

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **13344**

(13) **С1**

(46) **2010.06.30**

(51) МПК (2009)

В 21К 21/00

В 21К 5/00

(54)

**СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА СТЕРЖНЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ
С ГЛУБОКИМИ ГЛУХИМИ ПОЛОСТЯМИ**

(21) Номер заявки: а 20070396

(22) 2007.04.12

(43) 2008.12.30

(71) Заявители: Белорусский национальный технический университет; Республиканское унитарное производственное предприятие "Кобринский инструментальный завод "СИТОМО" (ВУ)

(72) Авторы: Клушин Валерий Александрович; Ковальчук Олег Николаевич (ВУ)

(73) Патентообладатели: Белорусский национальный технический университет; Республиканское унитарное производственное предприятие "Кобринский инструментальный завод "СИТОМО" (ВУ)

(56) РАСКИНД В.Л. Справочник молодого кузнеца-штамповщика.- М.: Высшая школа, 1985.- С. 119-123.

RU 2071863 С1, 1997.

SU 1570831 А1, 1990.

US 3186209, 1965.

RU 2074048 С1, 1997.

US 4416141, 1983.

(57)

1. Способ производства стержневого изделия с глубокими глухими полостями, включающий нагрев исходной заготовки, предварительное многоступенчатое профилирование заготовки прокаткой и формообразование ее в формовочном и прошивных ручьях штамповкой, **отличающийся** тем, что предварительное многоступенчатое профилирование заготовки осуществляют поперечно-клиновой прокаткой с последующей калибровкой, при этом калибровку проводят с накоплением в осевых зонах ступеней заготовки, подвергаемых последующей прошивке, деформаций, близких к критическим значениям до уменьшения плотности материала сердцевины заготовки по сравнению с периферией, а штамповку заготовки осуществляют в следующей последовательности: на первом переходе в одном из концевых участков заготовки на ступени большего диаметра осуществляют окончательное формообразование обратным выдавливанием, а на втором и последующих переходах на ступени меньшего диаметра этого же концевого участка заготовки осуществляют глубокую прошивку путем радиальной раздачи металла с возможностью неполного заполнения торцевой наружной поверхности прошиваемой ступени меньшего диаметра в пределах припуска, затем штампуют второй концевой участок заготовки аналогично первому.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что накопление деформаций, близких к критическим значениям в осевых зонах заготовки, осуществляют путем увеличения количества циклов нагружения до 4-10, причем двум циклам нагружения соответствует один полный оборот заготовки.

3. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что обратное выдавливание осуществляют по следующему технологическому циклу: осадка, радиальная раздача и выдавливание металла навстречу движению пуансона.

4. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что окончательное формообразование обратным выдавливанием совмещают с формообразованием в ступени меньшего диаметра заготовки наметки под прошивку глубокого глухого отверстия.

Изобретение относится к обработке металлов давлением и может быть использовано при разработке малоотходных процессов формообразования поковок стержневых изделий с глубокими глухими полостями, преимущественно ключей торцовых и других деталей типа стержней с утолщением на одном или на обоих концевых участках, допускающих по конструктивным соображениям глухие полости значительной глубины. Полости могут иметь функциональное или технологическое назначение, а также являться средством для уменьшения массы изделий.

Поковки таких изделий изготавливают, как правило, штамповкой на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) за 4-7 переходов с использованием наборных, формовочных и прошивных ручьев штампа [1].

Известный способ [1] включает нагрев всей исходной заготовки или отдельный нагрев концевых участков заготовки, предварительное профилирование концевых участков заготовки высадкой в наборных и предварительном формовочном ручьях штампа ГКМ и окончательное формообразование поковки в окончательном формовочном и прошивных ручьях этого же штампа.

При профилировании исходной заготовки под последующую штамповку торцовых ключей с глубокими глухими полостями высадкой образуют на концевых участках заготовки по две ступени, одну большего и вторую меньшего диаметров [2].

Размеры ступеней определяют путем построения расчетной заготовки (в любом характерном сечении расчетной заготовки площадь ее поперечного сечения равна соответствующей площади поперечного сечения поковки).

Недостаток известного способа заключается в том, что для производства указанного типа поковок на ГКМ требуется большее количество переходов, чем допустимо при штамповке на одной машине. Это вызывает необходимость использования двух ГКМ для штамповки одной поковки или на ГКМ выполняют наметку глухого отверстия, а окончательное формообразование глухих полостей осуществляют на металлорежущем оборудовании. Такая технология мало производительна, а в случае использования металлорежущего оборудования для формообразования глухих полостей малоэффективна, так как до 20 % и более металла уходит в стружку.

Кроме того, высадкой на ГКМ не всегда возможно осуществить предварительное профилирование исходной заготовки с оптимальной геометрией, необходимой для получения окончательного формовочного перехода. В связи с чем в известном способе не всегда возможно обеспечить прошивку глубоких глухих полостей с одновременным формообразованием наружных поверхностей поковки только за счет радиальной раздачи металла. На конечном этапе глубокой прошивки, кроме радиальной раздачи металла, имеет место обратное выдавливание металла навстречу движению пуансона, что вызывает увеличение усилия деформации и снижение стойкости прошивных пуансонов из-за увеличения сопротивления металла деформации и трения горячего металла о пуансон.

В качестве прототипа выбран способ производства стержневых изделий с глубокими глухими полостями, включающий нагрев исходной заготовки, предварительное многоступенчатое профилирование заготовки прокаткой и формообразование ее в формовочном и прошивных ручьях штамповкой [3].

Недостаток известного способа заключается в его ограниченных технологических возможностях из-за того, что прокаткой (вальцовкой) невозможно осуществить высокоточное профилирование исходной заготовки.

ВУ 13344 С1 2010.06.30

Точность размеров прокатываемых ступеней составляет ± 1 мм [2], что недостаточно для обеспечения глубокой прошивки только за счет радиальной раздачи металла. Прокаткой (вальцовкой) можно обеспечить лишь предварительное профилирование под последующую штамповку поковок, в том числе и на ГКМ, с образованием облоя на поковке.

Кроме того, прототипу присущи и другие недостатки аналога, такие как:

низкая стойкость прошивных пуансонов;

большие усилия деформации при глубокой прошивке.

Указанные недостатки обусловлены также невысокой точностью профилированной заготовки и большим сопротивлением металла профилированной заготовки ее глубокой прошивке в процессе последующей штамповки поковки.

В основу изобретения положена задача повышения точности предварительного многоступенчатого профилирования заготовок и снижения усилия деформаций при их последующей глубокой прошивке за счет оптимизации формы и размеров профилированной заготовки и режимов деформации при прокатке для уменьшения сопротивления деформации металла при глубокой прошивке, а также повышения качества готового изделия - поковок стержневых изделий с глубокими глухими полостями - путем обеспечения оптимальных технологических режимов (циклов) и последовательности выполнения операций предварительного многоступенчатого профилирования заготовки и последующей ее штамповки.

Поставленная задача достигается тем, что в способе производства стержневых изделий с глубокими глухими полостями, включающем нагрев исходной заготовки, предварительное многоступенчатое профилирование заготовки прокаткой и формообразование ее в формовочном и прошивных ручьях штамповкой, согласно изобретению, предварительное многоступенчатое профилирование заготовки осуществляют поперечно-клиновой прокаткой с последующей калибровкой, при этом калибровку проводят с накоплением в осевых зонах ступеней заготовки, подвергаемых последующей прошивке, деформаций, близких к критическим значениям до уменьшения плотности материала сердцевины заготовки по сравнению с периферией, а штамповку заготовки осуществляют в следующей последовательности: на первом переходе в одном из концевых участков заготовки на ступени большего диаметра осуществляют окончательное формообразование обратным выдавливанием, а на втором и последующих переходах на ступени меньшего диаметра этого же концевого участка заготовки осуществляют глубокую прошивку путем радиальной раздачи металла с возможностью неполного заполнения торцевой наружной поверхности прошиваемой ступени меньшего диаметра в пределах припуска, затем штампуют второй концевой участок заготовки аналогично первому.

В способе накопление деформаций, близких к критическим значениям, в осевых зонах заготовки осуществляют путем увеличения количества циклов нагружения до 4-10, причем двум циклам нагружения соответствует один полный оборот заготовки.

В способе обратное выдавливание осуществляют по следующему технологическому циклу: осадка, радиальная раздача и выдавливание металла навстречу движению пуансона.

В способе окончательное формообразование обратным выдавливанием совмещают с формообразованием в ступени меньшего диаметра заготовки наметки под прошивку глубокого глухого отверстия.

Технический результат заявленного объекта проявляется в оптимизации формы и размеров профилированной заготовки и режимов деформации при прокатке и штамповке.

Для лучшего понимания изобретения его поясняют технологическими переходами изготовления поковки стержневого изделия с глубокими глухими полостями, на примере поковки ключа торцевого, где:

фиг. 1 - исходная заготовка;

фиг. 2 - заготовка после предварительного многоступенчатого профилирования поперечно-клиновой прокаткой с последующей калибровкой;

ВУ 13344 С1 2010.06.30

- фиг. 3 - 1-й переход штамповки поковки ключа торцового;
- фиг. 4 - 2-й переход штамповки поковки ключа торцового;
- фиг. 5 - 3-й окончательный переход штамповки поковки ключа торцового;
- фиг. 6 - поковка ключа торцового S 27, полученная по новой технологии;
- фиг. 7 - место I по фиг. 4. Предварительное формообразование торцовой поверхности ступени меньшего диаметра;
- фиг. 8 - место II по фиг. 5. Окончательное формообразование торцовой поверхности ступени меньшего диаметра.

Способ поясняют на примере изготовления поковки торцового ключа S 27 по известной технологии и затем по новой технологии.

Известная технология:

предварительное профилирование исходной заготовки $\varnothing 32 \times 230$ мм прокаткой на ковочных вальцах С1332 за два прохода с системой калибров круг-овал-круг;

формообразование поковки за четыре перехода в предварительном формовочном, двух формовочно-прошивных и окончательном формовочном ручьях ГKM.

Предварительное профилирование исходной заготовки прокаткой на ковочных вальцах (продольная прокатка) обеспечило невысокую точность профилированной заготовки, допуск на прокатанные ступени по диаметральным размерам ± 1 мм, по линейным размерам ± 2 мм, что недостаточно для обеспечения безоблойной штамповки головки ключа и глубокой прошивки только за счет радиальной раздачи металла. По известной технологии штамповку ключей выполняют с образованием кольцевого или торцового заусенца. На конечной стадии в каждом переходе прошивки имеет место обратное выдавливание металла, а формообразование головки ключа выполняют в три перехода: в предварительном формовочном, в окончательном формовочном ручьях и после завершения переходов прошивки (2-3 перехода) в обрезном ручье, где обрезается поперечный (кольцевой) заусенец (облой).

В качестве исходных заготовок в известной и заявленной технологиях используются заготовки заданной длины и механическими свойствами, полученные путем отрезки из металлопроката: сталь горячекатаная круглая (ГОСТ 2590), марка стали - 40X (ГОСТ 4543).

При профилировании исходной заготовки горячей продольной прокаткой (вальцовкой) улучшают структуру заготовки, образуя волокнистую макроструктуру горячедеформированного металла с более однородной структурой и высокими механическими свойствами. Для последующей горячей объемной штамповки поковки это положительный момент.

При глубокой прошивке высокие механические свойства материала заготовки приводят к увеличению усилия деформации и уменьшению стойкости прошивных пуансонов из-за повышения сопротивления металла деформации.

Сопротивление металла деформированию характеризуется интенсивностью напряжений, возникающих в заготовке при приложении нагрузки, и оценивается пределом текучести, прочности, твердости и др.

Невысокая стойкость прошивных пуансонов обусловлена также тем, что в известной технологии процесс прошивки осуществляют не только радиальной раздачей металла профилированной заготовки, а и обратным выдавливанием металла навстречу движению пуансона, что вызывает снижение стойкости прошивных пуансонов из-за увеличения сопротивления металла деформации и трения горячего металла о пуансон.

Новая технология.

Апробацию новой технологии осуществляли на Кобринском инструментальном заводе "СИТОМО" (КИЗ "СИТОМО") в следующей последовательности:

предварительное многоступенчатое профилирование заготовки $\varnothing 32 \times 214$ мм поперечно-клиновой прокаткой на вальцах Н 500;

ВУ 13344 С1 2010.06.30

штамповка профилированной заготовки за 2-3 перехода на ГКМ: на первом переходе в одном из концевых участков заготовки на ступени большего диаметра осуществляли окончательное формообразование обратным выдавливанием, а на втором и последующих переходах на ступени меньшего диаметра этого же концевого участка заготовки осуществляли глубокую прошивку путем радиальной раздачи металла с возможностью неполного заполнения торцевой наружной поверхности прошиваемой ступени меньшего диаметра в пределах припуска, затем штамповали второй концевой участок заготовки аналогично первому.

Предварительное профилирование исходной заготовки 1 (фиг. 1) поперечно-клиновой прокаткой с последующей калибровкой обеспечило получение многоступенчатой профилированной заготовки 2 (фиг. 2) высокой точности, допуск на прокатанные ступени по диаметральным размерам $\pm 0,1$ мм, по линейным размерам $\pm 0,2$ мм, т.е. на порядок выше, чем при продольной прокатке (вальцовке).

Предварительное многоступенчатое профилирование осуществляли с последующей калибровкой, при этом калибровку проводили с накоплением в осевых зонах ступеней 3, 4 меньшего диаметра концевых участков 5, 6 заготовки 2, подвергаемых последующей прошивке, деформаций, близких к критическим значениям до уменьшения плотности материала сердцевин заготовки по сравнению с периферией. Накопление деформаций, близких к критическим значениям, осуществляли путем увеличения количества циклов нагружения до 4-10, причем двум циклам нагружения соответствует один полный оборот заготовки.

Для калибрования ступеней 3, 4 (фиг. 2) в случае поперечно-клиновой прокатки стержневых изделий, не требующих последующей прошивки концевых участков требуется участок инструмента длиной, рассчитываемой из условия, чтобы профилируемая заготовка 2 совершила половину оборота для полного оформления прокатываемых ступеней [4].

Увеличение количества оборотов прокатываемой заготовки в процессе калибрования ступеней - более 2-х оборотов (4-х циклов нагружения) поперечной прокаткой, вследствие ограниченной пластичности материала и специфического напряженно-деформированного состояния, приводит к уменьшению плотности материала в осевых зонах ступеней за счет хаотично возникающих микродефектов в виде пор и трещин. Накопление деформаций при калибровании отдельных ступеней поперечной прокаткой сопровождается уменьшением плотности материала сердцевин заготовки по сравнению с периферией, что подтверждается исследованиями, приведенными в работе [4].

При калибровании ступеней прокатываемой заготовки поперечной прокаткой реализуется стационарный процесс с постоянной степенью обжатия в пределах $\delta = 1,02-1,05$ (отношение диаметров ступени до и после калибрования) и постоянной высотой калибра.

Уменьшение плотности сердцевин заготовки происходит пропорционально накопленной деформации. Находясь в пластическом состоянии, различные материалы до разрушения способны выдержать различную по величине деформацию.

Увеличение количества оборотов прокатываемой заготовки в процессе калибрования ступеней более 5 оборотов (10 циклов нагружения) приводит к вскрытию осевой или кольцевой полости. Это явление известно под названием "эффект Маннесмана". При вскрытии полости увеличивается наружный диаметр ступеней 1, 2 и резко снижается точность, что не позволит произвести укладку профилированной заготовки в ручей штампа ГКМ для последующей штамповки.

Окончательную штамповку поковки осуществляли на ГКМ в следующей последовательности.

Поскольку прокатное и штампочное оборудование на КИЗ "СИТОМО" расположены на разных участках кузнечного цеха, предварительно профилированные заготовки подвергали повторному нагреву в щелевом индукторе, раздельно каждого концевого участка заготовки до температуры 1150 °С.

На первом переходе (фиг. 3), после нагрева одного из концевых участков профилированной заготовки, на ступени большего диаметра 7 (фиг. 2) осуществляли на ГКМ окончательное формообразование головки ключа 8 обратным выдавливанием. Обратное выдавливание осуществляли по следующему технологическому циклу: в начальном этапе формообразования головки ключа 8 (фиг. 3) - осадка ступени большего диаметра 7 (фиг. 2), затем ее радиальная раздача и на заключительной стадии формообразования - выдавливание металла навстречу движению пуансона.

Окончательное формообразование головки ключа 8 (фиг. 3) обратным выдавливанием совмещали с формообразованием в ступени меньшего диаметра 3 профилированной заготовки 2 наметки 9 под последующую прошивку глубокого глухого отверстия.

Штамповку головки ключа 8 в первом переходе (фиг. 3) осуществляли в формовочном ручье штампа ГКМ с фиксацией на технологическую базу профилированной заготовки - поверхность 10 (фиг. 2, 3). Высокая точность профилирования заготовки поперечно-клиновой прокаткой с последующей калибровкой и базирование заготовки относительно ручья штампа обеспечили оптимальное дозирование металла заготовки для окончательного формообразования головки ключа 8 с четким заполнением калибра без образования торцового заусенца.

На втором переходе (фиг. 4) на ступени меньшего диаметра 3 этого же концевого участка 5 профилированной заготовки 2 осуществляли глубокую прошивку глухого отверстия диаметром 22 мм и глубиной 53 мм.

С учетом рекомендаций [2] прошивку такого отверстия следует осуществлять в два прошивных перехода.

Апробация заявленной технологии осуществлялась с прошивкой глухого отверстия 11, 12 (полости) в два (фиг. 4, 5) и в один (фиг. 5) прошивных перехода с соблюдением обязательного условия: прошивка должна осуществляться только путем радиальной раздачи металла.

Затем штамповали второй концевой участок 6 (фиг. 2) профилированной заготовки 2 аналогично первому - концевому участку 5, получая поковку 13 стержневого изделия с глубокими глухими полостями.

В известной технологии прошивку осуществляют также путем радиальной раздачи металла, но с осадкой торца заготовки в начальной стадии процесса и выдавливанием металла навстречу движению прошивного пуансона на конечном этапе глубокой прошивки.

В новой технологии при глубокой прошивке путем радиальной раздачи металла исключена осадка благодаря формообразованию на первом переходе (фиг. 3) в ступени 3 меньшего диаметра профилированной заготовки 2 наметки 9 под прошивку глубокого глухого отверстия 11 и 12 (фиг. 4-6).

В новой технологии также исключается и выдавливание металла навстречу движению прошивного пуансона на промежуточном этапе прошивки (1-й прошивной переход) путем возможности неполного заполнения торцевой наружной поверхности 14 (фиг. 7) прошиваемой ступени 3 меньшего диаметра контура 15 торцевой поверхности ручья 16 штампа ГКМ.

На окончательном этапе прошивки (2-й прошивной переход) путем возможности неполного заполнения торцевой наружной поверхности 17 (фиг. 8) прошиваемой ступени 3 меньшего диаметра в пределах припуска контура 18 торцевой поверхности ручья 19 калибра штампа.

С целью обеспечения достаточного для последующей механической обработки припуска в окончательном прошивном переходе увеличивают глубину ручьевого вставки прошиваемой ступени 3 меньшего диаметра на величину h (фиг. 8). В нашем случае $h = 2-3$ мм.

Глубокую прошивку глухой полости 11 (фиг. 4) и 12 (фиг. 5) осуществляли в формовочно-прошивном ручье штампа ГКМ с фиксацией на окончательно отштампованную в первом переходе головку ключа 8.

ВУ 13344 С1 2010.06.30

Несоблюдение одного из основных условий новой технологии, заключающегося в том, что прошивка должна осуществляться только путем радиальной раздачи металла, приводит к течению металла в направлении окончательно сформированной в 1-м переходе головки ключа, что вызывает увеличение усилия деформации и выход металла в торцовый заусенец.

В процессе компьютерного моделирования прошивки глубоких глухих полостей торцового ключа S 27 были записаны графики усилия формообразования прошиваемых ступеней поковок во времени для схем деформации только за счет радиальной раздачи металла и радиальной раздачи металла и обратного выдавливания металла.

Зафиксированы следующие максимальные усилия при прошивке:

0,075 МН на 1-м прошивном переходе по схеме деформации только за счет радиальной раздачи металла;

0,105 МН на 2-м прошивном переходе по схеме деформации только за счет радиальной раздачи металла;

0,13 МН при прошивке полости за один переход по схеме деформации только за счет радиальной раздачи металла;

0,27-0,3 МН на 2-м прошивном переходе по схеме деформации за счет радиальной раздачи и обратного выдавливания металла.

При прошивке глухих полостей только за счет радиальной раздачи металла уменьшаются сжимающие напряжения в штампуемой поковке (при штамповке торцового ключа S19 с 670 до 320 МПа) и исключается течение металла в направлении, противоположном движению пуансона (исключаются сдвиговые деформации металла, обуславливающие постоянное трение горячего металла о пуансон).

Как показали опытно-промышленные испытания новой технологии и результаты компьютерного моделирования штамповки поковок стержневых изделий с глубокими глухими полостями, предварительное многоступенчатое профилирование заготовки поперечно-клиновой прокаткой с последующей калибровкой и с накоплением в осевых зонах ступеней заготовки, подвергаемых последующей прошивке, деформаций, близких к критическим значениям до уменьшения плотности материала сердцевины заготовки по сравнению с периферией, позволило повысить степень точности профилированных заготовок и уменьшить усилие деформации.

Точность профилированных заготовок повышена на 5-10 квалитетов в зависимости от применяемого для профилирования прокатного оборудования. Наибольшая точность достигнута на станах поперечно-клиновой прокатки с плоским инструментом.

Усилия формообразования прошиваемых ступеней поковок снижены в 2-3 раза за счет использования схемы деформации, в которой прошивку гарантированно осуществляют только за счет радиальной раздачи металла. Гарантия только радиальной раздачи металла в процессе прошивки обеспечена возможностью неполного заполнения торцовой наружной поверхности прошиваемой ступени меньшего диаметра в пределах припуска и формообразованием, на 1-м переходе штамповки, в ступени меньшего диаметра профилированной заготовки наметки под прошивку глубокого глухого отверстия.

Усилие деформации при прошивке уменьшается также, по сравнению с известной технологией, ориентировочно на 10-30 % за счет уменьшения плотности материала сердцевины заготовки в зависимости от количества циклов нагружения при калибровании ступени профилируемой заготовки.

Уменьшение сжимающих напряжений в штампуемой поковке непосредственно под прошивным пуансоном в 2 раза и исключение сдвиговых деформаций металла, обуславливающих постоянное трение горячего металла о пуансон, позволяют прогнозировать увеличение стойкости прошивных пуансонов в 1,5-2 раза.

Оптимизация формы и размеров профилированной заготовки и режимов деформации при поперечно-клиновой прокатке с последующей калибровкой и с накоплением в осевых

ВУ 13344 С1 2010.06.30

зонах ступеней заготовки, подвергаемых последующей прошивке, деформаций, близких к критическим значениям до уменьшения плотности материала сердцевины заготовки по сравнению с периферией, позволяет осуществлять прошивку глухих полостей за меньшее количество переходов, при этом усилие деформации остается меньшим, чем в известной технологии. Так торцовый ключ S27 был получен за два перехода: окончательная штамповка головки ключа и глубокая прошивка глухого отверстия диаметром 22 мм и глубиной 53 мм. По известной технологии ключ изготавливают за четыре перехода.

Обеспечение оптимальных технологических режимов (циклов) и последовательности выполнения операций предварительного профилирования заготовки и последующей штамповки поковок позволяют увеличить глубину прошиваемых полостей, повысить коэффициент использования металла и качество готовых изделий - поковок стержневых изделий с глубокими глухими полостями.

Промышленное освоение новой технологии готовится к использованию в Республике Беларусь на Кобринском инструментальном заводе "СИТОМО".

Источники информации:

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. - М: Машиностроение, 1986. Т. 2. Горячая штамповка / Под ред. Е.И. Семенова, 1986.- С.294.

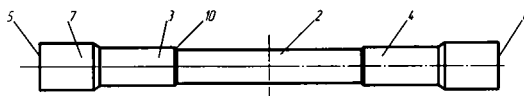
2. Ковка и объемная штамповка стали. Справочник в двух томах / Под ред. М.В. Сторожева. Т. 2. - М: Машиностроение, 1967. - С.142.

3. Раскинд В.Л. Справочник молодого кузнеца-штамповщика. - 2-ое изд. - М.: Высшая школа, 1985. - С. 119-120, 222-228.

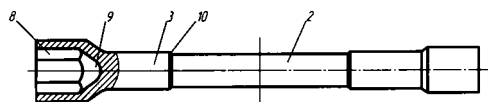
4. Клушин В.А., Макушок Е.М., Щукин В.Я. Совершенствование поперечно-клиновой прокатки. - Минск: Наука и техника, 1980. - С. 128, 73.



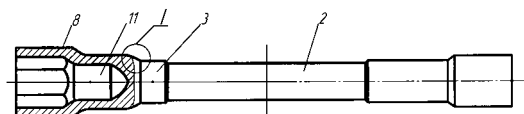
Фиг. 1



Фиг. 2

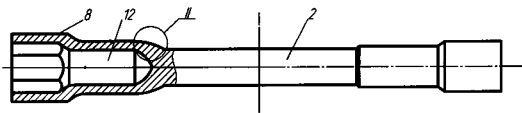


Фиг. 3



Фиг. 4

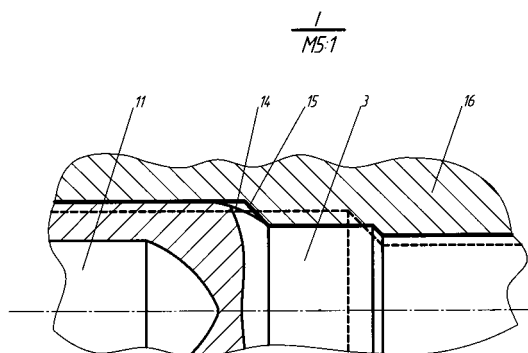
BY 13344 C1 2010.06.30



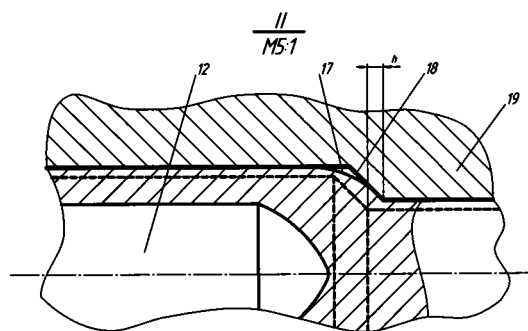
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8