

Л. Л. Григорьев
К. М. Иванов
Э. Е. Юргенсон

ХОЛОДНАЯ ШТАМПОВКА

СПРАВОЧНИК

ПОЛИТЕХНИКА

Электронный аналог печатного издания: Григорьев Л. Л. Холодная штамповка : Справочник / Л. Л. Григорьев, К. М. Иванов, Э. Е. Юргенсон; Под ред. Л. Л. Григорьева. — СПб. : Политехника, 2009. — 665 с.

УДК 621.983:658.512
ББК 32.973:34.623
Г83



ПОЛИТЕХНИКА
ИЗДАТЕЛЬСТВО
Санкт-Петербург 2011

www.polytechnics.ru

Федеральная программа книгоиздания России

Рецензенты: И. С. Кузьмин, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, доктор технических наук, профессор; В. В. Рис, доктор технических наук, профессор

Григорьев, Л. Л.

Г83 Холодная штамповка : Справочник / Л. Л. Григорьев, К. М. Иванов, Э. Е. Юргенсон; Под ред. Л. Л. Григорьева. — СПб. : Политехника, 2011. — 665 с.

ISBN 978-5-7325-0989-2

Справочник подготовлен взамен широко известного для производителей справочника В. П. Романовского.

В части 1 изложены характеристика холодноштамповочного производства и его технологическая подготовка, рассмотрено оборудование производств заготовительного, листоштамповочного и объемной штамповки.

В части 2 рассмотрены вопросы конструирования и изготовления штампов для холодной штамповки. Дано описание типовых штампов для резки сортового проката на прессах, штампов разделительных, формоизменяющих, комбинированных, для мелкосерийного производства.

В части 3 дано описание операций резки, вырубки, пробивки, гибки и вытяжки. Определены критерии выбора прессы. Изложены технологические процессы холодной обработки давлением, штамповки неметаллических материалов и объемной штамповки.

Справочник рекомендуется специалистам в области холодноштамповочного производства и студентам машиностроительных вузов.

УДК 621.983:658.512
ББК 32.973:34.623

ISBN 978-5-7325-0989-2

© Издательство «Политехника», 2011

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	8		
Введение	9		
Ч А С Т Ь 1			
ХОЛОДНАЯ ШТАМПОВКА: ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДСТВА И ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА			
Г Л А В А 1			
ХАРАКТЕРИСТИКА ХОЛОДНОШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА			
1.1. Общие положения	—	1.6.4. Разработка единичных технологических процессов	45
1.1.1. Классификация изделий	15	1.6.5. Разработка типовых технологических процессов	47
1.1.2. Уровни механизации и автоматизации	19	1.6.6. Разработка групповых технологических процессов	49
1.1.3. Гибкая автоматизация	21	1.6.7. Формирование технического задания на проектирование комплекта штампов	51
1.2. Заготовительное производство	23	1.6.8. Выбор оптимального варианта технологического процесса	—
1.2.1. Холодная ломка	—	1.7. Автоматизированные системы технологической подготовки холодноштамповочного производства	53
1.2.2. Отрезка от прутка заготовок из сортового проката в штампах и ножницами	25	1.8. Классификация штампов холодной штамповки	56
1.2.3. Удаление дефектов с поверхности проката	32	Список литературы	110
1.3. Процессы холодноштамповочного производства	36	Г Л А В А 2	
1.3.1. Холодная листовая штамповка	—	ОБОРУДОВАНИЕ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО И ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
1.3.2. Холодная объемная штамповка	37	2.1. Оборудование заготовительного производства	—
1.4. Структура оборудования и его классификация	38	2.2. Оборудование листоштамповочного производства	113
1.5. Точность и металлоемкость изделий	39	2.3. Оборудование холодной объемной штамповки	123
1.6. Технологическая подготовка производства изделий для холодной штамповки	41	2.3.1. Прессы для холодного выдавливания	126
1.6.1. Технологическая подготовка производства	—	2.3.2. Чеканочные кривошипно-коленные прессы	128
1.6.2. Порядок разработки технической документации	42	2.3.3. Кривошипно-коленные прессы для выдавливания	130
1.6.3. Разработка рациональных технологических процессов	44	2.3.4. Гидравлические прессы для выдавливания рельефов штампов	131
		2.4. Условные обозначения кузнечно-прессовых машин. Маркировка	132
		2.5. Оборудование для термической обработки исходных заготовок и полуфабрикатов	133
		Список литературы	140

Ч А С Т Ь 2	
КОНСТРУИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШТАМПОВ	141
Г Л А В А 3	
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ ШТАМПОВ	–
3.1. Требования к конструкциям штампов	–
3.1.1. Технологичность конструкции деталей, сборочных единиц и чертежей общей сборки штампов	147
3.2. Требования техники безопасности к конструкциям штампов	150
3.2.1. Требования техники безопасности к основным элементам конструкции штампов	151
3.2.2. Степени безопасности и основные предупреждающие обозначения (знаки)	157
3.2.3. Требования техники безопасности к эксплуатации штампов	158
3.3. Оформление сборочного чертежа штампа	161
Список литературы	169
Г Л А В А 4	
ШТАМПЫ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ	–
4.1. Порядок проектирования штампов	–
4.1.1. Штампы с рабочими элементами, изготовленными методами электротехнологии	173
4.1.2. Штампы для скоростной штамповки	180
4.1.3. Рабочие детали твердосплавных штампов	183
4.2. Основные и вспомогательные детали штампов	186
4.2.1. Расчет габаритных размеров матриц разделительных штампов	–
4.2.2. Использование количественных критериев при выборе конструкции пуансонов разделительных штампов	189
4.2.3. Расчет габаритных размеров обойм твердосплавных вставок матриц вытяжных штампов	–
4.2.4. Твердосплавные штампы повышенной стойкости, изготавливаемые с применением обратной электроэрозийной прошивки	190
4.2.5. Упругие вспомогательные элементы твердосплавных штампов	191
4.2.6. Влияние технологии изготовления рабочих деталей твердосплавных штампов на их конструкцию	192
4.3. Системы сокращенного и ускоренного проектирования штампов	194
4.3.1. Сокращенное проектирование штампов с применением нормативных документов	195
4.3.2. Ускоренное проектирование с выполнением конструкторской документации на одном листе	196
4.3.3. Ускоренное проектирование с применением шаблонов стандартных чертежей заготовок основных деталей штампов	212
4.3.4. Система ускоренного проектирования с выдачей полного комплекта конструкторской документации	216
4.3.5. Ускоренное проектирование сменных пакетных штампов для гибких производственных модулей	218
4.4. Типовые полуфабрикаты, стандартные детали и узлы штампов	219
4.4.1. Типовые узлы блоков штампа	220
4.4.2. Типовые наборы плит пакетов штампов	229
4.5. Устройства, повышающие эксплуатационные качества и стойкость штампов	232
4.5.1. Устройство, компенсации перекоса ползуна прессы	–
4.5.2. Промежуточный штамповый блок для компенсации погрешностей прессы	233
4.5.3. Перемещающиеся узлы крепления штампа к прессам	234
4.5.4. Перемещающиеся узлы крепления штампа к прессам-автоматам	237
4.6. Конструкционные материалы для изготовления деталей штампов	240
4.7. Расчет стойкости штампов	249
4.7.1. Меры, повышающие стойкость штампов	254
4.7.2. Расчет технико-экономической эффективности применения твердосплавных штампов	258
4.8. Расчет и конструирование штампов для холодной объемной штамповки	259

4.8.1. Расчет и конструирование штампов для холодного выдавливания на прессах	259	5.5. Штамп для мелкосерийного производства	399
4.8.2. Типовые узлы крепления и центрирования пуансонов и матриц	261	5.5.1. Упрощенные штампы	400
4.8.3. Рабочие детали штампов для холодного выдавливания	268	5.5.2. Универсальные штампы	406
4.8.4. Расчет конструкций узлов бандажированных матриц штампов холодного выдавливания	271	5.5.3. Сменные пакетные штампы и сменные комплекты инструментов	408
4.8.5. Технологическая оснастка и рабочие инструменты для штамповки на высадочных автоматах	283	5.6. Многопозиционные штампы для объемной штамповки	409
Список литературы	311	Список литературы	416
ГЛАВА 5		Ч А С Т Ь 3	
ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ШТАМПОВ		ОПЕРАЦИИ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ 417	
5.1. Штампы для резки сортового проката на прессах		ГЛАВА 6	
5.2. Разделительные штампы		РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ	
5.2.1. Штампы для обрезки кромок стенок или края фланца полых полуфабрикатов	—	6.1. Резка листового и профильного проката ножницами	—
5.2.2. Штампы для вырубki-пробивки	324	6.1.1. Технология резки	—
5.2.3. Штампы для зачистки-калибровки	—	6.1.2. Усилие резки	420
5.2.4. Высокостойкие разделительные штампы для вырубki	—	6.2. Разделение листового материала по замкнутому контуру в штампах	421
5.2.5. Твердосплавные штампы для зачистки отверстий в платах приборов точной механики	327	6.2.1. Усилие вырубki-пробивки. Выбор пресса	422
5.3. Формоизменяющие штампы	329	6.2.2. Зазоры между матрицей и пуансоном	428
5.3.1. Штампы для гибки	—	6.2.3. Расчет рабочих размеров матриц и пуансонов	431
5.3.2. Штампы для вытяжки	333	6.3. Чистовая вырубка и пробивка	—
5.3.3. Твердосплавные штампы для гибки	352	6.4. Зачистная штамповка	437
5.3.4. Твердосплавные штампы для вытяжки	—	6.5. Разделительные операции с использованием эластичных и пластичных материалов	446
5.3.5. Твердосплавные штампы для чеканки	355	6.5.1. Разделительные операции с использованием резины	448
5.3.6. Твердосплавные штампы для ударного выдавливания (прессования)	—	6.5.2. Разделительные операции с использованием пластичного металла	451
5.4. Штампы комбинированного действия 356		6.5.3. Безматричная пробивка отверстий в трубах	453
5.4.1. Штампы совмещенного действия	—	6.6. Гидровзрывная пробивка отверстий 454	
5.4.2. Штампы последовательного действия	366	6.7. Обрезка края стенок полых полуфабрикатов	455
5.4.3. Штампы последовательно-совмещенного действия	376	Список литературы	458
5.4.4. Штампы комбинированного действия со встроенными механизмами	388	ГЛАВА 7	
		 ГИБКА	
		7.1. Общие сведения	—
		7.2. Определение положения нейтрального слоя	460
		7.3. Определение деформаций и наименьших радиусов гибки	461

7.4. Упругие деформации при гибке	464	8.8.4. Расчет усилий вытяжки полых изделий сложной формы в плане	525
7.5. Расчет размеров исходной заготовки (развертки)	468	8.8.5. Расчет усилий и работы вытяжки без утонения	526
7.6. Расчет изгибающих моментов и усилий гибки	470	8.8.6. Расчет усилий при вытяжке эластичной матрицей с утонением	—
7.7. Изгиб с растяжением	474	8.8.7. Расчет усилий вытяжки эластичной матрицей по жесткому пуансону	527
7.8. Точность изделий, получаемых гибкой	476	8.9. Выбор пресса	528
7.9. Виды брака	—	8.10. Точность изделий, получаемых вытяжкой	—
7.10. Изгиб труб и тонкостенных профилей	479	8.10.1. Факторы, влияющие на точность	—
Список литературы	481	8.10.2. Точность полых цилиндрических деталей	529
ГЛАВА 8		8.10.3. Расчет исполнительных размеров пуансонов и матриц	530
ВЫТЯЖКА	—	8.10.4. Виды брака	531
8.1. Общие сведения	—	8.11. Технологические расчеты при вытяжке типовых деталей	533
8.2. Вытяжка без утонения стенок в штампах простого и комбинированного действий	484	8.11.1. Технологические расчеты при вытяжке полых цилиндрических деталей без фланца	—
8.2.1. Прямая вытяжка	—	8.11.2. Конструктивное исполнение профиля продольного сечения рабочих отверстий вытяжных матриц	535
8.2.2. Обратная «реверсивная» вытяжка	491	8.11.3. Технологический расчет при вытяжке с утонением	537
8.3. Интенсификация вытяжки	492	8.11.4. Предпроектные расчеты механических свойств при вытяжке с утонением	538
8.3.1. Вытяжка с подогревом	—	8.11.5. Технологические расчеты при вытяжке полых цилиндрических деталей с фланцем	541
8.3.2. Вытяжка с охлаждением	493	8.11.6. Технологический расчет при вытяжке полых ступенчатых деталей	544
8.3.3. Многослойная вытяжка	—	8.11.7. Технологические расчеты при вытяжке полых конических деталей	546
8.3.4. Вытяжка с утонением стенки	494	8.11.8. Технологические расчеты при вытяжке полых сферических деталей (оболочек)	549
8.4. Вытяжка в условиях мелкосерийного производства	497	8.11.9. Технологические расчеты при вытяжке прямоугольных коробчатых деталей	550
8.5. Расчет размеров и определение формы в плане исходной заготовки (развертки)	500	Список литературы	557
8.5.1. Расчет размеров и формы заготовок для деталей типа тел вращения	501	ГЛАВА 9	
8.5.2. Расчет диаметра плоскостной заготовки по равенству объемов или масс заготовки и детали при вытяжке с утонением	507	СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ОБЪЕМНОЙ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ	558
8.5.3. Расчет размеров и формы заготовок для вытяжки прямоугольных коробчатых деталей (ПКД)	—	9.1. Редуцирование	—
8.6. Расчет количества технологических операций вытяжки	511		
8.7. Смазка при вытяжке	519		
8.8. Расчет усилий и работы	521		
8.8.1. Расчет усилий вытяжки полых цилиндрических деталей	—		
8.8.2. Расчет усилий вытяжки цилиндрических деталей с подогревом	525		
8.8.3. Расчет усилий вытяжки прямоугольных коробчатых деталей	—		

9.2. Обработка на ротационно- и радиально-обжимных машинах	564	12.3.1. Механические свойства, выявляемые при испытании листовых металлов на растяжение	–
9.3. Пульсирующая штамповка	570	12.3.2. Технологические свойства и штампуемость	–
9.4. Накатывание резьбы и профиля	572	12.4. Испытания листовых металлов	635
Список литературы	576	Приложения	647
Г Л А В А 10		П1. Система маркировки стали в России	–
ШТАМПОВКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	577	П1.1. Конструкционные стали	–
10.1. Вырубка и пробивка	–	П1.2. Инструментальные стали	648
10.2. Гибка	584	П2. Система маркировки стали по евро-	нормам
10.3. Вытяжка	–	П2.1. Марки стали группы 1	–
Список литературы	585	П2.2. Марки стали группы 2	652
Г Л А В А 11		П3. Система маркировки стали в США	654
ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА	586	П3.1. Система обозначений организации AISI	–
11.1. Калибровка	–	П3.2. Система обозначений организации ASTM	656
11.2. Чеканка, кернение, клеймение	589	П3.3. Универсальная унифицированная система обозначений	657
11.3. Высадка	590	П4. Система маркировки стали в Японии	658
11.4. Холодное (ударное) выдавливание	593	П4.1. Конструкционные стали	–
11.5. Формовочные операции холодной объемной штамповки	604	П4.2. Инструментальные стали	660
Список литературы	585	П4.3. Коррозионно-стойкие стали	–
Г Л А В А 12		П4.4. Жаропрочные стали	–
ИСПЫТАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ	611	П5. Специальный листовой прокат «жесткий лист для тары»	661
12.1. Условные обозначения в характеристиках материалов	612		
12.2. Определение и обозначение твердости материалов	613		
12.3. Механические и технологические свойства листовых материалов	628		

Ч А С Т Ь 1

ХОЛОДНАЯ ШТАМПОВКА: ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДСТВА И ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА

Г Л А В А 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ХОЛОДНОШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Холодноштамповочное производство (ХШП) предназначено для изготовления изделий, являющихся машиностроительными заготовками, а в некоторых случаях — деталями или сборочными единицами (узлами).

В подавляющем большинстве случаев изготовление изделий в ХШП осуществляют пластическим деформированием, что приводит к уменьшению отходов и трудозатрат на заключительных операциях обработки заготовок резанием, а также к изменению их внутреннего строения на микро- и макроуровнях, улучшению механических, а иногда и физических свойств материала заготовок в соответствии с требованиями эксплуатации.

Оборудование, предназначенное для пластического деформирования в ХШП, отличается более высокой производительностью по сравнению с другими производствами. Благодаря этому боль-

шинство фасонных ответственных деталей получают холодной штамповкой. *Холодной штамповкой* называют технологические процессы обработки давлением, при осуществлении которых формообразование изделия на стадии пластического деформирования происходит в условиях ограниченного течения, определяемого формой и размерами рабочих деталей штампов.

Технологические процессы ХШП применяют для изготовления самых разнообразных изделий из черных и цветных металлов и их сплавов, что предопределяет большое разнообразие технологических процессов и оборудования.

Схема напряженного состояния заготовки в процессе ее пластического деформирования зависит от типа заготовки. При холодной штамповке изделий из сортового проката и пресованных прутков схема напряженного состояния, как правило, объемная (всестороннее неравномерное сжатие), поэтому

штамповку называют *объемной*. При штамповке деталей из листовых заготовок схему напряженного состояния можно с достаточной степенью точности считать плоской, а штамповку называют *листовой*.

Изделия, изготовленные холодной объемной штамповкой, называют *штампованными полуфабрикатами*, а изделия, изготовленные листовой штамповкой, — *детальями* или *сборочными единицами (узлами)*, поскольку последние поступают в сборочные цехи без какой-либо обработки резанием.

Таким образом, все многообразие технологических процессов ХШП может быть сведено к процессам холодной объемной и листовой штамповки, а также к специальным штамповочным процессам.

В процессах ХШП пластическая деформация может быть холодной и промежуточной — неполной холодной или неполной горячей. При каждом виде деформации получают изделия с определенным внутренним строением, механическими и эксплуатационными свойствами, с определенными упрочняющими и разупрочняющими эффектами.

При *холодной пластической деформации* (с полным упрочнением) явления возврата и рекристаллизации полностью отсутствуют. Температура холодной пластической деформации $T < 0,3T_{\text{пл}}$, где $T_{\text{пл}}$ — абсолютная температура плавления деформируемого металла. В результате холодной пластической деформации металлы приобретают текстуру преимущественного ориентирования кристаллографических осей зерен. Получаемые изделия имеют поверхности высокого качества, а также высокие прочностные свойства. Материал изделий — малолегированные и малоуглеродистые стали, а так-

же некоторые цветные металлы и их сплавы.

При *неполной холодной пластической деформации* рекристаллизация отсутствует, явление возврата протекает полностью. Поэтому металл приобретает полосчатую структуру без следов рекристаллизации, а при значительной деформации — текстуру. Неполную холодную деформацию осуществляют в интервале температур $T = (0,3 \div 0,5) T_{\text{пл}}$.

Неполную горячую пластическую деформацию (с неполным разупрочнением) [$T = (0,5 \div 0,7) T_{\text{пл}}$], при которой рекристаллизация протекает не полностью, применяют редко, так как для структуры изделий, полученных этим процессом, характерно наличие рекристаллизационных (разупрочненных) разноосных и нерекристаллизованных (упрочненных) вытянутых зерен.

При *горячей пластической деформации* (с полным разупрочнением) рекристаллизация протекает полностью, в результате металл приобретает полностью рекристаллизованную равноосную структуру. Температура горячей пластической деформации $T > 0,7 T_{\text{пл}}$. Поскольку процессы возврата и рекристаллизации протекают во времени с определенными скоростями, то в зависимости от соотношения этих скоростей температурные интервалы рассмотренных видов и скоростей деформации могут существенно изменяться.

С повышением температуры прочность металла снижается, однако благодаря рекристаллизации становится возможным значительное формоизменение. При повышении температуры в ряде металлов (Mg, Cd, Be, α -Ti, α -Ni и др.), имеющих гексагональную кристаллическую решетку, число реально действующих плоскостей скольжения увеличивается, что улучшает их плас-

тичность. Многие металлы (W, Mo, Nb, Zn) из-за хрупкости в холодном состоянии можно подвергать только горячей деформации.

Деформирующая сила при горячей пластической деформации по сравнению с холодной деформацией может быть меньше в 30–40 раз, что очень важно при штамповке крупногабаритных заготовок.

При холодной деформации возможны накопление дефектов и возникновение опасности исчерпания ресурса пластичности, для восстановления которого в технологическом процессе предусматривают промежуточные отжиги. В процессе пластической деформации происходят увеличение плотности дислокаций и накопление свободной энергии, что способствует появлению устойчивых центров рекристаллизации, обладающих меньшей свободной энергией, диффузии (миграции) атомов в направлении, соответствующем высвобождению энергии. При интенсивной деформации число устойчивых центров рекристаллизации резко возрастает и их образование становится непрерывным. Если в результате горячей пластической деформации необходимо сформировать мелкозернистую структуру, температура на заключительной стадии штамповки должна быть чуть выше температуры рекристаллизации.

Обычно текстура после горячей деформации выражена слабее, чем при холодной (анизотропия механических характеристик). При получении небольших заготовок штамповкой для создания условий, соответствующих горячей пластической деформации, необходимо встраивать в штампы нагревательные элементы, изготовление и эксплуатация которых приводят к большим затратам средств. Поэтому,

например, листовую штамповку осуществляют преимущественно в холодном состоянии, а в операциях штамповки объемных элементов заготовок, размер которых в каком-либо направлении не превышает 3 мм, горячую пластическую деформацию применяют редко.

Металлы и сплавы при нагреве до температур горячей пластической деформации окисляются (покрываются окалиной). Удаление окалины до начала штамповки затруднено, а использование безокислительных способов нагрева требует дополнительных затрат средств. Окалина обладает достаточно высокой твердостью и заштамповывается в поверхностные слои заготовок. Такая поверхность не имеет товарного вида и приводит к затуплению режущего инструмента при последующей обработке резанием. В этом случае необходимо увеличение припусков под обработку резанием. Угар металла в условиях пластической деформации не позволяет точно учесть изменения размеров заготовки при ее охлаждении.

В ряде случаев разупрочнение является важным преимуществом горячей пластической деформации, за исключением тех случаев, когда требуется упрочнение, которое увеличивает несущую способность изделий.

Следует иметь в виду, что применение горячей деформации приводит к неоднородности формируемой структуры и свойств. После горячей деформации свойства менее однородны, чем после холодной деформации и последующего отжига (из-за возможности более строго контролировать температуру и продолжительность отжига, чем в условиях горячей деформации). Конечные размеры зерен в заготовке, изготовленной в условиях горячей деформации, не бывают одинаковыми, поскольку

ку в поверхностных слоях металла деформация всегда более интенсивна. Размер зерен возрастает от поверхности к центру, что обусловлено наиболее быстрым охлаждением поверхностных слоев, и собирательная рекристаллизация не успевает произойти.

Для некоторых металлов и сплавов вообще невозможно использовать режимы горячей пластической деформации. Так, сплавы при наличии легкоплавких соединений при горячей деформации разрушаются. Такой эффект наблюдается в меди при наличии даже нескольких тысячных долей висмута. Если сера в стали не связана с марганцем, образуются прослойки FeS, вызывающие краснотомкость.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что объемную и листовую штамповку наиболее целесообразно проводить в условиях холодной пластической деформации.

В условиях холодной пластической деформации в качестве исходных заготовок используются листовая и сортовой прокат, а также проволока в бухтах. При этом в технических условиях (ТУ) указывается и назначение таких материалов.

Стандарты норм России на ТУ стальных исходных заготовок целевого назначения для ХШ:

ГОСТ 4041. Прокат листовой для холодной штамповки из конструкционной качественной стали. ТУ;

ГОСТ 5663. Проволока стальная углеродистая для холодной высадки. ТУ;

ГОСТ 10702. Прокат из качественной конструкционной углеродистой и легированной стали для холодного выдавливания и высадки. ТУ.

Механические свойства при комнатной температуре для этих видов проката из малоуглеродистой стали приведены в табл. 1.1. Стандартами России ограничивается также и сортамент исходных материалов для ХШП.

Например, калиброванная сталь для холодной высадки (технические требования по ГОСТ 10702) поставляется следующих размеров (диаметров), мм: 4,35; 4,42; 4,70; 5,27; 5,70; 7,27; 7,4; 8,94; 9,10; 9,65; 10,72; 11,1; 11,6; 12,0; 12,56; 13,06; 14,56; 14,9; 15,6; 16,24; 16,9; 18,24; 18,9; 19,55; 20,24; 21,55; 21,9; 22,55; 22,8; 23,55; 24,9; 25,2; 25,55; 26,55; 27,4; 27,58; 28,55; 29,55; 33,25; 33,9; 35,55; 38,93; 39,9; 44,6; 45,89.

Т а б л и ц а 1.1
Механические свойства заготовок из проката малоуглеродистой стали при комнатной температуре

Норматив	Наличие термообработки	Дополнительная характеристика	Диаметр сечения, мм	σ_s , МПа	δ , %	ψ , %	Изгиб HRB, МПа	НВ, МПа
ГОСТ 4041	Термическая обработка	–	4,0–14,0	270–370	34	–	55	100
ГОСТ 5663	Без термической обработки	1-й класс	1,0–6,0	440–590	–	55	–	–
		2-й класс	–	590	–	55	–	–
ГОСТ 10702	Термическая обработка	–	5–48	310–410	–	60	–	131

Т а б л и ц а 1.2

Размеры отклонения круглой калиброванной стали по ГОСТ 7417, мм

Диаметр	Предельные отклонения стали класса точности			
	3	3а	4	5
3,0	-0,020	-0,040	-0,060	-0,12
3,1; 3,2; 3,3; 3,4; 3,5; 3,6; 3,7; 3,8; 3,9; 4,0; 4,1; 4,2; 4,4; 4,5; 4,6; 4,8; 4,9; 5,0; 5,2; 5,3; 5,5; 5,6; 5,8; 6,0	-0,025	-0,048	-0,080	-0,160
6,1; 6,3; 6,5; 6,7; 6,9; 7,0; 7,1; 7,3; 7,5; 7,7; 7,8; 8,0; 8,2; 8,5; 8,8; 9,0; 9,2; 9,3; 9,5; 9,8; 10,0	-0,030	-0,058	-0,100	-0,200
10,2; 10,5; 10,8; 11,0; 11,2; 11,5; 11,8; 12,0; 12,2; 12,5; 12,8; 13,0; 13,2; 13,5; 13,8; 14,0; 14,2; 14,5; 14,8; 15,0; 15,2; 15,5; 15,8; 16,0; 16,2; 16,5; 16,8; 17,0; 17,2; 17,5; 17,6; 17,8; 18,0	-0,035	-0,070	-0,120	-0,240
18,5; 19,0; 19,5; 20,0; 20,5; 21,0; 21,5; 22,0; 23,0; 24,0; 25,0; 26,0; 27,0; 28,0; 29,0; 30,0	-0,045	-0,084	-0,140	-0,280
31,0; 32,0; 33,0; 34,0; 35,0; 36,0; 37,0; 38,0; 39,0; 40,0; 41,0; 42,0; 44,0; 45,0; 46,0; 48,0; 49,0; 50,0	-0,050	-0,100	-0,170	-0,340
52,0; 53,0; 55,0; 56,0; 58,0; 60,0; 61,0; 62,0; 63,0; 65,0	-0,060	-0,120	-0,200	-0,400
67,0; 69,0; 70,0; 71,0; 73,0; 75,0; 78,0; 80,0	-	-	-0,200	-0,400
82,0; 85,0 88,0; 90,0; 92,0; 95,0; 98,0; 100,0	-	-	-0,230	-0,460

По заказу потребителя может поставляться калиброванная сталь и других размеров. Предельные отклонения в этом случае должны соответствовать нормам, установленным для размеров ближайшего большего диаметра.

Сортамент качественной круглой стали со специальной отделкой поверхности устанавливается ГОСТ 14955.

Размеры и предельные отклонения, например для круглой калиброванной стали по ГОСТ 7417, приведены в табл. 1.2.

Для стали диаметром 5–9 мм, поставляемой в мотках с линейных проволочных станков, допускается отклонение по диаметру в пределах $\pm 0,5$ мм.

1.1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ

Листоштамповочные детали и полуфабрикаты классифицируют в зависимости от их геометрии на плоскостные и пространственные.

Плоскостные детали штампуются с применением разделительных операций, а пространственные — с использованием разделительных и формоизменяющих операций.

Пространственные детали подразделяются: на осесимметричные оболочки типа тел вращения (цилиндрические, конические, сферические, овальные и др.); коробчатые (с двумя или одной осью симметрии и произвольной

формы); комбинированные [оболочки с отбортованными патрубками вовнутрь и наружу на боковых поверхностях (и торцевых), с переменными размерами сечения по высоте и ширине и др.]; оболочки сложной формы; детали типа сильфонов, гнутых профилей и облицовочных панелей (плоскостные с местными формоизменениями или с различного типа гофрами).

Наиболее распространенными деталями, изготавливаемыми холодной объемной штамповкой, являются: осесимметричные сплошные детали ступенчатые, с фланцем, с утолщением в виде цилиндра, конуса и сферы; полые детали с дном и трубчатые детали гладкие и ступенчатые; полые многогранные детали с плоским торцем; полые с многогранником, переходящим в цилиндр, конус или сферу.

Сортовой прокат является основным исходным материалом для производства полуфабрикатов, деталей и изделий методами ХШ. Большую часть потребляемого сортового проката изготавливают из качественной конструкционной стали (углеродистой и легированной), химический состав и механические свойства которой регламентируют ГОСТ 1050, ГОСТ 1051 и др. В целях повышения эффективности использования проката в массовом производстве при штамповке используют профильный прокат, периодический продольный прокат по ГОСТ 8319.0 и профили поперечно-винтовой прокатки по ГОСТ 8320.0.

В качестве исходных заготовок на операциях холодной штамповки используют и трубные заготовки. В общем объеме заготовок (из листового и сортового проката), применяемых для производства деталей машин, более 8 % составляют стальные трубы. Широко-

му использованию трубных заготовок для производства деталей типа высоких втулок, гильз, цилиндров и других препятствуют невысокая точность труб, высокая цена, отсутствие отработанных средств безотходного разделения их на штучные заготовки. Однако при мелкосерийном и среднесерийном производствах эти факторы становятся менее значимыми в том случае, если затратная технология формообразования деталей из труб только методом резания заменяется прогрессивными процессами формообразования методами полугорячего и холодного деформирования.

Точность труб характеризуется определенными показателями, в частности разностенностью. Различают продольную, поперечную и местную разностенности. *Продольная разностенность* определяется как изменение толщины стенки трубы вдоль ее длины. За *поперечную разностенность* принимают эксцентриситет расположения наружной и внутренней боковых поверхностей трубы. *Местная разностенность* связана с зачистками, забоинами, рисками и тому подобными дефектами на боковых поверхностях. Установлено, что поперечная разностенность превышает продольную в пять-шесть раз и определяет точность труб.

Отклонения диаметров стальных труб и их разностенность нормируются стандартами (табл. 1.3 и 1.4).

Точностные параметры труб из алюминия и его сплавов устанавливает ГОСТ 18482 (табл. 1.5 и 1.6). В соответствии с ГОСТом трубы изготавливают из алюминия АД0 и АД1 и из его сплавов — АМЦ, АМЦС, АМг2, АМг3, АМг5, АМг6, ДД31, АВ, Д1, Д16, АК6.

Нормальные ряды:

наружных диаметров, мм: 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 35; 38; 40; 42; 45;

Т а б л и ц а 1.3

Пределные отклонения диаметров стальных труб

Диаметр, мм	Пределные отклонения диаметров труб						
	горячекатаных по ГОСТ 8732–78 при точности		прецизион- ных по ГОСТ 9567–75	холоднодефор- мированных по ГОСТ 8734–75	прецизионных по ГОСТ 9667–75		
	повышенной	нормальной					
Св. 5 до 10	± 0,5 %		± 0,35 мм	± 0,15 мм	± 0,1 мм		
Св.10 до 30				± 0,30 мм			
Св.30 до 40				± 0,40 мм	± 0,15 мм		
Св.40 до 50					± 0,20 мм		
Св.50 до 80	± 0,8 %	± 1,0 %	± 0,8 %	± 0,35 мм	± 0,50 мм		
Св.80 до 120				± 0,50 мм			
Св.120 до 219				± 0,8 %	± 0,8 %	± 0,8 %	± 0,8 %
Св. 219							± 0,8 %

Т а б л и ц а 1.4

Пределные отклонения толщин стенок стальных труб

Диаметр, мм	Пределные отклонения толщин стенок				
	горячекатаных по ГОСТ 8732–78 при точности		прецизион- ных по ГОСТ 9567–75	холоднодефор- мированных по ГОСТ 8734–75	прецизионных по ГОСТ 9667–75
	повышенной	нормальной			
До 1	±12,5 %	±12,5 % –15,0 %	± 10 %	± 0,12 мм	± 0,05 мм
Св. 1 до 5				± 10 %	± 7,5 %
Св. 5 до 15		±12,5 %		± 8 %	± 8 %
Св. 15 до 30	+10,0 % –12,5 %				
Св. 30	±10,0 %	+10,0 % –12,5 %	± 8 %	± 8 %	± 6 %

48; 50; 52; 55; 58; 60; 65; 70; 75; 80;
85; 90; 95; 100; 105; 110; 115; 120;
125; 130; 135; 140; 145; 150; 155;
160; 165; 170; 175; 180; 185; 190;
195; 200; 210; 220; 230; 240; 250;
260; 270; 280; 290; 300;

толщин стенок, мм: 1,5; 2,0; 2,5;
3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 7,5; 8,0;
10,0; 12,5; 15,0; 17,5; 20,0; 22,5; 25,0;
27,5; 30,0; 32,5; 35,0; 37,5; 40,0.

Более точными, и поэтому более дорогими, являются алюминиевые холоднодеформируемые трубы по ГОСТ 18475.

Из труб могут изготавливаться детали (типа колец, втулок, цилиндров и др.) методами ХОШ с использованием операций высадки, прямого и обратного выдавливания, обжима, раздачи, редуцирования и раскатки.

Т а б л и ц а 1.5

Отклонения диаметров алюминиевых труб по ГОСТ 18482, мм

Диаметр	Отклонение	Диаметр	Отклонение
18–50	±0,5	145–150	± 1,5
52–60	±0,6	155–160	± 1,6
65–70	±0,7	165–170	± 1,7
75–80	±0,8	175–180	± 1,8
85–90	±0,9	185–190	± 1,9
95–110	±1,0	195–200	± 2,0
115–120	±1,2	210–220	± 2,2
125–130	±1,3	230–250	± 2,5
135–140	±1,4	260–300	± 2,8

Т а б л и ц а 1.6

Отклонения толщины стенок алюминиевых труб по ГОСТ 18482

Толщина S, мм	Отклонение		Толщина S, мм	Отклонение	
	мм	%		мм	%
1,5	±0,30	±20	17,5	±1,6	±9
2,0	±0,40		20,0–22,5	±0,30	
2,5–3,0	±0,45				
4,0–5,0	±0,50	±10	25,0	±2,0	±8
6,0	±0,60		27,5	±2,2	
7,0	±0,70		30,0	±2,4	
7,5	±0,75		32,5–35,0	±2,6	±7,5
8,0	±0,80		37,5	±2,8	
10,0	±1,0		40,0	±3,0	
12,5	±1,2				
15,0	±1,4				

При производстве деталей типа выскоких втулок, гильз и цилиндров технологически наиболее обоснованы операции выдавливания с использованием плавающих оправок. Детали с уступами и фланцами большой высоты ($4 < H/d < 10$) могут быть получены методами ХОШ при эффективном сочетании операций выдавливания на плавающей оправке, обжима, раздачи, вытяжки с утонением и высадки.

Литые трубные заготовки из цветных металлов по ГОСТ 24301 Е, полученные методом полунепрерывной разливки, могут быть подвергнуты деформированию в горячем или холодном состоянии. В последнем случае — в условиях все-

стороннего неравномерного сжатия (например, с применением противодавления при выдавливании). Рациональный выбор технологического процесса ХОШ позволяет уменьшить разностепенность полуфабриката по сравнению с исходной заготовкой на 50 %.

Холодная штамповка хорошо совмещается и со сборочными операциями. Например, армированная колючая лента (АКЛ) изготавливается из стальной оцинкованной колючей ленты, штампуемой из рулонной оцинкованной стали толщиной 0,55 мм (ГОСТ 14918). Колючая лента в собранном виде армирована катаной проволокой диаметром 2,5 мм (ГОСТ 7372).

1.1.2. УРОВНИ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Автоматизация холодноштамповочных работ позволяет увеличить производительность труда и обеспечивает безопасность работы на прессах.

При ручной подаче заготовок и ручном удалении изделий и отходов число ходов пресса используется лишь на 25–30 %, а в ряде случаев и меньше. При полной автоматизации работы коэффициент использования числа ходов пресса достигает 80–95 %.

В случаях, когда полная автоматизация процессов штамповки экономически невыгодна, следует применять простейшую механизацию вспомогательных работ — подачи заготовок и удаления изделий и отходов.

Автоматизация холодноштамповочного производства осуществляется одним из следующих способов: автоматизацией штамповки на универсальных кривошипных и гидравлических прессах; применением универсальных штамповочных автоматов допускающих переналадку для изготовления различных изделий; применением специальных штамповочных автоматов, предназначенных для изготовления одного определенного изделия; комплексной автоматизацией с применением автоматических или автоматизированных линий, участков и цехов; применением автоматизированных и робототехнологических комплексов; использованием гибких производственных систем (ГПС).

Уровень возможной автоматизации процессов холодной штамповки зависит прежде всего от типа производства, а также от уровня его организационно-технологической подготовки.

В массовом производстве небольших деталей обычно осуществляется полная

комплексная автоматизация всех звеньев производственного процесса. При этом широко используются специальные прессы-автоматы. Для средних и крупных изделий применяются автоматические поточные линии.

В крупносерийном производстве используются универсальные штамповочные автоматы, а также производится автоматизация штамповки на универсальных прессах. При штамповке крупных деталей из больших и тяжелых листов механизмируются подача заготовок и удаление изделий при помощи механических рук, а также создаются автоматизированные поточные линии.

В среднесерийном и мелкосерийном производствах применяются полная или частичная автоматизация либо механизация штамповки на универсальных прессах, а также на универсальных штамповочных автоматах. При этом используют универсальные средства механизации, пригодные для транспортировки конкретных видов исходных заготовок.

Исходным материалом для штамповки деталей служат: сортовой и профильный прокат; рулон, лента, полоса, лист, объединяемые общим термином — листовая материал; предварительно полученная штучная заготовка (полуфабрикат) — плоскостная, пространственная листовая или объемная.

В зависимости от вида исходного материала (заготовки) применяются следующие технические средства (ТС) автоматизации и механизации подачи: для рулонного и полосового материалов — устройства различных типов; для листового материала — механизированные устройства подъема и направления листа или автоматизированные устройства подачи листа при штамповке типа зигзаг; для штучных загото-

вок — автоматизированные устройства подачи типа бункерных устройств и грейферных механизмов, а также механизированные устройства подачи типа лотковых, револьверных, фрикционных и магазинных механизмов, требующих ручной укладки заготовок в определенном положении.

Устройства для автоматической подачи рулонного и полосового материала имеют наибольшее распространение. Совместное применение ТС автоматизации подачи и комбинированных штампов последовательного или совмещенного действия позволяет полностью автоматизировать процесс штамповки.

Автоматизация подачи ленты осуществляется следующими устройствами: механизмами автоматической подачи ленты, смонтированными на универсальных прессах; механизмами подачи специальных штамповочных автоматов; механизмами подачи ленты, входящими в конструкцию штампа; универсальными съёмными механизмами подачи, монтируемыми к любому штампу.

Целесообразность применения тех или иных ТС механизации и автоматизации устанавливается экономическим расчетом. Кроме экономии на прямой заработной плате механизация и автоматизация процессов ХШ обеспечивает сокращение производственного цикла, уменьшение задела, ускорение оборачиваемости оборотных средств, уменьшение складских площадей.

В случае наиболее опасных работ, например с мелкими штучными заготовками, необходимо предусмотреть полную или частичную механизацию (хотя бы в виде автоматического сбрасывания и удаления деталей) независимо от экономической целесообразности ее применения.

В холодной штамповке механизуются и автоматизируются следующие элементы производственного процесса: подача прутков, полос, лент и штучных заготовок в процессе штамповки; удаление деталей и отходов из штампа; подсчет и укладка отштампованных деталей; управление процессами штамповки, сортировки, удаления брака или выключения пресса при появлении брака; межоперационная транспортировка заготовок (передача их с операции на операцию); удаление отходов из цеха.

По функциональному назначению автоматизирующие устройства операций ХШ можно разделить на три основные группы: ориентирующие и питающие устройства; подающие устройства; устройства для удаления деталей и отходов.

Автоматизация штамповки на *универсальных кривошипных прессах* производится двумя способами: применением автоматических и полуавтоматических штампов, снабженных механизмами для подачи заготовок; оснащением кривошипных прессов универсальными механизмами для подачи заготовок. Промежуточным вариантом является применение универсальных регулируемых механизмов подачи, пристраиваемых к любому разделительному штампу.

Последовательная штамповка в ленте при использовании комплекса ТС для автоматической подачи материала представляет собой максимально сконцентрированную автоматическую линию прямоточного типа с жесткой связью. То, что эта автоматическая линия функционирует с использованием только одного специального штампа последовательного действия и требует только одного пресса, является преимуществом данной линии.

Для автоматизации работы на обычных кривошипных прессах применяют следующие типы механизмов автоматической подачи заготовок: для ленточного материала — валковые, клещевые, клино-роликовые и крючковые; для штучных заготовок — магазинные, бункерные и механические руки.

Штамповка на *универсальных штамповочных автоматах* применяется в различных отраслях промышленности. К числу таких автоматов относятся: вертикальные автоматические прессы с валковой, клещевой и револьверной подачей заготовок; горизонтальные автоматические прессы с бункерной подачей заготовок; многопозиционные прессы; прессы-автоматы с нижним приводом; автоматические комплексы для штамповки из нарезанных полос.

Например, листоштамповочные многопозиционные автоматы предназначены для последовательного выполнения различных штамповочных операций в массовом производстве. Они позволяют автоматизировать весь производственный процесс изготовления деталей, включая межоперационную транспортировку полуфабрикатов, уборку отходов и т. д.

Специальные штамповочные автоматы предназначены для изготовления определенных изделий мелких и средних размеров в массовом производстве.

Комплексная механизация и автоматизация заготовительных и штамповочных процессов получила наибольшее применение в массовом и крупносерийном производствах, особенно при изготовлении металлоемких изделий, сопровождающемся большими грузопотоками заготовок, изделий и отходов.

1.1.3. ГИБКАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ

Гибкая производственная система (ГПС) — это низшая ступень гибкого автоматизированного производства (ГАП), система организации современного производства, допускающая возможность использования отдельных неавтоматизированных процессов. Необходимыми требованиями к ГПС являются гибкость и соединение всех компонентов в систему.

ГПС представляет собой в соответствии с ГОСТ 26228 совокупность (в разных сочетаниях) оборудования с ЧПУ и робото-технологический комплекс (РТК) или совокупность гибких производственных модулей (ГПМ), отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени, обеспечения автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах их характеристик.

Элементарной структурной единицей является ГПМ.

Необходимо учитывать возрастающую роль человеческого фактора в процессе гибкой автоматизации. Кооперация и взаимосвязь людей и интеллектуальных машин приобретают важное значение.

ГПС как система должна основываться на наиболее передовой технологии — не только на робототехнике и компьютеризированной инженерной технологии, но и на средствах взаимосвязи (ЭВМ, микропроцессоры, микроэлектроника, оптоэлектроника, технология программного обеспечения), достижениях фундаментальных наук, новых материалах, средствах контроля качества, организации производства.

ГПС характеризуют три признака: функционирование в автоматическом режиме; наличие средств автоматизированной переналадки; возможность использования в условиях многономенклатурного производства. Основными критериями эффективности ГПС являются универсальность, мобильность, производительность.

На базе ГПС создаются гибкие автоматизированные производства. Понятие ГАП означает более высокую степень автоматизации, исключающую неавтоматизированные технологические процессы, но допускающую участие человека в выполнении вспомогательных операций и управлении.

Наиболее высокая степень — это гибкая автоматизированная производственная система (ГАПС), исключающая использование труда человека в процессе самого производства.

Разработка и создание ГПС — это новая долговременная стратегия развития современной промышленности. Достичь значительного повышения производительности труда, увеличения выпуска продукции можно только на основе комплексной автоматизации и перехода к ГПС, ГАП, ГАПС и создания в конечном итоге безлюдных технологий и заводов.

Общими тенденциями развития ГПС будут следующие: постепенность перехода от достигнутого уровня РТК к ГПМ, от производственных систем типа РТУ (роботизированный технологический участок) к ГПС типа гибкого автоматизированного участка (ГАУ) и гибкого автоматизированного цеха (ГАЦ); модульность компоновок комплексов, линий, участков и цехов; комплексная автоматизация и ее последовательная реализация, включая автоматизацию циклов обработки, транс-

портирование и автоматизацию переналадок, которые могут быть внутривариантными, межвариантными и межцикловыми, а также контроля качества, диагностики, программного обеспечения.

Рассмотренные ниже холодноштамповочные обрабатывающие центры (ОЦ) и некоторые РТК могут быть использованы для работы в условиях ГПС, если они удовлетворяют вышеприведенным требованиям.

В связи с этим увеличивается потребность предприятий в использовании компьютерных средств автоматизации технологических процессов ХПП. Компьютерные средства применяются как на отдельных видах оборудования, так и в рамках АСУ ТП.

При создании ГАП в листоштамповочном производстве необходимо выполнить следующие разработки:

- провести классификацию деталей в целях определения групп деталей, требующих сходных технологических процессов, и в пределах этих групп провести унификацию конструкций и размерных характеристик деталей в целях уменьшения числа рабочего инструмента и исходных заготовок;
- определить для каждой из установленных групп деталей возможные варианты технологических процессов, при которых число изменяемого инструмента будет минимальным, выбрать оптимальный типовой и групповой технологический процесс;
- спроектировать и изготовить оснастку, определить тип и количество оборудования, необходимого для изготовления всей номенклатуры деталей по выбранной технологии, допускающих автоматическую переналадку;
- выбрать и сконструировать манипулирующие устройства, конвейеры,

роботы, обеспечивающие подачу исходных заготовок со склада к рабочему оборудованию, транспортировку полуфабриката в процессе обработки, удаление отхода и скомплектованных готовых деталей с контролем их качества;

- выбрать или разработать рациональные конструкцию и план расположения склада сменного рабочего инструмента, упрощающего автоматизацию выбора, транспортировки и установки инструмента в рабочей машине, а также его замены с последующим размещением в ячейках склада инструмента;

- выбрать компьютерную и микропроцессорную технику, обеспечивающую управление работой всех элементов производства, а также осуществляющую его технологическую подготовку.

Следует иметь в виду, что с развитием ГАП в листоштамповочном производстве актуальной задачей становится разработка принципиально новых технологических процессов и соответствующего оборудования, которые наилучшим образом отвечают требованиям автоматизации переналадок.

1.2. ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Операции разделения исходного металла (прутков, труб, полос, профилей) на заготовки самые распространенные в металлообрабатывающем производстве. Экономичность их существенно влияет на эффективность всего технологического процесса штамповки и прежде всего на расход металла. Наиболее распространенные из них — холодная ломка и отрезка от прутка в штампах и ножницами.

1.2.1. ХОЛОДНАЯ ЛОМКА

Способ представляет собой разделение проката на заготовки разрушением по предварительно нанесенным концентраторам напряжений (надрезам) путем поперечного статического или динамического нагружения. Холодная ломка является производительным безотходным способом разделения проката из твердых металлов: сталей 45, 40Х, ШХ15 и др. Мягкие металлы при холодной ломке сильно деформируются, поэтому для них она мало пригодна. Применяют ломку низкоуглеродистых сталей с нагревом до 250–300 °С преимущественно для разделения прутков с диаметром сечения более 50 мм на заготовки длиной более 0,8 диаметра сечения. Особенно эффективна ломка для разделения проката больших сечений. Технологические схемы ломки представлены на рис. 1.1.

Различают одноопорную, двухопорную и консольную ломки. Наименьшую точность поверхности раздела имеют заготовки, полученные консольной ломкой, что объясняется асимметрией нагружения. Ломке предшествуют разметка прутка и нанесение на нем надрезов на глубину h , определяемую по эмпирической формуле

$$h = K\sqrt[3]{a},$$

где a — высота или диаметр сечения, мм; $K = 1 \div 2$ — коэффициент, зависящий от прочности сталей (для хрупких сталей $K = 1$).

Для сечений высотой более 50 мм глубина надреза не превышает $h_{\max} = 0,05a + 3$ (мм). При чрезмерной глубине надреза качество ломки ухудшается.

Надрез наносят разными способами: газовой резкой, дисковой пилой и др. В современных прессах-хладноломах

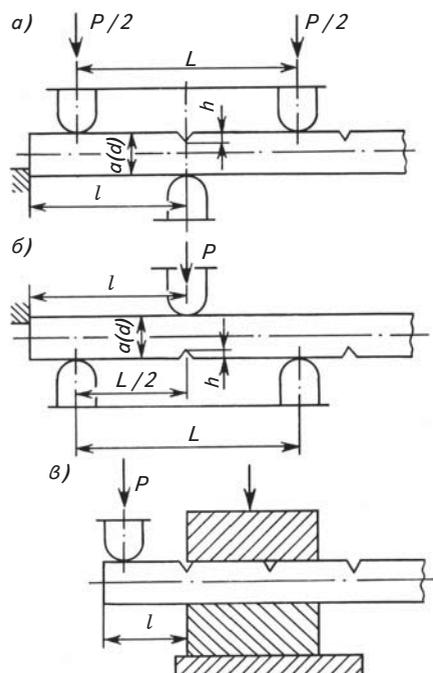


Рис. 1.1. Холодная ломка: а — одноопорная; б — двухопорная; в — консольная

концентраторы напряжений наносят вдавливанием специального пуансона, образующего на прутке канавку с профилем равностороннего треугольника. Ширина b надреза зависит от способа его нанесения и не превышает 5–8 мм. Форма и размеры надреза влияют на эффективность ломки. Чем надрез уже и чем меньше радиус основания, тем больше проявляется концентрация напряжений и эффективнее ломка.

Ломку выполняют на универсальных кривошипных и гидравлических прессах и специальных вертикальных и горизонтальных гидравлических прессах. Одноопорная ломка безопаснее, так как отделяемая заготовка перемещается свободным концом вниз.

Усилие ломки определяют по следующим формулам:

для круглого профиля:

$$P = K_1 \frac{0,4d^3 \sigma_B}{L};$$

для квадратного профиля при ломке по стороне сечения:

$$P = K_1 \frac{0,7a(a-h)^2 \sigma_B}{L};$$

для квадратного профиля при ломке по диагонали:

$$P = K_1 \frac{0,5a^3 \sigma_B}{L},$$

где K_1 — коэффициент, учитывающий характер действия усилия, форму сечения и другие факторы: $K_1 = 0,8 \div 1,1$ — при ломке круглого и квадратного профилей по диагонали; $K_1 = 1,05 \div 1,1$ — при ломке квадратного профиля по стороне сечения; d и a — диаметр и сторона квадрата сечения; L — расстояние между опорами, $L \approx 2a$.

Преимущества холодной ломки: малая энергоемкость, простота и долговечность инструмента, возможность безотходного разделения проката больших сечений и использования универсальных прессов, а также возможность контролировать по излому качество металла.

Недостатки холодной ломки: неуниверсальность способа (непригодность для разделения труб, профилей и пластичных металлов); необходимость предварительного нанесения надреза; отклонение от плоскостности и высокая шероховатость поверхности торцов получаемых заготовок; нестабильность размеров и объема заготовок; образование торцовых трещин при ломке прутков из некоторых высоколегированных сталей; необходимость специальных мероприятий по технике безопасности для защиты от возможного отделения

кусочков металла, отлетающих с большой скоростью, и от удара резко перемещающимися прутком и отделяемой заготовкой; повышенный уровень шума.

Эффективно применение холодной ломки для разделения прутков, малых сечений, но для этого необходимо наличие комплекса специализированного оборудования. Технологический процесс разделения прутка круглого профиля с использованием специализированного оборудования включает нагрев, продавливание роликом канавки по периметру сечения, закалку и ломку. Заготовки, изготовленные на этом оборудовании, имеют чистую, ровную торцовую поверхность и однородную структуру металла.

1.2.2. ОТРЕЗКА ОТ ПРУТКА ЗАГОТОВОК ИЗ СОРТОВОГО ПРОКАТА В ШТАМПАХ И НОЖНИЦАМИ

Отрезку в штампе или сортовыми ножницами производят без отхода металла путем смещения (сдвига) отрезаемой части прутка по поверхности раздела под воздействием сближающихся ножей. Это наиболее распространенный и экономичный способ разделения проката на заготовки. Точность формы и размеров отрезаемой заготовки зависит от степени развития пластической деформации и характера разрушения. В общем случае поверхность заготовки (рис. 1.2) состоит из недеформированного участка 1, участка смятия 2, участка утяжки 3, гладких («блестящих») поясков 4 и шероховатых волнообразных участков отрывов 5 на торцах. В зависимости от свойств разрезаемого металла, способа и условий отрезки, размеров заготовки отдельные участки могут быть

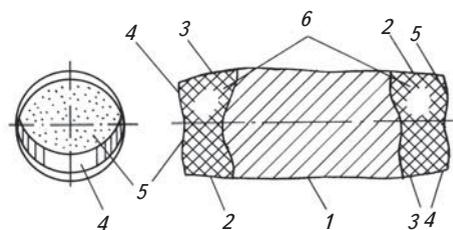


Рис. 1.2. Выделение характерных участков в зоне пластической деформации заготовки, отрезанной от прутка:

1 — недеформируемый участок; 2 — участок смятия; 3 — участок утяжки; 4 — участок сдвига (блестящий пояс); 5 — участок отрыва; 6 — деформируемые участки

более или менее выражены или отсутствовать вовсе. В заготовке различают передний Π и задний Σ концы. Искажения формы больше у заднего конца. От торцов в глубь заготовки распространяются зоны пластической деформации 6, в которых при холодной разрезке металл упрочняется, изменяя структуру и механические характеристики.

Отрезка в штампах и ножницами может быть выполнена следующими способами.

Открытая отрезка (рис. 1.3, а) не ограничивает подвижность прутка и его отрезаемой части относительно ножей. Способ не обеспечивает получения заготовок точной формы и потому находит лишь ограниченное применение в единичном производстве для отрезки длинных заготовок ручными ножницами.

Не полностью открытая отрезка, приведенная на рис. 1.3, б и в, обеспечивает ограничение поворота прутка в неподвижном ноже, но подвижность отрезаемой части не ограничена, как и при открытой отрезке. Этот способ также не обеспечивает точной формы отрезаемых заготовок. Благодаря применению открытого подвижного ножа отличается простотой удаления заготовки («на провал»). Способ эффекти-

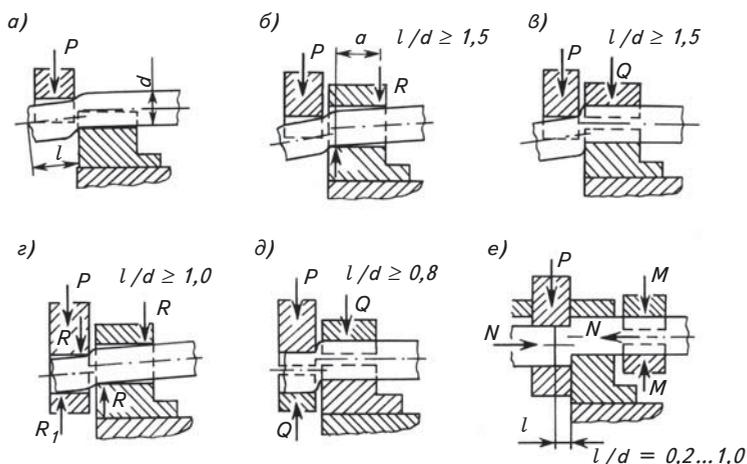


Рис. 1.3. Схемы резки заготовок сдвигом: *a* — открытая без прижима; *б, в* — не полностью открытые (*б* — с пассивным поперечным зажимом; *в* — с активным поперечным зажимом); *з, д* — не полностью закрытые (*з* — с пассивным поперечным зажимом; *д* — с активным поперечным зажимом); *е* — закрытая с осевым сжатием

вен при высокой скорости отрезки (более 40 м/с).

Не полностью закрытая отрезка принципиально отличается от не полностью открытой тем, что исключена возможность поворота и изгиба не только прутка, но и его отрезаемой части. Это достигается пассивным (рис. 1.3, *з*) или активным (рис. 1.3, *д*) поперечным зажимом прутка в ножах. Заготовки, отрезанные по этому способу, имеют значительно меньшее искажение формы. Поэтому не полностью закрытая разрезка является в настоящее время основным способом безотходной разрезки в штампах и сортовых ножницами точных заготовок длиной более 0,8 высоты сечения прутка. Не полностью закрытую отрезку с пассивным поперечным зажимом чаще всего производят в штампах с цельными втулочными ножами (с поперечным зазором между прутком и ножом), а с активным поперечным зажимом — в штампах с открытыми ножами-полу-

втулками и зажимными устройствами, обеспечивающими прижим прутка к ножам внешней силой *Q*. Эта схема является наилучшей схемой не полностью закрытой разрезки и обеспечивает отрезку наиболее точных заготовок.

Закрытая отрезка (рис. 1.3, *е*) отличается от предыдущих тем, что отрезаемая часть прутка, замкнутая в полости ножей, подвергнута осевому сжатию, вследствие чего в зоне реза создается благоприятное для пластической деформации напряженное состояние всестороннего сжатия. При достаточных удельных усилиях осевого сжатия [$q_{oc} = (2 \div 5) \sigma_r$] разделение происходит путем пластического сдвига без разрушения. Заготовка составляет одно целое с прутком до полного отделения (рис. 1.4). Торцы заготовки имеют гладкую ровную, перпендикулярную к оси заготовки поверхность.

Вырывы на торцах наблюдаются при отрезке твердых сталей с чрезмерным осевым зазором. Примеры неодно-

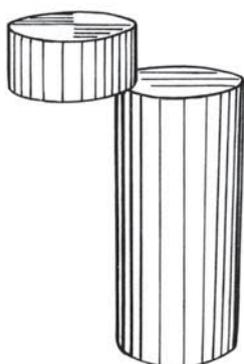


Рис. 1.4. Форма торцов заготовки при закрытой отрезке с осевым сжатием

родности и возможные дефекты на торцах заготовок, отрезанных сдвигом, приведены на рис. 1.5–1.7. При неправильном ведении холодной отрезки прутков из твердых хрупких сталей в приторцовых зонах могут возникнуть торцовые (рис. 1.7, з) или поперечные (рис. 1.7, д) трещины. Иногда трещины образуются не сразу, а через некоторое время после отрезки.

Закрытая отрезка — единственный из четырех способов, пригодный для отрезки геометрически точных, коротких заготовок длиной более 0,2 высоты сечения прутка.

Закрытая отрезка имеет существенный недостаток. Под влиянием больших усилий осевого сжатия при закры-

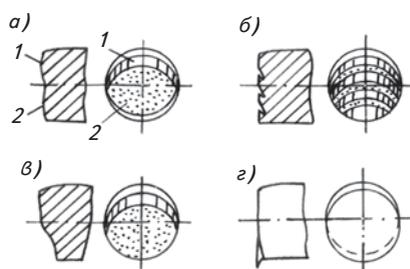


Рис. 1.5. Неоднородности и возможные дефекты на торцах заготовок, отрезанных сдвигом: а, б — неоднородность поверхности; в — несколько гладких поясков; з — ступенчатый торец;

1 — плоский гладкий пояс; 2 — шероховатая волнистая поверхность

той разрезке происходят схватывание металлов прутка и ножей и образование дефектов (задиры) на торцах заготовки и плоскостях ножей. Поэтому применение этого способа возможно только для разрезки на точные заготовки медных прутков и прутков из мягкого алюминия, у которых схватывание проявляется незначительно.

Наиболее распространенным и производительным способом разделки исходного проката сечением до 250×250 мм является отрезка его пресс-ножницами. В условиях массового производства пресс-ножницы часто встраивают в основной штамповочный комплекс, где производят отрезку мерных заготовок от предварительно нагретого прутка. В ос-

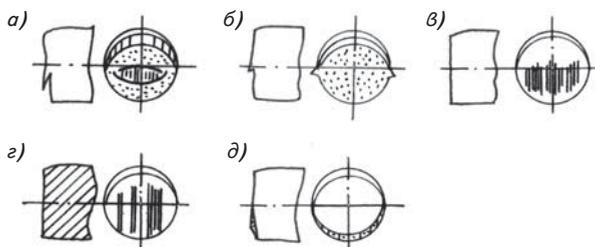


Рис. 1.6. Неоднородности и возможные дефекты на торцах заготовок, отрезанных сдвигом: а, б — заусенцы (а — торцовый; б — боковой); в — пригар; з — наплыв; д — задиры

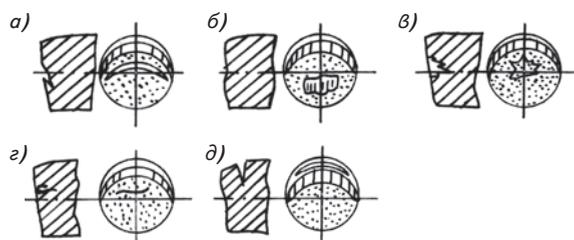


Рис. 1.7. Неоднородности и возможные дефекты на торцах заготовок, отрезанных сдвигом: а — скол; б — зарез; в — выров; г — торцовые микро- и макротрещины; д — поперечные трещины

тальных случаях отрезку заготовок производят на заготовительных участках. При этом малоуглеродистые и углеродистые конструкционные стали разрезают в холодном, а высокоуглеродистые и специальные — в нагретом состоянии при температурах от 400 до 750 °С.

От температуры металла и скорости деформирования существенно зависит качество получаемых заготовок.

Отрезка с нагревом. Нагрев проката перед отрезкой применяют в целях предотвращения образования дефектов, снижения усилия отрезки или повышения точности отрезаемых заготовок. Для предотвращения трещин при отрезке прутков, охлажденных в зимнее время на улице, их подвергают подогреву перед отрезкой до температур 50–200 °С. При подогреве также устраняются масляные пятна и ледяная корка. Среднеуглеродистые стали подогревают в водяной ванне до 50 °С, высокоуглеродистые и низколегированные — до 80 °С.

Прутки больших сечений из легированных и высокоуглеродистых сталей проявляют склонность к образованию трещин во время отрезки как без нагрева, так и при небольшом подогреве, поэтому их приходится нагревать перед отрезкой до более высоких температур. Размеры поперечных сечений прутков из высокоуглеродистых и легированных

сталей, перед разрезкой которых необходим нагрев до 400–500 °С, приведены ниже:

σ_v , МПа	500	600	800	1000
d , мм, не менее	100	80	60	50

При разрезке в холодном состоянии прутков крупных сечений из высокоуглеродистых, легированных сталей и высокопрочных сплавов для уменьшения усилия отрезки и устранения динамического характера нагружения прокат перед разрезкой нагревают до температур 450–600 °С (табл. 1.7).

Для повышения геометрической точности заготовок, отделяемых не полностью открытой или не полностью закрытой отрезкой от проката из низкоуглеродистых сталей, применяют нагрев до температур зоны синеломкости. Так, нагрев прутков из стали 10 в интервале 100–150 °С и стали 20 в

Т а б л и ц а 1.7
Температура нагрева сталей перед разрезкой для снижения усилия отрезки, °С

Сталь	Диаметр или сторона квадрата, мм	
	До 50	Свыше 50
40, 45, 50, 55, 50Г	450–500	450–500
40Х, 40ХС, 18ХГТ, 30ХГТ, 40ХН, 12ХНЗА, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А	500–550	550–600
30ХНЗА, 40ХНЗА	550–600	550–600