

УДК 621.785.5

## УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА ШТАМПОВ ДЛЯ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКИ

*Кандидаты техн. наук ГАЛЫНСКАЯ Н. А., КУХАРЕВА Н. Г.,  
инженеры ПЕТРОВИЧ С. Н., СТАСЕВИЧ Г. В.*

*Белорусский национальный технический университет*

Интенсивное развитие машиностроения и металлообработки требует непрерывного совершенствования холодноштампового производства и повышения его эффективности.

При крупносерийном и массовом характере производства основная проблема – повышение стойкости штампов. На стойкость штампов влияет большое количество факторов, основными из которых являются следующие: механические свойства штампуемого материала, его толщина, конфигурация и размеры детали, технологические особенности операций, конструктивные особенности штампов, условия эксплуатации штампов, материал и упрочняющая обработка деталей штампов [1].

Для гибочных, вытяжных и формовочных штампов самой важной является способность материала его рабочих деталей сопротивляться истиранию при значительных давлениях, т. е. обладать хорошей износоустойчивостью, а также стойкостью к ударному воздействию. При штамповке деталей сложной формы в массовом производстве, а также в тех случаях, когда рабочие части штампа (матрицы и пуансоны) испытывают большие напряжения во время работы, для их изготовления применяют легированные высокохромистые стали, обладающие высокой прокаливаемостью.

Режущие кромки рабочих частей штампов (матрица, пуансон) в процессе эксплуатации испытывают весьма высокие удельные локальные нагрузки, под действием которых в них развивается пластическая деформация с искажением их формы, потерей массы за счет износа, образованием задиров, что приводит к вы-

ходу инструмента из строя. Так как условия эксплуатации определяют преимущественное развитие поверхностно-инициируемых процессов разрушения, для рабочих частей штампов, кроме применяемой объемной упрочняющей обработки, целесообразно проведение поверхностного упрочнения путем нанесения диффузионных защитных покрытий, в частности карбидизированных.

Износостойкость стали зависит прежде всего от ее твердости, количества и типа карбидных фаз в структуре [2]. В процессе карбидизации в поверхностных слоях упрочняемого инструмента формируется зона с повышенным содержанием карбидов, обладающая высокими твердостью и износостойкостью. Кроме того, коэффициент трения карбидных слоев и склонность к схватыванию (образованию металлической связи) в контакте с холодными металлами при их взаимном перемещении значительно ниже, чем у закаленных сталей. Поэтому карбидизация значительно повышает износостойкость инструмента для холодной деформации металлов, а также пар трения, работающих без смазки или с ограниченной ее подачей.

Цель работы – разработка технологии упрочнения штампового инструмента для глубокой вытяжки.

Карбидизацию осуществляли при температурах 900–1050 °С в течение шести часов в порошковой смеси на основе древесного угля и бикарбоната натрия. Металлографические исследования структур, полученных в результате применения термохимической обработки, были выполнены с помощью оптического микроско-

па Neophot-21. Твердость измеряли на твердомере ТК-2М по методу Роквелла. Исследования фазового состава диффузионных покрытий проводили с помощью дифрактометра ДРОН-3 методом рентгеноструктурного анализа. Количественный стереологический анализ осуществляли на анализаторе Mini Magiscal фирмы Йосе Лоебл (Англия). Из обработанных образцов вырезали угловой элемент размерами  $10 \times 10 \times 10$  мм, из которого изготовляли шлиф с учетом направления прокатки прутка. Распределение карбидов по толщине слоя определяли на шлифах по одной и той же стороне прутка, что позволило избежать разброса результатов из-за карбидной неоднородности в высокохромистых сталях. Определение сопротивления износу выполняли с использованием трехвалкового метода при удельной нагрузке 50 и 400 МПа. Скорость износа составляла 0,56 м/с, время испытаний – 100 мин, смазка осуществлялась с использованием масла марки SAE30, подаваемого со скоростью 30 кап./мин.

Для разработки технологии упрочняющей обработки рабочих частей вытяжного штампа в работе исследовано влияние структуры карбидных слоев, а также режимов химико-термической и последующей термической обработки на механические свойства упрочняемых изделий.

При карбидизации штамповой стали X12Ф1 в разработанной порошковой среде формируется диффузионный слой без следов внутреннего окисления, состоящий из мелкодисперсных карбидных включений, количество которых плавно уменьшается по мере удаления от поверхности в глубь металла. Фазовый состав карбидизированного слоя представляет собой легированный хромом цементит и карбиды  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  и  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ , расположенные в  $\alpha$ -железе. Оксиды хрома или железа в слое не обнаружены.

Одной из наиболее объективных характеристик карбидизированного слоя на высокохромистых сталях является размер площади, занятой карбидами на исследуемом участке. На рис. 1 показано изменение площади, занятой карбидами по толщине слоя в зависимости от режима обработки стали X12Ф1. Исследование образцов, обработанных при температурах 900, 950 и 1000 °С, показало, что с удалением от по-

верхности размер площади, занятой карбидами, уменьшается. При этом максимальное число карбидов расположено на поверхности, затем на расстоянии 20–100 мкм их количество снижается, далее на расстоянии 60–250 мкм наблюдаются увеличение площади карбидов и вновь плавное снижение до 15–20 %. При температуре 1050 °С характер распределения изменяется: не наблюдается перепад в приповерхностной зоне, а следует плавное уменьшение указанной величины от 30 % с поверхности до 12–14 % в конце диффузионного слоя.

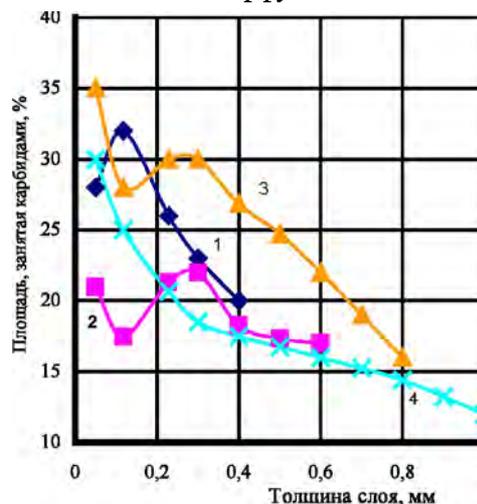


Рис. 1. Изменение площади, занятой карбидами, по толщине слоя на стали X12Ф1 в зависимости от режима карбидизации: 1 – 900 °С (4 ч); 2 – 950 °С (4 ч); 3 – 1000 °С (4 ч); 4 – 1050 °С (4 ч)

Изменение средней площади карбида по толщине слоя в зависимости от температурного режима обработки представлено на рис. 2. Как видно из полученных данных, наибольшую площадь на всем протяжении диффузионного слоя имеют карбиды, полученные при температуре насыщения, равной 1000 °С. Снижение температуры насыщения до 950 °С способствует получению в диффузионном слое стали X12Ф1 карбидов, размеры которых резко уменьшаются на протяжении 100 мкм от поверхности, затем на глубине около 200 мкм происходит их незначительное укрупнение с последующим плавным снижением по глубине слоя. При этом максимальные значения площади карбидов не превышают  $4,7 \text{ мкм}^2$ . Укрупнение карбидов при температуре насыщения 1000 °С происходит по всему диффузионному слою с плавным снижением их величины от поверхностных слоев по глубине слоя, при этом мак-

симальное значение площади карбидов соответствует  $8,0 \text{ мкм}^2$ , а минимальное –  $3,8 \text{ мкм}^2$ . Увеличение температуры насыщения до  $1050 \text{ }^\circ\text{C}$  приводит к изменению характера хода кривой на графике. Так, на поверхности слоя формируются карбиды, площадь которых не превышает  $5,0 \text{ мкм}^2$ , затем на протяжении  $220 \text{ мкм}$  идет резкое снижение площади карбидов до значения порядка  $1,2 \text{ мкм}^2$  с последующим увеличением размеров карбидных включений в глубь диффузионного слоя.

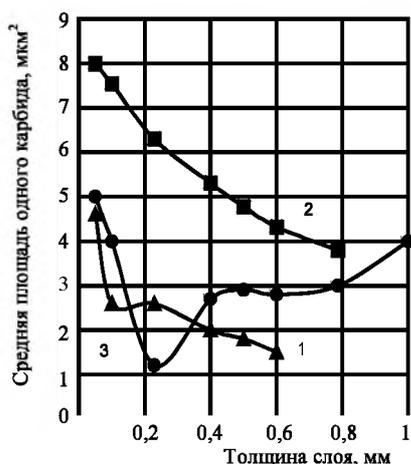


Рис. 2. Изменение средней площади карбида по толщине слоя на стали X12Ф1 в зависимости от температуры карбидизации: режим карбидизации стали X12Ф1: 1 –  $950 \text{ }^\circ\text{C}$  (4 ч); 2 –  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  (4 ч); 3 –  $1050 \text{ }^\circ\text{C}$  (4 ч)

Осуществление процесса карбидизации высокохромистой стали X12Ф1 позволяет значительно увеличить количество карбидов и занимаемую ими площадь в поверхностных слоях образцов. Установлено, что максимальную площадь карбиды занимают в процессе насыщения при температуре  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . На рис. 3 представлены данные, полученные при карбидизации стали X12Ф1 при температуре  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение восьми часов.



Рис. 3. Распределение карбидов в поверхностных слоях стали X12Ф1: 1 – необработанная; 2 – карбидизированная

Изучение распределения карбидов в необработанной и карбидизированной при различных температурах насыщения стали X12Ф1 показало, что в стали присутствуют карбиды различной площади от менее  $1$  до  $7 \text{ мкм}^2$  и более, и распределены они неравномерно по сечению образца (табл. 1). Так, в структуре стали X12Ф1 присутствует подавляющее большинство карбидов с площадью до  $3 \text{ мкм}^2$ .

Таблица 1

Распределение карбидов в стали X12Ф1

Площадь карбида, $\text{мкм}^2$	Количество карбидов на расстоянии от поверхности, мм			
	0,1	0,3	0,5	5,0
Необработанная сталь X12Ф1				
До 1	51	46	51	52
1–3	44	48	47	48
3–5	25	21	32	30
5–7	16	12	19	21
Больше 7	6	3	6	7
Карбидизированная сталь X12Ф1				
До 1	179	162	199	126
1–3	75	62	75	43
3–5	21	21	23	13
5–7	12	11	16	6
Больше 7	6	5	5	2

Анализ полученных результатов показывает, что количество карбидов в стали X12Ф1, не прошедшей химико-термической обработки с площадью менее  $1 \text{ мкм}^2$ , в лучшем случае равно 52, что составляет  $6,2 \%$  от общего числа карбидов. При карбидизации данной стали количество карбидов площадью менее  $1 \text{ мкм}^2$  значительно увеличивается, причем этот рост присутствует не только в пределах диффузионного слоя, но и на глубине до  $5 \text{ мм}$ , т. е. в матрице, что, вероятно, происходит за счет перераспределения легирующих элементов во время прохождения процесса насыщения. Площадь, занимаемая карбидами с минимальными размерами, в данном случае напрямую зависит от температуры проведения процесса карбидизации.

Влияние температуры проведения процесса карбидизации на площадь карбидов минимального размера по отношению к площади, занимаемой карбидами всех размеров, представлено на рис. 4.

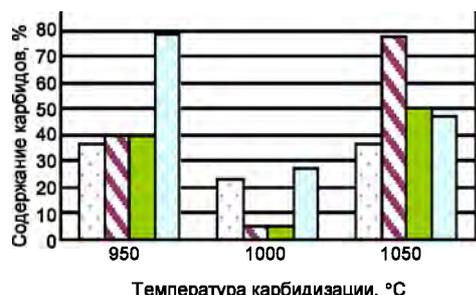


Рис. 4. Влияние температуры насыщения на содержание в слое карбидов площадью до 1 мкм<sup>2</sup> на стали X12Φ1: □ – расстояние от поверхности до исследуемых участков слоя 50 мкм; ▨ – то же 100 мкм; ▩ – то же 250 мкм; □ – то же 5000 мкм

Как видно из приведенных данных, температура процесса насыщения оказывает влияние не только на количество карбидов с минимальной площадью, но и на распределение их по толщине слоя. При этом наглядно видно, что увеличение температуры насыщения от 950 до 1000 °C, хотя и повышает общую площадь, занимаемую всеми карбидами, приводит к уменьшению площади, занятой мелкими частицами, дальнейший же рост температуры насыщения до 1050 °C ведет к увеличению количества мелких карбидов в пределах диффузионного слоя.

Результаты исследования износостойкости карбидизированной стали X12Φ1 представлены на рис. 5. Как видно из приведенных данных, лучшей износостойкостью обладают слои, полученные при температуре карбидизации 950 и 1050 °C, т. е. в которых присутствуют мелкодисперсные карбиды. Насыщение же при температуре 1000 °C с образованием в диффузионных слоях крупных карбидов площадью 4–8 мкм<sup>2</sup> приводит к ухудшению их износостойкости.

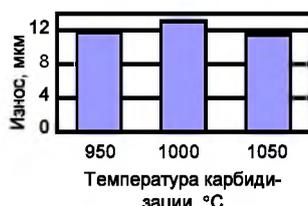


Рис. 5. Износостойкость карбидизированной стали X12Φ1: нагрузка – 50 МПа; время испытаний – 100 мин

Таким образом, с целью получения покрытий, обладающих максимальной износостойко-

стью, целесообразно проводить процесс карбидизации при температуре 950 °C.

Твердость диффузионного слоя после обработки в порошковой среде равна 36–38 HRC. Это недостаточно для инструмента, изготавливаемого из сталей типа X12. Для определения режима последующей термообработки изучали влияние закалки с температур 750–1050 °C и отпуска при 200–500 °C на твердость карбидизированной стали. Полученные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние параметров термической обработки на твердость карбидизированного слоя на стали X12Φ1

Температура закалки, °C	Твердость, HRC							
	Без отпуска	Температура отпуска, °C						
		200	250	300	350	400	450	500
750	64–66	62–64	60–61	58–59	52–54	49–50	48–49	44–47
800	66–67	64–65	62–64	60–62	59–60	54–56	53–54	51–52
850	67–69	64–66	63–65	61–62	60–62	57–59	54–55	52–53
900	67–69	63–65	63–64	61–62	60–61	57–59	56–57	54–55
950	64–66	63–64	61–63	60–62	59–61	58–59	56–58	57–59
1000	59–61	58–59	57–59	60–61	60–61	59–61	61–62	61–62
1050	50–53	51–53	50–53	54–56	53–56	57–59	60–61	62–63

С повышением температуры закалки твердость возрастает до максимума, который приходится на температуру 850–950 °C. При закалке с температур 1000–1100 °C наблюдается резкое снижение твердости, что обусловлено растворением избыточных карбидов в слое, полученных в процессе термодиффузионной обработки. Максимальная твердость после закалки карбидизированного слоя составляет 66–68 HRC, тогда как твердость закаленной стали без покрытия не превышает 62–64 HRC.

С повышением температуры отпуска твердость стали плавно снижается в том случае, если закалку проводили в интервале температур 850–950 °C. Следует отметить достаточно высокую твердость даже после отпуска при температуре 300 °C.

На основании результатов данных исследований рекомендуется закалку карбидизированной стали X12Φ1 проводить с температурой 850 °C в масле и отпуск при 200 °C.

При толщине слоя 1,5 мм и выше на глубине до 0,5–1,0 мм сохраняется максимальная твердость до 65–67 HRC.

Таким образом, для рабочих деталей штампов для глубокой вытяжки рекомендуются следующие режимы упрочняющей обработки: карбидизация – 950 °С (6 ч), закалка от температуры 850 °С в масло, отпуск – 200 °С (3 ч).

Применение разработанной технологии на ПРУП ММЗ им. С. И. Вавилова позволило увеличить стойкость штампового инструмента для глубокой вытяжки деталей гидроусилителя в 2,5–2,8 раза.

### ВЫВОДЫ

1. Доказана целесообразность проведения поверхностного упрочнения штампового инструмента для глубокой вытяжки путем нанесения диффузионных карбидизированных покрытий.

2. Использование разработанных порошковых сред позволило получить на высокохромистой стали X12Ф1 диффузионные слои, имеющие мелкодисперсную структуру без следов внутреннего окисления.

3. Осуществление процесса карбидизации высокохромистой стали X12Ф1 позволяет значительно увеличить количество карбидов и занимаемую ими площадь в поверхностных слоях образцов. Независимо от температуры обработки на стали X12Ф1 процент площади, занятой карбидами, плавно изменяется от поверхности слоя к основе от 30–35 до 15–20 %.

4. Температура проведения процесса карбидизации оказывает влияние на распределение и размер карбидных фаз в слое. Так, наибольшую площадь на всем протяжении диффузи-

онного слоя имеют карбиды, полученные при температуре насыщения, равной 1000 °С.

5. Площадь среднего из большинства карбидов снижается по толщине слоя от 0,43 до 0,23 мкм<sup>2</sup> при 900 °С и от 2,1 до 1,2 мкм<sup>2</sup> – при 1050 °С. С увеличением температуры карбидизации в поверхностной зоне слоя средняя площадь карбида увеличивается от 1,0 до 5–8 мкм<sup>2</sup>, а количество карбидов в слое и основе уменьшается.

6. Наилучшей износостойкостью обладают диффузионные слои с мелкодисперсными карбидными включениями, полученные при температуре карбидизации 950 °С.

7. Исследование влияние условий последующей термообработки на твердость карбидизированной стали X12Ф1 показало, что максимальная твердость (65–67 HRC) на поверхности упрочненной стали достигается при осуществлении закалки с температур 850 °С, отпуск – 200 °С.

8. На основании полученных результатов для рабочих деталей штампов для глубокой вытяжки рекомендованы следующие режимы упрочняющей обработки: карбидизация – 950 °С, 6 ч, закалка от температуры 850 °С в масло, отпуск – 200 °С, 3 ч.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Зубцов, М. Е.** Листовая штамповка / М. Е. Зубцов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1980. – 432 с.
2. **Михайленко, Ф. П.** Стойкость разделительных штампов / Ф. П. Михайленко. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.

Поступила 26.06.2009