

Технологические и эксплуатационные нагревы не приводят к ухудшению коррозионной стойкости сплавов АК6 и АК8. Защита от коррозии в зависимости от назначения деталей осуществляется анодно-окисными химическими и лакокрасочными покрытиями.

1.1.59. Пределы длительной прочности сплава АК6 Т1 (поковка размером 110×415×1120 мм, направление II)

| | | | |
|----------------------|-----|-----|-----|
| Температура, °С | 200 | 250 | 300 |
| σ_{100} , МПа | 135 | 60 | 30 |

Физические свойства. Плотность у сплавов АК6 (АК6ч) и АК8 составляет соответственно 2,75 г/см³ и 2,80 г/см³. Удельная электропроводность σ сплава АК6 (АК6ч) Т1 составляет 22,5 - 24,5 МСм/м.

Физические свойства сплавов приведены в табл. 1.1.60.

1.1.60. Физические свойства сплавов в состоянии Т1

| Характеристика | Температура, °С | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-------|-------|-------|------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| | 20 | 100 | 200 | 300 | 400 | 20 - 100 | 20 - 200 | 20 - 300 | 100 - 200 | 200 - 300 |
| Сплав АК8 | | | | | | | | | | |
| λ , Вт/(м·К) | 159 | 168 | 176 | 180 | 180 | - | - | - | - | - |
| c_p , кДж/(кг·К) | - | 0,838 | 0,880 | 0,964 | 1,09 | - | - | - | - | - |
| $\alpha \cdot 10^6$, 1/К | - | - | - | - | - | 22,5 | 23,6 | 24,5 | 24,7 | 26,3 |
| Сплав АК6 | | | | | | | | | | |
| λ , Вт/(м·К) | 176 | 180 | 184 | 184 | 189 | - | - | - | - | - |
| c_p , кДж/(кг·К) | - | 0,838 | 0,88 | 0,964 | 1,0 | - | - | - | - | - |
| $\alpha \cdot 10^6$, 1/К | - | - | - | - | - | 21,4 | 22,6 | 23,8 | 23,7 | 26,2 |

Для повышения коррозионной стойкости детали из сплавов АК6 и АК8 защищают анодированием и лакокрасочными покрытиями.

Применение. Сплавы АК6 и АК6ч используются для ответственных силовых деталей авиационной техники длительного ресурса, в частности в крыльях пассажирских самолетов.

Сплав АК6 благодаря высокой пластичности в горячем состоянии применяют для изготовления сложных штамповок: крыльча-

Технологические свойства. Сплавы АК6 и АК8 имеют высокие технологические свойства при непрерывном литье, горячей обработке давлением (свободной ковке, штамповке, прессовании). Сплавы хорошо деформируются в горячем и холодном состоянии. Температурный интервал горячей деформации составляет 420 - 470 °С.

Сплав АК6 может успешно деформироваться и в более высоком температурном интервале. Деформация сплава при 505 - 525 °С с неосредствленной закалкой в воде и последующее старение (высокотемпературная термомеханическая обработка) приводит к некоторому повышению прочности и ударной вязкости сплава. В микроструктуре наблюдаются фрагменты внутри зерен, а также уменьшается глубина ободка с рекристаллизованной структурой. Такая обработка является перспективным технологическим процессом.

Сплав АК8

Сплав АК6

ток компрессора, крыльчаток вентилятора для компрессоров реактивных двигателей, корпусных деталей агрегатов.

Сплав АК8 не нашел широкого применения в отечественном авиастроении, хотя его аналог - сплав 2014 - широко применяется за рубежом не только в виде штампованных, но и катаных и прессованных полуфабрикатов.

Сплавы системы Al - Cu - Mg - Si широко используются в строительстве, транспорте, электротехнике и других отраслях промышленности.

1.1.4. ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗРАСТАНИЯ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al - Cu - Mg

1.1.4.1. СПЛАВЫ ТИПА ДУРАЛЮМИН

К системе Al - Cu - Mg относятся сплавы типа Д16, Д1, являющиеся одними из основных конструктивных материалов в авиастроении. Из них изготавливают все виды полупроductов.

На базе самого распространенного сплава Д16 разработаны улучшенные модификации: с повышенной вязкостью разрушения - сплав Д16ч, а также выносливость - Д163.

Повышение ресурсных характеристик сплавов системы Al - Cu - Mg достигается уменьшением объемной доли частиц нерастворимых и растворимых избыточных фаз. Уменьшение количества частиц нерастворимых избыточных фаз путем ограничения примесей железа и кремния приводит, как правило, к повышению только вязкости разрушения. Наличие избыточных частиц растворимых фаз в сплавах после нагрева перед закаткой связано с тем, что содержание меди и магния превышает предельную растворимость элементов в твердом растворе или приближается к ней. Ограничением верхнего предела содержания легирующих элементов достигается снижение количества растворимых избыточных фаз и увеличение выносливости.

Сплав Д163 применяется в новом поколении самолетов длительного ресурса в элементах конструкций, критических по устойчивости, в частности для нижней обшивки крыльев, стрингеров и лонжеронов.

Сплавы системы Al - Cu - Mg уточняются при термической обработке, состоящей из закалки и старения - естественно (зонального) или искусственного (фазового). В (зонального) или искусственного (фазового). В Д16ч и Д163 применяются, как правило, в естественно состаренном состоянии Т. Температуры эксплуатации сплавов Д16, Д16ч, Д163 в естественно состаренном состоянии ограничена 80 °С из-за снижения коррозионной стойкости в случае нагрева при более высоких температурах.

Эти сплавы в искусственно состаренном состоянии Т1 имеют улучшенную коррозионную стойкость, которая не снижается при нагревах; более высокие прочностные свойства, особенно предел текучести; более низкие относительное удлинение, вязкость разрушения, выносливость, чем в естественно состаренном состоянии.

Частицы избыточных фаз оказывают еще более неблагоприятное влияние на вязкость и пластичность в искусственно состаренном состоянии. Поэтому в этом состоянии реко-

1163 для массивных полуфабрикатов. Сплав в искусственно состаренном состоянии Т0Т применяется в тех температурно-временных областях, где не рекомендуется применять сплавы в естественно состаренном состоянии при эксплуатации нагревах при температуре выше 80 °С или технологических нагрузках выше 125 °С, а также при повышенной опасности коррозии под напряжением. При изготовлении деталей из сплавов Д16ч и Д1 в искусственно состаренном состоянии необходимо выбирать конструктивные формы минимальной концентрации напряжений плавными переходами при изменении сечения детали и уменьшать эксцентриситет. Кроме того, ограничиваются допустимые формы при формообразовании и правке зависимости от состояния термообработки; также от величины зазора перед сборкой; рекомендуется ударная клетка.

Сплавы системы Al - Cu - Mg не входят по жаропрочности сплавы системы Al - Mg, Al - Mg - Si, Al - Zn - Mg - Cu.

Сплавы Д1, Д16 склонны к образованию кристаллизационных трещин и поэтому отливается в катодной несвариваемости сплава ВАД (свариваемым сплавом является сплав ВАД).

Механические свойства горячедеформированных термообработанных полуфабрикатов из сплавов типа дуралюмин сильно зависят степени рекристаллизации. Разность в прочности рекристаллизованного и не рекристаллизованного материалов достигает 200 МПа. Полуфабрикаты с не рекристаллизованной структурой по сравнению с рекристаллизованной при повышенных прочностных характеристиках в долевом направлении имеют преимущество по вязкости разрушения, но снижение уровня напряжения, сопротивляющегося коррозии под напряжением. Но обиднее более низким относительным удлинениям долевом направлении; вытравыш по прочным свойствам уменьшается у образцов отверстиями.

Листовой материал, изготовленный рачей и последующей холодной прокатке та же проволока и трубы, изготовленные логичной прокаткой и волочением, в данном состоянии имеют рекристаллизованную структуру. Профили и прутки, полученные горячим прессованием, после термической обработки могут иметь структуру от полностью не рекристаллизованной до полностью рекристаллизованной. Получение преимущественно не рекристаллизованной структуры в листах. Сохранение не рекристаллизованной структуры способствуют повышению пластичности и уменьшению степени горячий

времени выдержки при нагреве под закалку, увеличение содержания переходных элементов (Mn, Cr, Zr и др.), повышающих температуру рекристаллизации.

Химический состав сплавов типа дуралюмин приведен в табл. 1.1.61. Сплавы данной

0 - 1,0 Mn, до 0,7 Fe, до 0,7 Si.

Фазовый состав. В зависимости от содержания меди и магния сплавы растворяют в разных фазовых областях. Возможные соединения в этих сплавах приведены в табл. 1.1.62.

| Марка сплава | Конструкционные сплавы | | | | | | | | | |
|--------------|------------------------|----------|---------------|----|----|----|----|----|----|----|
| | российская буквенная | цифровая | международная | Cu | Mg | Mn | Zn | Fe | Si | Ni |

| Д11 | Д14 | Д16 | Д16ч | Д19 | Д19ч | ВАД-1 | ВД17 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| 1110 | - | 1160 | - | 1190 | - | 1191 | 1170 |
| 2017 | 2017А | 2024 | 2124 | - | - | - | - |
| 3,8 - 4,8 | 3,8 - 4,8 | 3,8 - 4,9 | 3,8 - 4,9 | 3,8 - 4,3 | 3,8 - 4,3 | 3,8 - 4,5 | 2,6 - 3,2 |
| 0,4 - 0,8 | 0,4 - 0,8 | 1,2 - 1,8 | 1,2 - 1,8 | 1,7 - 2,3 | 1,7 - 2,3 | 2,3 - 2,7 | 2,0 - 2,4 |
| 0,4 - 0,8 | 0,4 - 0,8 | 0,3 - 0,9 | 0,3 - 0,9 | 0,5 - 1,0 | 0,5 - 1,0 | 0,35 - 0,8 | 0,45 - 0,7 |
| 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 0,7 | 0,4 | 0,5 | 0,2 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,3 |
| 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | - | - | - | - |
| 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |

Закалочные сплавы

| Д19П | Д18 | В65 |
|-----------|-----------|------------|
| 1197 | 1180 | 1165 |
| - | - | - |
| 3,2 - 3,7 | 2,2 - 3,0 | 3,9 - 4,5 |
| 2,1 - 2,6 | 0,2 - 0,5 | 0,15 - 0,3 |
| 0,5 - 0,8 | 0,2 | 0,3 - 0,5 |
| 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 0,3 | 0,5 | 0,2 |
| 0,3 | 0,5 | 0,25 |
| - | - | 0,1 |
| 0,1 | 0,1 | 0,1 |

1.1.62. Фазовый состав сплавов типа дуралюмин

Соотношение и содержание элементов образующихся фазы

| Элемент | Cu | Mg | Fe | Mn |
|---|--|------------------------------------|----|----|
| Cu < 0,2 % | Cu > 2 % | Mg > 1/2 Si | | |
| в твердом растворе | Al ₂ , CuMgAl ₂ , или CuMg ₂ Al ₆ | | | |
| Fe >> Si | | Mn >> Fe | | |
| Cu ₂ FeAl ₃ , или (CuFe)Al ₆ | Cu ₂ Mn ₂₀ Al ₂₀ , или (CuFeMn)Al ₆ | | | |
| Mg < 0,2 % | Si << 0,6 Mg | Cu < Mg | | |
| в твердом растворе | CuMgAl ₂ , CuMg ₂ Al ₆ | | | |
| Fe >> Si | | Mn > 0,1 % | | |
| Cu ₂ FeAl ₃ , или (CuFe)Al ₆ | (CuFeMn)Al ₆ , или (CuFeMn) ₃ Si ₂ Al ₁₅ | | | |
| Si < Fe, Mg > Si | Mn > 0,1 % | | | |
| Mg ₃ Si | (CuFeMn) ₃ Si ₂ Al ₁₅ | | | |
| Mn < 0,2 % | Fe > Si | FeSi << Mn | | |
| в твердом растворе | (FeMn)Al ₆ | Cu ₂ MnAl ₂₀ | | |

Соединения легирующей добавки, которые содержатся в сплавах, в том числе элементов: медь, магний, кремний, и нерастворимые в составе которых входит, по крайней мере, один из более или менее нерастворимых элементов: железо, марганец, никель и т.д.

Тип образующихся растворимых соединений зависит не только от содержания в сплаве растворимых элементов, но и от их соотношения. Концентрация полезной меди зависит от содержания железа, марганца и никеля; медь, вступившая в соединения с ними, не оказывает положительного влияния.

При содержании Si > 2 % образуется фаза Cu₂Al₃, если при этом содержание Mg > 1/2 Si, то появляется фаза SiMgAl₂ или CuMgAl₂. Если содержание Fe ≥ Si, образуются фазы Cu₂FeAl₃ или (CuFe)Al₆. Как правило, в сплавах типа дуралюмин содержание Fe > Si в 1,1 - 1,5 раза, а Mn > 0,1 %, в таких сплавах образуется фаза (CuFeMn)₃Si₂Al₁₅. Если содержание Mn >> Si (Fe + Si), образуется фаза Cu₂Mn₂₀Al₂₀, которая выделяется в виде дисперсных частиц размером 0,02 - 0,5 мкм.

По данным локального рентгеноспектрального анализа, в сплаве Д16 среднего химического состава в литом состоянии имеются следующие включения: CuMgAl₂, (CuFeMn)Al₆, (CuFeMn)₃Si₂Al₁₅. В сплаве Д11 частицы скелетообразного строения содержат Fe, Mn, Si, Cu, Al.

Основным упрочнителем при старении сплавов с соотношением концентраций Cu : Mg, равным 8 : 1, служит фаза CuAl₂, а при старении сплавов с соотношением этих концентраций 8 : 1 до 4 : 1 - два соединения CuAl₂ и CuMgAl₂. При изменении соотношения от 4 : 1 до 1,5 : 1 свойства сплавов определяются фазой CuMgAl₂.

Закономерности изменения свойств в системе Al - Cu - Mg с повышением содержания Cu и Mg прочностные свойства сплавов в закаленном и естественно состаренном состоянии возрастают. Максимальные значения прочности соответствуют сплавам с 3,7 - 4,0 % Cu и 1,5 - 2,0 % Mg (рис. 1.1.14, 1.1.15). При содержании меди 3,8 % и 4,8 % достигается практически одинаковый уровень максимальных прочностных свойств при содержании магния соответственно 1,5 и 1,0 %.

Прочностные свойства пресованных прутков сильно возрастают с увеличением содержания марганца до 0,9 % (рис. 1.1.15). При содержании меди ниже 3,8 % и магния примерно 1,5 % происходит уменьшение прочности из-за неполной реализации эффекта упрочнения при термообработке, так как максимальная суммарная растворимость меди и магния при 500 °С выше и составляет около 5,7 %.

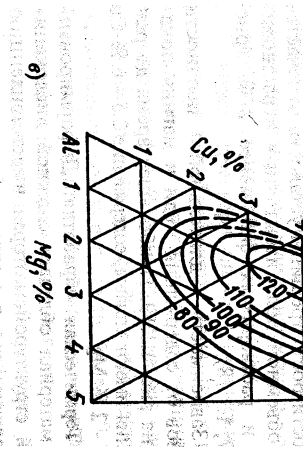
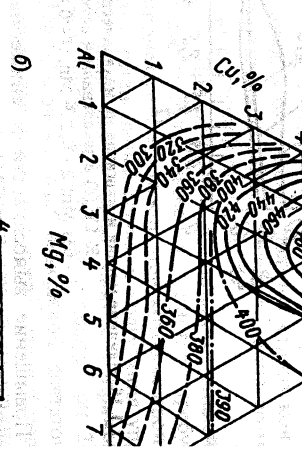
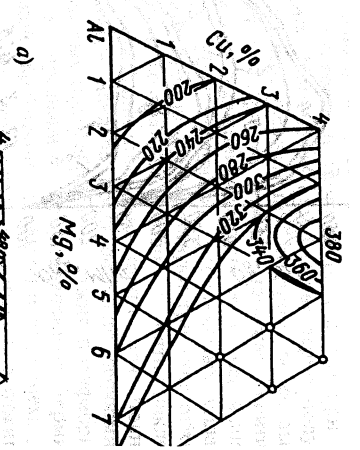


Рис. 1.1.14. Кривые равной прочности (цифры на значениях $\sigma_{0.2}$ в МПа) сплавов системы Al - Cu

Расположение промышленных с относительно кривой максимальной прочности показано на рис. 1.1.16. При кривой легирующих элементов, близкой кривой максимальной растворимости, содержит меньше частиц растворимых точечных фаз.

Количество нерастворимых избыточных частиц определяется содержанием при Fe и Si в сплаве Д16ч соответственно до 0,2 % приваго к повышению вязкости на 15 - 20 % по сравнению с вом Д16, содержащим до 0,5 % Fe и 0,;

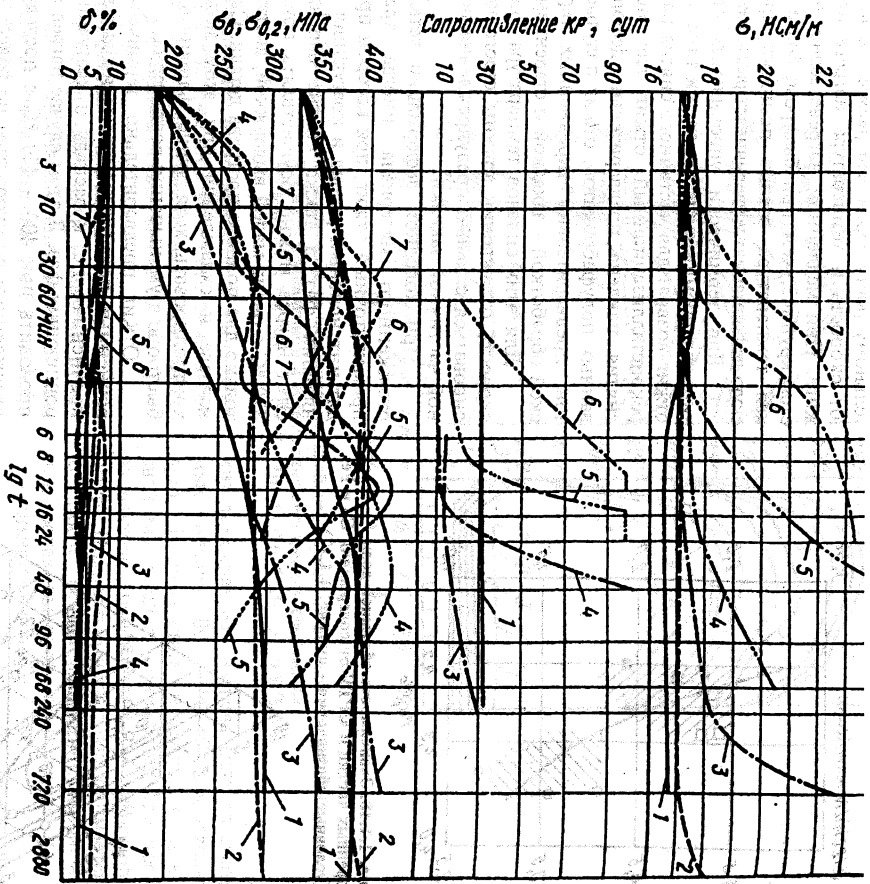


Рис. 1.120. Изменение механических свойств, электропроводности и сопротивления КР при старении прутков из сплава Д16 (поперечные образцы с нераскисляющей структурой). Температура старения, °С: 1 - 20; 2 - 100; 3 - 150; 4 - 175; 5 - 190; 6 - 205; 7 - 220

Сплавы системы Al - Cu - Mg упрочняются термической обработкой - закалкой и старением. Температура нагрева под закалку на 3 - 8 °С ниже температуры плавления эвтектики, поэтому необходимо очень тщательно контролировать равномерность температуры во всем нагреваемом пространстве. Продолжительность выдержки при температуре закалки зависит от химического состава сплава, типа полуфабриката и толщины сечения.

При охлаждении крупногабаритных полуфабрикатов из сплавов Д16, Д16ч, 1163 толщиной более 30 мм и деталей сложной конфигурации, а также при наличии крупнокристаллического обода температуру воды при закалке следует поддерживать в интервале 25 - 40 °С. Нижний предел обусловлен необходимостью предотвращения появления закалочных трещин и уменьшения коробления. Верхний предел температуры закалочной во-

ды связан с необходимостью предотвращения снижения коррозионной стойкости.

С целью уменьшения остаточных напряжений после закалки полуфабрикаты подвергают правке растяжением с остаточной деформацией 1 - 3 %, которая обеспечивает также повышение прочностных характеристик, особенно предела текучести.

С увеличением легированности твердого раствора, а также с повышением температуры старения после закалки скорость упрочнения, обусловленная образованием зон Гинье - Престона, возрастает. В интервале температур от -10 до 25 °С скорость старения увеличивается в два раза при повышении температуры на 5 °С.

Изменение комплекса свойств сплава Д16 при старении исследовано в интервале температур 20 - 220 °С (указано на кривых) и выдержек до 3000 ч (рис. 1.120).

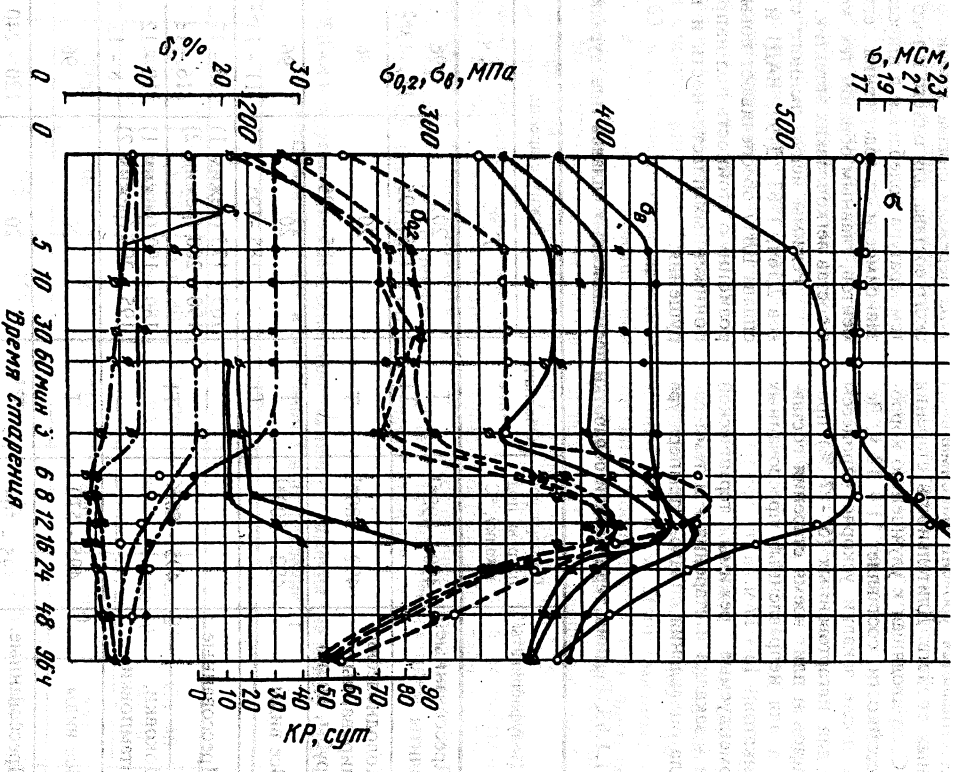


Рис. 1.121. Кинетика старения прутков диаметром 140 мм из сплава Д16 при 190 °С

При температурах старения 20 - 100 °С отмечается интенсивное первоначальное упрочнение (при 20 °С после инкубационного периода), а затем стабилизации прочностных свойств на определенном уровне. Относительное удлинение не изменяется, удельная электрическая проводимость вначале снижается, а затем остается без изменения (при 100 °С в течение 720 ч). В интервале температур 150 - 220 °С прочностные свойства повышаются, достигают максимума, затем упрочнение замедляется, после чего прочностные свойства (особенно предел текучести) вновь повышаются, достигая второго максимума. При переходе ко второму максимуму относительное удлинение существенно понижается, а электропроводность возрастает.

Наиболее чувствительна к началу озонования при старении частиц метастабильных фаз коррозионная стойкость: она понижается хотя механические свойства еще не меняются. Повышение сопротивления коррозии достигается при максимальном уровне текучести и некотором переходе к структуре наблюдаются равномерный распад по границам и внутри зерен, интенсивно выделяются метастабильные и стабильные типы фазы S (Cu₂MeAl₂), уменьшается разность потенциалов между границей и зерном. Наиболее оптимальная температура зового старения 190 °С (рис. 1.121). При более низких температурах старения требук

Высоких - снижается уровень максимальных прочностных свойств. Длительность старения при 190 °С, приводящая к уменьшению коррозионной стойкости, составляет 11 - 13 ч. Деформация после закалки ускоряет процессы старения: для направленных (5 - 7 %) прокаткой листов и плит время старения составляет 9 ч, а для ненаправленных прессованных полуфабрикатов - 15 - 17 ч.

Рекомендуемые режимы термической обработки - закалки и старения - и температура начала оплавления сплавов (температура

1.1.63. Режимы термической обработки промышленных сплавов типа дуралюмины

| Сплав | Полуфабрикаты | Температура нагрева под закалку, °С | Обозначение | Режим старения | | Температура начала оплавления, °С |
|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------|---------------------|-----------|-----------------------------------|
| | | | | T, °С | t, ч | |
| Д16, | Прессованные, плиты | 490 - 498*1 | Т1 | 20 | 96 | 503 |
| | | | | 185 - 195 | 11 - 13*2 | |
| Д16ч | Холоднодеформированные трубы, листы | 492 - 500*1 | Т | 20 | 96 | 505 |
| 1163 | Все виды | 492 - 500*1 | Т1 | 185 - 195 | 11 - 13*2 | |
| ВД17 | Прессованные, Поковки, штамповки | 495 - 505 | Т1 | 165 - 175 (режим 1) | 15 - 17 | 510 |
| | | | | 190 - 200 (режим 2) | 16 - 18 | |
| Д11, | Все виды | 495 - 510 | Т | 20 | 96 | 514 |
| | | | | 185 - 195 | 10 - 12 | |
| Д19, | Прессованные, плиты | 495 - 505 | Т1 | 185 - 195 | 12 - 14 | 510 |
| | | | | 20 | 120 - 240 | |
| Д19ч | Холоднодеформированные трубы, листы | 500 - 508 | Т1 | 185 - 195 | 12 - 14 | 510 |
| | | | | 20 | 120 - 240 | |
| ВАД1 | Все виды | 498 - 508 | Т1 | 185 - 195 | 12 - 14 | 511 |
| | | | | 20 | 120 - 240 | |
| Д18 | Проволока, заклепки | 495 - 505 | Т | 20 | 96 | 560 |
| | | | | 20 | 40 | |
| В65 | Проволока, заклепки | 520 - 530 | Т | 20 | 40 | 550 |
| | | | | 20*3 | 240 | |
| Д19П | Проволока, заклепки | 502 - 508 | Т | 20*3 | 240 | 512 |

*1 Допускается повышение верхнего предела температуры нагрева под закалку до 503 °С при содержании легирующих элементов, близком к нижнему пределу.

*2 Для ненаправленных прессованных полуфабрикатов 15 - 17 ч.

*3 Заклепки из сплава Д19П контролируют на срез после старения при 100 °С в течение 3 ч.

Гарантируемые свойства плит приведены в табл. 1.1.64, 1.1.65.

По стандартам для плит предусматривается правка растяжением после закалки, релаксационное содержание водорода и коллицирование дефектов при ультразвуковом контроле. Для плит из сплава Д16ч допустимое содержание водорода составляет 0,4 см³ на 100 г металла, а для плит из сплава Д163 - 0,25 см³ на 100 г металла. Гарантируемые механические свойства длинномерных (до 25 м) плит из сплава Д163 в естественно состаренном состоянии Т, в том числе повышенной прочности из сплава Д163 в состоянии Т7, даны в табл. 1.1.66, а плит из сплава Д163 в искусственно состаренном состоянии Т1 толщиной до 90 мм в табл. 1.1.67.

Гарантируемые механические свойства листов приведены в табл. 1.1.68 - 1.1.70. Листы из сплавов Д16 и Д163 поставляются с нормальной (А), утолщенной (У) и технологической (Б) плакировкой. Из сплава Д163 из-

(РД), которые имеют тот же уровень гарантированных механических свойств, но более высокую выносливость в условиях ustalостных нагрузок.

Гарантируемые свойства прессованных полуфабрикатов, штамповок и поволоков приведены в табл. 1.1.71 - 1.1.75.

Профили из сплавов Д16, Д16ч, Д163, Д163 ПП в состоянии Т (см. табл. 1.1.74) поставляют площадью сечения до 200 см² с диаметром описанной окружности до 350 мм и длиной до 10 м. Длинномерные (до 26 м) профили поставляют с площадью сечения до 370 см², при этом длинномерные профили из сплава Д163 - с площадью до 60 см² для струнтеров (см. табл. 1.1.75).

Массивные профили из сплавов Д16ч-Т1 и Д163Т1 поставляют в искусственно состаренном состоянии (см. табл. 1.1.75). Прессованные профили и панели подвергают правке растяжением с остаточной деформацией 1,5 - 3 %.

1.1.64. Гарантируемые механические свойства при растяжении (не менее) плит из сплавов Д11 и Д16 в состоянии Т в направлении II

| Характеристика | Д11 | | | | Д16 | | | |
|------------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | От 11 до 25 | Св. 25 до 40 | Св. 40 до 70 | От 11 до 25 | Св. 25 до 40 | Св. 40 до 70 | Св. 70 до 80 | Св. 70 до 80 |
| Толщина, мм | От 11 до 25 | Св. 25 до 40 | Св. 40 до 70 | От 11 до 25 | Св. 25 до 40 | Св. 40 до 70 | Св. 70 до 80 | Св. 70 до 80 |
| σ _в , МПа | 375 | 365 | 345 | 420 | 390 | 375 | 345 | 345 |
| σ _{0,2} , МПа | 215 | 215 | 198 | 198 | 275 | 255 | 245 | 245 |
| δ, % | 11 | 8 | 6 | 5 | 7 | 5 | 4 | 3 |

1.1.65. Гарантируемые механические свойства при растяжении (не менее) плит из сплавов Д16ч и Д163 в направлении II

| Характеристика | Толщина, мм | | | | |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | От 11 до 25 | От 26 до 40 | От 41 до 50 | От 51 до 60 | От 11 до 25 |
| Состояние | Т | | | | |
| σ _в , МПа | 430 | 420 | 420 | 410 | 455 |
| σ _{0,2} , МПа | 295 | 285 | 285 | 285 | 405 |
| δ, % | 8 | 7 | 6 | 4 | 5 |

1.1.66. Гарантируемые механические свойства при растяжении (не менее) плит из сплава 1163

| Характеристика | Толщина, мм | | | | | |
|------------------------------|-------------|-----|---------|-----|---------|-----|
| | 20 - 25 | | 26 - 40 | | 20 - 25 | |
| Достояние | Т | | | | | |
| Направление вырежки образцов | Д | П | Д | П | Д | П |
| $\sigma_{в}$, МПа | 430 | 430 | 440 | 420 | 450 | 430 |
| $\sigma_{0,2}$, МПа | 295 | 295 | 315 | 285 | 330 | 295 |
| δ , % | 12 | 10 | 12 | 10 | 12 | 10 |

1.1.67. Гарантируемые механические свойства при растяжении (не менее) плит из сплава 1163 в состоянии Т1

| Характеристика | Толщина, мм | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------|-----|-----|--------------|-----|-----|--------------|-----|-----|--------------|---|---|
| | От 25 до 39 | | | Св. 39 до 49 | | | Св. 49 до 69 | | | Св. 69 до 90 | | |
| Направление вырежки образцов | П | Д | В | Д | П | В | Д | П | В | Д | П | В |
| $\sigma_{в}$, МПа | 450 | 450 | 426 | 440 | 430 | 400 | 440 | 436 | 391 | | | |
| $\sigma_{0,2}$, МПа | 392 | 392 | 378 | 382 | 382 | 361 | 372 | 372 | 361 | | | |
| δ , % | 5 | 6 | 2,5 | 6 | 5 | 2 | 5 | 4 | 2 | | | |

1.1.68. Гарантируемые механические свойства при растяжении (не менее) плакированных листов (А)* из сплава Д1 в направлении П

| Характеристика | Толщина, мм | | | | |
|----------------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|-----------------|
| | От 0,3 до 0,4 | Св. 0,4 до 1,9 | Св. 1,9 до 10,5 | От 0,5 до 1,9 | Св. 1,9 до 10,5 |
| Состояние | М | | | | |
| $\sigma_{в}$, МПа | ≤ 250 | 145 - 225 | 145 - 235 | 365 | 370 |
| $\sigma_{0,2}$, МПа | - | - | - | 185 | 195 |
| δ , % | 12 | 12 | 12 | 15 | 15 |

1.1.69. Гарантируемые механические свойства при растяжении*1 (не менее) плакированных листов (А) из сплавов Д16, Д16ч в направлении П

| Характеристика | Толщина, мм | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|--------------|-------------|--------------|
| | От 0,3 до 0,4 | Св. 0,4 до 1,9 | Св. 1,9 до 4,0 | От 0,3 до 0,4 | Св. 0,4 до 1,9 | Св. 1,9 до 6 | Св. 6 до 10,5 | От 1,5 до 1,9 | Св. 1,9 до 7,5 | От 0,5 до 0,7 | Св. 0,7 до 1,9 | Св. 1,9 до 6 | От 1,5 до 6 | Св. 1,9 до 6 |
| Состояние | М | | | Т | | | ТН | | Т1*2 | | | ТН*3 | | |
| $\sigma_{в}$, МПа | ≤ 245 | 145 - 225 | 145 - 235 | 400 - (390) | 405 (390) | 425 (410) | 425 (410) | 425 | 455 | 390 (370) | 425 (410) | 445 (425) | 450 | 480 |
| $\sigma_{0,2}$, МПа | - | - | - | 265 (245) | 270 (255) | 275 (265) | 275 (265) | 335 | 345 | 345 (305) | 370 (325) | 380 (340) | 420 | 450 |
| δ , % | 10 | 10 | 10 | 13 (13) | 13 (15) | 11 (12) | 10 (12) | 10 | 8 | 5(6) | 5(6) | 5(6) | 3 | 4 |

*1 В скобках - свойства для листов, подвергающихся закалке и старению из отожженного состояния или перезакалке и старению на заводе-потребителе.

*2 Искусственное старение из состояния Т.

*3 Искусственное старение из состояния ТН.

1.1.70. Гарантируемые механические свойства при растяжении*1 (не менее) плакированных листов из сплавов Д16, Д16ч в поперечном направлении

| Характеристика | Плакировка | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|-------------|---------------|---------------|--------------|---------------|-------------|--------------|--|
| | У*3 | | | | | | | Б*4 | | | | | | | | |
| Толщина, мм | От 0,3 до 0,4 | Св. 0,4 до 1,9 | Св. 1,9 до 4,0 | От 0,3 до 0,4 | От 0,5 до 1,9 | Св. 1,9 до 4,0 | От 0,5 до 1,9 | Св. 1,9 до 4,0 | От 0,5 до 3 | Св. 3 до 10,5 | От 0,5 до 1,5 | Св. 1,5 до 6 | Св. 6 до 10,5 | От 1,5 до 3 | Св. 3 до 7,5 | |
| Состояние | М | | | Т | | | | Т1*2 | | М | | Т | | | ТН | |
| $\sigma_{в}$, МПа | ≤ 245 | 125 - 225 | 125 - 235 | 365 (350) | 365 (350) | 405 (390) | 365 (350) | 405 (390) | 145 - 235 | 145 - 235 | 440 (425) | 440 (425) | 440 (425) | 475 | 475 | |
| $\sigma_{0,2}$, МПа | - | - | - | 230 (220) | 230 (220) | 270 (255) | 295 (275) | 315 (295) | - | - | 290 (175) | 290 (275) | 290 (275) | 360 | 360 | |
| δ , % | 10 | 10 | 10 | 13 (13) | 13 (13) | 13 (13) | 5 (8) | 5 (6) | 12 (10) | 11 (10) | 13 (13) | 11 (11) | 10 (10) | 10 | 8 | |

*1 В скобках - свойства для листов, подвергающихся закалке и старению из отожженного состояния или перезакалке и старению на заводе-потребителе.

*2 Искусственное старение из состояния Т.

*3 У - утолщенная плакировка: 8,0 - 11,0 % при толщине листа 0,5 - 1,9 мм; 4,0 - 7,0 % при толщине листа 2,0 - 4,0 мм.

*4 Б - технологическая плакировка - не более 1,5 % по толщине листа 0,5 - св. 10,0 мм.

1.1.71. Гарантируемые механические свойства при растяжении (не менее) прессованных полуфабрикатов из сплавов Д1, Д1ч в направлении Д

| Характеристика | Профиль | | | | Трубок | | | |
|----------------------|--------------|---------|------------------|---------------|----------------|--------------|--------------|--------------------------------------|
| | Все значения | До 10,0 | Св. 10,0 до 20,0 | От 5,0 до 130 | Св. 130 до 300 | От 55 до 300 | От 55 до 250 | |
| Толщина, мм | | | | | | | | |
| Состояние | М | | | | | Т | | Т (с рекристаллизованной прочностью) |
| σ_b , МПа | ≤ 245 | 335 | 335 | 370 | 370 | 355 | 420 | 370 |
| $\sigma_{0,2}$, МПа | - | 120 | 215 | 205 | 225 | 215 | 195 | 215 |
| δ_5 , % | - | - | - | 12 | 12 | 10 | 10 | 14 |
| δ_{10} , % | 12 | 12 | 12 | - | - | - | - | - |

1.1.72. Гарантируемые механические свойства при растяжении (не менее) труб и кованных полуфабрикатов из сплавов Д1, Д1ч

| Характеристика | Труба прессованная | | | Штамповка | | | Покровка | | | Листы штампованные |
|------------------------------|--------------------|-------|--------------|-----------|--------|--------|----------|--------|--------|--------------------|
| | До 70 | До 22 | Св. 22 до 50 | До 200 | До 700 | До 200 | До 700 | До 200 | До 700 | |
| Толщина, мм | | | | | | | | | | |
| Масса, кг | | | | | | | | | | |
| Состояние | М | | | Т | | Т | | Т | | |
| Направление вырезки образцов | | П | | Д | П | В | Д | П | В | Д |
| σ_b , МПа | ≤ 245 | 380 | 400 | 400 | 370 | 355 | 325 | 355 | 335 | 315 |
| $\sigma_{0,2}$, МПа | - | 205 | 235 | 235 | 195 | 175 | - | - | - | 245 |
| δ_5 , % | - | - | - | - | 12 | 6 | 5 | 10 | 5 | 4 |
| δ_{10} , % | 10 | 13 | 12 | 11 | - | - | - | - | - | - |

1.1.73. Гарантируемые механические свойства при растяжении (не менее) прессованных прутков из сплавов Д1, Д1бч в направлении Д

| Характеристика | Толщина, мм | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------|---------------|----------------|----------------|-------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|
| | От 5 до 22 | Св. 22 до 130 | Св. 130 до 300 | Св. 300 до 400 | От 10 до 22 | Св. 22 до 28 | Св. 28 до 54 | Св. 54 до 150 | Св. 150 до 250 | Св. 250 до 300 |
| Состояние | Т | | | | | | | | | |
| σ_b , МПа | 390 | 420 | 410 | 390 | 415 | 455 | 470 | 470 | 460 | 450 |
| $\sigma_{0,2}$, МПа | 275 | 295 | 275 | 245 | 305 | 315 | 325 | 345 | 335 | 325 |
| δ , % | 10 | 10 | 8 | 6 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

1.1.74. Гарантируемые механические свойства при растяжении (не менее) прессованных профилей из сплавов Д16, Д16ч, 1163

| Характеристика | Толщина, мм | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------|-----------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|-----------|-------------|--------------|--------------|------|-----|
| | Все размеры | До 2 | Св. 2 до 5 | Св. 5 до 10 | Св. 10 до 20 | Св. 20 до 40 | Св. 40 до 80 | Св. 80 до 150 | Все размеры | От 2 до 5 | Св. 5 до 10 | Св. 10 до 20 | Св. 20 до 40 | До 5 | |
| Состояние | М | Т | | | | | | | ТПП*3 | | | | | | |
| Направление вырезки образцов | | Д | | | | | | | П | В | Д | | | | |
| σ_b^{*1} , МПа | ≤ 245 | 400 (390) | 410 (390) | 420 (410) | 430 (410) | 450 (420) | 480 (460) | 450 (420) | 390 | 345 | 470 | 470 | 480 | 490 | 440 |
| $\sigma_{0,2}^{*1}$, МПа | - | 305 (255) | 315 (255) | 325 (275) | 335 (285) | 335 (295) | 355 (335) | 335 (295) | 285 | 285 | 345 | 355 | 365 | 365 | 380 |
| δ^{*1} , % | 12 | 10 (10) | 10 (10) | 10 (10) | 10 (10) | 10 (10) | 10 (10) | 10 (10) | 6 | 4 | 8*2 | 8*2 | 8*2 | 8*2 | 4 |

*1 В скобках указаны свойства для профилей, закаленных и состаренных из отожженного состояния.
 *2 Для сплава 1163 $\delta \geq 10$ %.
 *3 Повышенная прочность.

1.1.75. Гарантируемые механические свойства при растяжении (не менее) длинномерных прессованных полуфабрикатов из сплавов Д16ч, 1163

| Характеристика | Профиль | | | | | | | | | | | Панель | | | | | |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|----------|-------------|------------------|---------------------------|-----|-----|-----|---|
| | До 370 см ² | До 60 см ² | | | | Св. 10 до 20 мм | Св. 20 до 40 мм | Св. 40 до 80 мм | Св. 80 мм | До 40 мм | Все размеры | Св. 5,0 до 80 мм | Ширина полотна до 1000 мм | | | | |
| Состояние | Т | Т | | | | ТПП | | Т | | | | | Т1 | | Т | | |
| Направление вырезки образцов | Д | П | Д | П | Д | П | Д | | | | | П | В | Д | П | Д | П |
| σ_b , МПа | 450 | 420 | 450 | 420 | 490 | 420 | 430 | 450 | 480 | 450 | 410 | 345 | 450 | 435 | 460 | 430 | |
| $\sigma_{0,2}$, МПа | 335 | 315 | 335 | 315 | 365 | 315 | 335 | 335 | 355 | 335 | 295 | 295 | 390 | 375 | 335 | 315 | |

Типичные механические свойства. Свойства полуфабрикатов при растяжении при низких и высоких температурах приведены в табл. 1.1.76 - 1.1.78, при растяжении, сжатии и сгибании - в табл. 1.1.79, при кручении и изгибе - в табл. 1.1.80. Чувствительность к концентраторам напряжений приведена в табл. 1.81. Данные по малополиковой упругости и жесткости приведены в табл. 1.1.82. Характеристики деформации и скорость роста трещины упругости приведены в табл. 1.1.83 - 1.86, длительной прочности и ползучести - табл. 1.1.87.

Коррозионные свойства. Неплакированные полуфабрикаты из сплавов системы Al - Mg обладают пониженной коррозионной стойкостью. Сопротивление коррозионной коррозии, межкристаллитной и расщепляющей коррозии зависит от скорости охлаждения при закалке, вида и толщины олюфабриката.

Детали из сплавов типа Д16 толщиной 0,8 мм, закаленные со скоростью не ниже критической, не склонны к коррозионному растрескиванию и межкристаллитной коррозии, но могут обладать склонностью к растрескиванию при коррозии.

Критические напряжения при испытании на коррозионное растрескивание для полуфабрикатов толщиной более 10 мм приведены в табл. 1.1.88.

Эксплуатационные нагрузки при температуре выше 80 °С естественно составных сплавов типа Д16 и технологические нагрузки при температуре выше 125 °С продолжительностью более 2 ч вызывали склонность к коррозионному растрескиванию, межкристаллитной коррозии и повышали склонность к расщепляющей коррозии.

В искусственно состаренном состоянии сплавы системы Al - Cu - Mg имеют повышенное сопротивление коррозионному растрескиванию и расщепляющей коррозии.

Плакированные листы обладают повышенной коррозионной стойкостью. Листы толщиной менее 1 мм имеют пониженную коррозионную стойкость (из-за диффузии меди из сердцевин в плакировку). Для повышения коррозионной стойкости листов толщиной менее 0,8 мм рекомендуется применять утолщенную плакировку.

Защита от коррозии осуществляется анодно-окисными, химическими и лакокрасочными покрытиями.

1.1.76. Механические свойства полуфабрикатов при 20 °С и низких температурах

| Характеристика | Лист плакированный (А) из сплава Д16, Д16ч | | | | | | | | | | Плита катаная из сплава 1163 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | До 2 | | | | | | | | | | 45 - 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Толщина, мм | Т | | | | | Т1 | | | | | Т | | | | Т1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Состояние | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Направление вырезки образцов | П | | | | | | | | Д | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Температура испытания, °С | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ _в , МПа | 430 | 460 | 580 | 690 | 450 | 490 | 560 | 450 | 500 | 610 | 450 | 470 | 470 | 510 | 520 | 430 | 460 | 580 | 690 | 450 | 490 | 560 | 450 | 500 | 610 | 450 | 470 | 470 | 510 | 520 |
| σ _{0,2} , МПа | 345 | 365 | 460 | 510 | 410 | 450 | 510 | 355 | 365 | 480 | 325 | 345 | 410 | 440 | 450 | 345 | 365 | 460 | 510 | 410 | 450 | 510 | 355 | 365 | 480 | 325 | 345 | 410 | 440 | 450 |
| δ ₅ , % | 17 | 19 | 24 | 16 | 6 | 6 | 8 | 13 | 16 | 20 | 18 | 18 | 7 | 9 | 8 | 17 | 19 | 24 | 16 | 6 | 6 | 8 | 13 | 16 | 20 | 18 | 18 | 7 | 9 | 8 |

1.1.77. Механические свойства плит из сплава 1163 в состоянии Т1 толщиной 40 - 85 мм при 20 °С, низких и высоких температурах

| Характеристика | Температура, °С | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------|---------|-----------|--------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| | -70 | | -130 | | 20 | | 125 | | 150 | | 175 | | 200 | | | |
| Направление вырезки образцов | Д | | П | | Д | | П | | Д | | П | | Д | | П | |
| | E, ГПа | - | | - | | 72 | | - | | 67 | | 65 | | 63 | | - |
| σ _{пл} , МПа | - | | - | | 305 - 345 | | - | | 285 - 355 | | 275 - 295 | | 265 - 285 | | - | |
| σ _{0,2} , МПа | 410 - 470 | | 430 - 470 | | 380 - 420 | | 370 - 400 | | 335 - 380 | | 315 - 335 | | 315 - 335 | | 285 - 305 | |
| σ _в , МПа | 480 - 540 | | 490 - 540 | | 450 - 480 | | 430 - 450 | | 390 - 420 | | 370 - 400 | | 345 - 380 | | 305 - 355 | |
| δ ₅ , % | 8 - 10 | 6 - 8 | 8 - 9 | 5 - 7 | 5 - 10 | 5 - 9 | 2,5 - 5 | 6 - 13 | 9 - 13 | 10 - 17 | 10 - 14 | 10 - 14 | 10 - 14 | 10 - 14 | 10 - 14 | 10 - 14 |
| ψ, % | 23 - 30 | 10 - 14 | 21 - 26 | 9 - 12 | 22 - 32 | 10 - 26 | - | 30 - 42 | 34 - 47 | 45 - 50 | - | - | - | - | - | - |

1.1.78. Механические свойства при растяжении прессованных профилей из сплавов Д16, Д16ч в направлении Д при 20 °С и высоких температурах

| Характеристика | Толщина, мм | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 5 - 10 | | | | | | | | | 20 - 60 | | | | | | | | |
| Состояние | Т | | | | | | Т1 | | | ТПП | | | | | | | | |
| | Температура испытания, С | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ _в , МПа | 420 | 400 | 380 | 365 | 345 | 275 | 450 | 450 | 440 | 400 | 375 | 285 | 490 | 455 | 420 | 405 | 385 | 275 |
| σ _{0,2} , МПа | 325 | 315 | 305 | 295 | 275 | 245 | 400 | 400 | 390 | 380 | 355 | 255 | 365 | 335 | 325 | 310 | 285 | 245 |
| δ ₁₀ , % | 20 | 20 | 20 | 20 | 18 | - | 9 | 9 | 9 | - | 10 | - | 14 | 14 | 14 | 14 | 12 | - |

