

В.М. КЕНЬКО, канд. техн. наук,  
И.Н. СТЕПАНКИН, канд. техн. наук (ГГТУ им. П.О. Сухого)

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАТРИЦ ХОЛОДНОВЫСАДОЧНОЙ ОСНАСТКИ ПО КРИТЕРИЮ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ Р6М5

Ресурс работы детали в условиях знакопеременных нагрузок обусловлен выносливостью материала. Его циклическая прочность во многом зависит от напряженного состояния, размаха цикла, коэффициента асимметрии и амплитуды напряжений [1]. При эксплуатации матриц холодновысадочной оснастки на перечисленные параметры влияют прежде всего условия сопряжения детали в узле, которые определяются конструкцией штампа и технологическими режимами процесса высадки.

В настоящей работе исследовано напряженное состояние холодновысадочных матриц для изготовления болтов железнодорожного крепежа М22×70 и М22×140 и определена стойкость матриц с учетом усталостной долговечности материала. Матрицы изготавливали из быстрорежущей стали Р6М5. Экспериментальные исследования были проведены на матрицах третьего перехода, окончательно калибрующих головку болта и обладающих наименьшей стойкостью.

Оценку напряженного состояния матриц проводили путем тензометрирования. Тензодатчики размещали на передней поверхности матриц перпендикулярно к направлению роста усталостных трещин в процессе работы инструмента (рис. 1). Матрицы запрессовывали в обойму с различным натягом и определяли сжимающие напряжения в указанной зоне. Затем измеряли результирующие растягивающие напряжения, возникающие при штамповке головки болта. Для этого обойму с матрицей устанавливали в пресс-автомат и производили высадку болтов в режиме единичных ударов. Для устранения влияния инерции измерительной аппаратуры

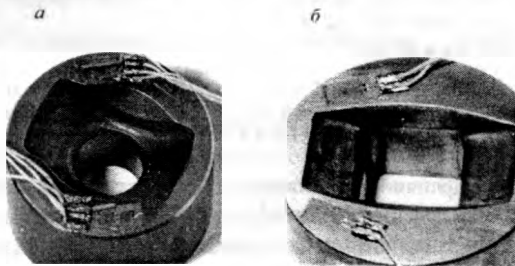


Рис. 1. Холодновысадочные матрицы третьего перехода для высадки болтов М22×70 (а) и М22×140 (б)

ползун фиксировали в положении, соответствующем максимальному сближению пуансона и матрицы, т.е. максимальной степени деформации заготовки, что позволило измерять максимальные напряжения цикла в установившемся статическом режиме.

Усталостную долговечность материала матриц оценивали по схеме растяжение – сжатие на гантелеобразных образцах, изготовленных по ГОСТ 25.504 – 82. Термообработку образцов осуществляли по технологии, аналогичной технологии термообработки матриц. В результате была получена структура, характеризующаяся 2...3-м баллом мартенсита и 11-м баллом действительного зерна аустенита. Твердость образцов составила 60...61 HRC. Нагружение образцов осуществляли на установке УРС 20/600 по асимметричному циклу при напряжениях, аналогичных напряжениям, возникающим в процессе эксплуатации в зонах распространения усталостных трещин.

Экспериментальные данные влияния натяга на уровень сжимающих напряжений, возникающих при запрессовке, и результирующих напряжений, действующих при высадке, приведены на рис. 2. Как видно из графиков, увеличение натяга приводит к росту сжимающих напряжений и значительному уменьшению результирующих растягивающих напряжений. Для снижения вероятности развития усталостного разрушения растягивающие напряжения, возникающие в материале оснастки, не должны превышать предела выносливости материала. Минимальный натяг должен определяться с учетом выносливости материала оснастки. Для определения предела выносливости стали Р6М5 с учетом напряженного состояния матриц соотношение максимального и минимального напряжений цикла устанавливали в соответствии с графиком (рис. 2). Результаты усталостных испытаний приведены на рис. 3.

Вероятностная оценка для условий выживания 95% образцов (вероятность разрушения 5%) показала, что предел выносливости составляет порядка 570 МПа. Это значение удовлетворительно коррелирует с экспериментальными данными, согласно которым из пятнадцати образцов,

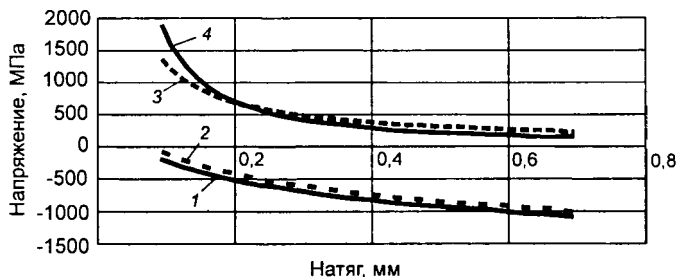
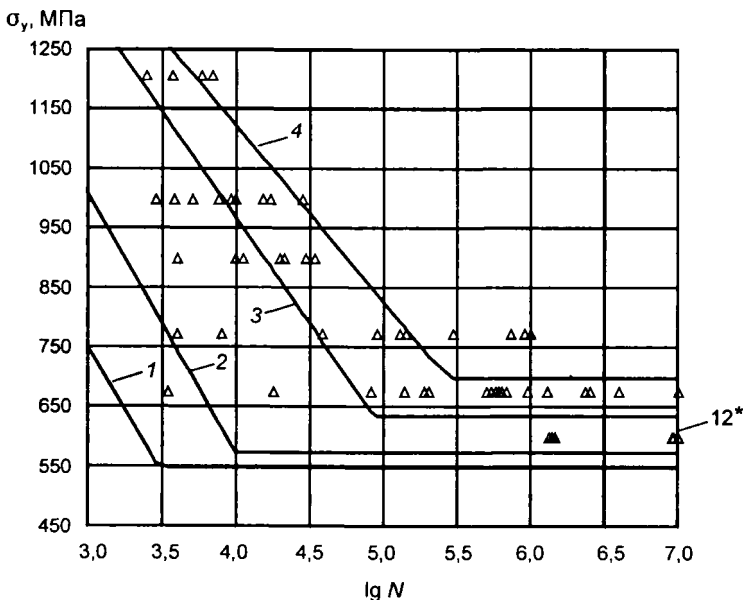


Рис. 2. Влияние натяга на величину напряжений в зоне распространения усталостных трещин:

1, 2 – сжимающие напряжения; 3, 4 – результирующие растягивающие напряжения, возникающие при высадке болтов М22×70 и М22×140 соответственно



**Рис. 3.** Результаты усталостных испытаний образцов из быстрорежущей стали P6M5:  $\Delta$  – экспериментальные данные, отражающие максимальное напряжение цикла ( $\sigma$ ) и кривые Велера для вероятностей разрушения (\* – число неразрушенных образцов):  
 1 –  $P = 0\%$ ; 2 –  $P = 5\%$ ; 3 –  $P = 50\%$ ; 4 –  $P = 95\%$

подвергнутых циклическому нагружению при напряжениях цикла  $\sigma_{\max} = 597,7$  МПа,  $\sigma_{\min} = -499,5$  МПа, двенадцать достигли долговечности  $10^7$  циклов без разрушения.

Характер разрушения образцов зависит от амплитуды растягивающего напряжения. В случае, когда она превышает 1000 МПа, разрушение происходит в результате распространения краевой трещины по механизму хрупкого скола (рис. 4, а). Снижение амплитуды растягивающего напряжения приводит к усталостному распространению краевой трещины, при движении которой наблюдаются участки вязкого разрушения с распространением трещины на некоторых участках под углом, близким к  $45^\circ$ , к поперечному сечению образца (рис. 4, б).

Результаты усталостных испытаний использовали для определения радиального натяга по критерию выносливости материала матриц. Установили, что для обеспечения длительной работы матриц амплитуда растягивающих напряжений в наиболее нагруженных зонах не должна превышать 570 МПа. Это условие выполняется при установке матриц в обойму с натягом порядка 0,2 мм.

Экспериментальная проверка подтверждает сделанные выводы. Матрицы третьего перехода для высадки болтов M22×70 и M22×140, установленные с рекомендуемыми радиальными натягами, отличаются наивысшей стойкостью (рис. 5).

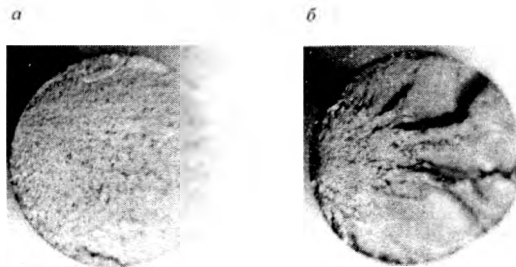


Рис. 4. Излом образцов без упрочнения поверхности:  
*а* – хрупкий; *б* – усталостный

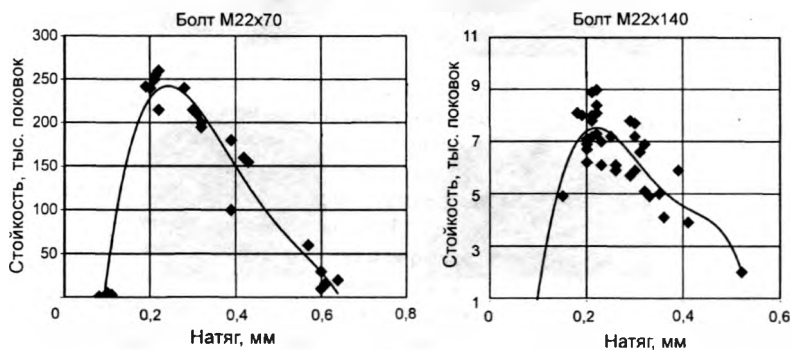
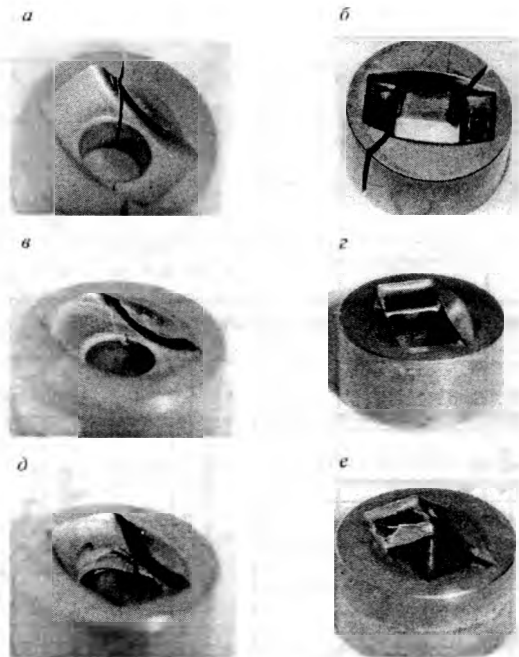


Рис. 5. Стойкость матриц при установке их с различными натягами

Анализ характера разрушения матриц показывает, что в случае установки матриц с натягом менее 0,2 мм причиной их выхода из строя становится усталостное разрушение материала инструмента (рис. 6, *а, б*). Причиной прекращения эксплуатации матриц, имеющих максимальную стойкость (натяг 0,2...0,3 мм) является износ рабочих поверхностей, сопровождающийся незначительными проявлениями усталостных процессов (рис. 6, *в, г*). При увеличении натяга до 0,4 мм и более происходит интенсификация износа ручья инструмента, который сопровождается проявлением контактной усталости поверхностных слоев металла (рис. 6, *д, е*), что снижает стойкость инструмента.

Таким образом, проведена оценка напряженного состояния холодно-высадочных матриц, изготавливаемых из стали Р6М5. Определено влияние величины радиального натяга, с которым матрицы устанавливаются в обоймы, на уровень результирующих растягивающих напряжений, ответственных за усталостное разрушение материала матриц. Определен предел выносливости материала матриц с учетом их реальной схемы нагружения. По критерию усталостной долговечности выявлена величина радиального натяга, что позволило повысить стойкость инструмента за счет



**Рис. 6.** Характер разрушения матриц третьего перехода, запрессованных в корпус с различными натягами:

*a, б* –  $h < 0,2$  мм; *в, г* –  $h = 0,2 \dots 0,3$  мм; *д, е* –  $h > 0,4$  мм

уменьшения вероятности развития усталостных процессов. Сделанные выводы подтверждены результатами экспериментальной проверки стойкости инструмента в условиях серийного производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Поведение стали при циклических нагрузках / Под ред. В. Даля. М.: Металлургия, 1983. 568 с.