

УДК 621.14.018

Минков А. Н., Минков К. А., Винник С. Н.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШТАМПОВ ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Условия работы молотовых штампов для горячего деформирования характеризуются высокими ударными нагрузками, а процесс штамповки сопровождается интенсивным износом поверхностных слоев гравюры и многократным чередованием их нагрева до 400–500 °С и последующего резкого охлаждения. Поэтому для обеспечения высокой эксплуатационной стойкости штамповые стали должны обладать необходимой износостойкостью, а также достаточной прочностью, вязкостью и разгаростойкостью.

Учитывая высокую стоимость и трудоемкость изготовления крупных штампов для горячего деформирования, проблема повышения их стойкости является одной из актуальных в современном машиностроении. Эффективное решение этой задачи возможно путем рационального применения методов объемного и поверхностного упрочнения штампов.

Для изготовления крупногабаритных штампов применяются заготовки из сталей 5ХНМ, 5ХНВ, которые относятся к группе штамповых сталей повышенной прокаливаемости. Они закаляются на мартенситную структуру при охлаждении в масле. Существующая технология термической обработки молотовых штампов предусматривает проведение следующих технологических операций: нагрев до 840–860 °С, выдержку, последующее подстуживание на воздухе до 750 °С (5–10 мин) и закалку штампа в минеральном масле. После закалки стали подвергают отпуску при температуре 500–600 °С для получения структуры троостита или троостита-сорбита отпуска. Дополнительный отпуск хвостовика включает нагрев до температуры 680–700 °С и последующее охлаждение на воздухе [1].

Использование масла в качестве закалочной среды создает определенные проблемы. Охлаждение в масле крупногабаритных штампов массой 1,0–1,5 т и более не позволяет получить высокие твердость и прокаливаемость, а также создает высокую вероятность аварийных ситуаций в цехе при воспламенении масла. Охлаждение крупных штампов водовоздушными смесями позволяет устранить эти проблемы [1–3].

Для повышения износостойкости штампы азотируют или цианируют на глубину 0,1–0,3 мм. В последнее время для этих целей используется также борирование и хромирование.

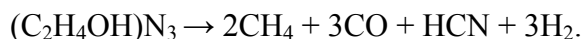
Из указанных способов поверхностного упрочнения борирование является наиболее предпочтительным. Этот процесс обеспечивает получение наиболее высокой твердости поверхностных слоев до 18000–20000 МПа, которая сохраняется до температуры 700 °С. Кроме этого, борированные слои характеризуются высокой стойкостью к окислению в воздушной среде при температурах 700–850 °С. Борирование способствует также повышению коррозионной стойкости сталей.

Наиболее простым способом термодиффузионного насыщения рабочей поверхности бором является борирование в порошковых смесях. Существующие технологии предусматривают проведение борирования при 910–930 °С в герметичных контейнерах. Далее штамп охлаждают, извлекают из контейнера и производят термическую обработку, включающую закалку в масле с температуры 830–850 °С и последующий отпуск при 500–520 °С. Повторный нагрев штампа для проведения закалки, а также необходимость изготовления контейнеров и проведения работ по их герметизации и разгерметизации делает этот процесс сложным и дорогостоящим.

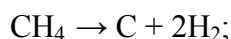
Целью настоящей работы является разработка менее энергоёмкой технологии объемного и поверхностного упрочнения крупногабаритных штампов для горячего деформирования.

Для достижения поставленной цели был разработан способ борирования крупных штампов в шахтных печах типа СШЦМ в защитной атмосфере [4]. Применение предложенного способа позволяет исключить необходимость использования контейнеров и производить закалку штампа непосредственно после борирования, что позволяет избежать повторного нагрева под закалку по сравнению с существующей технологией.

Разработанный способ борирования включает нагрев и выдержку в печи с защитной атмосферой, которая создается путем подачи триэтанолamina в печь, который при нагреве свыше 500 °С разлагается по реакции:



Метан и цианистый водород в свою очередь разлагаются по реакциям:



В результате указанных реакций образуются активный углерод, водород и азот, что и создает защитную атмосферу.

Проведенные исследования позволили определить оптимальное количество подаваемого в печь триэтанолamina, которое составляет 700–800 г/ч на 1 м³ печного пространства. При большем количестве подаваемого триэтанолamina ухудшаются условия диффузионного насыщения поверхности бором и увеличивается его расход, при меньшем количестве защитная атмосфера теряет свои функциональные свойства.

Далее для достижения поставленной цели была определена возможность совмещения процессов нагрева для борирования и закалки, что вызвало необходимость выбора оптимальных температурно-временных условий нагрева. При этом температура нагрева и длительность выдержки должны обеспечить получение:

- необходимой толщины борированного слоя (0,1–0,12 мм), обеспечивающего повышение эксплуатационной стойкости штампа;
- высоких прочностных и пластических свойств и ударной вязкости основного металла, позволяющих противостоять значительным динамическим нагрузкам в процессе штамповки в сочетании с высокой твердостью, исключающей продавливание борированного слоя.

Исследование зависимости толщины борированного слоя от условий нагрева проводили на образцах из стали 5ХНМ – одной из наиболее широко применяемых для изготовления крупных штампов горячего деформирования. Борирование образцов осуществляли в порошковой смеси на основе карбида бора с добавлением 0,5–1 % NH₄Cl в качестве активатора. Толщину борированного слоя определяли на приборе для измерения микротвердости ПМТ-5.

Исследование влияния температурно-временных условий аустенитизации на механические свойства и твердость стали 5ХНМ проводили на заготовках размером 120 × 20 × 20 мм. Из термообработанных заготовок изготавливали образцы для проведения испытаний на растяжение и ударную вязкость.

Зерно аустенита выявляли химическим путем после специальной термической обработки шлифов, обеспечивающей декорирующее выделение карбидов по границам зерен. Травление образцов осуществляли в 4 %-ном спиртовом растворе азотной кислоты. Для определения величины зерна производили подсчет зерен в трех характерных полях и определяли средние значения площади, диаметра и размера зерна аустенита.

Для исследования влияния температурно-временных условий нагрева на толщину борированного слоя проводили насыщение бором образцов из стали 5ХНМ при различных режимах, характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблиця 1

Температурно-временные условия борирования образцов из стали 5ХНМ

№ режима	Температура нагрева, °С	Длительность выдержки, ч	Толщина борированного слоя, мм
1	850	2	0,03
2	850	6	0,06
3	850	14	0,12
4	890	2	0,06
5	890	6	0,12
6	890	10	0,16
7	930	2	0,08
8	930	4	0,12
9	930	6	0,14

В качестве исходного режима приняли существующий технологический процесс термической обработки штампов, включающий нагрев до температуры 840–860 °С и выдержку 2 часа (режим 1). В результате борирования при таких температурно-временных условиях толщина борированного слоя составляет 0,03 мм и является недостаточной для обеспечения высокой эксплуатационной стойкости. Увеличение продолжительности борирования до 6 часов (режим 2) существенным образом не изменяет толщину слоя (0,06мм) и только при выдержке длительностью 16 часов (режим 3) формируется слой необходимой толщины 0,12 мм. С повышением температуры до 890 °С процесс насыщения бором интенсифицируется и уже при выдержке длительностью распространение сплошного слоя боридов происходит на глубину 0,12 мм (режим 8). При температуре 930 °С достаточная толщина слоя 0,12 мм образуется после насыщения в течение 4 часов (режим 8).

В условиях действующего производства самым экономичным и технологичным является процесс борирования, осуществляемый по режиму № 5 ($t = 890$ °С, $\tau = 6$ ч), но такие температура и длительность выдержки являются завышенными по сравнению с действующей технологией, что может вызвать рост аустенитного зерна, и, как следствие, снижение механических свойств основного металла штампового кубика. Поэтому было проведено исследование влияния температурно-временных условий аустенитизации на величину зерна и механические свойства стали 5ХНМ.

В табл. 2 представлены результаты определения величины аустенитного зерна после нагрева по режимам, характеристики которых приведены в табл. 1. Установлено, что с повышением температуры и длительности нагрева размер аустенитного зерна увеличивается от 0,02 мм (режим 1) до 0,088 мм (режим 9). Однако, при температуре 890 °С и длительности выдержки (режим 5) размер зерна аустенита практически не изменяется по сравнению с действующим технологическим процессом (режим 1) и составляет 0,028 мм.

Результаты испытаний механических свойств образцов, термообработанных по различным режимам представлены в табл. 3. Установлено, что при повышении температуры нагрева до 930 °С наблюдается рост аустенитного зерна, что приводит к снижению ударной вязкости (от 40 Дж/см² до 25 Дж/см²) по сравнению с существующей технологией закалки (режим № 1). Наблюдается также снижение твердости (от 42 до 32 HRC). Тем не менее, при закалке с температуры нагрева 890 °С и выдержке 6 часов (режим № 5) сталь еще обладает достаточно высоким комплексом механических свойств и твердости.

Таблиця 2

Величина аустенитного зерна в залежності від умов нагріву

№ режиму в відповідності з табл. 1	Балл аустенитного зерна	Середнє число зерен на площаді 1 мм ²	Середній діаметр зерен, мм	Середня площа зерна, мм ²
1	8	2060	0,020	0,0005
2	7–8	1680	0,028	0,0008
3	7	1090	0,030	0,001
4	7–8	1720	0,028	0,0008
5	7	1160	0,029	0,00095
6	5–6	420	0,052	0,003
7	6	540	0,040	0,002
8	5–6	430	0,053	0,003
9	4–5	160	0,088	0,007

Таблиця 3

Механічні властивості сталі 5ХНМ в залежності від температури заправки

№ режиму в відповідності з табл. 1	Механічні властивості сталі 5ХНМ					
	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	HRC
1	1400	1180	7	14	42	41
2	1430	1210	8	21	42	41
3	1450	1240	6	17	39	40
4	1400	1230	7	18	39	40
5	1370	1220	8	17	38	40
6	1200	1000	7	16	34	37
7	1300	1100	7	14	32	34
8	1200	980	6	12	28	33
9	1100	950	5	11	25	32

Полученные данные свидетельствуют о возможности осуществления совмещенного процесса борирования ($t = 890$ °С, $\tau = 6$ ч) и последующей заправки крупных штампов из стали 5ХНМ. При этом сохраняется высокий комплекс механических свойств основного металла штампа и создаются условия для получения борированных слоев достаточной толщины.

Далее необходимо было разработать технологию регулируемого охлаждения штампового кубика после борирования, которая бы обеспечивала получение необходимых механических свойств при безопасном уровне текущих и остаточных напряжений, гарантирующем отсутствие сколов борированного слоя и трещин.

В настоящее время созданы промышленные установки для водовоздушного охлаждения крупногабаритных штампов [2, 3]. Внедрение таких установок рентабельно при серийном изготовлении штампов, принимая во внимание их достаточно высокую стоимость. В данной работе разработан сборно-разборный стенд, применение которого не требует постоянных площадей и позволяет в определенных случаях отказаться от строительства дорогостоящих установок.

Стенд представляет собой трубчатую конструкцию, состоящую из двух частей. Нагретый штамп после выгрузки из печи устанавливается в поддон, предназначенный для сбора отработанной воды. Далее две части стенда наезжают друг на друга по направляющим, образуя полусферу, в центре которой расположен закаливаемый штамп. Охлаждение штампа

осуществляется с помощью водовоздушных форсунок, установленных на трубах, по которым осуществляется подвод воды и воздуха к форсункам. Таким образом, трубы используются в качестве как несущих, так и коммуникационных элементов стенда.

Основным технологическим элементом охладительных установок являются водовоздушные форсунки, от качества распыления воды которыми зависит эффективность проводимой термической обработки. Для описываемого стенда была разработана оригинальная конструкция водовоздушной центробежной распылительной форсунки [5]. Форсунка состоит из наружного и внутреннего сопел, вставляемых друг в друга. Внутреннее сопло дополнительно содержит вкладыш с осевым каналом переменного сечения. По внешним поверхностям вкладыша и внутреннего сопла нарезаны винтовые каналы.

Внутреннее сопло укрепляется на патрубке, по которому осуществляется подвод воды, которая при поступлении в форсунку распределяется на два потока. Один поток проходит через вкладыш по осевому каналу и ускоряется за счет уменьшения его сечения. Второй поток проходит по винтовым каналам на внешней поверхности вкладыша, ускоряется и взаимодействует с первым потоком в камере смешения, которая находится на выходе выступающей конической части вкладыша. При этом происходит интенсивное дробление водяного потока. Дальнейшее уменьшение размера капель воды происходит при встрече водяного потока с потоком сжатого воздуха, в результате чего образуется мелкодисперсная водовоздушная смесь.

Определение основных характеристик разработанной форсунки проводили на стенде для испытаний водовоздушных форсунок [6], в результате чего установили следующие технологические параметры: расход воды и воздуха, количество форсунок, расстояние между форсунками и поверхностью штампа, длительность подачи охладителей. На основании полученных данных разработана технология регулируемого охлаждения крупногабаритных штампов в сборно-разборном стенде.

ВЫВОДЫ

Проведены исследования и обоснована возможность проведения совмещенного процесса борирования крупных штампов из стали 5ХНМ и последующей закалки. При этом сохраняется достаточно высокий комплекс механических свойств основного металла штампа и создаются условия для получения борированных слоев достаточной толщины.

Разработана конструкция водовоздушной центробежной распылительной форсунки и проведено определение её основных технологических параметров. Предложена конструкция сборно-разборного стенда для водовоздушного охлаждения штампов в процессе закалки.

На основании проведенных исследований разработана менее энергоёмкая технология объемного и поверхностного упрочнения крупногабаритных штампов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ресурсосберегающий технологический процесс термической обработки крупногабаритных штампов / Глазков Л. А., Желудкевич М. С., Жилянин Д. Л. и др. // Вестник БНТУ. – 2009. – № 3. – С. 31–35.
2. Установка для закалки крупногабаритных штампов водовоздушной смесью / Глазков Л. А., Желудкевич М. С., Жилянин Д. Л. и др. // Вестник БНТУ. – 2009. – № 3. – С. 35–38.
3. Борисов И. А. Технология водно-воздушного охлаждения при термической обработке крупногабаритных деталей / И. А. Борисов, Л. Ф. Голанд, И. Г. Жигалкин // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1996. – № 12. – С. 2–5.
4. А. с. 4314350/02 СССР, С23С8/70. Способ борирования стальных изделий / А. Н. Минков, Н. М. Колесник, А. Е. Гатченко. – № 1712461; заявлено 198; опубл. 1992, Бюл. № 6.
5. Пат. 55893 Украина, С21 D1/62. Пристрій для водно-повітряного охолодження виробів / Минков А. Н., Минков К. А., Дема М. И. – № 201008213; заявл. 01.07.2010; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24.
6. Пат. 51923 Украина, B05 B12/08. Стенд для випробувань водно-повітряних форсунок / Минков А. Н., Минков К. А., Дема М. И. – № 20100421; заявл. 18.01.2010; опубл. 10.08.2010, бюл. № 15.