

УДК 621.7.07

## ПРОГРЕССИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХОЛОДНОВЫСАДОЧНЫХ МАТРИЦ

В. М. КЕНЬКО, И. Н. СТЕПАНКИН\*

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, пр. Октября 48, 246746, г. Гомель, Беларусь.

*Исследован характер разрушения тяжело нагруженных холодновысадочных матриц из стали Р6М5, и разработаны методы, позволяющие снизить себестоимость их изготовления и увеличить стойкость. Показано, что основными факторами, ограничивающими работоспособность оснастки, являются усталость материала матриц и изнашивание их рабочих поверхностей. Модернизация технологии получения ручья матрицы позволяет улучшить микроструктуру поверхностных слоев и повысить выносливость металла. При этом значительно снижаются затраты на их изготовление. Оптимизация геометрической формы оснастки позволяет перераспределить нагрузки, возникающие на формообразующей поверхности, и тем самым повысить износоустойчивость инструмента. Дополнительный эффект повышения стойкости достигается с помощью упрочнения рабочей поверхности посредством низкотемпературной нитроцементации. Оптимизация геометрической формы и технологии получения матриц позволили повысить их стойкость в 20–25 раз.*

### Введение

Экономическая целесообразность использования холодной высадки для получения метизов в значительной степени определяется стоимостью холодновысадочной оснастки, приходящейся на единицу изделия, величина которой обуславливается ее стойкостью. Последняя определяется конструктивными и технологическими параметрами оснастки, а также режимами химико-термической обработки и материалами, из которых она изготовлена. Одними из наиболее нагруженных и наименее стойких деталей холодновысадочной оснастки являются матрицы.

### Объект исследования

В качестве объекта исследования выбрана холодновысадочная оснастка для изготовления железнодорожного болта (Б.Ж.01.00.601-Болт М22-8g×75.58 ГОСТ 16016-79), получаемого за три перехода на прессе-автомате NEDSCHROEF BV-6 (ФРГ). Производительность автомата 60–65 болтов в минуту. Высаживаемая головка железнодорожного болта имеет относительно большой объем, высокую степень деформации ( $h_0/d_0 = 2,65$ ) и сложную геометрическую форму. Матрицы изготавливаются из быстрорежущей стали Р6М5. Формообразующие поверхности обрабатываются электроэрозионным методом. Наименьшей стойкостью (15–20 тыс. уд.)

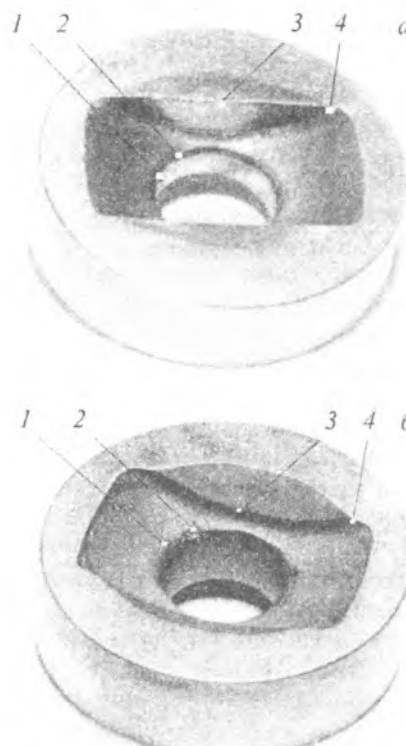


Рис. 1. Холодновысадочная матрица: а – без разгружающих камер; б – с разгружающими камерами; 1–4 – точки максимальных напряжений, действующих на рабочую поверхность

\* Автор, с которым следует вести переписку.

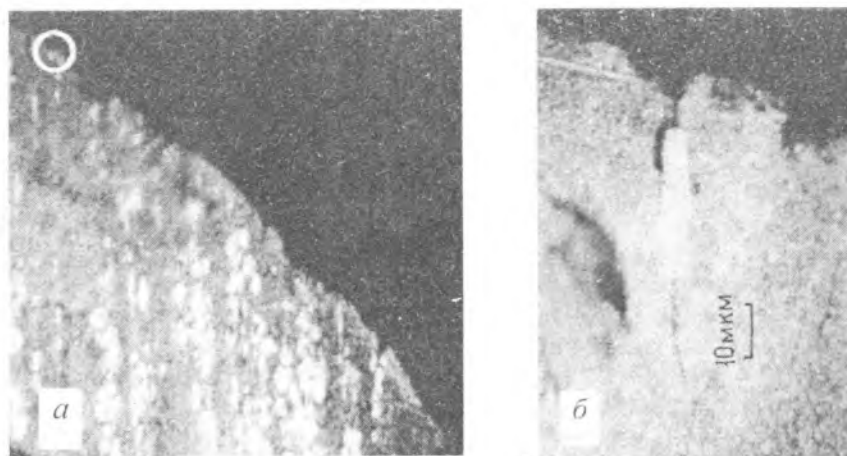


Рис. 2. Микроструктура матрицы с рабочей поверхностью, полученной электроэрозионным способом: *a* –  $\times 100$ ; *б* –  $\times 1000$

обладают матрицы третьего перехода (рис. 1, *a*), окончательно формирующие головку болта.

Основными причинами выхода из строя матриц являются образование усталостных трещин с последующим разрушением матрицы и изнашивание поверхности, формирующей головку болта, вследствие контактной усталости при фрикционном взаимодействии деформируемого металла и матрицы.

Микроанализ материала матриц, полученных электроэрозионным методом, показывает, что в структуре металла содержатся крупные карбидные частицы, выходящие на рабочую поверхность. При этом увеличение плотности и геометрических размеров карбидов наблюдается в зоне сопряжения формообразующей поверхности с отверстием под стержень болта (рис. 2) аналогично расположению их в заготовке.

Циклическое нагружение матрицы с частотой 60–65 циклов в минуту способствует развитию усталостных процессов, зарождению и накоплению повреждений на границе карбид–металлическая матрица, в первую очередь, у карбидов, выходящих на рабочие поверхности. На рис. 2, *б* показана трещина, зародившаяся на формообразующей поверхности матрицы, отработавшей 10 циклов, которая, пройдя карбид, распространяется далее вглубь металла. У острия трещины можно различить вторичную микротрещину, размеры которой на порядок меньше размеров основной.

Общая длина образовавшегося дефекта (расстояние от острия трещины до рабочей поверхности) составляет порядка 50–60 мкм, что, в случае одноосного растяжения, должно привести к разрушению материала, так как критическая длина трещины, приводящей к хрупкому разрушению, для стали Р6М5 составляет порядка 6,5 мкм [1]. Однако в рассматриваемом случае матрица запрессована в корпус–бандаж и находится в условиях стесненного деформирования. Это приводит к тому, что трещина распространяется не хрупким сколом, а по усталостному механизму, увеличиваясь при каждом рабочем цикле. Остроконечные карбиды, выходящие на

формообразующую поверхность, являются источниками зарождения микротрещин.

Одновременно с развитием усталостных процессов при работе оснастки наблюдается интенсивное изнашивание в зоне сопряжения формообразующей поверхности головки болта с отверстием под его стержень вследствие фрикционного взаимодействия деформируемого металла с рабочей поверхностью матрицы. Для матриц, изготовленных согласно базовой технологии электроэрозионным методом, уже после производства 15–20 тыс. деталей износ в месте сопряжения составляет 1 мм, что приводит к увеличению радиуса сопряжения с 1,5 до 2,5 мм.

#### Анализ напряженно-деформированного состояния матрицы

Для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) матрицы были проведены численные исследования с использованием метода конечных элементов, реализуемого посредством компьютерной программы ANSYS версии 5.3. Так как конструкция матрицы и условия нагружения симметричны, то для упрощения расчета рассматривалась ее четвертая часть, что является характерным при исследовании симметричных деталей [2]. В первом приближении принято, что давление, обеспечиваемое холодновысадочным автоматом, равномерно распределено по поверхности матрицы и на рабочую часть исследуемого сегмента матрицы приложена только четвертая часть всей нагрузки.

Результаты расчета показали, что максимальное значение эквивалентных напряжений в матрице (свыше 3,5 ГПа) возникает в месте сопряжения формообразующих поверхностей. В этой же наиболее приближенной к оси заготовки зоне локализуются максимальные растягивающие напряжения, приводящие к разрушению материала.

Исходя из анализа напряженно-деформированного состояния и основных причин выхода из строя матриц, определены следующие пути повышения их стойкости:

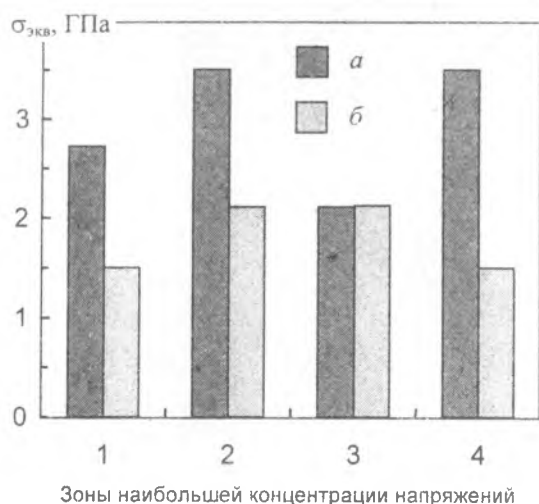


Рис. 3. Уровень контактных напряжений в наиболее нагруженных зонах рабочей поверхности для матрицы: а – без облегчающих камер; б – с облегчающими камерами

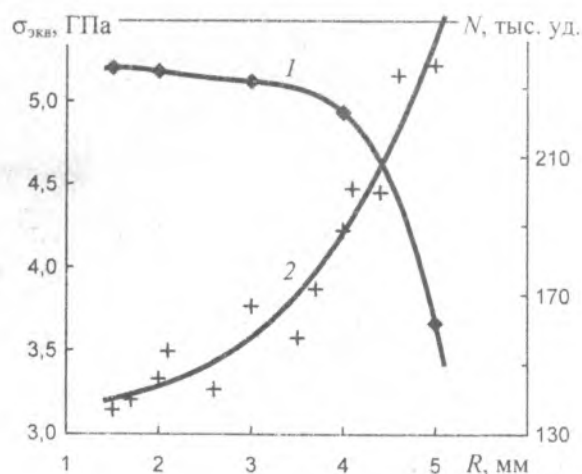


Рис. 4. Зависимость эквивалентных напряжений (1) и стойкости матриц (2) от величины радиуса сопряжения формирующих поверхностей

- конструктивные изменения геометрической формы рабочей поверхности матрицы с целью оптимизации НДС;
- совершенствование микроструктуры материала матрицы и технологии изготовления формообразующей поверхности;
- изменение фазового и химического состава и физико-механических свойств поверхностного слоя.

### Оптимизация геометрической формы рабочей поверхности

Существенного снижения эквивалентных напряжений в наиболее нагруженных точках рабочих поверхностей матриц можно добиться путем изготовления разгружающих камер в виде лысок (рис. 1, б). Хотя при этом несколько увеличивается толщина облоя, вытекающего в зазор между пуансоном и матрицей, эквивалентные напряжения в точках 1, 2, 4 снижаются в 1,5–2 раза (рис. 3), что приводит к повышению стойкости матриц в два раза.

Результаты численных исследований НДС показывают, что существенного снижения уровня действующих напряжений в матрице и их распределения можно добиться, изменив радиус сопряжения формообразующей поверхности головки болта и отверстия под его стержень.

Изменение радиуса сопряжения с 1,5 (используемого в существующей оснастке) до 5 мм приводит к снижению уровня эквивалентных напряжений в 1,4 раза (рис. 4) и повышению стойкости указанных матриц в два раза. При этом основной причиной прекращения эксплуатации матрицы становится проявление усталостного разрушения материала, в то время как признаки изнашивания в месте сопряжения формообразующей поверхности с отверстием под стержень болта отсутствуют (рис. 5, б).

### Влияние микроструктуры материала матрицы

Значительное влияние на стойкость оснастки из быстрорежущих сталей оказывает структура металла, в частности, размеры карбидов и их расположение.

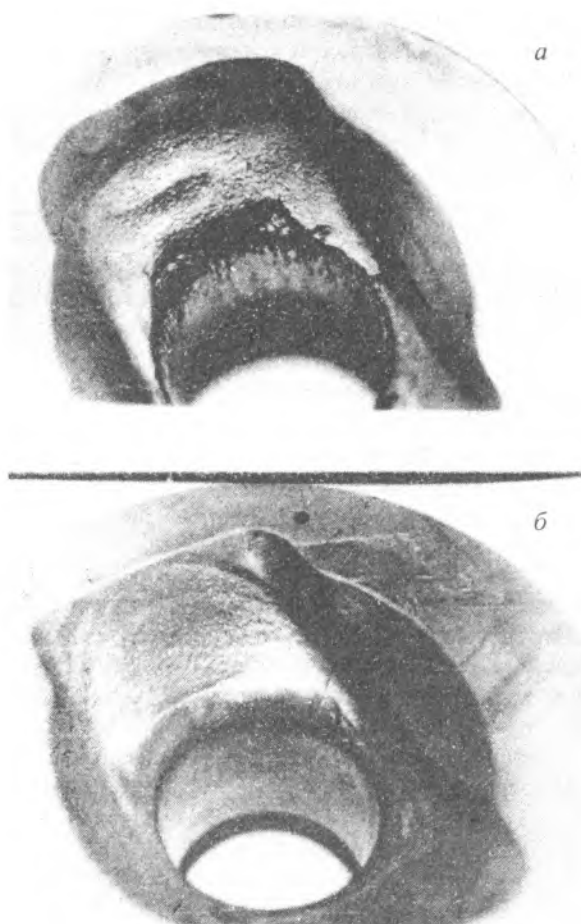


Рис. 5. Характер разрушения холодновысадочных матриц с радиусом сопряжения: а – 1,5 мм; б – 5 мм

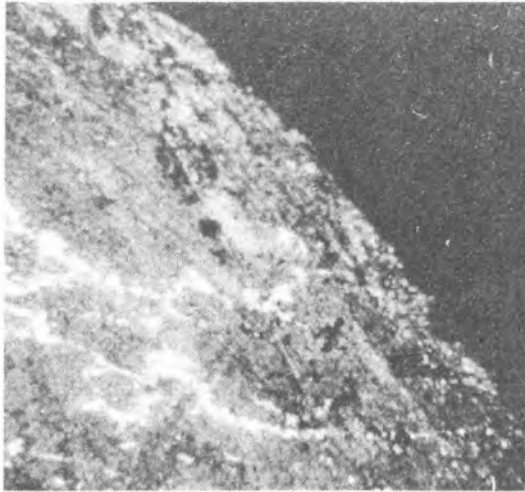


Рис. 6. Микроструктура матрицы, изготовленной из ковальной заготовки ( $\times 100$ )

Применение 3–4-х кратного перекова позволяет измельчить эвтектоидные карбиды и добиться их более равномерного распределения по объему металла. Однако избавиться от строчности расположения и выхода карбидных цепочек на рабочую поверхность не удастся (рис. 6). Кроме того,ковка быстрорежущих сталей является энергоемким и трудоемким процессом, требующим высокой квалификации. На практике же до 20% заготовок с термическими трещинами отбраковываются уже на кузнечной операции (эксперименты проводились на базе кузнечно-термического участка инструментально-штампового корпуса Гомельского завода литья и нормалей).

Получение рабочей поверхности методом холодного выдавливания нецелесообразно, т. к. технологическая оснастка для его осуществления имеет большие геометрические размеры, а соответственно, материалоемкость и не обладает достаточной стойкостью.

Оптимальным путем решения проблемы улучшения микроструктуры металла вблизи формообразующих поверхностей матрицы является применение метода горячего выдавливания рабочих поверхностей при температуре 880–900 °С. В результате пластического деформирования цепочки измельченных карбидов ориентируются параллельно геометрическому профилю матрицы (рис. 7), что приводит к снижению вероятности их выхода на рабочую поверхность, а соответственно, к уменьшению количества центров зарождения усталостных трещин.

Трудоемкость изготовления матриц по предложенной технологии снизилась на 25%. Более чем в два раза уменьшилась энергоемкость технологического процесса по сравнению с электроэрозсионным методом получения формообразующей поверхности. Стойкость матриц возросла в 5–7 раз.

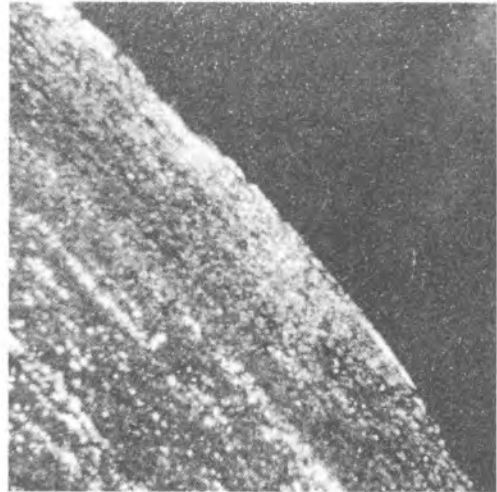


Рис. 7. Микроструктура матрицы, полученной горячим выдавливанием ( $\times 100$ )

### Упрочняющая обработка формообразующей поверхности

Третий путь повышения стойкости матриц — изменение химического состава и физико-механических свойств поверхностных слоев рабочего ручья матрицы.

Модификация поверхности проводилась двумя способами: нанесением износостойкого покрытия из нитрида титана и диффузионным упрочнением посредством низкотемпературной нитроцементации.

Применение покрытия из нитрида титана позволило повысить стойкость матриц до 280–290 тыс. ударов, после чего образуются усталостные трещины (рис. 8) и матрица выходит из строя.

Нитроцементация проводилась после стандартной для стали Р6М5 термообработки в течение 7–8 ч при температуре 550–560 °С. Рабочей средой служили продукты диссоциации триэтанолamina. Толщина карбонитридного слоя составляла 0,4–0,5 мм, о чем можно судить по распределению микротвердости упрочненного слоя (рис. 9). В результате этой химико-термической обработки в поверхностных слоях матрицы возникают остаточные напряжения сжатия до 800 МПа [3]. Диффузионное насыщение рабочей поверхности углеродом и азотом приводит к уменьшению уровня растягивающих напряжений в наиболее нагруженном слое материала матрицы и повышению предела выносливости металла.

Кроме того, высокая твердость упрочненной поверхности (рис. 9) обеспечивает ее повышенное сопротивление контактному смятию. На рабочих поверхностях матриц, упрочненных посредством низкотемпературной нитроцементации, в зоне радиуса сопряжения формообразующей поверхности с отверстием под стержень болта усталостные трещины отсутствуют, а износ рабочей поверхности равномерен (рис. 8, б). Стойкость матриц с учетом всех приведенных конструктивных и тех-

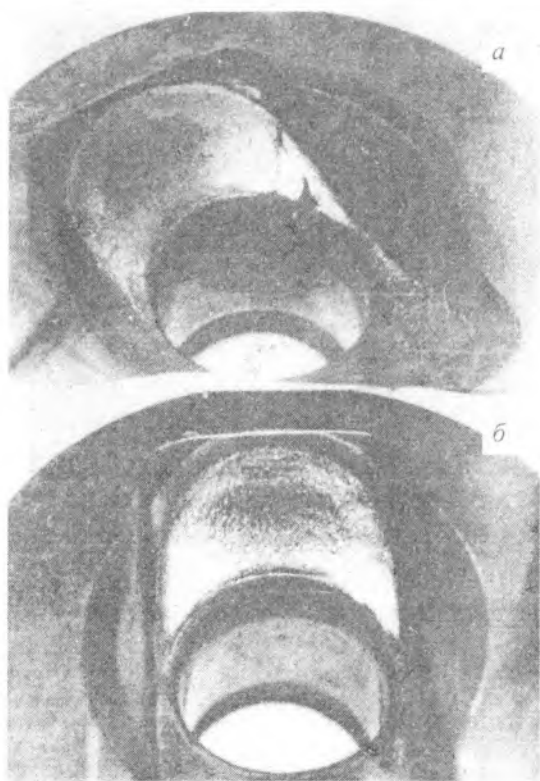


Рис. 8. Характер разрушения рабочей поверхности матриц: *а* – с покрытием на основе нитрида титана; *б* – упрочнённых посредством низкотемпературной нитроцементации

нологических мероприятий достигает более 500 тыс. уд., что в 20–25 раз выше стойкости матриц прототипов.

### Выводы

Оптимизация конструкции холодновысадочных матриц на основе анализа их напряженно-деформированного состояния позволяет перераспределить нагрузки, возникающие на рабочей поверхности, снизить их максимальные значения и

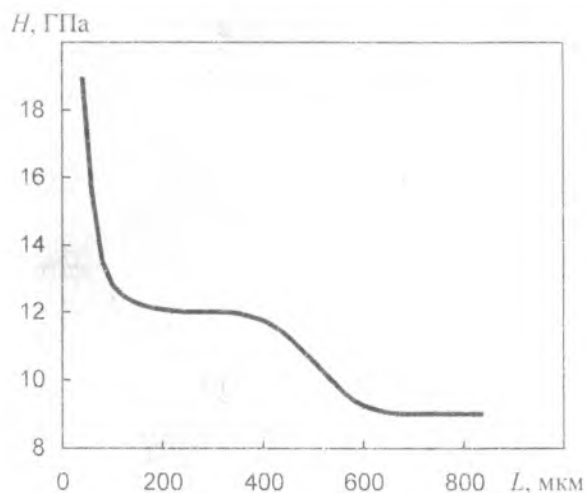


Рис. 9. Зависимость микротвёрдости стали Р6М5, упрочнённой низкотемпературной нитроцементацией, от расстояния до рабочей поверхности

облегчить условия работы инструмента.

Совершенствование структуры материала матриц за счет изменения технологии получения формообразующей поверхности позволяет повысить локальную прочность металла при сокращении затрат на ее изготовление.

Создание градиента свойств по сечению инструмента обеспечивает повышение усталостной долговечности и износостойкости оснастки.

### Литература

1. Кремнев Л. С. Особенности разрушения инструментальных материалов // *Металловедение и термическая обработка металлов* (1994), № 4, 17–22
2. Ганаго О. А., Марченко В. Л., Ковгун В. В. Расчет и оптимизация конструкций осесимметричных матриц для холодной объемной штамповки. // *Кузнечно-штамповочное производство* (1985), № 9, 21–24
3. Лахтин Ю. М., Арзамасов Б. Н. *Химико-термическая обработка металлов*. Москва: Металлургия (1985)

Kenko V. M., Stepankin I. N.

Advanced manufacturing process of cold upsetting dies.

The failure pattern of heavy loaded cold upsetting dies from W, Mo<sub>5</sub> steel has been investigated. The method to cut the dies manufacturing cost and increase their durability has been developed. It is shown that the main factors restricting equipment serviceability are die material fatigue and wear of the working surfaces. Update of die impression manufacturing enables optimization of the microstructure of surface layers and increases endurance of the metal. In addition, manufacturing cost can be considerably reduced. Optimization of geometrical shape of the equipment ensures redistribution of loads arising on the working surfaces and thereby higher wear resistance of the tool is achieved. The low temperature nitro-carbonization process is used for strengthening a working surface and increase its durability. Die shape optimization and improved die manufacturing process makes it possible to increase wear resistance 20 to 25 times.

Поступила в редакцию 23.06.99

© В. М. Кенько, И. Н. Степанкин, 1999.