

УДК 539.43

ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛИ Р6М5 НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ШТАМПОВОЙ ХОЛОДНОВЫСАДОЧНОЙ ОСНАСТКИ

В.М. КЕНЬКО⁺, И.Н. СТЕПАНКИН

Исследовано влияние параметров микроструктуры — карбидной неоднородности и размеров зерна стали Р6М5 на характер изменения износостойкости холодновысадочной оснастки. Показано, что более высокой износостойкостью обладают матрицы, закаленные на 11-й балл зерна. Дополнительное повышение износостойкости в условиях контактного трения заготовки и инструмента можно достичь путем цементации рабочих поверхностей.

Ключевые слова: износостойкость, карбидные включения, балл зерна, твердость, цементация, ГТУ
и.и.п.о. Сухого

Введение. При производстве деталей холодной высадкой наиболее нагруженными деталями оснастки являются пуансоны и матрицы. Напряжения, возникающие в инструменте, и его износ зависят от размеров и формы получаемых изделий, а также механических свойств используемых материалов. В качестве материалов для изготовления тяжелонагруженной оснастки широко используются стали типа Х12М и Р6М5.

Цель работы: исследование влияния микроструктуры материала матриц и пуансонов для высадки болтов железнодорожного крепежа на их износ и разработка методов повышения износостойкости холодновысадочной оснастки.

В связи с высоким содержанием легирующих карбидообразующих элементов в указанных сталях большое влияние на механические свойства оказывают размеры и характер распределения карбидных частиц. Балл карбидной неоднородности зависит от диаметра заготовки, из которой изготавливается оснастка, и регламентируется ГОСТ 19265—73. Его влияние на прочность связано с текстурой металла (рис. 1) [1]. Увеличение числа и размеров карбидов, а также изменение их ориентации приводит к значительному изменению прочности рассматриваемых сталей.



Рис. 1. Влияние балла карбидной неоднородности на предел прочности сталей при изгибе: а — Х12М; б — Р6М5; 1 — продольное распределение волокон, 2 — поперечное

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

⁺ Автор, с которым следует вести переписку.

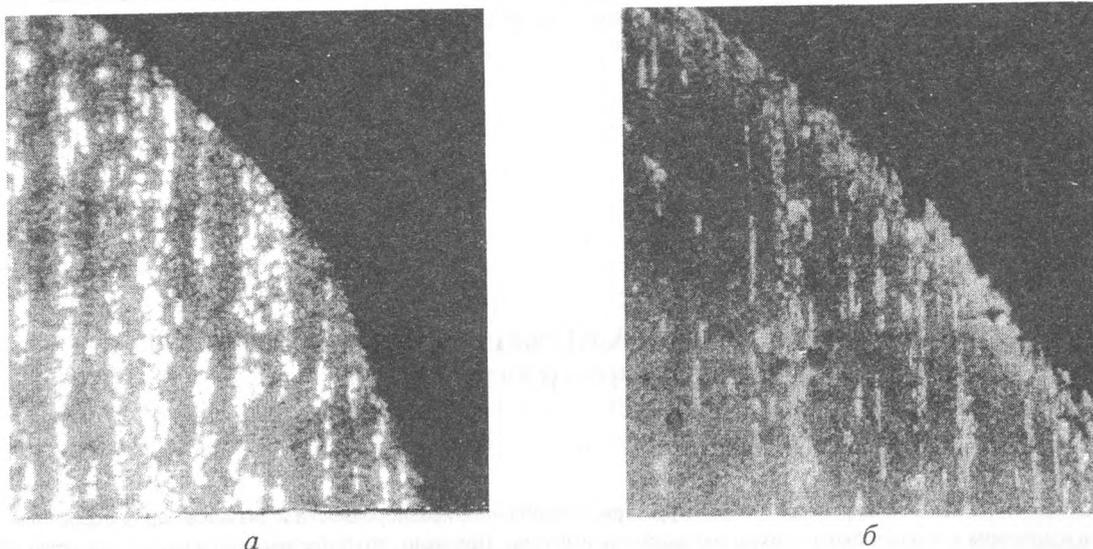


Рис. 2. Микроструктура матриц формообразующая поверхность которых получена электроэрозионным способом:
а — X12M; б — P6M5 ($\times 100$)

Исследование влияния эксплуатационных нагрузок на стойкость оснастки проводилось на матрицах, изготовленных из вышеупомянутых сталей. Испытания показали, что в случае применения стали X12M (твердость 57–59 HRC) разрушение хрупким сколом происходит после первых же циклов нагружения. Матрицы, изготовленные из стали P6M5 (твердость 60–61 HRC), также выходят из строя по причине растрескивания, однако их стойкость до разрушения составляет 10–15 тыс. ударов. Такое повышение стойкости объясняется тем, что инструмент, изготовленный из стали P6M5, способен работать при более высоких контактных напряжениях, которые в указанных матрицах превышают 2 ГПа.

Концентрация максимальных напряжений наблюдается в зоне радиуса сопряжения формообразующей поверхности с отверстием под стержень болта [2]. Наибольшее скопление карбидных частиц наблюдается в этой же зоне (рис. 2). Карбиды, выходящие на рабочую поверхность, служат источниками первоначального зарождения хрупких трещин. В матрицах, полученных электроэрозионным способом, расположение карбидных частиц унаследовано от заготовки. Размеры карбидов в поперечном сечении достигают 2–3 мкм, а в продольном превышают 20 мкм (рис. 3).

Так как трещины возникают на границе карбид — металлическая матрица, то их длина во многом обусловлена размером карбидного включения [3]. Очевидно, что уменьшив размеры включений и предотвратив их выход на рабочую поверхность, можно изменить характер разрушения инструмента.

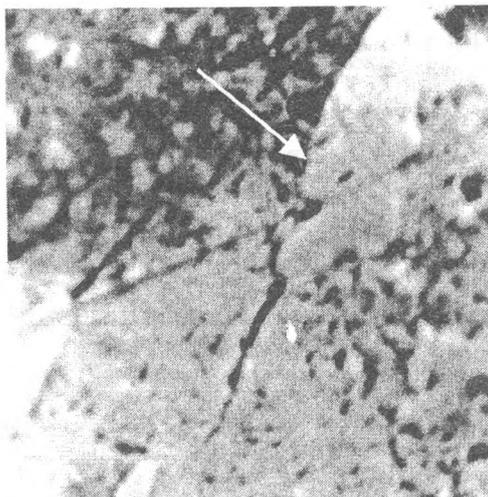


Рис. 3. Микроструктура матрицы, изготовленной из стали P6M5 и обработавшей 10 циклов ($\times 1000$)

Традиционным способом, позволяющим измельчить карбидные частицы и изменить их распределение, является переков. Исследования, проведенные на стали P6M5, показали, что в результате тройного перекова достигается значительное измельчение карбидных частиц, однако строчность их расположения остается. Скопления включений, располагающиеся по границам зерен металла (рис. 4, а), приводят к возникновению межкристаллитных трещин, увеличение которых до критического размера происходит по усталостному механизму. Стойкость матриц, полученных из перекованных заготовок, повы-

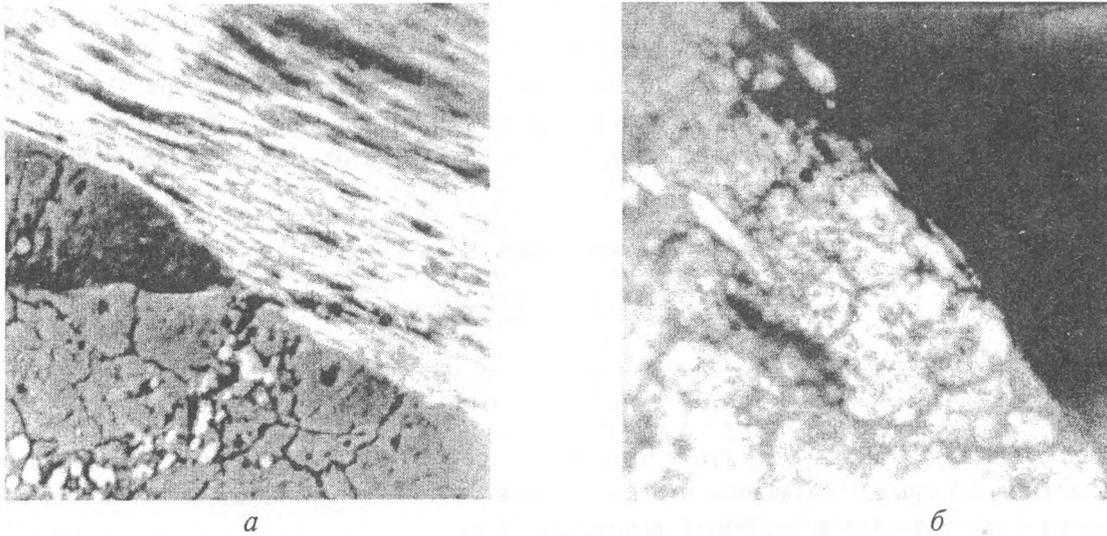


Рис. 4. Микроструктура стали Р6М5: *а* — после тройного перекова ($\times 1000$); *б* — в матрице, полученной горячим выдавливанием ($\times 1000$)

силась в два раза. Причиной выхода оснастки из строя явилось усталостное разрушение. В то же время износ рабочей поверхности ниже предельного значения, допускаемого в соответствии с требованиями к размерам высаживаемого изделия.

Изготовление рабочих поверхностей матриц методом горячего выдавливания позволяет добиться эквидистантного расположения измельченных карбидных частиц относительно формообразующей поверхности (рис. 4, б). При этом расположение включений перпендикулярно плоскости распространения усталостной трещины приводит к замедлению или полной остановке роста трещины в связи с необходимостью огибания ею включения, либо затраты работы на его разрушение, что приводит к возникновению более оптимального напряженно-деформированного состояния материала у острия трещины [4]. В результате изменения ориентации включений и устранения выхода их на рабочую поверхность в наиболее нагруженном месте стойкость матриц повысилась в 5–6 раз.

Количественное определение износа производили путем измерения радиуса сопряжения формообразующей поверхности с отверстием под стержень болта в месте концентрации максимальных эквивалентных напряжений [2] (рис. 5). Для матриц, изготовленных электроэрозионным способом, уже после 25 тыс. циклов износ составляет 1 мм, что приводит к увеличению радиуса сопряжения с 1,5 до 2,5 мм. В дальнейшем матрица растрескивается. Для матриц, формообразующая поверхность которых получена горячим выдавливанием, износ достигает 3,3 мм после наработки более 120 тыс. циклов, при этом радиус сопряжения увеличивается до 4,8 мм, что приближается к предельному значению для рассматриваемой оснастки.

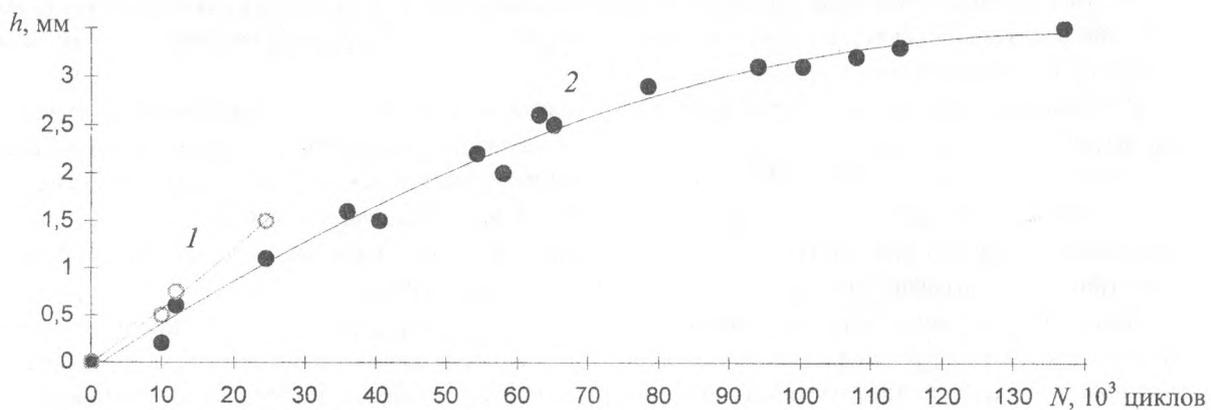


Рис. 5. Зависимость износа матрицы h от числа циклов нагружения N и метода изготовления: 1 — электроэрозионный метод; 2 — метод горячего выдавливания

Традиционным способом повышения износостойкости инструментальных материалов является увеличение их твердости. При использовании стали Р6М5 технологическая регламентация твердости готового изделия проводится по действительному баллу зерна аустенита. Для определения влияния балла зерна на износостойкость холодновысадочных матриц были изготовлены три партии матриц из стали Р6М5, закалка которых произведена на 10-, 11-, 12-й балл действительного зерна аустенита (таблица).

Влияние балла зерна на стойкость матриц

Балл зерна по ГОСТ 5639–82	Твердость, HRC	Относительная стойкость
10	62–63	0,5–0,6
11	60–61	1
12	55–57	1

Как видно из таблицы, наиболее низкой стойкостью обладают матрицы, закаленные на 10-й балл зерна, которые, обладая высокой износостойкостью, выходили из строя вследствие образования и распространения усталостных трещин (рис. 7, а).

Матрицы, закаленные на 11-й и 12-й балл зерна, показывают одинаковую стойкость (>120 тыс. ударов). Но формообразующая поверхность матриц с 12-м баллом зерна на момент окончания их эксплуатации (рис. 6, б) была в значительной степени деформирована и изношена выше допустимого предела ($R > 5$ мм). Максимальной работоспособностью обладают матрицы, закаленные на 11-й балл зерна. Прекращение их эксплуатации произведено по причине совместного влияния износа и растрескивания рабочей поверхности, причем форма и размеры болтов, полученных при последних циклах работы матрицы, соответствуют требованиям чертежа.

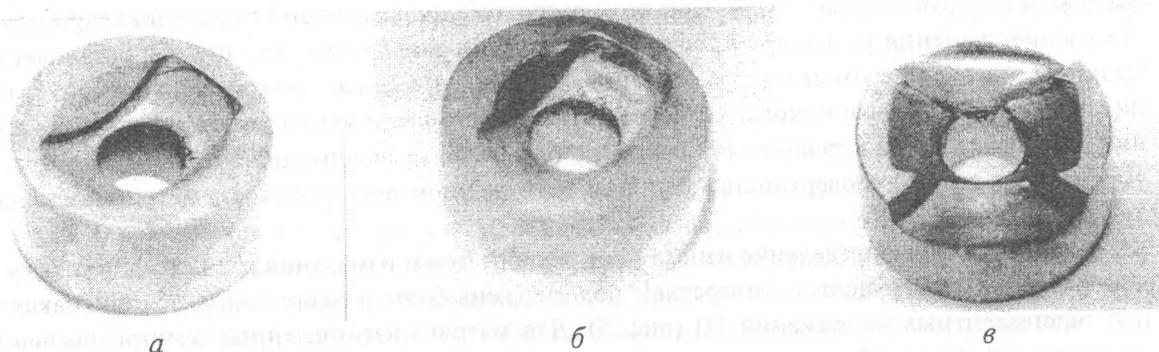


Рис. 6. Характер разрушения холодновысадочных матриц, закаленных на различный балл зерна: а – 10; б – 12; в – 11

Таким образом, за счет оптимизации структуры металла холодновысадочных матриц можно значительно повысить их прочность и износостойкость, обеспечить экономию дорогостоящих инструментальных сталей и повысить эффективность процесса холодной высадки.

Модификация рабочей поверхности инструмента. Существенно увеличить стойкость штамповой оснастки возможно за счет создания градиента механических свойств путем модификации рабочих поверхностей инструмента.

Влияние градиента свойств по сечению инструмента на стойкость холодновысадочной оснастки исследовалось на примере обечных пуансонов (рис. 7) для удаления облоя с головки болтов железнодорожного крепежа М22×70 и М22×140. Пуансоны изготавливались из стали Р6М5. Толщина срезаемого облоя составляет до 6 мм. Основными причинами выхода пуансонов из строя являются: выкрошивание режущей кромки (рис. 7, б) в случае закалки на 10-й балл зерна твердостью 63 HRC и износ (рис. 7, в) — в случае закалки металла на 11-й балл зерна твердостью 60–61 HRC.

Повышение износостойкости рабочей поверхности с сохранением необходимой вязкости сердцевины достигнуто посредством науглероживания его в среде природного газа. Разработанный технологический процесс позволяет получить на рабочей поверхности режущих кромок упрочненный слой толщиной до 0,4–0,5 мм (рис. 8). В то же время сердцевина обладает необходимой вязкостью и твердостью в пределах 60–61 HRC. Образующиеся в большом количестве в по-

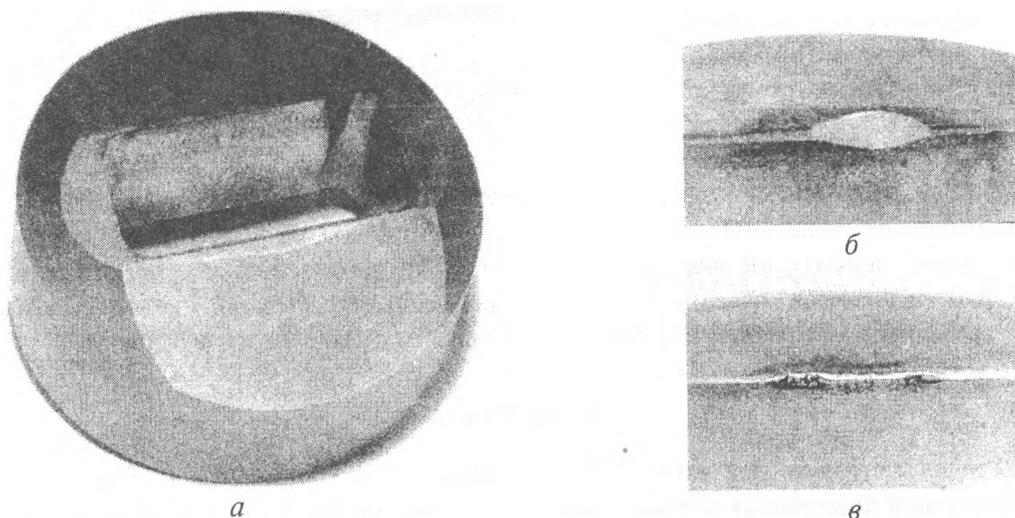


Рис. 7. Внешний вид обесечного пуансона (а), характер усталостного разрушения режущей кромки (б) и износа рабочей поверхности (в)

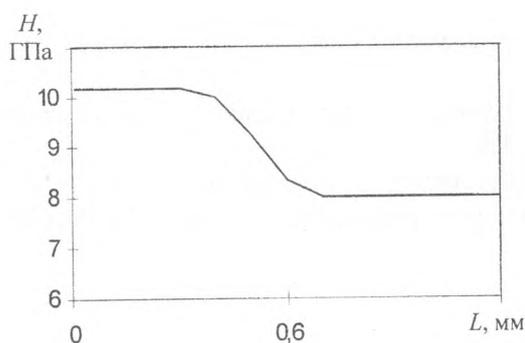


Рис. 9. Зависимость микротвердости H_{200} цементованной стали Р6М5 от расстояния до рабочей поверхности L

верхностном слое карбиды округлой формы размером 3–5 мкм (рис. 9, а), способствуют повышению износостойкости. Кроме того остаточные сжимающие внутренние напряжения, возникающие в этом слое при химико-термической обработке, обеспечивают увеличение усталостной долговечности инструмента. Стойкость цементованных пуансонов при изготовлении железнодорожных болтов М22×70 и М22×140 возросла на 30–35 %. Износ режущих кромок имеет при этом равномерный характер без следов образования рисок и сколов.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования показали, что применение полутеплостойких сталей класса Х12М для изготовления тяжело нагруженных холодновысадочных матриц нецелесообразно по причине недостаточной прочности материала.

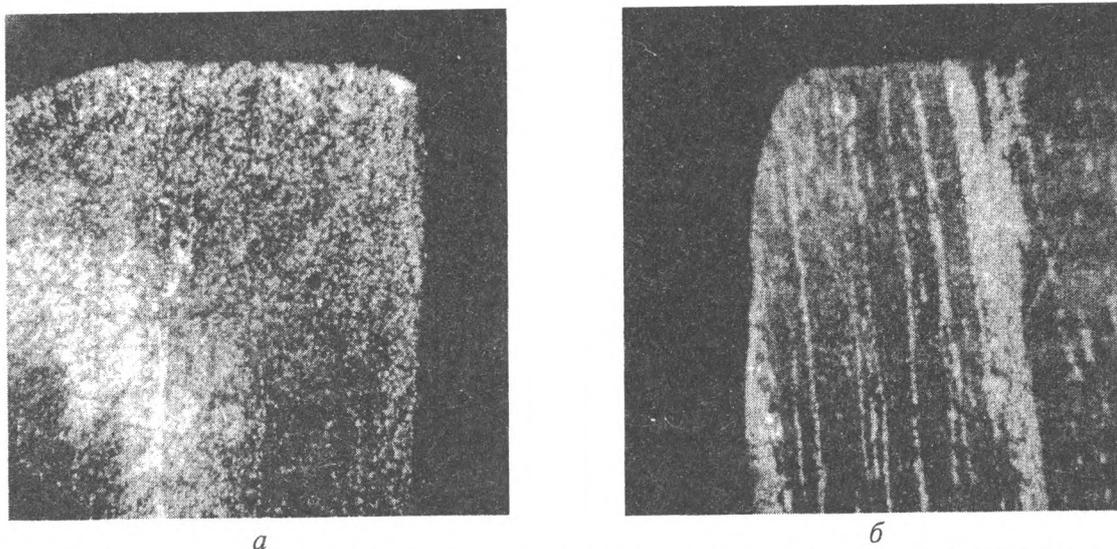


Рис. 9. Микроструктура стали Р6М5: а — упрочненная посредством науглероживания поверхности на глубину 0,4–0,5 мм (×100); б — после закалки и трех отпусков (×100)

Размеры и ориентация карбидных включений определяют характер разрушения инструмента из быстрорежущих сталей. Наиболее оптимальная локальная прочность материала матрицы достигается при эквидистантном расположении измельченных карбидных частиц, что обеспечивает значительное повышение стойкости матриц.

Балл действительного зерна аустенита оказывает существенное влияние на твердость, вязкость и износостойкость материала. Более высокой износостойкостью обладают матрицы закаленные на 11-й балл зерна при сохранении удовлетворительной прочности металла.

Дополнительное повышение износостойкости инструмента из быстрорежущей стали P6M5 возможно за счет цементации рабочих поверхностей. При этом основной причиной повышения износостойкости является создание в модифицированном слое большого количества мелкодисперсных карбидов при сохранении оптимальной твердости и прочности в сердцеvine.

Обозначения

$\sigma_{\text{и}}$ — предел прочности при изгибе; HRC — твердость по Роквеллу; R — радиус сопряжения формообразующей поверхности с отверстием под стержень болта; H_{200} — микротвердость, определенная при нагрузке на индентор 2 Н.

Литература

1. Шейнерман В. М. Стали для штампов холодного деформирования. Рига: Латв. респуб. ин-т НТИиП (1969)
2. Кенько В. М., Степанкин И. Н., Столяров А. И. Износостойкость матриц холодновысадочной оснастки // Трение и износ, **19** (1998), № 4, 402—406
3. Гуревич С. Е., Едидович Л. Д. Усталость и вязкость разрушения металлов. М.: Наука (1974)
4. Екобори Т. Физика и механика разрушения и прочности твердых тел. М.: Metallurgia (1971)

Поступила в редакцию 06.09.99.

Kenko V.M. and Stepankin I.N. Effect of microstructure of steel p65m on the wear resistance of die cold upsetting tooling.

The effect of the microstructural parameters, such as carbide non-homogeneity and dimensions of steel P65M grains, on the pattern of variations of the wear resistance of cold upsetting tooling has been studied. It is shown that matrices tempered to the 11th point grain are most wear resistant. Cementation of working surfaces can increase the wear resistance of workpieces and tools in contact friction.