

УДК 658.52.011.56

¹Литвинов В.М., ²Мироненко Е.В., ³Шелковой А.Н., ³Гасанов М.И., ³Клочко А.А.

¹Краматорский ООО «НИИПТмаш – Опытный завод», г. Краматорск, Украина

²ДГМА, г. Краматорск, Украина

³НТУ «ХПИ», г. Харьков, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СПРЕЕРНОЙ ЗАКАЛКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС В ТЯЖЕЛОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Введение

Важнейшей проблемой тяжелого машиностроения на современном этапе является повышение качества выпускаемой продукции, в том числе поверхностной закалке крупногабаритных зубчатых колес (рис. 1).

Технологические факторы, влияющие на глубину и степени упрочнения поверхностного слоя в значительной степени зависит от многих технологических факторов и в первую очередь от способов закалки.



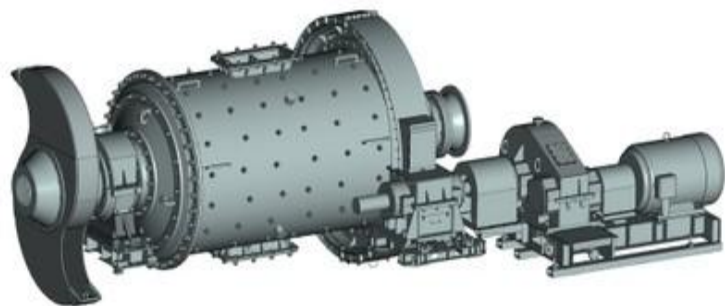
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1 – Крупногабаритные редуктора с цилиндрическими крупномодульными закаленными зубчатыми колесами:

а – рудоразмольная мельница ($m=24-65\text{мм}$); б – редуктор шлаковоза ($m=20-46\text{мм}$);
в – редуктор ЦДН-630 ($m=18-36\text{мм}$); г – рудоразмольная шаровая мельница ($m=20-50\text{мм}$)

Основная часть

Современные требования по увеличению твердости рабочих поверхностей зубьев зубчатых колес является одним из наиболее эффективных и актуальных направлений повышения нагрузочной способности и долговечности зубчатых передач и редукторов при

одновременном снижении их размеров [1, 2, 3].

В процессе работы зубчатых колес одновременно происходит трение качения и трение скольжения, вызывающие износ и разрушение рабочих поверхностей зубьев. Это сопровождается нарушением правильности зацепления, ростом шума, падением к.п.д., возникновением динамической нагрузки и т. д.

При сверхдопустимом износе зубьев зубчатых венцов ($m > 26$) и колес барабанов ($m > 20$) не допускается оставлять их в механизмах. Величина износа не должна превышать нормативную более чем на $0,17m$.

Предельный износ зубьев зубчатых колес составляет $(0,1 - 0,24)m$, где m – нормальный модуль. Для зубчатых колес с закаленными зубьями предельный износ составляет $0,8$ толщины цементированного слоя.

При выкрашивании рабочей поверхности зуба и других нарушениях профиля сверх допустимых норм, колеса и шестерни подлежат замене.

Вместе с тем существенное повышение твердости зубчатых колес резко увеличивает трудоемкость их изготовления: повышаются требования к жесткости зуборезного оборудования, стойкости инструмента, появляется потребность в дорогостоящих, но малопроизводительных зубошлифовальных станках. Если для зубчатых колес мелкого и среднего модуля можно сравнительно устойчиво получить требуемые характеристики зацепления путем химико-термической обработки и зубошлифования, то для крупномодульных колес ($m = 12 \div 65$ мм), особенно косозубых с углом наклона зубьев свыше $\beta_d = 25^\circ \div 30^\circ$ и длиной зуба более $b_k = 400 \div 1200$ мм, выполнение технологических операций химико-термической обработки и зубошлифования многократно усложняется и не всегда обеспечивается достижение поставленных целей по причине значительных термических деформаций зубьев ($0,8 \div 2,5$ мм) и высокой (более 200 станко-часов) трудоемкости операций зубошлифования.

Выполнение технологической операции зубошлифования на зубьях крупного модуля в условиях съема увеличенного припуска ($1,0 \div 2,5$ мм) приводит к появлению таких дефектов поверхностного слоя, как «прижоги» и микротрещины, а в самом слое появляются растягивающие напряжения, что, в конечном счете, снижает нагрузочную способность и долговечность тяжело нагруженных цилиндрических зубчатых передач.

Наряду с существующими способами поверхностной закалки зубьев разработан современный метод спреерной закалки зубьев зубчатых колес. Эта технология известна давно, однако считалось, что для закалки массивных деталей можно использовать только ацетилен, и «благодаря» повсеместному вытеснению ацетилена газами – заменителями на предприятиях спрос на закалочные горелки постепенно снижался.

Предложен метод поверхностной закалки зубьев крупногабаритных колес с применением горелок, работающих на природном газе, или пропан – бутановых смесях. По сравнению с ацетиленокислородными закалочными горелками, благодаря специальной конструкции, эти горелки значительно сокращают стоимость работ, упрощают процесс закалки и повышают его безопасность. Горелки при этом более производительны и более экономичны за счет более низкой цены природного газа по сравнению с ацетиленом. Особенная конструкция головки позволяет выравнивать температуру фронта пламени по ширине закаливаемой поверхности, а специальные сопла для подачи воды на нагретую поверхность обеспечивают получение закаленной поверхности однородной твердости.

Разработан типоразмерный ряд закалочных горелок различного назначения, таблица 1. Создана методика расчета горелок, что позволяет быстро разрабатывать и изготавливать любую горелку по исходным данным заказчика в кратчайшие сроки.

Технические данные некоторых горелок приведены в табл. 1. Расшифровывается названия горелки так: «ГЗУ» - газы, заменители ацетилена; «б» - группа горелок для поверхностной закалки; «КМ» - крупный модуль зубьев; «20», «25», «50» - значение модуля.

Таблица 1

Технические характеристики типоразмерного ряда закалочных горелок

Параметры		Горелки ГЗУ6		
		КМ20	КМ25	КМ50
Расход, м ³ /ч:	кислорода	3,2-4,2	3,2-4,2	6,4-8,4
	природного газа	2,45-3,2	2,45-3,2	4,9-6,4 2760–4270
	воды	1,2-2,4		
Давление на входе в горелку, МПа	кислорода	0,2-0,4 2-4		
	природного газа	0,05-0,1		
	воды	0,2-0,4		

Характеристика горелки, (график зависимости разрежения на входном газовом штуцере горелки от давления подогревающего кислорода), для зуба с модулем 50 приведена на рис.2.

Кривая 1 на графике рис. 2 отображает зависимость величины разрежения в газовых каналах горелки от давления подогревающего кислорода в ее снаряженном состоянии; кривая 2 отображает эту зависимость в горелке без головки. Из графика видно, что в диапазоне рабочих давлений подогревающего кислорода (0,2 ÷ 0,6 МПа) имеет место устойчивый рост инжекции с увеличением давления подогревающего кислорода. Растет также значение падения инжекции, ($P_2 - P_1$) по координате «у», т.е. при увеличении давления подогревающего кислорода увеличивается также подпор газовой смеси перед выходными каналами. Это говорит о том, что горелка работает стабильно в интервале рабочих давлений, без хлопков и обратных ударов.

В табл. 2 приведены характеристики основных закалочных горелок с указанием некоторых соотношений их расчетных параметров. ($F_{\text{вых}}$ – суммарное поперечное сечение выходных каналов в мм²; $F_{\text{ск}}$ – поперечное сечение канала смесительной камеры в мм²; $F_{\text{инж}}$ – поперечное сечение каналов инжектора в мм²; t – расстояние между двумя соседними выходными каналами в мм).

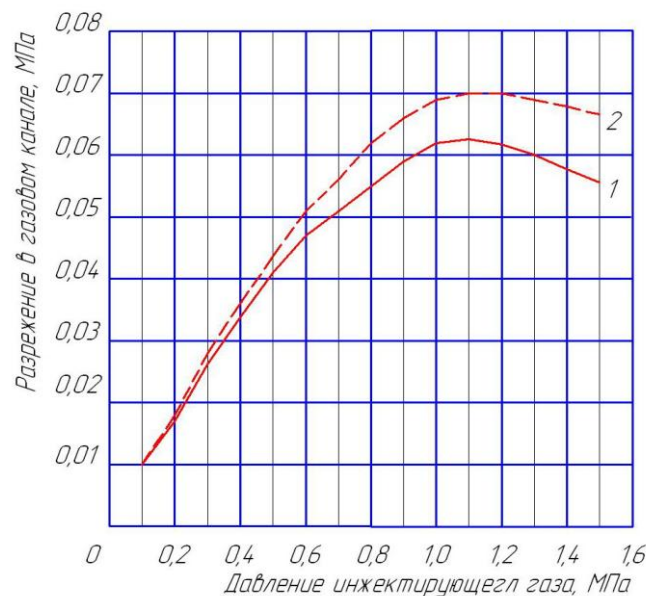


Рисунок 2 – Зависимость величины разрежения в газовых каналах горелки от давления подогревающего кислорода

Таблица 2

Технические характеристики основных закалочных горелок с указанием соотношений их расчетных параметров. ($F_{\text{вых}}$ – суммарное поперечное сечение выходных каналов в мм²; $F_{\text{ск}}$ – поперечное сечение канала смесительной камеры в мм²; $F_{\text{инж}}$ – поперечное сечение каналов инжектора в мм²; t – расстояние между двумя соседними выходными каналами в мм)

Марка горелки ГЗУ	Модуль шестерен, диаметр валков и роликов	$F_{\text{вых}}/F_{\text{ск}}$	$F_{\text{ск}}/F_{\text{инж}}$	Шаг, t
6-КМ (зубья шестерен)	10, 12, 14,16,18,20, 22,24,30,32,36,50	1,38	8,04	3,0
6-ШЛ (шлицевой вал)	-	1,25	10,1	3,0
6-В-180 (валки)	180	1,31	8,33	3,0
6-100 (валы)	100	1,39	8,33	3,5
6-ШВ (шейки валов)	-	1,36	10,1	3,5
6-В-400 (валки)	400	1,44		3,0
6-П (пальцы)	-	1,29		3,5
6-125-400 (ролики)	400	1,20	9,76	3,0
6-125-500 (ролики)	500			
6-125-600 (ролики)	600			
6-ХК (ходовые колеса)	-	1,20	9,76	3,0
6-ХК (ходовые колеса)	-	1,4	8,33	3,5
6-РП (распорные плиты)	-	1,47	8,33	3,0
6-РБ (ручей блока)	-	1,30	8,33	3,0

Технология закалки с использованием горелок проста: деталь располагают таким образом, чтобы закалку можно было производить снизу-вверх. К нижней кромке заготовки подводят зажженную горелку с включенной водой таким образом, чтобы водяные струи не попадали на нагреваемую поверхность. Когда линейный фронт нагрева примет соломенный цвет (950...1050°C), горелку резко поднимают вверх таким образом, чтобы водяные струи попали на нагретую поверхность. И так участок за участком, совершая небольшие колебательные движения в вертикальной плоскости.

На валках, роликах и других телах вращения закалку лучше производить с помощью неподвижной линейной горелки, вращая деталь вдоль продольной оси. По этой схеме легко механизировать процесс, однако необходимо строго синхронизировать линейную скорость вращения и скорость нагрева поверхности детали.

Методика расчета горелок для поверхностной газокислородной закалки.

Экспериментальным путем было выбрано оптимальное для поверхностной закалки линейное пятно нагрева. Его обеспечивает ряд выходных отверстий $\phi 1$ мм с шагом 3 мм в случае использования природного газа и ряд выходных отверстий $\phi 1$ мм с шагом 3,5 мм в случае использования пропанобутановых смесей. При этом, глубина закаленного слоя колеблется от 0,5 мм до 1,5 мм в зависимости от марки стали и скорости закалки. Исходя из того, какую ширину поверхности (b) необходимо закалить за один проход, можно определить количество выходных отверстий в головке горелки (n).

$$n = (b : t) + 1 \quad (1)$$

Зная количество выходных отверстий, можно определить их суммарное поперечное сечение.

$$F_{\text{вых}} = 0,785 n \quad (2)$$

Между суммарными поперечными сечениями выходных каналов головки, канала смесительной камеры и канала инжектора в горелках ГЗУ-6 имеются определенные зависимости, полученные теоретически и проверенные на практике.

$$F_{\text{вых}} : F_{\text{ск}} = (1,2 \div 1,35) \quad (3)$$

$$F_{\text{ск}} : F_{\text{инж}} = (8,0 \div 10,0) \quad (4)$$

Площадь поперечного сечения отверстия смесительной камеры определяется по формуле 3, а площадь поперечного сечения инжектора – по (4).

Остальные параметры горелки можно выбирать конструктивно. Но необходимо следить, чтобы на пути газовой смеси от смесительной камеры до выходных отверстий головки не было «карманов» (резкого увеличения поперечного сечения канала).

Горелки для ручной поверхностной закалки. Для закалки зубьев шестерен с модулем 10 внешнего зацепления используется горелка ГЗУ-6-КМ10, рис. 3.

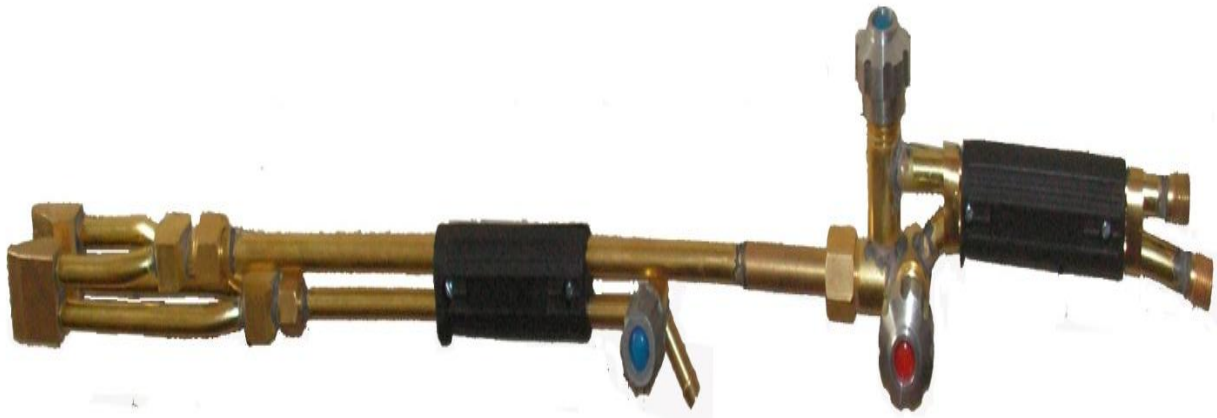


Рисунок 3 – Горелка для поверхностной закалки зубьев шестерен внешнего зацепления ГЗУ-6-КМ10. Модуль 10

Для закалки зубьев шестерен с модулем 12 внутреннего зацепления используется горелка ГЗУ-6-КМ12, рис. 4.



Рисунок 4 – Закалочная горелка ГЗУ6-КМ12 для зуба $m=10$ внутреннего зацепления

На рис. 5 показана технологическая последовательность поверхностной закалки зубьев $m=50$.

Вверху: слева - ввод горелки на зуб, справа – начало закалки. Внизу: слева – процесс закалки, справа – окончание.

Кроме горелок для закалки крупномодульных шестерен были созданы и эксплуатируются горелки для закалки поверхностей направляющих механообрабатывающих станков, валков и роликов любых размеров, шеек валков, ходовых колес, ручьев блоков и многих других деталей.

Ниже на рис. 6 и рис 7. показаны некоторые из этих горелок.



Рисунок 5 – Закалка зуба $m = 50$ горелкой ГЗУ-6-КМ50.

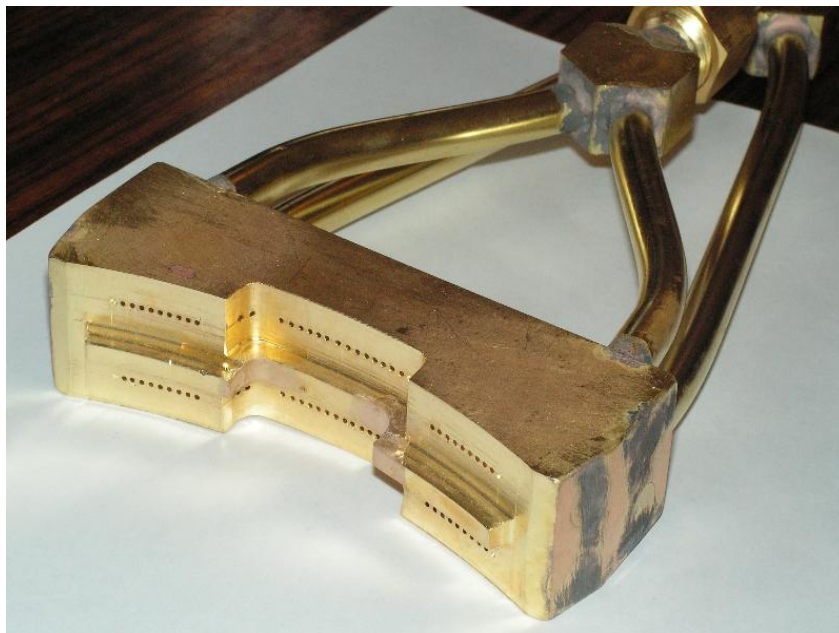


Рисунок 6 – Головка горелки для закалки поверхности крупногабаритных валшестерен



Рисунок 7 – Горелка для термообработки шеек крупногабаритных валшестерен

На рис 9 представлены станок для поверхностной газокислородной закалки (вверху слева), процесс закалки (вверху справа) и два момента отработки режимов (внизу).

Станок включает в себя планшайбу с вертикальной осью вращения и электроприводом, на которой размещают закаливаемую шестерню; суппорт, установленный на тележке с электроприводом, и механизм вертикального перемещения закалочной горелки с возможностью регулировки скорости.



Рисунок 9 – Машинная закалка зубьев шестерни $m = 25$

Последовательность операций при закалке на станке следующая: с помощью привода поворота планшайбы ось закаливаемого зуба приводится в одну плоскость с осью горелки, затем с помощью привода тележки осуществляется ввод головки горелки на зуб, и, после нагрева нижней кромки зуба до температуры закалки, включают привод вертикального перемещения горелки. После этого происходит настройка на следующий зуб и описанный цикл повторяют.

С помощью усовершенствованной технологии поверхностной газокислородной закалки, основанного на применении газов – заменителей ацетилен, решаются многие вопросы увеличения твердости на поверхности деталей без капитальных затрат на осуществление этой технологии.

Выводы

Перспективным направлением спреерной закалки крупногабаритных зубчатых колес является использование технологий с помощью горелок для поверхностной закалки, работающих на природном газе, или пропан-бутановых смесях. По сравнению с ацетиленокислородными закалочными горелками, благодаря специальной конструкции, эти горелки значительно сокращают стоимость работ, упрощают процесс закалки и повышают его безопасность. Горелки при этом более производительны и более экономичны за счет более низкой цены природного газа по сравнению с ацетиленом. Особенная конструкция головки позволяет выравнивать температуру фронта пламени по ширине закаливаемой поверхности, а специальные сопла для подачи воды методом распыления на нагретую поверхность и обеспечением закаленной поверхности однородной твердости.

Перечень источников литературы: 1. Клочко А.А. Технологическое основы обеспечения процесса зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес [Текст] / А.А. Клочко, А.Н. Кравцов; Донбасская государственная машиностроительная академия; Закрытое акционерное об-во "ОНИКС" - Краматорск: ДГМА; Ирбит: ОНИКС, 2014 – 299 с.: ил., табл.; - (Серия: «Проектирование и применение режущего инструмента в машиностроении» / Общ. ред. Ю.М. Соломенцев). ISBN 978-5-906703-02-6. 2. Шелковой А.Н. Критерии формирования структур и параметров систем обработки, обеспечивающих заданные эксплуатационные свойства закаленных крупномодульных зубчатых колес / А.Н. Шелковой, Е.В. Мироненко, А.А. Клочко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: зб. наук. пр. Тематичний випуск : Сучасні технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ ХПІ, 2013. – Вип. 8. – С. 185–200. – Укр., рос., англ. мовами.

Рецензент: **Клименко Г.П.**, д.т.н., проф., ДГМА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СПРЕЕРНОЙ ЗАКАЛКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС В ТЯЖЕЛОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Литвинов В.М., Мироненко Е.В., Шелковой А.Н., Гасанов М.И., Клочко А.А.

Поверхностный слой в процессе скоростного зубофрезерования претерпевает неоднократное пластическое деформирование и приводит, в свою очередь, к изменению физико-механических свойств и структуры металла. Перспективным направлением спреерной закалки крупногабаритных зубчатых колес является использование технологий с помощью горелок для поверхностной закалки, работающих на природном газе, или пропан – бутановых смесях. По сравнению с ацетиленокислородными закалочными горелками, благодаря специальной конструкции, эти горелки значительно сокращают стоимость работ, упрощают процесс закалки и повышают его безопасность. Горелки при этом более производительны и более экономичны за счет более низкой цены природного газа по сравнению с ацетиленом. Особенная конструкция головки позволяет выравнивать температуру фронта пламени по ширине закаливаемой поверхности, а специальные сопла для подачи воды методом распыления на нагретую поверхность и обеспечением закаленной поверхности однородной твердости.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СПРЕЕРНОГО ГАРТУ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС У ВАЖКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

Літвінов В.М., Мироненко Є.В., Шелковий О.М., Гасанов М.І., Клочко О.О.

Поверхневий шар в процесі швидкісного зубофрезерування зазнає неодноразове пластичне деформування і призводить, в свою чергу, до зміни фізико-механічних властивостей і структури металу. Перспективним напрямком спреерної гарту великогабаритних зубчастих коліс є використання технологій за допомогою пальників для поверхневого гартування, що працюють на природному газі, або пропан - бутанових сумішах. У порівнянні з ацетиленокислородними гартівними пальниками, завдяки спеціальній конструкції, ці пальники значно скорочують вартість робіт, спрощують процес гарту і підвищують його безпеку. Пальника при цьому більш продуктивні і більш економічні за рахунок більш низької ціни природного газу в порівнянні з ацетиленом. Особлива конструкція головки дозволяє вирівнювати температуру фронту полум'я по ширині гартує поверхні, а спеціальні сопла для подачі води методом розпилення на нагріту поверхню і забезпеченням загартованої поверхні однорідної твердості.

TECHNOLOGICAL FEATURES SPREERNOY HARDENING LARGE COGWHEELS IN HEAVY ENGINEERING

Litvinov VM, Mironenko EV, Shilkovoy A.N., Gasanov M.I., Klochko A.A

The surface layer during high-speed repeated hobbing undergoes plastic deformation and leads in turn to a change of physico-mechanical properties and structure of the metal. A promising direction spreerney hardening of large gears is the use of technology with the help of burners for surface hardening, natural gas or propane - butane mixture. Compared to oxyacetylene burners quenching, due to the special design, these burners considerably reduce the cost of the work, simplify the hardening process and improve its safety. Burners with more productive and more economical due to lower natural gas prices compared with acetylene. The special design allows the head to align the temperature of the flame front across the width hardenable surface and special nozzles for feeding water by spraying onto a heated surface and providing a uniform surface hardness hardened.

Ключевые слова: поверхностный слой, спреерная закалка, крупногабаритные зубчатые колеса, поверхностная закалка, однородная твердость, природный газ

Ключові слова: поверхневий шар, спресне загартування, великогабаритні зубчасті колеса, поверхневе загартування, однорідна твердість, природний газ

Keywords: the surface layer, hardening spreernaya, oversized gears, surface hardening, uniform hardness, natural gas

Дата подання статті до редакції: 20 травня 2016 р.