



The technological aspects of elevation of complex of the articles mechanical characteristics, including weld ones, of (α-β) titanium alloy BT23 in the process of thermal treating are examined. The problem of industrial use of half-finished products and products with wide palette of structures of plate type in strengthened state is studied due to investigation of advantages and deficiencies of each one.

В. Н. ФЕДУЛОВ, БНТУ

УДК 621.74

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СВОЙСТВ ПРИ ПРОМЫШЛЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДВУХФАЗНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Большое практическое значение имеет повышение конструктивных свойств изделий из (α+β)-титановых сплавов за счет совершенствования технологии термической обработки. Так, например, разработан новый режим отжига: нагрев 600–620°C (≠_н320–300 °C), 0,5–1,0 ч, охлаждение на воздухе, горячедеформированных полуфабрикатов из сплава BT23 (≠_н920 °C), обеспечивший устойчивость структуры при последующем нагреве до 500°C и позволивший обеспечить повышение ранее установленного гарантированного уровня прочности деталей на 50–150 МПа в зависимости от толщины конкретного полуфабриката, полученного посредством горячей деформации [1]. Ранее использовали режим: 700–750°C, 2 ч, охлаждение на воздухе.

Подробно изучали вопросы повышения уровня и стабильности механических свойств деталей из горячедеформированных плит сплава BT23 посредством упрочнения старением в интервале 400–450°C. На первом этапе был установлен оптимальный режим термической обработки: 430°C, 10 ч, для плит толщиной более 60 мм. С применением структурных исследований рассмотрены вопросы зависимости σ^{\wedge} , δ_{ψ} , KCU и МЦУ от толщины плиты и даны практические рекомендации по оптимизации свойств. Оценено влияние технологических параметров процесса старения: атмосфера в печи [2] и скорость охлаждения после старения [3] на уровень механических свойств, трещиностойкость и МЦУ образцов из плит сплава BT23. Старение при 430–450°C целесообразно проводить в воздушной печи вместо вакуумной, а -охлаждение выполнять ускоренно на воздухе и даже в воде, механическую обработку проводить после старения. При обеспечении достаточной прочности следует производить дополнительный (одно- или двукратный) нагрев заготовок до температур на 100°C выше температуры предыдущего старения с охлаждением в

воде, что особенно способствует выпячиванию трещиностойкости сплава [4]. Для выпячивания малоциклоной усталости готовых деталей, подвергавшихся кратковременному печному нагреву с последующим охлаждением на воздухе или в воде в окончательно обработанном виде, следует проводить пескоструйную обработку по известной технологии.

Перспективным явилось использование охлаждения при высокотемпературной термической обработке на воздухе и последующего старения для упрочнения заготовок из сплава BT23 сечением до 160 мм. Выбор температуры нагрева от 850 до 900°C и корректировка времени выдержки при этой температуре от 0,3 до 1,0 ч (вместо 750°C, 2 ч), охлаждение на воздухе и старение: 450–525°C, 6–10 ч, позволили значительно (на 50–100 МПа) повысить уровень упрочнения и весь комплекс механических свойств [5].

Исследовали кинетику процессов старения сплава BT23, закаленного с 850°C с различной интенсивностью: 0,3–28°C/с. Повышение скорости охлаждения способствует смещению процесса образования мелкодисперсной α-фазы при последующем старении в область более низких температур со сменой механизмов распада метастабильных фаз и характеризуется большей неоднородностью распада, повышением прочности и резким снижением пластичности. В связи с этим следует рекомендовать для промышленного производства скорость охлаждения изделий из сплава BT23 не выше 9°C/с [6]. Для случаев закалки с 850°C со скоростями 0,3, 1,0, 3,0, 4,0 и 7,0°C/с даны рекомендации по температурному и временному параметрам проведения процессов старения и определены предлагаемые уровни механических свойств [7, 8].

Весьма любопытно влияние технологических параметров термической обработки: температура «предварительного отжига» (860–1050°C), температура (760–850°C) и время (0,5–2,0 ч) нагрева под закалку, температура (450–600°C) старения, про-

ведение кратких нагревов (на 100—150°C выше температуры старения) на изменение пластичности, ударной вязкости, трещиностойкости (КСТ) и малоциклового усталости гладких образцов и образцов с острым надрезом при упрочнении на уровень аз<1225 МПа (125 кгс/мм²) заготовок плиты толщиной 100 мм из сплава ВТ23. В связи с этим исследованы положительные и отрицательные аспекты действия каждого из факторов на основные характеристики механических свойств и показано, как, варьируя технологическую схему термической обработки, можно достигать различных сочетаний конструктивных свойств изделий.

Аспекты повышения уровня и однородности механических свойств околошовной зоны сварных изделий до сих пор актуальны, например, для листов толщиной 3 мм сплава ВТ23 определены распределение температуры при удалении от места сварки, характер изменения формы и кристаллографической текстуры фаз и механических свойств при имитационном кратком нагреве образцов в интервале 700—1260°C в соляной ванне и последующем охлаждении на воздухе. Анализ изменений кристаллографической текстуры обеих фаз после нагрева служил средством определения и изучения процессов рекристаллизации, используя наличие определенного соответствия между исходной и конечной текстурами (3- и α-фаз при ориентированных прямых и обратных фазовых переходах, основанного на соотношениях Бюргера между их кристаллическими решетками. Подробно рассмотрены текстурно-фазовые переходы в сплаве ВТ23 и их влияние на механические свойства образцов. Рентгеноструктурное исследование наличия текстурно-фазовых переходов во всем сечении образцов служило критерием при определении того, полностью ли переходит сплав в р-состояние при нагреве или нет, что позволило установить фактическую температуру $T_{п.н.}$ В исходном состоянии сплав ВТ23 в листе представлял собой смесь двух фаз: α(глобули) и р. Первичная рекристаллизация при нагреве 700—900° С (ниже $T_{п.н.}$ = 920° С) значительно снижает прочность и повышает пластичность сплава ВТ23. Нагрев до 970°C и выше характеризуется сильными изменениями в структуре сплава, характерными для вторичной рекристаллизации: одновременная смена формы и текстуры фаз и изменение волокнистой р-зеренной структуры на полиэдрическую, что значительно повышает прочность сплава и резко снижает пластичность (особенно для нагрева при 1000°C и выше). Грубая р-превращенная структура характеризуется следующими механическими свойствами: σ_b = 1200 МПа, 5=8-9%, α = 27°, КСУ = 0,4 МДж/м², КСВ = 0,1 МДж/м² (1000°C); σ_b = 1300 МПа, 5=4,5%, α = 1Г, КСи = 0,25 МДж/м², КСУ = 0,1 МДж/м² (1100°C); σ_b = 1250 МПа, 5=4%, α = 1Г, КСУ = 0,22 МДж/м², КСУ = 0,1 МДж/м² (1260°C). Для сравнения — для исходного состояния σ_b = 1075 МПа, 5=13-15%, α = 48-52°, КСУ = 0,7 МДж/м²,

КСВ = 0,5 МДж/м²; для 900°C - σ_b = 980 МПа, 5=11%, α = 45°, КСи = 0,45 МДж/м², КСВ = 0,3 МДж/м²

Разработаны режимы термической обработки сварных соединений на уровне σ_b > 980 МПа, σ_b > 1080 МПа и α > 1180 МПа. Нагрев образцов (в исходном состоянии и подвергнутых предварительному имитационному нагреву при 200—1260°C) при температуре 650°C в течение 30 мин и последующее охлаждение на воздухе способствуют получению уровня прочности в интервале от σ_b = 980-1150 МПа [1]. Причем механические свойства металла образцов, подвергавшихся кратким нагревам в соляной ванне при температуре 1000°C и выше и имевшие в результате этого р-превращенную рекристаллизованную структуру, оказались высокими: σ_b = 1150 МПа, 5=10%, α = 32-35°, КСи = 0,30-0,45 МДж/м², КСВ = 0,20 МДж/м², а в исходном состоянии или нагрев до 900°C: σ_b = 980-1010 МПа, 5=14-16%, α = 50°, КСи = 0,80-0,95 МДж/м², КСВ = 0,60-0,70 МДж/м². Термическое упрочнение по режиму: нагрев до температуры 700°C и выдержка в течение 15 мин, охлаждение в воде и старение при температуре 450°C в течение 9 ч [9], позволило добиться упрочнения образцов на уровне σ_b = 1100-1160 МПа при значениях пластичности 5=10—13%, α = 35—45° и ударной вязкости КСУ = 0,37-0,60 МДж/м² КСВ = 0,22-0,35 МДж/м². При этом заметная разница (σ_b до 50 МПа) в прочности образцов, подвергавшихся краткому нагреву в соляных ваннах, по сравнению с образцами в исходном состоянии листа наблюдалась для случаев, когда температура имитационного кратковременного нагрева их была выше 1000°C. Эти же образцы имели более низкие характеристики пластичности и ударной вязкости. Для обеспечения уровня прочности σ_b > 1180 МПа образцы листов из сплава ВТ23 с исходной структурой и подвергнутых предварительному имитационному разогреву до 1260°C нагревали до температуры 850°C и охлаждали на воздухе, а затем старили: 450°C, 9 ч [10]. В результате этого получили уровень упрочнения в пределах σ_b = 1225-1310 МПа, однако пластичность металла, подвергавшегося ранее краткому нагреву в соляных ваннах при 1000°C и выше, составила всего 5=1—3%, α = 1Г, а ударная вязкость: КСи = 0,10 МДж/м², КСВ = 0,07 МДж/м² по сравнению с 5=5%, α = 25°, КСУ = 0,23 МДж/м² КСУ = 0,10 МДж/м² для образцов листа в исходном состоянии. В целях повышения пластичности образцы дополнительно нагревали до 550°C (\dot{U} = 50°C/мин), выдерживали 5 мин и охлаждали на воздухе. Получили прочность в пределах σ_b = 1180-1250 МПа, а пластичность повысилась до значений 5=6—7%, α = 35—40°, ударная вязкость до значений КСУ = 0,40-0,50 МДж/м² КСВ = 0,20-0,30 МДж/м². Причем наиболее существенно повышение пластичности и ударной вязкости наблюдали для образцов, подвергавшихся ранее краткому нагреву при 1000°C и выше.

