

концом $l_{\text{ут}}/d_3 = 0,208$. При увеличении глубины утяжины ($l_{\text{ут}}/d_3 = 0,130$) больше критической, абсолютная величина которой равна 16 мм, происходит резкое возрастание длины кольцевого отслоения, что говорит о снижении вероятности образования полуколец на гильзах при прошивке.

Выводы. Глубина утяжины на заднем конце заготовки после обжимного стана существенно влияет на образование кольцевых отслоений и на процент брака труб по вмятинам. Установлено два диапазона влияния глубины утяжины $l'_{\text{ут}}$ на длину кольцевого

отслоения. При $l'_{\text{ут}} > 0,130$ резко возрастает величина кольцевого отслоения металла, и как следствие вероятность образования полукольца на гильзе при прошивке. Оптимальная настройка технологического процесса обжатия непрерывнолитой заготовки и профилирование заднего конца заготовки обеспечивают значение $l'_{\text{ут}} < 0,130$ и гарантируют уменьшение брака труб по вмятинам.

© 2013 г. М.В. Ерпалов, Д.Ш. Нухов, А.А. Богатов
Поступила 13 августа 2012 г.

УДК 669.05

В.А. Коротков

Нижнетагильский технологический институт – филиал
Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ

Аннотация. Исследованы скорость охлаждения и твердость тонких пластин при упрочнении плазменной закалкой, а также ее влияние на износостойкость конструкционной стали.

Ключевые слова: плазменная закалка, конструкционная сталь, тонкая пластина, упрочнение.

STUDY OF PLASMA HARDENING OF STRUCTURAL STEEL

Abstract. Velocity of cooling and hardness of thin plates under strengthening by plasma hard-ening as well as its influence on structural steel strength are investigated.

Keywords: plasma hardening, structural steel, thin plates, strengthening.

Плазменная закалка, известная с 80-х годов прошлого столетия [1 – 3], в начале двадцать первого века получила усовершенствование. Была разработана установка УДГЗ-200, с помощью которой стало возможно проведение поверхностной плазменной закалки вручную. При помощи закалочной горелки можно добираться до труднодоступных мест и осуществлять закалку. Это расширило применение плазменной закалки и позволило решить важные производственные проблемы на металлургических предприятиях Урала [4, 5]. В настоящей работе продолжено исследование ручной плазменной закалки в отношении ее способности к упрочнению тонких пластин и к увеличению износостойкости конструкционной стали.

Исследование скорости охлаждения

Пластины толщиной от нескольких до десятков миллиметров используются в металлургической промышленности для различного назначения (футеровочные листы бункеров, лицевые планки на прокатных клетях, регулировочные прокладки и пр.). Объемная

закалка этих изделий сопровождается деформациями, делающими дальнейшее применение пластин затруднительным или невозможным. Поверхностная закалка плазменной дугой деформирует пластины в меньшей степени, и поэтому она стала находить применение в производстве. Но оставались неизученными следующие вопросы: как воспринимают закалку без сопутствующего охлаждения водой тонкие пластины, и насколько эффективным в этом случае может быть водяное охлаждение.

Закалка выполнялась при силе тока 180 – 200 А установкой УДГЗ-200 [5].

Для экспериментального определения скоростей охлаждения при плазменной закалке использовали термопару хромель-алюмель ТХА (К). Ее сваренный конец плотно закрепляли в отверстиях образца, подлежащего закалке. При этом дугу перемещали по его поверхности над местом закрепления термопары, показания которой снимали прибором ТРМ-200 и через адаптер сети АС 4 передавали на компьютер. Затем при помощи программы Excel строили графики изменения температур в зависимости от времени. Скорость охлаждения является

производной величиной от функции изменения температуры во времени. Для ее определения выводили линию тренда в прямо пропорциональной аппроксимации с помещением ее уравнения на графике. Коэффициент x при аргументе показывает значение производной, т.е. величину скорости охлаждения.

Измерения микротвердости по методу Виккерса проводили на приборе ПМТ-3М с нагрузкой 5 Н.

Производили закалку образца диам. 60 мм и толщиной 4 мм из стали марки 45 без сопутствующего водяного охлаждения. Выбрали нелегированную сталь, для закалки которой требуется более высокая скорость охлаждения, чем для легированных сталей. Таким образом, полученные значения твердости можно характеризовать как минимальный уровень упрочнения, достигаемый закалкой с помощью установки УДГЗ-200.

На рис. 1 представлены графики охлаждения пластины в областях перлитного и мартенситного превращений переохлажденного аустенита. На графиках видно, что скорость охлаждения в области перлитного превращения (49,93 °С/с) существенно выше скорости охлаждения в области мартенситного превращения (10,83 °С/с). Первое способствует сохранению переохлажденного аустенита для распада в низкотемпературном интервале с образованием мартенсита, а второе – снижению закалочных напряжений, образующихся в результате увеличения объема при мартенситном превращении. Таким образом, изменение скорости охлаждения в ходе плазменной закалки пластины (быстрое

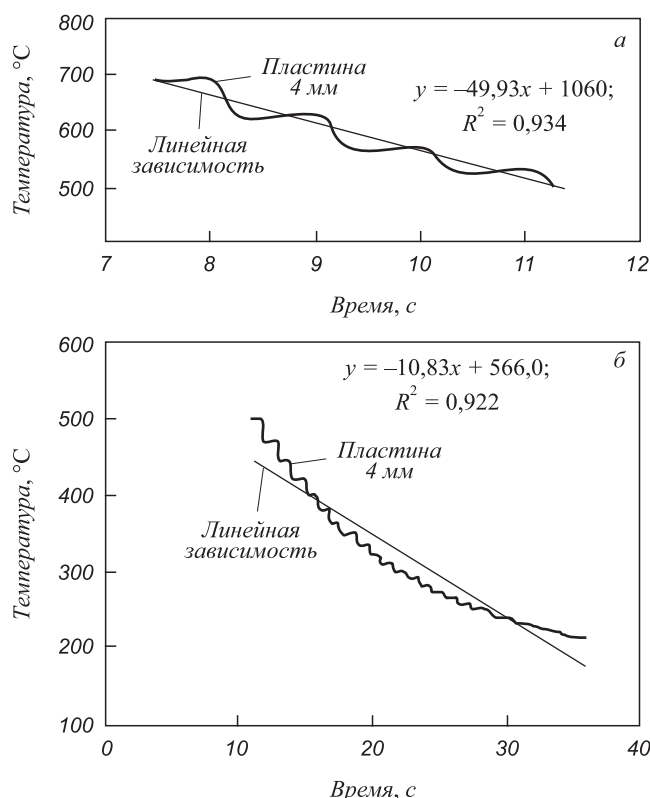


Рис. 1. Охлаждение пластины в температурном интервале перлитного (а) и мартенситного (б) превращений аустенита

в перлитной и медленное в мартенситной областях) может расцениваться как благоприятствующее получению закаленной структуры без закалочных трещин.

На рис. 2 представлено распределение микротвердости по глубине закаленного слоя. Видно, что наибольшее упрочнение произошло на глубине до 1 мм. Здесь значения микротвердости находятся в диапазоне HV 350 – 380, который почти вдвое превышает уровень этой величины в исходном состоянии. Полученный результат согласуется со сведениями из работы [6], в которой указано, что при скорости охлаждения 8 °С/с твердость зоны термического влияния сварного соединения из стали марки 45 составляет HV 375. Таким образом, плазменная закалка без принудительного охлаждения тонкой (4 мм) пластины из стали марки 45 сопровождается неполной закалкой, но полученные значения микротвердости все же позволяют рассматривать ее как средство упрочнения.

Чтобы выявить способность к упрочнению рассматриваемого материала плазменной закалкой установкой УДГЗ-200 в условиях более быстрого охлаждения, увеличили толщину образца до 27 мм и погрузили его в воду на половину высоты. На образце закалили одну за другой, с частичным перекрытием, две полосы. Измерение микротвердости производилось в поперечном сечении по ширине образца на расстоянии 0,1 мм от поверхности (рис. 3).

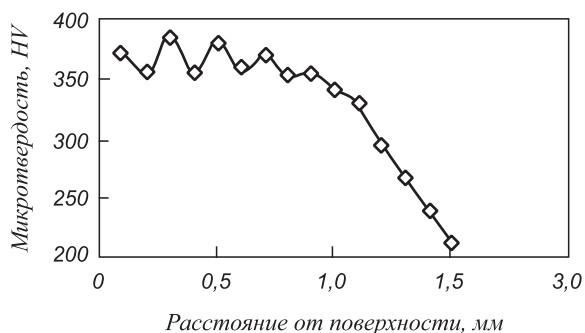


Рис. 2. Распределение микротвердости (нагрузка 5 Н) по толщине закаленной 4-х мм пластины

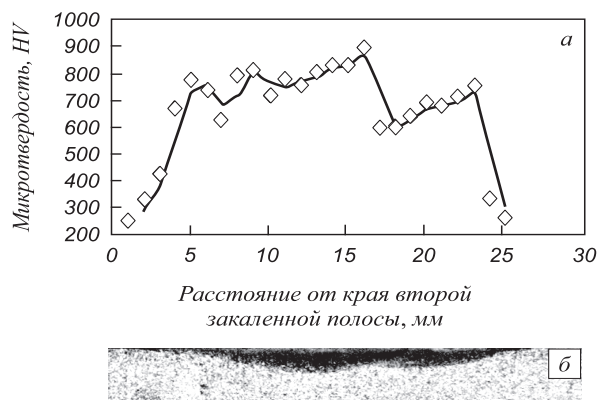


Рис. 3. Распределение микротвердости (нагрузка 5 Н) на глубине 0,1 мм от поверхности (а); поперечное сечение образца с двумя полосами закалки плазменной дугой (б)

Из приведенного на рис. 3 графика видно, что в зоне нагрева плазменной дугой микротвердость увеличилась вдвое: с HV 350 – 380 до HV 700 – 800. В месте перекрытия полос (двойной закалки) имеется возрастание микротвердости до HV 800 – 900, а в зоне термического влияния второй полосы на первую – снижение микротвердости до HV 600 – 700 вследствие протекания отпускных процессов.

Исследование износостойкости

Детали из конструкционной стали, как правило, проходят термическое упрочнение в виде закалки со средним или высоким отпуском на твердость HB 250 – 350. Плазменная закалка дает более высокие значения твердости, поэтому представляется целесообразным проследить ее преимущество в износостойкости над закалкой с отпуском.

Испытания на износостойкость проводились на машине трения МИ-1 по схеме диск – колодка без смазки в три этапа по 5 мин с нагрузкой 20 кг при частоте вращения диска 425 об/мин. После каждого этапа выполняли взвешивание и определяли износ образцов. Сочетание сталей и их твердость в образцах взяты такие же, как в эластомерном аппарате АПЭ-95 (шток – корпус), служащем для смягчения соударений при движении вагонов-цистерн по железной дороге. Диск (40×10 мм, сталь марки 30ХГСН2А) и колодка (сталь марки 38ХНЗМФА) прошли термическую обработку (объемную закалку с отпуском) на твердость HB 350. Они составили базовое сочетание пары трения. Во втором сочетании на колодку с твердостью HB 350 было нанесено фосфатное покрытие «Фоскон-28», а в третьем, помимо нанесения на колодку фосфатного покрытия, диск, вместо объемной термической обработки, прошел поверхностную закалку плазменной дугой на установке УДГЗ-200. Твердость в результате закалки увеличилась до HRC 50. Измерения выполняли ультразвуковым переносным твердомером УЗИТ-3. В каждом сочетании испытывали по три пары образцов. Результаты экспериментов на машине трения приведены ниже:

Этап	1	2	3
Износ образца, г:			
диск	0,3764	$\frac{0,0364}{0,0669}$	0,0305
колодка	0,0186	$\frac{0,0062}{0,0089}$	0,0027

Примечание. В знаменателе указан суммарный износ этапов 2 и 3.

Анализируя их, можно отметить следующее. В базовом (этап 1) сочетании приработка трущихся поверхностей сопровождается большей потерей массы, чем на последующих этапах. На этапе 2 испытаний износ

резко уменьшился: у диска – в 10,3 раза (с 0,3764 до 0,0364 г), у колодки – в 3 раза (с 0,0186 до 0,0062 г). Износ на этапе 3 по сравнению с этапом 2 уменьшился: у диска – примерно на 20 %, у колодки – примерно в 2,3 раза. Это говорит о том, что приработка диска завершилась на этапе 1, а приработка колодки продолжала происходить и на этапе 2. Износ пары трения с фосфатированной колодкой приведен ниже:

Этап	1	2	3
Износ образца, г:			
диск	0,0422	$\frac{0,0370}{0,0737}$	0,0367
колодка, покрытая «Фоскон-28»	0,0296	$\frac{0,0079}{0,0151}$	0,0072

Примечание. В знаменателе указан суммарный износ этапов 2 и 3.

Фосфатное покрытие применяется как облегчающее приработку, что нашло подтверждение в этом эксперименте (см. выше). В результате фосфатирования колодки износ диска на этапе 1 (приработки) уменьшился почти на порядок – в 8,9 раза (с 0,3764 до 0,0422 г). Но при этом износ колодки с фосфатным покрытием увеличился примерно в 1,6 раза (с 0,0186 до 0,0296 г). На этапах 2 и 3 изнашивание и у диска, и у колодки стабилизировалось: износ первого по сравнению с базовыми вариантами увеличился незначительно – в 1,2 раз, а износ последнего – в 1,7 раза.

Износ пары трения с фосфатированной колодкой и диском с плазменной закалкой представлен ниже:

Этап	1	2	3
Износ образца, г:			
диск, плазменная закалка	0,0330	$\frac{0,0051}{0,0074}$	0,0023
колодка, покрытие «Фоскон»	0,0238	$\frac{0,0127}{0,0179}$	0,0052

Примечание. В знаменателе указан суммарный износ этапов 2 и 3.

Плазменная закалка диска и фосфатирование колодки по сравнению со вторым сочетанием уменьшили износ на этапе 1 (приработки): в 1,3 раза – у диска; и в 1,2 раза – у колодки. Но суммарный износ на этапах 2 и 3 после приработки у диска уменьшился существенно – в 9,6 раза, при незначительном увеличении износа фосфатированной колодки – в 1,2 раза.

В сравнении с базовым вариантом (см. выше) плазменная закалка диска и фосфатирование колодки снизили на этапе 1 (приработки) износ диска в 11,4 раза, при незначительном увеличении износа колодки в 1,3 раза. На следующих за приработкой этапах суммарный износ диска был меньше, чем в базовом варианте, в 9,0 раз, при

одновременном увеличении износа колодки в 2,0 раза. Полученные результаты позволяют рекомендовать плазменную закалку и фосфатирование для увеличения износостойкости эластомерного аппарата АПЭ-95.

Выводы. Скорость охлаждения при плазменной закалке тонкой пластины толщиной 4 мм из стали марки 45 составляет 49,93 °С/с (область перлитного превращения) и 10,83 °С/с (область мартенситного превращения), что обеспечивает увеличение твердости до HV 330 – 386. Увеличение скорости охлаждения за счет водяного охлаждения и увеличения толщины образца до 27 мм дало более чем двукратное увеличение твердости – до HV 700 – 800. При этом на месте перекрытия полос (двойной закалки) микротвердость возрастает до HV 800 – 900, а в зоне термического влияния второй на первую полосы – снижается за счет отпускных процессов до HV 600. Испытания на машине трения показало, что фосфатирование колодки снижает износ диска стали марки 30ХГСН2А при твердости HV 350 на этапе приработки (в 8,9 раза), увеличивая

(в 1,2 раза) его на последующих этапах. Плазменная закалка диска в сочетании с фосфатированием колодки снижает износ диска и в ходе приработки (в 11,4 раза), и на последующих этапах (в 9,0 раз) при относительно небольшом ускорении износа фосфатированной колодки в 1,3 и 2,0 раза соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Линник В.А., Онегина А.К., Андреев А.И. и др. // МиТОМ. 1983. № 4. С. 2 – 4.
2. Лещинский Л.К., Пирч И.И., Самотугин С.С. и др. // Черная металлургия: Бюллетень НТИ. 1988. № 16. С. 2 – 14.
3. Коротков В.А., Баскаков Л.В., Толстов И.А., Бердников А.А. // Сварочное производство. 1991. № 3. С. 31 – 33.
4. Коротков В.А. // Трение и износ. 2011. № 3. С. 23 – 29.
5. Коротков В.А. // Тяжелое машиностроение. 2012. № 1. С. 2 – 5.
6. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. Т. 1. / Под ред. Н.А. Ольшанского. – М.: Машиностроение, 1978. – 504 с.

© 2013 г. В.А. Коротков
Поступила 6 августа 2012 г.

УДК 621.778

Г.Н. Гурьянов, В.Н. Ярёмко

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОВОЛОЧНОЙ ЗАГОТОВКИ ВДОЛЬ РАБОЧЕГО КАНАЛА ВОЛОКИ

Аннотация. Показан характер распределения осевого, радиального напряжений и показателя напряженного состояния по В.Л. Колмогорову вдоль длины рабочего конуса и калибрующего пояска волокна при разных значениях коэффициентов внешнего трения, деформационного упрочнения металла и напряжения противонапряжения. Расчет прироста осевого напряжения в пояске выполнен по известной и предложенной формулам.

Ключевые слова: напряженное состояние, деформационное упрочнение металла, волочение проволоки.

CHANGE OF THE STRESSED STATE OF WIRE STOCK ALONG THE WIRE WORKING CHANNEL OF THE DRAWING DIE

Abstract. The distribution character of the axial stress and the value of the stressed state according to V.L. Kolmogorov along the length of a working cone and the parallel land at different coefficients values of an external friction, metal strain hardening and back pull stress are shown. The calculation of an axial stress in the parallel land is done in accordance with well-known formulas.

Keywords: stressed state, hardening of the metal, wire drawing.

При расчете напряженного состояния в рабочем конусе волокна используется усредненная величина предела текучести как средняя арифметическая его значений на входе σ_{T0} и выходе σ_{TK} очага пластической деформации. В этом случае принимается, что обрабатываемый металл проявляет свойства жесткопластического тела с пределом текучести $\sigma_T = (\sigma_{T0} + \sigma_{TK})/2$, а это снижает достоверность определения закономерностей распределения напряжений вдоль очага пластической деформации. Кроме того, при расчете конечного осевого напряжения

часто не учитывается его прирост в калибрующем пояске и на осуществление сдвиговой деформации металла на входе и выходе рабочего конуса. Расчет прироста осевого напряжения в пояске выполняется по полуэмпирическим формулам, не учитывающим напряженное состояние металла на входе пояска [1, 2].

Покажем характер изменения осевых, радиальных напряжений и показателя напряженного состояния вдоль длины рабочего конуса и калибрующего пояска при разных значениях основных параметров деформации. При