



The problems of thermal strengthening of forged pieces of (α + β)-titanium alloys depending on previous conditions of deformation and also on after-deformation annealing of castings are studied. The evaluation of mechanical characteristics of alloy BT23 in forged pieces of different thickness depending on location of zone by cut is given.

В. Н. ФЕДУЛОВ, БНТУ

УДК 621.74

ОБ ОЦЕНКЕ ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ЗАГОТОВОК ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ И СХЕМЫ ИХ КОВКИ

Рассмотрены вопросы термического упрочнения кованых заготовок и разработана методика, позволяющая производить оценку способности титанового сплава к упрочнению в результате высокотемпературной термомеханической обработки в зависимости от температуры и степени деформации (12–85%) при ковке и толщины поковки (20–160 мм). Клиновидные поковки из сплава BT23 получали ковкой за один раз с температуры 900, 1050 и 1150°C из заготовок плиты размером 130x200x200 мм на молотах с массой падающих частей 3000 кг (при деформации с 900°C) и 750 кг (с 1050 и 1150°C) осадкой и протяжкой. После деформации охлаждение поковок производили на воздухе: в сечении 20 мм $v^{\wedge}=0,7\text{—}1,0^{\circ}\text{C}/\text{с}$, в сечении 160 мм $v^{\wedge}=0,2\text{—}0,3^{\circ}\text{C}/\text{с}$. Затем исследовали структуру и определяли механические свойства ($\sigma_{\text{в}}$, $\sigma_{\text{с}}$, КСУ, КСТ) после деформации и дополнительного старения при температуре 450°C в течение 8 ч и малоцикловую усталость.

Увеличение степени деформации (скорость деформации $\dot{\epsilon}=\text{const}$ для двух первых случаевковки) при всех температурах нагрева при ковке и последующем охлаждении на воздухе способствует повышению значений $\sigma_{\text{в}}$ и небольшому снижению значений КСУ (для температур 900 и 1050°C) или сохранению их на примерно одинаковом уровне (1150°C) и снижению значений КСТ (для 1050 и 1150°C) или сохранению их на одном уровне (900°C) и во всех случаях повышению однородности свойств по сечению. При температурахковки 1050 и 1150°C при определенной степени деформации (60–75 и 45–75%) в результате протекания рекристаллизационных процессов происходит измельчение микрoзерна сплава BT23, имевшего в исходном состоянии крупнозернистую неоднородную микрoструктуру. Наиболее высокий уровень механических свойств был получен в результатековки с 1150°C со степенями

деформации 45–75%, что объясняется эффектом измельчения микрoзерна до $d \geq 250\text{—}400$ мкм сплава BT23 в поковке и разориентированным расположением более коротких пластин первичной α-фазы в р-превращенных зернах за счет более интенсивного проведения процесса деформации.

Определено влияние температурного интервалаковки с началом деформации из (α+P)- и р-области и условий охлаждения (воздух, воздух-вода, вода) после деформации на структуру и механические свойства поковок 100x200x300 мм из сплава BT23. Наиболее благоприятные условия для формирования высокого и однородного комплекса механических свойств по сечению поковок после термического упрочнения достигаются в результате ихковки в интервале 1150–900°C и последующего охлаждения на воздухе. Методика оценки способности к термическому упрочнению всего полуфабриката из титанового сплава состоит в сравнении механических свойств образцов, вырезанных из различных по сечению зон и прошедших затем термическую обработку в равных условиях. В связи с этим установлено, что при термическом упрочнении (760°C, 30 мин, вода + 450°C, 8 ч) в равных условиях образцы, вырезанные из поковок сплава BT23 по сечению, для всех случаевковки в наружных слоях обладают более высокой способностью к упрочнению по сравнению с серединой; $\sigma_{\text{в}}$ в наружных слоях выше, чем в середине на 30–50 МПа в зависимости от температурного интервала деформации. Этот эффект определяется более мелкозернистой микрoструктурой сплава BT23 в наружных слоях по сравнению с серединой, а также тем, что в наружных слоях внутризерненное строение сплава отличается большей разориентированностью α-пластин относительно друг друга и определяется схемой выполненияковки.

Исследовали процессы изменения структуры и свойств образцов поковок размерами

100x200x300 мм, полученных ранее ковкой с температуры 900, 950, 1050, 1150 и 1250°C, в результате проведения отжигов при температурах 860, 950 и 1050°C (время выдержки 1 ч, охлаждение с печью до 450°C, а далее на воздухе). Проведение предварительного отжига поковок послековки снижает способность к термическому упрочнению сплава VT23 по сравнению с горячедеформированным состоянием на 20-40, 30-50 и 40—60 МПа в зависимости от температуры предшествовавшей деформации: повышение температуры началаковки способствует большему снижению способности к термическому упрочнению. Проведение отжига при 860°C только увеличивает размеры элементов первичной α -фазы сплава VT23, при 950°C — ведет к небольшому увеличению размеров (β -зерен и α -оторочки и частичному изменению внутризеренного строения сплава VT23 (появление структуры «корзинчатого плетения»), а при 1050°C — к формированию структуры с (β -превращенными зернами правильной полиэдрической формы и наличием ярко выраженной α -оторочки и колониальному, вполне закономерному расположению длинных α -пластин в пределах β -зерен. Появление закономерностей в строении пластинчатой структуры сплава VT23 в результате проведения отжига по сравнению с горячедеформированным состоянием и дальнейшая эволюция этих закономерностей ведут к снижению значений σ_{β} , ψ , КСУ и КСТ при упрочнении на уровень выше 1080 МПа. Проведение отжигов поковок не способствовало заметному выравниванию значений механических свойств сплава VT23 по сечению при последующем равноценном термическом упрочнении; образцы, вырезанные из наружных слоев, по-прежнему имели более высокие значения. В результате проведения исследований получена

широкая гамма структур пластинчатого вида. Для всех случаев структуры определен полный комплекс механических свойств, что позволило рекомендовать их для изделий из сплава VT23, работающих в тех или иных условиях эксплуатации и нагружения и отличающихся уровнем требуемой прочности.

Таким образом, проведены систематизированные исследования по оценке способности кованных полуфабрикатов из (α + β)-титанового сплава VT23 к однородному упрочнению по сечению при последующей термической обработке в зависимости от условий деформации из (α + β)- и β -области: температурный интервалковки, степень деформации и интенсивность охлаждения послековки, и режимов последодеформационных (α + β)- и β -отжигов. Показано, что сплав в середине сечения поковок имеет менее выраженную по сравнению с наружными слоями способность к упрочнению при равных условиях термической обработки, связанную с особенностями строения структуры и сохраняющимися наследственностью после проведения отжига в течение 1 ч в (α + β)- или β -области. Установлена целесообразность окончательной деформации крупногабаритных и других кованных полуфабрикатов из β -области: 1150-900 °C, $\epsilon \geq 40\%$, охлаждение на воздухе, способствующей повышению однородности структуры по сечению, измельчению β -превращенного зерна, образованию внутризеренной морфологии с разориентированным (незакономерным) расположением α -пластин толщиной 0,5—2,5 мкм, не требующей проведения последодеформационного отжига и обеспечивающей при последующем термическом упрочнении выигрыш в пластичности, трещиностойкости и малоцикловой усталости по сравнению с ковкой с более низких температур.