



ДЛЯ ВУЗОВ

В.Ю. Лавриненко

ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
КОВКИ НА МОЛОТАХ
ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ
БАБОЙ МОЛОТА
С НАПОЛНИТЕЛЕМ

Учебное пособие

Допущено федеральным учебно-методическим объединением в системе высшего образования по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 15.00.00 «Машиностроение» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлению подготовки бакалавриата, магистратуры, специалитета 15.00.00 «Машиностроение»

МОСКВА
Инновационное машиностроение
2020

УДК 621.771
ББК 34.623
Л13

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н.Э. Баумана, С.А. Евсюков

д-р техн. наук, проф., руководитель научной школы при Орловском государственном университете им. И.С. Тургенева, Лауреат Государственной премии РФ и премии Правительства РФ в области науки и техники, В.А. Голенков

Лавриненко В.Ю.

Л13 Проектирование технологических процессовковки на молотах при деформировании бабой молота с наполнителем. М.: Инновационное машиностроение, 2020. – 120 с.

ISBN 978-5-907104-37-2

На основе экспериментально-теоретических исследований процесса ударного деформирования при ковке бабой молота с наполнителем в виде стальных шариков разработаны рекомендации по расчету технологических процессовковки на молотах при деформировании заготовок бабой молота с наполнителем. Приведены примеры расчета технологических процессовосадки, протяжки и прошивки заготовок на ковочных молотах, включающие расчет режимовковки и размеров заготовки, определение массы падающих частей молота и выбор ковочного молота, определение числа ударов молота, расчет основных параметров бабы молота с наполнителем.

Учебное пособие предназначено для научных и инженерно-технических работников, занимающихся разработкой технологииковки и горячей объемной штамповки на молотах, может быть полезно преподавателям, аспирантам и студентам технических вузов.

УДК 621.771
ББК 34.623

ISBN 978-5-907104-37-2

© ООО «Издательство «Инновационное машиностроение», 2020

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускается только с разрешения издательства и со ссылкой на источник информации.

Оглавление

Введение	5
Глава 1. Технологические процессы осадки, протяжки и прошивки на молотах	10
Глава 2. Особенности конструкций ковочных молотов	19
Глава 3. Повышение эффективностиковки на молотах при использовании бабы молота с наполнителем	26
3.1. Особенности формоизменения заготовки при осадке, протяжке и прошивке бабой молота с наполнителем	26
3.2. Определение сил деформирования и работы деформации при осадке	53
3.3. Процесс горячего деформирования стальных заготовок при осадке бабой молота с наполнителем	59
3.4. Определение работы деформации и массы падающих частей ковочных молотов при деформировании бабой молота с наполнителем	63
Глава 4. Разработка технологических процессовковки на молотах при деформировании бабой молота с наполнителем	74
4.1. Общие сведения	74
4.2. Разработка чертежа поковки	80
4.3. Расчет режимов осадки, протяжки и прошивки. Определение массы и размеров заготовки	81
4.4. Температурный интервалковки, режимы нагрева заготовки и охлаждения поковки	86

4.5. Определение работы деформации и массы падающих частей молота. Выбор ковочного молота	96
4.6. Конструктивные параметры бабы ковочного молота с наполнителем	101
Глава 5. Примеры расчетов технологических процессов осадки, протяжки и прошивки на молотах при деформировании бабой молота с наполнителем	105
Глава 6. Применение бабы молота с наполнителем для модернизации штамповочного молота модели М2140 с массой падающих частей 1000 кг	109
Заключение	116
Список литературы	118

Введение

В современном заготовительном производстве одними из основных способов изготовления заготовок деталей различных форм и размеров являются ковка и горячая объемная штамповка на молотах, применение которых обеспечивает получение стабильного качества поковок, обладающих требуемыми механическими свойствами. Ковкой и штамповкой на молотах получают около половины всех изготавливаемых поковок.

Главные преимущества ковки на молотах: кратковременность процесса деформирования (не более 0,01 с), обеспечивающая минимальное остывание поверхности нагретой заготовки; получение крупных поковок массой до одной тонны и длиной до нескольких метров; небольшие силы деформирования при ковке относительно крупных по массе и сложных по конфигурации поковок и, вследствие этого, использование оборудования относительно небольшой мощности; простота конструкции и управления, невысокая стоимость ковочных и штамповочных молотов; применение при ковке универсальных машин и универсального инструмента, снижающее затраты на оборудование и инструмент в основном при единичном и мелкосерийном производстве.

Основные ковочные операции – осадка, протяжка и прошивка. Осадку применяют как основную определяющую операцию для получения формы детали (поковки дисков, фланцев, шестерен), так и как предварительную операцию для получения поковки с размерами, необходимыми для последующей штамповки, увеличения уковки, уменьшения анизотропии механических свойств, уменьшения глубины прошивки и обеспечения необходимого расположения волокон в будущей детали. При горячей объемной штамповке осадка может быть заготовительной операцией.

В процессе протяжки удлиняется заготовка или ее часть за счет уменьшения площади поперечного сечения. При каждом ударе молота происходит, по существу, осадка некоторой части заготовки. Протяжкой устраняют внутренние дефекты и улучшают механические свойства металла в осевом направлении заготовки.

Для получения отверстий в поковках, полученных после осадки исходных заготовок, проводят прошивку.

Эффективность ударного деформирования при ковке на молотах определяют коэффициентом полезного действия (КПД) удара, который равен отношению работы пластической деформации $A_{\text{деф}}$ заготовки к энергии падающих частей молота L в начале удара.

Основной недостатокковки на молотах – низкий КПД удара вследствие возникновения при ударе больших сил и потерь энергии на упругую деформацию поковки и деталей молота, трение и колебания шабота и фундамента. Это снижает КПД работы всего молота и повышает расход энергии.

Ударное деформирование заготовки на молоте происходит за счет энергии падающих частей молота. При этом процесс удара разделяют на две фазы – нагрузочную (фаза деформации) продолжительностью t_1 и разгрузочную (фаза восстановления) продолжительностью t_2 . В течение первой фазы монотонно нарастают ударные силы, при этом кинетическая энергия переходит в энергию упругого и пластического деформирования заготовки и упругого деформирования деталей и узлов молота. Затем начинается вторая фаза процесса с монотонным спадом ударных сил до прекращения контакта инструмента и заготовки. Полную продолжительность удара t_y определяют суммой времени нагрузочной t_1 и разгрузочной t_2 фаз удара.

Вследствие импульсного характера нагрузки в деформируемой заготовке возникают возмущения – продольные и поперечные волны упругой деформации. Продольные волны вызывают линейные смещения элементов заготовки, поперечные волны приводят к появлению сдвиговых деформаций, изменяющих ее форму. С течением времени деформация, возникающая при ударном нагружении, распространяется вдоль заготовки в продольном направлении в виде волны упругой деформации. За фронтом волны заготовка деформирована, и частицы материала движутся. Перед

фронтом волны заготовка не деформирована и находится в состоянии покоя. Весь остальной материал заготовки, удаленный от места приложения нагрузки, в течение некоторого конечного промежутка времени остается недеформированным.

По данным Г. Кольского, В.Л. Бидермана, В. Гольдсмита, Дж. Коллинза и других ученых, согласно общему решению волнового уравнения, деформации в каждой точке заготовки в любой момент времени представляют в виде суммы прямой и обратной волн деформации, распространяющихся навстречу друг другу от ударного и опертого концов заготовки с одинаковыми скоростями.

При продольном ударе по концу заготовки скорость движения падающих частей молота уменьшается от начальной скорости удара до нуля. При этом с течением времени до нуля также будут уменьшаться сила на конце заготовки и сжимающие напряжения в заготовке.

Если амплитуда деформации в волне столь велика, что возникающие напряжения превосходят предел упругости материала заготовки, то при прохождении волны в заготовке появляются пластические деформации. В этом случае в заготовке начинают распространяться упругие и пластические волны напряжений, называемые упругопластическими. При этом упругопластическая волна напряжений состоит из упругой зоны (упругого предвестника), распространяющейся со скоростью c_0 , и пластической зоны, называемой пластической волной и распространяющейся со скоростью c_p . По данным Дж. Коллинза, для стали скорость $c_p = c_0/(1,2...1,3)$. При этом заготовка поглощает значительную часть энергии падающих частей молота, большая часть которой расходуется на пластическую деформацию или разрушение, сопровождающиеся процессами скольжения и двойникования.

Напряжение в упругой зоне зависят от предела текучести материала заготовки, а в пластической зоне — от возникающей ударной нагрузки. При этом полное сжимающее напряжение на ударяемом конце заготовки в любой момент времени равно сумме сжимающих напряжений, вызываемых упругой и пластической волнами, движущимися в течение этого времени от ударяемого конца заготовки и к ударяемому концу заготовки сжимающих напряжений. Полное напряжение сжатия на опертом конце заготовки является

наибольшим из всех напряжений, возникающих в заготовке при ударе, в момент достижения опертого конца прямой волной и равно сумме напряжения прямой и отраженной волны. Окончание удара определяют условием равенства нулю полного напряжения на ударяемом конце стержня.

При увеличении продолжительности удара (времени контакта верхнего бойка молота и заготовки) увеличивается количество и продолжительность прямого и обратного прохождений волн упругой и пластической деформации по заготовке, что увеличивает продолжительность и величину пластической деформации заготовки. Таким образом, за большее время деформирования будет совершена большая работа пластической деформации заготовки, что увеличит КПД удара.

Скорости начала деформирования на ковочных молотах составляют от 4 до 9 м/с, при этом продолжительность удара находится в пределах от 0,01 до 0,001 с. Это приводит к высокой скорости деформации заготовки. С увеличением скорости деформации могут снижаться пластические свойства и возрастать сопротивление деформированию материала заготовки. Это объясняется тем, что процесс рекристаллизации и разупрочнения наклепанного металла, нагретого до ковочных температур, протекает во времени и при большой скорости деформирования может не завершиться.

Если увеличить продолжительность удара, то уменьшится скорость деформации, при этом ударное деформирование при осадке заготовки может проходить при более благоприятных условиях (небольшие значения сопротивления деформированию и повышенная пластичность), что также может увеличить КПД удара. Повышение КПД удара позволит повысить КПД и производительность работы молота, снизить расход энергии и затраты на производство.

Охлаждение заготовки при увеличении продолжительности удара и контакта инструмента с заготовкой при каждом ударе молота увеличится незначительно (например, штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах, имеющих на порядок меньшую скорость деформирования и значительно большее время контакта инструмента и заготовки, не сопровождается интенсивным охлаждением заготовки, особенно при осадке в заготовитель-

ном ручье). Однако чрезмерное увеличение продолжительности контакта инструмента с заготовкой может привести к значительному охлаждению заготовки и снижению стойкости инструмента (например, при работе на гидравлических прессах). Увеличение продолжительности удара и величины деформации заготовки на каждом ударе при ковке на молоте приведет к сокращению общего числа ударов молота для получения поковки заданных размеров, что, в свою очередь, снизит интенсивность охлаждения поковки за весь технологический процессковки и штамповки, например, при использовании осадки в качестве заготовительной операции перед штамповкой.

Применение в процессе ударного деформирования при ковке заготовок бабы молота с наполнителем в виде стальных шариков с целенаправленным увеличением продолжительности ударного взаимодействия приводит к увеличению продолжительности нагрузочной фазы удара (до 3 раз), увеличению интенсивности формоизменения и степени деформации заготовок (до 1,2 раз), снижению силы деформирования (до 1,3 раза) и увеличению работы пластической деформации и КПД удара (до 1,12 раза) по сравнению с ковкой стандартной бабой.

Рекомендации по расчету и проектированию технологических процессов осадки, протяжки (протяжку рассматривают как последовательную местную осадку заготовки) и прошивки на молотах при деформировании заготовок бабой молота с наполнителем включают расчет размеров заготовки, определение массы падающих частей молота и выбор ковочного молота, определение числа ударов молота, расчет основных конструктивных параметров бабы молота с наполнителем в виде стальных шариков. Предложенные рекомендации по проектированию технологических процессовковки на молотах при деформировании заготовок бабой молота с наполнителем позволят получать поковки с требуемыми механическими свойствами, увеличить эффективность ударного деформирования на молотах и производительность работы оборудования, снизить расход энергии и затраты на производство.