на протяжении которого она способна сохранять эксплуатационные качества, т. е. общую продолжительность работы машины с учетом работы и после ремонтов.

Другими словами, показателем долговечности машины служит общий срок ее работы до физического или морального износа.

Долговечность, как и надежность, может быть оценена конкретной величиной времени (или другого показателя работы машины).

Следовательно, зная числовое значение надежности и долговечности машины, можно дать конкретную характеристику качества машины.

Понятия надежность и долговечность для машиностроения неравнозначные, но зависимые друг от друга; в большинстве случаев с повышением надежности повышается и долговечность.

Для машин с повышенной ремонтоспособностью (по условиям работы — стационарные машины), в которых снижение их работоспособности зависит главным образом от постоянно действующих и поддающихся учету факторов (постепенное изнашивание, усталостное разрушение, коррозия и т. д.), решающее значение имеет долговечность.

Для машин или систем машин с пониженной ремонтоспособностью (по условиям работы — нестационарные: сложные гидрофицированные комплексы оборудования, приборы управления и др.), на работоспособность которых влияют главным образом случайные, неподдающиеся постоянному учету факторы, решающее значение имеет надежность.

При большом количестве деталей и узлов в современной горной машине (агрегат А-3 имеет 85 000 деталей) и существующем рассеивании сроков их службы спроектировать все узлы и детали равнопрочными не всегда возможно и целесообразно.

Поэтому при проектировании машины следует стремиться создать группы узлов и деталей с кратными сроками службы и этим обеспечить групповую их смену в заранее установленные сроки. Такой порядок экономически наиболее выгоден.

Всегда ли следует при проектировании машин добиваться максимальных значений долговечности?

Для того, чтобы ответить на этот вопрос, следует рассмотреть определения и направления в развитии в зависимости от роста технического прогресса — физической и моральной долговечности.

Под физической долговечностью понимают продолжительность работы машины до предельно допустимого износа узлов и деталей, при котором машина уже не удовлетворяет предъявляемым требованиям или до их разрушения.

С ростом технического прогресса физическая долговечность машин возрастает. Этому способствует применение новых материалов с более стабильными и высокими прочностными характеристиками, а также применение более совершенных конструкций и современных прогрессивных методов обработки деталей.

Моральная долговечность машины характеризуется состоянием, когда она по сравнению с аналогичными машинами становится менее эффективной и менее производительной.

Моральная долговечность машины с повышением темпов тех-

нического прогресса снижается. Этому способствуют ускоренные темпы создания новых машин, а следовательно, и ускорение замены парка действующих машин на более производительные и прогрессивные.

Физическая долговечность машины не должна превышать моральную (при нарушении этого условия технический прогресс будет сдерживаться, а преимущества новой техники не будут использованы).

В то же время в наших условиях планового обновления огромного парка действующих машин нельзя допустить физического недоиспользования их. А чтобы продлить физический срок горных машин до морального, затрачиваются огромные средства на изготовление запасных частей и проведение ремонтов, в несколько раз превышающие первоначальную стоимость оборудования.

Главная задача работников горного машиностроения, конструкторов и технологов в решении проблемы повышения надежности и долговечности машин состоит в сближении сроков физической и моральной долговечности и приближении их к сроку экономически целесообразному, продолжительность которого определяется экономической целесообразностью затрат на восстановление требуемой надежности. А это неизбежно приведет к сокращению количества ремонтов, к резкому сокращению потребности в запасных частях, а следовательно, и к резкому сокращению затрат на ремонт.

Следовательно, не всегда целесообразно добиваться максимально возможного срока службы машины. Показателем долговечности машин должен быть только экономически целесообразный срок их службы.

Приближение физической и моральной долговечности к экономически целесообразному (расчетному) сроку службы позволит создать машину совершенной конструкции, у которой после заданного срока эксплуатации останется минимум деталей для повторного использования, т. е. такую машину, у которой наиболее полно был бы использован ее ресурс.

Практически задача сводится к тому, чтобы создать методику определения экономически целесообразного срока службы машины, а также методику расчета деталей узлов и машин на заданную долговечность.

К сожалению, в настоящее время сроки безотказной работы машины и ее общий экономически выгодный срок службы не стали еще инженерно-рассчитываемыми величинами.

Это положение обычно оправдывают отсутствием теории долговечности машин.

Наука в этой области в большом долгу перед машиностроителями, хотя еще в 1934 г. была создана комиссия под председательством акад. Чаплыгина по разработке теории долговечности в машиностроении.

К сожалению, надо признать, что в настоящее время отсут-

ствует общепризнанная научно обоснованная теория долговечности машин. Еще не разработаны основные вопросы теории долговечности:

определение оптимальной, т. е. расчетной, экономически выгодной долговечности при проектировании машины (методика повышения срока физической долговечности до срока моральной долговечности);

определение допускаемых напряжений при расчете деталей и узлов на долговечность;

определение экономически выгодных межремонтных сроков; методика классификации деталей машины по основным причинам преждевременного выхода их из строя, в том числе и методика расчета при износе и др.

Другими словами, величина оптимальных, экономически обоснованных сроков службы машин еще не стала инженерно-рассчитываемой величиной при проектировании новых машин.

Как видим, теория и практика по повышению надежности и долговечности машин еще отстает от настоятельных требований техники и экономики производства.

К нерешенным вопросам, затрудняющим создание теории долговечности машин, обычно относят неоднородность строения металла и отсутствие стабильности его прочностных характеристик; появление технологических дефектов при изготовлении, снижающих стабильность качества изготовления деталей; сложный и переменный характер режима работы машин и др. Однако следует подчеркнуть, что за последние годы имеется ярко выраженная тенденция к ослаблению влияния всех этих причин.

Металлы вновь созданных марок обладают значительно большим постоянством качественных показателей, а изготовление деталей на автоматических линиях резко повышает стабильность их качества обработки; увеличивается также степень постоянства режима работы машин за счет введения упругих элементов и ограничителей в кинематические схемы машин<sup>1</sup>.

Есть все основания надеяться, что в скором времени теория надежности и долговечности машин будет создана.

Опыт борьбы передовых предприятий за лучшую в мире продукцию, за машины, имеющие повышенный гарантийный срок, показывает, что в этой области можно и должно сделать очень много.

Прежде всего вопросы о повышении надежности и долговечности горных машин, механизмов, приборов и средств горной автоматики нужно перевести из сферы пропаганды и дискуссий о важности этих вопросов в сферу практической деятельности, в сферу организационных мероприятий.

Вторым не менее важным условием является привлечение к решению этой проблемы не только головных научно-исследова-

<sup>1</sup> Трейер В. Н. О методах исследования и расчета долговечности машин и их деталей. Эстонское государственное издательство, Таллин, 1953.

тельских, проектно-конструкторских и проектно-технологических институтов горного машиностроения, но и ведущих заводов горного машиностроения, а также основных предприятий, потребителей горной техники, как соисполнителей единого отраслевого плана мероприятий по повышению надежности и долговечности горных машин.

Наиболее эффективная отдача этих мероприятий может быть получена при установлении экономически обоснованных параметров надежности и долговечности на всех стадиях создания машины от разработки технического задания на проектирование до изготовления, эксплуатации и восстановления.

## § 5. АКТИВНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАШИН

Наиболее эффективным и экономически выгодным является установление параметров надежности и долговечности, порядка ремонта и его периодичности уже при проектировании машины, а не после изготовления ее и выявления в эксплуатации быстро изнашиваемых деталей.

Такой метод называется активным. Он предусматривает определение параметров надежности и долговечности машины при их проектировании и изготовлении, установление их фактических значений при испытании и принятие мер (изменение конструкции, материала или применение упрочняющей технологии) по сокращению разрыва фактических сроков против расчетных, если они окажутся ниже.

Прежде чем сформулировать требования по надежности и долговечности, предъявляемые при проектировании новых машин, рассмотрим причины, обычно снижающие эти показатели. К таким причинам относятся недостатки, допускаемые на пути создания машины, имеющем следующие этапы: научно-исследовательской разработки, проектирования, изготовления, эксплуатации и восстановления (ремонт).

Основными причинами низкой надежности и долговечности машины могут быть:

на стадии научно-исследовательской разработки — неверная или нерсальная идея, недоучет современных производственных возможностей, недоучет условий эксплуатации и отсутствие исследований на надежность и долговечность;

на стадии проектирования — несоответствие материалов и комплектующих изделий, нетехнологичность конструкции, недостаточная защита от воздействия динамических нагрузок и от воздействия окружающей среды (коррозия, взрывоопасность), отсутствие показателей надежности и долговечности;

на стадии изготовления — некондиционность материалов, ненадежность комплектующих изделий, нарушение технологии, отсут-



стве предварительных испытаний узлов и деталей на надежность и долговечность;

на стадии эксплуатации — нарушение правил эксплуатации, использование не по назначению, низкое качество эксплуатационных материалов и т. п.;

на стадии восстановления — плохой ремонт.

Это далеко не все, а только основные причины, влияющие на снижение надежности и долговечности вновь создаваемых машин. Следует назвать и основные пути повышения надежности и долговечности машин на тех же стадиях создания и эксплуатации их.

Основные меры, способствующие повышению надежности и долговечности машин:

на стадии научно-исследовательских разработок — анализ правильности технических идей и в отдельных случаях подтверждение этого физическим моделированием; подтверждение изысканиями рациональности принятого технологического процесса изготовления; изучение статистических данных о надежности и долговечности аналогичных по конструкции и технологическому назначению машин для подтверждения установленных показателей надежности;

на стадии проектирования — применение материалов и комплектующих изделий только соответствующих заданным условиям с учетом требования эксплуатации; установление при изготовлении показателей надежности и долговечности; сбор и анализ данных о фактических сроках службы для совершенствования конструкции;

на стадии изготовления — применение входного контроля материалов и комплектующих изделий, а при изготовлении — активного контроля, испытания на стендах, имитирующих эксплуатационные режимы и другие меры;

на стадии эксплуатации — применение входного контроля эксплуатационных материалов, контроля за правильностью эксплуатации, систематического учета фактических сроков надежности и долговечности;

на стадии восстановления — ремонт на специализированных базах.

На стадии технического задания на проектирование необходимо устанавливать ориентировочные параметры надежности и долговечности (время безотказной работы до первого межремонтного срока и оптимальный срок службы).

На стадии технического проекта следует:

уточнить установленные в техническом задании параметры надежности и долговечности на основании произведенных расчетов, теоретических или экспериментальных данных;

определить максимально возможный коэффициент унификации за счет применения только проверенных типовых узлов и деталей. Новые оригинальные узлы и детали до внедрения в серийные машины надо проверять в процессе проектирования эксперимен-

только и в эксплуатационных условиях. Следует иметь в виду, что путем экспериментальной проверки отдельных оригинальных деталей и узлов на надежность еще в процессе проектирования машины можно в сравнительно короткий срок обеспечить доводку новой конструкции.

На этой стадии должна устанавливаться необходимость разработки чертежей и изготовления испытательных стендов для проверки заданных параметров надежности и долговечности отдельных деталей, узлов или машины в целом, а также необходимость разработки чертежей и изготовления стендов для ускоренных испытаний.

Ускоренные испытания при отсутствии статистических данных являются одним из методов определения надежности и долговечности деталей, узлов или машины; при этом за счет изменения условий испытания машины в несколько раз сокращают время испытания.

Устанавливается также методика заводских и промышленных испытаний, в том числе и испытаний заданных параметров надежности и долговечности, а также определяется необходимая саморегистрирующая аппаратура для контроля машинного времени, средней и максимальной рабочей нагрузки и других показателей при работе машины.

На стадии разработки рабочих чертежей опытного образца машины необходимо определить перечень быстроизнашиваемых деталей и узлов, а путем испытания — срок службы их. В некоторых случаях для обеспечения необходимой надежности применяют не только конструкторские мероприятия, но и методы упрочняющей технологии при изготовлении. Определяется также фактический коэффициент унификации и вносится в техническую характеристику машины.

Степень унификации  $y$  определяется как отношение числа оригинальных деталей  $n$  к общему числу деталей в машине  $N$ , т. е.

$$y = \frac{n}{N}.$$

При определении степени унификации машины все детали разбивают на классы и по каждому классу устанавливают степень унификации. Средний коэффициент унификации определяют как среднearифметическое из суммы отдельных значений  $y$ , т. е.

$$y_{\text{ср}} = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^g \frac{n}{N},$$

где  $g$  — число классов деталей.

На стадии испытания опытного образца машины определяют

\* Демьянюк Ф. С. Технологические основы поточного автоматизированного производства. Машгиз, 1958.

фактически полученные параметры надежности и долговечности и при соответствии их заданным вносятся в техническую характеристику машины (как временные нормативы).

На стадии корректирования или разработки рабочих чертежей опытно-промышленных образцов (партий) уточняют установленные ранее или дополнительно разрабатывают средства и способы, позволяющие фиксировать с помощью саморегистрирующей аппаратуры чистое машинное время работы машины, ее среднюю рабочую и максимальную нагрузки на протяжении длительного отрезка времени и другие показатели. Встройка или пристройка саморегистрирующей аппаратуры должна вестись параллельно с изготовлением самих изделий, исключая случаи передачи потребителям машин без регистрирующей аппаратуры. В настоящее время в горном машиностроении отсутствует опыт применения каких-либо приборов с целью установления или проверки параметров надежности и долговечности машин. Между тем определение в процессе эксплуатации фактических межремонтных сроков службы деталей, узлов и в целом машины значительно было бы облегчено при регистрации соответствующих параметров саморегистрирующими приборами.

На этой же стадии уточняются установленные ранее или дополнительно разрабатываются методика и чертежи стендов и приборов для параллельного проведения наряду с промышленными заводских или лабораторных испытаний опытно-промышленного образца из этой партии, его узлов или деталей как на долговечность, так и на надежность.

В методике промышленных испытаний опытно-промышленных образцов (партий) следует предусматривать специальный раздел, содержащий методы и способы выявления в процессе испытания фактической долговечности машины в целом, ее отдельных узлов и деталей, общей надежности машины и комплектующего ее оборудования и покупных изделий.

Один из образцов, прошедший промышленные испытания в наиболее тяжелых условиях, необходимо подвергать полной разборке и тщательному промеру всех элементов, на основе которых составлять ведомость дефектов и причины их появления.

В акте промышленных испытаний опытно-промышленных образцов (партий) следует предусматривать специальный раздел, содержащий результаты выявления фактической долговечности отдельных деталей, узлов и машины в целом, а также их надежности в эксплуатации в сочетании с комплектующим оборудованием. В нем должны быть:

- данные записей саморегистрирующей аппаратуры;
- систематизированные данные о всех поломках и неполадках, имевших место в процессе испытаний;
- систематизированные данные об износе всех узлов и деталей с указанием абсолютных величин и характера износа по результатам замеров при контрольной разборке машины;

результаты промеров износа деталей одного из образцов, прошедшего промышленные испытания в наиболее тяжелых условиях;

данные, характеризующие надежность машины в эксплуатации (вместе с комплектующим оборудованием и купными изделиями).

При рассмотрении и утверждении акта промышленных испытаний проектирующая организация должна представлять одновременно отчет о проведении заводских или лабораторных стендовых испытаний опытно-промышленного образца на надежность и долговечность.

При разработке технической документации для промышленного производства необходимо, чтобы заводы-изготовители совместно с проектирующей организацией в расчетно-пояснительной записке в разделе «Долговечность и надежность» указывали бы основные мероприятия, выполненные по результатам промышленных и стендовых испытаний опытно-промышленных образцов или партий для доведения долговечности и надежности машины до заданных пределов.

В комплектующую ведомость каждой поставляемой машины, аппарата и прибора необходимо включать инструкцию по эксплуатации и проведению планово-предупредительных ремонтов (перечень запасных частей и срок их службы; перечень инструментов и приспособлений с чертежами на специальный инструмент, необходимый для сборки и разборки; руководство по разборке и сборке; карту смазки; ассортимент смазочных материалов и нормы их расхода; указания по ежемесячным, ежедневным и периодическим осмотрам с мерами по устранению выявленных недостатков, а также форму учета данных эксплуатации).

При передаче машины, оборудования или прибора в серийное производство необходимо, чтобы заводы-изготовители совместно с проектно-конструкторскими организациями устанавливали гарантийный и межремонтные сроки работы машины, определяли бы номенклатуру и количество запасных частей, подлежащих поставке комплектно с машиной и необходимых для обеспечения ее работы на протяжении гарантийного срока службы.

Необходимо также, чтобы заводы горного машиностроения периодически, но не реже раза в год обобщали опыт эксплуатации машин, оборудования, приборов или средств автоматизации серийного производства. Для этого заводы должны систематически собирать сведения о работе и отказах, износе деталей и узлов, поломках и неполадках, проверять соответствие фактических показателей гарантированным данным в паспорте машины и разрабатывать конструктивные и технологические мероприятия по увеличению долговечности и надежности изделия в целом.

Необходимо, чтобы предприятия-потребители горных машин, оборудования, приборов и средств автоматизации не только выполняли инструкцию по эксплуатации и проведению планово-

предупредительных ремонтов, но и вели учет работы оборудования по установленной единой технической документации.

Говоря о требованиях к вновь создаваемым горным машинам в области повышения их надежности и долговечности, нельзя забывать и основные требования о росте производительности (чтобы обеспечивать установленный на текущее десятилетие рост производительности труда по отрасли промышленности), об обеспечении максимального снижения ручного труда и ликвидации тяжелого ручного труда при эксплуатации машины или оборудования.

В технической литературе известны попытки установить зависимость между ростом производительности машины и сроком ее службы, однако внедрения в практику конструирования эти работы, к сожалению, не получили. По В. Н. Трейнеру<sup>1</sup> для определения проектного срока службы всей машины в зависимости от роста ее производительности необходимо располагать следующими данными:

величиной технической нормы производительности существующей машины (или группы машин), заменяемой машиной новой конструкции  $m_0$ ;

величиной технической нормы производительности новой машины, т. е. величиной проектируемой нормы производительности  $m_n$ ;

величиной запланированного на предстоящий период среднегодового прироста производительности труда в данной отрасли народного хозяйства  $k$ .

Ориентировочный проектный срок службы всей машины  $H_k$  определяется по формуле

$$H_k = \frac{\lg 1,5 \frac{m_n}{m_0}}{\lg \left( 1 + \frac{k}{100} \right)}, \text{ лет.}$$

Составив перечень активных, наиболее изнашивающихся деталей (по интенсивности износа) и определив расчетным путем (по предельно допустимому износу) долговечность этой группы деталей, можно установить межремонтный срок, а для остальных групп деталей — кратные сроки относительно основного.

Установленные при проектировании ориентировочные нормативы надежности и долговечности подлежат проверке при испытании.

Исключительно большая роль в повышении надежности и долговечности машин и горношахтного оборудования, изготавливаемого заводами горного машиностроения, принадлежит ведущим заводам. Для успешной работы в этой области заводы должны иметь

<sup>1</sup> Трейнер В. Н. О методах исследования и расчета долговечности машин и их деталей. Эстонское государственное издательство, Таллин, 1953.



соответствующие технические службы — лаборатории надежности и долговечности.

Эти лаборатории должны быть оснащены соответствующими стендами и саморегистрирующей аппаратурой, позволяющей проведение всесторонних испытаний, в том числе тензометрирование и скоростные кино съемки.

Как показывает практика, наиболее благоприятные условия для работы лаборатории создаются в том случае, когда она входит в состав научно-исследовательского сектора конструкторского бюро завода и ведет работу по плану и отдельным заданиям начальника конструкторского бюро (главного конструктора).

С целью исключения дублирования работ и максимального привлечения инженерно-технических работников других лабораторий, отделов и цехов завода, как соисполнителей единого заводского плана, утвержденного главным инженером завода, штат лаборатории не должен превышать 6—12 человек. Так, на Ленинградском заводе «Пневматика» к выполнению заводского плана работ по повышению надежности и долговечности привлекается до 30 человек.

Опытные образцы новых машин, изготавливаемых заводом (в отдельных случаях оригинальные узлы и детали), должны подвергаться лабораторным испытаниям, после чего передаваться на промышленные испытания. При этом следует учитывать, что результаты единичных испытаний опытных образцов еще не могут достаточно полно характеризовать показатели работоспособности машины серийного изготовления. После отправки опытно-промышленных партий машин потребителю лаборатория устанавливает за ними наблюдение и организует сбор данных о выходе из строя отдельных деталей и узлов.

Для повышения надежности и долговечности серийно выпускаемых заводом машин лаборатория должна изучать данные эксплуатации их на предприятиях-потребителях.

Итак, вся работа лаборатории должна быть направлена на повышение надежности и долговечности машин, изготавливаемых заводом, а ее основными задачами являются:

определение фактических сроков службы деталей, узлов и машин;

выявление деталей и узлов, снижающих надежность и долговечность машин и разработка мер и способов повышения надежности и долговечности этих деталей и узлов;

разработка рекомендаций по обеспечению ремонтно-способности машин;

разработка нормативов по надежности и общим срокам службы машин, выпускаемых заводом.

Эти основные задачи заводская лаборатория надежности и долговечности может осуществлять:

проводя статические испытания и участвуя в промышленных испытаниях машин;

систематически собирая данные по фактическим срокам службы деталей, узлов и в целом машины по единой технической документации;

обобщая периодически (но не реже раза в год) опыт эксплуатации машин путем обработки статистических данных о выходе из строя деталей и узлов машин, а также о расходе запасных частей (заметим, что надежность и долговечность статистически определяемые величины);

организуя на предприятиях (крупных потребителей машин, выпускаемых заводом) специальные контрольные посты, оснащенные

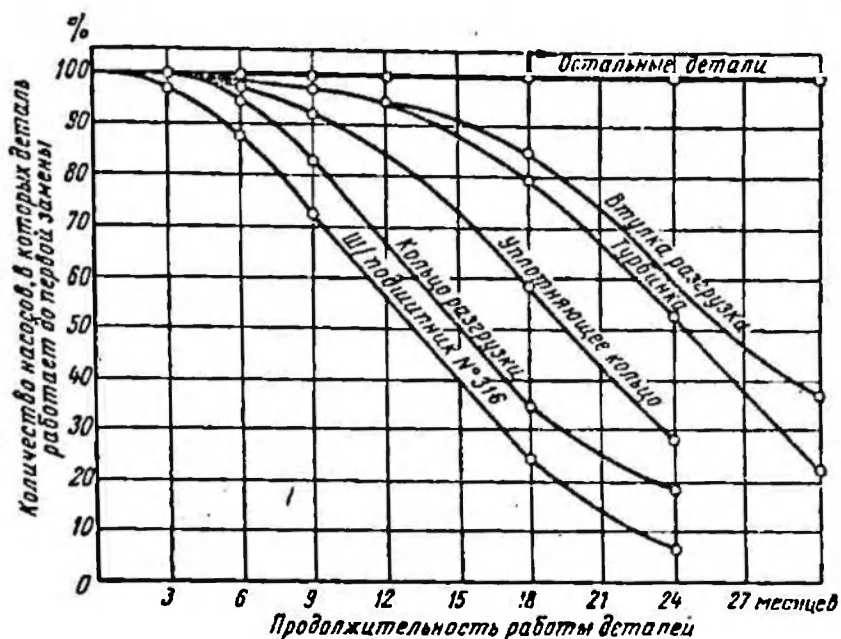


Рис. 2. Сроки службы деталей шахтных центробежных насосов

техническими средствами для систематического наблюдения за работой машин в условиях эксплуатации.

Следует иметь в виду, что при наличии преимуществ натуральных испытаний (фактические условия работы машины и сравнительно небольшие затраты на проведение испытаний) им свойственны и недостатки — длительность получения результатов испытания, отсутствие непрерывной регистрации всех параметров работы машины, в том числе и непредвиденных перегрузок. Поэтому в большинстве случаев получить исчерпывающие ответы на поставленные вопросы о работе машины можно лишь при сочетании статистических данных по эксплуатации машин и данных лабораторных испытаний.

На рис. 2 показан пример использования статистических данных для определения фактических сроков службы отдельных деталей и узлов.

Диаграмма износа деталей шахтного центробежного насоса

позволяет одновременно установить и номенклатуру быстроизнашиваемых деталей.

После установления номенклатуры быстроизнашиваемых деталей (расположив их по нисходящей интенсивности износа) можно составить таблицу фактических сроков службы этой группы деталей и проверить соответствие их первому межремонтному (или в отдельных случаях гарантийному) сроку.

наименование узлов и деталей	Продолжительность работы узлов и деталей, мес																						Мероприятия по увеличению срока службы
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Корпус гунмированный	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Изменена технология гунмировки с применением другой марки резины и клея
Корпус гунмированный	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Изменена технология гунмировки с применением другой марки резины и клея
Клин шпинделя	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Изменена конструкция крепления шпинделя
Шпиндель	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Изменена конструкция. Введена термическая обработка
Подшипники передний и задний	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Введены дополнительные уплотнения
Кнопка выключателя	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Изменена технология гунмировки с применением другой марки резины и клея
Вкладыш изолирующий и втулка	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Введены ступеньки прессматериала - 1) 3)
Фланец	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Изменена конструкция крепления кабеля по типу муфты СМ-6
Статор с обмоткой	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Применен провод с кремнийорганической изоляцией
Ротор	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Введена заливка беличьей яетки под подшипник
Корпус регулятора	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Заливаются стальные втулки под гнезда подшипников
Шайба защитная	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Изменена крепление
Шестерня	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Улучшена термическая обработка

условные обозначения

Различительный срок службы детали  
 Срок службы детали после проведения мероприятия по его увеличению  
 Гарантийный срок службы детали

Рис. 3. Фактические сроки службы узлов и деталей горного электросверла и мероприятия по их повышению

При наличии разрыва между фактическим и заданным межремонтным сроками назначаются необходимые меры для «подтягивания» фактических сроков до заданных.

Эти мероприятия могут быть конструктивного и технологического характера (по совершенствованию конструкции машины или применению упрочняющей технологии), а чаще совмещены (конструктивная проработка деталей и узлов машины с применением упрочняющей технологии при их изготовлении).

Применение упрочняющей технологии улучшает состояние поверхностных слоев, позволяет получить поверхность с заданными свойствами, обеспечивающими наибольшую долговечность.

Так, верхний слой может обладать хорошей прирабатываемостью, а нижележащий — хорошей износостойкостью при применении многослойного покрытия.

Следовательно, процессом создания поверхностного слоя можно

управлять, а это значит, что во внедрении упрочняющей технологии таятся огромные резервы.

На рис. 3 приведен пример практических мер конструктивного и технологического характера для повышения надежности и общего срока службы горного электросверла.

Изучив номенклатуру быстроизнашиваемых деталей и причины их преждевременного выхода из строя, назначив и осуществив мероприятия конструктивного и технологического характера по увеличению срока службы их, можно существенно повысить надежность машин (повысить срок до первого ремонта — основной срок).

Добившись таким же путем кратности срока службы остальных групп деталей основному сроку, устанавливают экономически выгодное количество и периодичность ремонтов.

Таким образом можно планировать повышение общего срока службы машин, приближая его к экономически выгодной долговечности.

Различные причины, вызвавшие преждевременный выход из строя детали, требуют и разных средств упрочнения. Поэтому только правильный анализ причин и вида разрушения деталей является методической основой работы лаборатории по повышению надежности и долговечности.

Несмотря на многообразие причин преждевременного выхода из строя деталей горных машин, как показывает анализ, их можно свести к нескольким основным видам разрушения и износа деталей.

## **§ 6. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РАЗРУШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН**

Основными видами разрушения и износа деталей горных машин являются:

- вязкое, хрупкое и усталостное разрушения деталей;
- хрупкое, усталостное и вызванное разупрочнением (в результате перенаклепа) разрушения поверхностного слоя деталей;
- абразивный износ и износ при сухом трении поверхностей деталей.

Детали горных машин и их поверхностный слой подвергаются и пластической деформации.

Пластическая деформация предшествует вязкому разрушению и чаще наблюдается при работе детали на кручение и изгиб при напряжениях, превышающих предел текучести металла (рис. 4).

Вязкое разрушение детали, имеющей пластическую деформацию, наступает при дальнейшей ее работе в случае перехода рабочих напряжений за предел прочности материала.

Излом при вязком разрушении характеризуется волокнистым строением структуры металла (рис. 5).

На рис. 6 показан пример хрупкого разрушения шестерни комбайна «Донбасс».

Усталостное разрушение детали вызывается действием циклических напряжений и характеризуется прямой зависимостью от времени действия нагрузки, т. е. длительностью работы детали.

Наличие такой зависимости позволяет сделать следующий важный вывод: для повышения срока службы детали, работающей в условиях циклических напряжений, необходимо повысить усталостную прочность металла, из которого она изготовлена.



Рис. 4. Пластическая деформация шлицевой части вал-шестерни врубной машины (заметно начало среза)

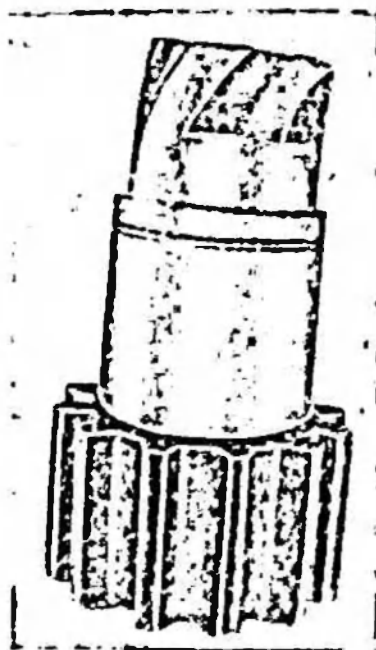


Рис. 5. Вязкое разрушение шлицевой части вал-шестерни врубной машины

Очаг усталостного разрушения (микроскопическая усталостная трещина) чаще всего образуется на поверхностном слое и развиваясь по сечению детали приводит к ее разрушению.

Излом при усталостном разрушении имеет две зоны: зону постепенного разрушения с мелкозернистым строением и зону одновременного разрушения с волокнистым или крупнокристаллическим строением. На рис. 7 представлены схемы усталостных изломов: а — номинальное напряжение при одностороннем изгибе; б — высокое номинальное напряжение при двустороннем изгибе.

Величины площадей зон постепенного и одновременного усталостного разрушения зависят от степени циклической перегрузки (при значительной перегрузке зона постепенного разрушения меньше зоны одновременного разрушения).

На повышение усталостной прочности деталей, работающих



под действием циклических напряжений, решающее значение оказывает улучшение качества поверхностного слоя.

Основными факторами, влияющими на качество поверхностного слоя, являются:

напряженное состояние поверхностного слоя — остаточные или внутренние напряжения, снижающие величины растягивающих напряжений, возникающих при работе детали;

механические свойства материала — твердость поверхностного слоя, которую повышают применением термической обработки, наклепом и др.;

концентраторы напряжения на поверхностном слое — шероховатость, риски, забоины, недостаточные радиусы галтелей и др.

Наличие концентраторов напряжений снижает усталостную прочность материала. Для снятия концентраторов напряжения применяют шлифование, полирование и другие отделочные операции.

Коэффициент концентрации напряжений  $k_{к.н}$  может быть определен по следующей формуле:

$$k_{к.н} = 1 + 2 \sqrt{\gamma \frac{H}{r}},$$

где  $H$  — высота микронеровностей;

$r$  — радиус кривизны на дне впадины;

$\gamma$  — коэффициент, учитывающий отношение шага неровностей к их высоте.

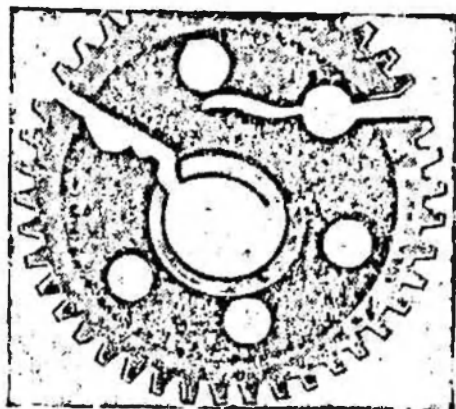


Рис. 6. Хрупкое разрушение зубчатого колеса угольного комбайна «Донбасс»

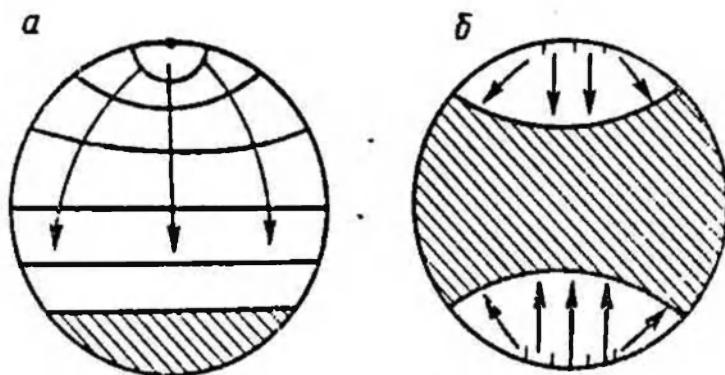


Рис. 7. Схема усталостных изломов. Заштрихованная часть — зона одновременного разрушения

Полученный по этой формуле  $k_{к.н}$  не учитывает остаточные напряжения, возникающие при обработке резанием поверхностного слоя.

Выносливостью называют способность материала противостоять повторно-переменным нагрузкам.

Предел выносливости материала служит характеристикой его механических свойств и для стали может быть приближенно определен по эмпирической формуле

$$\sigma_{-1} = 0,22S_k,$$

где  $\sigma_{-1}$  — предел выносливости при симметричном цикле нагружения, кг/мм<sup>2</sup>;

$S_k$  — истинное сопротивление разрушению, кг/мм<sup>2</sup>.

Наличие обезуглероженного слоя на поверхности детали сильно снижает усталостную прочность, что подтверждается следующими данными:

Состояние поверхности образца	Предел выносливости, %
Шлифованная поверхность с полным удалением обезуглероженного слоя	100,0
Обезуглероженная поверхность на глубину, мм:	
0,125	61,4
0,25	52,0

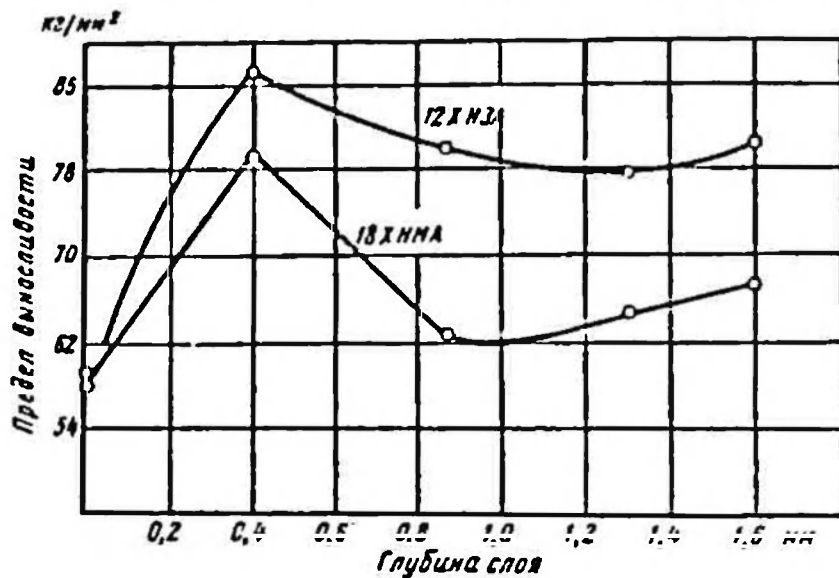


Рис. 8. Влияние глубины цементации на предел выносливости сталей 12ХНЗЛ и 18ХНМА

Для ликвидации отрицательного влияния обезуглероживания поверхностного слоя необходимо термическую обработку деталей производить в печах с нейтральной или восстановительной атмосферой, упрочнять обезуглероженный слой наклепом или снимать его механической обработкой.

Увеличение твердости поверхностного слоя повышает усталостную прочность, т. е. предел выносливости материала.

Повышение твердости поверхностного слоя достигается различными способами, например цементацией и последующей закалкой (для малоуглеродистых сталей марок 10, 15, 20 и для легированных марок 15Х, 20Х, 18ХНВА и др.).

Следует иметь в виду, что при увеличении толщины слоя цементации предел выносливости повышается только до определенного значения, а затем снижается; сопротивляемость детали ударным нагрузкам при этом также снижается.

Влияние глубины цементационного слоя на предел выносливости сталей 12ХНЗА и 18ХНМА показано на рис. 8.

Наиболее эффективным способом повышения твердости поверхностного слоя детали является поверхностная закалка токами высокой частоты (ТВЧ). Однако при закалке ТВЧ не всей, а только части поверхности на границе закаленного слоя возникают растягивающие усилия и создается концентрация напряжений.

Для устранения этого явления следует выводить слой закалки в малонагруженную часть детали или переходную зону поверхности подвергать наклепку.

При азотировании (насыщении поверхностного слоя стали азотом в атмосфере аммиака при температуре 500—700 °С) достигают повышения твердости поверхностного слоя (глубиной 0,1—0,2 мм), его износостойчивости и сопротивляемости коррозии.

Если необходимо достичь повышения усталостной прочности и коррозиестойкости, то азотируют детали из стали марок 10, 20, 40, 20Х и 40Х; для повышения же износостойкости азотируют детали из сталей, имеющих в компонентах алюминий, например 38ХМЮА.

Пластическое и хрупкое разрушения поверхностного слоя деталей имеют место по тем же причинам, что и разрушение самих деталей, но отличаются масштабами разрушения, а иногда и средствами борьбы с ними.

Усталостное разрушение поверхностного слоя в деталях горных машин встречается довольно часто, иногда это явление называют — усталостным выкрашиванием, питтингом, осповидным износом.

Усталостное разрушение поверхностного слоя (рис. 9) является следствием числа циклов нагружения и величины напряжения.

Под действием циклических контактных нагрузок процесс разрушения поверхностного слоя последовательно проходит следующие периоды: образование усталостных трещин, единичное выкрашивание и прогрессирующее выкрашивание.

Разрушение поверхностного слоя, вызванное разупрочнением

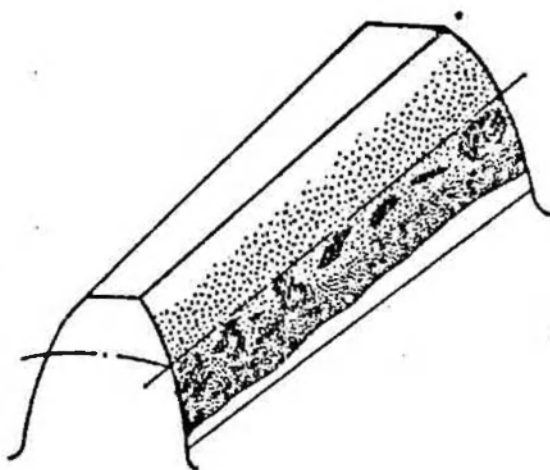


Рис. 9. Усталостное разрушение поверхностного слоя зуба конической шестерни угольного комбайна «Донбасс»

материала в результате перенаклепа, имеет место при работе детали в условиях динамического действия контактных нагрузок, под влиянием которых поверхностный слой сначала пластически деформируется (наклепывается), а затем после предельного насыщения материала энергией пластического деформирования — разупрочняется (происходит так называемое шелушение поверхностного слоя).

Явлению наклепа подвержены многие детали горных машин — ударники бурильных и отбойных молотков, зубья храповых механизмов, шлицевые соединения и т. д.

Перенаклеп может быть устранен применением так называемых энергоемких сталей, отличающихся высоким сопротивлением перенаклепу (например, сталь Г13); уменьшением удельной нагрузки за счет увеличения площади контакта, повышением твердости площадок контакта и другими мерами.

## § 7. МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Среди основных причин, вызывающих преждевременный выход деталей горных машин из строя, усталостное разрушение является наиболее распространенным.

Усталостное разрушение сначала поверхностного слоя, а затем и всей детали происходит вследствие работы ее в условиях циклических нагрузок и больших напряжений.

Для повышения сопротивления усталостному разрушению деталей, работающих под действием циклических нагрузок, применяют различные виды упрочняющей технологии.

Наиболее распространенными методами упрочнения поверхностного слоя являются механические методы.

Сущность упрочнения деталей механическими методами заключается в пластическом деформировании поверхностного слоя и создании в нем определенного сжимающего напряженного состояния.

Несущая способность деталей, работающих в условиях повторно-переменного нагружения может быть значительно повышена путем образования остаточных сжимающих напряжений при пластическом деформировании поверхностного слоя.

Так как величина предела усталости металла при работе на сжатие в два и более раза превышает предел усталости при работе на растяжение, то усталостные разрушения начинаются в той части поверхности детали, где действуют напряжения растяжения. Следовательно, для повышения усталостной прочности детали, работающей под действием циклических нагрузок, необходимо снизить величину напряжения, что и достигается созданием остаточных напряжений сжатия в поверхностном слое.

Остаточные напряжения сжатия алгебраически складываются с возникающими при работе детали напряжениями растяжения, в

результате уменьшается абсолютная величина напряжений, а следовательно, и повышается усталостная прочность детали.

Это положение подтверждается эпюрой распределения напряжений в наклепанных брусках (рис. 10). На участках  $C_3P$  и  $C'_3P'$  в результате наклепа возникают остаточные напряжения сжатия, которые частично (на участке  $T_3A$ ) уравновешиваются остаточными напряжениями растяжения.

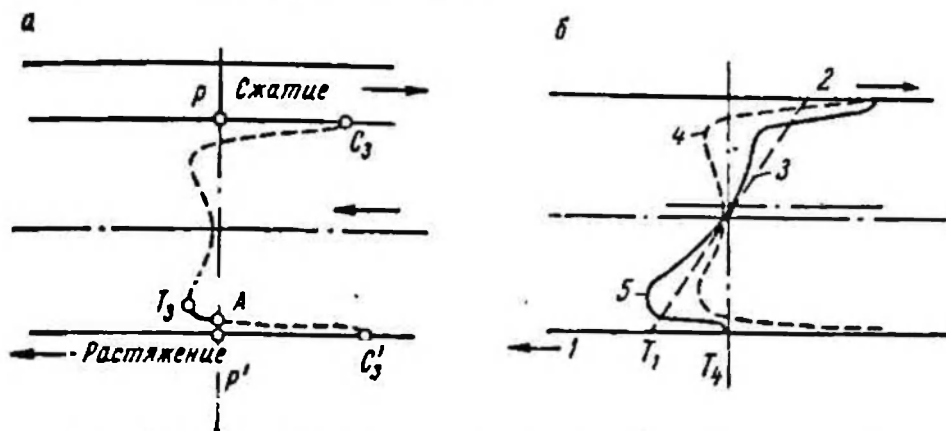


Рис. 10. Эпюра распределения напряжений в наклепанных брусках:

а — в ненагруженном состоянии, б — в нагруженном состоянии

Остаточные напряжения алгебраически складываются с напряжениями, возникающими при приложении нагрузки. При этом в растянутом слое 1 абсолютная величина напряжений уменьшится ( $T_1 - T_4$ ), а в сжатом 2 — увеличится. Эпюра 5 характеризует напряженное состояние бруска после сложения напряжений 3, вызванных нагрузкой и остаточных напряжений 4 наклепа.

Поверхностный наклеп, как средство увеличения выносливости деталей, работающих в условиях циклических нагрузок, успешно применяется при изготовлении ряда ответственных деталей горных машин (канатные барабаны и коленчатые валы угольных комбайнов, рессоры шахтных электровозов, пружины пульсаторов и др.).

Остаточные сжимающие напряжения в поверхностном деформируемом слое достигают  $40-70 \text{ кг/мм}^2$  и, в свою очередь, сопровождаются повышением твердости поверхностного слоя на глубину от десятых долей до десятков миллиметров в зависимости от способа поверхностного деформирования и степени деформации.

За степень деформации поверхностного слоя условно принимают отношение диаметра отпечатка  $d$  к диаметру шарика  $D$  (для структур металла твердостью до  $HV 300$  принимают  $D=5 \text{ мм}$ , а твердостью выше  $HV 300$  принимают  $D=10 \text{ мм}$ ). Отношение  $\frac{d}{D}$

определяет величину степени деформации.

Величину относительного прироста твердости поверхностного слоя в зависимости от степени деформации определяет отношение максимальной твердости поверхностно-деформированного слоя  $H_1$



к твердости недеформированного поверхностного слоя этой же детали  $H$ .

Отношение  $\frac{H_1}{H_2}$  определяет величину относительного прироста твердости (или так называемую степень наклепа).

Следует иметь в виду, что относительное повышение твердости углеродистых сталей в зависимости от степени пластического деформирования значительно выше, чем для соответствующих структур легированных сталей.

Основными методами механического упрочнения поверхности деталей являются: наклеп, осуществляемый потоком чугуновой или стальной дроби; обкатывание роликами или шариками, т. е. наклеп вдавливанием в обрабатываемую поверхность катящегося по ней ролика или шарика; чеканка специальными бойками и упрочнение вибрирующим роликом; наклеп специальными ротационными упрочнителями, осуществляемый путем ударного воздействия на упрочняемую поверхность; гидроабразивный наклеп, осуществляемый одновременно с гидрополированием поверхности.

Достигнутый в последние годы уровень развития методов механического упрочнения поверхностных слоев позволяет сделать процессы упрочнения управляемыми и включить их в технологические карты обработки деталей.

В горном машиностроении упрочняющая технология находит широкое применение. Ниже рассмотрены наиболее распространенные методы упрочнения поверхностного слоя деталей, работающих при циклических нагрузках.

### Наклеп поверхностного слоя деталей дробью

Обработка поверхностного слоя деталей дробью производится в специальных установках. По принципу действия различают установки гравитационные, пневматические и механические роторного типа (дробеметы).

Гравитационные установки (со свободным падением дроби с определенной высоты) применяются только для прецизионных деталей, требующих небольшой глубины наклепа (так как энергия удара дроби при свободном падении незначительна) или для небольших, сложной формы деталей (пружины из проволоки малого диаметра и т. п.).

Пневматические установки обеспечивают более высокую энергию удара за счет увлечения дроби потоком сжатого воздуха, дают концентрированный поток дроби и просты в изготовлении. Однако недостаточная стабильность процесса в связи с колебаниями давления сжатого воздуха и быстрый износ направляющих сопел ограничивают применение этих установок.

Механические установки роторного типа (дробеметы) получили наиболее широкое распространение. Принцип действия этих установок заключается в следующем: дробь подается на вращающийся с большой скоростью ротор, лопасти которого захватывают ее,

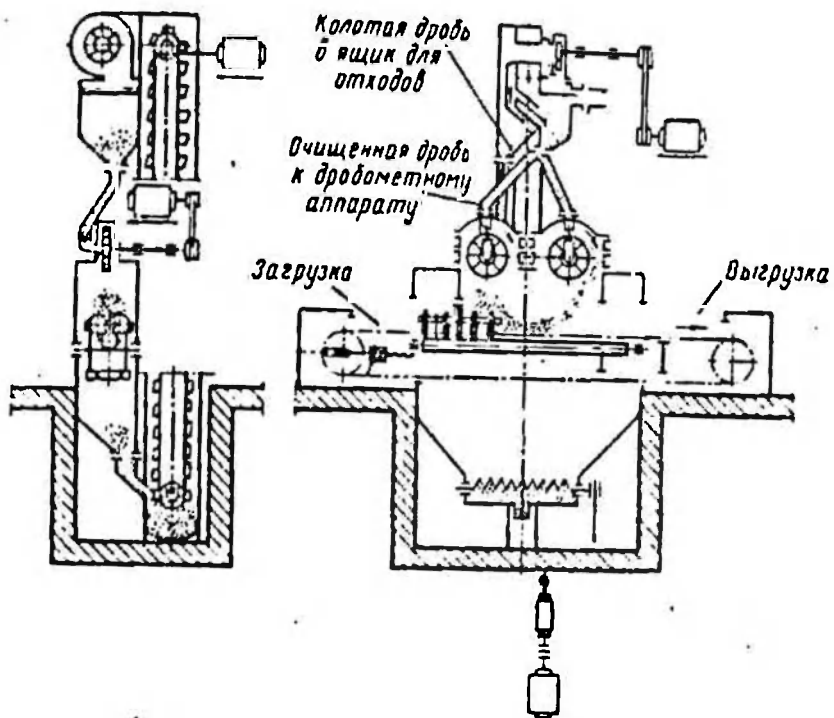


Рис. 11. Схема установки для наклепа дробью цилиндрических зубчатых колес

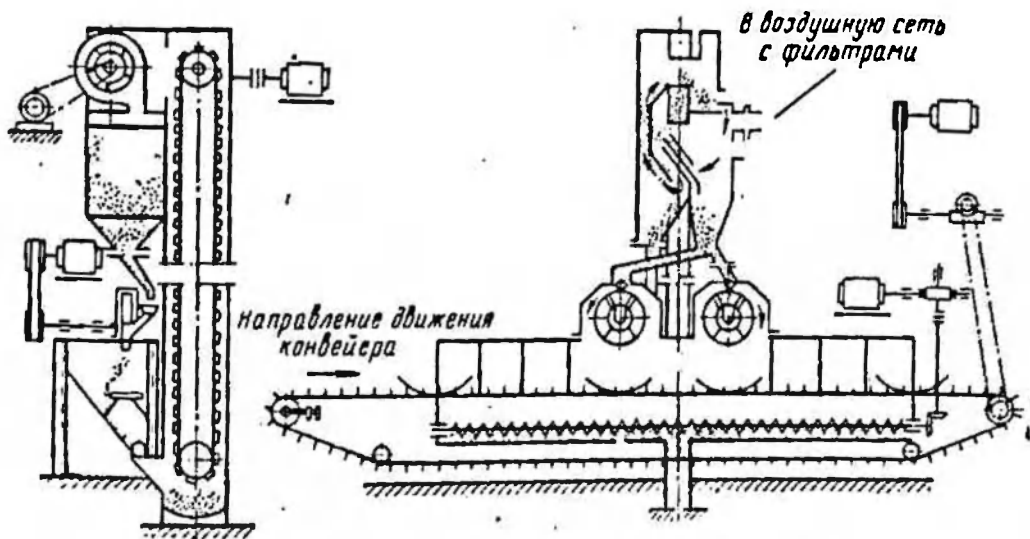


Рис. 12. Схема установки для наклепа дробью листов рессор

сообщают ей энергию и выбрасывают на обрабатываемые поверхности деталей. В дробеметных установках применяется чугунная и стальная дробь. Стальную дробь получают насечкой из проволоки на специальных автоматах (дробь представляет собой цилиндры, высота которых равна диаметру). Стойкость стальной дроби в десятки раз выше стойкости чугунной, которая раскалывается при многократном использовании.

В механических установках роторного типа (рис. 11, 12 и 13) поток дроби имеет высокую скорость (70—90 м/сек), число оборотов ротора варьируется, а процессы подачи дроби и очистки ее автоматизированы.

Основными технологическими параметрами процесса наклепа поверхностного слоя дробью являются: скорость полета и диаметр дроби, удельный расход и угол падения ее (угол атаки), продолжительность обработки.

Практикой установлены следующие закономерности процесса обработки дробью:

интенсивность наклепа возрастает с увеличением скорости полета дроби (скорость полета дроби и ее диаметр определяются размерами и твердостью металла детали);

с увеличением угла падения дроби (угла атаки) степень наклепа возрастает и достигает максимальной эффективности при угле 75—90°;

с увеличением времени обработки степень наклепа в течение первых минут возрастает, а затем почти не изменяется.

Чрезмерно длительная и интенсивная обработка дробью приводит к разрушению поверхностного слоя, к появлению так называемого шелушения вследствие перенаклепа.

Примерные технологические режимы обработки деталей дробью приведены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы дробеметной обработки деталей	Детали			
	мелкие пружины	рессоры	цилиндрические шестерни	штампы
Число оборотов ротора в минуту . . .	1900	2400	2400	2900
Скорость конвейера, м/мин . . . . .	4,2	6,2—12,9	1—2	—
Подача дроби в ротор, кг/мин . . . . .	100	130	130	—
Диаметр дроби, мм . . . . .	0,4—0,6	0,4—1,2	0,4—1,2	0,7—1,2
Продолжительность обработки, мин . . .		До 3		Не менее 3

Для повышения усталостной прочности деталей, работающих при одностороннем цикле изгиба (рессоры, пружины), их наклеп производят в напряженном состоянии. Сущность наклепа в напряженном состоянии и его отличие от наклепа в свободном состоянии состоит в том, что детали предварительно упруго деформируют в направлении, совпадающем с направлением рабочих деформаций, и в таком напряженном состоянии подвергают наклепу.

Повышение усталостной прочности деталей в результате наклепа дробью объясняется не только созданием в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия, но и повышением твердости его (что увеличивает предел текучести и сопротивление разрушению), а также уменьшением влияния концентраторов напряжений за счет увеличения радиусов закруглений, сглаживания неровностей поверхности, царапин, рисок с малым радиусом закругления при обработке дробью ряда деталей.

В табл. 2 приведены данные повышения выносливости различных деталей в зависимости от упрочнения поверхностного слоя наклепом дробью.

Таблица 2

Детали	Вид обработки детали	Выносливость, тысяч циклов нарушения	
		без упрочнения	наклепанных дробью
Рессоры	Закалка	100—150	250—280
Шестерни	Закалка зубьев ТВЧ при сырой впадине зуба	170	3000—5000
Полуоси	Закалка	235	1000—1350
Пружины спиральные	То же	—	в 2,9 раза

Высокая эффективность обработки дробью зубьев шестерен объясняется тем, что во впадине зуба место переходной зоны от закаленного к незакаленному участку является очагом концентрации напряжений, которые снимаются обработкой дробью.

Контроль степени наклепа поверхностного слоя осуществляют разнообразными способами. Наиболее распространенным является способ использования контрольных образцов. Контрольный образец в виде пластинки определенных размеров, изготовленный из стали У9, термически обра-

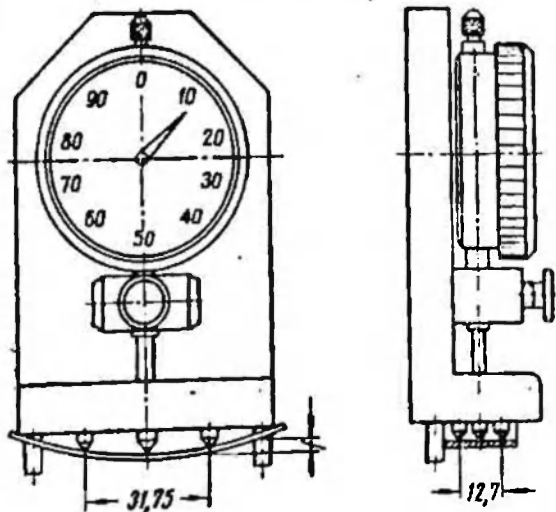


Рис. 14. Приспособление для измерения стрелы прогиба образцов

ботанный до твердости *HRC* 45—50 подвергают обработке дробью. При наклепе (под влиянием сжимающих напряжений) образец получает продольный и поперечный изгиб. По суммарной величине изгиба, измеряемой специальным прибором, и определяют степень наклепа. На рис. 14 показано приспособление для измерения стрелы прогиба образца.

Пользуются двумя типами контрольных образцов, размеры которых приведены в табл. 3.

Таблица 3

Тип образца	Размер образца, мм			Допуск на отклонение от плоскости, мм
	длина	ширина	толщина	
I (если стрела прогиба не превышает 0,4 мм) . . . . .	76,2±0,38	19,05±0,127	1,29±0,025	±0,025
II (если стрела прогиба свыше 0,4 мм) . . . . .	76,2±0,38	19,05±0,127	2,38±0,025	±0,035

Глубину наклепанного слоя можно определить и путем его снятия механической обработкой (шлифованием). По мере снятия наклепанного слоя стрела прогиба будет уменьшаться. Если при снятии наклепанного слоя на глубину 0,38 мм образец выпрямится, то глубина наклепа — 0,38 мм.

Существует более сложный аналитический способ определения глубины наклепа без снятия наклепанного слоя.

К недостаткам способа наклепа дробью следует отнести: снижение чистоты поверхности детали после обработки ее дробью и недоступность для упрочнения этим способом поверхности внутренних отверстий деталей. Главным недостатком этого процесса следует считать его малоуправляемость.

### Обкатывание поверхностного слоя деталей роликами

Одним из широко распространенных в горном машиностроении и высокоэффективных методов упрочнения поверхностных слоев деталей является обкатывание их роликами.

Под влиянием вдавливания в обрабатываемую поверхность катящегося по ней твердого ролика образуется деформированный слой (наклеп), т. е. создаются остаточные напряжения сжатия, повышается чистота поверхности, снижается влияние концентраторов напряжения (за счет сглаживания неровностей микропрофиля) и в результате обеспечивается весьма эффективное повышение предела выносливости материала.

Обкатывание роликом осуществляется с помощью различных приспособлений к токарным, револьверным и карусельным станкам (для деталей, имеющих форму вращения) и к строгальным (для деталей, имеющих плоские поверхности). Давление роликов



осуществляется механическим (тарированным и пружинным) или гидравлическим (для обкатывания крупных деталей при необходимости создать глубокий наклеп) способами. Станкостроительной промышленностью для обкатывания как наружных, так и внутренних поверхностей выпускаются специальные станки (модель 1835).

Основными технологическими параметрами процесса обкатывания роликами являются: давление на ролик, подача, число оборотов детали, количество проходов и геометрия роликов.

Типовые схемы обкатывания роликами показаны на рис. 15 и 16.

В зависимости от механических свойств металла, размеров и необходимой глубины наклепа обрабатываемой детали, давление на ролик может колебаться в широких пределах от десятков килограмм до нескольких (5—7) тонн. С увеличением давления ролика глубина наклепанного слоя возрастает. Зависимость между давлением ролика  $P$  и глубиной наклепанного слоя  $t$  ориентировочно может быть определена по формуле

$$P = 2\sigma_t t^2, \text{ кг},$$

где  $\sigma_t$  — предел текучести металла.

С увеличением числа проходов при обкатывании роликом эффективность наклепа, а также чистота поверхности повышаются незначительно (наиболее эффективное действие оказывают первые два прохода). Изменение предела выносливости стали 40 в зависимости от давления на ролик при обкатывании показано на рис. 17 (участок кривой  $a$ — $b$  в два прохода, участок  $b$ — $v$  в шесть проходов).

Давление ролика при его диаметре до 100 мм и ширине цилиндрического пояса 3 мм принимают в зависимости от обрабатываемого материала в пределах 50—200 кг.

Следует иметь в виду, что при завышенных давлениях ролика и большом количестве проходов может возникнуть явление перенаклепа (шелушение) поверхностного слоя.

Наиболее целесообразно величину подачи выбирать, равной примерно  $\frac{2}{3}$  ширины поверхности контакта ролика и обрабатываемой детали.

Максимальная эффективность упрочнения достигается, если глубина наклепанного слоя равна 15% радиуса накатываемой поверхности, а повышение твердости достигнуто на 30—45% по сравнению с исходной.

Степень повышения чистоты обкатанной роликом поверхности оценивается коэффициентом улучшения чистоты  $I_k$ , т. е. отношением  $H_{ср}$  обработанной поверхности к  $H_{ср}$  исходной поверхности

$$I_k = \frac{H_{ср. обр}}{H_{ср. исх}}$$

где  $H_{ср. обр}$  и  $H_{ср. исх}$  — высоты микронеровностей соответственно детали и заготовки.

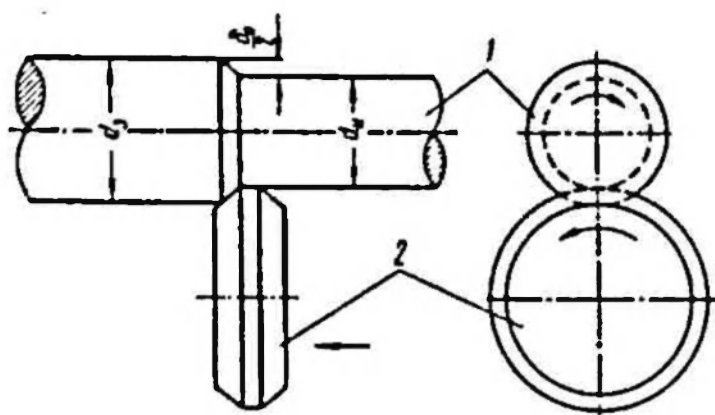


Рис. 15. Схема процесса обкатывания:  
 1 — деталь. 2 — свободно вращающийся ролик.  $d_1$  — размер до обкатывания,  $d_2$  — размер после обкатывания,  $\delta_s$  — остаточная деформация

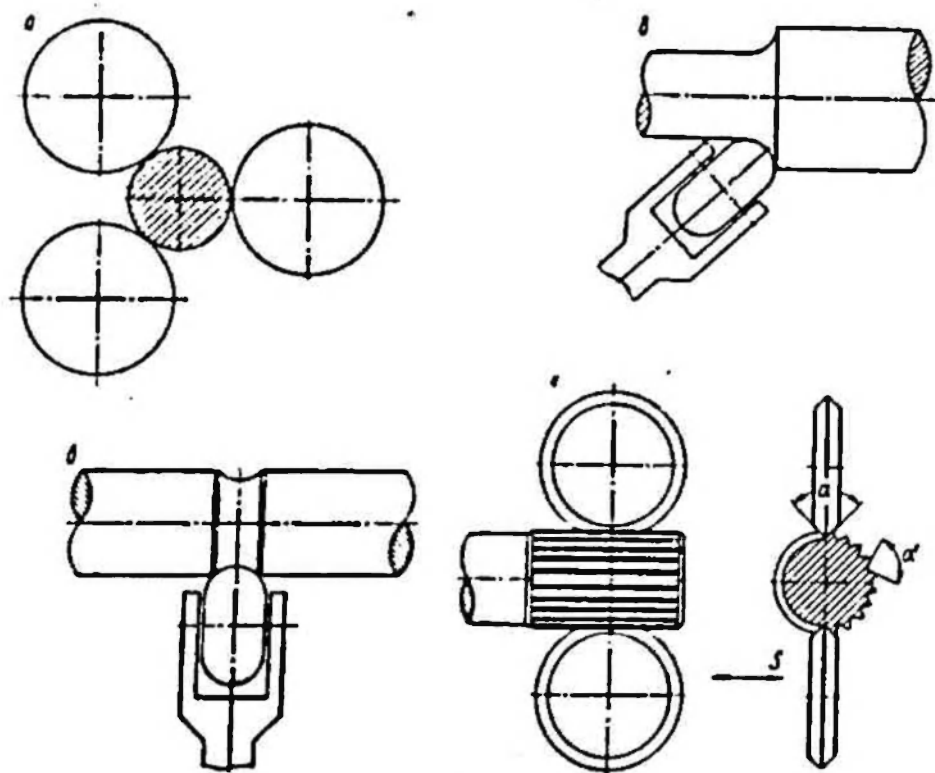


Рис. 16. Типовые схемы обкатывания:  
 а — многороликовое цилиндрических поверхностей, б — канавки, в — галтели, г — дни шлицев

Зависимость коэффициента  $\mu_k$  от давления ролика для различных сталей приведена в табл. 4.

Ролики должны обладать высокой твердостью и износостойкостью и поэтому их изготавливают из легированных сталей (ХВГ, 5ХНМ и ЭХ-12) или из углеродистых инструментальных сталей (У10А и У12А) с закалкой до твердости HRC 58—65. Наиболее распространенные формы рабочего профиля роликов показаны на рис. 18. Наличие цилиндрического пояска снижает контактные напряжения и способствует получению поверхности с повышенной чистотой по сравнению с исходной. Ролики с цилиндрическим пояском и с открытым радиусом применяют для обкатывания поверхностей со свободным выходом по длине. Ролики с закрытым радиусом применяют для обкатывания галтелей и канавок. Ролики комбинированные применяют для обкатывания переходных радиусов и торцовых поверхностей [на участке *a* (рис. 18, *z*) следует иметь поднутрение с углом 5°]. Для обкатывания канавок применяют специальные ролики. Диаметр роликов и их ширина выбираются по конструктивным соображениям, а радиусы закругления от 4 до 50 мм. Конструкции роликов показаны на рис. 19.

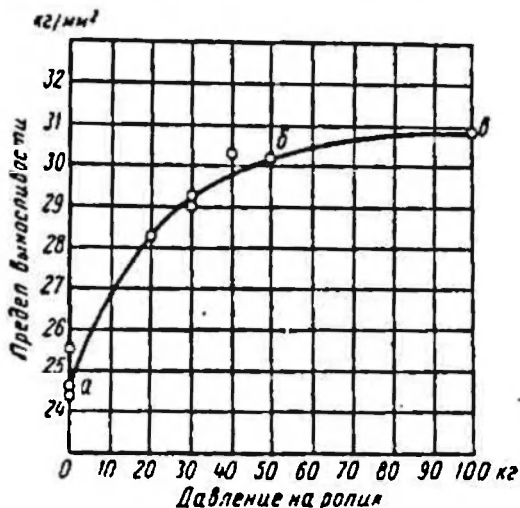


Рис. 17. Изменение предела выносливости стали 40 в зависимости от давления на ролик

Таблица 4

Сталь с пределом прочности $\sigma_{ср}$ , кг/мм <sup>2</sup>	Значение коэффициента $\mu_k$ при различных давлениях ролика, кг			
	20	50	100	150—220
85	0,40	0,30	0,12	0,12
75	0,40	0,20	0,08	0,06
45	0,12	0,10	0,08	0,06

Приспособления для обкатывания деталей изготавливают одно- и многороликовыми и крепят их к суппорту станка. Однороликовые приспособления (обкатки) применяют для получения упроченного слоя небольшой глубины при сравнительно небольших давлениях ролика (так как эти обкатки создают в обрабатываемой детали изгибающий момент и передают поперечные усилия на станок). В многороликовых обкатках усилия вдавливания роликов уравновешиваются в одной плоскости (станок разгружен

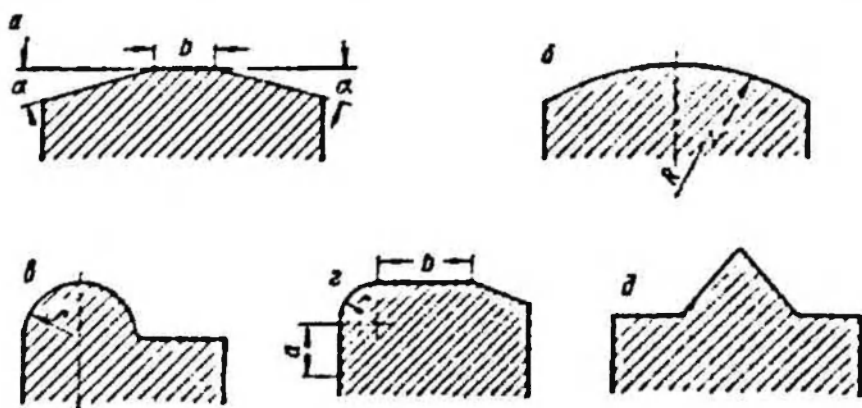


Рис. 18. Формы рабочего профиля ролика:

а — с цилиндрическим пояском  $d$  и равными углами в плане  $\alpha$ ,  
 б — с открытым радиусом профиля  $R$ , в — с закрытым радиусом  
 профиля  $r$ , г — с комбинированным профилем (участок  $r$  — для  
 обработки галтели, участок  $a$  — для торцевой поверхности, уча-  
 сток  $b$  — для цилиндрической поверхности), д — специальный ка-  
 навочный

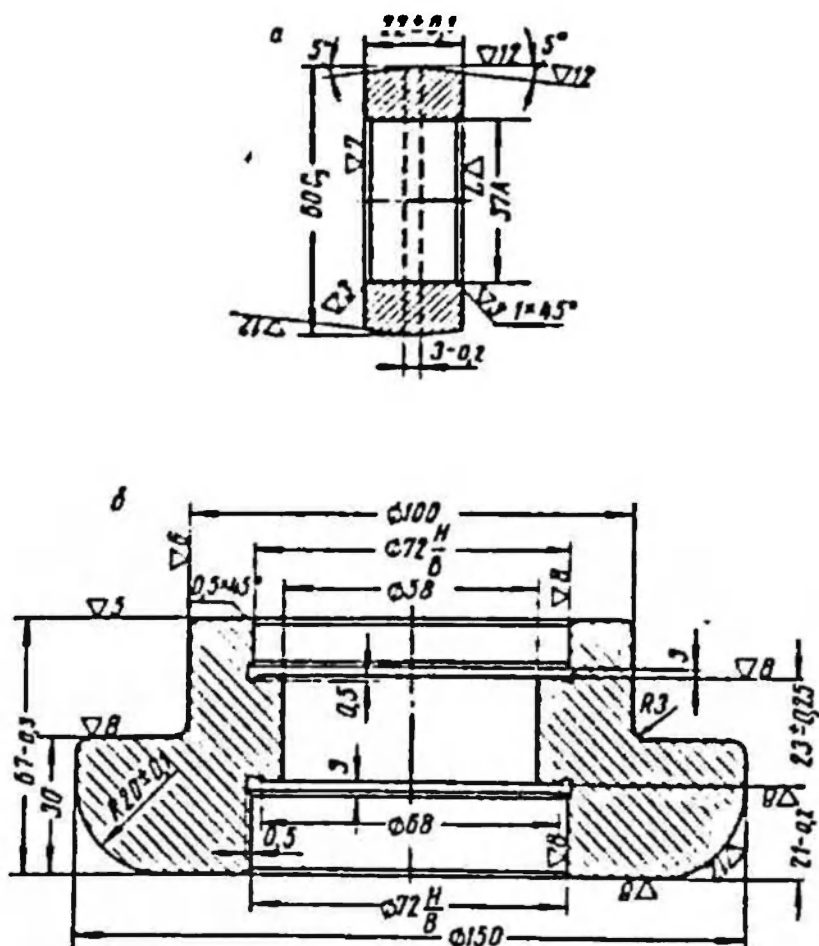


Рис. 19. Конструкции однороликовых обкаток для шеек:

а — со свободным выходом ролика, б — осей колесных пар

от поперечных усилий). Схемы многороликовых обкаток показаны на рис. 20.

Для обкатывания внутренних цилиндрических поверхностей применяются рычажно-роликовые приспособления (так называемые раскатки) или распорные шариковые оправки. Среди большого количества конструкций раскаток наиболее производительными и распространенными являются двухшариковые (применяются для чистовой обработки отверстий диаметром от 50 до 300 мм

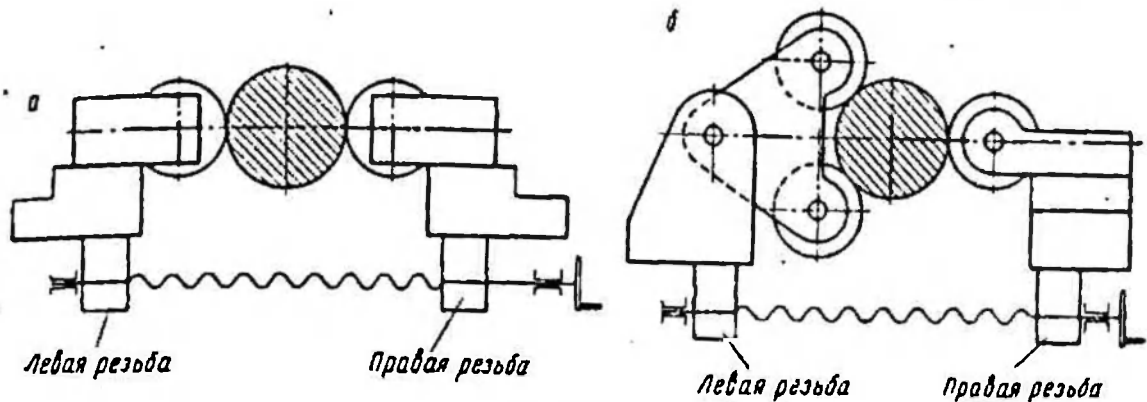


Рис. 20. Схемы многороликовых обкаток:  
а — двухроликовой, б — трехроликовой

в тонкостенных заготовках из стали, чугуна и цветных металлов) и двенадцатишариковые (применяются преимущественно для обработки отверстий диаметром 75 мм и более в стальных трубах длиной до 1 м) раскатки упругого действия.

При обкатывании внутренних поверхностей вращательное движение совершает заготовка, а раскатка движется поступательно в направлении подачи. Охлаждающе-смазывающая жидкость подается по отверстию в державке или по наружным каналам.

Величину натяга и припуск на калибрование под размер определяют в зависимости от состояния исходной поверхности, точности предварительной обработки и свойств обрабатываемого материала.

Для обкатывания — чистовой обработки труб гидроцилиндров (диаметром до 120 мм) — применяют роликовые раскатки. Отличие роликовой раскатки от шариковой заключается в ее работе по принципу самозатягивания (без принудительной подачи), что обеспечивается расположением роликов под углом  $0^{\circ}43'$  к ее оси.

Величина угла конусной поверхности втулки корпуса рекомендуется в пределах  $2^{\circ}52'$ , а угла конусной поверхности роликов  $10^{\circ}26'$  при угле разворота оси ролика  $43^{\circ}$ .

Обкатывание внутренних поверхностей применяется после чистового растачивания головкой с плавающей пластинкой, армированной твердым сплавом, и заменяет операцию хонингования; при этом чистота поверхности улучшается до 9-го класса, точность достигает 2—3-го классов, а производительность в три раза выше,



чем хонингования. В горном машиностроении этот принцип обработки нашел широкое применение при изготовлении гидравлических цилиндров механизированных передвижных крепей.

Характерным примером высокоэффективного применения роликовых обкаток с целью повышения долговечности деталей горных машин может служить обкатывание хвостовиков канатных барабанов и коленчатых валов комбайнов и врубовых машин.

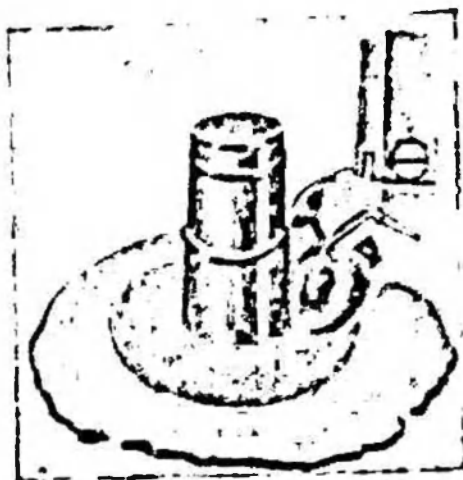


Рис. 21. Упрочнение обкатыванием роликом хвостовиков канатных барабанов угольных комбайнов «Донбасс»



Рис. 22. Упрочнение обкатыванием роликом коленчатых валов угольных комбайнов и врубовых машин

Однорولیковое приспособление для обкатывания хвостовиков канатных барабанов (рис. 21) укрепляется в суппорте карусельного станка и подводится к галтели до тех пор, пока за счет сжатия пружинной части обкатки (предварительно протарированной) давление ролика не достигнет 800—850 кг.

Продолжительность обкатывания при скорости вращения барабана в пределах 13—15 м/мин составляет всего 20 сек.

Контурный радиус ролика принят равным радиусу галтели, а чистота поверхности его равна 10 классу.

Срок службы хвостовиков канатных барабанов при введении в технологический процесс их изготовления в качестве последней отделочной операции — обкатывание роликом повысился в 2—3 раза.

Упрочнение галтелей коленчатых валов (рис. 22) производится однорولیковым приспособлением, закрепленным в суппорте токарного станка при давлении ролика 400—450 кг. Продолжительность обкатывания при скорости вращения вала 13—15 м/мин составляет всего 12—15 сек.

Введение обкатывания галтелей в технологический процесс изготовления коленчатых валов в качестве последней отделочной операции исключило имевшиеся ранее разрушения коленчатых валов.

Примером упрочнения поверхностного слоя отверстий может служить обкатывание роликом или распорно-шариковой оправкой посадочных мест в корпусах угольных и проходческих комбайнов. При этом применяются следующие технологические параметры: натяг 0,25 мм, подача 0,4 мм, число оборотов в минуту 32. При упрочнении посадочных мест твердость поверхностного слоя увеличивается на 15%.

Раскатыванием упрочняют внутреннюю поверхность пневмоцилиндров к двигателям РД-5, гидравлические цилиндры для механизированных крепей ОМКТ, К-87 и др.

Для упрочнения поверхностного слоя отверстий небольшого диаметра и повышения чистоты поверхности применяют вальцование шариками, пуансонами и прошивками.

При продавливании шариками величина остаточных деформаций  $\Delta$  может быть приближенно определена с помощью уравнения

$$\Delta = m(d_x - d_0) - b, \text{ мм},$$

где  $d_x$  — диаметр шарика;

$d_0$  — диаметр отверстия в заготовке;

$m$  и  $b$  — опытные коэффициенты<sup>1</sup>, значения которых принимают для стали  $m=0,85 \div 0,9$ ;  $b=0,001 \div 0,0015$ ; для чугуна  $m=0,55 \div 0,6$ ;  $b=0,0005 \div 0,001$ ; для бронзы  $m=0,85$ ;  $b=0,0008$ .

При продавливании шариками без специальной предварительной обработки поверхности отверстия припуск обычно принимают до 0,02 мм на диаметр.

При продавливании пуансоном припуск увеличивают до 0,1—0,2 мм на диаметр; обычно поверхность пуансона и отверстия предварительно обезжиривают и омедняют (для понижения коэффициента трения).

Шарики, пуансоны и прошивки изготовляют из сталей марок Х, ХГ, ШХ-15 и 9ХС твердостью HRC 62—64.

Оптимальные режимы обработки обкатыванием (по Ю. Г. Шнейдеру) приведены в табл. 5.

Контроль операции обкатывания роликом осуществляют различными способами. Наиболее распространенным является метод определения глубины наклепанного слоя путем измерения разных значений твердости поверхностного слоя до и после обработки (по Виккерсу или измерением микротвердости прибором ПМТ-3).

Остаточные напряжения сжатия определяют по методу Н. Н. Давиденко путем разрезки обкатанных роликом колец, при этом они под действием остаточных напряжений сжатия в поверхностном слое сжимаются. Величина деформации кольца является показателем величины остаточных сжимающих напряжений.

<sup>1</sup> Справочник машиностроителя, Т. II и III. Машгиз, 1951.

Трасс, емий класс чистоты	Условия облетки	Обработываемый металл											
		сталь 20	сталь 45	сталь У10А	сталь 1Х189Г	чугун СЧ 15-32	латунь ЛС59	медь	алюминий Д1				
$\nabla 7$ $H_{ср} = 0,3 + 3,2$ МК	$H_{исх}$	4	—	5	—	5	—	—	—	—	—	—	—
	$P$	150	—	30	—	20	—	—	—	—	—	—	—
	$d_{из}$	30	—	8	—	11	—	—	—	—	—	—	—
	$S$	60 0,15	—	50 0,12	—	90 0,35	—	—	—	—	—	—	—
$\nabla 8$ $H_{ср} = 0,3 + 1,6$ МК	$H_{исх}$	5	6	6	5	6	6	—	6	6	—	5	6
	$P$	150	100	200	20	20	20	20	30	15	—	15	6
	$d_{из}$	30	10	20	8	11	8	8	8	8	—	8	6
	$S$	60 0,15	60 0,12	60 0,21	50 0,12	90 0,35	30 0,12	—	30 0,12	—	—	—	50 0,12
$\nabla 9$ $H_{ср} = 1,6 + 1,8$ МК	$H_{исх}$	6	6	7	5	7	5	—	7	7	5	6	7
	$P$	200	100	200	50	200	50	200	20	20	15	20	6
	$d_{из}$	30	20	20	8	10	8	8	11	8	8	8	6
	$S$	60 0,09	60 0,06	60 0,012	50 0,12	90 0,28	30 0,12	—	50 0,12	—	50 0,12	—	50 0,20
$\nabla 10$ $H_{ср} = 0,8 + 0,5$ МК	$H_{исх}$	7	7	7	6	—	6	—	—	—	6	6	—
	$P$	250	300	300	30	300	30	300	30	30	20	20	—
	$d_{из}$	30	30	30	8	12	8	8	8	8	8	8	—
	$S$	60 0,06	60 0,06	60 0,06	50 0,06	50 0,06	50 0,06	—	50 0,06	—	50 0,12	—	50 0,12

нивая последовательную глубину наклепанного слоя и измеряя величину деформации кольца, можно определить эпюру остаточных сжимающих напряжений.

### Наклеп поверхностного слоя деталей ротационными упрочнителями

Принцип работы ротационных упрочнителей основан на использовании центробежной силы для получения кинетической энергии удара шариками по обрабатываемой поверхности.

Ротационные упрочнители делятся на две группы:

шариковые, в которых в качестве ударника применяются шарики, расположенные на периферии вращающегося диска в гнездах, позволяющих им иметь радиальные перемещения;

со специальными бойками, в которых в качестве ударника применяются ролики, шайбы или бойки другой формы, укрепленные на осях, расположенных на периферии диска или барабана.

Ротационные упрочнители применяют для наклепа как наружных, так и внутренних поверхностей деталей, а также плоских поверхностей.

Обработка ротационными шариковыми упрочнителями производится на обычном универсальном станочном оборудовании с применением для привода упрочнителей быстроходных двигателей (наиболее часто используют шлифовальные станки). При вращении диска упрочнителя шарики занимают в сепараторе крайнее периферийное положение и ударяют по детали.

Энергия удара будет тем больше, чем ближе подведен диск упрочнителя к поверхности детали. Схема процесса наклепывания поверхностей шариками показана на рис. 23, а шариковые упрочнители системы М. И. Кузьмина — на рис. 24.

Основными технологическими параметрами при обработке шариковыми упрочнителями являются: окружная скорость шариков; натяг и подача (натягом называют расстояние между диском упрочнителя и деталью после первого касания поверхности детали шариком); масса шариков.

Примерные режимы обработки ротационными шариковыми упрочнителями приведены в табл. 6.

Диаметр применяемых шариков находится в пределах 7—10 мм, а глубина наклепанного слоя — в пределах 0,7—1 мм. Шарики

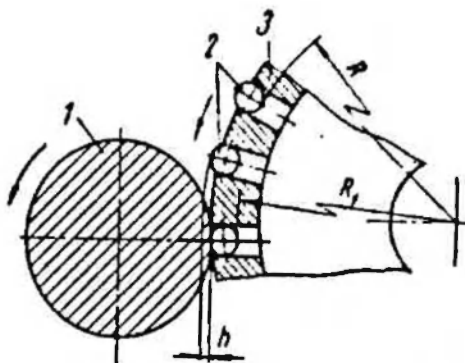


Рис. 23. Схема процесса наклепывания поверхности шариками:

1 — обрабатываемое изделие, 2 — шарики, 3 — диск (сепаратор)

Таблица 6

Обрабатываемый материал	Окружная скорость упрочнителя, м/сек	Подача, мм/об	Натяг, мм	Число проходов	Повышенно твердости повер-ности, %
Сталь . . . . .	15—40	0,04—0,16	0,1—0,25	2—3	17—55
Бронза . . . . .	8—15	0,02—0,2	0,1	—	25—35
Сталь . . . . .	15—20	0,08—0,1	0,1—0,2	2	30—60

рекомендуется смазывать через каждые 5—10 мин работы смесью веретенного масла (60%) и керосина (40%).

При обработке ротационным шариковым упрочнителем чистота поверхности наклепанного слоя повышается на 1—2 класса по

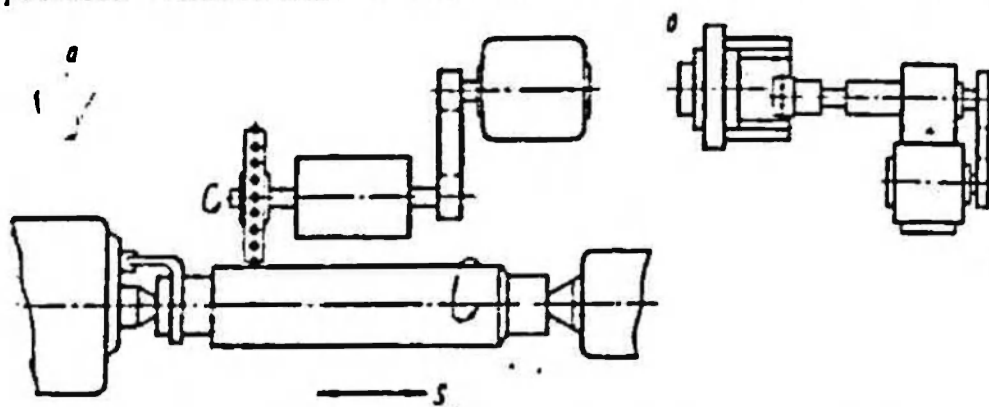


Рис. 24. Шариковые упрочнители системы М. И. Кузьмина для наклепывания поверхностей:  
а — вала, б — отверстия

сравнению с исходной, а изменение размеров находится в пределах допуска.

Преимуществами этого способа упрочнения являются высокая производительность процесса (ротационный шариковый упрочнитель наносит до 1 млн. ударов в минуту по поверхности изделия, а производительность достигает 500 см<sup>2</sup>/мин) и повышение чистоты обработанной поверхности (в ряде случаев исключаются шлифование и полирование).

К недостаткам ротационных шариковых упрочнителей относятся: быстрая потеря размеров гнезд под шарики; сложность и трудоемкость изготовления сепаратора; ограниченная глубина наклепа.

Эти недостатки отсутствуют в ротационных упрочнителях с ударниками (бойками) различной формы, укрепленными на осях, расположенных на периферии дисков. Преимущества ротационных упрочнителей с ударниками в виде роликов, шайб и других форм по сравнению с шариковыми заключаются в возможности резко повысить энергию удара, а следовательно, и увеличить глубину наклепанного слоя (за счет увеличения массы ударников) и в связи с этим уменьшить диаметр дисков (окружные скорости), а так-



же в простоте их изготовления. Типовой конструкцией ротационного упрочнителя с ударниками в виде роликов может служить конструкция института ВНИИПТУглемаш, показанная на рис. 25, а.

Для получения наклепанного слоя значительной глубины применяют ротационные упрочнители барабанного типа (рис. 25, б) с ударниками специальной формы, набранными по несколько штук

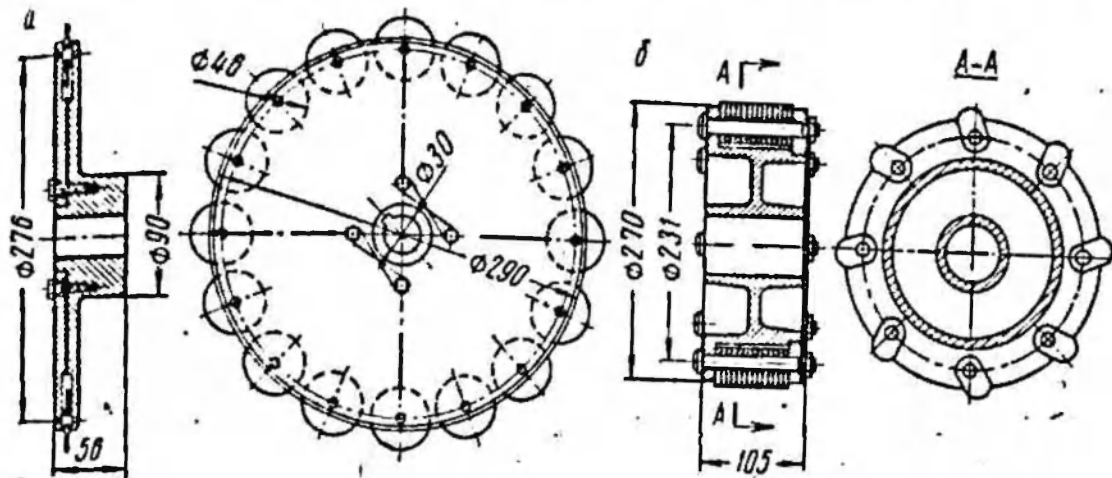


Рис. 25. Типовые конструкции ротационных упрочнителей:  
а — с ударниками в виде роликов, б — барабанного типа

на одну ось, позволяющие получить большую кинетическую энергию удара (за счет увеличения массы ударника).

Кинетическая энергия удара бойка об обрабатываемую поверхность детали может быть определена по известной формуле

$$A = \frac{mv^2}{2} \left[ 1 - \frac{(R-h)^2}{R^2} \right],$$

где  $m$  — масса бойка;

$v$  — окружная скорость бойка;

$R$  — радиус окружности, на которой располагаются крайние участки бойков при вращении диска упрочнителя;

$h$  — натяг.

В горном машиностроении наклеп поверхностного слоя деталей ротационными упрочнителями применяется для упрочнения рессор шахтных электровозов, пик отбойных молотков, галтелей, зубьев шестерен и др.

Применение ротационных упрочнителей барабанного типа для наклепа электровозных рессор по сравнению с упрочнением их методом наклепа дробью имеет крупные преимущества: увеличение энергии удара в десятки раз; уменьшение габаритов установки и потребных площадей (упрочнение производится на горизонтально-фрезерном станке) и увеличение срока службы рессор.

Примерный режим для наклепа оснований ножек зубьев шестерен роторным упрочнителем с ударниками в виде роликов следующий:

Число оборотов упрочнителя, об/мин . . . . .	1500
Подача шестерни, мм/мин . . . . .	65
Натяг, мм . . . . .	0,5
Число проходов . . . . .	2
Количество ударов на 1 мм <sup>2</sup> . . . . .	36

Толщина ударной части бойка 2,5 мм, радиус его закругления равен радиусу галтеля зуба (2,2 мм).

При наклепе впадин зубьев шестерен достигается высокая степень повышения усталостной прочности зубьев за счет возникновения в поверхностном слое впадин дополнительных остаточных напряжений сжатия и сглаживания неровностей поверхности впадин зубьев.

Следует особо подчеркнуть главное преимущество процесса наклепывания ротационными упрочнителями — его управляемость.

Все технологические параметры — окружная скорость диска упрочнителя и обрабатываемой детали, продольная подача и число проходов, масса бойков, а следовательно, и кинетическая энергия удара — могут быть заданы технологическим процессом упрочнения.

Управляя процессом наклепа, можно повысить усталостную прочность деталей, а следовательно, и их долговечность.

### Упрочнение поверхностного слоя деталей методом чеканки специальными бойками

Чеканка, как способ упрочнения, осуществляется специальными бойками со сферическим наконечником, наносящими на упрочняемую поверхность многочисленные удары.

Специальные конструкции пружинных ударников, работающих от кулачкового вала, применяют для упрочнения цилиндрических и плоских поверхностей деталей.

Чеканка может быть осуществлена при применении механических приводов на обычных металлорежущих станках. Иногда применяют специальные чеканочные станки, сконструированные для определенных деталей.

Для упрочнения галтелей с большим радиусом особо крупных валов вместо обкатывания роликами применяют чеканку, так как в этом случае упрочнение достигается значительно проще (при обкатывании роликом нужно создать высокие давления, что вызывает применение крайне громоздких приспособлений). Наклеп галтелей валов чеканкой осуществляется на крупнотокарном станке специальным ударным приспособлением, установленным на суппорте под определенным углом к оси вала, и заключается в нанесении на галтели медленно вращающегося вала частых ударов. Этот метод упрочнения весьма эффективен, так как позволяет получить значительную глубину наклепанного слоя с помощью сравнительно простых чеканочных приспособлений. Для чеканки галтельных зон применяют пневматический клепальный молоток

КЕ-32, который развивает энергию удара 5,8 кГм и обеспечивает 800 ударов в минуту, или бетонолом С-358, обеспечивающий энергию удара 8 кГм. Наклеп при чеканке повышает поверхностную твердость на 30—50%, а толщина наклепанного слоя достигает 18—20 мм.

По данным ЦНИИТМаш, упрочнение чеканкой ступенчатых валов (табл. 7) повышает предел выносливости по сравнению с неупрочненными валами более чем в 1,5 раза.

Таблица 7

Виды валов	Предел выносливости, кг/мм <sup>2</sup>				
	чугун	сталь 45	сталь 40Х	сталь 40ХН	
	при продольном шаге чеканки, мм				
	0.5	0.5	1.2	1.2	0.5
Гладкие . . . . .	16,5	19,5	34,5	30,5	—
Ступенчатые неупрочненные . . . . .	11,5	11,5	23,5	18,5	—
Ступенчатые с галтелями, упроченными:					
обкатываемые роликами . . . . .	17,5	14,5	—	—	—
одноканавочной чеканкой . . . . .	16,0	14,5	29,5	24,5	26,5
двухканавочной чеканкой . . . . .	17,5	17,5	33,5	29,5	31,5

Как показал опыт, чеканка позволяет полностью нейтрализовать концентрацию напряжений, возникающую в галтелях.

Еще более эффективным является поверхностный наклеп методом чеканки сварных соединений. Этот метод упрочнения повышает усталостную прочность сварных соединений более чем в два раза.

При необходимости упрочнения отдельных мест крупногабаритных деталей (основания зубьев крупномодульных шестерен шахтных подъемных машин и экскаваторов), сварных швов или труднодоступных мест, для которых другие методы упрочнения не применимы из-за громоздкости оборудования, применяют пневматические рубильные и клепальные молотки, оснащенные специальными бойками (типа зубило) с радиусом рабочей части 3—5 мм.

Для упрочнения зубьев шестерен применяют комбинированный метод упрочнения путем закалки рабочей части зуба ТВЧ и последующего поверхностного наклепа впадин между зубьями (рис. 26).

Такой метод упрочнения позволяет увеличить предел выносливости зубьев шестерен при изгибе на 40—50% по сравнению с неупрочненными зубьями.

Для упрочнения сопрягаемых поверхностей (вал с насаженной на него с натягом втулкой) и повышения сопротивляемости сдвигу сопрягаемых контактирующих поверхностей деталей (вал —

втулка, пластины в рамных конструкциях и др.) применяют метод чеканки с рифлением поверхности.

Сущность этого метода заключается в создании с помощью многочисленных ударов специальными бойками на упрочняющей поверхности рифления в виде бороздок высотой от 0,1 до 0,5 мм.

Усталостная прочность стальных деталей в местах напряженного контакта с другими сопрягаемыми деталями резко снижается (в отдельных случаях до 60%) под влиянием концентрации напряжений электроэрозийного разрушения поверхности, протекающего под действием термоэлектрического тока, а также механического истирания поверхности и коррозии. Степень влияния каждого фактора различна

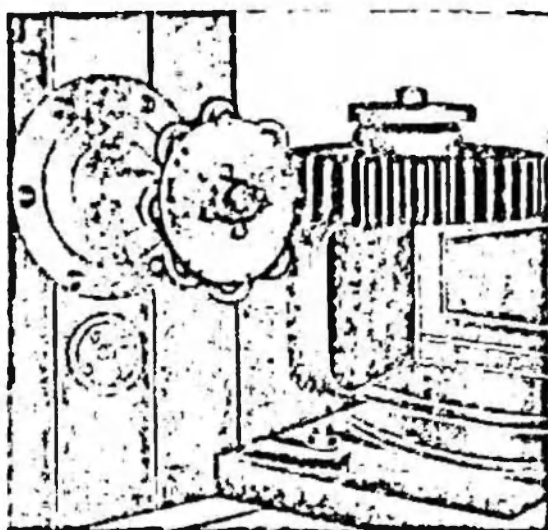
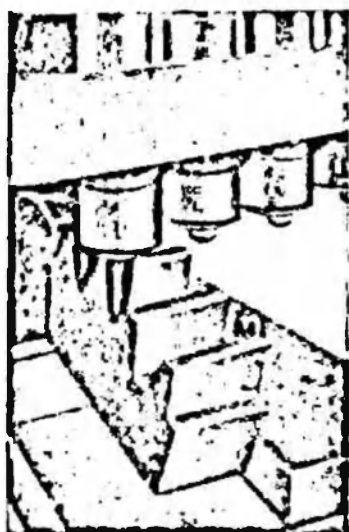


Рис. 26. Комбинированный метод упрочнения зубьев шестерен: а — закалка рабочей части зуба ТВЧ, б — последующий поверхностный наклеп ападки между зубьями чеканкой, в — тоже, ротационным упрочнителем

в зависимости от условий напряжения и материалов сопряженных деталей.

В результате чеканки с рифлением поверхности создаются остаточные сжимающие напряжения, которые снижают отрицательное влияние концентрации напряжений и контактной коррозии на усталостную прочность, а образование рифленой поверхности резко повышает сопротивляемость сдвигу.

Для наклепа чеканкой с рифлением применяются разнообразные чеканочные приспособления (пружинные и пневматические ударники, ротационные дисковые упрочнители).

В экспериментальных работах ЦНИИТМаш принят следующий

режим процесса наклепа с рифлением; число ударов бойка в минуту 750; продольная подача 300 мм/мин; радиус бойка 2 мм; энергия удара бойка 0,4 кгм.

Толщина полученного при этом наклепанного слоя равна 1,5—2 мм (считая от дна впадины), а твердость повышается со 135 до 210—225 единиц (по Виккерсу).

Чеканочное устройство с вибрирующим роликом (конструкции ЦНИИТ-Маш) применяется для упрочняющей обработки преимущественно крупных деталей (главные валы подъемных машин, валы порталного рудно-угольного перегружателя и др.), т. е. таких, упрочнение которых методом обкатывания роликом требует значительных давлений на ролик и, следовательно, громоздких многороликовых приспособлений.

Чеканочное устройство с вибрирующим роликом отличается простотой конструкции, легкостью установки на станок, небольшим весом и в то же время обладает способностью деформировать поверхность обрабатываемой детали на глубину до 20 мм. На рис. 27 показано чеканочное устройство для упрочнения вибрирующим роликом, сконструированное на базе клепального молотка КЕ-22. Такое устройство устанавливается в суппорте токарного станка; пружина его рассчитана на наибольшее усилие 1000 кг.

Режим обработки может изменяться в зависимости от давления на ролик, частоты ударов, профильного радиуса ролика и его диаметра (глубина упрочненного слоя увеличивается при уменьшении диаметра ролика и его профильного радиуса), энергии удара и других параметров.

При механической обработке детали (вала) под упрочнение вибрирующим роликом обычно оставляют припуск в пределах 1,5—2 мм, так как после упрочнения диаметр обрабатываемой детали уменьшается (диаметр заготовки 250 мм из стали 40Х после упрочнения уменьшился на 0,5—0,6 мм).

Наличие припуска позволяет удалить следы вмятин от ударов ролика путем механической обработки после упрочнения. Чистота поверхности обработанной заготовки перед упрочнением должна быть не ниже 5-го класса.

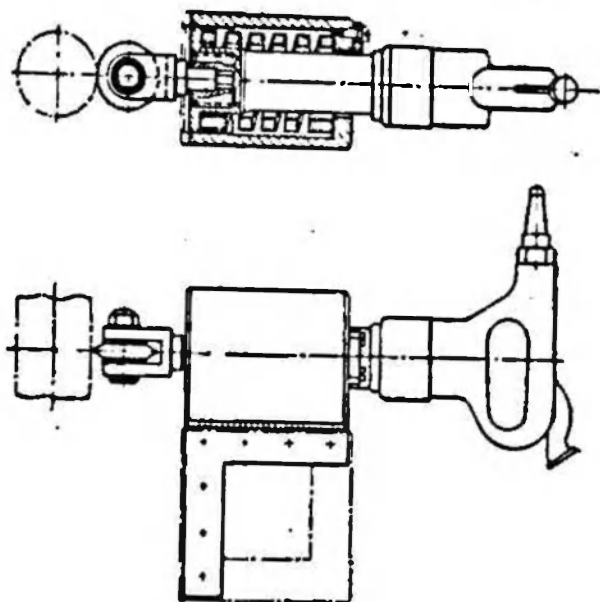


Рис. 27. Чеканочное пневматическое устройство для упрочнения поверхности вибрирующим роликом



Рекомендуемый режим упрочнения методом обкатки вибрирующим роликом (для валов из стали 40Х, диаметром 260 мм) следующий:

диаметр ролика, мм . . . . .	90
профильный радиус, мм . . . . .	7
статическое усилие, кг . . . . .	750
энергия удара, кГм . . . . .	3.4
подача, мм/об . . . . .	1,53
число оборотов в минуту . . . . .	5
число проходов . . . . .	1

Особо эффективным является поверхностное упрочнение для повышения усталостной прочности деталей, имеющих различные концентраторы напряжений в виде галтелей, отверстий, буртов, выточек и неподвижных посадок, которые являются очагами усталостных разрушений.

ЦНИИТМаш предложил способ упрочнения резьбовых соединений чекалкой вибрирующим роликом, путем пластической деформации в зоне впадин резьбы. Этот метод применяется для сравнительно крупных резьбовых соединений диаметром не менее 50 мм. При этом несущая способность резьбовых деталей, работающих при переменных нагрузках, повышается на 60—200%.

### Упрочнение поверхностного слоя детали гидроабразивным наклепом (гидрохонинг)

Гидроабразивный наклеп осуществляется одновременно с гидрополированием поверхности.

Сущность этого метода упрочнения состоит в том, что струя

жидкости, содержащая абразивы определенной зернистости, с большой скоростью направляется под давлением на обрабатываемую поверхность (рис. 28). Действие режущих кромок абразива на обрабатываемую поверхность непродолжительно и имеет импульсный (ударный) характер. В этом заключается основная особенность процесса.

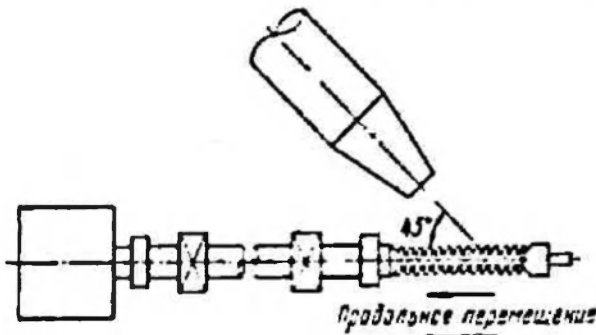


Рис. 28. Схема обработки пружины гидроабразивным методом

В результате такой обработки абразивной суспензией поверхность очищается от окислов, микронеровности сглаживаются, т. е. концентраторы напряжений снимаются (достигается чистота поверхности 9—10-го классов), поверхностный слой наклепывается на несколько сотых миллиметра, становится более твердым и прочным, чем нижележащие слои, и в нем возникают остаточные напряжения.

Режим абразивно-жидкостной обработки можно менять в широких пределах в зависимости от типа абразивов, их размеров, количественного соотношения абразива в суспензии, скорости и длины струи (т. е. расстояния между соплом и обрабатываемой поверхностью), угла встречи струи с обрабатываемой поверхностью (так называемый угол атаки) и насадка распыляющей головки.

Упрочнение гидроабразивным наклепом применяется для больших пружин (диаметр проволоки до 3 мм) и других мелких деталей сложной конфигурации и недоступных для упрочнения другими способами. Качество обрабатываемой поверхности зависит от величины абразивных частиц и скорости струи.

## **§ 8. ОБ ОТРАСЛЕВОМ ПЛАНЕ РАБОТ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГОРНОШАХТНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**

Было бы ошибкой считать, что вопросы создания горношахтных машин и оборудования, способных работать на протяжении установленного срока без ремонта или при минимальных затратах на ремонт, могут быть решены самостоятельно заводами-изготовителями или проектно-конструкторскими организациями.

Для решения этих вопросов нужна целеустремленная, совместная работа по единому согласованному плану ведущих в угольной промышленности и в угольном машиностроении научно-исследовательских, проектно-конструкторских и проектно-технологических институтов и основных заводов изготовителей горношахтных машин и оборудования с привлечением в отдельных случаях и аналогичных организаций смежных отраслей промышленности.

Такой отраслевой план работ по повышению надежности и долговечности горных машин и горношахтного оборудования, разработанный совместно с заводами и институтами Государственным комитетом тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения при Госплане СССР, содержит следующие разделы:

разработка типовой методики расчета по группам машин (комбайнов, механизированных крепей, скребковых конвейеров и др.);

установление фактической надежности и долговечности по определенному перечню основных горношахтных машин;

разработка и внедрение конструкторских и технологических мероприятий на основные горношахтные машины по повышению надежности и долговечности элементов этих машин;

научно-исследовательские и экспериментальные работы по повышению надежности аппаратуры и средств горной автоматизации;

разработка приборов для регистрации параметров надежности и долговечности;

мероприятия по организации технических служб надежности

и долговечности (лабораторий надежности и долговечности в основных институтах и на заводах угольного машиностроения, наблюдательных пунктов на шахтах и рудоремонтных заводах);

расчетно-методические работы по надежности и долговечности (разработка методик ускоренного испытания горных машин на надежность и долговечность; разработка типовой методики для групп машин по определению параметров надежности и долговечности в эксплуатации; разработка методических основ определения показателей надежности и долговечности при проектировании новых машин; разработка методики и необходимых данных для расчета горных машин, их узлов и элементов на надежность и долговечность и др.).

Отраслевой план содержит согласованную тематику и объемы работ по повышению надежности и долговечности, выполняемые свыше 40 научно-исследовательскими, проектно-конструкторскими и технологическими институтами и свыше 30 машиностроительными заводами, при этом участвуют свыше 20 институтов и около 10 машиностроительных заводов, обслуживающих другие отрасли промышленности.

План работ по повышению надежности и долговечности охватывает основные группы угольных машин (комбайны выемочные, врубовые машины, механизированные крепи, стойки гидравлические, конвейеры скребковые и ленточные, вагонетки и электровозы шахтные, буро-сбросные машины и оборудование для гидродобычи, насосы шахтные центробежные и, наконец, аппаратура и средства горной автоматики) и предусматривает повышение надежности и долговечности от 30 до 150—200%, а по некоторым группам оборудования значительно выше. Так, например, срок службы оборудования для гидродобычи угля предусматривается повысить до 3 раз.

Кроме разработки и внедрения конструкторских и технологических мероприятий на основные горношахтные машины, особое внимание в отраслевом плане повышения надежности и долговечности уделено увеличению срока службы запасных частей массового производства (деталей режущих цепей угольных комбайнов и врубовых машин, деталей тяговых разборных цепей для скребковых конвейеров, рештаков одноцепных скребковых конвейеров, рештаков передвижных конвейеров, полускатов вагонеток и др.).

Экономическая эффективность этих мероприятий может быть иллюстрирована следующими отдельными примерами.

Как показали расчеты института ВНИИПТУглемаш упрочнение стыков рештаков скребковых конвейеров жесткой обвязкой фасонного профиля, внедряемое на харьковском заводе «Свет шахтера», обеспечивает повышение их жесткости, правильное соединение рештаков, возможность уменьшения количества рештаков в 120-метровом ставе на 4 (при существующих размерах заготовок листа на рештак) и повышение срока службы на 50% (что равносильно уменьшению потребности в рештаках на

40 тыс. штук в год), а общая экономия металла может быть достигнута свыше 20 тыс. т в год.

Не менее эффективным является упрочнение концов рештаков износостойкой наплавкой (рис. 29).

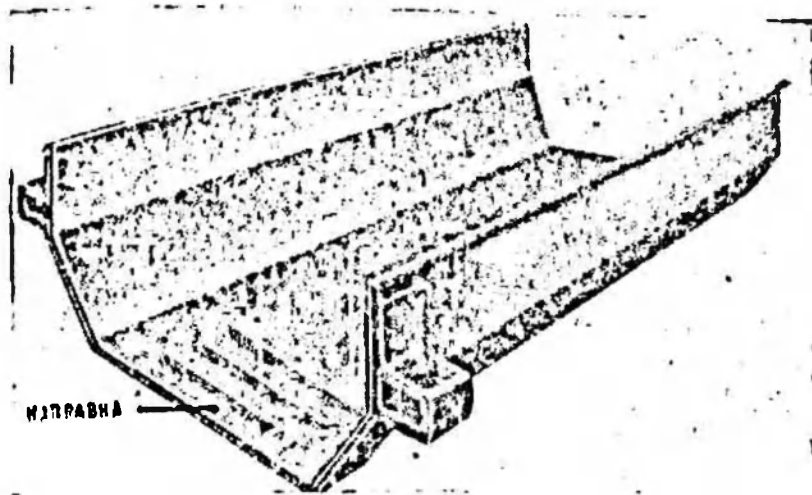


Рис. 29. Повышение срока службы конвейерных рештаков износостойкой наплавкой

Испытания опытной партии рештаков, упрочненных износостойкой наплавкой, подтвердили возможность повышения их срока службы не менее чем в два раза.

Упрочнение деталей разборных цепей скребковых конвейеров термической обработкой боковых и средних звеньев до твердости

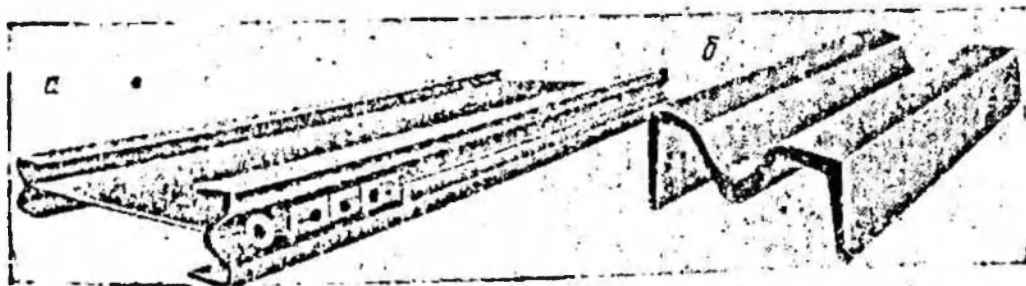


Рис. 30. Применение спецпрофилей для боковин рештаков скребковых передвижных конвейеров:

а — секция конвейера СП-63, б — спецпрофиль боковины рештака

НВ 389—321 и валиков цепи до НВ 331—401 значительно повышает разрывное усилие цепи (с 22 до 29 т), а также увеличивает срок службы примерно на 30—40%.

Большой экономический эффект может быть получен при решении металлургической промышленностью вопроса термического упрочнения спецпрофиля (при его прокатке) для боковин рештаков мощных передвижных скребковых конвейеров (рис. 30). Внедрение термически упрочненного спецпрофиля при производ-

стве передвижных конвейеров СП-63 может обеспечить повышение срока службы конвейера на 25%. Экспериментальная установка для закалки спецпрофилей боковой решетки показана на рис. 31

Как известно, оборудование для гидродобычи угля имеет чрезвычайно малые сроки службы вследствие интенсивного гидроабразивного износа деталей под действием струи воды, несущей куски угля и породы.

В этих условиях особенно эффективно применение износостойких сплавов для отливок быстрознашивающихся деталей (роторов) гидромашин, применяемых в угольной промышленности (рис. 32).

Промышленные испытания высоконапорных насосов 10УВЛ, шламовых насосов ШН150, землесосов 8НЗУ и центрифуг УЦМ-2 с деталями из сплава 300Х12М (2,7—3% углерода и 12—13% хрома) подтвердили высокую износостойкость этого сплава.

Существенным преимуществом сплава 300Х12М является относительно хорошая обрабатываемость его резанием (в 3—4 раза лучше сплава ИЧХ28Н2).

Результаты испытаний машин с деталями из сплава 300Х12М приведены в табл. 8.

Таблица 8

Машина	Деталь	Срок службы детали, ч		Место испытания
		серийная	опытная из стали 300Х12М	
Углесос 10УВЛх2М Углесос 8ШНВ	Детали ротора	216	400—517	Яновский гидрорудник, Донбасс Шахта № 105 треста «Селидовоуголь», Донбасс
	Бронедиски (передний и задний)	270	Проработали 1400 и продолжают работать	
Шламовый насос ШН-150	Корпус	—	400, следов износа нет	Обогатительная установка шахты им. Артема комбината Ростовуголь Обогащение в тяжелых средах. Пульпа содержит 50% песка
	Рабочее колесо	120	256	
	Бронедиски (передний и задний)	400, потеряно 40% веса	408, потеряно 15% веса	
Землесос 8НЗУЯ земснаряда № 8—27 Центрифуга УЦМ-2А	Втулка всаса	5000 м <sup>3</sup>	56 000 м <sup>3</sup>	— —
	Бронедиски	5000 м <sup>3</sup> грунта	60 000 м <sup>3</sup> грунта	
	Витки шнека	240—300, износ 45—60 мм	582, износ 7—25 мм	Обогатительная фабрика Яновского гидрорудника

Данные таблицы показывают, что применение литого износостойкого сплава 300Х12М позволяет повысить срок службы быстро-



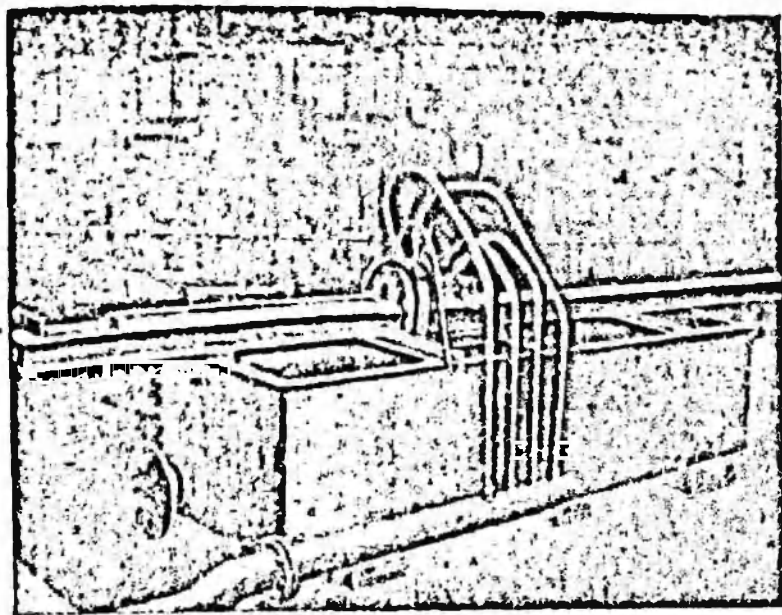


Рис. 31. Экспериментальная установка для струйной закалки спецпрофилей боковин рештаков

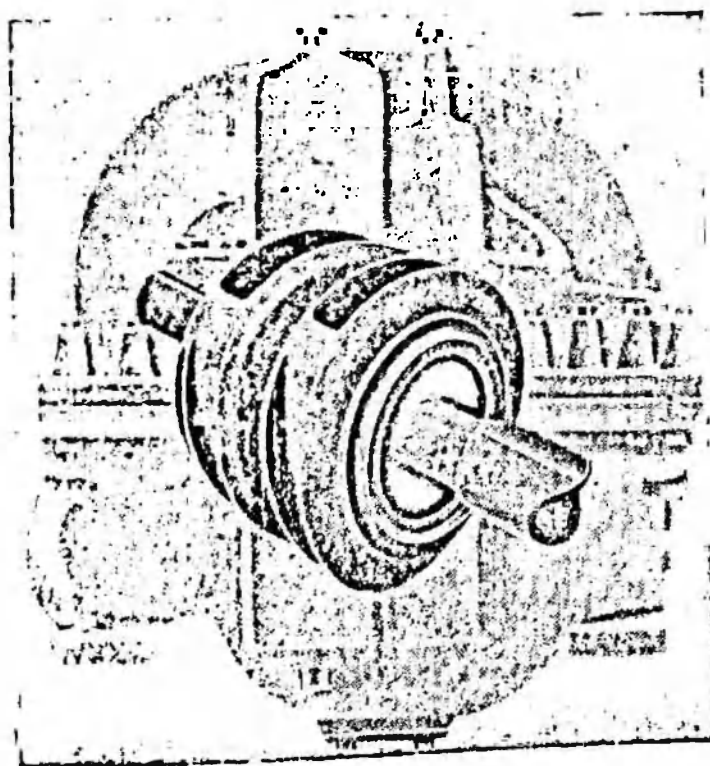


Рис. 32. Ротор углерода-10УВЛ-2М, изготовленный из сплава 300Х12М

изнашивающихся деталей углесосов, землесосов, шламовых насосов и других машин в несколько раз. Так, например, опытные бронедиски углесоса 8ШНВ из сплава 300Х12М проработали около 1400 ч без существенного износа, тогда как серийные бронедиски в тех же условиях работают 250—270 ч.

Результаты испытания опытных деталей показывают, что износостойкий сплав 300Х12М может быть успешно применен не только для оборудования гидрошахт, но и для широкого класса машин по обогащению угля, руд и других машин и оборудования, работающих в абразивных средах.

Внедрение этого сплава позволит повысить срок службы быстронашивающихся деталей (в первую очередь ротора) не менее чем в два раза.

Весьма перспективным для защиты деталей от износа являются такие способы как плазменное напыление и армирование твердыми сплавами.

Этими отдельными примерами не исчерпываются мероприятия по повышению срока службы запасных частей к горношахтному оборудованию, но и они дают представление о крупной экономической эффективности выполнения отраслевого плана.

На предприятиях угольной промышленности широко развернулось соревнование шахтеров за коммунистический труд, за полное и производительное использование горной техники.

В этих условиях к горным машинам предъявляются новые требования по надежности и долговечности, так как обеспечение непрерывного производственного процесса добычи угля в большой степени зависит от уровня надежности и долговечности угольных машин и горной автоматики.

Повышение надежности и долговечности угольных машин и горношахтного оборудования — источник огромной экономии общественного труда, средств и материалов. Использовать этот резерв для повышения производительности труда шахтеров — дело чести работников угольного машиностроения.

Задача сейчас заключается в том, чтобы направить энергию научно-исследовательских и проектно-конструкторских, проектно-технологических институтов и организаций, а также работников заводов угольного машиностроения на выполнение этого единого отраслевого плана на решение проблемы повышения надежности и долговечности горных машин и оборудования и тем самым внести свой вклад в создание материально-технической базы коммунизма.

30111  
30111А  
359/2  
11-1025

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение . . . . .	3
§ 1. Значение проблемы повышения надежности и долговечности в горном машиностроении . . . . .	4
§ 2. Экономическая значимость проблемы повышения надежности и долговечности для горного машиностроения . . . . .	6
§ 3. Некоторые данные, характеризующие надежность и долговечность в угольном машиностроении . . . . .	9
§ 4. Основные понятия о качестве — надежности и долговечности — в горном машиностроении . . . . .	13
§ 5. Активный метод определения надежности и долговечности машин. . . . .	18
§ 6. Основные виды разрушения поверхностного слоя деталей горных машин . . . . .	27
§ 7. Механические методы упрочнения поверхностей деталей . . . . .	32
§ 8. Об отраслевом плане работ по повышению надежности и долговечности горношахтных машин и оборудования . . . . .	55

Ермак Иван Иосифович

Повышение надежности и долговечности в горном машиностроении

Редактор издательства Л. Ф. Завозин

Техн. редактор А. Сабитов

Корректор Л. С. Алиева

Сдано в набор 13/II 1964 г. Подписано в печать 14/IV 1964 г. Формат бумаги 60×90<sup>1/16</sup>  
Печ. л. 3,75 Уч.-изд. л. 3,75 Тираж 1500 экз. Т-06621  
Изд. № 62 Инд. 3/3а Цена 19 коп. Заказ № 95

Издательство «Н Е Д Р А»

Москва, А-47, пл. Белорусского вокзала, д. 3

Объявлена в тематическом плане Б. Гостортехиздата за 1964 г. № 103

Московская типография № 6 «Главполиграфпрома»  
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати  
Москва, Ж-88, 1-й Южно-портовый пр., 17.