

There are studied the peculiarities of structure formation at crystallization expression using induction heat by currents with frequency 2400 and 8000 Hz of rod iron with diameter 16-40 mm from steels 35,40 and 40X. It is determined that single induction heat during 2-5 minutes provides required structure and solidity and reduction of the thermal cycle in comparison with furnace annealing (5-8 hours).

There is developed the technology and equipment for recrystallization annealing with heating of TVCh of rod rolled metal at production of fixing articles of automobiles with outside threaded profile. There are developed the regimes of thermotreatment with induction heat of rolled metal at moving of rod material with diameter from 12 to 28 mm and length 6 m through multiurn inductor with different speeds and parameters of heat.

П. С. ГУРЧЕНКО, А. И. МИХЛЮК, РУП «МАЗ»

УДК 621.74.042:669.187.56

ВЛИЯНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА НА СТРУКТУРО-ОБРАЗОВАНИЕ ПРИ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИОННОМ ОТЖИГЕ КРУГЛОГО СТАЛЬНОГО ПРОКАТА

Получению высокопрочных крепежных изделий (класс прочности 8,8 и более) на промышленных предприятиях, в том числе и предприятиях автомобильной промышленности, в последнее время уделяется все большее внимание. Каждый случай поломки крепежных деталей из-за плохого качества металла или его некачественной термообработки, вызывая аварию или выход из строя автомобиля в целом, приводит к убыткам, в тысячи раз превышающим стоимость деталей. Это требует разработки новых технических решений по термообработке пруткового металла.

Анализ основных причин поломок крепежных изделий на автомобилях МАЗа в процессе эксплуатации позволяет разделить разрушения по виду и причинам, их вызывающим.

Наиболее часто встречается вязкое или хрупкое разрушение крепежных деталей. Причинами вязкого разрушения могут быть неправильный выбор размеров, марки стали, неправильно назначенная или некачественно выполненная термообработка. Обычно для болтов и шпилек предусматривают термообработку на твердость 26–32 HRC. Для крепежа, испытывающего высокие и сложные напряжения в работе, применяют стали 40X и 40XH, термоупрочненные на твердость 32–40 HRC. Хрупкое разрушение может быть следствием ошибок конструкции узла или нарушения технологии его изготовления, приводящим к возникновению изгибающих знакопеременных нагрузок, или следствием нарушения технологии термообработки (высокая твердость, перегрев при закалке). Иногда считают, что это является следствием отпускной хрупкости из-за отсутствия операции охлаждения болтов в воде после отпуска. Однако исследованиями, проведенными в 2002 г., установлено, что даже в самом неблагоприятном случае, когда охлаждение после

отпуска производили вместе с печью, отклонения по прочности болтов на разрыв и ударной вязкости при испытании на маятниковом копре составляли не более 10% по сравнению с болтами, охлажденными после отпуска в воде.

Следующий вид разрушения — отрыв головок болтов, изготовленных методом холодной высадки, который обычно происходит из-за образования под головкой при формообразовании наклепа (текстуры деформаций). Для устранения этого явления применяется рекристаллизационный отжиг после высадки.

Один из распространенных видов разрушений резьбовых соединений — смятие резьбы (при правильно выполненных ее геометрических размерах), которое происходит из-за наличия обезуглероженного слоя, образующегося в процессе прокатки металла и его последующей термообработки. Анализ проведенных при входном контроле испытаний и исследований с 2000 по 2002 г. позволяет сделать следующие выводы.

1. В состоянии поставки на прокате диаметром 9–30 мм в течение последних двух лет полностью обезуглероженный слой не обнаружен. Частичное обезуглероживание глубиной до 0,2 мм встречается от 41 до 52,5% партий проката.

2. Испытания на осадку выдержали в 2000 г. 32 и 48% образцов, а в 2001 г. — 76 и 72% образцов для групп 66 и 66Т соответственно при полном соответствии по твердости.

На рис. 1, а, б представлена микроструктура прутка из стали 40X, используемого для изготовления крепежных изделий. В состоянии поставки это, как правило, ферритно-перлитная структура, с ферритом, ориентированным по границам зерен, иногда с элементами видманштетта. Для проведения дальнейшей обработки проката на заводе металл подвергают отжигу на структуру пластинчатого пер-

лита с ферритом (рис. 1, *в*) либо структуру зернистого перлита (рис. 1, *г*) с последующим травлением в серной кислоте для устранения окалины. При этом в результате длительного

термического воздействия на металл как в газовых печах, так и электропечах неизбежно происходит увеличение имевшегося в состоянии поставки обезуглероженного слоя.

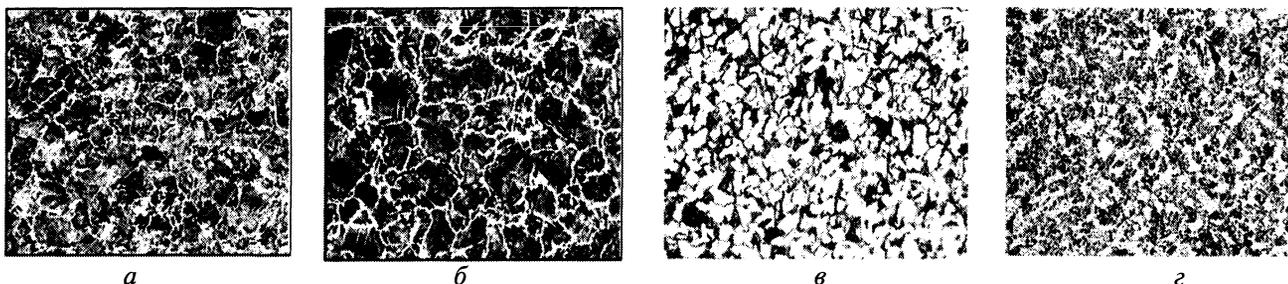


Рис. 1. Микроструктура металла, используемого для изготовления крепежных изделий: *а* – горячекатаная структура в состоянии поставки; *б* – горячекатаная структура с элементами видманштетта в состоянии поставки; *в* – после отжига на пластинчатый перлит; *г* – после отжига на зернистый перлит

На рис. 2, *а* показана микроструктура поверхности отожженного металла с характерным де-

фектом термообработки – полным обезуглероживанием на глубину 0,1 мм.

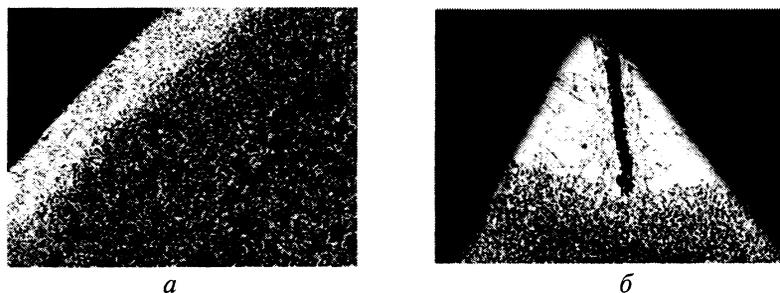


Рис. 2. Микроструктура металла с обезуглероженными слоями: *а* – на поверхности проката; *б* – на гребне резьбы болта

При накатке резьбовых поверхностей на металле с данным дефектом поверхности происходит концентрация обезуглероженного слоя на гребнях резьбы, так как в процессе накатки резьбы резьбонакатными роликами формообразование профиля резьбы происходит за счет поверхностного слоя. При большой глубине обезуглероженный слой может распространяться практически на всю высоту резьбы, тем самым снижая ее прочностные свойства. Наличие дефектов резьбы в виде складок (рис. 2, *б*) дополнительно ухудшает ее прочность.

нагрева использовали машинный преобразователь ВПЧ частотой 8000 Гц и мощностью 100 кВт. Отнимаемая при нагреве мощность составляла 40 – 100 кВт. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 3.

С целью повышения качества резьбовых деталей автомобиля на Минском автозаводе коллективом специалистов были проведены опытно-исследовательские и экспериментальные работы по возможности применения нагрева ТВЧ для термообработки проката для изготовления болтов. Были исследованы зависимости скоростей нагрева на получаемую структуры и твердость для различных марок сталей, распределение твердости по сечению, влияние калибровки на структуры, величину зерна и распределение твердости. Также было изучено влияние ТВЧ на образование обезуглероженных слоев при различных скоростях и параметрах нагрева.

Через многovitковой индуктор 1 перемещается со скоростью 30 – 150 мм/с заготовка 2 длиной 6 м. Диаметр и размеры профиля витков индуктора подобраны таким образом, что на входе в индуктор происходит быстрый нагрев поверхности заготовки, а последующими витками индуктора производится поддержание необходимой температуры для равномерного прогрева заготовки по всему сечению с целью избежания перегрева поверхности. Скорость перемещения заготовки плавно регулируется в необходимых пределах. Нагрев осуществляли до температуры 780–860 °С. Контроль температуры производили пирометром 3 «ULTRAKYST 4027» (ФРГ). На

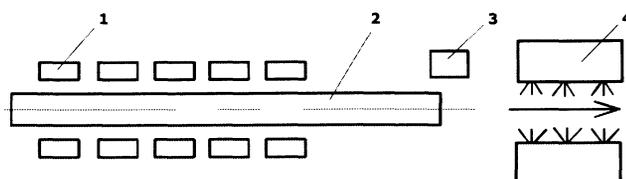


Рис. 3. Схема индукционного нагрева проката: 1 – индуктор; 2 – обрабатываемый пруток; 3 – пирометр; 4 – душирующее устройство

Для выполнения данной работы были спроектированы и изготовлены экспериментальные индукторы и приспособления. В качестве источника

определенном расстоянии от индуктора расположено охлаждающее устройство 4 для ускоренного охлаждения прутка. Изменяя расстояние между индуктором и охлаждающим устройством, возможно регулировать структуру металла, формируемую термообработкой. Ускоренное охлаждение от высоких температур позволяет закаливать прокат на задаваемую твердость и структуру, ускоренное охлаждение до комнатной температуры от температур 400 °С и менее дает возможность получать структуру пластинчатого перлита с твердостью 180 – 210 НВ. На рис. 4 показаны графики нагрева различных точек прутка диаметром 18 мм по длине индуктора, рассчитанные методом компьютерного моделирования.

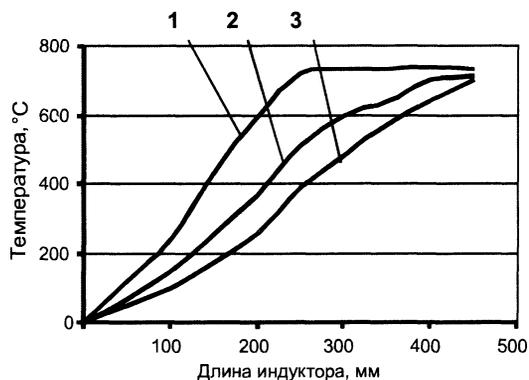


Рис. 4. График температуры нагрева по длине индуктора для различных точек: 1 – на поверхности прутка; 2 – на глубине 5 мм; 3 – на глубине 10 мм

Зависимость времени и скорости самопроизвольного охлаждения на воздухе до температур 400 °С и ниже от диаметра прутка показана на рис. 5.

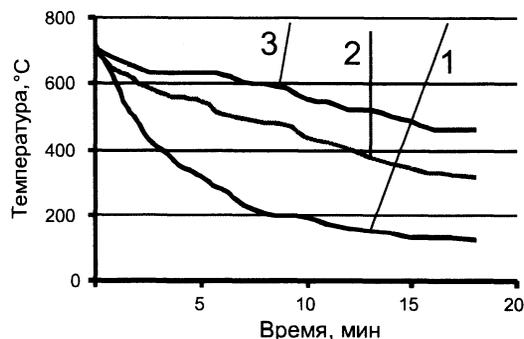


Рис. 5. Изменение температуры остывания прутка диаметром 18 (1), 38 (2) и 60 (3) мм на воздухе после прохождения через индуктор

Скорость остывания прутков различного диаметра составляет от 60 °С/мин для диаметра 60 мм до 25 °С/мин для диаметра 18 мм, что позволяет рассчитать расстояние, на котором следует располагать спрейер для ускоренного охлаждения прутка после прохождения через индуктор для получения необходимой структуры металла.

Экспериментально были определены максимально возможные скорости перемещения прутка различного диаметра через индуктор при обеспечении твердости по сечению, равнозначной с объемной печной обработкой. В табл. 1 приведены данные по производительности индукционной установки ИЗ-100/8 при обеспечении сквозного прогрева металла по всему сечению для индуктора длиной 400 мм и количеством витков 14.

На рис. 6 показано распределение твердости по сечению прутка диаметром 16 мм для сталей 40Х (рис. 6, а) и 35 (рис. 6, б) при различных скоростях движения прутка через индуктор при отжиге ТВЧ.

Таблица 1. Технические параметры установки ТВЧ при отжиге проката

Диаметр прутка, мм	Скорость перемещения прутка через индуктор, м/ч (мм/с)	Отнимаемая мощность, кВт	Производительность, кг/ч
12	472,9 (131)	40–50	420
14	338,8 (94,2)	65–70	410
18	190 (52,7)	80–85	380
20	141 (39,3)	95–100	350

Анализируя представленные зависимости распределения твердости по сечению прутка от скорости его движения через индуктор, можно сделать следующие выводы: при высоких скоростях движения прутков не прогревается по всему сечению и твердость в середине не падает (кривая 5), при малых скоростях (кривая 4) происходят перегрев поверхности прутка, рост зерна в перегретых слоях и при остывании поверхность подкаливается на воздухе, что также приводит к повышению ее твердости. При оптимальных значениях скорости (кривая 3) твердость равномерна по сечению прутка и соответствует печному обжигу (кривая 2). Для определения оптимальных

скоростей перемещения прутка через индуктор для различных диаметров была проведена серия опытов. Образцы прутков протягивали через индуктор с различной скоростью при постоянной мощности на индукторе и определяли производительность индуктора в кг/кВт. После этого измеряли твердость по сечению прутка и сравнивали с твердостью при печной обработке.

На рис. 7 показана зависимость производительности термообработки прутков из стали 40Х различного диаметра в индукторе длиной 400 мм, обеспечивающей после отжига ТВЧ твердость, равнозначную с печной. Индуктор был запитан от генераторов частотой 8000 и 2400 Гц.

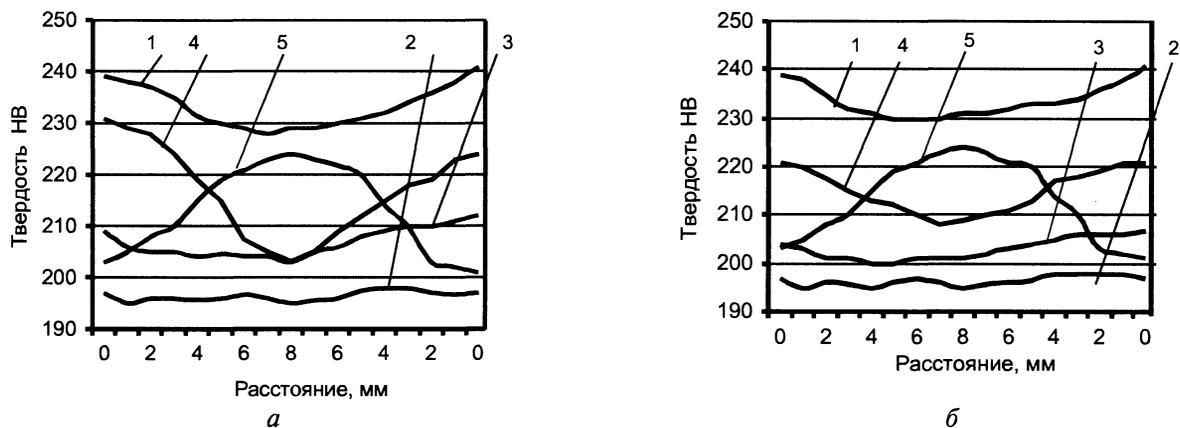


Рис. 6. Распределение твердости по сечению прутка диаметром 16 мм: а – для стали 40Х; б – для стали 35; 1 – в состоянии поставки; 2 – отжиг в печи; 3 – отжиг ТВЧ при скорости 64 мм/с; 4 – отжиг ТВЧ при скорости 40 мм/с; 5 – отжиг ТВЧ при скорости 80 мм/с

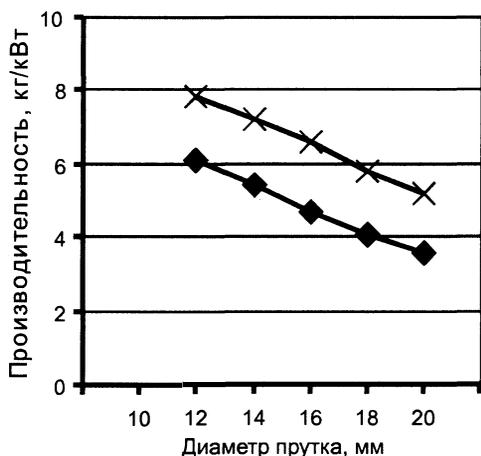


Рис. 7. Зависимость производительности отжига прутков из стали 40Х: 1 – для частоты 8000 Гц; 2 – для частоты 2400 Гц

Была изготовлена опытная партия одного из наиболее нагруженных болтов в автомобиле – болта крепления цапфы колесной передачи к картеру заднего моста. Болт имеет резьбу М20х 1,5–6h, класс прочности – 10,9, твердость – 31,0–40,5 HRC, изготавливается из стали 40Х. Соединение цапфы с картером состоит из 12 указанных выше болтов, которые в процессе эксплуатации испытывают значительные динамические знакопеременные и статические нагрузки.

Были обработаны две партии болтов: по существующей и предлагаемой технологиям с заме-

рами геометрии резьбовой поверхности и проведением испытаний на класс прочности. По существующей технологии прутки проходят объемную термообработку в газовой печи при температуре 860 °С в течение 6 ч и последующую калибровку в размер 18,94 мм. Для болтов, изготовленных по серийной технологии, наблюдается увеличение частично обезуглероженного слоя от 0,1–0,15 мм на исходной структуре до 0,3–0,5 мм на конечном изделии. При обработке металла по предлагаемой технологии обезуглероженный слой не увеличивается. Отжиг ТВЧ прутка производили как до калибровки в размер 18,94 мм, так и после калибровки. На рис. 8 показаны структуры металла после отжига ТВЧ, после калибровки, после повторного отжига ТВЧ и профиль резьбы, получаемый накаткой на таком металле.

Следует отметить особенности структуры, получаемой после отжига ТВЧ калиброванного металла: перлит в стадии сфероидизации и феррит по границам мелкого зерна, балл № 9–10, ГОСТ 5639-82, причем, чем выше степень деформации при калибровке, тем ярче проявляется этот эффект измельчения структуры и процесса сфероидизации. Качество накатки резьбы благодаря мелкодисперстной структуре улучшается по сравнению с печной обработкой.

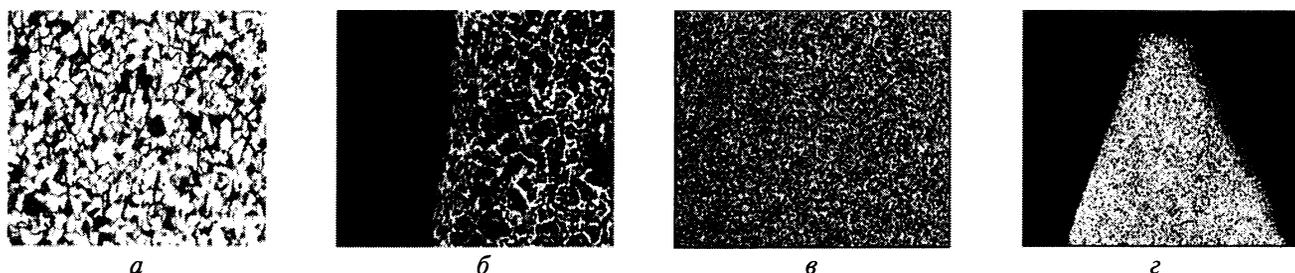


Рис. 8. Структура металла: а – после первого отжига ТВЧ; б – после калибровки; в – после повторного отжига ТВЧ; г – профиль резьбы, получаемый накаткой из металла с отжигом ТВЧ

Таким образом, исследованы особенности структурообразования при рекристаллизационном отжиге с применением индукционного нагрева

током частотой 2400 и 8000 Гц для пруткового металла диаметром 16–40 мм из сталей 35, 40 и 40Х. Установлено, что однократный индукцион-

ный нагрев в течение 2–5 мин обеспечивает равнозначные с печным отжигом в течение 5–8 ч структуру и твердость по сечению, при повторном индукционном нагреве после холодной пластической деформации металла формируются структура зернистого перлита и перлита в стадии сфероидизации. При отжиге с нагревом ТВЧ образование окалины и обезуглероженного слоя не происходит.

Выводы

1. Операция отжига ТВЧ при термообработке пруткового проката для изготовления резьбовых изделий обеспечивает интенсификацию процес-

са, повышение качества термообработки, снижение трудоемкости по сравнению с традиционными способами термообработки.

2. Затраты электроэнергии при отжиге ТВЧ составляют 150–180 кВт на 1 т, что в 1,8–2,1 раза меньше, чем при печной обработке.

3. Устраняется угар металла, образование окалины и обезуглероженного слоя на поверхности. Сокращается длительность травления.

4. Улучшаются условия труда, устраняются выбросы продуктов горения в окружающую среду, сокращается потребление кислоты для травления и выбросы ее отходов в окружающую атмосферу и сточные воды.

Э
КСПРЕСС-
ИНФОРМАЦИЯ

ANKIROS
2004

7th INTERNATIONAL IRON - STEEL & FOUNDRY TECHNOLOGY CONGRESS & PRODUCTS TRADE FAIR

ANNOFER
2004

The 66th World Foundry Congress 2004
ISTANBUL