

УДК 621.83

Б.П. Серета ⁽¹⁾, зав. кафедрой, д.т.н., профессор

Т.А. Васильченко ⁽¹⁾, аспирант

И.В. Кругляк, ⁽¹⁾, доцент, к.т.н.

Ю.В. Бондаренко ⁽¹⁾, ассистент

А.В. Глебенко ⁽²⁾, ст. преподаватель

ВЫБОР МАТЕРИАЛА И МЕТОДОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДОВ КРИВОШИПНЫХ ПРЕССОВ

⁽¹⁾ Запорожская государственная инженерная академия,

⁽²⁾ Запорожский национальный технический университет

Проведено аналіз основних матеріалів, що використовують для виготовлення зубчастих коліс приводів кривошипних пресів, і виконано вибір сталі 12ХНЗА. Розглянуто методи термічної обробки зазначеної марки сталі та виконано дослідження її якісних показників залежно від режимів обробки.

Проведен анализ основных материалов, применяемых для изготовления зубчатых колес приводов кривошипных прессов, и осуществлен выбор стали 12ХНЗА. Рассмотрены методы термической обработки указанной марки стали и выполнены исследования ее качественных показателей в зависимости от режимов обработки.

Введение. В приводах кривошипных прессов, применяемых в огнеупорной промышленности, все чаще используют планетарные передачи, служащие для редуцирования угловой скорости, что способствует повышению технико-экономических показателей работы данных агрегатов, улучшению условий эксплуатации и обслуживания их соответствующих узлов. Однако в полной мере все заявленные качества проявляются в случае, когда привод выполнен в соответствии с требованиями, предъявляемыми к материалам для его изготовления.

Зубчатое колесо является одним из рабочих элементов конструкции планетарной передачи, и его нагрузочная способность зависит от выбора материала и качества изготовления. В процессе эксплуатации зубчатых колес на них действуют два основных вида нагрузок: контактные и изгибающие. Под действием изгибающих нагрузок напряжения по сечению колес распределяются крайне неравномерно, при этом их максимальные значения имеют место в поверхностных слоях [1].

Цель работы. Задачей работы является анализ и выбор материала для изготовления зубчатых колес планетарных передач приводов кривошипных прессов, а также оптимальных режимов его термической обработки с целью повышения долговечности.

Основная часть исследований. Выбор материала зубчатых колес, технологии их изготовления и термообработки определяется требованиями обеспечения заданной долговечности и надежности при передаче нагрузок.

Для изготовления зубчатых колес используют стали, которые подразделяют на подвергаемые термообработке до нарезания зубьев и термически обработанные после их нарезания.

Стали, термически обрабатываемые до нарезания зубьев (углеродистые и легированные стали, содержащие 0,3...0,5 % углерода, марок 45, 50, 40Х, 40ХН, 35ХМА, 35ХГС и др.) имеют окончательную твердость НВ 200...280 (не выше НВ 350) и подвергаются улучшению и нормализации [2]. Применение улучшаемых

сталей обеспечивает удешевление процесса изготовления колес и улучшает их прирабатываемость.

© Серeda Б.П., Васильченко Т.А., Кругляк И.В., Бондаренко Ю.В., Глебенко А.В., 2012

Однако нагрузочная способность зубчатых зацеплений при этом значительно ниже, чем загрузочных зацеплений, выполненных из закаленных сталей, поэтому их рекомендуют для изготовления относительно мало нагруженных колес тихоходных передач. Такие стали можно успешно использовать для изготовления колес с внут-ренними зацеплениями, так как последние подвергаются меньшей нагрузке, чем внешние.

Лучшие результаты достигаются при поверхностной закалке с нагревом токами высокой частоты и газовым пламенем. После закалки твердость рабочей поверхности составляет *HRC* 50...60, однако нагрузочная способность колес с поверхностной закалкой ниже, чем цементированных и объемнозакаленных колес. В связи с этим указанный вид термической обработки рекомендуется для средне- и малонагруженных зубчатых колес.

Высокую твердость рабочих поверхностей (*HRC* 58...63), наибольшую несущую способность зубьев по контактным и изгибающим напряжениям обеспечивают после цементации с последующей закалкой и низким отпуском. Для дополнительного повышения твердости зубчатые колеса обрабатывают холодом при температуре (50...55) °C [3]. Цементируемые стали марок 20ХН, 12ХНЗА, 18ХНВА, 20ХНМ, 25ХГТ, 15ХГН2ВА и др. после термообработки характеризуются содержанием углерода в поверхностном слое не более 1,0...1,2 %.

На основании анализа литературных данных в качестве материала для изготовления зубчатых колес была выбрана сталь 12ХНЗА, для которой предложены нижеприведенные режимы цементации и термообработки (табл. 1). После проведения указанных видов обработки оценивали качество образцов стали по глубине поверхностного слоя, содержанию в нем углерода, микроструктуре, виду излома и механическим свойствам стали.

Таблица 1 – Режимы цементации и термообработки стали 12ХНЗА

Номер режима	Температура цементации, °C	Время цементации, ч	Температура закалки, °C	Охлаждающая среда	Температура отпуска, °C	Охлаждающая среда
1	900 ± 10	7	800 ± 10	масло	900 ± 10	воздух
2	950 ± 10	4	800 ± 10	масло	950 ± 10	воздух
3	900 ± 10	7	780...800	масло	900 ± 10	воздух

Под поверхностным слоем подразумевают цементованный слой охлажденного образца. Глубину поверхностного (цементованного) слоя образца, охлажденного на воздухе после цементации и имеющего повышенное содержание углерода по сравнению с серединными слоями образцов, определяли с использованием металлографического микроскопа.

Результаты проведенных экспериментов приведены в табл. 2. Все режимы цементации выполняли при подаче керосина с оптимальной скоростью, равной 60 ка-пель/мин, установленной экспериментально.

Таблица 2 – Глубина поверхностного слоя и содержание углерода в нем после термической обработки

Режим обработки	Глубина поверхностного слоя, мкм	Содержание углерода, %
1	132...136	0,90
2	118...125	0,86
3	125...130	0,91

Снижение содержания углерода в поверхностном слое стали 12ХН3А при повышении температуры можно объяснить наличием в ее составе хрома, который при повышении температуры склонен образовывать карбиды.

Структура данной стали в исходном состоянии (рис. 1) имеет сорбитообразный перлит и феррит в виде очень маленьких островков, что способствует обеспечению хороших технологических свойств срединных слоев образца после термообработки. Структура цементованного слоя является типичной для всех режимов обработки и представлена мелкоигльчатым мартенситом, кроме того, обнаружено некоторое количество (~ 15 %) остаточного аустенита, для удаления которого проводят высокотемпературный отпуск.



Рисунок 1 – Структура цементованного слоя стали 12ХН3А

Для обеспечения оптимальных свойств срединных слоев зуба структура стали должна состоять из низкоуглеродистого мартенсита или нижнего бейнита. При этом недопустимо выделение феррита в форме сфероидальных включений и особенно опасно выделение феррита по границам зерен, так как в этом случае резко снижается усталостная прочность и ударная вязкость.

Микроструктура стали 12ХН3А, обработанной по режимам 1 и 2, представлена на рис. 2. Установлено, что размер исходного зерна микроструктуры стали соответствует пяти баллам, после цементации при температуре 900 °С размер зерна соответствует четырем баллам, а после обработки при температуре 950 °С - снижается до 2...3 баллов.

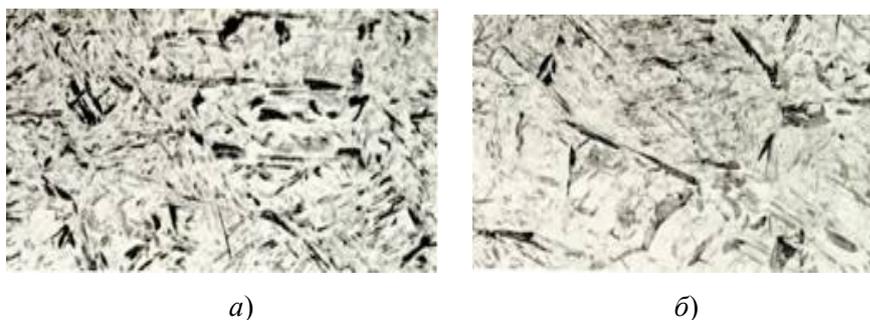


Рисунок 2 – Структура стали 12ХН3А, обработанной по режиму: цементации при температуре 900 (а) и 950 °С (б) с закалкой (800 °С) и отпуском (180 °С)

Изломы образцов стали 12ХН3А при всех режимах химико-термической обработки характеризуются наличием мелкозернистого строения. Образцы, закаленные с цементационного нагрева, имеют почти одинаковое строение с выделением цементационного слоя в виде каемки глубиной 1,0...1,2 мм, расположенной по окружности образцов.

Механические свойства стали 12ХН3А (пределы прочности при растяжении, изгибе и кручении, а также ударная вязкость) после цементации и термообработки оценивали по стандартным методикам. Результаты определения указанных характеристик представлены в табл. 3.

На основании проведенных исследований можно сделать заключение о том, что лучшие характеристики для стали 12ХН3А достигаются при температуре цементации 900 °С, при этом глубина цементованного слоя зависит, главным образом, от длительности выдержки.

Таблица 3 – Механические свойства стали 12ХН3А после цементации и термообработки

Режим обработки	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при кручении, МПа	Ударная вязкость, Н/мм ²
1	1666	-	1208	-
2	1405	2806	1295	2,4
3	2320	3033	1295	3,0

Следует отметить, что высокую твердость рабочих поверхностей (*HRC* 58...64) обеспечивают при цианировании зубчатых колес, которое повышает контактную прочность материала и резко снижает чувствительность к концентраторам напряжений. Зубчатые колеса после цианирования подвергают закалке с низким отпуском. Толщину цианированного слоя назначают в пределах 0,1...0,6 мм, но не более 1,0...1,3 мм. После цианирования обработку колес не производят, поэтому при закалке необходимо принимать меры по устранению закалочных деформаций и напряжений. Недостатком цианирования является низкая сопротивляемость перегрузкам и ударным нагрузкам.

Наибольшей твердости рабочих поверхностей (до *HV* 1300) достигают при азотировании зубчатых колес, которое повышает контактную прочность материала в несколько раз, а изгибающую прочность - на 20...30 %. Вследствие малой толщины азотированного слоя (не более 0,6 мм) зубчатые колеса более чувствительны к перегрузкам и неравномерности распределения нагрузки по ширине зубчатого венца. В таких случаях азотированию подвергают и торцы зубьев. Малое коробление колес после азотирования исключает необходимость последующего их шлифования (особенно для колес с внутренними зацеплениями). Недостатками азотирования служат дороговизна процесса и применяемых сталей, а также повышенная поверхностная хрупкость и возможность подслояных разрушений.

Противозадирную стойкость зубчатых колес можно повысить химической обработкой (обработка фосфатами железа, цинка и марганца) и нанесением гальванических покрытий (кадмием, хромом, медью, бронзой и т.д.).

Выводы

1. Выполнен анализ основных материалов, используемых при изготовлении зубчатых колес планетарных передач приводов кривошипных прессов. В качестве материала была выбрана сталь 12ХН3А. Предложены оптимальные режимы термообработки для указанной стали.

2. На основании результатов исследований микроструктуры, глубины цементованного слоя и концентрации углерода в нем в зависимости от температуры цементации установлено, что лучшие качественные показатели для стали 12ХН3А обеспечиваются при температуре 900 °С и подаче керосина 60 капель/мин. Глубина поверхности цементованного слоя зависит, главным образом, от длительности выдержки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кораблев, А. И.* Повышение несущей способности и долговечности зубчатых передач / А. И. Кораблев, Д. Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1968. – 288 с. – Библиогр. : с.278-285.
2. *Серета, Б. П.* Поверхневе зміцнення матеріалів : монографія / Б. П. Серета, Н. Є. Калініна, І. В. Кругляк. – Запоріжжя : Видавництво ЗДІА, 2004. – 230 с. – Библиогр. : с. 278-285. – ISBN 966-7101-64-9.

3. *Кудрявцев, В. Н.* Повышение несущей способности механического привода / В. Н. Кудрявцев. – Л.: Машиностроение, 1973. – 224 с. – Библиогр. : с.215-221.

Стаття надійшла до редакції 30.11.2011 р.
Рецензент, проф. В.М. Михайлін