

УДК 621.735.32.016.3.07.001.8

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ И ГРАДИЕНТА СВОЙСТВ НА ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ И СТОЙКОСТЬ ХОЛОДНОВЫСАДОЧНЫХ МАТРИЦ

В.М. КЕНЬКО, И.Н. СТЕПАНКИН

Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого, Республика Беларусь

Введение. Основными причинами разрушения холодновысадочной оснастки являются износ и усталостное разрушение материала инструмента [1]. Высокие растягивающие напряжения, возникающие в матрицах, обуславливают преобладание усталостных процессов в механизме их разрушения. Повысить стойкость инструмента можно путём оптимизации напряжённого состояния оснастки. Растягивающие напряжения принято компенсировать путём создания натяга при запрессовке матриц в корпус-бандаж [2]. Однако увеличение натяга сопровождается возрастанием эквивалентных напряжений, что интенсифицирует износ гравюры матриц [3].

Объект исследований и методики испытаний. В качестве объектов исследования выбрана холодновысадочная оснастка для изготовления болтов железнодорожного крепления М22×70 и М22×140, изготавливаемых в три перехода. Наименьшей стойкостью отличаются матрицы третьего перехода, окончательно калибрующие форму головки болта (рис.1).

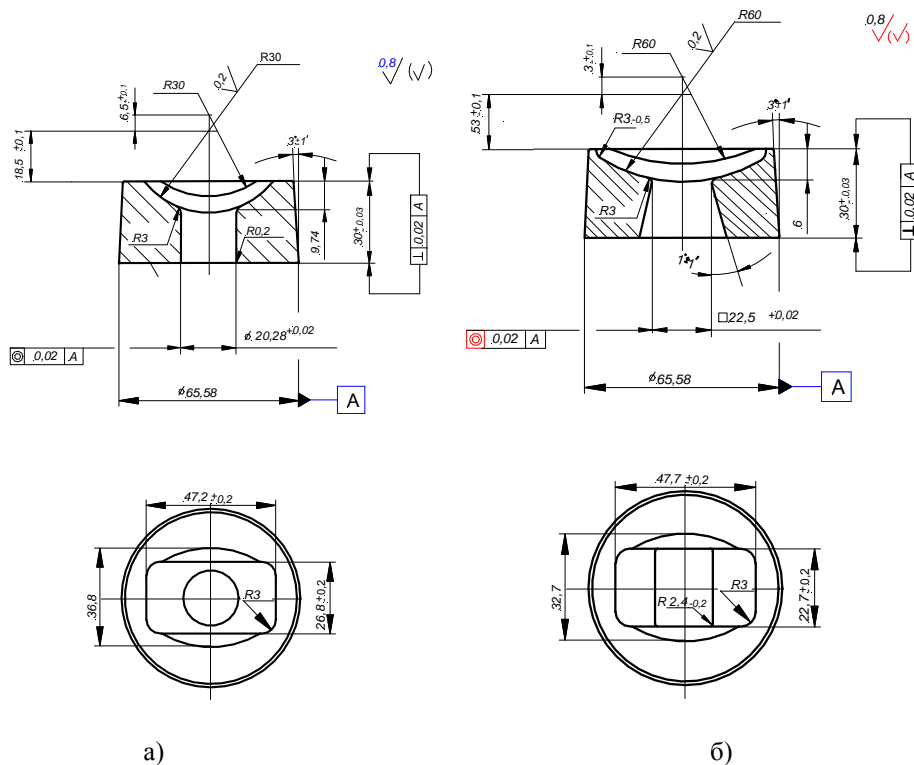


Рис.1. Холодновысадочные матрицы третьего перехода для высадки болтов:
а)-М22×70; б)-М22×140

Матрицы изготавливаются из быстрорежущей стали Р6М5. Твёрдость формообразующих поверхностей составляет 59-61 HRC. Гравюра ручья матриц имеет сложную геометрическую форму. Это обусловлено формой головки получаемых болтов и наличием разгружающих камер, изготовленных в виде цилиндрических лысок в месте пересечения формообразующей поверхности с передним торцом матриц. Стойкость матриц определялась на холодновысадочном автомате “NEDSCHROEF” BV-6 непосредственно в условиях серийного производства.

Оценка влияния величины натяга, возникающего при запрессовке матриц в корпус-бандаж, на уровень возникающих напряжений проводилась с применением численных и экспериментальных методов.

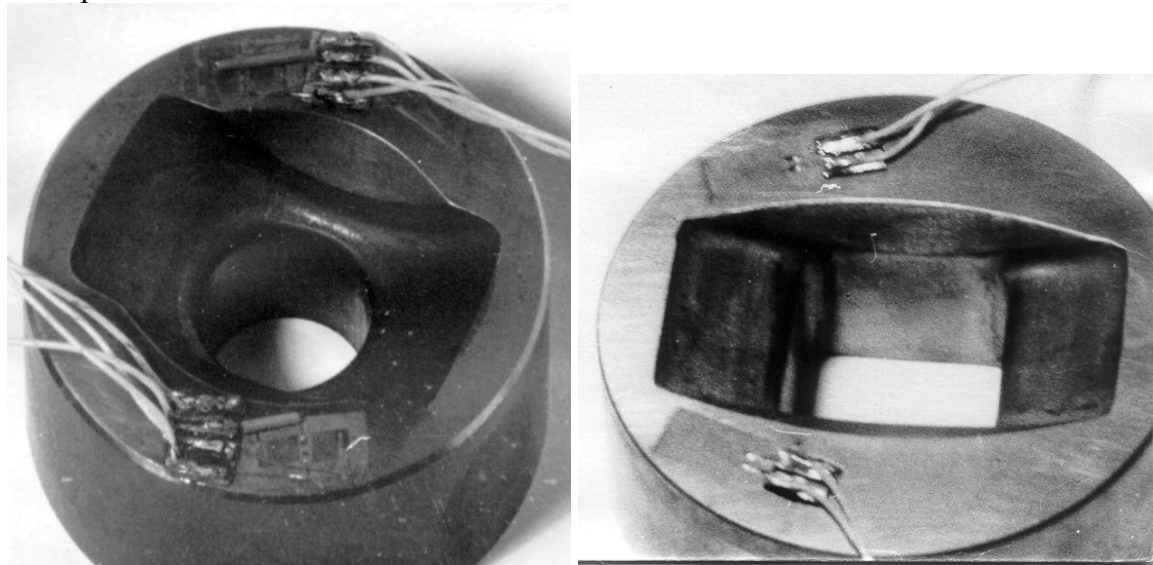


Рис.2. Схема размещения тензодатчиков на передней поверхности матриц

Экспериментальное исследование осуществилось с помощью тензометрирования. Тензодатчики размещались на передней поверхности матриц перпендикулярно плоскости прохождения трещин (рис.2). При запрессовке матриц в обойму с различными натягами определялась величина сжимающих напряжений, возникающих в указанной зоне. Обойма с матрицей устанавливалась в пресс-автомат и производилась высадка болтов в режиме единичных ударов. Для устранения влияния инерции измерительной аппаратуры, ползун фиксировался в положении, соответствующем максимальному сближению пуансона и матрицы, т.е. максимальной степени деформации заготовки, что позволило измерять максимальные напряжения цикла в установившемся статическом режиме.

Численные исследования напряжённого состояния матриц проводились с использованием компьютерной программы ANSYS, реализующей метод конечных элементов.

Усталостные испытания проводились на установке УРС 20/600 по схеме “растяжение-сжатие” на гантелеобразных образцах, изготовленных согласно ГОСТ 25.504-82. Нагружение образцов осуществлялось по асимметричному циклу при напряжениях, аналогичных возникающим в процессе эксплуатации в зонах распространения усталостных трещин.

Исследование износа рабочих поверхностей матриц в месте сопряжения формообразующей поверхности с отверстием болта производилось с помощью прямого измерения. Точность измерения $\pm 0,01$ мм.

Модификация поверхности матриц проводилась путём низкотемпературной нитроцементации в среде продуктов диссоциации триэтанолamina и науглероживания в среде природного газа.

Результаты исследований и их обсуждение. Экспериментальные данные влияния

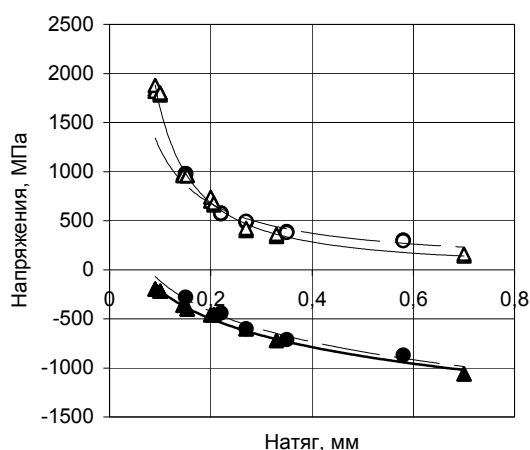


Рис.3. Влияние натяга на уровень растягивающих напряжений в зоне распространения усталостных трещин: ▲, ● - сжимающие, △, ○ - результирующие растягивающие напряжения, возникающие при высадке болтов М22×70 и М22×140, соответственно

натяга на уровень сжимающих напряжений, возникающих при запрессовке, и результирующих напряжений, действующих при высадке, приведены на рис.3.

Как видно из графиков, увеличение натяга приводит к росту сжимающих напряжений и значительному снижению величины результирующих растягивающих напряжений.

Результаты экспериментальных исследований показали хорошее совпадение с данными численных исследований напряжённо-деформированного состояния матриц в зависимости от величины натяга. Анализ полученных данных показывает, что при увеличении натяга (рис.4) снижается уровень растягивающих напряжений, способствующих распространению усталостных трещин, однако при этом происходит значительное возрастание эквивалентных напряжений,

вызывающих повышенный износ ручья. Наблюдается также рост касательных напряжений, ответственных за микропластические деформации, приводящих к зарождению микротрещин [4].

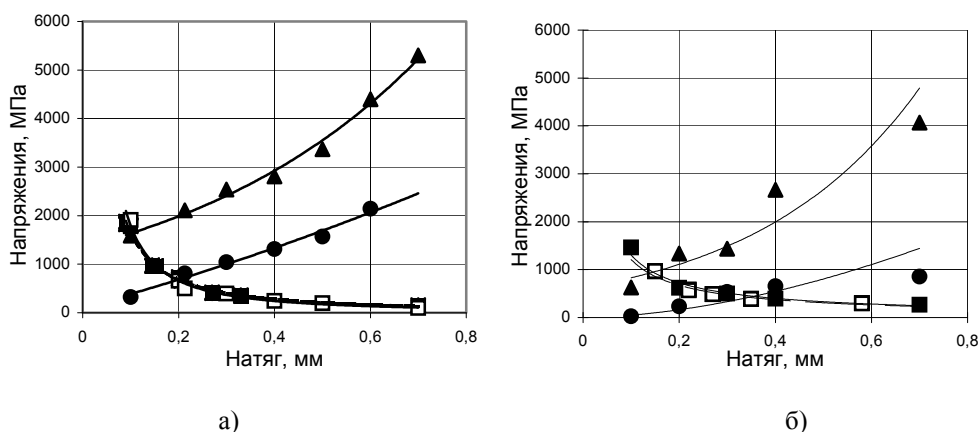


Рис.4. Зависимость эквивалентных (▲), главных (■) и касательных (●) напряжений в зоне зарождения и растягивающих (■, □) в зоне распространения трещины от величины натяга (□- экспериментальные, ■-расчётные значения); а – матрица третьего перехода высадки болта М22×70, б – М22×140

Результаты усталостных испытаний гантелеобразных образцов, изготовленных из стали Р6М5 твёрдостью 60-61 HRC, проведенные по асимметричному циклу при напряжениях, аналогичных возникающим в зоне распространения усталостных трещин, показали, что предел выносливости стали Р6М5 составляет порядка 580-600 Мпа [5]. На реальных матрицах растягивающие напряжения такого уровня возникают при натяге менее 0,21 мм для болтов М22×70 и 0,23 мм для матриц, изготавливающих болт М22×140.

Результаты исследования влияния натяга на характер разрушения матриц показали, что в случае установки матриц с натягом менее чем 0,2 мм, причиной их разрушения становится усталостное разрушение материала инструмента (рис. 5а, б). При величине натяга порядка 0,2-0,3 мм обеспечивается наивысшая стойкость матриц. Причиной прекращения их эксплуатации является износ рабочих поверхностей, сопровождаю-

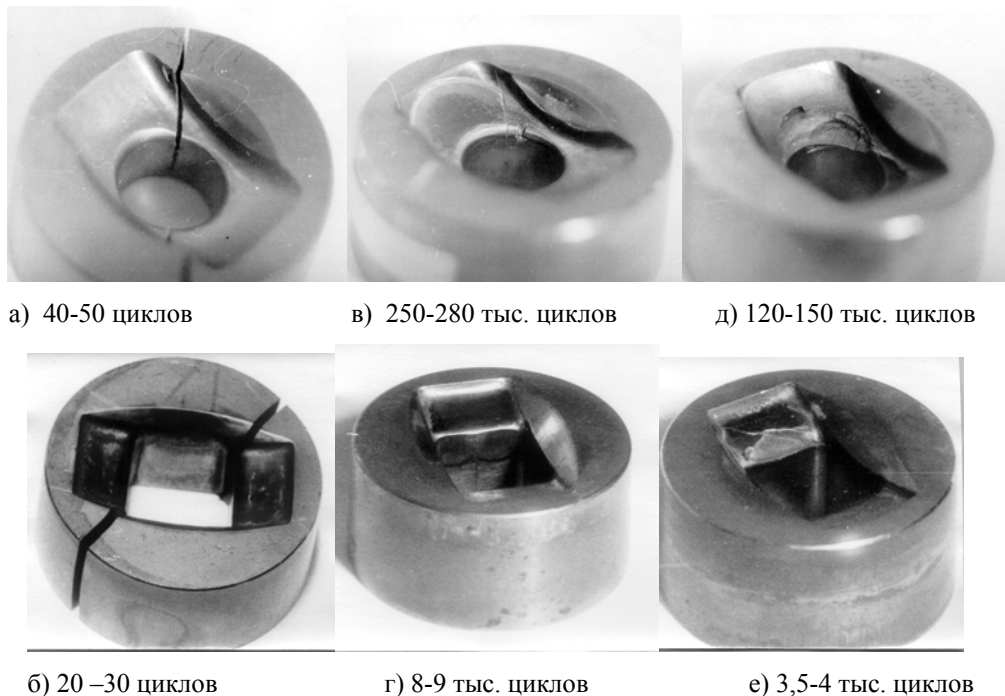


Рис.5. Характер разрушения матриц третьего перехода, запрессованных в корпус с различными натягами: а, б - $h < 0,2$ мм, в,г - $h = 0,2-0,3$ мм, д,е - $h > 0,4$ мм

щийся проявлениями усталостных процессов (рис. 5 в, г). При увеличении натяга до 0,4 мм происходит интенсификация износа ручья инструмента, который при натяге 0,5 мм и более сопровождается проявлением контактной усталости поверхностных слоёв металла (рис. 5 д, е).

Влияние градиента свойств на стойкость инструмента исследовалось на примере карбидного и карбонитридного упрочнения. Толщина упрочнённых слоёв составляла

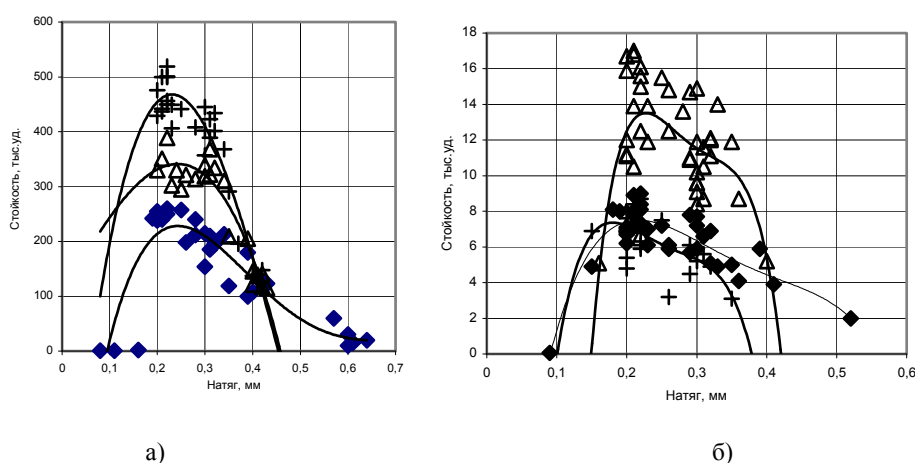
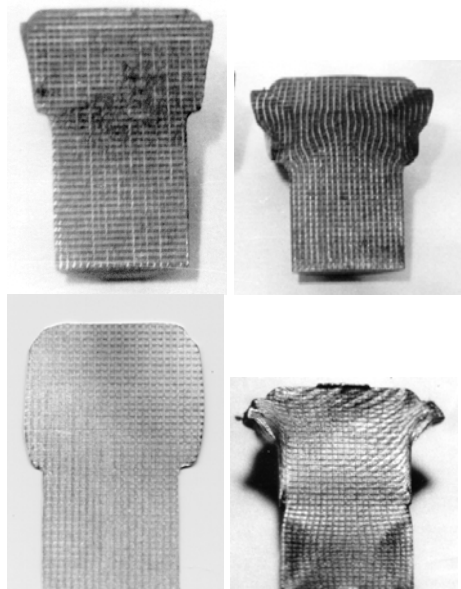


Рис.6. Влияние натяга на стойкость матриц с различными свойствами поверхности: \blacklozenge – без упрочнения; \blacktriangle – с карбидным упрочнением; $+$ – с карбонитридным упрочнением; а) – матрица третьего перехода для высадки болта M22×70, б) – M22×140

порядка 0,4-0,5 мм. Экспериментальная оценка влияния модификации поверхности на стойкость инструмента показала, что для матриц, изготавливающих болт M22×70, максимальное увеличение стойкости достигается посредством карбонитридного упрочнения поверхности (рис. 6а).

При высадке болта M22×140 наибольшей стойкостью обладают матрицы, упрочнённые посредством науглероживания поверхности гравюры (рис. 6б). Особенность столь разного влияния науглероживания и нитроцементации на работоспособность



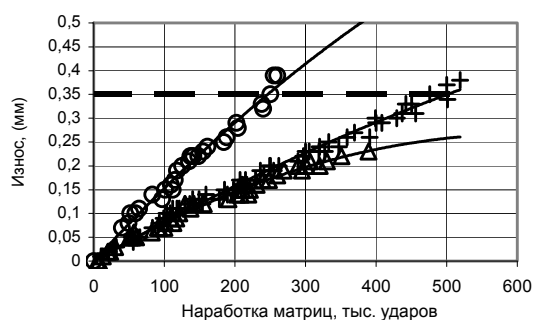
а)

б)

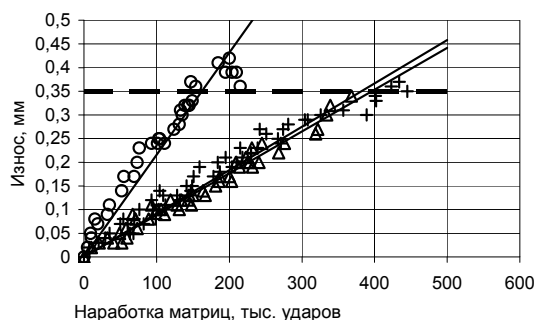
Рис. 8. Характер пластической деформации головок болтов на третьем переходе: а-М22х70; б-М22х140

матриц объясняется различием в механизме взаимодействия на границе инструмент-заготовка, для матриц, высаживающих болты M22×70 и M22×140. Так, гравюра матрицы третьего перехода для высадки болта M22×70 основную нагрузку испытывает в момент заполнения рабочей полости металлом заготовки. Перемещение материала заготовки относительно формообразующей поверхности незначительно (рис. 8а). Выталкивание заготовки из штампа не сопровождается её дальнейшим формоизменением. Износостойкость указанных матриц, упрочнённых посредством низкотемпературной нитроцементации, повышена в 2 раза (рис. 9). Износ гравюры равномерен, образование трещин объёмной усталости при установке матриц с натягом более 0,2 мм не происходит. Контактная и объёмная усталость поверхностного слоя увеличивается благодаря повышенной пластичности диффузионного подслоя [6], состоящего из азотистого феррита с включениями мелкодисперсных карбонитридов легирующих элементов.

Применение науглероживания также приводит к некоторому повышению износостойкости поверхности, однако, наружный слой



а)



б)

Рис.9. Влияние поверхностного упрочнения матриц для высадки болта M22×70 на их износостойкость. О – без упрочнения; Δ – упрочненные науглероживанием; + – нитроцементацией; а) – натяг 0,20-0,22 мм, б) – натяг 0,30-0,32 мм

гравюры, насыщенный большим количеством мелких глобулярных карбидов, быстрее накапливает внутренние повреждения, что приводит к проявлению контактной усталости поверхности и выходу матрицы из строя.

В случае формоизменения заготовки на операции высадки и выталкивания, что характерно для матриц, штампующих болт М22×140, их рабочая поверхность подвержена повышенному износу в результате значительного перемещения материала заготовки по формообразующей поверхности матрицы на этапе выталкивания заготовки (рис.8б). Это обусловлено геометрической формой матрицы, рабочая полость которой в зоне формообразования квадратного подголовника имеет обратный уклон (рис.1б). Повышение износостойкости в этой ситуации достигается путём создания карбидного слоя. Прекращение работы матриц без упрочнения рабочей поверхности происходит по причине предельного износа отверстия матрицы, формирующего квадратный подголовник. Применение науглероживания позволяет снизить интенсивность износа (рис.10). Применение карбонитридного упрочнения, в данной ситуации, не даёт положительного эффекта.

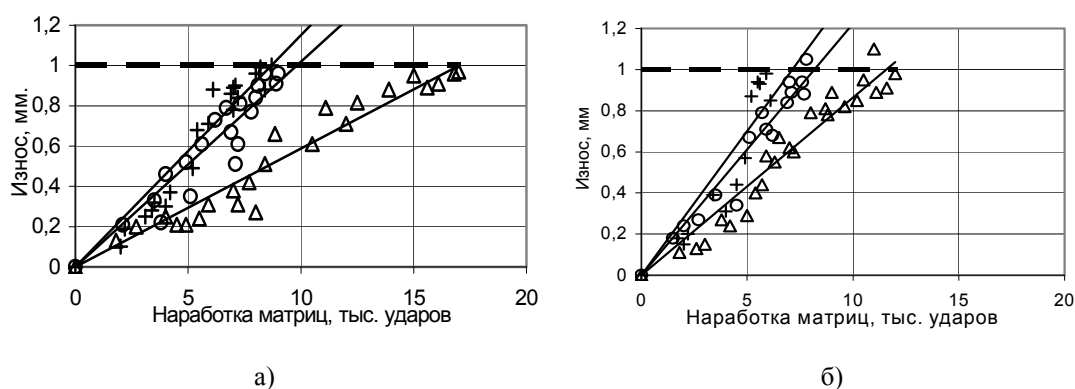


Рис. 10. Влияние натяга и метода упрочнения поверхности матриц высадки болта М22×70 на их износостойкость: ○ – без упрочнения; Δ – с карбидным упрочнением; + – с карбонитридным упрочнением; а) – натяг 0,20-0,22 мм; б) – натяг 0,30-0,32 мм

Заключение. Результаты проведенных исследований показали, что увеличение натяга при запрессовке матриц холодновысадочной оснастки в бандаж, приводит к снижению уровня растягивающих напряжений, однако при этом происходит значительный рост эквивалентных и касательных напряжений. В зависимости от их соотношения меняется механизм износа матриц. Наибольшая стойкость матриц обеспечивается при натяге порядка 0,2 мм. Существенного повышения стойкости матриц можно достичь путём цементации или нитроцементации их формообразующих поверхностей.

Литература

1. Степанский Л.Г., Смирнов Д.Ю. Оптимизация конструкции предварительно напряженных матриц для холодной объёмной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство.- 1996.- № 6.- С. 18-21.
2. Векслин И.И., Дробязко И.С. Исследование стойкости матриц сборной конструкции для холодной высадки // Кузнечно-штамповочное производство.- 1983.- № 11.- С. 39-40.
3. Трахтенберг Б.Ф. Современные тенденции в проблеме стойкости штампов // Кузнечно-штамповочное производство.- 1981.- №8.- С. 27-29.
4. Кремнев Л.С. Особенности разрушения инструментальных материалов // Металловедение и термообработка металлов.- 1994.- №4.- С. 17-22.

5. Кенько В.М., Степанкин И.Н., Ткачёв В.М. и др. Исследование влияния напряжённого состояния и поверхностного упрочнения матриц холодновысадочной оснастки на их стойкость // Кузнечно-штамповочное производство.- 1999.- №11.- С.15-17.
6. Конструкционные материалы: Справочник / Под ред. Б.Н. Арзамасова.- М.: Машиностроение, 1990.- 688 с.