

Соединения типа Press Fit

Аркадий МЕДВЕДЕВ,
профессор МАИ
medvedevam@bk.ru

Как правило, большое количество слоев в МПП относится к платам объединительных панелей. Поскольку они обеспечивают не только большое количество сигнальных связей, но и питание большого количества плат второго уровня, они содержат массивные слои земли и питания, создающие мощные теплоотводы при пайке (рис. 1). Все возможные ухищрения технологов, пытавшихся пропаять отверстия, соединенные с этими слоями, не приводили к существенным успехам: припой поднимался до точки соединения с одним из этих слоев и остывал. Отверстия оказывались непропаянными. Естественное желание избавиться от непропая перегревом панели приводило к разбрызгиванию припоя. И сам по себе перегрев создавал проблемы, связанные с термоустойчивостью материалов плат и пайки. Кроме того, посадка разъемов на плату с малым зазором создавала лабиринт, из которого трудно вымыть флюс и удалить брызги припоя. В балтийских странах пошли даже на то, чтобы в качестве флюса при пайке панелей использовать спиртовой раствор янтаря (он подобен канифоли, как смесь органических кислот, но его остатки — хороший диэлектрик). Но и в этом случае объединительные панели недопустимо часто становились источником отказов и возгорания в электронной аппаратуре.

Нужно еще учесть, что хвостовики разъемов при пайке необходимо защищать от припоя, если предусматривается их использование для последующих соединений, например, накруткой. Поэтому пайка волной припоя хотя и возможна, но сложна и трудоемка из-за дополнительных операций нанесения защитных покрытий и последующего их удаления.

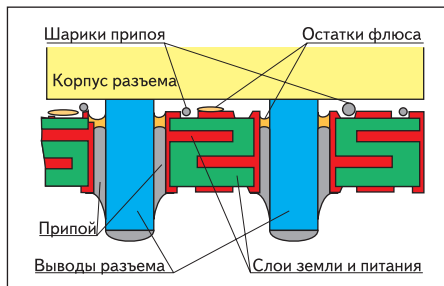


Рис. 1. Трудности пайки объединительных панелей

Мало того, большая длина хвостовиков вынуждает поднимать волну, и в этой ситуации трудно обеспечить ее равномерность. Ручная пайка паяльником двухрядных разъемов еще допустима, но для трехрядных вообще невозможно: добраться паяльником в пространстве между рядами (шаг контактов — 2,54 мм) хвостовиков очень трудно.

Одним словом, пайка объединительных панелей создавала неразрешимые проблемы.

В связи с этим попытки заменить паяные соединения непаяными с использованием методов впresseвывания контактных штырей в металлизированные отверстия предпринимались давно, но безуспешно. Положительным результатом препятствовало явление релаксации: материал основания платы «плывет», ослабляя первоначально тугое соединение штырей с отверстиями. Через некоторое время материал расстужается, и штыри выпадают из отверстий. Мало того, большие производственные погрешности при воспроизведении размеров элементов сочленения штырей и отверстий приводили к тому, что часть соединений изначально не получала тугой посадки.

Положительный эффект наступил, когда научились на контактный штырь выполнять специальную пуклевку, создающую упругую деформацию при впresseвывании штыря в отверстие (рис. 2). Упругая деформация пуклевки компенсировала релаксацию материалов и погрешности размеров отверстий плат. Формы таких пуклевок разнообразны (рис. 3), но все они имеют широкую зону упругой деформации и поверхность сопряже-

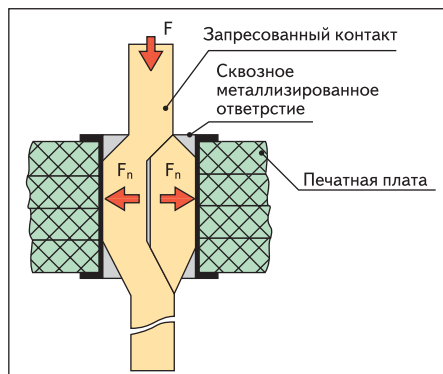


Рис. 2. Принцип соединения типа Press Fit

ния, достаточную для электрического и механического контакта штыря с отверстием.

Соединения этого типа получили распространенное название Press Fit, что в переводе означает «прессовое соединение». Мы бы по-русски сказали более точно: «Соединение, выполняемое впresseвыванием пуклевки контактного штыря в металлизированное отверстие». В первой русской обзорной публикации на эту тему [1] определение термина Press Fit было дано в более точной и пространной форме: «Непаяное соединение, выполняемое запрессовкой, — это получаемое запрессовкой соединение между особым образом спрофилированным контактом и сквозным металлизированным отверстием в печатной плате. Оно принадлежит к категории неразъемных соединений, образующихся за счет холодной деформации фрагментов соединяемых элементов и существующих в самых разнообразных вариациях». Далее там же: «Соединения данного класса пользуются высокой популярностью в электрической и электронной областях промышленности всего мира благодаря следующим преимуществам:

- высокая механическая прочность на растяжение;
- высокая устойчивость к вибрационным нагрузкам;

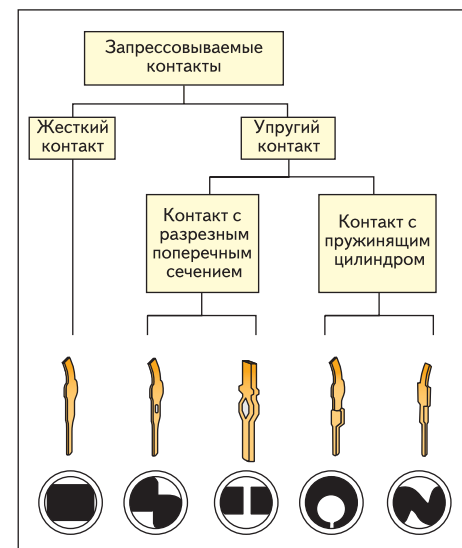


Рис. 3. Классификация соединений Press Fit

- отсутствие необходимости в нагреве для образования соединения (в ряде случаев данное обстоятельство играет решающую роль);
- коррозионная стойкость за счет герметичности контакта;
- экономичность;
- простота ремонта (благодаря отсутствию нагрева);
- гигиеничность производства (благодаря отсутствию флюсов и припоев);
- высокая надежность».

Интересно, что факторы, мешающие пайке панелей (большая толщина, массивные слои земли и питания), здесь играют положительную роль: чем толще плата и больше в ней металла, тем прочнее запрессовка контакта, больше поверхность контактирования, выше надежность соединений.

Элементы Press Fit

Контактные штыри

Запрессовываемый контактный штырь состоит из части для сочленения с ответным соединителем, запрессовываемой части (пуклевки), заходной части и части, предназначенной либо для монтажа накруткой, либо сочленения с другим соединителем (рис. 4).

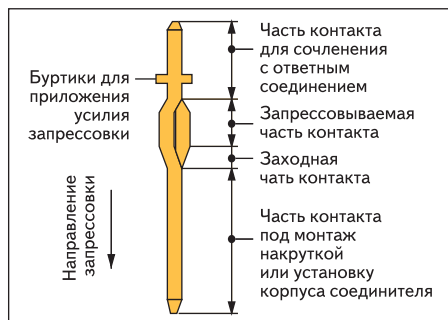


Рис. 4. Элементы конструкции контактного штыря

Часть контакта для сочленения с ответным соединителем может иметь либо форму штыря (в случае, если ответным соединителем является розетка), либо форму лиры (в случае, если ответным соединителем является вилка). В случае, если контакт в этой части имеет форму штыря, усилие запрессовки прилагается к создаваемым именно с этой целью буртикам. Иначе, если контакт имеет лирообразное окончание, усилие запрессовки прилагается на дно лиры, как на самый удобный и самый прочный элемент конструкции. Как правило, эта часть встраивается в корпус соединителя, и именно она отвечает за удержание контакта в соединителе.

Запрессовываемая часть контакта выполняет основную роль в образовании соединения. Ее конфигурация (в поперечном сечении) может иметь разнообразные формы, имеющие общепринятые англоязычные названия, как показано на рис. 5. Главная задача, которую должна выполнять эта часть контакта, — со-

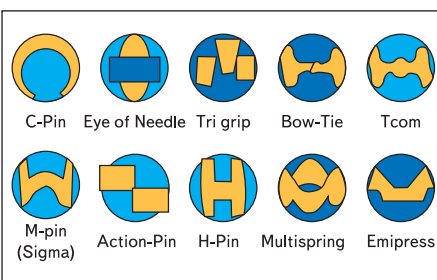


Рис. 5. Разнообразие форм пуклевки контактных штырей

здание давления на боковые стенки сквозного металлизированного отверстия, устойчиво удерживающего штырь в отверстии в напряженном состоянии. Размер поперечного сечения контакта в запрессовываемой части должен соответствовать диаметру отверстия, на который этот контакт рассчитан. Длина запрессовываемой части контакта должна соответствовать толщине печатной платы, в которую он устанавливается.

Заходная часть контакта играет существенную роль при запрессовке. Ее форма позволяет ориентировать контакт надлежащим образом при его входе в отверстие и обеспечивать плавное обжатие пуклевки штыря металлизированным отверстием.

Жесткость пуклевки должна быть ограничена, иначе внедрение контакта может разрезать металлизацию отверстия.

Часть контакта под монтаж накруткой является необязательным, но часто используемым конструктивным элементом.

Сквозные металлизированные отверстия

Сквозные металлизированные отверстия имеют структуру, представленную на рис. 6, и выполняются в печатных платах номинальной толщиной 1,5–6,4 мм, изготавливаемых из стеклоэпоксида типов G10, G11, FR5 и EP.

Требуемая толщина меди в сквозных металлизированных отверстиях под запрес-

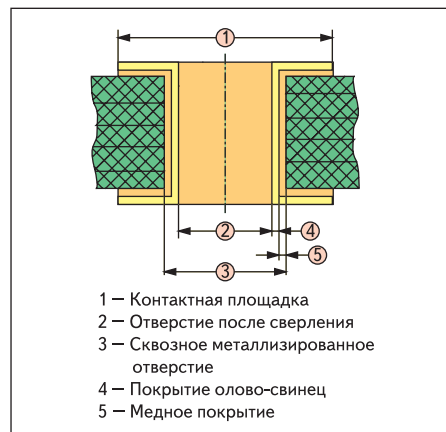


Рис. 6. Структура сквозного металлизированного отверстия

совку больше, чем под пайку, а допуски на эту толщину более жесткие. Однако слишком толстое медное покрытие может привести к излишнему увеличению усилий запрессовки.

Оловянно-свинцовое покрытие не должно быть слишком толстым, так как в этом случае его частицы будут выдавливаться из отверстия запрессовываемым контактом и создадут опасность замыкания.

Оловянно-свинцовое покрытие может и не наноситься. В этом случае в отверстии будет чисто медное покрытие. Однако, как правило, оно присутствует, играя роль металлорезиста при травлении рисунка, а при запрессовке — «смазочного» покрытия.

Технология запрессовки требовательна к конечному диаметру металлизированного отверстия в печатной плате в большей мере, чем для процессов пайки. Она вынуждает назначать и соблюдать определенные допуски на всю структуру отверстия. Это касается и диаметра отверстия после сверления (в первую очередь), и толщины медного покрытия (во вторую), и толщины оловянно-свинцового покрытия (в третью) — то есть всех размеров, формирующих конечный диаметр отверстия.

При формировании отверстия под запрессовку его диаметр после сверления должен быть больше, чем при получении металлизированного отверстия под пайку. Диаметр сверления наиболее ответственен за усилие запрессовки и выпрессовки (демонтажа) контактных штырей.

Механизм образования соединения

Запрессовка контакта начинается с подачи на его опорные поверхности усилия запрессовки, под воздействием которого предварительно установленный контакт начинает входить в сквозное металлизированное отверстие печатной платы. Сначала в соприкосновение с отверстием входит заходная часть, внедряющаяся в поверхностный слой покрытия отверстия, начинается формирование зоны электрического контакта за счет встречной упругой деформации запрессовываемой части контакта и боковых стенок отверстия. В ходе продолжающегося воздействия усилия запрессовки в отверстие внедряется вся запрессовываемая часть, которая благодаря ее деформации адаптируется к диаметру отверстия, не повреждая его. Таким образом обеспечивается плавное и равномерное возрастание давления на стенки отверстия, а в зоне контакта формируется соединение холодной сваркой (рис. 7). Упругая пуклевка контакта при скольжении по стенкам отверстия самостоятельно встает в вертикальное положение и образует плотное соединение со сквозным металлизированным отверстием. Плотность электрического контакта обеспечивается взаимными усилиями: со стороны штыря и со стороны отверстия. Наплыв поверхностного слоя покрытия боковых стенок отверстия на пук-

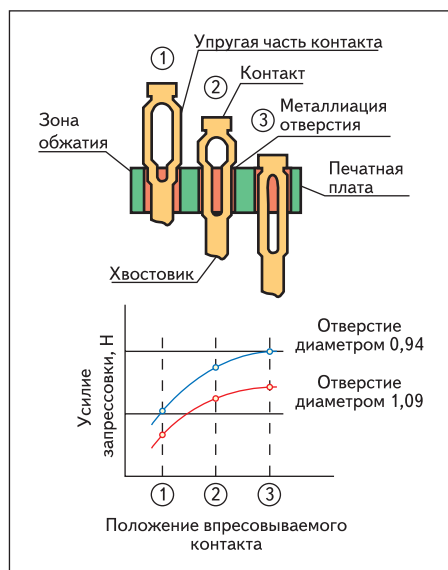


Рис. 7. Возрастание усилия запрессовки штыря по мере его внедрения в отверстие

левки штыря запирает штырь в отверстии (рис. 8).

Степень деформации элементов сочленения определяется соотношением диаметра металлизированного отверстия и размера пуклевки контактного штыря, а также соотношением их жесткости. Так как деформация находится в прямой зависимости от усилия запрессовки, по его величине можно судить о степени деформации. Графически это можно представить диаграммой, изображенной на рис. 9.

При подборе оборудования для реализации технологии Press Fit нужно представить,

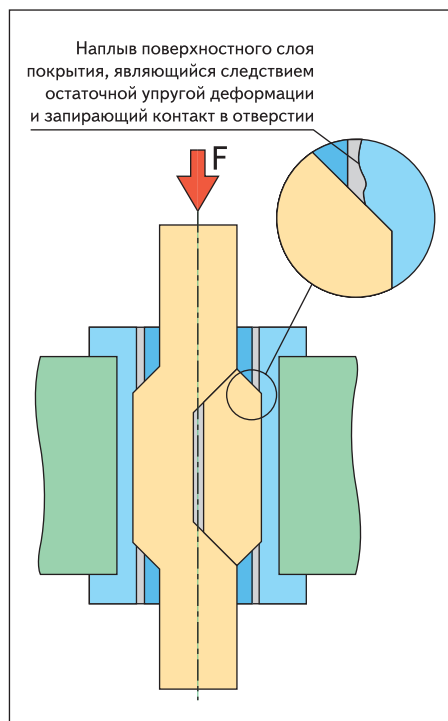


Рис. 8. Заклинивание пуклевки в отверстии



Рис. 9. Взаимозависимость степени деформации сочленяемых элементов и усилия запрессовки

что усилие запрессовки разъема со 160 контактами составляет 3,2 тонны. Основными компонентами комплекта для запрессовки одиночных контактов и многоштыревых соединителей с запрессовываемыми контактами являются пуансон, передающий давление со штока пресса на соответствующие опорные поверхности контакта, и подплатная матрица, обеспечивающая дополнительную жесткость платы (рис. 10), чтобы она не прогибалась под воздействием усилия запрессовки.

Технологический процесс запрессовки соединителей можно представить в виде следующей последовательности действий [1]:

1. Проверка комплектности соединителей и их соответствие спецификации.
2. Установка и фиксация пуансона на штоке, а подплатной матрицы — на станине пресса.
3. Установка на технологическую плату технологического соединителя.
4. Визуальная проверка положения соединителя на плате согласно чертежу.
5. Изъятие технологической платы из контейнера (с наживленным технологическим соединителем), установка платы на направляющие пресса с предварительной их настройкой и фиксацией по габаритам платы и настройка высоты штока пресса по

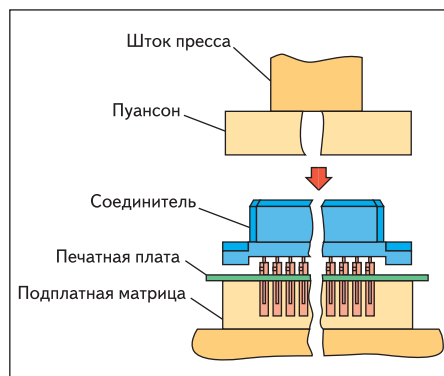


Рис. 10. Оснастка, используемая для запрессовки контактов разъемов в платы

технологическому соединителю согласно инструкциям.

6. Опускание штока пресса до входа пуансона в контакт с технологическим соединителем и выполнение пробной запрессовки.
7. Снятие платы с направляющих и помещение ее обратно в контейнер.
8. Контроль качества выполненного соединения.
9. Установка на штатную плату соединителя согласно чертежу.
10. Визуальная проверка положения соединителя на плате согласно чертежу.
11. Изъятие платы из контейнера и установка ее на направляющие пресса.
12. Визуальная проверка плотности прилегания платы к матрице и попадания всех выводов в соответствующие пазы (отверстия) подплатной матрицы.
13. Опускание штока пресса до входа пуансона в контакт с соединителем и выполнение запрессовки.
14. Перемещение следующего соединителя под шток пресса.
15. Повтор шагов 13–14 в отношении всех остальных соединителей.
16. Снятие платы с направляющих пресса и помещение ее обратно в контейнер.
17. Контроль качества запрессовки.

Рекомендуется выполнять запрессовку соединителей на платы после установки и пайки компонентов. Однако практика показывает, что такой подход не всегда приемлем. При высоком уровне заселенности платы компонентами может оказаться недостаточно пространства для размещения подплатной матрицы, выполняющей роль опоры. В таких ситуациях возникает желание запрессовки контактов разъемов до установки компонентов. Однако при пайке после запрессовки разъемов печатные платы нагреваются до температур, превышающих температуру стеклования связующего материала платы. Материал основания «плывет» и пресовое соединение ослабляется. В данной ситуации встает проблема взаимоприемлемого компромисса и необходимости оценки возможной степени влияния пайки соседних компонентов на качество уже запрессованных соединителей. Конечно, при ручной пайке таких проблем нет, поскольку в этом случае нагрев материала в зоне запрессовки контактов отсутствует.

Техника межсоединений на основе технологий Press Fit

Стандарт IEC 352-5 предусматривает 4 уровня применения соединений методом Press Fit и устанавливает применительно к ним необходимые усилия удержания контактов в запрессованном состоянии, как показано на рис. 11.

Прочность соединений Press Fit

Для техники Press Fit очень важно выдерживать в узком допуске диаметр металлизированных отверстий. Это не просто, так как в этот допуск нужно уложить и допуски на

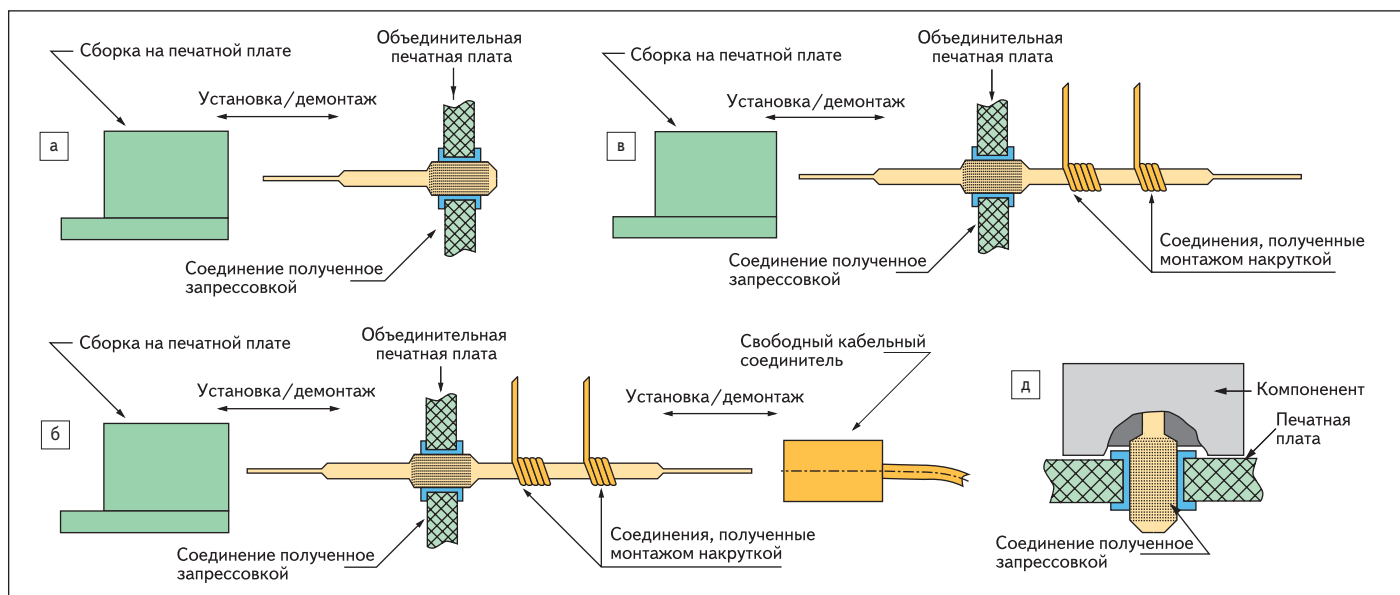


Рис. 11. Усилие удержания (вырыва) контактов из отверстий диаметром 0,8–2 мм: а — 45 Н, б — 30 Н; в — 25 Н; г — 20 Н

диаметр сверла, и изменение диаметра отверстий по мере затупления сверл, и разброс толщин металлизации от края платы к ее середине. В итоге это сказывается на усилии внедрения контактных штырей в отверстия (рис. 12) и, можно полагать, таким же образом это сказывается и на их удержании в отверстиях [2].

На прочность удержания контактного штыря в отверстии влияет также характер покрытия по меди в отверстиях (рис. 13).

Проблемы технологии запрессовки

Несмотря на достаточно высокую степень освоения технологии запрессовки, в данной области существует масса проблем, которые до сих пор не решены. Например, до сих пор стоит вопрос о том, какие именно элементы конструкции платы принимают на себя напряженное состояние запрессованного контакта. Ими может быть металлизация отвер-

стия. Но ее толщина всего 25 мкм. К тому же доля упругости меди составляет всего 0,5% от общей деформации. Более мощным элементом тугой посадки может быть стенка отверстия в стеклоэпоксидной композиции основания платы. Все это очень важно для назначения требований к геометрии отверстия: до металлизации (после сверления) или после нее. Техника Press Fit все еще требует исследований:

- напряженного состояния компонентов соединения от температуры для оценки влияния нагрева, возникающего при пайке после запрессовки контактов;
- степени влияния скорости запрессовки на характеристики и качество соединения;
- длительности напряженного состояния в соединении в условиях релаксации материала основания и надежности системы в экстремальных условиях эксплуатации, что особенно важно для установления целесообразности применения технологии Press Fit в изделиях ответственного назначения

(хотя за рубежом этот вопрос уже решен в положительную сторону и даже разработаны военные стандарты на соединения данного типа: MIL-C-28859 и MIL-C-288598);

- методов и критериев оценки качества соединений, получаемых запрессовкой.

К сожалению, сегодня оценка качества соединений Press Fit выполняется лишь по микрошлифам, снимаемым с образцов-свидетелей, что, естественно, приводит к росту затрат на производство ответственных изделий электронной техники. Параллельно с этим за рубежом широко применяется метод конечных элементов, позволяющий еще до запрессовки оценить параметры соединения, подобрать оптимальные условия его получения и на выходе получить результаты, отличающиеся достаточно высокой достоверностью. Однако и такой подход все же не дает возможности определить реальную картину прессового соединения.

Заключение

Соединения, выполняемые запрессовкой, обладают высоким уровнем надежности, способным конкурировать с паяными соединениями. При этом они лишены тех проблем, которые традиционно сопровождают процессы пайки. Данные соединения сравнительно просты в реализации, требуют минимального комплекта оборудования и отличаются экономической эффективностью, экологичностью и ремонтопригодностью.

Литература

1. Плотников Ф. Непаяные соединения, выполняемые запрессовкой, — новый класс соединений на российском рынке электронной техники // Компоненты и технологии. 2001. № 1.
2. Коннекторы Molex DIN41612. Технология запрессовки // Компоненты и технологии. 2005. № 2.

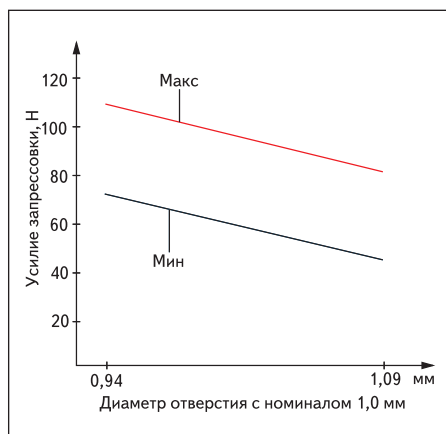


Рис. 12. Изменение усилия запрессовки в поле допусков на диаметр сверла при номинале 1 мм

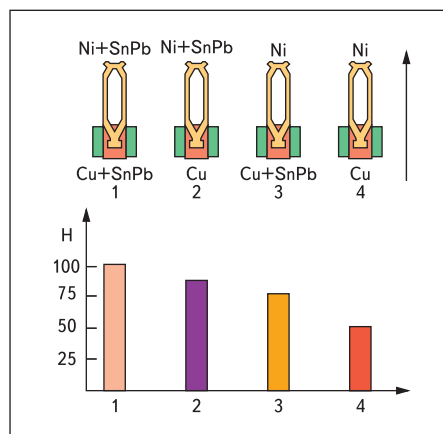


Рис. 13. Усилие удержания штыря в отверстии в зависимости от покрытий