

АДАПТИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ХОЛОДНОЙ ВЫСАДКИ И ВЫДАВЛИВАНИЯ

И. Н. СТЕПАНКИН

УО «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», пр. Октября, 48, 246746 г. Гомель, Беларусь.

Представлены результаты исследований диффузионного упрочнения поверхности быстрорежущей стали Р6М5 с целью создания карбидных слоев, адаптированных к условиям работы тяжело нагруженного инструмента для холодной объемной штамповки.

Введение

Создание функционально-адаптированных материалов, свойства которых максимально полно компенсируют негативное воздействие факторов, вызывающих отказ деталей машин и технологической оснастки, является одной из важных научных задач [1]. Комплексное изучение подобных материалов в современных условиях неразрывно связано с использованием информационных технологий. Компьютерное моделирование позволяет определить характер и закономерности взаимодействия между различными компонентами материала [2] и особенности механизма его разрушения [3]. Для создания адекватных компьютерных моделей необходимо определение максимально широкого спектра свойств всех структурных составляющих исследуемых объектов. При исследовании металлов подход к формированию компьютерной модели базируется на выделении отдельных элементов материала, свойства которых могут определять его поведение под нагрузкой.

Цель работы – исследование напряженного состояния системы карбид – металлическая матрица стали ледебуритного класса с учетом свойств упрочненного слоя и разработка технологических рекомендаций упрочнения, обеспечивающих создание диффузионных слоев, характеристики которых в наибольшей степени способны снизить негативное воздействие основных эксплуатационных факторов, вызывающих отказ штамповой оснастки.

Объекты и методики исследований

Объектами исследований являлись диффузионно-упрочненные карбидные слои быстрорежущей стали Р6М5. Диффузионное насыщение осуществляли в соответствии с режимами, изложенными в [4].

Распределение остаточных напряжений в диффузионно-упрочненных слоях определяли путем замера стрелы прогиба пластинчатого образца после электрохимического растворения слоя металла с одной из сторон образца. Диффузионное насыщение проводили одновременно для группы из пяти образцов. Толщину образцов до и после травления определяли прямым измерением с точностью $\pm 0,01$ мм. База измерения прогиба образца обеспечивалась конструкцией индикаторной планки и составляла 100 мм.

Упругие характеристики упрочненных слоев – модуль Юнга и коэффициент Пуассона определяли при одноосном растяжении на специально подготовленных пластинчатых образцах толщиной 0,5 мм. После насыщения этих образцов, с учетом абсорбции углерода обеими сторонами образца, была получена физическая модель упрочненного слоя. В первом приближении считали распределение углерода по сечению равномерным и упругие характеристики слоя постоянными.

Проверку достоверности полученных значений модуля Юнга проводили путем индентирования. Расчет модуля упругости осуществляли в соответствии с зависимостями, изложенными в [5–7], по углу наклона ветви разгрузки диаграммы нагрузка–перемещение.

Численные исследования напряженного состояния упрочненного слоя проводили с применением метода конечных элементов.

Результаты исследований и их обсуждение

В сравнении со стандартной технологией термообработки быстрорежущих сталей, включающей закалку и трехкратный отпуск [8], науглероживание, совмещенное с термообработкой, обеспечивает формирование поверхностного слоя,

Структура и свойства упрочненных слоев

Номер партии	Способ обработки	Температура насыщения, °С	Балл зерна, получаемый после закалки	Толщина упрочненного слоя в готовом изделии, мм	Твердость, HRC	
					Поверхности	Сердцевины
1	Обработка по стандартной технологии [2]	840–850	10	–	62–63	62–63
2	Обработка по предлагаемому способу	950	10	0,4...0,6	65–66	62–63
3			11			60–61
4			12			55–57

содержащего большое количества мелких и твердых глобулярных карбидных частиц (рис. 1). При этом твердость упрочненного слоя возрастает до величины 65–66 HRC, а твердость сердцевины в зависимости от режима последующей закалки составляет 52–63 HRC (таблица).

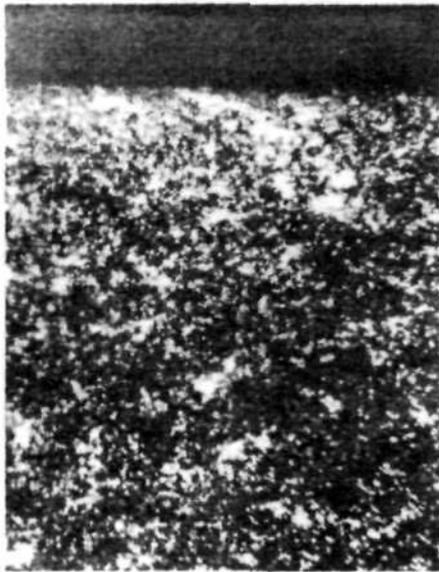


Рис. 1. Микроструктура упрочненного слоя (×100)

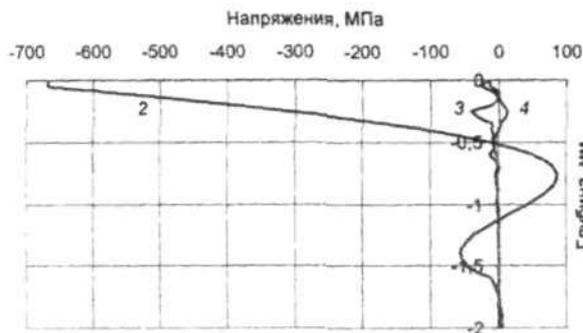


Рис. 2. Распределение остаточных напряжений в поверхностном слое

Исследования остаточных напряжений, возникающих в упрочненном слое, показали, что режимы упрочнения оказывают существенное влияние на величину и характер распределения остаточных напряжений (рис. 2). Как видно из приведенных графиков, величина остаточных напряжений в образцах партий № 3 и 4 незначительна. Что, по-видимому, объясняется особенностями

формирования структуры в процессе последующей после науглероживания термообработки. Образцы партии 4 закалывали с температуры насыщения 950 °С, а партии 3 с температуры 1050 °С. Последующим трехкратным отпуском при температуре 560 °С осуществляли дисперсионное твердение с выделением высокодисперсной карбидной фазы когерентной размерам кристаллической решетки. Именно этот процесс обеспечивает изменение свойств металлической матрицы. Количество вторичных карбидов зависит от степени легирования аустенита, которая возрастает с повышением температуры закалки. Можно предположить, что при температурах закалки 950 °С (партия 4) и 1050 °С (партия 3) степень растворения карбидной фазы оказалась невысокой. Большинство карбидных частиц, образующихся в упрочненном слое в процессе науглероживания, не смогло раствориться в γ -фазе в процессе аустенизации. В результате искажение кристаллической решетки поверхностного слоя по отношению к сердцевине оказалось несущественным и не привело к возникновению высоких напряжений сжатия в упрочненном слое (рис. 2). По этой же причине твердость сердцевины оказалась пониженной. Твердость поверхностного слоя во всех исследованных случаях имела одинаковое значение (таблица), что обусловлено присутствием в упрочненном слое большого количества мелких карбидных частиц.

Закалку образцов 2 партии проводили с 1150 °С. Очевидно, что в этом случае была достигнута достаточно высокая степень легирования аустенита, это соответствующим образом отразилось на результирующей твердости сердцевины. Величина же остаточных напряжений сжатия у поверхности возросла до 660 МПа (рис. 2).

Оценка упругих характеристик науглероженного слоя показала (рис. 3), что кинетика формирования карбидного слоя на стали Р6М5 не влияет на его упругие характеристики, модуль упругости упрочненного слоя составил $-2,25 \times 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона – 0,27. Эти значения соответствуют справочным данным для стали Р6М5 [9] и определяются свойствами матрицы, которая вне зависимости от количества карбидной фазы представляет собой легированный мартенсит.

Оценка модуля упругости упрочненных слоев методом индентирования подтвердила полученные результаты. Рассчитанное значение дан-

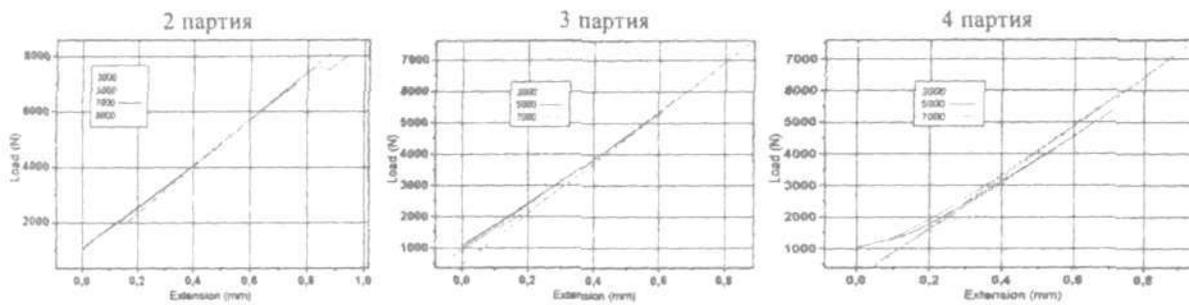


Рис. 3. Диаграммы растяжения образцов науглероженных слоев

ной величины составило $2,28 \times 10^{11}$ Па. Взаимодействие индентора с исследуемой поверхностью осуществлялось по двум механизмам. В начальной фазе внедрения, когда площадь контакта между поверхностью индентора и исследуемым материалом была сопоставима с площадью отдельных структурных составляющих, поведение материала отражало его упругую реакцию, что видно из двух начальных циклов испытания (рис. 4).

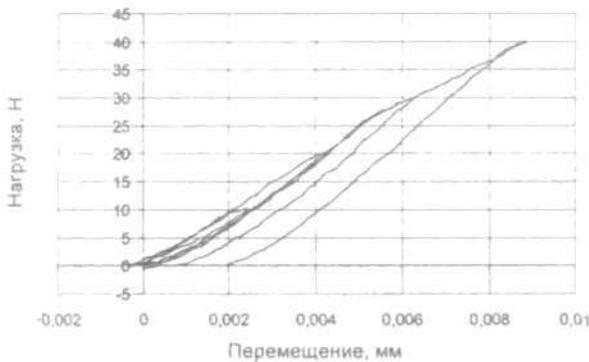


Рис. 4. Диаграмма пошагового вдавливания индентора в образец с карбидным упрочнением

При дальнейшем увеличении нагрузки на индентор, более 30 Н, диаграмма приобрела традиционный для подобных испытаний вид. На ней явно различимы участки внедрения и выдержки, а также перемещения индентора при снятии нагрузки. Площадь контакта между индентором и испытуемым материалом при нагрузке 30 Н составила $A = 9,4622 \cdot 10^{-10}$ м и более чем в пять раз превысила суммарную площадь зерна и первичного карбидного включения для стали Р6М5 [7]. Это соотношение является необходимым граничным условием для проведения испытания материалов индентированием [5].

Численные исследования напряженного состояния карбидных частиц и их окрестности проводили для включений овальной формы, т. к. именно такая форма обеспечивает наименьшую локальную концентрацию напряжений и может быть реализована в случае горячего формования сложнопрофильной поверхности инструмента [11]. Модуль упругости включения приняли равным 5,5 ГПа, что в два раза превышает модуль упругости матричного материала и науглероженного слоя. Нагружение модели материала без упрочненного

слоя осуществляли внешним равномерно распределенным растягивающим напряжением величиной 570 МПа, что соответствует пределу выносливости стали Р6М5 [12]. Нагружение модели материала с упрочненным слоем осуществляли растягивающим напряжением, копирующим результирующую эпюру, возникающую при суммировании равномерно распределенного растягивающего напряжения величиной 570 МПа и поля остаточных напряжений сжатия в карбидном слое (рис. 2). Результаты расчетов показали, что в рассматриваемом структурном элементе – карбидном включении стали Р6М5 возникают значительные растягивающие напряжения величиной до 1,14 ГПа, что объясняется большей жесткостью включения (рис. 5, а). В тоже

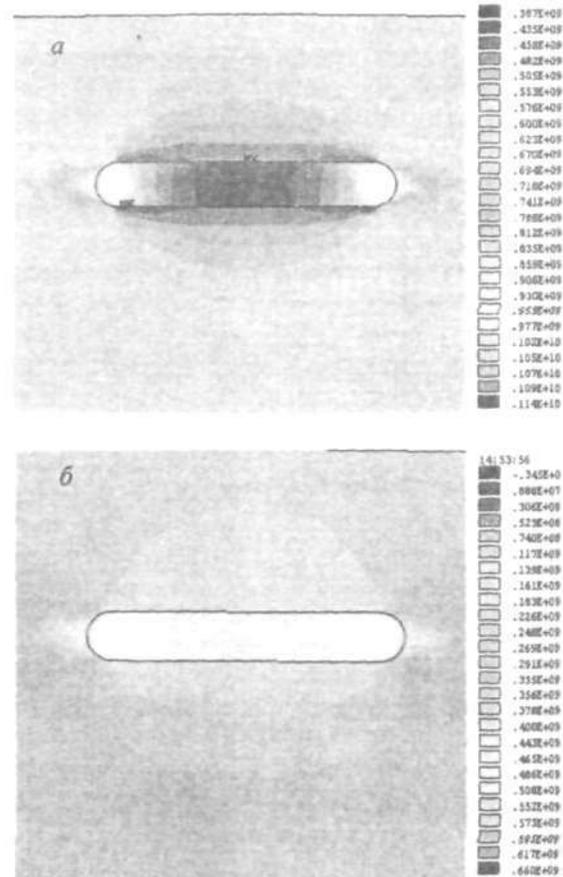


Рис. 5. Распределение растягивающих напряжений (Па) в окрестности овального включения, расположенного у поверхности пластины исходной стали Р6М5 (а) и в науглероженном слое (б)

время при расположении включения в науглероженном слое величина растягивающих напряжений в нем не превышает значения 660 МПа, что существенно повышает локальную прочность металла.

Промышленная апробация результатов исследований

Промышленная апробация разработанной технологии науглероживания и исследование влияния на ее стойкость проводилась на технологической оснастке для холодной высадки и выдавливания – обсечных пуансонах для удаления облоя с головок болтов прямоугольной и шестигранной формы и пуансонах обратного выдавливания полых деталей (рис. 6). В каждом случае проводили обработку по трем режимам упрочнения, приведенным в таблице.

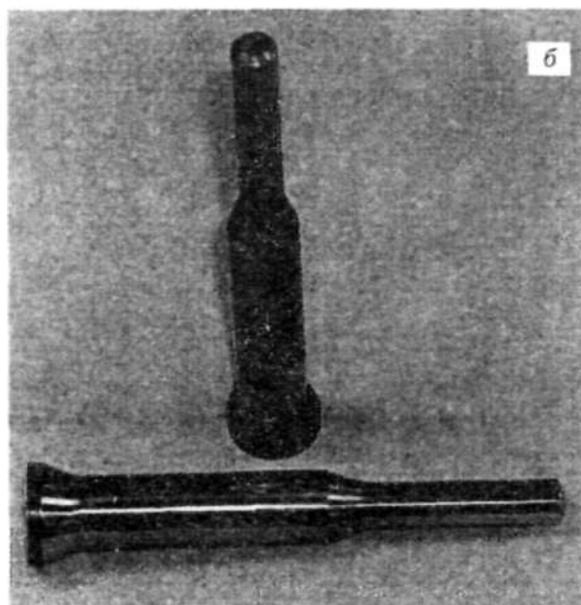
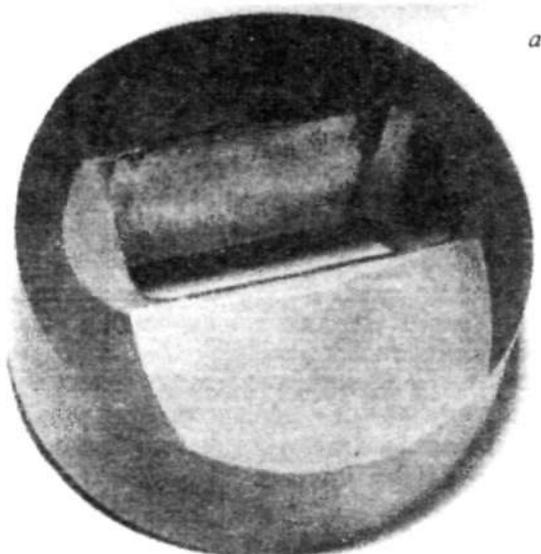


Рис. 6. Холодновысадочная оснастка: обсечной пуансон (а) и пуансон обратного выдавливания ниппеля шлангового держателя (б)

Результаты испытаний показали, что в процессе эксплуатации обсечных пуансонов основным фактором, вызывающим отказ инструмента, является недостаточная прочность и износостойкость режущей кромки. Пуансоны, упрочненные по режиму 2, имеющие твердый рабочий слой и остаточные напряжения максимальной величины, не показали повышения стойкости и выходили из строя вследствие растрескивания металла в области режущей кромки. Аналогичный характер разрушения был зафиксирован у пуансонов обработанных по режиму 4, так как их сердцевина не имела достаточной жесткости, в результате под действием эксплуатационной нагрузки происходила ее деформация и растрескивание поверхностного слоя. Наибольшую стойкость имели пуансоны, обработанные по режиму 3. Их наработка на отказ увеличилась на 30%, по сравнению с остальными партиями. Рабочая поверхность данных пуансонов не имела ярко выраженных сколов, в процессе работы происходило ее равномерное изнашивание (рис. 6, а).

Испытания пуансонов обратного выдавливания показали, что причиной их разрушения является отрыв рабочей части от державки по галтели. Наибольшая стойкость достигнута при обработке по режиму 2 (таблица) т. к. в момент извлечения пуансона из готовой детали растягивающие напряжения в поверхностном слое опасного сечения частично компенсировались остаточными напряжениями сжатия. Увеличение срока службы оснастки составило до 20%. На пуансонах, обработанных по другим режимам, увеличение стойкости не наблюдалось.

Заключение

Показано, что варьирование технологии упрочнения поверхности быстрорежущей стали Р6М5 позволяет регулировать свойства упрочненных слоев, обеспечивая их адаптацию к эксплуатационным режимам работы конкретной технологической оснастки.

Литература

1. Пантелеенко, Ф.И. Состояние и перспективы создания порошков и покрытий с наноразмерными ингредиентами. Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин: тематический сборник / Ф.И. Пантелеенко, Ф.Г. Ловшенко, А.В. Рогачев, Н.А. Руденская, В.А. Струж; под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика. – Мн.: УП «Технопринт»; – Новополоцк, ПГУ, 2003. – С. 14–15.
2. Ковтун, В.А. Исследование напряженно-деформированного состояния композиционных материалов на основе полимерной матрицы с полимерным наполнителем / В.А. Ковтун, Т.В. Семенова // Материалы, технологии, инструменты. – 2004. – Т. 9, № 2. – С. 16–22.
3. Кенько, В.М. К вопросу учета структурных особенностей инструментальных сталей при изготовлении матриц холодновысадочной оснастки / В.М. Кенько, И.Н. Степанкин // Литье и металлургия. – Минск: Белорусский национальный технический университет. – 2004. – № 4. – С. 110–116.

4. Пат. 4588 ВУ, МПК С23С 8/00. Способ упрочняющей обработки быстрорежущей стали / В.М. Кенько, И.Н. Степанкин, С.Н. Гузов, В.И. Бобиков, В.Ф. Пинчуков, В.М. Выгляд. – № 19980716 А; Заявл. 27.07.1998; Оpubл. 30.09.2002 // Афицыйны бюлетэнь Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2002. – № 3. – С. 584 с.
5. Булычев, С.И. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора / С.И. Булычев, В.П. Алехин. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
6. Булычев, С.И. Соотношение между восстановленной и невосстановленной твердостью при испытании наномикроиндентированием / С.И. Булычев // ЖТТ. – 1999. – Т. 69. – Вып. 7. – С. 42–48.
7. Oliver, W.C. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments / W.C. Oliver, G.P. Pharr // J. Mater. Res. – 1992. – V. 7. – № 6. – P. 1564–1575.
8. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали: справочник / Ю.А. Геллер. – М.: Металлургия, 1984.
9. Таблицы стандартных справочных данных. Сталь инструментальная быстрорежущая. Механические свойства ГСССД 9–79. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 7 с.
10. Кенько, В.М. Оценка модуля упругости поверхностных слоев высоколегированных сталей ледобуритного класса микроиндентированием / В.М. Кенько, И.Н. Степанкин // Сб. науч. трудов VI межд. Научно-технической конференции: Материалы технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин: в 3 т. / Под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика. – Новополоцк: УО «ПГУ», – 2007. – Т. I. – С. 227–231.
11. Кенько, В.М. К вопросу учета структурных особенностей инструментальных сталей при изготовлении матриц холдновысадочной оснастки / В.М. Кенько, И.Н. Степанкин // Литье и металлургия. – Минск: Белорусский национальный технический университет. – 2004. – № 4. – С. 110–116.
12. Кенько, В.М. К вопросу оценки усталостной долговечности быстрорежущей стали P6M5 упрочненной посредством низкотемпературной нитроцементации / В.М. Кенько, И.Н. Степанкин // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2003. – Т. 2, – № 4. – С. 11–14.

Stepankin I. N.

Adapted technology of hardening of working surfaces of tools for cold heading and extrusion molding.

It is shown that modifying of P6M5 high speed steel surface hardening practice enables to modify the properties of the layers hardened in order to adapt them to operation modes of a particular kind of machining attachments.