

128594

ALTIN ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE
YÜZEYDE MEYDANA GELEN HATALAR

Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMENTASYON MERKEZİ

Metalurji Müh. Esin AYDIN

F.B.E. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Serdar KÜÇÜKKARAGÖZ

Prof. Dr. C.S. Küçükkaragöz

Prof. Dr. Aysegül Akdoğan

Prof. Dr. Cemalettin Yaman

İSTANBUL, 2002

128594

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xviii
ÖNSÖZ	xx
ÖZET	xxi
ABSTRACT.....	xxii
1. GİRİŞ.....	1
2. ALTININ GENEL ÖZELLİKLERİ	3
2.1 Altının Fiziksel Özellikleri	3
2.2 Altının Kimyasal Özellikleri	5
2.3 Altının Mekanik Özellikleri	6
2.4 Altın Ölçü Birimi.....	8
3. ALTIN ALAŞIM ELEMENTLERİ	10
3.1 Gümüş.....	12
3.2 Bakır	12
3.3 Çinko	13
3.4 Nikel	15
3.5 Paladyum	16
3.6 Titanyum	17
3.7 İndiyum.....	17
3.8 Kadmiyum.....	17
3.9 Antimuan	18
3.10 Arsenik.....	18
3.11 Bizmut.....	18
3.12 Tellür	19
3.13 Kalay.....	19
3.14 Silisyum	19
3.15 Kobalt	20
3.16 İridyum	20
3.17 Rutenyum.....	21
3.18 Bor	22
3.19 Cıva.....	22
3.20 Platin.....	23
3.21 Kurşun.....	23

3.22	Magnezyum.....	23
3.23	Demir.....	23
3.24	Manganez.....	24
3.25	Eser Miktardaki Diğer Elementler	24
4.	ALTIN ALAŞIMLARI İÇİN DENGİ DİYAGRAMLARI.....	25
4.1	Altın-Gümüş Denge Diyagramı	25
4.2	Altın-Bakır Denge Diyagramı.....	26
4.3	Altın-Gümüş-Bakır Üçlü Denge Diyagramı	28
5.	ALTIN ALAŞIMLARI.....	30
5.1	Renkli Altın Alaşımları.....	30
5.1.1	22 Ayar Altın Alaşımları	34
5.1.1.1	22 Ayar, Standart Sarı Altın Alaşımları	34
5.1.1.2	22 Ayar, Koyu Sarı Altın Alaşımları.....	37
5.1.2	21 Ayar Altın Alaşımları	40
5.1.2.1	21 Ayar, Sarı-Pembe Altın Alaşımları	40
5.1.2.2	21 Ayar, Pembe Altın Alaşımları.....	42
5.1.2.3	21 Ayar, Kırmızı Altın Alaşımları	45
5.1.3	18 Ayar Altın Alaşımları	47
5.1.3.1	18 Ayar, Standart Sarı Altın Alaşımları	48
5.1.3.2	18 Ayar, Açık Sarı Altın Alaşımları.....	51
5.1.3.3	18 Ayar, Pembe Altın Alaşımları.....	55
5.1.3.4	18 Ayar, Kırmızı Altın Alaşımları	58
5.1.4	14 Ayar Altın Alaşımları	62
5.1.4.1	14 Ayar, Standart Sarı Altın Alaşımları	62
5.1.5	9 Ayar Altın Alaşımları	65
5.2	Beyaz Altın Alaşımları	66
5.2.1	Nikelli Beyaz Altın Alaşımları.....	69
5.2.2	Paladyumlu Beyaz Altın Alaşımları.....	71
5.2.3	Paladyum-Nikelli Beyaz Altın Alaşımları.....	74
5.3	990 Milyem Altın (Au 990-Ti10).....	74
5.4	Üretim Yöntemlerine Göre Altın Alaşımları	75
5.4.1	Dökme Altın Alaşımları	75
5.4.2	Dövme Altın Alaşımları	77
6.	ALTIN ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜ.....	80
6.1	Kayıp Mum Tekniği	80
6.1.1	Tasarım ve Ana Modelin Hazırlanması	81
6.1.2	Kalıp Yapılması.....	82
6.1.3	Mum Model Hazırlanması	84
6.1.4	Mum Ağacın Monte Edilmesi.....	87
6.1.4.1	Oyuk Ağaç Modelinin Hazırlanması.....	89
6.1.4.2	Ana Yolluk.....	91
6.1.4.3	Giriş Kanalı (Meme).....	92
6.1.5	Kalıbın Doldurulması (Alçılama).....	93
6.1.6	Mumun Eritilmesi ve Pişirilmesi.....	98
6.2	Ergitme	101
6.2.1	Ergitme Fırınları.....	104

6.2.2	İngot (Astar) Dökümü	106
6.3	Döküm	108
6.3.1	Santrifüj Döküm	110
6.3.2	Statik Döküm	111
6.3.2.1	Vakumlu Statik Döküm	112
6.3.2.2	Basınç Altında Statik Döküm	113
6.3.3	Döküm Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	114
6.4	Bitirme İşlemleri	118
6.5	Taşların Döküm Öncesi Yerleştirilmesi	120
7.	ALTIN ALAŞIMLARININ SOĞUK ŞEKİLLENDİRİLMESİ ve TAVLANMASI.....	124
8.	ALTIN ALAŞIMLARINDA GÖRÜLEN HATALAR ve HATALARIN ÖNLENMESİ.....	129
8.1	Yüzey Hataları	139
8.1.1	Fiske (Boşluk)	139
8.1.1.1	Gaz Fiskesi	140
8.1.1.2	Çekme Fiskesi	149
8.1.2	Kumlu Yüzey ve Kanatlar	155
8.1.3	Boncuklar	156
8.1.4	Dendritli Yüzey	156
8.1.5	Su Lekeleri	158
8.1.6	İnklüzyonlar	158
8.2	Kırılmalar	160
8.3	Gerilmeli Korozyon Çatlaması	163
8.4	Çinko Ayrışması.....	167
8.5	Santrifüj Dökümde Görülen Hatalar	169
8.6	Uygulamada Rastlanan Örnekler	169
8.6.1	Taneler Arası Korozyon	169
8.6.2	Yorulma Kırılması.....	171
8.6.3	Döküm Sıcaklığının ve Alaşım Bileşiminin Neden Olduğu Kırıklar.....	175
8.6.4	Döküm Koşullarından Oluşan Fiske	177
8.6.5	Gevrekleşme, Kırılma ve Büzülme Fiskesi	179
8.6.6	Pişirme İşleminde Kaynaklanan Yüzey Hatası	182
8.6.7	Alçının Yetersiz Gaz Geçirgenliği Nedeniyle Oluşan Yüzey Hataları	184
8.6.8	Alçı ile Tepkimeden Oluşan İğne Delikleri	187
8.6.9	Pilgering İşleminde Kaynaklanan Hatalar	189
9.	ALTIN ALAŞIMLARININ KOROZYONU VE KARARMASI	191
9.1	Ayarlı Altın Alaşımlarının Koroziv Özellikleri.....	192
10.	ALTININ TÜRKİYE’DEKİ GELİŞİMİ	194
11.	ALTININ KULLANIM ALANLARI	196
11.1	Para, Madalya ve Külçe	197
11.2	Kuyumculuk	198
11.3	Elektronik ve İletişim Sektörü	199

11.4	Endüstri ve Havacılık	200
11.5	Dişçilik.....	201
11.6	Tıp.....	203
12.	DENEYLER.....	204
12.1	Kırık Yüzük Numunesinin İncelenmesi	204
12.1.1	Numunenin Metalografik Hazırlanması	204
12.1.2	Numunenin Optik Mikroskopta İncelemesi.....	205
12.1.3	SEM ve EDX Analizleri	207
12.1.3.1	Çatlak Çevresinin Analiz Sonuçları	207
12.1.3.2	Çatlak Bölgesinin Analiz Sonuçları	209
12.1.4	Sertlik Deneyleri	223
12.2	Külçe Numunenin İncelenmesi	223
13.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	225
KAYNAKLAR.....		226
EKLER		230
Ek 1	Altın Alaşımlarında Renk Standartları.....	231
Ek 2	Döküm Hataları ve Kontrol Edilmesi.....	234
ÖZGEÇMİŞ.....		238

SİMGE LİSTESİ

λ	Dalga boyu
E^o	Standart elektrot potansiyeli



KISALTMA LİSTESİ

CIE	International Commision on Illumination
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
EDX	Enerji Dağılım Analizörü
HTC	Hollow Tree Casting
MJSA	Manufacturing Jewelers and Silversmihts of America
OSV	Oda Sıcaklığında Vulkanizasyon
SEM	Scanning Electron Microscope
TEM	Transmission Electron Microscope
WGC	World Gold Council



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Altının kristal yapısı (www.webelements.com).....	4
Şekil 3.1	Çinkonun 14 ayar sarı altının yüzey oksidasyonu üzerindeki etkisi (Ott ve Raub, 1992a).....	15
Şekil 4.1	Au-%50 Ag alaşımlarının katılma dizisini gösteren altın-gümüş faz diyagramı (Grimwade, 1990b).....	25
Şekil 4.2	Au-Cu sistemi için ikili denge diyagramı (Grimwade, 1994a).....	27
Şekil 4.3	Düzensizden düzenliye dönüşüm (World Gold Council, 1997).....	27
Şekil 4.4	Au-Cu alaşımlarında düzenliliğin mukavemet üzerindeki etkisi (Grimwade, 1994a).....	28
Şekil 4.5	Au-Ag-Cu sistemi için üç elemanlı denge diyagramı (Grimwade, 1994a).....	29
Şekil 5.1	Au-Ag-Cu denge diyagramında alaşım elementinin cinsine ve miktarına bağlı olarak altın alaşım renklerinin değişimi (Drost ve Haußelt, 1992).....	32
Şekil 5.2	Au-Ag-Cu sisteminin ergime sıcaklık izotermi (Grimwade, 1985).....	33
Şekil 5.3a	22 ayar standart sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile sertlik değerindeki değişim (Johnson Matt. Ltd., 1990).....	35
Şekil 5.3b	22 ayar standart sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Johnson Matt. Ltd., 1990).....	35
Şekil 5.3c	22 ayar standart sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile uzamadaki azalma (Johnson Matt. Ltd., 1990).....	35
Şekil 5.4a	22 ayar standart sarı altın alaşımının döküm yapısı (Johnson Matt. Ltd., 1990).....	35
Şekil 5.4b	22 ayar standart sarı altın alaşımının %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Johnson Matt. Ltd., 1990).....	35
Şekil 5.5a	22 ayar standart sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile sertlik değerindeki değişim (Johnson Matt. Ltd., 1990).....	36
Şekil 5.5b	22 ayar standart sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Johnson Matt. Ltd., 1990).....	36
Şekil 5.5c	22 ayar standart sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile uzama oranındaki artış (Johnson Matt. Ltd., 1990).....	36
Şekil 5.6a	22 ayar standart sarı altın alaşımının 400°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Johnson Matt. Ltd., 1990).....	36
Şekil 5.6b	22 ayar standart sarı altın alaşımının 600°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Johnson Matt. Ltd., 1990).....	36
Şekil 5.6a	22 ayar standart sarı altın alaşımının 700°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Johnson Matt. Ltd., 1990).....	36
Şekil 5.7a	22 ayar koyu sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile sertlik değerindeki değişim (Johnson Matt. Ltd., 1993a).....	38
Şekil 5.7b	22 ayar koyu sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Johnson Matt. Ltd., 1993a).....	38
Şekil 5.7c	22 ayar koyu sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile uzamadaki azalma (Johnson Matt. Ltd., 1993a).....	38
Şekil 5.8a	22 ayar koyu sarı altın alaşımının döküm yapısı (Johnson Matt. Ltd., 1993a).....	38
Şekil 5.8b	22 ayar koyu sarı altın alaşımının %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Johnson Matt. Ltd., 1993a).....	38
Şekil 5.9a	22 ayar koyu sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile sertlik değerindeki değişim (Johnson Matt. Ltd., 1993a).....	39
Şekil 5.9b	22 ayar koyu sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Johnson Matt. Ltd., 1993a).....	39
Şekil 5.9c	22 ayar koyu sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile uzama oranındaki artış (Johnson Matt. Ltd., 1993a).....	39

Şekil 5.10a	22 ayar koyu sarı altın alaşımasının 400°C’de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Johnson Matt. Ltd., 1993a).....	39
Şekil 5.10b	22 ayar koyu sarı altın alaşımasının 600°C’de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Johnson Matt. Ltd., 1993a).....	39
Şekil 5.10c	22 ayar koyu sarı altın alaşımasının 700°C’de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Johnson Matt. Ltd., 1993a).....	39
Şekil 5.11a	21 ayar pembe-sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile sertlik değerindeki değişim (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a).....	40
Şekil 5.11b	21 ayar pembe-sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a).....	40
Şekil 5.11c	21 ayar pembe-sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile uzamadaki azalma (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a).....	40
Şekil 5.12a	21 ayar pembe-sarı altın alaşımın döküm yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a).....	41
Şekil 5.12b	21 ayar pembe-sarı altın alaşımın %70 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a).....	41
Şekil 5.13a	21 ayar pembe-sarı altın alaşımasının tavlama sıcaklığının artışı ile sertlik değerindeki değişim (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a).....	41
Şekil 5.13b	21 ayar pembe-sarı altın alaşımasının tavlama sıcaklığının artışı ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a).....	41
Şekil 5.13c	21 ayar pembe-sarı altın alaşımasının tavlama sıcaklığının artışı ile uzama oranındaki artış (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a).....	41
Şekil 5.14a	21 ayar pembe-sarı altın alaşımasının 200°C’de 60 dakika tavllanmış mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a).....	42
Şekil 5.14b	21 ayar pembe-sarı altın alaşımasının 400°C’de 60 dakika tavllanmış mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a).....	42
Şekil 5.14c	21 ayar pembe-sarı altın alaşımasının 700°C’de 60 dakika tavllanmış mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a).....	42
Şekil 5.15a	21 ayar pembe altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile sertlik değerindeki değişim (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b).....	43
Şekil 5.15b	21 ayar pembe altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b).....	43
Şekil 5.15c	21 ayar pembe altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile uzamadaki azalma (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b).....	43
Şekil 5.16a	21 ayar pembe altın alaşımın döküm yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b).....	43
Şekil 5.16b	21 ayar pembe altın alaşımın %70 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b).....	43
Şekil 5.17a	21 ayar pembe altın alaşımasının tavlama sıcaklığının artışı ile sertlik değerindeki değişim (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b).....	44
Şekil 5.17b	21 ayar pembe altın alaşımasının tavlama sıcaklığının artışı ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b).....	44

Şekil 5.17c	21 ayar pembe altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile uzama oranındaki artış (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b).....	44
Şekil 5.18a	21 ayar pembe altın alaşımının 200°C'de 60 dakika tavllanmış mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b).....	44
Şekil 5.18b	21 ayar pembe altın alaşımının 400°C'de 60 dakika tavllanmış mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b).....	44
Şekil 5.18c	21 ayar pembe altın alaşımının 700°C'de 60 dakika tavllanmış mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b).....	44
Şekil 5.19a	21 ayar kırmızı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile, (a) sertlik değerindeki değişim (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c).....	45
Şekil 5.19b	21 ayar kırmızı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c).....	45
Şekil 5.19c	21 ayar kırmızı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile uzamadaki azalma (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c).....	45
Şekil 5.20a	21 ayar kırmızı altın alaşımının döküm yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c).....	46
Şekil 5.20b	21 ayar kırmızı altın alaşımının %70 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c).....	46
Şekil 5.21a	21 ayar kırmızı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile sertlik değerindeki değişim (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c).....	46
Şekil 5.21b	21 ayar kırmızı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c).....	46
Şekil 5.21c	21 ayar kırmızı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile uzama oranındaki artış (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c).....	46
Şekil 5.22a	21 ayar kırmızı altın alaşımının 200°C'de 60 dakika tavllanmış mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c).....	47
Şekil 5.22b	21 ayar kırmızı altın alaşımının 400°C'de 60 dakika tavllanmış mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c).....	47
Şekil 5.22c	21 ayar kırmızı altın alaşımının 700°C'de 60 dakika tavllanmış mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c).....	47
Şekil 5.23a	18 ayar standart sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile, (a) sertlik değerindeki değişim (Métaux Précieux SA Metalor, 1990).....	49
Şekil 5.23b	18 ayar standart sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Métaux Précieux SA Metalor, 1990).....	49
Şekil 5.23c	18 ayar standart sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile uzamadaki azalma (Métaux Précieux SA Metalor, 1990).....	49
Şekil 5.24a	18 ayar açık sarı altın alaşımının döküm yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1990).....	49
Şekil 5.24b	18 ayar açık sarı altın alaşımının %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1990).....	49
Şekil 5.25a	18 ayar standart sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile, (a) sertlik değerindeki değişim (Métaux Précieux SA Metalor, 1990).....	50
Şekil 5.25b	18 ayar standart sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Métaux Précieux SA Metalor, 1990).....	50
Şekil 5.25c	18 ayar standart sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile uzama	

	oranındaki artış (Métaux Précieux SA Metalor, 1990).....	50
Şekil 5.26a	18 ayar standart sarı altın alaşımının 400°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1990).....	50
Şekil 5.26b	18 ayar standart sarı altın alaşımının 600°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1990).....	50
Şekil 5.26c	18 ayar standart sarı altın alaşımının 700°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1990).....	50
Şekil 5.27	18 ayar standart sarı altın alaşıma 280°C'de 60 dakika uygulanacak ısı işlem ile sertliğin değişimi (Métaux Précieux SA Metalor, 1990)	51
Şekil 5.28a	18 ayar açık sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile sertlik değerindeki değişim (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b).....	52
Şekil 5.28b	18 ayar açık sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b)	52
Şekil 5.28c	18 ayar açık sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile uzamadaki azalma (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b)	52
Şekil 5.29a	18 ayar açık sarı altın alaşımının döküm yapısı (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b)	53
Şekil 5.29b	18 ayar açık sarı altın alaşımının %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b).....	53
Şekil 5.30a	18 ayar açık sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile sertlik değerindeki değişim (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b).....	53
Şekil 5.30b	18 ayar açık sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b)	53
Şekil 5.30c	18 ayar açık sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile uzama oranındaki artış (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b).....	53
Şekil 5.31a	18 ayar açık sarı altın alaşımının 400°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b).....	54
Şekil 5.31b	18 ayar açık sarı altın alaşımının 600°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b).....	54
Şekil 5.31c	18 ayar açık sarı altın alaşımının 700°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b).....	54
Şekil 5.32	18 ayar açık sarı altın alaşıma 260°C'de 60 dakika uygulanacak ısı işlem ile sertliğin değişimi (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b)	54
Şekil 5.33a	18 ayar pembe altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile sertlik değerindeki değişim (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a).....	56
Şekil 5.33b	18 ayar pembe altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a).....	56
Şekil 5.33c	18 ayar pembe altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile uzamadaki azalma (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a).....	56
Şekil 5.34a	18 ayar pembe altın alaşımının döküm yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a).....	56
Şekil 5.34b	18 ayar pembe altın alaşımının %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a).....	56
Şekil 5.35a	18 ayar pembe altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile sertlik değerindeki değişim (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a).....	57
Şekil 5.35b	18 ayar pembe altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a).....	57
Şekil 5.35c	18 ayar pembe altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile uzama oranındaki artış (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a).....	57

Şekil 5.36a	18 ayar pembe altın alaşımının 400°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a).....	57
Şekil 5.36b	18 ayar pembe altın alaşımının 600°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a).....	57
Şekil 5.36c	18 ayar pembe altın alaşımının 700°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a).....	57
Şekil 5.37	18 ayar pembe altın alaşıma 260°C'de 60 dakika uygulanacak ısı işlem ile sertliğin değişimi (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a).....	58
Şekil 5.38a	18 ayar kırmızı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile sertlik değerindeki değişim (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b).....	59
Şekil 5.38b	18 ayar kırmızı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b).....	59
Şekil 5.38c	18 ayar kırmızı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile uzamadaki azalma (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b).....	59
Şekil 5.39a	18 ayar kırmızı altın alaşımının döküm yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b).....	60
Şekil 5.39b	18 ayar kırmızı altın alaşımının %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b).....	60
Şekil 5.40a	18 ayar kırmızı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile sertlik değerindeki değişim (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b).....	60
Şekil 5.40b	18 ayar kırmızı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b) ...	60
Şekil 5.40c	18 ayar kırmızı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile uzama oranındaki artış (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b).....	60
Şekil 5.41a	18 ayar kırmızı altın alaşımının 400°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b).....	61
Şekil 5.41b	18 ayar kırmızı altın alaşımının 600°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b).....	61
Şekil 5.41c	18 ayar kırmızı altın alaşımının 700°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b).....	61
Şekil 5.42	18 ayar kırmızı altın alaşıma 260°C'de 60 dakika uygulanacak ısı işlem ile sertliğin değişimi (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b).....	61
Şekil 5.43a	14 ayar standart sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile sertlik değerindeki değişim (Degussa AG, 1990).....	63
Şekil 5.43b	14 ayar standart sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Degussa AG, 1990).....	63
Şekil 5.43c	14 ayar standart sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile uzamadaki azalma (Degussa AG, 1990).....	63
Şekil 5.44a	14 ayar standart sarı altın alaşımının döküm yapısı (Degussa AG, 1990).....	63
Şekil 5.44b	14 ayar standart sarı altın alaşımının %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Degussa AG, 1990).....	63
Şekil 5.45a	14 ayar standart sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile sertlik değerindeki değişim (Degussa AG, 1990).....	64
Şekil 5.45b	14 ayar standart sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış (Degussa AG, 1990).....	64
Şekil 5.45c	14 ayar standart sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile uzama oranındaki artış (Degussa AG, 1990).....	64
Şekil 5.46a	14 ayar standart sarı altın alaşımının 500°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Degussa AG, 1990).....	65
Şekil 5.46b	14 ayar standart sarı altın alaşımının 700°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapısı (Degussa AG, 1990).....	65

Şekil 5.46	14 ayar standart sarı altın alaşımının 800°C'de 30 dakika tavlanmış mikro yapısı (Degussa AG, 1990).....	65
Şekil 5.47	14 ayar standart sarı altın alaşıma 350°C'de 60 dakika uygulanacak ısı işlem ile sertliğin değişimi (Degussa AG, 1990).....	65
Şekil 5.48	Au-Cu ve Au-Ni ikili alaşımların denge diyagramları (Bagnoud vd., 1996)....	66
Şekil 5.49	Au-Ni-Cu üçlü denge diyagramında 315°C izotermal kesit (Emre, 2000)	70
Şekil 6.1	Alçı döküm ile üretilmiş 10 ayar sarı altın yüzükler (Normandeau ve Roeterink, 1995)	80
Şekil 6.2	Tipik alçı döküm takı örnekleri (Normandeau ve Roeterink, 1995).....	80
Şekil 6.3	Nikel-gümüş kalıp (World Gold Council, 1995).....	82
Şekil 6.4	Modelin kalıba yerleştirilmesi (World Gold Council, 1995)	82
Şekil 6.5	Vulkanizasyon işlemine hazır kalıp (World Gold Council, 1995)	83
Şekil 6.6	Kauçuk kalıbın kesilmesi (World Gold Council, 1995)	84
Şekil 6.7	Kesilmiş kauçuk kalıp (World Gold Council, 1995)	84
Şekil 6.8	Hazırlanmış kalıplar ve mum kalıp örnekleri (World Gold Council, 1995)	85
Şekil 6.9	Geri dönüştürülmüş kirli mumlar (Bell, 2001).....	86
Şekil 6.10	Kalıp kalmış talk pudrasının döküm yüzeyine etkisi (Bell, 2001)	87
Şekil 6.11	Dallar monte edilmiş ağaç (World Gold Council, 1995).....	88
Şekil 6.12	Spiral montajlı ağaç (World Gold Council, 1995).....	88
Şekil 6.13	Kaynak noktası (Corti, 2000)	89
Şekil 6.14	Oyuk ağaç dökümü (Grimwade, 1996b).....	90
Şekil 6.15a	Sıcak yırtılmaya büyük çaplı ana yolluğun etkisi (Untracht, 1985)	91
Şekil 6.15b	Sıcak yırtılmaya küçük çaplı ana yolluğun etkisi (Untracht, 1985)	91
Şekil 6.16	Mum ağacında yolluk dizaynı (Aras, 1996).....	92
Şekil 6.17	Giriş kanalının ana yolluğa bağlantısı (Aras, 1996)	92
Şekil 6.18	Delikli-flanşlı ve geleneksel fanuslar (World Gold Council, 1995).....	95
Şekil 6.19	Mum ağacın fanusa doğru yerleştirilmesi (Aras, 1996).....	96
Şekil 6.20	Eski yolluk tabanı ile ana yolluk arasındaki boşluk (Bell, 2001).....	97
Şekil 6.21a	Döküm sırasında tabanda meydana gelen çatlaklar (Bell, 2001)	97
Şekil 6.21b	Plastik yolluk tabanın fanustan kaba çıkarılması (Bell, 2001)	97
Şekil 6.22a	Alçının dökülmesinden kaynaklanan pürüzlü dış yüzey görüntüsü (Bell, 2001)	99
Şekil 6.22b	Alçının dökülmesinden kaynaklanan pürüzlü iç yüzey görüntüsü (Bell, 2001).....	99
Şekil 6.23	İnsan gücüyle santrifüj etki yaratan savurma döküm (Faccenda, 1998).....	109
Şekil 6.24	Statik basınçlı dökümde kalıp dolumunun geliştirilmesi (Faccenda, 1998) ...	110
Şekil 6.25	Çeşitli geometride santrifüj dökümün şematik gösterimi (Faccenda, 1998)...	111
Şekil 6.26	Santrifüj dökümde kalıp dolumu (Faccenda, 1998).....	111
Şekil 6.27	Statik dökümde alaşımın ergitilmesi ve kalıp dolumu (Faccenda, 1998)	112
Şekil 6.28	Kalıpları hazırlarken farklı oranlarda su ve alçı malzeme kullanmanın, döküm sırasında kalıplarda görülen basınç değişiklikleri üzerindeki etkisi (Ott ve Raub, 1992c).....	113
Şekil 6.29	Santrifüj döküm ile üretilmiş yüzüklerde, yüksek basınç etkisinde oluşmuş hata örneği (Faccenda, 1998).....	115
Şekil 6.30	Kalıbın eksik dolmasından kaynaklanan hata (Faccenda, 1998).....	115
Şekil 6.31	Döküm yöntemlerinin porozite, inklüzyon ve dolum üzerinde etkileri (Grimwade, 1995b).....	117
Şekil 6.32	Döküm yöntemlerinin üretim hızına etkileri (Grimwade, 1995b).....	117
Şekil 6.33	Asitle temizlenmiş döküm ağacı (World Gold Council, 1995).....	118
Şekil 6.34	Yüzey pürüzlülüğünün zamana göre azalması (Faccenda, 1995b)	119
Şekil 6.35	Yüzey pürüzlerinin işlem süresine etkisi (Faccenda, 1995b).....	120
Şekil 6.36	Lastik kalıba değerli taşların yerleştirilmesi (Grimwade, 1997)	120
Şekil 6.37	Mum modele değerli taşların yerleştirilmesi (Grimwade, 1997)	120

Şekil 6.38	Son durumdaki döküm ağacı (Cart, 1998)	123
Şekil 7.1	Portakal kabuğu etkisi (Grimwade, 1990c)	125
Şekil 7.2	Bütün 14 ayar Au-Ag-Cu alaşımları için yaşlandırarak sertleştirme (Grimwade, 1994a)	127
Şekil 8.1	Hata istatistiği: hata çeşitleri (Ott, 1995)	130
Şekil 8.2	Hata istatistiği: üretim yöntemleri (Ott, 1995)	130
Şekil 8.3	18 ayar altın dökümün çok yüksek basınç altında oluşan kaba yüzeyi (Ott ve Raub, 1992c)	131
Şekil 8.4a	Büzülme hataları (Aras, 1996)	132
Şekil 8.4b	Gaz fiskeleri (Aras, 1996)	132
Şekil 8.5	Tek yollukla beslenen bir yüzük montüründeki büzülme boşluğunun taslağı (Grimwade, 1990a)	132
Şekil 8.6	Döküm bir yüzükte dendritler arası fiskenin mikro yapı fotoğrafı (Grimwade, 1990a)	133
Şekil 8.7	Kalıp duvarından içeri doğru ilerleyen katılaşma (Grimwade, 1990b)	133
Şekil 8.8	9 ayar altın döküm yüzüğün kırık yüzey görüntüsü (Grimwade, 1990b)	134
Şekil 8.9	Sıcak yırtılmaların taslakları (Grimwade, 1990a)	135
Şekil 8.10a	Bakır oksit hatası (Aras, 1996)	136
Şekil 8.10b	Borür hatası (Aras, 1996)	136
Şekil 8.11	Soğuma tıkanmalarının taslağı (Grimwade, 1990a)	137
Şekil 8.12	Kalıpla reaksiyonun mikro yapı fotoğrafı (Grimwade, 1990a)	137
Şekil 8.13	Türbülans fiskesinin mikro yapı fotoğrafı (Grimwade, 1990a)	138
Şekil 8.14	18 ayar sarı altın dökümden yüzeye dik olarak alınan bir kesitte mikro kristalizasyon boşlukları, x50 (Ott vd., 1992)	140
Şekil 8.15	18 ayar sarı altın dökümün çatlak yüzeyinin SEM fotoğrafı (Ott vd., 1992) ..	140
Şekil 8.16	Mikro gaz fiskelerinin görünümü (Aras, 1996)	140
Şekil 8.17	Makro gaz fiskeleri (Aras, 1996)	141
Şekil 8.18	18 ayar saat kutusunun yüzeyindeki iğne delikleri (Ott, 1995)	141
Şekil 8.19	Gaz fiskesinin tipik görüntüsü (Ott, 1995)	141
Şekil 8.20	18 ayar sarı altın dökümündeki gaz fiskesi, x50 (Ott vd., 1992)	142
Şekil 8.21	Gaz gözenekliliği (Faccenda, 1995a)	143
Şekil 8.22	%10 Zn içeren 14 ayar sarı altından broşta fiske (x100) (Ott, 1995)	144
Şekil 8.23	Kırık yüzeyin SEM fotoğrafı (Ott, 1995)	144
Şekil 8.24	Gaz fiskeleri ve çatlaklar (Ott, 1995)	144
Şekil 8.25	Sülfat parçacığı ile tane sınırında oluşmuş boşluğun SEM fotoğrafı (Ott, 1995) ..	145
Şekil 8.26	18 ayar Au-Ag-Cu alaşımında Cu_2S çökeltileri (Çizelge 8.1, alaşım 2), x500 (Ott ve Raub, 1992a)	145
Şekil 8.27	14 ayar beyaz altın alaşımındaki ötektik yapıda sülfat inklüzyonları (Çizelge 8.1, alaşım 3), x500 (Ott ve Raub, 1992a)	146
Şekil 8.28	Kalsiyum sülfat içeren alçı malzemesinin reaksiyonundan zarar görmüş 14 ayar nikelli beyaz altın alaşımının yüzeyi (Çizelge 9.2, alaşım 3) (Ott ve Raub, 1992a)	146
Şekil 8.29	Cu_2O dendritleri (Grimwade, 1990a)	147
Şekil 8.30	14 ayar kırık çatal (Ott, 1995)	147
Şekil 8.31	Çatalın içindeki fiske ve bakır oksit kalıntılarının olduğu mikro kesitin SEM görüntüsü (Ott, 1995)	148
Şekil 8.32	Çekme mukavemeti test numunesinin birçok gaz gözenegi gösteren çatlak yüzeyi (Ott vd., 1992)	148
Şekil 8.33	Çekme mukavemeti test numunesinin birçok gaz gözenegi gösteren çatlak yüzeyin boyuna kesiti, x50 (Ott vd., 1992)	148
Şekil 8.34	Makro çekme fiskeleri (Aras, 1996)	149

Şekil 8.35	Dendritli yapıya sahip kırık yüzeyde çekme fiskesinin SEM fotoğrafı (Ott, 1995)	150
Şekil 8.36	Çekme fiskeli mikro kesit (Ott, 1995)	150
Şekil 8.37	Çekme fiskesi: küre çapının kürede fiske oluşumuna etkisi (Ott, 1995)	151
Şekil 8.38	Çekme fiskesi: alaşım bileşimi ve fanus sıcaklığının etkisi (Ott, 1995)	151
Şekil 8.39	Çekme fiskesi: fanus sıcaklığının etkisi (çinkosuz alaşım) (Ott, 1995)	152
Şekil 8.40	Çekme fiskesi: fanus sıcaklığının etkisi (çinkolu alaşım) (Ott, 1995)	153
Şekil 8.41	Çekme fiskesine bağlı çatlaklar (Ott, 1995)	154
Şekil 8.42	Yoğun bir çekme mukavemeti test numunesinin çatlak yüzeyi (Ott ve Raub, 1992c)	154
Şekil 8.43	Kumlu yüzey ve kanat (Ott, 1995)	156
Şekil 8.44	Dendritli yüzey yapısı (Ott, 1995)	157
Şekil 8.45	Su izleri (Ott, 1995)	158
Şekil 8.46	Metal yüzeyindeki sert inklüzyonun kuyruklu yıldız görüntüsü (Bell, 2001)	159
Şekil 8.47	Alçının neden olduğu inklüzyon (Bell, 2001)	159
Şekil 8.48	Cürüfla doldurulmuş çatlak (Ott, 1995)	160
Şekil 8.49a	14 ayar altın bilezikte gevrek kırılma. Büyütme x30.3 (Grimwade, 1992b) ..	161
Şekil 8.49b	Kırılma yüzeyinin taneler arası yapısı. Büyütme x232 (Grimwade, 1992b) ..	161
Şekil 8.50	Tane sınırlarında kısmi ergime. Büyütme x1690 (Grimwade, 1992b)	161
Şekil 8.51	Altın alaşımı dökümünde silisyum ve iridyum segregasyonu ve iridyum silisit oluşturacak şekilde ayrışması. Büyütme x616 (Grimwade, 1992b)	162
Şekil 8.52	Oksit tabakasının neden olduğu çatlak (Bell, 2001)	162
Şekil 8.53	Soğuk haddelenmiş plaka ve kalın levhalarda kalıntı gerilim dağılımı (Grimwade, 1992c)	163
Şekil 8.54a	9 ayar altın zincir bağlantısının tane sınırlarındaki gerilmeli korozyon çatlaması (Grimwade, 1993a)	165
Şekil 8.54b	9 ayar altın dökümünde tane sınırlarında görülen gerilmeli korozyon çatlaması (Grimwade, 1993a)	165
Şekil 8.55	9 ayar dövme altın bir yüzükteki aşırı mekanik işlemeye dayalı çatlama (Grimwade, 1993a)	166
Şekil 8.56	9 ayar altından bir madalyonda, ayar damgası vurulduktan sonra meydana gelen aşırı mekanik işlemeye dayalı çatlama (Grimwade, 1993a)	166
Şekil 8.57a	Gerilmeli korozyon çatlağı (Grimwade, 1992c)	166
Şekil 8.57b	Gerilmeli korozyon hatasının taneler arası mikro yapısı (Grimwade, 1992c) ..	166
Şekil 8.58a	14 ayar sarı altın dökümün kırık yüzeyi (Grimwade, 1994b)	168
Şekil 8.58b	Büzülme boşluğundaki düzgün dendritli yüzey (Grimwade, 1994b)	168
Şekil 8.59	Büzülme boşluğunda çinko ayrışması etkisini gösteren kaba dendritli yapılar (Grimwade, 1994b)	168
Şekil 8.60	10 ayar sarı altın alaşımının çatlak yüzeyindeki camsı inklüzyonları (Grimwade, 1994b)	170
Şekil 8.61	10 ayar sarı altın alaşımının taneler arası korozyonu (Grimwade, 1994b)	170
Şekil 8.62	Kırık montürler (Ott, 1994b)	171
Şekil 8.63a	Kırık yüzeyin SEM görüntüsü (x200) (Ott, 1994b)	171
Şekil 8.63b	Kırık yüzeyin mikro kesiti (x200) (Ott, 1994b)	171
Şekil 8.64	Kırık yüzeyin SEM görüntüleri (Ott, 1994b)	172
Şekil 8.65	Gri inklüzyonlar (x500) (Ott, 1994b)	172
Şekil 8.66a	Cüruf benzeri inklüzyon (Ott, 1994b)	173
Şekil 8.66b	Uzun inklüzyon (Ott, 1994b)	173
Şekil 8.67	Cüruf benzeri inklüzyonun X ışını spektrumu (Ott, 1994b)	173
Şekil 8.68	Uzun inklüzyonun X ışını spektrumu (Ott, 1994b)	173
Şekil 8.69a	Kırık yüzüklerin mum kalıpları (Ott, 1994b)	175
Şekil 8.69b	Kırık yüzük (Ott, 1994b)	175

Şekil 8.70a	Kırık yüzeylerin SEM fotoğrafı (Ott, 1994b).....	175
Şekil 8.70b	Kırık yüzeyin genişletilmiş hali (Ott, 1994b).....	175
Şekil 8.71	Genişletilmiş kırık yüzey (Ott, 1994b)	176
Şekil 8.72a	Tane sınırında boşluk (x500) (Ott, 1994b).....	176
Şekil 8.72b	Tane sınırındaki küçük ayrışmalar (Ott, 1994b).....	176
Şekil 8.73	Büzülme fiskei ve/veya safsızlıkların neden olduğu fiske (Ott, 1994b).....	178
Şekil 8.74	Saf olmayan maddeler ve inklüzyonların yol açtığı hatalar (x500) (Ott, 1994b)	178
Şekil 8.75a	Kırık yüzey (Ott, 1994b)	179
Şekil 8.75b	Kırık yüzük kesiti (Ott, 1994b).....	179
Şekil 8.76a	Taneler arası çatlaklar (x80) (Ott, 1994b).....	179
Şekil 8.76b	Yaşlandırma sertleşmesi sonucunda oluşan ızgara yapı (Ott, 1994b)	179
Şekil 8.77a	Tane sınırlarında mikro boşluklar (x400) (Ott, 1994b).....	180
Şekil 8.77b	Kırık yüzeyin SEM görüntüsü (Ott, 1994b).....	180
Şekil 8.78a	Pendantifin ön yüzü (x3) (Ott, 1994b).....	182
Şekil 8.78b	Pendantifin arka yüzü (x3) (Ott, 1994b)	182
Şekil 8.79a	Hatalı yapının kesitinden alınan pütürler (Ott, 1994b)	182
Şekil 8.79b	Hatalı yapının kesitinden alınan pütürler (Ott, 1994b)	182
Şekil 8.79c	Hatalı yapının kesitinden alınan pütürler (Ott, 1994b)	183
Şekil 8.80	Su izi örnekleri (Ott, 1994b).....	183
Şekil 8.81a	Ağaçta alt kısma yerleştirilmiş hatalı model (Ott, 1994b)	185
Şekil 8.81b	Ağaçta üst kısma yerleştirilmiş hatasız model (Ott, 1994b)	185
Şekil 8.82a	Fosfat bağlı alçıyla dökülmüş ağacın alt kısmına yerleştirilmiş modeldeki büyük döküm hatası (Ott, 1994b)	185
Şekil 8.82b	Fosfat bağlı alçıyla dökülmüş ağacın üst kısmına yerleştirilmiş modeldeki döküm hatası (Ott, 1994b).....	185
Şekil 8.83a	Fosfat bağlı alçıda dökülmüş ve ağacın alt kısmına yerleştirilmiş yüzük (Ott, 1994b)	186
Şekil 8.83b	Sülfat bağlı alçı ile dökülmüş ve ağacın üst kısmına yerleştirilmiş yüzük (Ott, 1994b)	186
Şekil 8.84	Kaba yüzeyli beyaz altın yüzük (Ott, 1994b).....	187
Şekil 8.85a	Kaba yüzey (x50) (Ott, 1994b).....	188
Şekil 8.85b	Fiske (x50) (Ott, 1994b).....	188
Şekil 8.86	Yoğun fiskeli yüzey (x100) (Ott, 1994b).....	188
Şekil 8.87	Çekme borudan imal edilen 14 ayar sarı altın yüzüğün yüzeyinde tekrarlanan çatlaklar (Grimwade, 1994b).....	189
Şekil 8.88	Pilgering işlemi sırasında haddelenmiş yüzey kırıkları (Grimwade, 1994b) ..	190
Şekil 9.1	Altın-gümüş-bakır alaşımlarında renk üçgeni (Emre, 2000).....	192
Şekil 10.1	1993'te WGC pazarında altın tüketimi (Grimwade, 1995a).....	195
Şekil 11.1	Altının kullanım alanları (Emre, 2000).....	196
Şekil 11.2	Para örneği-Krugerrand (www.goldinstitute.org).....	198
Şekil 11.2	Para örneği-Maple leaf (www.goldinstitute.org).....	198
Şekil 11.3	Baskılı devre levhası (Jacobson ve Humpston, 1992)	199
Şekil 11.4	Baskılı devre levhasındaki silisyum yarı iletkeni (Jacobson ve Humpston, 1992)	200
Şekil 11.5	Dişçilikteki dolgu uygulaması (Kempf ve Haußelt, 1992)	202
Şekil 11.6	Dişçilikteki kuron uygulaması (Kempf ve Haußelt, 1992)	202
Şekil 11.7	Dişçilikteki köprü uygulaması (Kempf ve Haußelt, 1992)	202
Şekil 12.1	Döküm sonrasında numune yüzüğün görüntüsü	204
Şekil 12.2	Numunedeki dendritik yapı görüntüsü.....	205
Şekil 12.3	Numunenin mikro yapı fotoğrafı	205
Şekil 12.4	Numunedeki kırık bölgenin mikro yapısı.....	206

Şekil 12.5	Kırığa uzak bölgenin mikro yapısı.....	206
Şekil 12.6	Numunedeki çatlak görüntüsü.....	207
Şekil 12.7	Çatlağın sağ kenarının SEM fotoğrafı	207
Şekil 12.8	Çatlağın sol kenarının SEM fotoğrafı	208
Şekil 12.9	Çatlağın sağ kenarındaki kimyasal bileşime ait pik dağılımları.....	208
Şekil 12.10	Çatlağın sol kenarındaki kimyasal bileşime ait pik dağılımları	209
Şekil 12.11	Çatlağın üst kısmı	210
Şekil 12.12	Çatlağın alt kısmı	210
Şekil 12.13	Çatlağın üst kısmının nokta analizinde elde edilen pik grafiği	211
Şekil 12.14	Çatlağın üst kısmının çizgi analizinde elde edilen pik grafiği	211
Şekil 12.15	Çatlağın üst kısmına ait SEM ve EDX analiz sonuçları	212
Şekil 12.16	Çatlağın üst kısmındaki altın pikleri	213
Şekil 12.17	Çatlağın üst kısmındaki bakır pikleri.....	213
Şekil 12.18	Çatlağın üst kısmındaki çinko pikleri	214
Şekil 12.19	Çatlağın üst kısmındaki gümüş pikleri.....	214
Şekil 12.20	Çatlağın üst kısmındaki bütün elementlerin pikleri.....	215
Şekil 12.21	Çatlağın üst kısmındaki yakın bölgede bulunan elementlerin pikleri	216
Şekil 12.22	Çatlağın üst kısmındaki uzak bölgede bulunan elementlerin pikleri.....	216
Şekil 12.23	Çatlağın alt kısmının nokta analizinde elde edilen pik grafiği.....	217
Şekil 12.24	Çatlağın alt kısmının çizgi analizinde elde edilen pik grafiği	217
Şekil 12.25	Çatlağın alt kısmına ait SEM ve EDX analiz sonuçları	218
Şekil 12.26	Çatlağın alt kısmındaki altın pikleri.....	219
Şekil 12.27	Çatlağın alt kısmındaki bakır pikleri.....	219
Şekil 12.28	Çatlağın alt kısmındaki çinko pikleri.....	220
Şekil 12.29	Çatlağın alt kısmındaki gümüş pikleri	220
Şekil 12.30	Çatlağın alt kısmındaki bütün elementlerin pikleri.....	221
Şekil 12.31	Çatlağın alt kısmındaki yakın bölgede bulunan elementlerin pikleri	222
Şekil 12.32	Çatlağın alt kısmındaki uzak bölgede bulunan elementlerin pikleri	222
Şekil 12.33	Numune merkezindeki mikro yapı görüntüsü	223
Şekil 12.34	Numune merkezi ile kenarı arasındaki mikro yapı görüntüsü.....	224
Şekil 12.35	Numune kenarının mikro yapı görüntüsü.....	224

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Altının fiziksel özellikleri (Emre, 2000).....	3
Çizelge 2.2	Ötektik ve peritektik bileşimler (Emre, 2000).....	6
Çizelge 2.3	Yüksek dirençli saf altın ile 24 ve 18 ayar altın alaşımlarının mekanik özelliklerinin karşılaştırılması (Nishio, 1996).....	7
Çizelge 2.4	Yüksek dirençli saf altın ile 24 ve 18 ayar altın alaşımlarının sertlik (HV) değerlerinin karşılaştırılması (Nishio, 1996).....	8
Çizelge 2.5	Ayarlarına göre altın alaşımlarının saflıkları (Emre, 2000).....	9
Çizelge 3.1	Altın alaşımlarında bazı katkı ve empürite elementlerin etkileri (Emre, 2000).....	10
Çizelge 5.1	Renkli altın alaşımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri (Emre, 2000).....	31
Çizelge 5.2	22 ayar sarı altın alaşımının mekanik özellikleri (Johnson Matt. Ltd., 1990).....	34
Çizelge 5.3	22 ayar koyu sarı altın alaşımının mekanik özellikleri (Johnson Matt. Ltd., 1993a).....	37
Çizelge 5.4	21 ayar sarı-pembe altın alaşımının mekanik özellikleri (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a).....	40
Çizelge 5.5	21 ayar pembe altın alaşımının mekanik özellikleri (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b).....	42
Çizelge 5.6	21 ayar kırmızı altın alaşımının mekanik özellikleri (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c).....	45
Çizelge 5.7	18 ayar standart sarı altın alaşımının mekanik özellikleri (Métaux Précieux SA Metalor, 1990).....	48
Çizelge 5.8	18 ayar açık sarı altın alaşımının mekanik özellikleri (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b).....	51
Çizelge 5.9	18 ayar pembe altın alaşımının mekanik özellikleri (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a).....	55
Çizelge 5.10	18 ayar kırmızı altın alaşımının mekanik özellikleri (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b).....	58
Çizelge 5.11	14 ayar standart sarı altın alaşımının mekanik özellikleri (Degussa AG, 1990).....	62
Çizelge 5.12	Beyazlaştırıcı etkisi olan elementlerin özellikleri (Emre, 2000).....	67
Çizelge 5.13	Beyaz altın alaşımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri (Emre, 2000).....	69
Çizelge 5.14	Yüksek paladyum içerikli 18 K alaşımların bazı özellikleri (Emre, 2000).....	71
Çizelge 5.15	Dökme altın alaşımları (Aras, 1996).....	75
Çizelge 5.16	Alaşımların katılaşma ve sıvılaşma sıcaklıkları (Aras, 1996).....	76
Çizelge 5.17	18 ayar dövme altın alaşımları (Aras, 1996).....	78
Çizelge 5.18	14 ayar dövme altın alaşımları (Aras, 1996).....	79
Çizelge 6.1	Alçı dökümün işlem adımları (Faccenda, 1995a).....	81
Çizelge 6.2	Kalıp kalınlığına uygun düşen süreler (Aras, 1996).....	83
Çizelge 6.3	CNR araştırması (Faccenda, 1995a).....	99
Çizelge 6.4	İngot kalınlığı toleransları (Aras, 1996).....	108
Çizelge 6.5	Dökümlerde oluşan hataların istatistiksel dağılımı (Faccenda, 1998).....	116
Çizelge 6.6	Değerli taşların yerinde dökümünün avantajları ve dezavantajları (Grimwade, 1997).....	121
Çizelge 7.1	Bazı 18 ayar altın alaşımları üzerinde ısı işlemin etkisi (Grimwade, 1994a).....	127
Çizelge 7.2	Bazı 14 ayar altın alaşımları üzerinde ısı işlemin etkisi (Grimwade, 1994a).....	128
Çizelge 8.1	Sülfür içeren alaşımların bileşimleri (ağırlık %) (Ott ve Raub, 1992a).....	145
Çizelge 11.1	Para üretiminde kullanılan alaşımlar (Emre, 2000).....	197
Çizelge 11.2	Uygulama alanına göre kuyumculukta kullanılan altın alaşımları ve kullanım alanları (Emre, 2000).....	198
Çizelge 12.1	Çatlağın sağ kenarına ait kimyasal bileşim.....	208
Çizelge 12.2	Çatlağın sol kenarına ait kimyasal bileşim.....	209
Çizelge 12.3	Çatlağın üst kısmının nokta analizi sonuçları.....	214

Çizelge 12.4	Çatlağın üst kısmının çizgi analizi sonuçları.....	212
Çizelge 12.5	Çatlağın üst kısımdaki yakın bölgenin analiz sonuçları.....	215
Çizelge 12.6	Çatlağın üst kısımdaki uzak bölgenin analiz sonuçları.....	216
Çizelge 12.7	Çatlağın alt kısmının nokta analizi sonuçları	217
Çizelge 12.8	Çatlağın alt kısmının çizgi analizi sonuçları	218
Çizelge 12.9	Çatlağın alt kısımdaki yakın bölgenin analiz sonuçları	221
Çizelge 12.10	Çatlağın alt kısımdaki uzak bölgenin analiz sonuçları	222
Çizelge 12.11	Vickers sertlik değerleri	223



ÖNSÖZ

Altın alaşımlarının dökümü, alçı kalıba döküm yöntemi ile yapılmaktadır. Döküm sonrasında, yüzeyde bir çok hata ile karşılaşmaktadır. Bu çalışmada, altın alaşımlarının dökümünde yüzeyde meydana gelen hatalar incelenmiş olup, çalışma genelinde konunun ilerleyişi, altının genel özellikleri, alaşım elementleri ve etkileri, altın alaşımları ve altının kullanım alanları, altın alaşımlarının dökümü ve yüzeyde oluşan hataların çeşitli deneyler yapılarak incelenmesi başlıkları altında toplanabilir.

Çalışmamda beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Serdar Küçükkaragöz'e; yardımlarıyla bana destek olan hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa Çiğdem'e; deneysel araştırmaların ilerlemesini sağlayan Uzman Polat Topuz ve Teknisyen Şevki Şahin'e; şartlar ne olursa olsun desteklerini ve güvenlerini yanımda bulduğum ailem ve dostlarıma teşekkürü bir borç bilirim.



ÖZET

Altın, doğada çok yüksek saflıkta bulunan ve renginden kolayca tanınan bir metal olup, alışılmamış bir süneklığe ve korozyon direncine sahiptir. Altın ve altın alaşımları genellikle hassas döküm (kayıp mum tekniğı) tekniğı kullanılarak üretilmektedir. Birbiriyle sıkı bir şekilde ilişkili olan işlem adımları, yöntemin zorluğunu ortaya koymaktadır. Eğer adımlardan biri doğru gerçekleştirilmezse, modern ve gelişmiş cihazlar kullanılmasına rağmen ortaya çıkan ürün hatalı olabilir.

Para yapımında, kuyumculukta, elektronik ve haberleşmede, dişçilik ve tıp alanında kullanılmaktadır. Kuyumculukta kullanılan altın alaşımları, genel olarak renkli ve beyaz altın alaşımları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Bu çalışmada, 14 ayar altın alaşım numunelerinin mekanik özellikleri ve mikro yapıları incelenmiştir. Numunelerin sertlikleri, Vickers sertlik ölçme yöntemiyle; mikro yapıları, optik mikroskobundan alınan mikro yapı fotoğraflarıyla incelenmiştir ve EDX analizi ile alaşımların bileşimleri tespit edilmiştir. Ayrıca sarı altın alaşımında rastlanan bir çatlak hatasının oluşmasına neden olabilecek faktörler incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar ile, numune yüzeylerinde var olan hatalar ilişkilendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Altın, sarı altın alaşımları, beyaz altın alaşımları, kayıp mum tekniğı, döküm hataları.

ABSTRACT

Gold occurs in nature as a highly pure metal and is treasured because of its colour, its extraordinary ductility, and its resistance to corrosion. Gold products and its alloys are usually produced by investment casting (lost wax casting). Investment casting is a difficult process which the difficulties arise from a high number of sequential process steps. If one of the steps is not correctly carried out, the final result cannot be satisfactory even when modern and sophisticated equipment are used.

Gold is used in making coins, in jewellery, electronic and telecommunication, medicine and dentistry. Alloys used in jewellery are divided into two groups namely the coloured gold alloys and white gold alloys.

In this study, 14 carat gold alloy samples are examined. The mechanical and microstructural properties of the samples are determined. The hardness of the samples are measured with Vickers hardness equipment; the microstructure examined with optical microscope and the alloy composition determined with EDAX. Also, a crack defect present in the yellow gold alloy is examined and the factors which cause this crack are studied.

The relation between the mechanical properties and the microstructural characteristics in connection with the experimental results and the defects found on the sample surfaces are discussed.

Keywords: Gold, yellow gold alloys, white gold alloys, lost wax casting, casting defects.

1. GİRİŞ

Altın doğada çok nadiren saf olarak bulunur. Bulunan en büyük ve yüksek kalitedeki külçe altın 60 cm uzunluğunda ve 30 cm genişliğinde olup, %98.66 saflıktadır. Genellikle gümüş ve bazen de diğer metalleri ihtiva eder. Gümüş oranı yüksek olduğu takdirde mineral 'Elektrum' diye adlandırılır. Bu mineral sarı veya beyaz renktedir. Doğal altın ve elektrum arasında önemli bir mineralojik farklılık yoktur. Optik özellikleri ve kristal yapıları birbirlerine benzemektedir. Elektrum, Yunanlılar ve Romalılar tarafından genellikle süsleme ve para yapımında kullanılır. Çok ender, sahalarda, altın cıva ile birlikte tabi amalgam halinde bulunur. Tabiatta mevcut bulunan ikinci önemli bileşiği 'Kalaverit' (altın tellür) olup, bu bileşik %43 altın içermektedir. Diğer bileşikler, 'Silvanit ve Petzit'dir. Altına genellikle tabiatta alüvyonlu yataklarda kumla karışmış parçacıklar olarak ve kuvars kayalar içerisinde dağılmış ince damarlar arasında rastlanır (Grimwade, 1985; Rose ve Newman, 1986; Yannopoulos, 1991; Aras, 1996).

Saf altın, parlak sarı, yumuşak ve kolay işlenebilir bir metal olup, ısıyı ve elektriği yüksek derecede iletir. Altın mikrometre düzeyinde inceltilebilir, yassılaştırılabilir. Tel ve levha haline getirilebilir. İyi bir yansıtıcıdır, sülfürlenmez, oksitlenmez, kararmaz, paslanmaz ve leke tutmaz. Kızıl ötesi radyasyonu yansıtır. Altın alaşımlarının gösterdikleri özellikler ise ayarlarına göre farklılıklar gösterir. Örneğin, 14 ayar altın, 22 ayar altına göre çok daha serttir.

Kuyumculukta kullanılan altın alaşımları genel olarak renkli ve beyaz altın alaşımları olmak üzere iki gruba ayrılmakta, renkli altın alaşımlarının üretiminde Au-Ag-Cu üçlü sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemde sarı, kırmızı ve yeşil altın alaşımlarının üretilmesi mümkün iken, özellikle düşük ayarlardaki beyaz altın alaşımlarının üretilmesi mümkün değildir. Beyaz altın alaşımlarının üretiminde beyazlaştırıcı element olarak nikel ve paladyum kullanılmaktadır (Emre, 2000).

Kayıp mum döküm tekniği bir kopya çıkartma işlemi olup, mücevher endüstrisinde kullanılmakta olan en yaygın yöntemlerden biridir. Kayıp mum tekniğinde, kullanılan yöntemler, malzeme ve araçlar sürekli güncellenmekte ve değişmektedir. Altın, mücevher üretiminde birçok işlem değişkeninin etkisine maruz kalır. Bunun sonucunda dökümde çeşitli hatalar ortaya çıkmaktadır. (Schaler, 1994; Ott, 1995).

Kayıp mum döküm yöntemi altı işlem adımından oluşmaktadır. Bu adımlar, kısaca şu şekilde sıralanabilir: tasarım ve ana modelin hazırlanması, kalıbın yapılması, mum model hazırlanması, mum ağacın monte edilmesi, kalıbın doldurulması, mumun eritilmesi ve

pişirilmesi. Son olarak da döküm işlemi gerçekleştirilmektedir.

Altın takı üretiminin kendine özgü problemleri ve kusurları vardır. Öncelikle bir takının dış görünümü mükemmel olmalıdır. Bu yüzden fiske oluşumu veya diğer yüzeysel bozuklukların oluşumu önlenmelidir. İstatistiksel değerlendirme sonuçlarına göre hataların %50'si yüzeysel bozukluklar olup, bu hataların %80'inin sebebi dökümden ileri gelmektedir (Ott, 1995).

Altının kullanıldığı alanlar çok çeşitlidir. En başta kuyumculuk sektöründe, sikke altın yapımında, dişçilikte, fotoğrafçılıkta, elektronik sanayisinde, saat yapımında, ısı yalıtımlı pencere camlarının yapımında, jet motor parçalarını birleştirme işlerinde, porselen ve camı ürünlerin dekorasyonunda, saray ve kitap süslemeciliğinde gerek saf ve gerekse alaşımlar halinde kullanılmaktadır.



2. ALTININ GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1 Altının Fiziksel Özellikleri

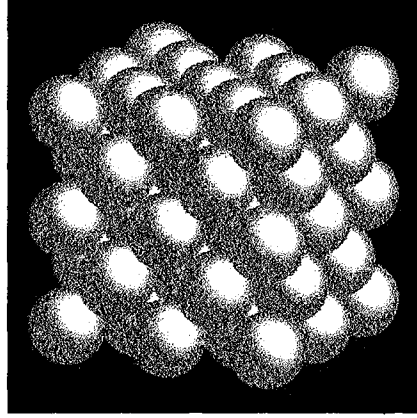
Altın atomu çekirdeğinde 79 proton, 118 nötron ve çekirdeğinin çevresinde 79 elektron vardır. Periyodik tabloda IB gurubunda bakır ve gümüş metalinin altında yer almaktadır (Emre, 2000). Çizelge 2.1’de altına ait temel bazı fiziksel özellikler verilmektedir.

Çizelge 2.1 Altının fiziksel özellikleri (Emre, 2000)

Özellik	Değer
Atomik ağırlık	196.9665
Ergime sıcaklığı, [°C]	1064.43
Kaynama sıcaklığı, [°C]	2808
Atomik yarıçap, [nm]	0.1422
Kristal yapısı	YMK
Elektron dağılımı	5d ¹⁰ 6s ¹
Latis sabiti, [nm]	0.2878
Yoğunluk, 273 K, [g/cm ³]	19.32
Sertlik, Brinell (10/500/90), [kgf/mm ²]	25
Elastisite modülü, 293 K, [N/mm ²]	7.747x10 ⁴
Poisson oranı	0.42
Uzama, [%]	39-45
Sıkıştırılabilirlik, 300 K, [Pa ⁻¹]	6.01x10 ⁻¹²
Füzyon ısısı, [J/mol]	1.268x10 ⁴
Buharlaşma ısısı, 289 K, [J/mol]	3.653x10 ⁵
Buhar basıncı, 1000 K	5.5x10 ⁻⁸
1500 K	8.5x10 ⁻²
2000 K	82
2500 K	4.9x10 ³
3000 K	7.1x10 ⁵
298 K’de spesifik ısı, [J/(g.K)]	1.288x10 ⁻¹
Termal iletkenlik, 273 K, [W/(m.K)]	311.4
273-373 K’de Termal genleşme, [K ⁻¹]	1.416x10 ⁻⁷
Elektriksel direnç, 273 K [Ω.cm]	2.05x10 ⁻⁶
Termal direnç sabiti 273-373 K, [K]	4.06x10 ⁻³
298 K’de entropi, [J/K]	47.33

Altın, parlak, sarı, yumuşak ve işlenebilir bir metaldir. Özellikleri arasında korozyon direnci, sülfürlenmeye ve oksitlenmeye karşı direnç, iyonlaşma serbestliği, belirli özellikleri geliştirmek için diğer metallerle kolay alaşım yapabilmesi, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği sayılabilir (Saygınar, 1993).

Altın, gümüş ve bakır, katı durumda yüzey merkezli kübik kristal yapıya sahiptirler (Rose ve Newman, 1986; Grimwade, 1994a).



Şekil 2.1 Altının kristal yapısı (www.webelements.com)

Yüksek termal ve iletkenlik katsayısına sahip olan altının tek doğal izotopu, ^{197}Au olmakla birlikte yapay olarak üretilmiş (^{185}Au , ^{203}Au , vb.) 19 izotopu vardır. Bu izotoplar radyoaktif olup, yarılanma süreleri birkaç saniye ile 199 gün arasında değişmektedir.

Saf altın ve birçok altın alaşımları manyetik özellik göstermemelerine rağmen, altın-manganez alaşımları az da olsa manyetik özellik gösterirken, altının demir ve kobalt ile yaptığı alaşımları ise ferromagnetik özellik göstermektedir (Yannopoulos, 1991; Metals Handbook).

Altındaki renk değişiminin sebebi, ışın yansımından kaynaklanan dalga boyundaki (λ) ani değişimdir. Yansıtma, görünür ışık spektrumunun mor ötesi ucuna doğru yani mavide düşmekte ($\lambda \leq 500$ nm) ve spektrumun kırmızı ötesine doğru (500-1200 nm) artmaktadır. Yansıtma özelliğindeki bu değişim, altın atom yapısının doğal elektron dizilimine bağlı olarak değişir (Grimwade, 1985).

İyi bir ısı ve elektrik iletkeni olan altın yumuşak ve çok sünek bir metaldir. Dövülmeye ve haddelenmeye elverişli metaller arasında ilk sırayı alır. 10 gram ağırlığında bir altın parçası, 11 m^2 kadar bir alanı kaplayacak şekilde dövülebilir (Brady ve Clauser, www.webelements.com).

Altından yarı saydam olacak kadar ince film ve kaplama yapmak mümkündür. 100 nm kalınlığında altın varaklar ve 5-40 nm kalınlığında ince filmler, ışık geçirebilmektedir. Biriktirilmiş altın filmler çeşitli renkteki ışıkları geçirirler ve kırmızı ötesi yayınlarını yansıtırlar. Bu geçirim ve yansıtma özellikleri altının bir cam üzerine ince bir şekilde

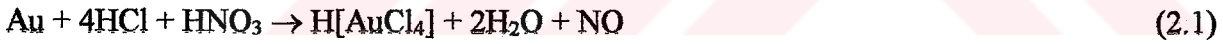
biriktirilmesini ve ofis, araba, optik filtre, güneş enerji kolektörü ve ısı reflektörü şeklinde kullanımlarını uygun kılar. Nispeten altının yüksek elektrik iletkenliği ile mükemmel korozyon ve kararma dayanımı birleştiğinde, düşük voltajlı katı hal hücrelerinde elektrik kontak malzemeleri olarak kullanılabilceği görülür (Grimwade, 1985).

2.2 Altının Kimyasal Özellikleri

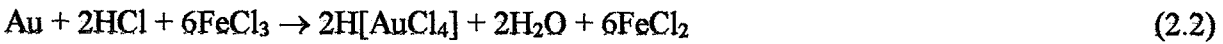
Altın, standart elektrot potansiyeli ($\text{Au}/\text{Au}^+ E^\circ=1,68\text{V}$, $\text{Au}/\text{Au}^{+3} E^\circ=1,50\text{V}$) daha pozitif bir değere sahip olduğundan soy bir metaldir.

Altın, doğadaki kimyasal aşınmaya gösterdiği kuvvetli dirençten ötürü aşınmaz bir metal olarak adlandırılır. Altın nemli ya da kuru atmosferlerden hiç etkilenmez ve yüksek sıcaklıklarda bile hava ya da oksijenle tepkimeye girmez. Bu nedenle altın genellikle serbest metalik halde veya bir miktar gümüş içeren bileşikler halinde bulunur (Yannopoulos, 1991; Brady ve Clauser).

Altın sülfürik asit (H_2SO_4), hidroklorik asit (HCl) ve nitrik asit (HNO_3) dahil bir çok asitte çözünmez. Bu özelliği sayesinde, bazı arıtma işlemleri ya da pota ayarı gibi işlemlerin son kademelerinde gümüşün ergimesi sonucu ikisi birbirinden ayrılır. Öte taraftan saf altın, “kral suyu”nda eriyerek (3:1 oranında, konsantre HCl ve konsantre HNO_3) altın klorür çözeltisi verir (Reaksiyon 2.1) (Rose ve Newman, 1986; Aras, 1996; www.webelements.com).



Çözücü sisteminde, aktif bir oksidan ve ligand oluşturacak iyon varlığında da altın benzer bir şekilde kompleks iyon halinde çözünmektedir (Reaksiyon 2.2).



Ayrıca altın, oksijen ve sülfürle, herhangi bir sıcaklıkta reaksiyona girmeyen tek metaldir. Sadece yüksek sıcaklıklarda tellür ile reaksiyona girmektedir (Reaksiyon 2.3).



Ergimiş alkali hidroksitler, hava veya diğer oksidasyon maddeleri olmaksızın altını etkilemezler. Halojenlerde olduğu gibi altın, bromürlerle de oda sıcaklığında ekzotermik bir reaksiyon vermektedir (Reaksiyon 2.4) (Yannopoulos, 1991; Aras, 1996, www.webelements.com).



Bazı özel şartlarda, altın, eriyik klorin gazı ihtiva eden klorit çözeltileri ve siyanür çözeltilerinde erir.

Bugün mücevher endüstrisinde, altın kaplama ve elektro parlatma banyolarının büyük bölümünde siyanür uygulaması görülür. Siyanür çözeltileri aynı zamanda metalografik altın ve altın alaşımında numunelerin mikroskopik inceleme öncesinde asitle yıkanmasında kullanılır (16b).

Çizelge 2.2’de çeşitli altın alaşımlarına ait ötektik ve peritektik bileşimler verilmektedir (Emre, 2000).

Çizelge 2.2 Ötektik ve peritektik bileşimler (Emre, 2000)

Alaşım	Ötektik (°C)	İkinci metalin %’si	Peritektik (°C)	İkinci metalin %’si
Au-Bi	241	82		
Au-Cd	625	25		
Au-Co	990	10		
Au-Cr			1160	21
Au-Fe			1168	40
Au-Ge	356	12		
Au-Ni	950	17.5		
Au-Pb	215	85		
Au-Sb	360	24		
Au-Si	370	6		
Au-Zn	642	15		

Genellikle kuyumculukta kullanılan altın, sertliğinin arttırılması ve değişik renk alternatifleri için alaşımlanır. Altın alaşımları çoğunlukla gümüş ve bakırla yapılır. Bu üç elementin bakır ağırlıklı alaşımına ‘kırmızı altın’; gümüş ağırlıklı alaşımına ‘yeşil altın’ adı verilir. Altın, nikel veya paladyumla alaşım yapılırsa ‘beyaz altın’ olarak isimlendirilir.

2.3 Altının Mekanik Özellikleri

Altın, gümüşten daha yumuşak, kalaydan daha serttir. Saf ve mekanik işleme tabi tutulmamış haldeyken çok yumuşaktır. Bu özellikleri nedeniyle kolayca çok ince levhalar ve tel haline getirilebilir. Mohs skalasına göre sertliği, 2.5; Vickers skalasına göre 40 HV’dir. Haddelenerek tavlanmış saf altının oda sıcaklığındaki çekme mukavemeti 131 MPa, elastiklik modülü 80 GPa ve şekil değişimi ise %45’tir. Çapı 10 µm’den küçük telleri soğuk olarak çekmek ve kalınlığı 0.2 µm olan folyoları döverek üretmek metaller içinde sadece altın için.

KÜLTÜR VE TURİZM BAKANLIĞI
KÜLTÜR VARLIKLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
DOKÜMANİSYON MERKEZİ

mümkündür. Altın, yüksek yoğunluğu nedeniyle iyi bir ısı ve elektrik iletkenidir. Altın yumuşaklığından ötürü çok yüksek parlatılabilirliğe sahiptir.

Tane boyutunun kontrol edilebilmesi amacıyla saf altın atmosferik ortamda 305°C sıcaklığında tavlanylabilir. Buna karşılık renkli altın alaşımları, bileşime bağlı olarak 500-700°C sıcaklıkları arasında tavlanylırken, tavlama sonrası yaşlanmayı engellemek amacıyla alaşıma su verilmektedir. İki ve üç fazlı altın alaşımlarının yaşlandırılması ise 260-315°C sıcaklık aralığında yapılmakla birlikte, alaşımın bileşimine göre 100-425°C sıcaklıklarında da yaşlandırma yapılabilmektedir. Yaşlandırma süresi 5 dakikayla 2 saat arasında değişmekte, artan yaşlandırma süresiyle de sertlik artmaktadır. Daha uzun yaşlandırma süreleri, aşırı yaşlanmaya bağlı olarak sertliğin düşmesine neden olmaktadır (Grimwade, 1992a; Metals Handbook).

Saf altının doğal özelliklerinden biri yumuşak olmasıdır. Bu nedenle, karmaşık şekillenmesi zordur. Saf altından yapılan takıların yüzeyleri kazınmaya ve zedelenmeye karşı çok hassastır. Sonuçta bu metalin takı olarak kullanımı sınırlanmıştır.

Yüksek dirençli saf altın, 24 ayar altın olarak da adlandırılabilir, fakat diğer 24 ayarlık altınla kıyaslandığı zaman sertlik ve mukavemetinde, açık üstünlükler görülebilmektedir. Yüksek dirençli saf altınlarla, diğer 24 ayar altın kullanılarak yapılması mümkün olmayan karmaşık şekillerin gerçekleştirilebilmesinin sebebi, artmış mukavemet ve sertlik değeridir.

Yüksek dirençli saf altın, diğer 24 ayar altına, bazı kimyasal elementlerin çok küçük miktarlarda eklenmesiyle elde edilmiş metallerdir. Sonuçta ortaya çıkan malzeme %99.90 saflıkta altındır ve 24 ayar kabul edilebilir. Çizelge 2.3'de, yüksek dirençli saf altın ile diğer 24 ve 18 ayar altın alaşımlarının mekanik özellikleri verilmiştir. İşlenmiş yüksek dirençli saf altının mukavemeti, diğer 24 ayar altına göre yaklaşık 3 kat daha fazladır. Eğer bu parçalar 350°C'de 30 dakika kadar tutulursa, bu oran 7 kata çıkar. Yüksek dirençli saf altın, 18 ayar altından yaklaşık %70 daha mukavemetlidir.

Çizelge 2.3 Yüksek dirençli saf altın ile 24 ve 18 ayar altın alaşımlarının mekanik özelliklerinin karşılaştırılması (Nishio, 1996)

	Yüksek dirençli saf altın		24 ayar saf altın(%99.99)		18 ayar saf altın
	Çekilmiş	Tavlanmış 350°Cx30dk	Çekilmiş	Tavlanmış 350°Cx30dk	Çekilmiş
Gerilme mukavemeti (Kgf/mm ²)	50.2	42.1	18.5	6.3	77.4
Uzama (%)	2.1	1.8	1.1	22.2	2.1

Yüksek dirençli saf altın ile 24 ve 18 ayar altın alaşımlarının karşılaştırmalı sertlik değerleri Çizelge 2.4’de verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü üzere, yüksek dirençli saf altın, 24 ayar altına göre neredeyse 2 kat daha serttir.

Çizelge 2.4 Yüksek dirençli saf altın ile 24 ve 18 ayar altın alaşımlarının sertlik (HV) değerlerinin karşılaştırılması (Nishio, 1996)

	Yüksek dirençli saf altın	24 ayar saf altın (%99.99)	18 ayar saf altın
Döküm hali	55	30	108
Çekilmiş hali	123	74	175

Yüksek dirençli saf altının özelliklerinden biri, işlendiğinde ve ısıtılma işlemine tabi tutulduğunda gerçek mukavemetindeki önemli artıştır. Bu sonuçlar, yüksek dirençli saf altından üretilmiş takıların, normal koşullar altında dayanıksızlaşmayacağını gösterir.

Bu alaşımların dökümü, normal atmosferde yapılırsa, gerekli sertlik ve gerilme mukavemeti değerlerine ulaşmak zorlaşmaktadır. Bunun nedeni, bileşimdeki kimyasal elementlerin işlem sırasında dışlanmalarıdır (Nishio, 1996).

2.4 Altın Ölçü Birimi

Alaşım içindeki altın miktarı milyem veya ayar sistemleriyle açıklanır. Milyem 1000 kısım alaşım içindeki altın miktarını gösterir. Şöyle ki, 800 milyem bir altının %800’nün saf altın ve %200’nün altın olmayan metallerden oluştuğunu gösterir.

Altının saflığı karat olarak da ifade edilir. Karat kelimesi Arapça’dan gelmekte olup, keçi boynuzu ağacı manasına gelmektedir. Keçi boynuzu tohumlarının benzer boyut ve ağırlıkta olmaları, Afrikalı ve Arap tüccarların bu tohumu altın tartmada kullanmalarını sağlamıştır.

Saf altın 24 ayar olarak kabul edilmiştir. 12 ayar altın alaşımında 12/24’ü altın yani %50’si altın olup, geri kalan %50’si diğer metallerden oluşur.

1973 yılında İngiltere’de Resmi Ayar Dairesi tarafından dört yasal standart belirlenmiştir. Bunlar; 916.6 saflık (22 Ayar), 750 saflık (18 Ayar), 585 saflık (14 Ayar) ve 375 saflık (9 Ayar) değerleridir (Grimwade, 1985; Saygıner, 1993; Emre, 2000).

Altın standartları ülkelere göre değişmekle beraber, Amerika ve ülkemizde 22, 18, 14 ve 10 ayar olarak belirlenmiştir. Ayarı en yüksek olan 22 ayar altın, madalyon, yüzük ve diğer mücevherlerin yapımında kullanılır. Madalyonlarda kullanılan altın, saf altına göre biraz daha

kırmızı renktedir. Bu tip altın içinde bir miktar bakır bulunur (Grimwade, 1985; Aras, 1996).

Çizelge 2.5 Ayarlarına göre altın alaşımlarının saflıkları (Emre, 2000)

Ayar	Saflık	Altın (%)
24	1000	100,00
22	916,6	91,66
20	833,3	83,33
18	750	75,00
15	622	62,20
14	585	58,50
12	500	50,00
10	416	41,60
9	375	37,50
8	333	33,30

3. ALTIN ALAŞIM ELEMENTLERİ

Altın tüm elementlerle alaşımlanabilir. Ancak bunlardan bazıları önemlidir. Altın alaşımları genellikle bileşenlerin eritilmesi ile hazırlanır (Rose ve Newman, 1986).

Özellikle kuyumculuk sektöründe kullanılan altın alaşımlarındaki standart elementler; Ag, Pd, Cu, Zn, Sb, As, Te, Si, Ir, Hg, Pb, Mg, Mn, Pt, Sn, Ni, Cr, Fe, Ti, Co, Cd, Bi, Rh olup yeni araştırmalarda bunlara ilaveten Ru, In, B ve P gibi elementlerin etkileri incelenmektedir. Çizelge 3.1’de alaşım elementlerinin altın alaşımlarındaki etkileri gösterilmektedir (Emre, 2000).

Çizelge 3.1 Altın alaşımlarında bazı katkı ve empürite elementlerin etkileri (Emre, 2000)

Element	Tane Küçültücü	Tane Büyütücü	Döküm özelliklerini geliştirici	Gevreklik	Sertliği Arttırıcı	Deoksidan
İridyum	A			I		
Rutenyum	A					
Silisyum		A	A	I		A
Kobalt	A				A	
Çinko			A			A
Kurşun				I		
Baryum	A					
Titanyum					A	
Kalsiyum	A				A	
Nadir toprak elementleri	A			I	A	
Galyum				I	A	
Bizmut	A					
Demir		A				
Bor	A		A			A
Fosfor				I		A
A: Bilinçli olarak ilave edilen elementler						
I: Empürite olarak bulunan elementler						

Alaşım elementlerinin altına ilavesi, metalin sertliğini ve mukavemetini arttırır. Alaşım metallerinden bazıları altının rengini fazlasıyla değiştirir ve metale kırılganlık verir.

Altının işlenebilirliğini azaltan elementler diğer taraftan altın takı üretiminin son aşamalarında mukavemeti, sertliği ve aşınma dayanıklılığını arttırmaktadır (Grimwade, 1994a).

Renk veren elementlerin miktarlarının değiştirilmesi ile değişik renkler elde edilir. İlave edilen metaller dökülebilirlik, tane boyutu, sertlik, korozyona karşı direnç, alaşım rengini, işlenebilirlik, maksimum mukavemet gibi özelliklere etki eder. Bu ilaveler, ayarlı altın

alaşımlarının özelliklerini iyi veya kötü şekilde etkiler (Saygınar, 1993; Aras, 1996).

Farklı alaşım rengi oluşturan kimyasal bileşimlerde şu elementler bulunur:

Sarı altın alaşımları: Altın, bakır, gümüş, çinko.

Beyaz altın alaşımları: Altın, bakır, nikel, paladyum.

Kırmızı altın alaşımları: Altın, bakır.

Yeşil altın alaşımları: Altın, gümüş.

Altın alaşımlarında kullanılan metallerin çok saf olması gereklidir. Pb, Sb, As ve Fe gibi zararlı metallerden çok az miktarda karışması bile altın alaşımlarının mekanik özelliklerini büyük ölçüde değiştirmektedir. Çok düşük ve çok yüksek ayarlı altın alaşımlarının %0.05 gibi düşük miktarlarda kurşun içermesi bile, işleme esnasında çatlamalara neden olmaktadır. Sıvı alaşımın katılaşması esnasında zararlı maddeler, tane sınırlarında birikirler. Bunlar düşük ergime sıcaklıkları bulunan fazlar oluşturur. Bu fazlar tavlama ve kaynak işlemleri sırasında eridikleri için çok fazla problem yaratırlar. Haddeleme yani soğuk işlem esnasında oluşan çatlaklar bu yabancı maddelerden kaynaklanır.

Alaşım imalinde kullanılan altın istenilen saflıkta değildir. Zararlı elementleri ihtiva etmektedir. Altın alaşımlarının imalinde kullanılacak altın en az 999.9 milyem saflıkta olmalıdır.

Zararlı elementler altın alaşımlarına şu şekilde karışmaktadır:

- Kullanılmış hurdalardan alaşım bünyesine girebilir.
- Altın alaşımına ilave edilen katkı maddeleri zararlı elementleri içerebilir.

Bu nedenlerden dolayı kullanılan altın, gümüş, bakır, nikel, paladyum ve çinko metalleri çok temiz ve saf olmalıdır. Tekrar kullanılacak altın alaşım hurdaları ise çok temiz olmalı, alçı kalıntılarını ihtiva etmemeli, mıknatısla manyetik malzemeler ayıklanarak temizlenmelidir. Geri dönen hurda malzemelerden, eritilecek toplam şarj miktarına azami %50 ilave edilmelidir (Aras, 1996).

Tane boyutunu küçültmek için ilave edilen elementlerin ne gibi etkilerinin olduğunu anlamak için bazı deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde 10 ve 14 ayar sarı altına deoksidasyon için silisyum ve bor eklenmiştir. Yapılan deneyler sonucu şu veriler elde edilmiştir:

- Kobalt, 10 ve 14 ayar alaşımın tane boyutunu küçültmektedir.
- İridyum sadece silisyum içermeyen alaşımlarda etkilidir. Silisyum, sert iridyum silikat

noktacıklarının oluşmasına yol açmaktadır.

- Sıvı metal ilavesinin arttırılması ve büzülmenin azaltılması sonucu kristalleşme oranı düzelmektedir.
- İnce metal kristal boyutu sonuçta, daha iyi yüzey cilası elde edilmesini sağlamaktadır (Grimwade, 1996b).

3.1 Gümüş

Özgül ağırlığı, 10 g/cm³; ergime noktası, 460.5°C'tir.

Parlak beyaz bir metal olan gümüş tüm altın alaşımlarında katkı elementi olarak kullanılır. Asıl işlevi alaşımın değişik renk tonlarında elde edilmesini sağlamaktır. Bunun yanında alaşımı sertleştirir, sıvılaşma ve katılaşma sıcaklıklarını azaltarak daha kolay ergitme ve dökme olanağı sağlar. Buharlaşma sıcaklığı çok yüksek olduğu için ergime esnasında kayıp vermez (Drost ve Haußelt, 1992; Aras, 1996).

Altın ve gümüş her oranda karışabilir ve aralıksız katı çözeltinin özellikleri her iki metalin özelliklerini de içerebilir.

Alaşımları homojen, dövülebilir, yumuşak ve sünektir. Neredeyse üniform bir bileşime sahiptirler. Fakat altın az da olsa ingotların iç tarafında birikme eğilimi gösterir. Çok az miktarlarda gümüş ilavesi altının rengini kaybetmesine neden olur. Bileşimdeki %20-40 Ag içeriği, alaşımın yeşil-sarı renge dönüşmesini; %50-60 Ag içeriği, alaşımın sarımsı beyaz renge dönüşmesini ve %60 Ag içeriği, alaşımın beyaza yakın bir sarı renge dönüşmesini sağlar. %60 ile %70 Ag içeriği, sarı rengin tamamen kaybolmasına neden olur. Gümüş-altın alaşımlarına nitrik asit ve sülfürik asit etki eder. Eğer alaşım %60-70 oranında Ag içeriyorsa gümüşün neredeyse tamamını çözer. %60'ın altındaki oranlarda ise altın içersinde çözünmeyen bir miktar gümüş kalır. Hidroklorik asit de, bu alaşımları etkiler (Rose ve Newman, 1986).

3.2 Bakır

Özgül ağırlığı, 8.93 g/cm³; ergime noktası, 1083°C'tür.

Altın alaşımlarında bakır en önemli alaşım elementidir. Bakır içeriğinin yükselmesi çatlak oluşma eğilimini düşürür ancak nikelin beyazlatma etkisi de azalmış olur. Bakır miktarı arttıkça alaşımın rengi kırmızılaşır, sertlik artar ve kopma mukavemeti artar.

Altına ilave edilen bakırda aranan özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Elektrolitik bakır olmalı, en az % 99,95 saflıkta olmalıdır.
- Kurşun, oksijen, çinko ve demir gibi zararlı elementleri içermemelidir.
- Küçük parçalar halinde olmalıdır.
- Yağdan, oksitten arınmış temiz bakır olmalıdır (Aras, 1996).

Bakır her oranda karıştırıldığı zaman ergimiş veya uygun bileşimli katı alaşımlar oluşturur.

Altın-bakır alaşımları, altına göre daha az dövülebilir, daha sert, daha elastik olurlar ve kırmızımsı tonlardadırlar. Bu alaşımlar %12'den daha az bakır içerdiklerinde daha kolay çalışma imkanı sağlar. Ancak bu oran arttığında bu alaşımlar sertleştiği için çalışılması çok daha zor olur. Şekil vermeyi kolaylaştırmak için bakır eklenmesi ise, ısı düşürmek için katılmış olan çinko ile tepkimeye neden olur.

Altın-bakır alaşımları, açık havada ısıtıldıklarında bakırın oksitlenmesi nedeniyle kararır. Oluşan bu oksit tabakasının yok edilmesi için metal parça seyreltik veya alkalin çözeltiye daldırılır ve saf altın renginin elde edilmesi sağlanır. Yapılan bu işleme parlatma işlemi denir. Isıtma sırasında oksidasyonun önlenmesi için, doğalgaz (buhar veya bütan gibi organik gaz) veya redükleyici (hidrojen, kömür gazı) atmosfer kullanılmaktadır. Borik asit macunu da kullanılabilir. Burada sadece oksidin oluşması önlenmez, taneler arasına oksidin penetre olması da önlenir.

Bu alaşımlar yaşlandırmaya gerek duymaksızın yüksek dövülebilirliğe sahiptirler. Süneklik, kararlılığa bağlı olup, sertlikle daha az ilgilidir. Yaşlandırılmış altın alaşımları ortodontik alanda kullanım yeri bulmaktadır.

Genelde altın alaşımları 650-700°C arasında birkaç dakikada yaşlandırılırlar. Yüksek sıcaklıklara çıkıldığında metalin yanma riski bulunmaktadır. İç gerilmelerin önlenmesi için ısıtmanın gerekli hassasiyette ve üniform olarak yapılması gerekir. Yaşlandırmanın sayısı alaşım bileşimine ve uygulanacak işleme göre değişir (Rose ve Newman, 1986; Normandeau, 1996).

3.3 Çinko

Özgül ağırlığı, 7.14 g/cm³; ergime noktası, 419.5°C'tir.

Çinko, altın-gümüş-bakır alaşımlarında ergime aralığını düşüren bir element olarak bilinmektedir (Ott, 1996).

Kaynama sıcaklığı düşük olduğu için altın alaşımlarının ergitilmesi esnasında bir hayli kayıp verir. Çinko kaybı ayar yükselmesine neden olur. Ergimiş altın alaşımlarının yüzeyi hava ile temas ettiği ve alaşım sıcaklığının yüksek olduğu hallerde çinko kaybı fazladır.

Altın alaşımlarının rengini ayarlama da kullanılması yanı sıra ergitme esnasında altın alaşımı içinde çözünen oksijeni alarak zararlı etkisini yok eder. Çinko, altın alaşımının dökülebilirlik, işlenebilirlik ve akışkanlığı arttırmada önemli rol oynar. Sıvı alaşımın gaz emmesini azaltır ve yüzeyi düzgün dökümlerin elde edilmesine yardımcı olur.

Altın alaşımı yapımında saf çinko metali kullanılmasının yerine, bakırla alaşım yapılarak kullanılır. Altın alaşımlarında bakır-çinko alaşımları %63 Cu-%37 Zn ve %70 Cu-%30 Zn tercihen kullanılmaktadır (Rose ve Newman, 1986; Aras, 1996).

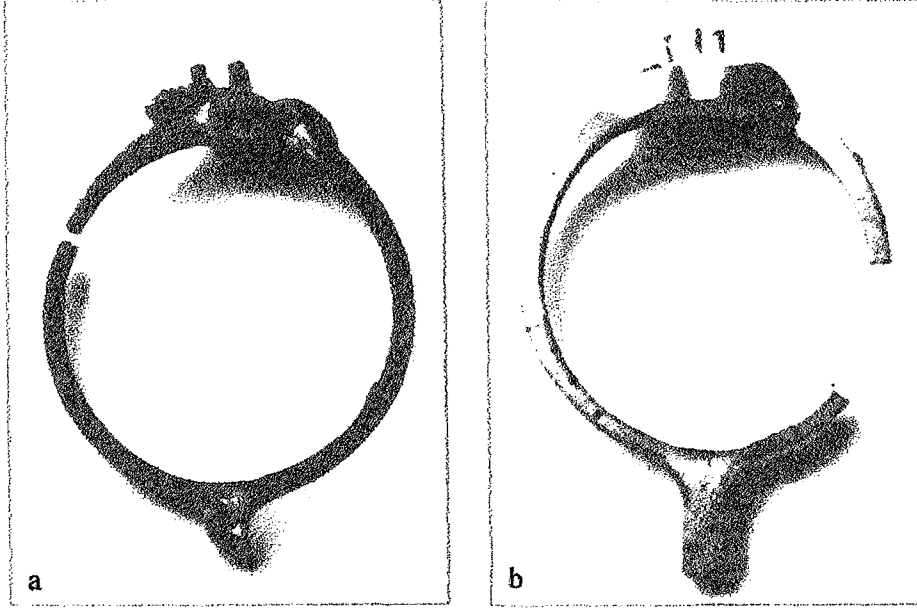
Ayrıca çinkonun bir özelliği, çinko oksidin nispeten yüksek kararlılığa sahip olmasıdır. Bu nedenle, %0.5 civarındaki çinko katkıları sarı altın alaşımlarının oksijenini çıkarmada kullanılmaktadır.

Ergitme sırasında, metalin yüksek buhar basıncı ve oksijene karşı afinitesinden dolayı, alaşımdan fazla miktarda çinko kaybı ortaya çıkar; bu nedenle de hurda malzemesinin mücevher üretiminde kullanımı sınırlanmış olur.

Çinko içeren altın alaşımlarında, yüzey gerilimleri azaltıldığı için, yüzeyler daha pürüzsüz, dendritik yüzey yapısı da daha azdır; bu yapı genellikle soy atmosferinde dökülmüş ağır parçalarda görülür. %2 çinko içeren 18 ayar sarı altın alaşımının yüzey pürüzlülüğü, çinko oranı %1-2 düşürüldüğünde, fark edilir bir azalma göstermektedir. Aynı etkiler 14 ayar alaşımlarda da gözlenmektedir.

Yüksek çinko kayıpları ancak hacme oranla yüzeyin geniş olduğu durumlarda ortaya çıkar. Çok az miktarda alaşımlar eritilirken bile kayıplar olabilir. %2'ye kadar çinko içeren altın alaşımlarını, buharlaşmayla önemli ölçüde çinko kaybı olmadan kısmi gaz basıncı altında ergitmek ve dökmek de mümkündür.

Döküm hava temasıyla yapıldığında, soğutma sırasında döküm yüzeyinde bakır oksit oluşur, ancak alaşımda bulunduğu taktirde çinko bu oksidi oldukça azaltır. Şekil 3.1'de havayla yavaş soğutma sonrası ve dağlama öncesi 14 ayar sarı altın dökümlerin yüzeyleri çinko katkılı ve katkısız olarak gösterilmiştir. Şekil 3.1.a'daki çinko içermeyen halkada önemli oranda oksitlenme olmuş, diğer taraftan Şekil 3.1.b'deki %2 çinko içeren halkanın yüzeyinde neredeyse hiç oksitlenme olmamıştır (Ott ve Raub, 1992a; 1992c; Ott, 1997).



Şekil 3.1 Çinkonun 14 ayar sarı altının yüzey oksidasyonu üzerindeki etkisi (Ott ve Raub, 1992a)

Araştırmalar, 14 ve 18 ayar sarı altın alaşımlarına yapılan %1-2 arası çinko katkılarının alaşımların döküm özellikleri ve kaliteleri üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir. Bu etkilerin daha da fazla olması için, döküm işlemi şöyle yapılmalıdır:

- Kalıp doldurma özelliği, soy gaz atmosferinde, statik döküm ile özellikle de küçük basınç farklarında yapılırsa daha da iyileşir. Dentritli yüzey yapısı azalır ve yüzey kalitesi daha da artar.
- Hava ortamında yapılan santrifüjlü dökümde, bazı durumlarda ve hurda malzeme kullanıldığında gaz fiskeinde azalma olur. Havada soğutma sayesinde yüzey oksidasyonunun azalmasıyla, yüzey kalitesi de artar. Kalıp doldurma daha iyi gerçekleşir. Ancak döküm hava teması altında değil de soy gaz atmosferinde yapılırsa daha da iyi sonuç alınır (Ott ve Raub, 1992a).

3.4 Nikel

Özgül ağırlığı, 8.9 g/cm^3 ; ergime noktası, 1455°C 'tır.

Nikel, altın için mükemmel bir beyazlatıcı olduğu gibi, bakır ile birlikte kullanıldığında mekanik özellikleri, işlenebilirliği ve döküm özellikleri iyi olan bir alaşım eldesini mümkün kılan önemli bir alaşım elementidir. Etkili bir beyazlık için altın-bakır matriksine büyük oranda nikel ilave edilirse, alaşımın tavllanmış halinin bile sertliği çok yüksek olmaktadır.

Eğer tavlama koşulları çok dikkatli kontrol edilmezse, nikelce zengin alaşım ısıtma esnasında sıcak kırılabilirlik, soğuk işlem sırasında da yüzeyde pürüzlülük oluşmasına neden olur (Saygınar, 1993; Metals Handbook).

Altın alaşımının kimyasal bileşimine bağlı olarak %7'den fazla nikel ilave edilmesi halinde renk beyaza dönüşür.

Nikelin ergime noktası yüksek olduğu için, geç ergimektedir; bu nedenle de beyaz altın alaşımlarının yapımında kullanılan nikelin saf ve küçük ebatlarda olması gerekmektedir. Dolayısıyla nikel, bakır ve çinko gibi elementlerle ön alaşım yapılarak kullanılır (Aras, 1996).

Minimum ergime noktalı alaşımlardan daha fazla nikel içeren alaşımlar, su verme sırasında yavaşça soğutulurken nitrik asit ile kolayca reaksiyona girebilir (Rose ve Newman, 1986).

Nikele alternatif olarak kullanılabilen beyazlaştırıcı katkıları gümüş, paladyum, demir, çinko germanyumdur (Grimwade, 1994b).

Altın elektro kaplamasında alt tabaka olarak da kullanılır. Çünkü altın tabakanın sertlik ve dayanıklılığını artırır. Ama endüstri açısından çıkabilecek en büyük sorun, bazı insanların nikel alerjik olmaları ve ciltleriyle temas ettiğinde dermatitis adlı bir rahatsızlık geçirmeleridir. Bunun yanı sıra altın kaplama takılarda, altın kaplamadaki minik deliklerden açığa çıkan nikelde de aynı durum yaşanabilir (Grimwade, 1996a).

3.5 Paladyum

Özgül ağırlığı, 11.4 g/cm^3 ; ergime noktası, 1552°C 'tir.

%10-20 civarında paladyumun altın alaşımına ilavesi, altın alaşımının rengini beyazlaştırır. Etkin bir sertleştirici elementtir ve sünektir. %50 Au-%50 Pd dişçilik alaşımı olarak kullanılır. Gri renktedirler ve sünekliklerini yitirmişlerdir. Altın ve paladyum eş biçimli kübik yüzey merkezli devamlı seriler oluştururlar. %25 Cu-%5 Ag-%1 Ni-%69 Pd alaşımı korozyona karşı direnci ve kolay işlenme özelliği olması nedeniyle saat yapımında kullanılır (Rose ve Newman, 1986; Aras, 1996).

Özgül ağırlığı altın ve platinden daha küçüktür, dolayısıyla alaşımın birim hacim başına olan ağırlığını azaltır. Paladyum ilavesi, altın alaşımlarındaki gümüş lekelenmesini önlenmektedir (Drost ve Haußelt, 1992).

Paladyum alaşımlarının başlıca dezavantajları, yüksek maliyetleri ve kayıp mum dökümünde

daha pahalı teknikler gerektiren yüksek ergime noktalarıdır. Bu dezavantajları, kullanımlarını özellikle düşük ayarlı alaşımlarda oldukça azaltmaktadır. Bu yüzden araştırmalar birçok beyazlatıcı elementi kullanarak, paladyum içeriğini düşürmeye yöneliktir. Gelecekte %10'un altında paladyum içeren ve tatminkar renk ile işlenebilirlik özellikleri olan, alaşımların elde edilmesi mümkün gözükse de, mekanik özellik ve renk ile ergime noktası arasında bir bağlantı bulunmadan bu olanaksızdır. Çünkü düşük ergime noktaları olan metaller iyi beyazlatıcı değildir. Dolayısıyla bu alaşımların, kayıp mum tekniği açısından dezavantajları döküm özelliklerini geliştirerek ve kalıpla olan tepkimesini elverişli duruma getirerek azaltılabilir (Bagnoud vd., 1996).

3.6 Titanyum

Özgül ağırlığı, 4.5 g/cm^3 ve ergime noktası, 1730°C olan titanyum yüksek sıcaklıklarda oksijen ve azot ile reaksiyona girer; bu sebeple ergitme işleminin vakum altında yapılması gerekir. 990 milyem (23.76) Au-Ti alaşımı, yüzük yapımında rağbet görmektedir (Drost ve Haußelt, 1992; Aras, 1996).

3.7 İndiyum

İndiyum saf altının rengini pembeye dönüştürür ve altına cam gibi işlenebilirlik kazandırır. Düşük ayarlı alaşımlarda In ilavesi korozyon nedeniyle rengin kararmasını önlemektedir.

İndiyumun temel Au-Ni-Cu-Zn alaşımına katılması ise üretilmesi zor olan, çok yüksek oranda ayrılmış bir yapı yaratır. Isı düşüşü önemli ölçüdedir, beyaz renk korunur, ancak akışkanlık özellikleri zayıftır.

Ergime sıcaklığı düşük olan kaynak ve dişçilik alaşımlarının yapımında kullanılır. Ayarlı kaynak alaşımlarında, kadmiyumlu kaynak alaşımlarına tercih edilmektedirler (Aras, 1996; Normandeau, 1996; Emre, 2000).

3.8 Kadmiyum

Endüstride kadmiyum en çok ayarlı altın alaşımlarında kullanılır. Çünkü kadmiyum ergime düzeyini düşürüp, istenilen ergimiş metal özelliğini ve ısıtma özelliğini sağlar. Bu nitelikler iyi bir alaşımda aranan özelliklerdir. Bunun yanı sıra kadmiyum altın kaplamalarda kullanılabilir, çünkü elektrokaplamanın rengini etkiler.

Kadmiyum, ergime aralığını azaltması, akışkanlığı ve böylece ergimiş kaynağın birleştirme

aralığından akışını arttırması ve kaynak alaşımının renginin ayarlanmasında etkili olması özellikleri nedeniyle altın kaynak alaşımlarında kullanılmaktadır. Kadmiyumlu kaynak alaşımlarının yapımında elektrolitik saf kadmiyum kullanılmaktadır. Kadmiyumun göreceli olarak daha yüksek bir buhar basıncı vardır (Grimwade, 1995a; Grimwade, 1996a; Ott, 1996; Aras, 1996).

Altın-kadmiyum alaşımları nitrik asit ve seyreltik sülfürik asitte parçalanırlar ve kral suyunda çözünebilirler.

3.9 Antimuan

Altın, ergimiş antimuanda çok kolay çözünür. Isıtılmış malzeme içinde tutulan bir parça altın telin hızlıca çözeltiye karıştığı ve dairesel akıntı çizgileri oluşturduğu gözlenir. Küçük miktarda antimuan eklenmesi altının ergime noktasını nispeten düşürmekte ve macunumsu bir hale gelmesine neden olmaktadır. Ergimiş altın antimuan buharını absorbe ederek kırılğan bir hal alır (Grimwade, 1985; Rose ve Newman, 1986).

3.10 Arsenik

Bu alaşımlar, sert, kırılğan, parlak sarı veya gri renkte, kolaylıkla ergiyebilen ve çekmeyle biçimlendirilen alaşımlardır. Kral suyunda güçlükle çözünebilirler. Kızıl sıcaklıkta bulunan asılı altın diske etki ederek altının damlalar halinde ergiyebilen bir alaşımını oluştururlar ve bu suretle kalan altın disk dövülebilir ve arsenik içermez.

Bu alaşımlar altın-antimuan alaşımlarına benzemektedir.

3.11 Bizmut

Bizmut, alaşımlarda küçük miktarda bulunsa bile ticari altını gevrekleştirir ve kullanışsız hale getirir. En büyük etkisi altının sünekliliğini azaltmasıdır.

%0.25 bizmut içeren saf altın kırılğan olduğu için dövülemez ve haddelenemez. Ergimiş altın, bizmut buharını absorbe ederek gevrek hale gelir. Bütün alaşımlar segregasyona eğilimli olduklarından katılaştıkları esnada üniform bileşime sahip değildirler. Yavaş soğutulmuş numunelerin görünüşleri benzerdir ancak taneleri daha büyüktür. Çalışma sırasında kırıldıklarında çatlak tane sınırları arasından ilerler ve saf altının her bir tanesi dövülebilir olup, kolaylıkla altın varaklar haline getirilebilir.

Nadir olarak altınca zengin alaşımlar bizmutun beyaz rengine sahiptirler. Genelde altınca zengin alaşımlar parlak sarı veya gri renktedirler.

3.12 Tellür

Altın kristalleri içinde tellürün çözünürlüğü çok azdır ve altının mekanik özelliklerine etkisi çok büyüktür. Altına çok küçük miktarda (%0.025) tellür ilavesi alaşımlarda aşırı gevrekliğe neden olur ve bu alaşımlarla ticari olarak çalışmak imkansızdır.

3.13 Kalay

Saf altının katı çözelti içinde kabul ettiği kalay ağırlık yüzdesi, %5'dir. Küçük miktarlardaki kalay içeriği bu yüzden altının mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etki göstermez.

Az miktarda kalay altınla alaşımlandırıldığında altın sarı rengini kaybeder ve gri bir görünüm alır. Kalay miktarı fazla olan çoğu alaşımlar çok gevrekler ve altın kalay alaşımları ticari kullanıma uygun değildir. Buna rağmen böyle malzemeler kimyasal ortamlara karşı yüksek direnç gösterirler (Grimwade, 1985; Rose ve Newman, 1986).

Kalay, kaynak alaşımlarının yapımında kullanılır.

3.14 Silisyum

Metalik silisyum ayarlı altın alaşımlarında oksijen giderici olarak çok az miktarda kullanılmaktadır.

Alçı dökümlü ayarlı altın alaşımlarında akışkanlığı arttırmak ve pürüzsüz döküm yüzeyleri sağlamak için kullanılır. Fiziksel ve mekanik hatalar, tane boyutunda fazla artış ve yeniden kazandırma devresinde kontrolsüzlük gibi problemlerle karşılaşılabilir.

Alaşımdaki Au-Ag miktarı arttıkça, kırılma gözlenmemek suretiyle kabul edilebilir silisyum miktarı azalmaktadır. Kritik değerin altında sertlik artıp, kopma, gerilme ve işlenme direnci azalırken; kritik değerin üstünde ise, tel haline getirilebilirlik ile kuvvet azalmakta ve silisyum yüklü parçacıklar gözlenmektedir. Silisyum içeriği sayesinde tane boyutu büyümekte ve yüzey cilası gelişmektedir. Tüketildiğinden dolayı silisyum miktarı her yeniden kazanım sonrası oksijen değerleri artmış bulunsun da bu bir sorun teşkil etmemektedir.

Ayarlı altın alaşımlarına, belli özelliklerin pekiştirilmesi için silisyum eklenir.

Silisyumun 14 ayar altın alaşımlarına ilave edilmesi sonucunda parlak döküm yüzeyi elde edilir. Döküm yüzeyi büyütülerek incelendiği zaman, yüzeyin dendritik yapıda olduğu görülür. Bu durum yalnız kalın döküm parçalarında yüzey pürüzlülüğü oluşturur. Yüzük dökümlerinde döküm boşlukları çok az olmaktadır. Silisyum, altın alaşımlarında gevrekliğe neden olur ve çatlaklara yol açar. Bu nedenle silisyum ilavesinin asgari miktarlarda olmasına gerekli önem gösterilmelidir.

10 ayar altın alaşımları için, %0.15-0.35; 14 ayar altın alaşımları için, %0.09-0.12; 18 ayar altın alaşımları için, %0.05 silisyum miktarları önerilmektedir (Normandeau ve Roeterink, 1995; Grimwade, 1995b; Aras, 1996)

3.15 Kobalt

Özgül ağırlığı, 8.9 g/cm³; ergime noktası, 1492°C'dir.

Ayarlı altın alaşımlarının dökümünde ve tavlamasında tane küçültücü olarak kullanılır. Kullanım miktarı yaklaşık %0.40 civarındadır (Aras, 1996). Beyazlaştırıcı etkiye sahiptir. Ayrıca kobalt deoksitleyicilerle birlikte düşük çözünürlüklü fazlar oluşturur (Saygınar, 1993). Bu yüzden küçük miktarlardaki ilavelerinde tane küçültücü etkisi beklenmemelidir. Çok fazla kobalt ilavesi de çok ince taneli yapıya ve kobaltın kaba taneli segregasyonuna neden olur

Altın içersindeki koalt miktarının artması ile manyetiklik özelliği ilk başlarda süratli biçimde daha sonra yavaşça düşer. Altın alaşımlarına kobalt ilave edilmesi, alaşımları, nikel ilavesinden daha fazla gevrekleştirir (Rose ve Newman, 1986).

Kobalt içeren dökme altın alaşımları ergitildiği zaman sıvı alaşımın yüzeyi cürufu bir görünümündedir. Kobaltlı alaşım kalıp yüzeyini en fazla ıslatan alaşım olması nedeni ile kalıp doldurma özelliği ve döküm yüzey kalitesi kobalt içermeyen alaşıma göre çok üstündür. Tane boyutları 0.025-0.070 mm arasında değişmektedir. Döküm sertliği ve çekme mukavemeti bu alaşımlarda çok daha yüksektir. Alaşımdaki gümüş miktarı arttıkça, alaşımın mekanik özellikleri de artar. Gümüş, kobaltın altın alaşımlarındaki çözünürlüğünü önemli ölçüde düşürür. Bakır daha düşük miktarlarda da olsa aynı etkiyi göstermektedir.

3.16 İridyum

Özgül ağırlığı, 22.42 g/cm³; ergime noktası, 2443°C'tür.

Ayarlı altın alaşımlarında tane küçültücü olarak önemli derecede kullanılmaktadır.

Tane küçültücü etkinin görülmesi için iridyumun sıvı alaşım içerisinde homojen olarak dağılması ve iyi dağıtılmış çekirdeklerin katılma sırasında segregasyonu gerekmektedir. Bu iki gerekliliğin elde edilmesi için ilk olarak ilaveler alaşımlar halinde eklenmelidir. Bunun için bakır-iridyum alaşımı (iridyum içeriği %20'den az) kullanılabilir. Aynı zamanda iridyum ergimiş altın alaşımı içerisinde çözülebilir olmalıdır. Bu durum, düşük ayarlı alaşımlarda yüksek oranda bakır içeriğiyle mümkündür. 18 ayar ve daha yüksek ayarlı alaşımlarda ise bunun olabilirliği mümkün değildir. Belki de iridyumun sıvı altın ve gümüşteki çok az derecede çözünürlüğü en büyük faktördür.

İridyumun etkisiyle tavlama sıcaklığı yükselir. İridyum alaşımın işlenme kabiliyetini artırır. Fakat alaşım mukavemetinde hiçbir artmaya sebep olmaz. Tavsiye edilen iridyum miktarı %0.05'tir. %0.1 kadar çok eklenmesi, tane küçültücü etkiyi azalmaktadır. Diğer bir yandan silisyum içeren yüksek ayarlı alaşımlarda görülen tane kabalaşmasını önleyemez. Bunlardan da kötü ve kaba iridyum parçacıkları oluşabilir. Bu parçacıklar parlama davranışlarını çok olumsuz etkilerler. Bazı durumlarda malzemenin deforme olması, segregasyon çatlaklarının oluşması dahi söz konusudur. Bu örneklerden anlaşılacağı gibi tane küçültücüler eğer yüksek oranlarda kullanılırlarsa istenmeyen empüriteler gibi davranabilirler.

Bu element dövme ve dökme 14 ayar altın alaşımlarında tercihen kullanılmaktadır.

İridyum ilavesi yapılan 14 ayar altın alaşımlarının ergimesi sırasında sıvı metal yüzeyinde ince bir tabaka oluşur. Bu tabaka çok az borik asit ilavesi ile temizlenmelidir. İridyumlu alaşım alçı yüzeyini daha fazla ıslattığı için, kalıp doldurma özelliği ve döküm yüzey kalitesi çok daha üstündür. İridyum içeren alaşımlarla yapılan dökümlerde, döküm boşlukları çok düşük seviyelerdedir. Ayrıca alaşımın tane boyutu çok küçüktür. Yüzüklerin ince kesit kısımlarında tane boyutu %0.035-0.050 mm civarında olmaktadır. Bu tane boyutları soğuk şekillendirilmiş alaşımların tane boyutlarına yaklaşmaktadır. İridyumlu dökme altın alaşımları ile dökülen döküm parçalarının yüzeyleri çok daha temiz olduğu için parça yüzeyinin temizlenmesi daha az zaman ve işçilik gerektirir. İridyumlu alaşımların en önemli özelliği, iyi şekil alması ve daha az döküm hatasına sebebiyet vermesidir. Bu özelliklerinden ötürü kompleks küçük ve büyük ebatlardaki döküm parçalarının dökümünde tercihen kullanılmaktadır.

3.17 Rutenyum

Rutenyumun tane küçültücü etkisi iridyumun etkisine çok benzemektedir. %0.001-1 arasındaki konsantrasyonlarda ilave edildiğinde, tane küçültücü özelliği gösterirler.

Rutenyumun da fazla ilavesi parlama davranışını olumsuz olarak etkilemektedir. Bunun sebebi yine kaba taneli parçacıklardır. Rutenyum, iridyumda olduğu gibi bir rutenyum alaşımı olarak ilave edilmelidir. Homojen bir karışım olarak ergimiş alaşım içerisine yüksek sıcaklıkta katılmalı aynı zamanda malzemeyi gerekli bir süre zarfında sıvı olarak bekletmelidir. Ancak bu gereklilikler pratikte kolay olmayabilir. Bu yüzden rutenyum ilavesi bir çok durumda istenilen sonucu veremez.

İridyumla karşılaştırıldığında, rutenyumun sıvı altın içerisindeki çözünürlüğünün daha iyi olduğu görülebilir. Bu rutenyuma bir avantaj sağlamakla birlikte yüksek ayarlı altın alaşımlarına daha uygundur.

3.18 Bor

Özgül ağırlığı, 2.48 g/cm^3 ; ergime noktası, 2300°C 'dir.

Altın alaşımlarında tane küçültücü olarak kullanılırlar. Küçük taneli yapılar aynı zamanda işlenebilirliği ve döküm özelliklerini de iyileştirmektedir. Bor içeren alaşımlar sıvı haldeyken çok daha akıcı ve temiz olurlar. Bu tip alaşımların daha çok statik dökümde kullanılması faydalıdır. Bu alaşımlar kalıp yüzeyini daha az ıslatmasına rağmen, döküm yüzey kalitesi ve kalıp doldurma özelliği bor içermeyen alaşıma göre çok daha iyidir. Tavsiye edilen miktar, %0.001-0.018 arasındadır (Aras, 1996; Ott, 1997).

3.19 Cıva

Altının cıva içerisindeki çözünürlüğü çok düşüktür (%0.13). %16 cıvadan daha yüksek oranlarda cıva ve altın, katı çözelti oluşturur. Daha büyük miktarlardaki cıva içeriği Au_3Hg ve Au_2Hg gibi intermetalik bileşikler oluşturur (Yannopoulos, 1991).

Altın ve cıva birbirine temas ettiğinde, her iki metalin de oranlarına bağlı olarak, ortaya hamurumsu ya da sıvı, amalgam adı verilen bir karışım çıkar. Cıva nispeten düşük bir sıcaklıkta buharlaştığından, altın yüzüğü eski haline getirmek için bir çok kuyumcu yüzüğü ateş altında hafifçe ısıtır, ardından yeniden cilalar.

Cıva buharı son derece zararlı olduğu için kesinlikle solunmamalı ve bu tür işlemlerde her türlü önem alınmalıdır. İşlem çok iyi havalandırılan bir yerde, ideal olarak da davlumbaz altında (özel olarak havalandırılan bir kabinde) yapılmalıdır (Rose ve Newman, 1986; Grimwade, 1993a).

3.20 Platin

Yüksek ergime sıcaklığı olduğu gibi, altın içinde çözünürlüğü de azdır. Alaşım veya tuzları halinde ilave edilmelidir. İlave için tavsiye edilen miktarlar %0.003-0.2 arasında değişmektedir. Tane küçültücü olarak ilave edilmektedir (Aras, 1996).

En iyi beyazlaştırıcı etkiye sahip olan platin, iyi bir sertleştiricidir ve mukavemeti artırır. Altın ile birlikte alaşımın lekelenme ve korozyon direncini artırır (Metals Handbook). Her iki metalde kral suyunda çözünmektedir. Altın-platin alaşımları dişçilikte tel şeklinde ve bazı dolgularda kullanılmaktadır.

3.21 Kurşun

Çok küçük miktarda kurşun, altının gevrekliğini yüksek miktarda artırır. Bu olay %0.02 kurşun içeren altın para alaşımlarında sünekliğin aşırı düşmesi şeklinde görülmektedir. Saf altında %0.15 oranında kurşun içeriği, cüzi miktarda gevrekliğe sebep olmaktadır. Çok düşük miktarlarda kurşun içeriği bile yapıda heterojenliğe neden olmakta ki, bunun sonucunda süneklik ve çekme mukavemeti hızla düşmektedir. Kurşun buharı, bizmutta olduğu gibi altın tarafından absorbe edilerek, gevrek yapı oluşumuna neden olur (Grimwade, 1985 ; Rose ve Newman, 1986).

3.22 Magnezyum

Magnezyum, gaz gözenekliliği eğilimini arttırarak zararlı bir oksit tabakası oluşturur (Grimwade, 1997).

%18 magnezyum içeren alaşımlar, sarı rengini korur; ancak diğerleri gümüşü renktedir. %33-66 altın içeren alaşımlar gevrek olmakla beraber camsı kırılırlar. Pratik olarak bakıldığında altın ve magnezyum alaşımları çok az kullanılmaktadırlar (Rose ve Newman, 1986).

3.23 Demir

Demirin altın alaşımlarını beyazlatma özelliği iyidir. Hurda yoluyla yapıya giren demir, inklüzyonlara sebep olabilir. Altın içerisindeki çözünürlüğü düşük olduğundan, çökmesi durumunda alaşıma ferromanyetik karakter kazandırır ve korozyon olasılığını artırır. %10'dan daha fazla kullanıldığında sertliği çok fazla artırır ve soğuk işlenebilme kabiliyetini düşürür, döküm sırasında oksidasyon problemi oluşur (Saygınar, 1993; Metals Handbook).

%8-10 oranında demir içeren alaşımlar parlak sarıdır, çok sünekler ve güzel cilalanırlar. %15-20 oranında demir içeren alaşımlar ise sarımsı gri ve sert olmakla beraber çalışılması kolaydır. %25 oranında demir içeren alaşımlar, kuyumculukta da kullanılır. %75-80 oranında demir içeren alaşımlar ise gümüş beyazı renkte olup, güçlü manyetikler (Rose ve Newman, 1986).

3.24 Manganez

Manganezin yüksek oranlarda kullanılması paladyum içeriğini azaltmakla beraber soğuk işlem kabiliyetinde azalmaya ve gerilmeli korozyona neden olmaktadır. Yüksek oranlarda kullanıldığında (%10'dan fazla) reaktif olmasından dolayı uygulama sırasında güçlük yaratır (Emre, 2000).

3.25 Eser Miktardaki Diğer Elementler

Fosfor çok az miktarlarda ilave edildiğinde bile tehlike yaratabilir. Bazen korozyonu gidermek için küçük miktarlarda fosfor-bakır eklenir, ancak miktarın fazla olmamasına dikkat etmek gerekir, çünkü dökümün tane sınırlarında kalan bakır fosfat, gevrekleşmeye ve sıcak kırılganlığın artmasına yol açacaktır. Bunun dışında oksit giderici olarak da kullanılmaktadır.

Kalsiyum, alaşımsız altında sertleştirici olarak kullanılabilir. Bunun da sebebi büyük bir olasılıkla tane küçülmesidir (Grimwade, 1990a; Ott, 1997).

Zirkonyum, tane küçültücü olarak ilave edilir. Tavsiye edilen miktar %0.01-0.5'dir. Zirkonyum elementinin pratik olarak uygulanması henüz bilinmemektedir.

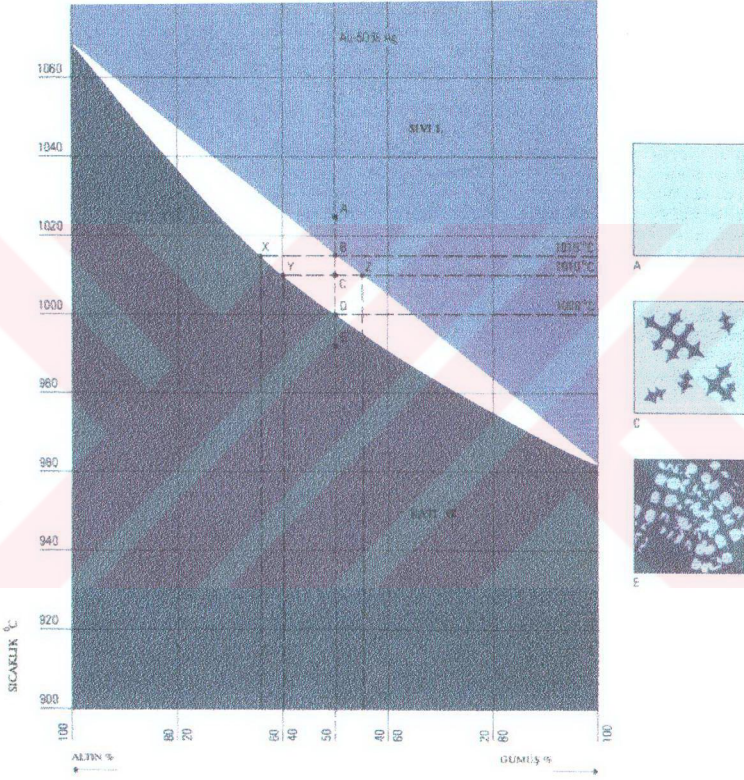
İndiyum ve kalay, düşük ve orta ayar altın lehim alaşımları için kullanılmaktadır.

Alaşımlama ergitme aşamasında yapılır. İşleme giren metallerin saf olması gerekir, çünkü Pb, As ve Sb gibi yabancı elementlerin az miktarda bile karışması çeşitli ayarlardaki altın alaşımlarının işlenebilirliğini olumsuz yönde etkiler (Grimwade, 1990a; Ott, 1996; Aras, 1996).

4. ALTIN ALAŞIMLARI İÇİN DENGE DİYAGRAMLARI

4.1 Altın-Gümüş Denge Diyagramı

Şekil 4.1’de gösterilen altın-gümüş faz diyagramı kullanılarak yapılan altın-%50 gümüş alaşımının katılaşma dizisi göz önüne alındığında, ayrışmanın oluşma nedeni anlaşılabilir.



Şekil 4.1 Au-%50 Ag alaşımının katılaşma dizisini gösteren altın-gümüş faz diyagramı (Grimwade, 1990b)

B noktasında sıvı metalin sıcaklığı sıvılaşma çizgisine düştüğünde (yaklaşık 1015°C), katılaşma başlar. Oluşacak ilk katının bileşimi –bu bileşim altın-%36 gümüştür– katılaşma çizgisi üzerindeki X noktasıyla gösterilmektedir. Böylece, %50 gümüşün sistemdeki

bileşimini korumak için, kalan sıvıdaki gümüş oranı kademeli olarak artmaktadır. Sıcaklık daha da (yaklaşık 1010°C'ye) düştüğünde, büyüyen dendritlerde toplanan katının bileşimi Y noktasında gösterilmektedir ve bunun kaynağı olan sıvı da Z noktasıyla belirtilmiştir. Son olarak sıcaklık D noktasında, yaklaşık 1000°C'ye düştüğünde, gümüş açısından zengin olan sıvı, dendritler arasında katılaşır. O zaman, dendrit kolları arasında bileşimi değişen ayrılmış bir yapı elde edilir. Bunlar merkezlerde altın açısından, uçlarda gümüş açısından zengindir (Grimwade, 1990b).

İki veya daha fazla sayıda metal beraber alaşım meydana getirdiklerinde, kristal yapı değişikliğe uğrayacaktır. En basit şekliyle, bir metalin kristal kafesindeki atomları ve alaşıma giren metal atomlarının göreceli büyüklüklerine göre kafes parametresinin küçülecek veya büyüyecek olmasına rağmen, alaşımı meydana getirecek diğer metalin atomları tarafından değiştirilebilir. Bu işlem, yer alan katı eriyik olarak bilinir ve gümüş, iki elemanlı altın-gümüş alaşımları elde etmek üzere, altına eklendiğinde meydana gelir. Buna ek olarak, %0'dan %100'e kadar olan bileşimlerdeki bütün gümüş alaşımlarında, altın atomlarının yerine gümüş atomları koymak mümkün olduğu için, altın-gümüş alaşım serisi oluşturur; bu işlem alaşımların ergime sınırına kadar olan bütün derecelerde olabilir.

4.2 Altın-Bakır Denge Diyagramı

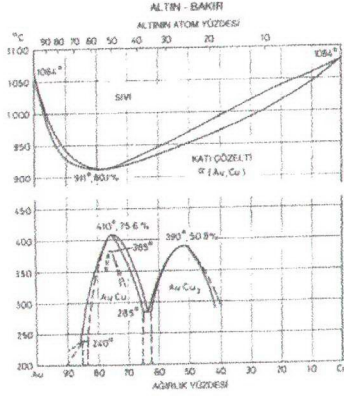
Altın-bakır alaşım sisteminde Au-Ag alaşım davranışı görülmektedir. Ancak katı eriyiklerin tam serisi yalnız 410°C'in üzerindeki sıcaklıklarda oluşmaktadır.

Altın-bakır sistemi için ikili denge diyagramı, Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Katı eriyiklerin tam serisi (α -fazı) 410°C'in üzerindedir; ancak 410°C'in altında, sistemde bulunan %50 atomik orandaki bakır, Au-Cu'da bir faz dönüşümü oluşturabilir; %75 atomik orandaki bakır ise Au-Cu dönüşümünü 390°C'in altında gerçekleştirir.

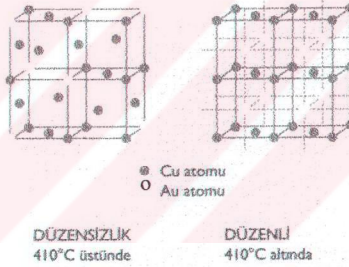
410°C'in üzerindeki yüksek sıcaklıklarda eşit sayıda altın ve bakır atomu, katı eriyiğin yüzey merkezli kübik kafesinde rasgele sıralanarak, düzensiz katı eriyik olarak bilinen şekli meydana getirirler. 410°C'nin altında bir dereceye yavaşça soğutuldukları zaman atomlar, bir difüzyon yoluyla kafeste yeniden yerleşerek düzenli aralıklı yerlerini alırlar (Şekil 4.3).

Altın ve bakır atomlarının büyüklüklerinin farklı olması yüzünden, düzenli yüzey merkezli kübik dizi, bir yöne doğru deforme olarak, yüzey merkezli tetragonal bir yapıya dönüşür. Kafesin bu deformasyonu, kayma düzlemlerinin yer değiştirmesini ve alaşımın deforme olmasını zorlaştırarak, düzenli yapının düzensiz yapıdan çok daha mukavim ve daha az sünek

olmasına neden olur.

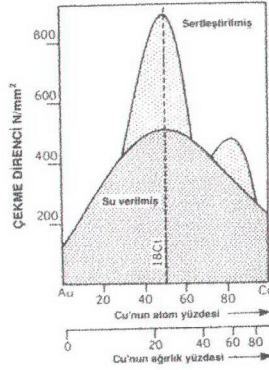


Şekil 4.2 Au-Cu sistemi için ikili denge diyagramı (Grimwade, 1994a)



Şekil 4.3 Düzensizden düzenliye dönüşüm (World Gold Council, 1997)

410°C'ın üzerinde su verme işlemi gerçekleştirilerek dönüşüm durdurulabilir. Bunu izleyen ve 150-300°C arasında gerçekleşen yaşlandırma, düzene girme reaksiyonunun önemli miktarda sertleşmeyle sonuçlanmasına yeterli olacaktır (Şekil 4.4). Sıralama, 1:1, 1:3 ve 3:1 gibi göreceli olarak basit atomik orana sahip atomlarda bulunur. Au-Cu sisteminde düzenli bileşikler AuCu, AuCu₃ ve Au₃Cu olarak tespit edilmiştir. Ağırlık olarak %50.8 Au olan AuCu₃, 9 ve 14 ayar kırmızı altın alaşımlarının arasında yer alır ve Au₃Cu bileşimi, ağırlık olarak %83 Au civarında yer alır. Ancak bu düzenli fazların hiçbiri, AuCu'nun oluşumuyla elde edilen mukavemet artışını sağlamaz.



Şekil 4.4 Au-Cu alaşımlarında düzenliliğin mukavemet üzerindeki etkisi (Grimwade, 1994a)

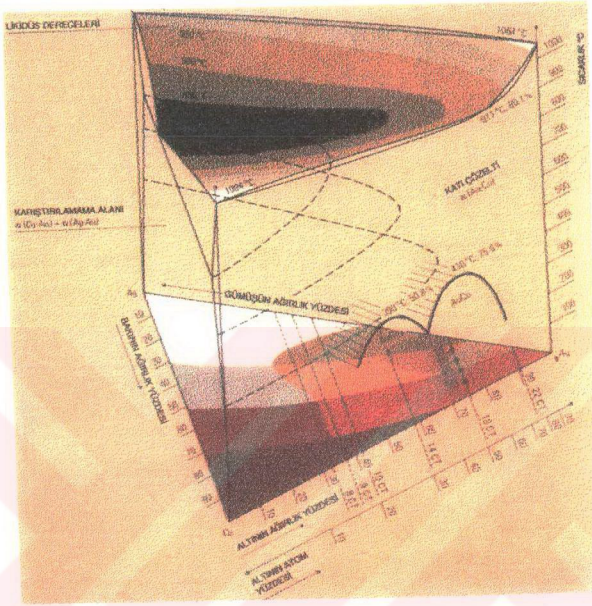
Anlatılan faz dönüşümleri, mukavemet veya sertleştirme derecesi, alaşımın bileşimine ve uygulanan ısıtıl işlemin şartlarına bağlıdır.

Şekil 4.4 iki elemanlı Au-Cu alaşım bileşimlerinin bir fonksiyonu olarak sertleşmelerini göstermektedir. Su verilmiş durumda, yani tek α fazı (α_2) yapısında mukavemetin en yüksek noktasına, 50:50 altın-bakır oranı yakalandığında çıkmaktadır. Bunun önceden belirtildiği gibi 18 ayar kırmızı altın bileşimi olduğunu ve saf bakıra yaklaşıırken mukavemetin yeniden düşmeye başladığı fark edilir. Bu tip sertleştirme katı eriyik sertleşmesi olarak bilinir ve altın ile bakır atom büyüklüklerinin birbirinden farklı olması kafesi germesinden kaynaklanır. Ancak su verilmiş alaşımların en yumuşak şekilde olduklarına da dikkat edilmelidir. Bunun devamı olarak düzensiz-düzenli dönüşümünü başlatacak yaşlandırma, AuCu civarındaki ve daha az ölçüde AuCu₃ civarındaki bileşimlerde önemli ölçüde sertleşmeye neden olacaktır (Grimwade, 1994a; Aras, 1996; World Gold Council, 1997).

4.3 Altın-Gümüş-Bakır Üçlü Denge Diyagramı

Renkli ve ayarlı altın alaşımları, üç elemanlı Au-Ag-Cu sistemine dayanırlar ve denge faz diyagramlarının üç boyutlu olarak çizilmesi gerekir. Üç elemanlı sistemi oluşturan üç adet iki elemanlı sistem bileşenleri, eşkenar bir üçgenin üç kenarı olarak çizilirler. Üç elemanlı alaşımların bileşimleri, üçgenin içinde yer alırlar. Örneğin bütün 18 ayar üç elemanlı Au-Ag-Cu alaşımları, ağırlık olarak %75 Au-%25 Ag'den, %75 Au-%25 Cu'ya çizilen çizgi üzerinde yer alırlar. Benzer olarak 14 ayar altın alaşımlarında da, %58.5 Au'dan geçen çizgiye yer

alırlar. Sıcaklık da dikey eksen olarak çizildiğinde, üç adet iki elemanlı diyagramın bir prizmanın kenarlarını oluşturduğu üç boyutlu bir grafik ortaya çıkar (Şekil 4.5) (Grimwade, 1993b; Grimwade, 1994a; World Gold Council, 1997).



Şekil 4.5 Au-Ag-Cu sistemi için üç elemanlı denge diyagramı (Grimwade, 1994a)

5. ALTIN ALAŞIMLARI

Altın alaşımlarında, alaşım katkıları olarak altın dışı metaller bulunduğu için alaşımların korozyon ve kararma dirençleri, saf altın kadar yüksek olmaz. Özellikle bu durum mikro yapısı iki fazdan oluşan ve fazlardan birinde yüksek oranda altın dışı metal bulunan alaşımlarda görülür (Grimwade, 1993a).

Altın mücevher dökümündeki yüzey kalitesi çok önemlidir. Bu bağlamda ergiyeğin yüzey enerjisi ve ergiyik ile alçı arasındaki yüzeyler arası enerji özellikle dikkate alınmalıdır. Bu parametreler, ergiyeğin bileşimi ve saflığı ile, ergitildiği ve döküldüğü atmosfer ve alçı malzeme ile ergiyik arasında oluşan reaksiyonlardan oldukça etkilenir. Ayrıca bir kalıbın makro ve mikro geometrileri, bu kalıplarla yapılan dökümlerin yüzey kalitesi üzerinde etkili olur (Ott ve Raub, 1992b).

Renk, yoğunluk ve ergime derecesi bir alaşımın fiziksel özelliklerini oluşturur. Bunlar genelde tavlama ve soğuk işlemeden etkilenmezler. Ancak yoğunluk alaşımın mikro yapısına göre biraz değişebilir. Fazla gözenek oluştuğu kötü dökümlerde, yoğunluk azalır.

Altın alaşımlarındaki sertliği ölçmede kullanılan geçerli yöntemler ABD’de Rockwell, Avrupa’da Vickers’dir (Taimsalu, 1990).

Gelişmeleri takdir etmek ve ayarlı altın alaşımlarının kullanımını görmek için altının alaşımlama davranışının açıkça belirlenmesi gerekmektedir. Bunun yapılabilmesi için altın alaşımları iki gruba ayrılabilir. Birinci grup renkli altın alaşımları, ikinci grup ise beyaz altın alaşımlarıdır.

5.1 Renkli Altın Alaşımları

Yapılacak işe ve istenilen renge göre hareket ederken aynı zamanda istenilen mukavemet, aşınma dayanımı, şekil alabilirlik, sertleşebilirlik, lehim kabiliyeti gibi özellikler önemlidir (Grimwade, 1985).

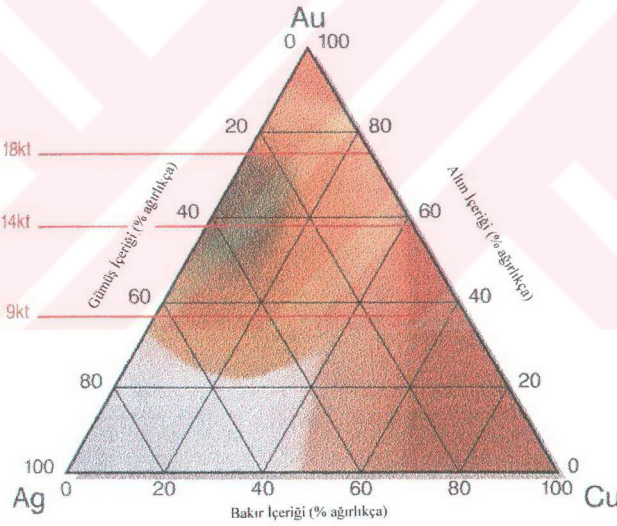
Renkli altın alaşımlarına ait kimyasal bileşim, fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 5.1’de özetlenmiştir. Çizelgede, T: tavllanmış; H: haddelenmiş; Y: yaşlandırılmış durumdaki değerleri ifade etmektedir.

Çizelge 5.1 Renkli altın alaşımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri (Emre, 2000)

Karat	Bileşim (%)			Renk	Ergime Sıcaklığı (°C)	Sertlik		Çekme Mukavemeti (kg/mm ²)	Uzama (%)
	Ag	Cu	Zn			HB	HV		
22 K %91.6 Au	8.4	-	-	Sarı	1024	T H	30 74	15.7 58.3	41
	5.5	2.8	-	Sarı	995	T H	52 128	22 44	27 0.5
	4.2	4.2	-	Koyu sarı	980	T H	57 123	29 50.3	35
	-	8.4	-	Kırmızı	930	T H	66 155	37.3 61	41
18 K %75 Au	25	-	-	Yeşil-Sarı	1028	T H	32 93	18.5 33.7	36
	16	9	-	Açık sarı	895	T H	135 210	50 80	35 1
	12.5	12.5	-	Sarı	885	T H Y	150 225 230	52 90 75	45 1.5 15
	9	16	-	Pembe	880	T H Y	160 240 285	55 92 85	40 2 7
	4.5	20.5	-	Kırmızı	890	T H Y	165 240 325	55 95 95	40 1.5 4
	-	25	-	Koyu kırmızı	910	T H Y	165 240 340	51.4 87.3	42
14 K %58.5 Au	41.5	-	-	Açık yeşil	920	T H	34 97	19.8 34.7	38
	36.5	6	-	Yeşil	841	T H	78 139	44.1 77.8	35
	20.5	21	-	Sarı	830	T H Y	190 260 270	58 100 80	25 1.5 3
	10.3	27.7	3.8	Pembe	810	T H Y	148 288 242	44 100.8 59.3	35 1 3
	9	32.5	-	Kırmızı	850	T H Y	160 270 260	55 100 70	45 1.5 12
	-	41.5	-	Koyu kırmızı	907	T H	83 155	39.8 82.1	52
9 K %37.5 Au	62.5	-	-	Beyazımsı	950	T	34	19.6	39
	55	7.5	-	Açık sarı		T	80	39.7	32
	42.5	20	-	Sarı	790	T	120	49.4	25
	31.25	31.25	-	Koyu sarı	830	T	110	54	25
	20	42.5	-	Pembe		T	110	34	30
	7.5	55	-	Kırmızı		T	90	44.8	40
	-	62.5	-	Koyu kırmızı	970	T	70	41.7	37

Altının rengi, sertliği ve korozyon direnci Au-Ag-Cu sisteminin değişik oranlarda uygulanmasıyla değiştirilmektedir. Renkli altın alaşımları, temel olarak Au-Ag-Cu üçlü sisteminden oluşmaktadır (Rose ve Newman, 1986; Grimwade, 1993a). Bu üç elementle diğer ilavelerde olabilir. Örneğin düşük ayarlı alaşımlarda kullanılan diğer alaşım elementi ise çinkodur. %10 çinko ilavesi 9 ve 14 ayar altın alaşımlarına kıvrılık katmıştır. 18 ayarlık bir altın alaşımının %25'i gümüş ve bakırın çeşitli oranlarındaki karışımlarını içermektedir. Böyle bir sistem üçlü bir alaşım sistemi olup, alaşımlama davranışları da üçlü denge diyagramlarında verilmiştir.

Şekil 5.1'de Au-Ag-Cu alaşım renkleri ve Şekil 5.2'de, katılma sıcaklıkları ve altın alaşımlarının bileşimleri gösterilmektedir. Au-Ag-Cu alaşımlarının renk tonu bileşimindeki metal oranına bağlı olarak çok değişken olmakla beraber temel renk bölgeleri mevcuttur (Şekil 5.1).

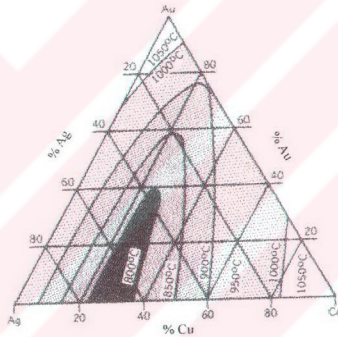


Şekil 5.1 Au-Ag-Cu denge diyagramında alaşım elementinin cinsine ve miktarına bağlı olarak altın alaşım renklerinin değişimi (Drost ve Haußelt, 1992)

Şekil 5.1'de verilen üçlü diyagramın altın köşesindeki küçük bir alan saf altının kırmızı-sarı rengini ve üçlü diyagramın Ag-Cu kenarına paralel olarak çizilmiş kesikli çizgiler altın alaşımlarının ayarlarını göstermektedir.

Renk üçgeni, ayar alaşımlarının çeşitli oranlarda gümüş ve bakır içeren alaşımlarında oluşacak renkleri vermektedir. Burada, baskın alaşım elementi olarak bakır kullanıldığında kırmızı altın, alaşım elementi olarak büyük miktarda gümüş kullanıldığında yeşil altın, gümüş ve bakır beraber olarak yaklaşık eşit oranlarda kullanıldığında sarı altın elde edilmektedir. Belirli bir ayara sahip kuyumculuk malzemelerinin ne kadar değişik renklere sahip olabilecekleri görülmektedir (Grimwade, 1985; Untracht, 1985).

Kuyumculuk sanayisinde özellikle çinko ve benzeri elementlerin buharlaşma entalpisi düşük metallerle yapılan alaşımlarında alaşım elementlerinin buharlaşmasından oluşan kütle kaybı, altınla karşılaşmak zorunda kalınacağı için mümkün olduğunca düşük sıcaklıkta ergiyen alaşım bileşimleri ile çalışmak istenir. Şekil 5.2'te de Au-Ag-Cu üçlü sistemi için ergime sıcaklık izotermi verilmektedir. Yatay izdüşümleri sistemdeki alaşımların sıvılaşma sıcaklıklarını vermektedir (Rose ve Newman, 1986; Grimwade, 1993a).



Şekil 5.2 Au-Ag-Cu sisteminin ergime sıcaklık izotermi (Grimwade, 1985)

Alaşım elementlerinin buharlaşmasının oluşturduğu olumsuzluğun yanı sıra yüksek sıcaklıklarda, alçı kalıplarda meydana gelen bozunmaya bağlı serbest kükürt oluşumu ve bunun sonucu oluşan nikel sülfür ve bakır sülfür fazlarının yol açtığı segregasyon ve mekanik özelliklerdeki kötüleşmeleri gidermek için düşük sıcaklıkta ergiyen alaşım bileşimleri ve dolayısıyla ergimiş alaşımın sıcaklık izotermi önem kazanmaktadır (Emre, 2000).

Genel olarak kullanılmakta olan kuyumculuk alaşımlarının yanı sıra, kendine özgü renkleri bulunan diğer alaşımlarda mevcuttur. Bu tip alaşımların renkleri intermetalik bileşiğin oluşmasından ileri gelmektedir. İntermetalik bir bileşik, metal atomları arasında kimyasal bir bağ ile iki metalin belirli bir oranda alaşım yapılması ile elde edilir. En çok bilinen menekşe

rengine sahip, %75.8 Au-%24.2 Al alaşımdır. Bu bileşim intermetalik olup, $AuAl_2$ bileşiğini oluşturmakta, bu bileşimde kırılğan olduğundan kuyumculukta kullanılamamaktadır.

Mavi altın, saf altının içerisinde belirli miktarda Al, Nb, Ta, Ti gibi elementlerin ilavesiyle mümkün olmaktadır. Buz mavisi %54 indiyum katıldığında elde edilmiştir ($AuIn_2$). Bu tip altın alaşımları üzerine bilimsel araştırmalar devam etmektedir. Bu renk altınlar çok kırılğan oldukları için kullanımda problem yaratmaktadır.

Zeytin yeşili %4.72 potasyumla, (Au_4K); menekşe rengi %9 potasyum (Au_2K) ile elde edilmektedir. Bunlar kırılğan intermetalik bileşiklerdir.

5.1.1 22 Ayar Altın Alaşımları

Altın içeriği %91.66 olup, %8.34'de alaşım elementi ihtiva eden “standart altın” adıyla da bilinen bir alaşım grubudur. İlk standart 1575 yılında kabul edilmiştir.

Renk aralığı, gümüş eklendiğinde açık sarı, bakır eklendiğinde ise kırmızı-sarıya doğru geçmektedir. 22 ayar altın, nikah yüzüklerinin %6'sı Cu, %2'si Ag olup mukavemetli ve sünektirler. Bu alaşım ısıtma işlemi uygulanarak sertleştirilemez (Grimwade, 1985; Drost ve Haußelt, 1992; Aras, 1996).

5.1.1.1 22 Ayar, Standart Sarı Altın Alaşımları

Bileşim: %917 Au, %55 Ag, %28 Cu.

Fiziksel Özellikler: Renk, sarı (DIN 8238); yoğunluk, 17.9 g/cm³; ergime sıcaklığı, 995-1020°C.

Mekanik Özellikler: Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 22 ayar sarı altın alaşımının mekanik özellikleri (Johnson Matt. Ltd., 1990)

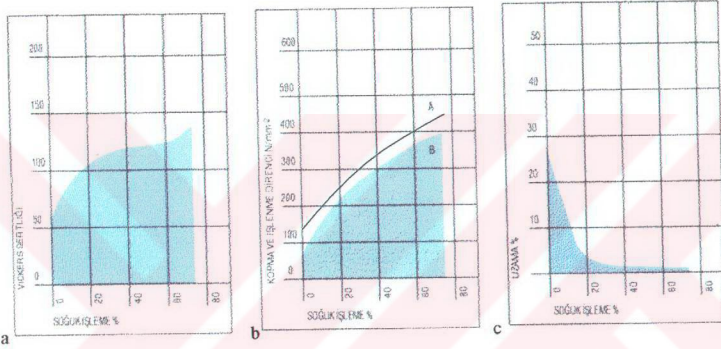
Alaşımların durumu	Döküm hali	Soğuk işleme oranı %20	Soğuk işleme oranı %75	Tavlınmış 600°C, 30 dk
Sertlik (HV)	65	100	138	52
Kopma direnci (daN/mm ²)	-	29	44	2
%0.2 İşleme direnci (daN/mm ²)	-	21	38	6
Uzama (%)	-	3	0.5	27
Erichsen deneyi (mm)	-	-	-	10.55

Bu alaşım soğuk işleme tekniklerine (bükme, presleme, kesme vs.) uyum sağlar. Alaşım

küçük taneli halde kullanıldığında ve burada belirtilen soğuk işleme ve tavlama önerilerine uyulduğunda en iyi sonuçlar alınmaktadır.

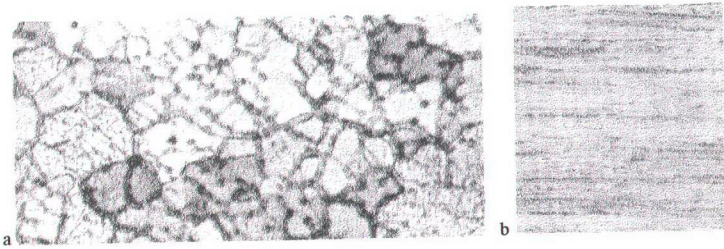
Tavlama öncesi alaşım en az %50, tercihen de %75 oranında soğuk işlemeye tabi tutulmalıdır. Tel çekmede soğuk işleme oranı daha da yükseltilebilir. Düşük oranlardaki soğuk işlemler daha yüksek tavlama sıcaklıkları gerektirir ve bunun sonucunda istenmeyen oranda tane büyümesi oluşabilir.

Şekil 5.3.a, b ve c'deki grafikler soğuk işleme oranlarının 22 ayar standart sarı altın alaşımın sertlik, kopma ve işleme dirençlerinde ve uzamasında yarattığı etkileri göstermektedir.



Şekil 5.3 22 ayar standart sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işleme direncindeki artış (B); (c) uzamadaki azalma (Johnson Matt. Ltd., 1990)

Şekil 5.4.a'da alaşımın döküm yapısı ve Şekil 5.4.b'de aynı alaşımın %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı x200 büyütmede verilmiştir.

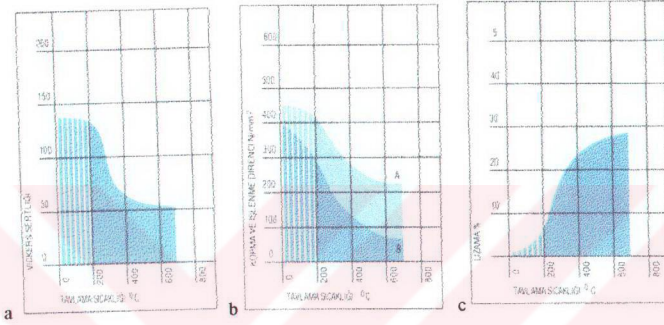


Şekil 5.4 22 ayar standart sarı altın alaşımın (a) döküm yapısı; (b) %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Johnson Matt. Ltd., 1990)

% 75 oranında soğuk işlemeden geçen malzeme için önerilen tavlama 600°C 'da 30 dakikadır.

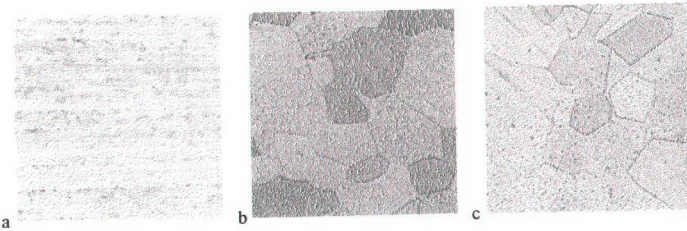
Benzer alaşımlarda, küçük parçaların tavlama işlemi alev kaynağı ile yaklaşık 650°C 'da 60 saniyede yapılabilir.

Şekil 5.5.a, b ve c'de verilen grafikler %75 oranında soğuk işlenmiş bir örnekte sertlik, kopma, işlenme direnci ve uzamanın tavlama sıcaklıklarıyla gösterdiği değişimi belirtmektedir (her sıcaklıkta 30 dakika).



Şekil 5.5 22 ayar standart sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış; (c) uzama oranındaki artış (Johnson Matt. Ltd., 1990)

%75 oranında soğuk işlenmiş alaşımdaki, tavlama sıcaklığının mikro yapı üzerindeki etkisi Şekil 5.6'de gösterilmiştir. Mikro yapı fotoğrafları x200 büyütmededir. Şekil 5.6.a'da 400°C 'de 30 dakika tavllanmış yapının fotoğrafı gösterilmektedir. Şekil 5.6.b'de 600°C 'de 30 dakika işlem gören alaşım yapısı, Şekil 5.6.c'de ise 700°C 'de 30 dakika işlem görmüş alaşım yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5.6 22 ayar standart sarı altın alaşımının (a) 400°C 'de 30 dakika; (b) 600°C 'de 30 dakika; (c) 700°C 'de 30 dakika tavllanmış mikro yapıları (Johnson Matt. Ltd., 1990)

22 ayar altın alaşımları ısıtılma işlemi ile önemli derecede sertleştirilemez (Johnson Matt. Ltd., 1990).

5.1.1.2 22 Ayar, Koyu Sarı Altın Alaşımları

Bileşim: %917 Au, %32 Ag, %51 Cu.

Fiziksel Özellikler: Renk, koyu sarı (DIN 8238); yoğunluk, 17.8 g/cm³; ergime sıcaklığı, 964-982°C.

Mekanik Özellikler: Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 5.3'de verilmiştir.

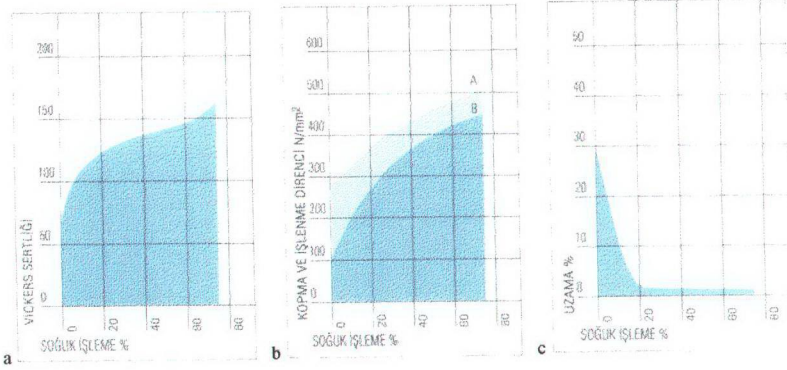
Çizelge 5.3 22 ayar koyu sarı altın alaşımının mekanik özellikleri (Johnson Matt. Ltd., 1993a)

Alaşımların durumu	Döküm hali	Soğuk işleme oranı %20	Soğuk işleme oranı %75	Tavlama sıcaklığı 600°C, 30 dk
Sertlik (HV)	80	120	165	70
Kopma direnci (daN/mm ²)	-	36	50	27.5
%0.2 İşleme direnci (daN/mm ²)	-	27	45	9.5
Uzama (%)	-	1.5	1.0	30
Erichsen deneyi (mm)	-	-	-	9.2

Bu alaşım soğuk işleme tekniklerinin (bükme, presleme, kesme vs.) tümüne uyum sağlar. En iyi sonuçlar küçük taneli malzeme kullanıldığında ve burada belirtilen soğuk işleme ve tavlama önerilerine uyulduğunda alınmaktadır.

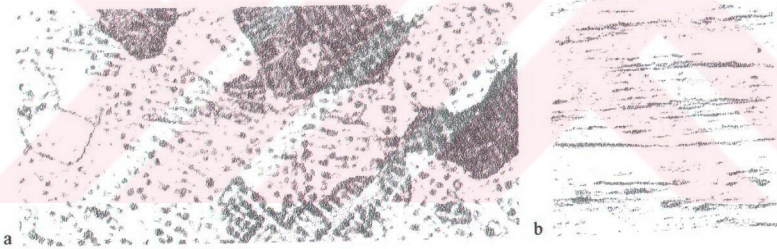
Tavlama öncesi alaşım en az %50, tercihen de %75 oranında soğuk işlemeye tabi tutulmalıdır. Tel çekmede soğuk işleme oranı daha da yükseltilebilir. Düşük oranlardaki soğuk işlemler daha yüksek tavlama sıcaklıkları gerektirir ve bunun sonucunda istenmeyen oranda tane büyümesi oluşur.

Şekil 5.7.a, b ve c'deki grafikler soğuk işleme oranlarının 22 ayar koyu sarı altın alaşımının sertlik, kopma ve işleme dirençlerinde ve uzamasında yarattığı etkileri göstermektedir.



Şekil 5.7 22 ayar koyu sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki artış (B); (c) uzamada azalma (Johnson Matt. Ltd., 1993a)

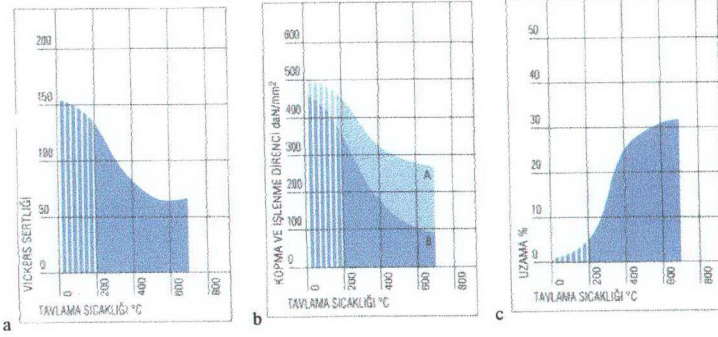
Şekil 5.8.a'da söz konusu alaşımın döküm yapısı ve Şekil 5.8.b'de aynı alaşımın %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı x200 büyütmede verilmiştir.



Şekil 5.8 22 ayar koyu sarı altın alaşımın (a) döküm yapısı; (b) %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Johnson Matt. Ltd., 1993a)

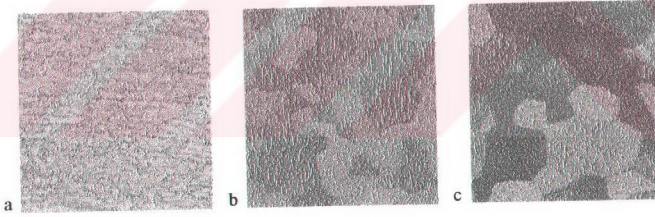
%75 oranında soğuk işlemeden geçen malzeme için önerilen tavlama 600°C'da 30 dakikadır.

Şekil 5.9.a, b ve c'de verilen grafikler %75 oranında soğuk işlenmiş bir örnekte sertlik, kopma, işlenme direnci ve uzamanın tavlama sıcaklıklarıyla gösterdiği değişimi belirtmektedir (her sıcaklıkta 30 dakika).



Şekil 5.9 22 ayar koyu sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artışı; (c) uzama oranındaki artış (Johnson Matt. Ltd., 1993a)

%75 oranında soğuk işlenmiş alaşımdaki, tavlama sıcaklığının mikro yapı üzerindeki etkisi Şekil 5.10'de gösterilmiştir. Mikro yapı fotoğrafları x200 büyütmededir. Şekil 5.10.a'da 400°C'de 30 dakika tavllanmış yapının fotoğrafı gösterilmektedir. Şekil 5.10.b'de 600°C'de 30 dakika işlem gören alaşım yapısı, Şekil 5.10.c'de ise 700°C'de 30 dakika işlem görmüş alaşım yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5.10 22 ayar koyu sarı altın alaşımının (a) 400°C'de 30 dakika; (b) 600°C'de 30 dakika; (c) 700°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapıları (Johnson Matt. Ltd., 1993a)

22 ayar altın alaşımları ısıl işlem ile kayda değer bir derecede sertleştirilemez (Johnson Matt. Ltd., 1993a).

5.1.2 21 Ayar Altın Alaşımları

5.1.2.1 21 Ayar, Sarı-Pembe Altın Alaşımları

Bileşim: %875 Au, %45 Ag, %80 Cu.

Fiziksel Özellikler: Renk, sarı-pembe (3N-4N) (ISO 8654); yoğunluk, 16.8 g/cm³; ergime sıcaklığı, 940-964°C.

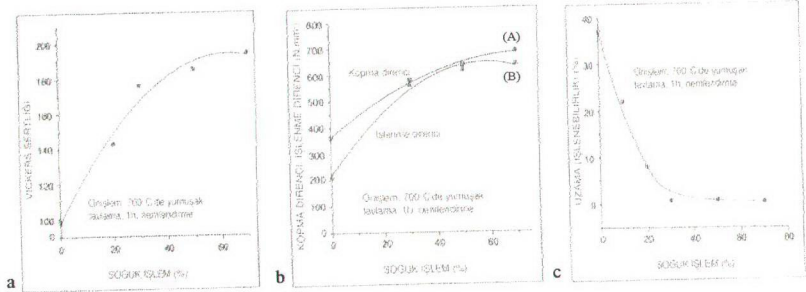
Mekanik Özellikler: Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4 21 ayar sarı-pembe altın alaşımının mekanik özellikleri (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a)

Alaşımların durumu	Döküm hali	Soğuk işleme oranı %30	Soğuk işleme oranı %70	Tavlama 700°C, 60 dk
Sertlik (HV)	96	176	194	100
Kopma direnci (daN/mm ²)	-	580	688	363
%0.2 İşleme direnci (daN/mm ²)	-	59	638	212
Uzama (%)	-	0.7	0.6	37
Erichsen deneyi (mm)	-	-	-	10.5 mm/11 kN

Alaşımlar kolayca soğuk işleme tabi tutulabilir. İnce taneli malzeme en iyi sonuçları vermektedir.

Tavlama öncesi, alaşımlar en az %50 soğuk işlenmelidir. %70-75 değişim tercih edilmelidir. Düşük çalışma oranları iri tane boyutlarına sebep olabilir.



Şekil 5.11 21 ayar pembe-sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işleme direncindeki artış (B); (c) uzamadaki azalma (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a)

Şekil 5.11'deki grafikler sertlik, gerilme mukavemeti, çekme mukavemeti ve genleşmenin alaşımın soğuk işlenme derecesi ile nasıl değiştiğini göstermektedir.

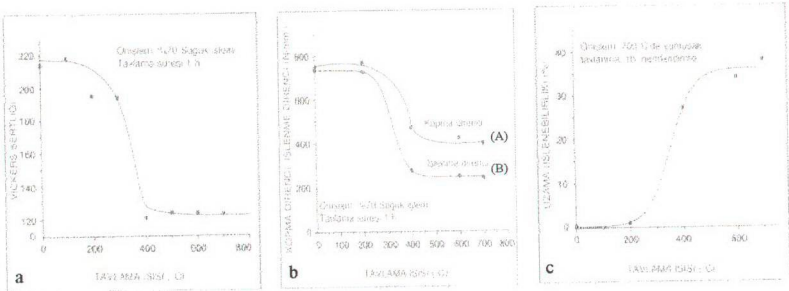
Şekil 5.12.a'da söz konusu alaşımın döküm yapısı x100 büyütmede; Şekil 5.12.b'de aynı alaşımın %70 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı x200 büyütmede verilmiştir.



Şekil 5.12 21 ayar pembe-sarı altın alaşımın (a) döküm yapısı; (b) %70 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a)

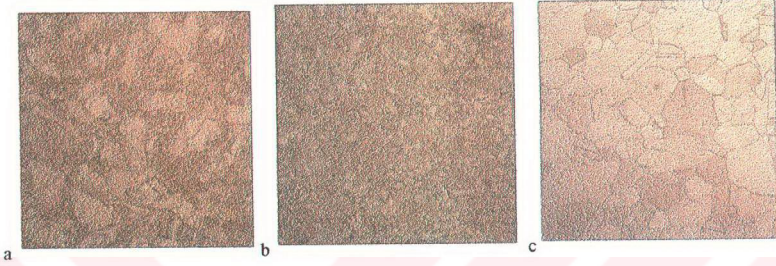
Önceden %70 soğuk işlenmiş olan altın için tavsiye edilen tavlama, 600°C'de 60 dakikadır. Şalumo ile tavlama (direkt güneş ışığından uzak) mat kırmızıda 1 dakikadan az bir süre için uygulanabilir.

Şekil 5.13 a, b ve c'de verilen grafikler sertlik, gerilme mukavemeti, çekme mukavemeti ve %70 soğuk işlenmiş bir numunenin genleşmesinin ısı işlem sıcaklığı ile, nasıl değiştiğini göstermektedir (her sıcaklıkta 60 dakika).



Şekil 5.13 21 ayar pembe-sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış; (c) uzama oranındaki artış (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a)

%70 oranında soğuk işlenmiş alaşımdaki, tavlama sıcaklığının mikro yapı üzerindeki etkisi Şekil 5.14'de gösterilmiştir. Mikro yapı fotoğrafları x200 büyütmededir. Şekil 5.14.a'da 200°C'de 60 dakika tavllanmış yapının fotoğrafı gösterilmektedir. Şekil 5.14.b'de 400°C'de 60 dakika işlem gören alaşım yapısı, Şekil 5.14.c'de ise 700°C'de 60 dakika işlem görmüş alaşımın yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5.14 21 ayar pembe-sarı altın alaşımının (a) 200°C'de 60 dakika; (b) 400°C'de 60 dakika; (c) 700°C'de 60 dakika tavllanmış mikro yapıları (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a)

21 ayar altın alaşımları ısıtılma işlemle önemli derecede sertleştirilemez (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996a).

5.1.2.2 21 Ayar, Pembe Altın Alaşımları

Bileşim: %87.5 Au, %17.5 Ag, %107.5 Cu.

Fiziksel Özellikler: Renk, pembe (4N-5N) (ISO 8654); yoğunluk, 16.8 g/cm³; ergime sıcaklığı, 940-964°C.

Mekanik Özellikler: Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 5.5'de verilmiştir.

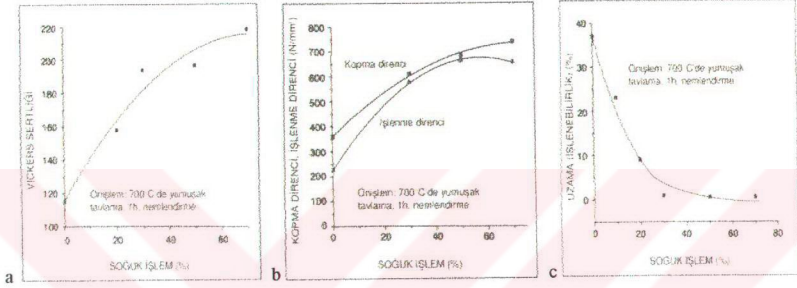
Çizelge 5.5 21 ayar pembe altın alaşımının mekanik özellikleri (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b)

Alaşımin durumu	Döküm hali	Soğuk işlenme oranı %30	Soğuk işlenme oranı %70	Tavllanmış 700°C, 60 dk
Sertlik (HV)	108	194	219	116
Kopma direnci (daN/mm ²)	-	611	740	359
%0.2 İşlenme direnci (daN/mm ²)	-	576	656	226
Uzama (%)	-	0.9	0.6	37
Erichsen deneyi (mm)	-	-	-	10.5 mm/11 kN

Alaşım kolayca soğuk işleme tabi tutulabilir. İnce taneli malzeme en iyi sonuçları verecektir.

Tavlamadan önce, alaşım asgari %50 soğuk işlenmelidir. %70-75 değişim tercih edilmelidir. Düşük çalışma oranları iri tane boyutlarına sebep olabilir.

Şekil 5.15'deki grafikler sertlik, gerilme mukavemeti, çekme mukavemeti ve genleşmenin alaşımın soğuk işleme derecesi ile nasıl değiştiğini göstermektedir.



Şekil 5.15 21 ayar pembe altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki artış (B); (c) uzamadaki azalma (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b)

Şekil 5.16.a'da söz konusu alaşımın döküm yapısı x100 büyütmede; Şekil 5.16.b'de aynı alaşımın %70 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı x200 büyütmede verilmiştir.

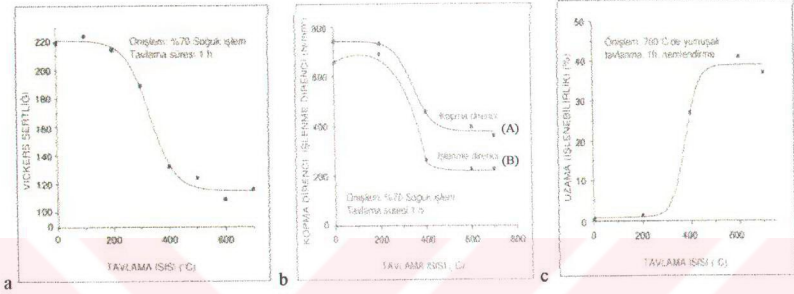


Şekil 5.16 21 ayar pembe altın alaşımın (a) döküm yapısı; (b) %70 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b)

Önceden %70 soğuk işlenmiş olan altın için tavsiye edilen tavlama, 600°C'de 60 dakikadır.

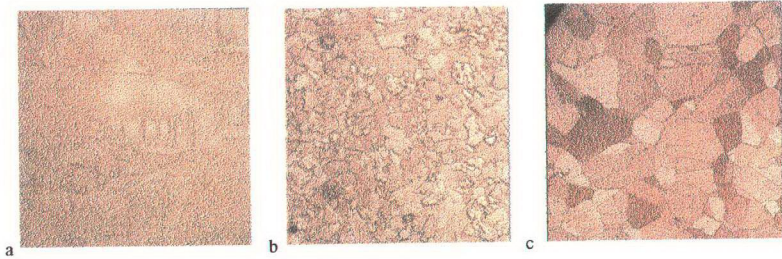
Şalumo ile tavlama (direkt güneş ışığından uzak) mat kırmızıda 1 dakikadan az bir süre için uygulanabilir.

Şekil 5.17.a, b ve c'de verilen grafikler sertlik, gerilme mukavemeti, çekme mukavemeti ve %70 soğuk işlenmiş bir numunenin genleşmesinin ısıtılma sıcaklığı ile, nasıl değiştiğini göstermektedir (her sıcaklıkta 60 dakika).



Şekil 5.17 21 ayar pembe altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işleme direncindeki (B) artış; (c) uzama oranındaki artış (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b)

%70 oranında soğuk işlenmiş alaşımdaki, tavlama sıcaklığının mikro yapı üzerindeki etkisi Şekil 5.18'de gösterilmiştir. Mikro yapı fotoğrafları x200 büyütmedir. Şekil 5.18.a'da 200°C'de 60 dakika tavllanmış yapının fotoğrafı gösterilmektedir. Şekil 5.18.b'de 400°C'de 60 dakika işlem gören alaşım yapısı, Şekil 5.18.c'de ise 700°C'de 60 dakika işlem görmüş alaşım yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5.18 21 ayar pembe altın alaşımının (a) 200°C'de 60 dakika; (b) 400°C'de 60 dakika; (c) 700°C'de 60 dakika tavllanmış mikro yapıları (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b)

21 ayar pembe altın alaşımları ısıtılma işlemle önemli derecede sertleştirilemez (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996b).

5.1.2.3 21 Ayar, Kırmızı Altın Alaşımları

Bileşim: %875 Au, %125 Cu.

Fiziksel Özellikler: Renk, kırmızı (5N) (ISO 8654); yoğunluk, 16.7 g/cm³; ergime sıcaklığı, 926-940°C.

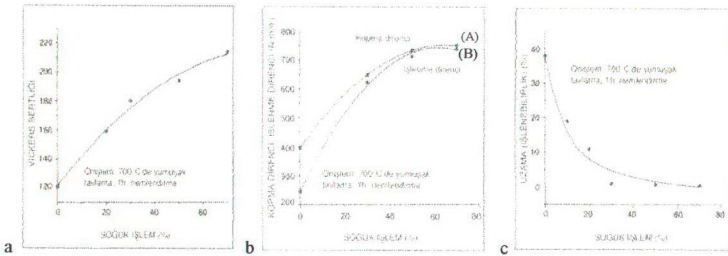
Mekanik Özellikler: Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 5.6'de verilmiştir.

Çizelge 5.6 21 ayar kırmızı altın alaışımının mekanik özellikleri (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c)

Alaışımın durumu	Döküm hali	Soğuk işleme oranı %30	Soğuk işleme oranı %70	Tavlanmış 700°C, 60 dk
Sertlik (HV)	121	180	214	123
Kopma direnci (daN/mm ²)	-	648	748	396
%0.2 İşlenme direnci (daN/mm ²)	-	622	737	244
Uzama (%)	-	1.0	0.5	38
Erichsen deneyi (mm)	-	-	-	8.9mm/10.5 kN

Alaışım yüksek soğuk işleme oranlarında kırılmaların oluşmasına yatkındır. %50 oranı geçilmemelidir.

Şekil 5.19'daki grafikler sertlik, gerilme mukavemeti, çekme mukavemeti ve genişlemenin alaışımın soğuk işleme derecesi ile nasıl değiştiğini göstermektedir.



Şekil 5.19 21 ayar kırmızı altın alaışımında soğuk işleme oranının artırılması ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki artış (B); (c) uzamadaki azalma (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c)

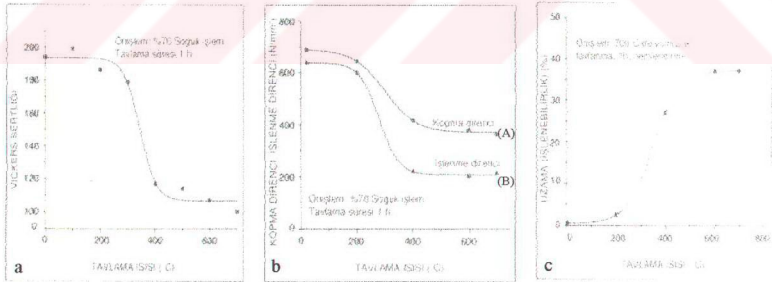
Şekil 5.20.a'da söz konusu alaşımın döküm yapısı x100 büyütmede; Şekil 5.20.b'de aynı alaşımın %70 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı x200 büyütmede verilmiştir.



Şekil 5.20 21 ayar kırmızı altın alaşımın (a) döküm yapısı; (b) %70 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c)

Önceden %70 soğuk işlenmiş olan altın için tavsiye edilen tavlama, 600°C'de 60 dakikadır. Şalumo ile tavlama (direkt güneş ışığından uzak) mat kırmızıda 1 dakikadan az bir süre için uygulanabilir.

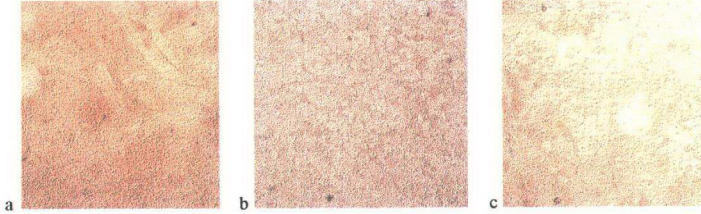
Şekil 5.21.a, b ve c'de verilen grafikler sertlik, gerilme mukavemeti, çekme mukavemeti ve %70 soğuk işlenmiş bir numunenin genleşmesinin ısıtma sıcaklığı ile, nasıl değiştiğini göstermektedir (her sıcaklıkta 60 dakika).



Şekil 5.21 21 ayar kırmızı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artışı; (c) uzama oranındaki artışı (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c)

%70 oranında soğuk işlenmiş alaşımdaki, tavlama sıcaklığının mikro yapı üzerindeki etkisi

Şekil 5.22'de gösterilmiştir. Mikro yapı fotoğrafları x200 büyütmededir. Şekil 5.22.a'da 200°C'de 60 dakika tavllanmış yapının fotoğrafı gösterilmektedir. Şekil 5.22.b'de 400°C'de 60 dakika işlem gören alaşım yapısı, Şekil 5.22.c'de ise 700°C'de 60 dakika işlem görmüş alaşım yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5.22 21 ayar kırmızı altın alaşımının (a) 200°C'de 60 dakika; (b) 400°C'de 60 dakika; (c) 700°C'de 60 dakika tavllanmış mikro yapıları (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c)

21 ayar kırmızı altın alaşımları ısıtılma işlemiyle önemli derecede sertleştirilemez (Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie, 1996c).

5.1.3 18 Ayar Altın Alaşımları

Bu alaşımlar %75 altın ve %25 alaşım elementi içerirler. Kuyumculukta çok tercih edilen alaşımlardır. Bunun başlıca sebepleri ise;

- üretilecek geniş renk aralığı,
- mükemmel mekanik özellikler,
- mükemmel kararma dayanımı.

1477 yılında standardı açıklanmış, 22 ayar ile beraber 1576'da tekrar bir standart getirilmiş, 1978 yılında da son standardı kabul edilmiştir.

Bileşimine bağlı olarak değişik mekanik özelliklere sahiptir. Renkli olanlarında bakır içeriği arttıkça mukavemet ve sertlik artmakta buna karşılık yüksek gümüş içeriği ise mukavemet ve sertliği düşürmektedir. Genel kullanım için iyi olan 18 ayarlık bir altın alaşımı yaklaşık eşit miktarlarda bakır ve gümüş içerir. Örneğin her birinden %12.5 içermesi sarı renk almasını, ve birçok uygulama için yeterlilik kazanmasını sağlamaktadır. 410°C üzerindeki bir sıcaklıktan alınan yüksek bakır içerikli 18 ayar kırmızı altın alaşımına, havada soğutma yapılarak yüksek sertlik kazandırılabilir. Ancak çökeltme etkisinden dolayı süneklik düşer (Grimwade, 1985).

5.1.3.1 18 Ayar, Standart Sarı Altın Alaşımları

Bileşim: %750 Au, %125 Ag, %125 Cu.

Fiziksel Özellikler: Renk, sarı (3N) (DIN 8238); yoğunluk, 15.45 g/cm³; ergime sıcaklığı, 885-895°C.

Mekanik Özellikler: Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7 18 ayar standart sarı altın alaşımının mekanik özellikleri (Métaux Précieux SA Metalor, 1990)

Alaşımin durumu	Döküm hali	Soğuk işlenme oranı %20	Soğuk işlenme oranı %75	Tavllanmış 550°C, 30 dk	Sertleştirilmiş 280°C, 60dk.
Sertlik (HV)	170	190	225	150	230
Kopma direnci (daN/mm ²)	-	68	90	52	75
%0.2 İşlenme direnci (daN/mm ²)	-	50	85	35	60
Uzama (%)	-	4	1.5	40	15
Erichsen deneyi (mm)	-	-	-	7mm/9 kN	

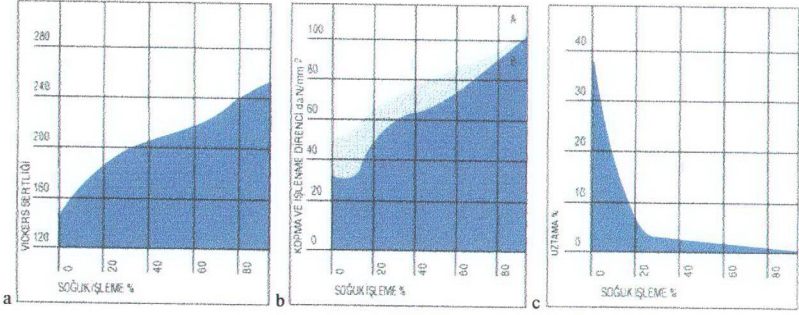
Bu alaşım bütün soğuk işleme tekniklerine (bükme, presleme, kesme, haddelme, tel çekme vs.) uyum sağlar. Makine ile işleme, elmas tıraşlama, yontmada alaşımın tercihen soğuk işlenmiş veya sertleşmiş olması gerekir.

Alaşıma küçük taneli halde kullanarak ve burada belirtilen soğuk işleme ve tavlama önerilerine uyularak en iyi sonuca ulaşılabilir.

Alçı kalıpla dökümde, alaşım vakum içinde ergitilmeli ve döküm, oksijenden korunmalı bir ortamda gerçekleştirilmelidir. Az miktarda ilave elementler içeren benzer alaşımlar, değişik şartlarda alçı kalıp döküm için uygundur.

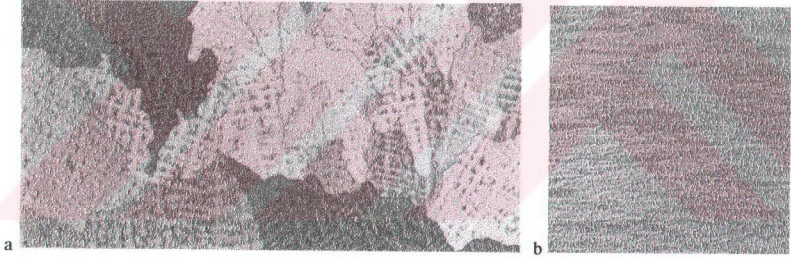
Tavlama öncesi alaşım en az %50, tercihen de %75 oranında soğuk işlemeye tabi tutulmalıdır. Tel çekmede, daha yüksek soğuk işleme oranları da kullanılabilir. Düşük oranlı soğuk işlemler daha yüksek sıcaklıkta tavlama gerektirir ki, bunun sonucunda da istenmeyen miktarda tane büyümesi oluşabilir.

Şekil 5.23.a, b ve c'deki grafikler soğuk işleme oranlarının 18 ayar standart sarı altın alaşımın sertlik, kopma ve işlenme dirençlerinde ve uzamasında yarattığı etkiler gösterilmektedir.



Şekil 5.23 18 ayar standart sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işleme direncindeki artış (B); (c) uzamadaki azalma (Métaux Précieux SA Metalor, 1990)

Şekil 5.24.a'da söz konusu alaşımin döküm yapısı x200 büyütmede; Şekil 5.24.b'de aynı alaşımin %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı x500 büyütmede verilmiştir.



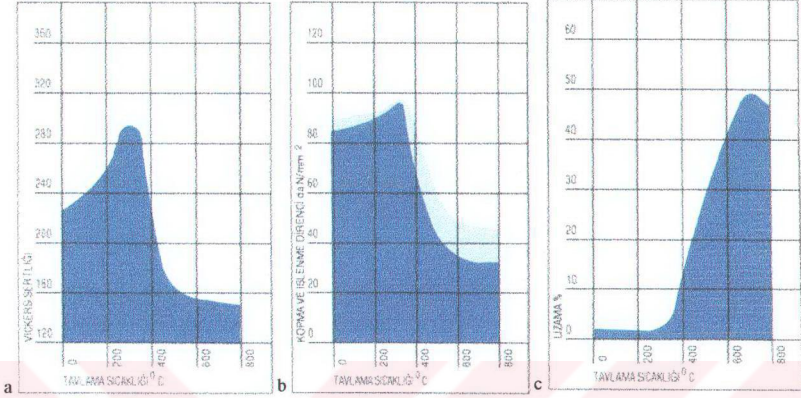
Şekil 5.24 18 ayar açık sarı altın alaşımin (a) döküm yapısı; (b) %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1990)

%75 oranında haddelenerek veya çekilerek soğuk işlemeden geçmiş olan malzeme için önerilen tavlama 550°C'de 30 dakikadır.

Isıtılma sırasında havayla temas, alaşımı oksitlediğinden, tavlama işlemi oksitlenmeyi önleyen bir ortamda yapılmalıdır. Hızlı soğumayı sağlamak için tavlanan malzeme doğrudan suya atılarak soğutulur.

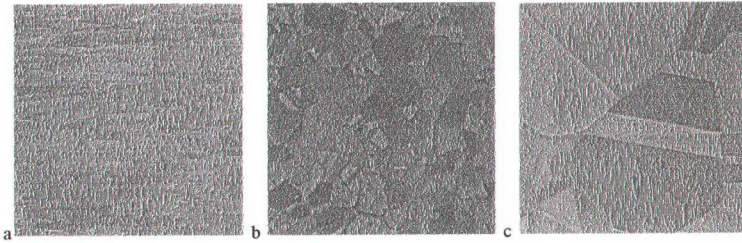
Şekil 5.25.a, b ve c'de verilen grafikler %75 oranında soğuk işlenmiş bir örnekte sertlik,

kopma, işleme direnci ve uzamanın tavlama sıcaklıklarıyla gösterdiği değişimi belirtmektedir (her sıcaklıkta 30 dakika).



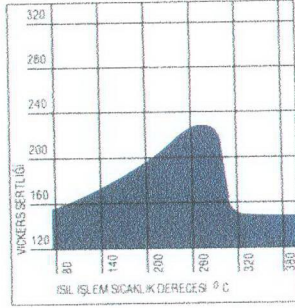
Şekil 5.25 18 ayar standart sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işleme direncindeki (B) artış; (c) uzama oranındaki artış (Métaux Précieux SA Metalor, 1990)

%75 oranında soğuk işlenmiş alaşımdaki, tavlama sıcaklığının mikro yapı üzerindeki etkisi Şekil 5.26'da gösterilmiştir. Mikro yapı fotoğrafları x500 büyütmedir. Şekil 5.26.a'da 400°C'de 30 dakika tavllanmış yapının fotoğrafı gösterilmektedir. Şekil 5.26.b'de 600°C'de 30 dakika işlem gören alaşım yapısı, Şekil 5.26.c'de ise 700°C'de 30 dakika işlem görmüş alaşım yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5.26 18 ayar standart sarı altın alaşımının (a) 400°C'de 30 dakika; (b) 600°C'de 30 dakika; (c) 700°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapıları (Métaux Précieux SA Metalor, 1990)

İşleme sonrası son şeklini alan parçalara 280°C sıcaklıkta 60 dakika süreyle ısı uygulanarak bu alaşımın sertliği %30-50 oranında artırılabilir. Bu işlem sonucu alaşımın sertliğinde meydana gelen değişimler, Şekil 5.27’de gösterilmiştir (Métaux Précieux SA Metalor, 1990).



Şekil 5.27 18 ayar standart sarı altın alaşıma 280°C’de 60 dakika uygulanacak ısı ile sertliğin değişimi (Métaux Précieux SA Metalor, 1990)

5.1.3.2 18 Ayar, Açık Sarı Altın Alaşımları

Bileşim: %750 Au, %160 Ag, %90 Cu.

Fiziksel Özellikler: Renk, açık sarı (2N) (DIN 8238); yoğunluk, 15.6 g/cm³; ergime sıcaklığı, 895-920°C.

Mekanik Özellikler: Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8 18 ayar açık sarı altın alaşımının mekanik özellikleri (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b)

Alaşımanın durumu	Döküm hali	Soğuk işleme oranı %20	Soğuk işleme oranı %75	Tavlınmış 550°C, 30 dk	Sertleştirilmiş 280°C, 60dk.
Sertlik (HV)	135	170	210	135	170
Kopma direnci (daN/mm ²)	-	65	80	50	55
%0.2 İşleme direnci (daN/mm ²)	-	55	72	30	35
Uzama (%)	-	2.5	1.2	35	35
Erichsen deneyi (mm)	-	-	-	7mm/8 kN	-

Bu alaşım bütün soğuk işleme tekniklerine (bükme, presleme, kesme, haddeleme, tel çekme

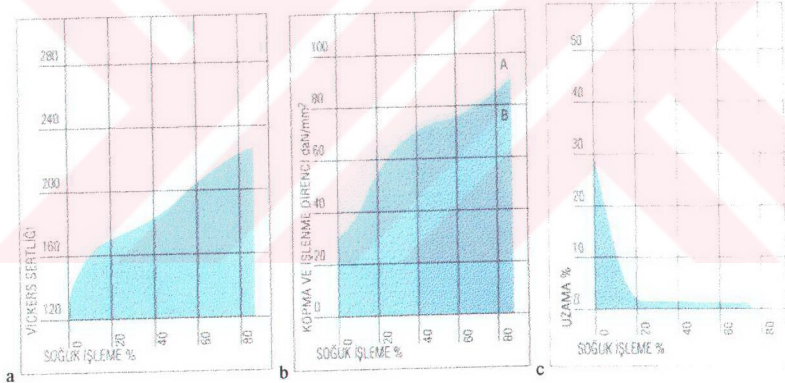
vs.) uyum sağlar. Makine ile işleme, elmas tıraşlama, yontmada alaşımın tercihen soğuk işlenmiş veya sertleşmiş olması gerekir.

Alaşım küçük taneli halde kullanılır ve burada belirtilen soğuk işleme ve tavlama önerilerine uyulursa en iyi sonuçlar elde edilebilir.

Alçı kalıpla dökümde, alaşım vakum içinde ergitilmeli ve döküm, oksijen korumalı bir ortamda gerçekleştirilmelidir. Az miktarda ilave elementler içeren benzer alaşımlar, değişik şartlarda alçı kalıp döküm için uygundur.

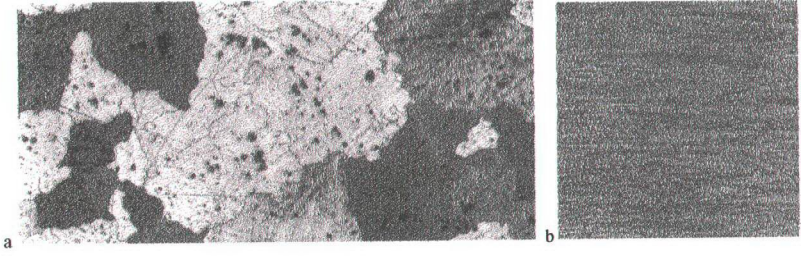
Tavlama öncesi alaşım en az %50, tercihen de %75 oranında soğuk işlemeye tabi tutulmalıdır. Tel çekmede, daha yüksek soğuk işleme oranları da kullanılabilir. Düşük oranlardaki soğuk işlemler daha yüksek sıcaklıkta tavlama gerektirir ki, bunun sonucunda istenmeyen oranda tane büyümesi oluşabilir.

Şekil 5.28.a, b ve c'deki grafikler soğuk işleme oranlarının 18 ayar açık sarı altın alaşımın sertlik, kopma ve işlenme dirençlerinde ve uzamasında yarattığı etkileri göstermektedir.



Şekil 5.28 18 ayar açık sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki artış (B); (c) uzamadaki azalma (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b)

Şekil 5.29.a'da söz konusu alaşımın döküm yapısı x200 büyütmede; Şekil 5.29.b'de aynı alaşımın %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı x500 büyütmede verilmiştir.

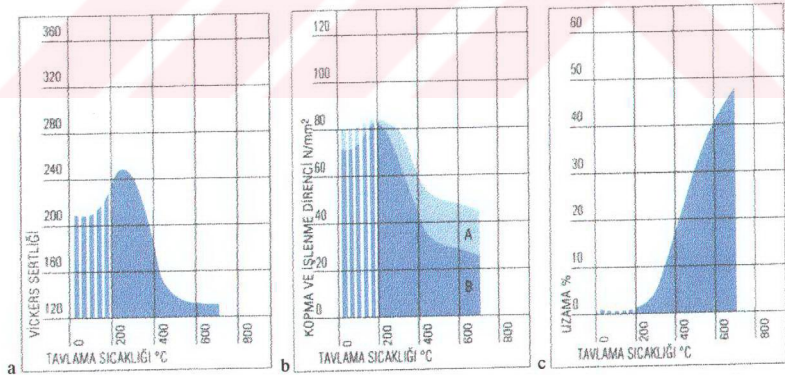


Şekil 5.29 18 ayar açık sarı altın alaşımın (a) döküm yapısı; (b) %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b)

%75 oranında haddelenerek veya çekilerek soğuk işlemeden geçmiş olan malzeme için önerilen tavlama 550°C 'de 30 dakikadır.

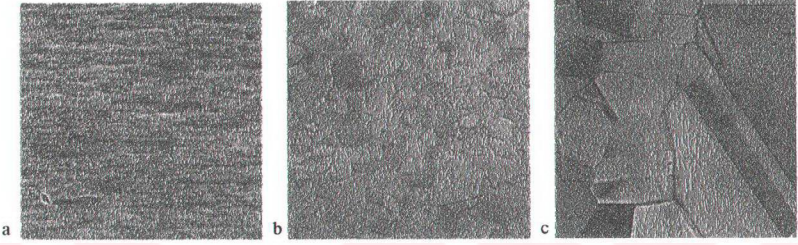
Isıtılma sırasında havayla temas, alaşımı okside edeceğinden, tavlama işlemi oksitlenmeyi önleyen bir ortamda yapılmalıdır. Hızlı soğumayı sağlamak için tavlanan malzeme doğrudan suya atılarak soğutulur. Alaşım yavaşça soğutulduğu takdirde sertleşme çok hafif olmaktadır.

Şekil 5.30.a, b ve c'de verilen grafikler %75 oranında soğuk işlenmiş bir örnekte sertlik, kopma, işlenme direnci ve uzamanın tavlama sıcaklıklarıyla gösterdiği değişimi belirtmektedir (her sıcaklıkta 30 dakika).



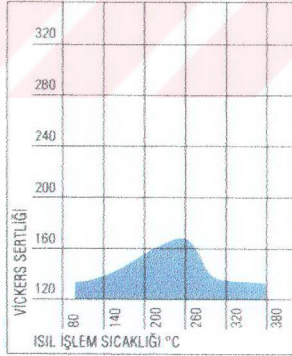
Şekil 5.30 18 ayar açık sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artışı; (c) uzama oranındaki artış (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b)

%75 oranında soğuk işlenmiş alaşımdaki, tavlama sıcaklığının mikro yapı üzerindeki etkisi Şekil 5.31'de gösterilmiştir. Mikro yapı fotoğrafları x500 büyütmededir. Şekil 5.31.a'da 400°C'de 30 dakika tavllanmış yapının fotoğrafı gösterilmektedir. Şekil 5.31.b'de 600°C'de 30 dakika işlem gören alaşım yapısı, Şekil 5.31.c'de ise 700°C'de 30 dakika işlem görmüş alaşım yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5.31 18 ayar açık sarı altın alaşımının (a) 400°C'de 30 dakika; (b) 600°C'de 30 dakika; (c) 700°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapıları (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b)

İşleme sonrası son şeklini alan parçalara 260°C'de 60 dakika süreyle ısı uygulanarak bu alaşımın sertliği %20-30 oranında artırılabilir. Bu işlem sonucu alaşımın sertliğinde meydana gelen değişimler, Şekil 5.32'de gösterilmiştir (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b).



Şekil 5.32 18 ayar açık sarı altın alaşıma 260°C'de 60 dakika uygulanacak ısı işlem ile sertliğin değişimi (Johnson Matthey Metals Limited, 1993b)

5.1.3.3 18 Ayar, Pembe Altın Alaşımları

Bileşim: %750 Au, %90 Ag, %160 Cu.

Fiziksel Özellikler: Renk, pembe (4N) (DIN 8238); yoğunluk, 15.3 g/cm³; ergime sıcaklığı, 880-885°C.

Mekanik Özellikler: Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 5.9'de verilmiştir.

Çizelge 5.9 18 ayar pembe altın alaışımının mekanik özellikleri (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a)

Alaışımın durumu	Döküm hali	Soğuk işleme oranı %20	Soğuk işleme oranı %75	Tavllanmış 550°C, 30 dk	Sertleştirilmiş 280°C, 60dk.
Sertlik (HV)	200	200	240	160	285
Kopma direnci (daN/mm ²)	-	70	92	55	85
%0.2 İşleme direnci (daN/mm ²)	-	55	77	33	75
Uzama (%)	-	5	2	40	7
Erichsen deneyi (mm)	-	-	-	7mm/9.5kN	-

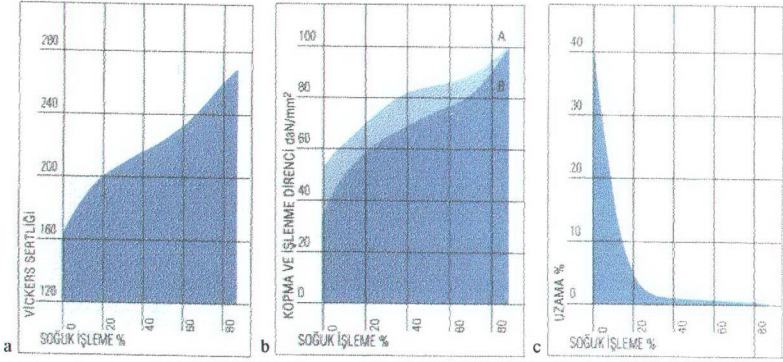
Bu alaşım bütün soğuk işleme tekniklerine (bükme, presleme, kesme, haddelme, tel çekme vs.) uyum sağlar. Makine ile işleme, elmas tıraşlama ve yontmada alaışımın soğuk işlenmiş veya sertleşmiş olması gerekir.

Küçük taneli malzeme kullanıldığında ve burada belirtilen soğuk işleme ve tavlama önerilerine uyulduğunda en iyi sonuçlar elde edilebilir.

Alçı kalıpla dökümde, alaşım vakum içinde ergitilmeli ve döküm, oksijen korumalı bir ortamda gerçekleştirilmelidir. Az miktarda ilave elementler içeren benzer alaşımlar, değişik şartlarda alçı kalıp döküm için uygundur.

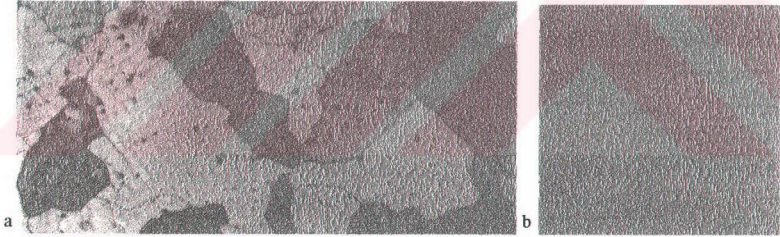
Tavlama öncesi alaşım en az %50, tercihen de %75 oranında soğuk işlemeye tabi tutulmalıdır. Tel çekmede, daha yüksek soğuk işleme oranları da kullanılabilir. Düşük oranlardaki soğuk işlemler daha yüksek sıcaklıkta tavlama gerektirir ki, bunun sonucunda istenmeyen oranda tane büyümesi oluşabilir.

Şekil 5.33.a, b ve c'deki grafikler soğuk işleme oranlarının 18 ayar pembe altın alaışımının sertlik, kopma ve işleme dirençlerinde ve uzamasında yarattığı etkileri göstermektedir.



Şekil 5.33 18 ayar pembe altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki artış (B); (c) uzamadaki azalma (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a)

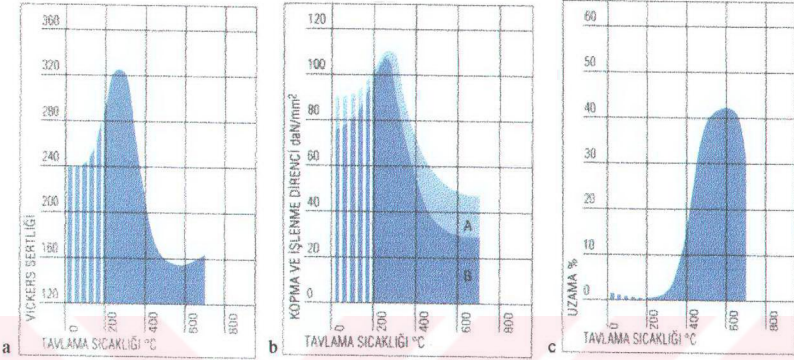
Şekil 5.34.a'da söz konusu alaşımın döküm yapısı x50 büyütmede; Şekil 5.34.b'de aynı alaşımın %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı x500 büyütmede verilmiştir.



Şekil 5.34 18 ayar pembe altın alaşımın (a) döküm yapısı; (b) %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a)

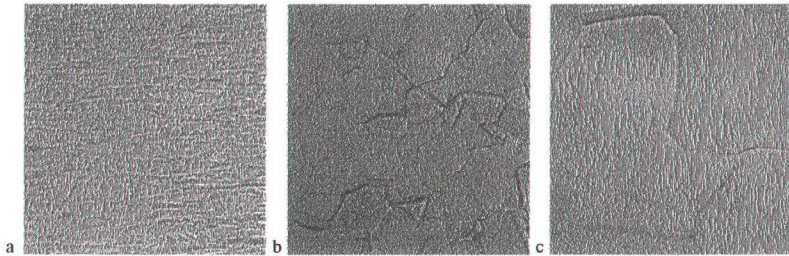
%75 oranında haddelenerek veya çekilerek soğuk işlemenden geçmiş olan malzeme için önerilen tavlama 550°C'de 30 dakikadır. Isıtılma sırasında havayla temas, alaşımı okside edeceğinden, tavlama işlemi oksitlenmeyi önleyen bir ortamda yapılmalıdır. Hızlı soğumayı sağlamak için tavlanan malzemenin doğrudan suda soğutulması önerilir. Alaşım yavaş yavaş soğutulduğu takdirde kayda değer derecede sertleşecektir. Bu da, daha sonraki işlemlerde sorun yaratabilir.

Şekil 5.35.a, b ve c'de verilen grafikler %75 oranında soğuk işlenmiş bir örnekte sertlik, kopma, işlenme direnci ve uzamanın tavlama sıcaklıklarıyla gösterdiği değişimi belirtmektedir (her sıcaklıkta 30 dakika).



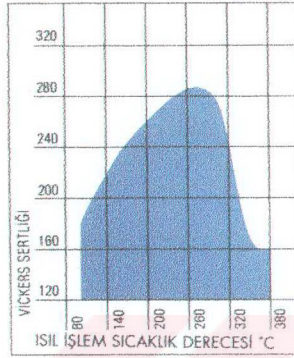
Şekil 5.35 18 ayar pembe altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artışı; (c) uzama oranındaki artış (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a)

%75 oranında soğuk işlenmiş alaşımdaki, tavlama sıcaklığının mikro yapı üzerindeki etkisi Şekil 5.36'da gösterilmiştir. Mikro yapı fotoğrafları x500 büyütmededir. Şekil 5.36.a'da 400°C'de 30 dakika tavllanmış yapının fotoğrafı gösterilmektedir. Şekil 5.36.b'de 600°C'de 30 dakika işlem gören alaşım yapısı, Şekil 5.36.c'de ise 700°C'de 30 dakika işlem görmüş alaşım yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5.36 18 ayar pembe altın alaşımının (a) 400°C'de 30 dakika; (b) 600°C'de 30 dakika; (c) 700°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapıları (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a)

İşleme sonrası son şeklini alan parçalara 260°C'de 60 dakika süreyle %40-80 oranında ısı uygulanarak bu alaşımın sertliği artırılabilir. Bu işlem sonucu alaşımın sertliğinde meydana gelen değişimler, Şekil 5.37'de gösterilmiştir (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a).



Şekil 5.37 18 ayar pembe altın alaşıma 260°C'de 60 dakika uygulanacak ısıtma işlemi ile sertliğin değişimi (Métaux Précieux SA Metalor, 1993a)

5.1.3.4 18 Ayar, Kırmızı Altın Alaşımları

Bileşim: %750 Au, %45 Ag, %205 Cu.

Fiziksel Özellikler: Renk, kırmızı (5N) (DIN 8238); yoğunluk, 15.15 g/cm³; ergime sıcaklığı, 890-895°C.

Mekanik Özellikler: Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 5.10'te verilmiştir.

Çizelge 5.10 18 ayar kırmızı altın alaşımının mekanik özellikleri (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b)

Alaşımda durumu	Döküm hali	Soğuk işleme oranı %20	Soğuk işleme oranı %75	Tavlama 550°C, 30 dk	Sertleştirilmiş 280°C, 60dk.
Sertlik (HV)	270	200	240	165	325
Kopma direnci (daN/mm ²)	-	70	95	55	95
%0.2 İşleme direnci (daN/mm ²)	-	55	80	30	85
Uzama (%)	-	7	1.5	40	4
Erichsen deneyi (mm)	-	-	-	7mm/10kN	-

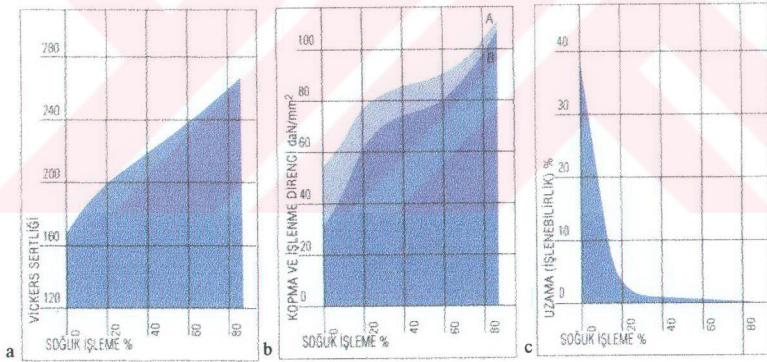
Bu alaşım bütün soğuk işleme tekniklerine (bükme, presleme, kesme, haddeme, tel çekme vs.) uyum sağlar. En iyi sonuçlar, küçük taneli malzeme kullanıldığında ve burada belirtilen soğuk işleme ve tavlama önerilerine uyulduğunda elde edilebilir.

Makine ile işleme, elmas tıraşlama, yontmada alaşımın tercihen soğuk işlenmiş veya sertleşmiş olması gerekir.

Alçı kalıpla dökümde, alaşım vakum içinde ergitilmeli ve döküm, oksijen korumalı bir ortamda gerçekleştirilmelidir. Az miktarda ilave elementler içeren benzer alaşımlar, değişik şartlarda alçı kalıp döküm için uygundur.

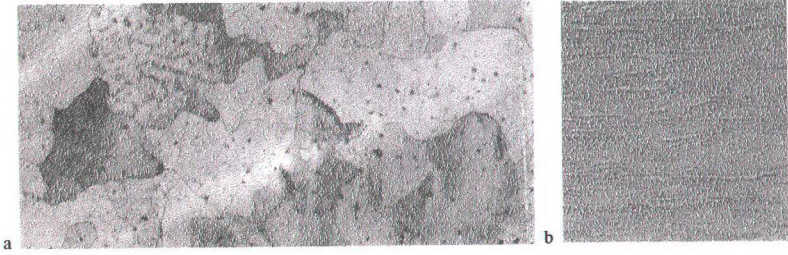
Tavlama ncesi alaşım en az %50, tercihen de %75 oranında soğuk işlemeye tabi tutulmalıdır. Tel ekmede, daha yüksek soğuk işleme oranları da kullanılabilir. Düşük oranlardaki soğuk işlemeler daha yüksek sıcaklıkta tavlama gerektirir ki, bunun sonucunda istenmeyen oranda tane büyümesi oluşabilir.

şekil 5.38.a, b ve c'deki grafikler soğuk işleme oranlarının 18 ayar kırmızı altın alaşımının sertlik, kopma ve işlenme dirençlerinde ve uzamasında yarattığı etkileri göstermektedir.



şekil 5.38 18 ayar kırmızı altın alaşımında soğuk işleme oranının arttırılması ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki artış (B); (c) uzamadaki azalma (Mtaux Prciex SA Metalor, 1993b)

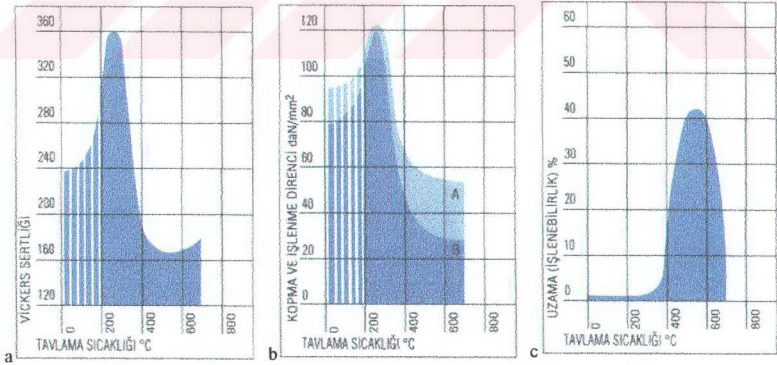
şekil 5.39.a'da söz konusu alaşımın döküm yapısı x50 büyütmede; şekil 5.39.b'de aynı alaşımın %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı x500 büyütmede verilmiştir.



Şekil 5.39 18 ayar kırmızı altın alaşımının (a) döküm yapısı; (b) %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b)

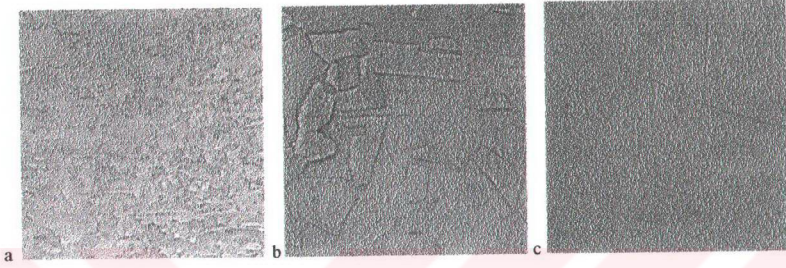
%75 oranında haddelenerek veya çekilerek soğuk işlemeden geçmiş olan malzeme için önerilen tavlama 550°C 'de 30 dakikadır. Isıtılma sırasında havayla temas, alaşımı okside edeceğinden, tavlama işlemi oksitlenmeyi önleyen bir ortamda yapılmalıdır. İşlenebilirliği fazla, esnek bir alaşım elde etmek için, tavllanmış malzemeye doğrudan su verilmesi önerilmektedir. Alaşım yavaş yavaş soğumaya bırakıldığında kayda değer oranda sertleşecektir

Şekil 5.40.a, b ve c'de verilen grafikler %75 oranında soğuk işlenmiş bir örnekte sertlik, kopma, işlenme direnci ve uzamanın tavlama sıcaklıklarıyla gösterdiği değişimi belirtmektedir (her sıcaklıkta 30 dakika).



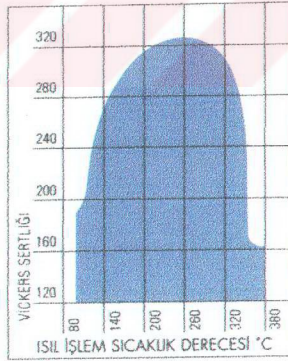
Şekil 5.40 18 ayar kırmızı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artışı; (c) uzama oranındaki artışı (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b)

%75 oranında soğuk işlenmiş alaşımdaki, tavlama sıcaklığının mikro yapı üzerindeki etkisi Şekil 5.41'de gösterilmiştir. Mikro yapı fotoğrafları x500 büyütmededir. Şekil 5.41.a'da 400°C'de 30 dakika tavllanmış yapının fotoğrafı gösterilmektedir. Şekil 5.41.b'de 600°C'de 30 dakika işlem gören alaşım yapısı, Şekil 5.41.c'de ise 700°C'de 30 dakika işlem görmüş alaşım yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5.41 18 ayar kırmızı altın alaşımının (a) 400°C'de 30 dakika; (b) 600°C'de 30 dakika; (c) 700°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapıları (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b)

İşleme sonrası son şeklini alan parçalara 260°C'de 60 dakika süreyle ısı uygulanarak bu alaşımın sertliği %50-100 oranında artırılabilir. Bu işlem sonucu alaşımın sertliğinde meydana gelen değişimler, Şekil 5.42'de gösterilmiştir (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b).



Şekil 5.42 18 ayar kırmızı altın alaşıma 260°C'de 60 dakika uygulanacak ısıtılma işlemi ile sertliğin değişimi (Métaux Précieux SA Metalor, 1993b)

5.1.4 14 Ayar Altın Alaşımları

Bu alaşımların %58,5'ini altın, %41,5'ini ise diğer alaşım elementleri oluşturmaktadır. Standartı ilk olarak 1932 yılında 15 ve 12 ayar alaşımları iptal edilirken belirlenmiştir. Buna rağmen 14 ayar altının kaplama ve kuyumculuktaki kullanımı 14. yüzyıla dayanmaktadır. En çok dolma kalem uçlarında yüksek aşınma dayanımı bulunan iridyum ile alaşımlanarak kullanılmaktadır.

14 ayar renkli altın alaşımlarının ergime sıcaklıkları 18 ayar altın alaşımlarından çok az da olsa, daha düşüktür. Ancak tavlama sıcaklıkları yaklaşık 100°C daha yüksektir. Yani 550°C yerine 650°C'dir. Bunun sebebi de 14 ayar bileşiminin çok geniş bir çift faz aralığına sahip olmasıdır. Alaşım elementleri orta aralıkta bir bileşim oluştursa da, örneğin eşit gümüş ve bakır içerdiklerinde bile üretimleri çok zordur. Haddeleme sırasında çatlama eğilimi gösterirler. Küçük miktarlarda nikel ve çinko ilavesi ile süneklik artırılmaktadır. 14 ayar alaşımların çalışma öncesinde tavllanması tavsiye edilmektedir. %5'den fazla bakır içeren tüm 14 ayar renkli altın alaşımlarına 650°C'de su verilir ve daha sonrada 300°C'de yaşlandırılarak sertleştirilirler.

14 ayar kırmızı altın alaşımlarının kararma ve korozyon dayanımı 18 ayar altın alaşımları kadar iyi değildir (Grimwade, 1985).

5.1.4.1 14 Ayar, Standart Sarı Altın Alaşımları

Bileşim: %585 Au, %300 Ag, %115 Cu.

Fiziksel Özellikler: Renk, sarı; yoğunluk, 14.05 g/cm³; ergime sıcaklığı, 895-820°C.

Mekanik Özellikler: Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 5.11'te verilmiştir.

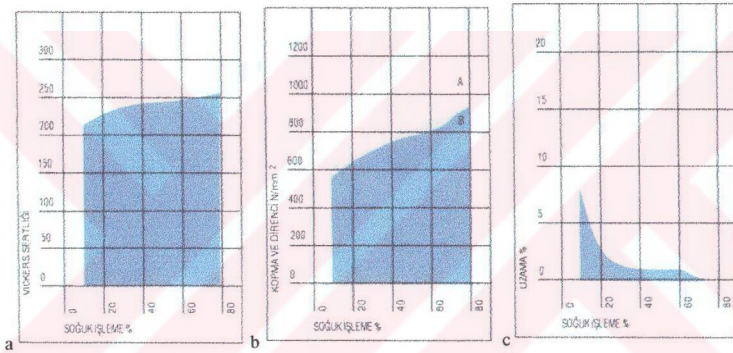
Çizelge 5.11 14 ayar standart sarı altın alaşımının mekanik özellikleri (Degussa AG, 1990)

Alaşımların durumu	Döküm hali	Soğuk işleme oranı %20	Soğuk işleme oranı %75	Tavllanmış 650°C, 30 dk	Sertleştirilmiş 350°C, 60dk.
Sertlik (HV)	147	226	252	150	247
Kopma direnci (daN/mm ²)	-	697	932	590	767
%0.2 İşlenme direnci (daN/mm ²)	-	647	907	410	731
Uzama (%)	-	3	0	17	1
Erichsen deneyi (mm)	-	-	-	10.1mm/27kN	-

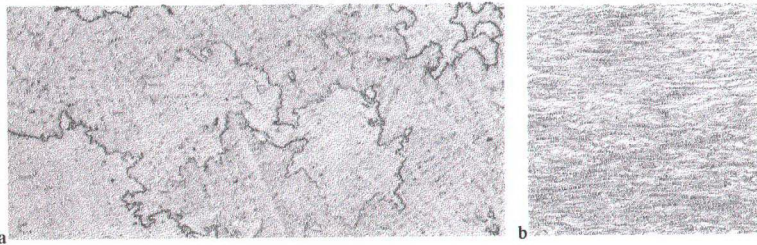
Bu alaşımların özellikleri açısından her tür soğuk işlemeye (haddeme, tel çekme, çekiçle dövme, presleme, kesme, bükme, ince tel çekme vs.) uyum sağlar. Aynı zamanda alaşım minelemeye de uygundur.

Tavlama öncesi alaşım en az %50, tercihen de %75 oranında soğuk işlemeye tabi tutulmalıdır. Düşük soğuk işleme oranları, nispeten daha yüksek sıcaklıkta tavlama gerektirir ve bu durumda istenmeyen miktarlarda tane büyümesi oluşabilir. Diğer yandan %75'den çok daha fazla soğuk işlendiğinde alaşımda çatlaklar oluşur.

Şekil 5.43 a, b ve c'deki grafikler soğuk işleme oranlarının 14 ayar standart sarı altın alaşımının sertlik, kopma ve işlenme dirençlerinde ve uzamasında yarattığı etkileri göstermektedir.



Şekil 5.43 14 ayar standart sarı altın alaşımında soğuk işleme oranının artırılması ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki artış (B); (c) uzamadaki azalma (Degussa AG, 1990)



Şekil 5.44 14 ayar standart sarı altın alaşımının (a) döküm yapısı; (b) %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı (Degussa AG, 1990)

Şekil 5.44.a'da söz konusu alaşımın döküm yapısı ve Şekil 5.44.b'de aynı alaşımın %75 oranında haddelenerek soğuk işlenmiş mikro yapısı x100 büyütmede verilmiştir.

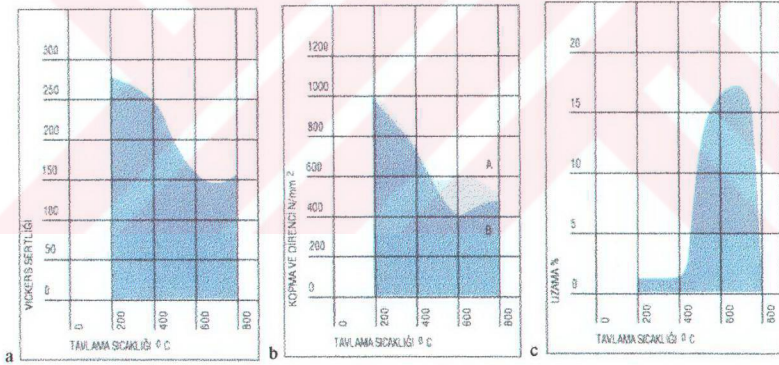
Örneğin hacmine ve ortalama kesit kalınlığına bağlı olarak, uygun oranda soğuk işlenmiş malzeme için önerilen tavlama 650°C sıcaklıkta 20-30 dakikadır.

Kalınlığı 1 mm'nin altında, özellikle hafif ve ince parçalarda tavlamanın 20 dakika süreyle, daha düşük bir ısıda (640°C) yapılması tavsiye edilir.

Tavlanan malzemeler biraz soğuyup donuk ve soluk kırmızimsı bir renk aldıklarında, hızla soğumaları için soğuk suya batırılmalıdır.

Atölyede alev kaynağı ile tavlama yapıldığında parçanın tümünün eşit miktarda ısıtılmasına dikkat edilmelidir.

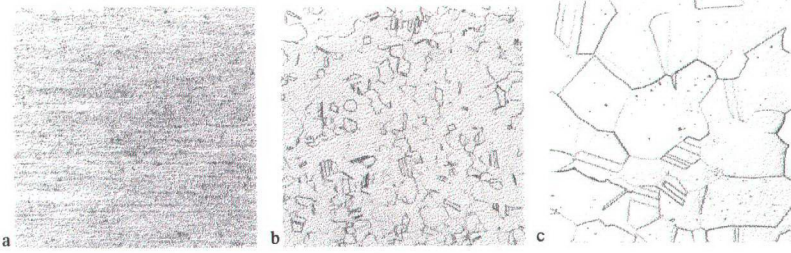
Şekil 5.45.a, b ve c'de verilen grafikler %75 oranında soğuk işlenmiş bir örnekte sertlik, kopma, işlenme direnci ve uzamanın tavlama sıcaklıklarıyla gösterdiği değişimi belirtmektedir (her sıcaklıkta 30 dakika).



Şekil 5.45 14 ayar standart sarı altın alaşımının tavlama sıcaklığının artışı ile, (a) sertlik değerindeki değişim; (b) kopma direnci (A) ve işlenme direncindeki (B) artış; (c) uzama oranındaki artış (Degussa AG, 1990)

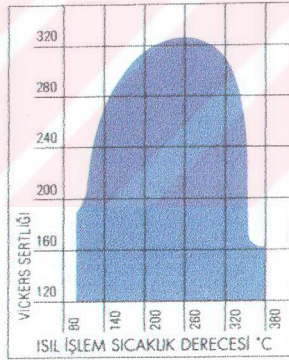
%75 oranında soğuk işlenmiş alaşımdaki, tavlama sıcaklığının mikro yapı üzerindeki etkisi Şekil 5.46'de gösterilmiştir. Mikro yapı fotoğrafları x100 büyütmededir. Şekil 5.46.a'da 500°C'de 30 dakika tavllanmış yapının fotoğrafı gösterilmektedir. Şekil 5.46.b'de 700°C'de 30 dakika işlem gören alaşım yapısı, Şekil 5.46.c'de ise 800°C'de 30 dakika işlem görmüş alaşım

yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5.46 14 ayar standart sarı altın alaşımının (a) 500°C'de 30 dakika; (b) 700°C'de 30 dakika; (c) 800°C'de 30 dakika tavllanmış mikro yapıları (Degussa AG, 1990)

Azami sertleşme, işlemesi bitirilip son şeklini alan parçaların gerekli şekilde tavlانیp, 60 dakika süreyle 350°C sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmasıyla elde edilir. Bu işlem sonucu alaşımın sertliğinde meydana gelen değişimler, Şekil 5.47'de gösterilmiştir (Degussa AG, 1990).



Şekil 5.47 14 ayar standart sarı altın alaşıma 350°C'de 60 dakika uygulanacak ısıtıl işlem ile sertliğin değişimi (Degussa AG, 1990)

5.1.5 9 Ayar Altın Alaşımları

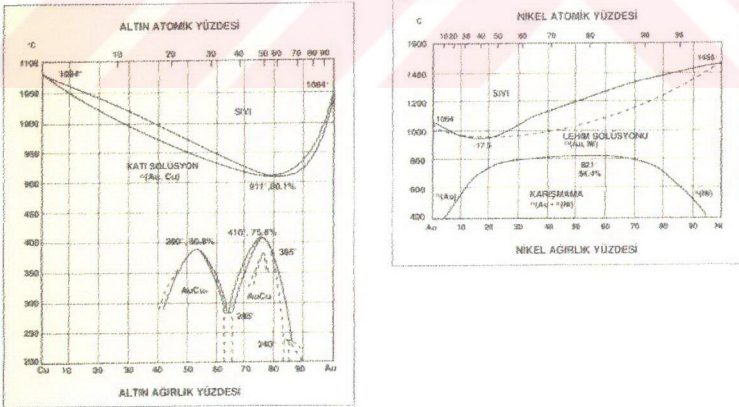
Bu alaşımlar %37.5 altın, %62.5 alaşım elementi ihtiva ederler. Standardı 1854'de kabul edilmiştir, hemen ardından da kuyumculuk sektöründe ucuzluğuna bağlı olarak kullanım alanı

bulmuştur. İngiltere’de altın kuyumculuk ürünlerinin büyük bir bölümünü 9 ayar altın alaşımları oluşturur.

Ticari alaşımlar genellikle basit Au-Ag-Cu üçlü alaşımları olup, fark edilebilir miktarlarda çinko içerirler. Çinko ergime derecelerini düşürmekte fakat yüksek bakır içeriğinin kırmızılaştırma etkisini ortadan kaldırmaktadır. Tahmin edilebileceği gibi bileşim değişimleri ile elde edilecek renk ve mekanik özellikler çok geniş bir aralıkta değişim gösterebilir. Bu alaşımların bazıları 650°C’de su verme ve 300°C’de, 10 dakika yaşlandırma ile sertleştirilebilir (Grimwade, 1985).

5.2 Beyaz Altın Alaşımları

Bu alaşımlar temelde altın, nikel ve bakır karışımına çinko veya paladyum eklenmesiyle elde edilirler. Bunların metalürjik özellikleri en başta Au-Cu ve Au-Ni ikili sistemleriyle belirlenir (Şekil 5.48). Altın-nikel ikili sisteminde alaşımlama da düşme ve altın-bakır sistemindeki olası bir tepkime, tavlınmış durumda aşırı sertlik ve haddeleme yeteneğinde azalmaya neden olmanın yanı sıra, donuklaştırıcı (karartıcı), ısıl işlemleri esnasında çatlatıcı ve gerilim kaynaklı aşındırıcı bozukluklara sebep olabilmektedir. Öte yandan düşük maliyetleri ve bazı durumlarda alışılagelmiş tekniklerle mümkün olmayan, mumda döküm işlemine olanak veren düşük ergime noktalarıyla daha avantajlıdır.



Şekil 5.48 Au-Cu ve Au-Ni ikili alaşımların denge diyagramları (Bagnoud vd., 1996).

Her ne kadar nikel genelde beyaz altın alaşımlarında kullanılsa da, bazı renkli altın alaşımlarında da sertleştirici olarak kullanılmaktadır. İkinci durumda, kullanımı renk üzerindeki etkisi nedeniyle, %2 civarında sınırlıdır. Aynı sertleştirici etkiyi platin kullanarak, ya da bakır kullanımına bağlı yapısal sertleşme özelliklerinden faydalanarak elde etmek mümkün olduğundan, nikel kullanımının altın alaşımlarından tamamen kaldırılması, yalnızca beyaz altın için bir sorun teşkil etmektedir. Çünkü nikel, oldukça etkili bir beyazlaştırıcı elementtir.

O'Connor, nikelin yerini tutacak potansiyel bazı altın beyazlaştırıcı elementlerin listesini hazırlamıştır. Bunlar: Ag, Pd, Pt, Co, Cr, In, Sn, Zn, Al, Ti, V, Ta, Fe, Nb ve Mn'dır. Platin ve paladyum gibi pahalı elementler hariç tutulacak olursa, beyazlatıcı özellik açısından en ilginç iki element Fe ve Mn'dır.

Çizelge 5.12 Beyazlaştırıcı etkisi olan elementlerin özellikleri (Emre, 2000)

Element	Beyazlatıcı özelliği	Dezavantajı
Ag	Yetersiz	Yüksek oranlarda kullanıldığında korozyona karşı çok zayıftır.
Pd	Çok iyi	Pahalı olması ve ergime sıcaklığını yükseltmesi.
Pt	Çok iyi	Paladyumdan daha pahalıdır.
Co	Kötü	Alerjen. Kobalt katkıları sıvılaşmayı 125°C'inin üzerine çeker.
Cr	Kötü	Alerjen.
In	Kötü	Yüksek oranlarda kullanıldığında alaşımın sertliği çok artar ve işlenebilirliği azalır. Çinko ise geri dönüşüm sırasında sorun yaratır.
Sn		
Zn		
Al	Kötü	İşlenebilirliği, düşük oranlarda katıldıklarında bile olumsuz etkilerler.
Ti		
V	Kötü	Zehirli. Soğuk işlenebilirliği düşüktür.
Ta	Kötü	Çok reaktif olmaları, uygulama sırasında güçlük yaratır.
Nb		
Fe	İyi	Altın içerisindeki çözünürlülüğü düşük olduğundan, çökmesi durumunda alaşıma ferromanyetik karakter kazandırır ve korozyon olasılığını artırır. %10'dan fazla kullanıldığında sertliği çok fazla artırır ve soğuk işlenebilme kabiliyetini düşürür, döküm sırasında oksidasyon problemi oluşur.
Mn	İyi	Yüksek oranlarda kullanıldığında (%10'dan fazla) reaktif olmasından dolayı uygulama sırasında güçlük yaratır.

Paladyum içeriği %10'dan az olan 18 ayar altın alaşımlarına %2-5 arasında demir eklenmesi mekanik ve renk özellikleri açısından değişik alaşımlar vermektedir. Daha düşük ayarlı alaşımlarda yüksek miktarlarda demir eklenmesi daha çok problem yaratmaktadır.

Manganezin altın alaşımları için beyazlatıcı element olarak kullanımı ile ilgili pek fazla bilgi bulunmamaktadır. O'Connor zayıf beyazlatıcı etkisi ve oksit oluşturma eğilimi yüzünden Mn'nin kullanımını reddetmektedir. Fakat başka bir araştırmada da özellikle paladyumla birlikte kullanıldığında manganezin yeterli derecede beyazlatıcı etki gösterdiği bulunmuştur.

Tek başına kullanıldıklarında, yukarıda adı geçen elementlerden hiçbiri, söz konusu gereklilikleri yerine getirecek alaşımları oluşturmazlar ve nikelin yerini tutamazlar. Eğer en önemli özelliklerin renk, sertlik ve işlenebilirlik olduklarını düşünecek olursak, paladyumun temel beyazlatıcı olarak kullanılması kaçınılmazdır. Bu tip alaşımların maliyetlerinin marjı esnek tutulmalıdır.

Çoğunlukla sert kaynak yapmak için elverişli olan beyaz altın alaşımları, nikeli beyazlatıcı element olarak kullanılır. Paladyum ise sadece düşük oranlarda kullanılabilir, çünkü ergime noktalarını yükseltir. Bunlar bazı başka düşük ergime noktalı metalleri de içerirler: çinko, indiyum, galyum, kadmiyum ve belki bakır gibi. Bunların oranı ve seçimi alaşımdaki altın miktarına bağlıdır. Şimdiye kadar sadece düşük miktarlarda (%3-5) manganez kullanılarak ancak kabul edilebilir renkte, nikel içermeyen beyaz altın alaşımlarının ergime oranına uyarlanabilen, kaynak alaşımları elde edildiği görülmüştür. Renk göz önüne alındığında ve düşük oranda manganez söz konusu olduğunda sarı renge doğru hafif bir eğilim gözlenmektedir. Bu eğilim sınırı birçok altın alaşımından çok uzak olmadıkça kaynaklama için bir problem teşkil etmez (Rose ve Newman, 1986; Bagnoud vd., 1996).

Ticari olarak beyaz altın çok daha pahalı olan platin yerine bu yüzyıl başlarında üretilmeye başlanmıştır. Üç çeşit beyaz altın alaşımı bulunmaktadır: fakat bu alaşımların üçünde de düşük oranlarda bakır, nikel, çinko, manganez, platin ve gümüş bulunabilmektedir (Grimwade, 1985).

Beyaz altın alaşımları genellikle ayarlarına ve beyazlatıcı olarak kullanılan elementin cinsine göre adlandırılmaktadırlar. Bu nedenle beyaz altın alaşımlarını nikel içeren, paladyum içeren ve paladyum ile nikeli içeren beyaz altın alaşımları olarak üç gruba ayırmak mümkündür. Nikel içerikli beyaz altın alaşımları (altın-bakır-nikel-çinko alaşımları), kullanım açısından diğer beyaz altın alaşımlarından daha yaygındır. Beyaz altın alaşımlarının kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 5.13'de verilmiştir. Bununla beraber bu alaşımlarda, iyi bir renk ve işlenebilirlik özelliklerinin aynı anda sağlanmasının zorlukları vardır. Eğer etkili bir beyazlık için altın-bakır matriksine büyük oranda nikel ilave edilirse, alaşımın tavlanmış halinin bile sertliği çok yüksek olmaktadır. Ayrıca soğuk işleme sertleşme oranı

yüksek olduğundan bu tür alaşımların işlenmesi esnasında sık sık tavlama yapılması zorunludur (Rose ve Newman, 1986; Emre, 2000).

Çizelge 5.13 Beyaz altın alaşımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri (Emre, 2000)

Alaşım Türü	Bileşim (%)	Ergime sıcaklığı (°C)	Sertlik		Çekme mukavemeti (kg/mm ²)	Uzama (%)
			HB	HV		
Paladyumlu Beyaz Altın Alaşımları						
18 A %75 Au	%10 Pd, %10.5 Ag, %4.5 (Cu+Ni+Zn)	1020	T H	95 216	37.9 70.3	33 1
14 A %58.5 Au	%10 Pd, %28.5 Ag, %2.5 (Cu+Ni+Zn)	1015	T H	82 195	41.4 65.3	24 0
Nikelli Beyaz Altın Alaşımları						
18 A %75 Au	%14 Ni, %11 (Cu+Ni)	910	T H	220 150	71 123.5	42 1.6
14A %58.5 Au	%14.5 Ni, %20 Cu, %7 Zn %15.3 Ni, %25.8 Cu, %0.4 Zn		T T	152 177	72.6 69.9	42.8 51.3
9 A %37.5 Au					685	35
Paladyum ve Nikelli Beyaz Altın Alaşımları						
18A %75 Au	%15 Pd, %10 (Cu+Ni)	1095	T H	180 280	55 94	33 3.5
T: Tavlanmış, H: Haddelenmiş.						

5.2.1 Nikelli Beyaz Altın Alaşımları

Nikelli beyaz altınlar, Au-Ni-Cu-Zn sistemi içindedir. Olumlu özellikleri: nispeten ucuzdur, alçı döküm uygulanabilir, astar, pres ya da tel yapılabilir, kararmaya dayanıklıdır. Olumsuz özellikleri: döküm hali çok serttir, işlemeyle sertleşme seviyesi yüksektir, 10 ve 14 ayar alaşımların platin ile renk uyumu zayıftır, işlenebilirliği azdır, ateşte çatlamaya karşı dayanıksızdır ve içerdiği yüksek orandaki çinko, yeniden kullanımı güçleştirir (Grimwade, 1992b). Genelde nikel içeren beyaz altın alaşımları altın takı için kullanılır.

Yüksek oranda nikel içeren alaşımların çok açık bir rengi vardır, ancak çok serttirler ve işlenmeleri çok zordur. Bu yüzden de takı üretimi için çok uygun değildir. Elastiklik sınırları yüzünden şekillendirme için de uygun değildirler. Bu tip alaşımlar her şeyden önce çivi ve menteşe tarzında parçaların yapımında kullanılır.

Düşük bir oranda nikel içeren alaşımlar daha yumuşaktır ve bu alaşımlara kolay şekil verilebilir. Altın takı işlemesine daha uygun olmalarına rağmen beyazlıkları yetersizdir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için, genellikle rodyum elektro kaplamaya tabi tutulurlar. Bu

kaplama ise çok ince olduğundan aşınmaya yatkındır. Alaşımın asıl rengi bir süre sonra yeniden ortaya çıkar ve bu yüzden söz konusu yöntem, estetik açıdan uygun değildir. Ayrıca bu kaplama, porozitesi yüzünden nikelin açığa çıkması gibi bir sorun yaratmaktadır (Bagnoud vd., 1996).

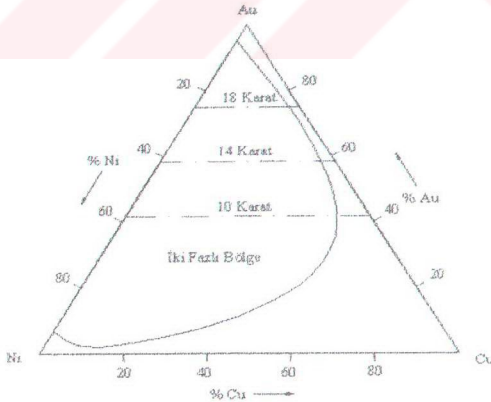
Ticari Ni-beyaz altın alaşımları korozyona en dirençli alaşımlardır (Grimwade, 1994b).

Bu alaşımlar 20 ayara kadar kullanılmaktadır. Paladyumlu beyaz altına göre çok daha düşük ergime sıcaklığına sahiptirler (800-1050°C). Nikel sertleştirici özellik taşımaktadır ve paladyuma oranla sertlikte bir artış göstermektedir. Soğuk şekil verme ve tavlama ile yüksek çekme mukavemeti ve elastiklik sınırı elde edilir.

Alaşımların katılaşma eğrisinin hemen altında tek fazlı katı çözeltiler bulunurken yavaş soğutma veya yaşlandırma ısıl işleminde ayrılarak altınca zengin ve nikelce zengin iki faz oluşur. Bu fazların ayrışması sonucunda;

- süneklik ve işlenebilirlik azalır,
- altınca zengin fazın oluşmasından dolayı beyazlık azalır,
- korozyon dayanımında azalma olasılığı vardır.

Eğer tavlama koşulları çok dikkatli kontrol edilmezse, nikelce zengin alaşım ısıtma esnasında sıcak kırılganlık, soğuk işlem sırasında da yüzeyde pürüzlülük (portakal kabuğu etkisi) oluşmasına neden olur. (Şekil 5.49).



Şekil 5.49 Au-Ni-Cu üçlü denge diyagramında 315°C izotermal kesit (Emre, 2000)

Altın-nikel-bakır bazlı beyaz altın alaşımları, altın-gümüş-bakır bazlı sarı altın alaşımlarına göre soğuk işleme daha çabuk sertleşir ve tavlama sonrasında sertlikleri daha yüksektir.

Altın-nikel-bakır bazlı beyaz altın alaşımlarının yüksek sıcaklık işlemleri sırasında yırtılma riski bulunmaktadır. Beyaz altın alaşımlarının bileşimi, renk ve yüksek sıcaklıkta yırtılma eğilimi arasındaki optimum dengeyle belirlenir. Bakır içeriğinin artması, yüksek sıcaklıkta çatlama eğilimini azaltırken, nikelin beyazlaştırıcı etkisini azaltmaktadır. Bu sisteme çinko ilavesiyle, bakırın renk aktifliği engellenerek nikelin beyazlaştırıcı etkisi artırılabilir. Ancak çinko ilavesi de yüksek sıcaklıkta çatlama eğilimini arttırmaktadır (Rose ve Newman, 1986; Faccenda, 1995a; Emre, 2000).

Normandeau'nun yaptığı çalışmada da, ticari olarak kullanılan Au-Ni-Cu-Zn alaşımlarının karşılaştırmasını yaparken rengin Ni:Cu oranından kaynaklandığını, yüksek Ni oranının daha güzel bir renk (beyazlık) verdiğini, Cu yüksek olduğunda da sertliğin ve çekme mukavemetinin düştüğü ve işlenebilirliğin arttığını belirtmiştir (Grimwade, 1994b).

5.2.2 Paladyumlu Beyaz Altın Alaşımları

Paladyumlu beyaz altın alaşımları, Au-Ag-Pd sistemidir. Bunların platin ile kusursuz bir renk uyumu vardır, sertlikleri düşük, işlenebilirlikleri çok iyidir. Alaşımlar ateşte çatlamalara karşı dirençlidir, nikelli beyaz altınlara oranla korozyona karşı dirençleri daha yüksektir, yeniden ergitilmeleri ve tekrardan kullanılmaları kolaydır. Bunun yanında ergime sıcaklık aralığı (1100-1320°C) çok yüksek olduğu için daha pahalı fosfat bağlı alçı kullanımını gerektirir ve içindeki paladyum yüzünden alaşım pahalıdır. Diğer beyazlaştırıcı alaşım elementleri olarak demir, kobalt, indiyum ve krom içeren başka alaşım sistemleri de incelenmiş ancak çoğunda işlenebilirlik çok düşük bulunmuştur (Rose ve Newman, 1986; Grimwade, 1992b; Emre, 2000).

Çizelge 5.14 Yüksek paladyum içerikli 18 K alaşımların bazı özellikleri (Emre, 2000)

Bileşim (%)								Tavllanmış sertlik	Ergime sıcaklığı	Renk		
Au	Pd	Ag	Cu	Zn	In	Sn	Ga	(HV)	(°C)	L*	a*	B*
75.0	17.0	4.0	4.0	-	-	-	-	85	1200-1290	79.7	0.9	8.0
75.0	17.0	-	4.0	1.0	3.0	-	-	130	1095-1175	80.8	1.4	6.6
75.0	18.0	-	2.5	-	3.8	0.7	-	125	1150-1210	80.5	1.3	6.6
75.0	18.0	-	3.0	-	3.5	-	0.5	135	1090-1210	80.6	1.2	6.4
75.0	19.5	-	2.5	-	2.3	0.7	-	105	1165-1250	79.8	1.1	6.3

20 ayara kadar tüm ayarlarda üretilebilmektedir. Ancak istenilen beyazlaşma etkisini göstermeyecek kadar az alaşım ihtiva eden 22 ayar beyaz altın üretilememektedir. 18 ayar paladyumlu beyaz altın alaşımları içerisinde bir parça gümüş ilavesi ile daha yumuşak ve işlenmesi kolay bir alaşım elde edilir (Grimwade, 1985).

Au-Pd-Cu-Zn sistemi ile %15 oranında paladyum yeterli derecede beyazlık sağlamaktadır. Au-Pd-In-Sn/Zn/Ga sistemlerine gelince, içerdikleri paladyum %15'ten fazla olduğunda, daha beyaz alaşımlar ve daha olumlu mekanik özellikler ortaya çıkmaktadır. Ancak daha pahalı olup, ergime noktaları daha yüksektir. Bu ergime noktalarını, daha kolay şekil verilebilir alaşımlar elde edebilmek için yeterince düşürmek zordur.

Au-Pd-Ag-Cu sistemi 14 ayar altın alaşımları için uygun olmaktadır. Buna karşın, uygun renk elde edebilmek için, %15 oranında paladyum içeriğinin olması şarttır. 1100°C sıvılaşma ısı seviyesinin altında alaşım elde etmek mümkün ise de, %2'nin altında çinko eklenmesi, döküm işlemini oldukça iyileştirmektedir. Daha büyük miktarda çinko kullanımı ise alaşımın şekil verilebilirliğini azaltmakta ve dökümde, geri dönüşüm işlemlerini zorlaştırmaktadır.

Au-Pd-Ag-Cu-Mn ve Au-Pd-Ag-Cu-Fe sistemlerinde 18 ayar alaşımlar geliştirilmiştir. Bu alaşımlar nikel içerikli olanlarından çok daha kolay işlenmektedir ve renk özellikleri de benzerlik göstermektedir. Buna rağmen, yukarıda da bahsedildiği gibi bu iki sistemle yeterli derecede beyaz renk elde edebilmek için toplam Pd+Mn veya Pd+Fe içeriğinin %15 olması ve aynı zamanda minimum Pd içeriğinin ise %5 olması gerekmektedir. Mn'nin tepkimeye elverişliliği ve Fe'nin manyetik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda %10 veya daha fazla paladyum içeriği olması tercih edilmektedir.

Au-Pd-Ag-Cu-Mn sisteminde paladyum içeriğini azaltabilmek için önemli miktarlarda manganez kullanılması, soğuk işlemden düşüşe ve gerilim korozyonuna yol açabilmektedir. Genellikle Au-Pd-Ag-Cu-Mn sistemine bağlı olan 14 ayar alaşımlar, denkleri olan 18 ayarlık alaşımlardan biraz daha zor işlenebilirler. Bu alaşımlar yeterli tecrübe ve gerekli teçhizata sahip olan endüstriyel kuruluşlar için daha uygundur. Alışlagelmiş olan bütün beyaz altın alaşım elde etme teknikleri kullanılabilir. Cilalama ve tormalama gibi işlemlerde sorun çıkmaz. Dikkatli davranılırsa manganez ve/veya demir içeren birçok alaşım kayıp mum dökümü içinde kullanılabilir.

Paladyum alaşımları, nikel alaşımlarından renkçe daha koyudur. Bakır ve/veya çinko eklenmesinde renkte bozulma olmasına rağmen sertlik artmaktadır. Bu yüzden rengi ve soğuk işlenebilirliği iyi ve yeterli sertliği olan 18 ayar bir alaşım elde etmek mümkün değildir.

Uçuculuk ve işlenebilirlikteki azalma nedeniyle, çinko içeriği sınırlanmalıdır. Ayrıca bakırın sarı bir alaşım oluşturma eğilimi yüzünden, bu alaşımların renk ve sertliklerini iyileştiren nikel katılmaktadır.

Paladyumun sıvılaştırma sınırını yükseltmedeki etkisi fazla iken, Zn, Cu ve Ge katkıları sıvılaştırma sınırını düşürmektedir. Alaşımda Zn, Cu ve Ge'nin bulunması, Pd gibi, belirli bir katkı seviyesine kadar kayda değer bir biçimde sertliği artırır; bu seviyenin üzerine çıkıldığında sertlik azalmaya başlar (Grimwade, 1994b; Bagnoud vd., 1996).

Bakır içerseler de Au-Pd alaşım sistemi tüm sıcaklıklarda katı çözünebilirlik gösterdiklerinden ısı işlem uygulanarak sertleştirilemezler. Sertleştirme için soğuk işlem uygulanabilir (Grimwade, 1985).

Beyaz altın alaşımlarının dökümünde daha yüksek sıcaklıklara çıkmak, yüksek sıcaklığa dayanıklı alçı kullanmak (fosfat bağlı) ve uzayan işlem süresi; kalıpların altından daha zor ayrılması gibi bir takım zorluklarla karşılaşılmasına neden olmaktadır. Kalan alaşım elementlerinin gaz absorpsiyonunun önlenmesi için yüksek sıcaklıklarda ergimiş paladyumlu beyaz altın alaşımlarının dökümü için, fosfat bağlı alçı kullanılır.

Bu sıcaklıklarda, döküm alçısındaki sülfat bağlı ayrışır; sülfür dioksit ve serbest oksijen oluşturarak dökümde hatalara yol açar. Ancak günümüzde paladyumlu beyaz altın alaşımlarında sülfat bağlı döküm alçıların kullanılabileceği açıklanmıştır. Toz satıcıları ürünlerine kattıkları küçük ilaveler ve formülasyondaki küçük oynamalar ile düşük maliyetli, kaliteli mücevher üretimini mümkün kılmışlardır.

Paladyumlu beyaz altın alaşımlarının sülfat bağlı döküm alçılarına dökülebilmesini sağlayan iki ayrı metot kullanılmaktadır:

İlk metotta mum ağaç fosfat bağlı bir döküm alçısına daldırılarak yaklaşık 2 mm kalınlığında bir kabuk elde edilir. Bu kabuk oluşturulurken vakum altında çalışılmalı ve daldırma işlemi istenilen kalınlığa ulaşıncaya kadar tekrar tekrar devam etmelidir. Bu fosfat bağlı kabuk elde edildikten sonra sülfat bağlı döküm alçısı kullanılabilir. Fosfat bağlı alçı sadece kabuk olarak kullanılmalıdır. Bu durum yüksek maliyetli alçıdan kurtulmak anlamına gelir.

İkinci metotta ise, tozların döküm öncesinde yerleştirildiği borik asitli formül kullanılır. Borik asit ilavesi gaz oluşumunu ve bakır oksit tabakasını ortadan kaldırır.

Paladyumlu beyaz altın alaşımlarının dökümünde, fanus sıcaklığının doğru seçilmesi önemlidir. Bu sıcaklık 540-650°C arası olup, gaz absorpsiyonunu önler (Bagnoud vd., 1996,

Cart, 1998).

5.2.3 Paladyum-Nikelli Beyaz Altın Alaşımları

Paladyum ve nikel içeren 18 ayar beyaz altın alaşımları, nikelli beyaz altın alaşımlarından daha pahalı olmasına rağmen, daha gelişmiş korozyon dayanımı, soğuk işlem kabiliyeti, daha iyi renk ve birçok uygulama için yeterli sünekliğe sahiptir. (Grimwade, 1985; Rose ve Newman, 1986; Emre, 2000).

5.3 990 Milyem Altın (Au 990-Ti10)

Bu alaşım %9.1 Ti-%0.5 Ru-%0.4 B ihtiva etmekte ve dökümcülükte kullanılmaktadır. Yoğunluğu, 19 g/cm³; ergime sıcaklığı, 1090±10°C; rengi, sarıdır. Aşınmaya çok dayanıklı, sertleştirilebilir, yüksek ayarlı altın alaşımıdır.

Titanyum, yüksek sıcaklıklarda oksijen ve azotla birleştiğinden; alaşım ergitme işlemi, vakum indüksiyonlu fırında yapılmalıdır. Pota, alüminyum oksit, zirkon dioksit ya da saf grafitten yapılabilir. Ancak en iyi döküm boşluğu doldurma performansını elde etmek için nispeten yüksek basınca ihtiyaç vardır; basınçlı dökümle daha iyi sonuçlar alındığı kesindir.

Yüksek ayarlı altın-titanyum alaşımları alçı döküm tekniğine uygundur. Ancak özel koşullar gerekir. Bunların en önemlileri:

- yüksek döküm sıcaklığı için (1300°C'ye kadar) ekipman bulundurmak;
- bütün döküm işlemini argon atmosferi altında yürütmek ve
- fosfat bağlı alçı kullanmaktır.

Altın-titanyum alaşım ergiyeğinin yüksek yüzey gerilimi ve düşük akışkanlığı vardır. Örneğin 18 ayar sarı altına kıyasla kalıba dökmek daha zordur. İyi sonuç elde etmek için döküm sıcaklığı çok yüksek olmalıdır ancak bu da ergitme ekipmanı açısından sorun çıkarabilir.

Titanyum miktarı arttıkça alaşımın dökülebilirliği de kötüleşir. En iyi doldurma AuTi10 alaşımıyla yapılır. Titanyum miktarını %15'e çıkarmak doldurmaya kötü etki eder.

Yeterli mukavemet ve sertliği elde etmek için dökümlerin yaşlandırılmayla sertleştirilmesi gerekir. Heterojen mikro yapı 900°C'de tavlansak homojenleştirilebilir. Homojenleştirmeyi izleyen yaşlandırmayla sertleştirme işlemi, döküm parçalara uygulanan doğrudan yaşlandırmayla sertleştirmeden daha uzun sürer. Pratik kullanım için, homojenleştirme yapmadan yaşlandırmayla sertleştirme yeterli olacaktır. %10 titanyum, 18 ayar sarı altın

alaşımların sertliğiyle kıyaslanabilir bir orta sertlik için yeterlidir. Daha yüksek sertlik için titanyum oranı %14'e çıkarılabilir.

Tavlanmış yumuşak haldeyken her tür soğuk işleme tabi tutulabilir.

Kalem atma, delme, zımparalama ve cilalama gibi yüzey işlemleri, yalnızca sertleşmiş haldeyken yapılmalıdır.

990 milyem altın, madeni para, para birleştirme parçaları ve madalya üretimi için uygundur (Grimwade, 1994a; World Gold Council, 1996).

5.4 Üretim Yöntemlerine Göre Altın Alaşımları

5.4.1 Dökme Altın Alaşımları

Amerika, Avrupa ve Türkiye'de kullanılan ticari dökme altın alaşımların kimyasal bileşimleri Çizelge 5.15'de verilmiştir. Bu dökme altın alaşımları ile numune döküm parçaları döküldükten sonra, dökümlerde renk kontrolü yapılması tavsiye edilir. İstenilen rengin elde edilememesi durumunda elementlerin yüzde oranları dar sınırlar içinde değiştirilebilir.

Çizelge 5.15 Dökme altın alaşımları (Aras, 1996)

Ayar	Kimyasal Elementler						Renk	Döküm sıcaklığı (°C)
	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Diğer		
14	58.50	-	24.50	8.5	8.5	Si, B	Beyaz	840-890
14	58.50	28.00	2.50	0.1	0.9	Pd=10	Beyaz	1015-1125
14	58.50	-	26.00	8.0	7.5	-	Beyaz	870-950
14	58.50	6.50	31.00	4.0	-	0.17 Si	Sarı	826-895
14	58.50	30.00	11.50	-	-	0.08 Si	Yeşil	842-903
14	58.50	9.57	28.07	3.78	-	0.08 Si	Yeşil	810-880
14	58.50	3.94	31.12	6.36	-	0.08 Si	Sarı	880-895
14	58.50	7.03	26.00	8.40	-	0.07 Si	Yeşil	860-890
18	75.00	-	8.90	4.1	12	0.1B	Beyaz	907-973
18	75.00	2.00	23.00	-	-	0.02 Si	Pembe	-
18	75.00	4.48	17.98	2.54	-	0-0.1 Si	Sarı	-
14	58.33	7.50	29.90	4.27	-	0-0.2 Si	Sarı	-
10	41.67	10.48	41.79	6.06	-	0-0.5 Si	Sarı	-
14	58.50	4.00	31.12	6.22	-	0.16 Si	Sarı	880-895
14	58.50	25.00	16.50	-	-	-	Yeşil	-

Alaşım ayarı, renk, bileşim, katılma ve sıvılaşma sıcaklıkları arasındaki bağlantılar, Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16 Alaşımların katılaşma ve sıvılaşma sıcaklıkları (Aras, 1996)

Ayar	Renk	Bileşim elementleri	Katılaşma sıcaklığı (°C)	Sıvılaşma sıcaklığı (°C)
Sterling	Beyaz	Au, Cu	800	898
10	Kırmızımsı sarı	Au, Cu, Ag, Zn	827	885
10	Parlak sarı	Au, Cu, Ag, Zn	800	890
10	Kırmızı	Au, Cu, Ag, Zn	926	948
10	Yeşil	Au, Cu, Ag, Zn	953	992
10	Beyaz	Au, Cu, Ni, Zn	948	1003
14	Kırmızımsı sarı	Au, Cu, Ag, Zn	836	887
14	Parlak sarı	Au, Cu, Ag, Zn	812	874
14	Limon sarısı	Au, Cu, Ag, Zn	782	833
14	Kırmızı	Au, Cu, Ag, Zn	940	964
14	Yeşil	Au, Cu, Ag, Zn	970	997
14	Beyaz	Au, Cu, Ni, Zn	937	981
14	Nikel beyazı	Au, Cu, Ni, Zn	948	1008
14	Paladyum beyazı	Au, Ag, Pd, Cu	1069	1121
18	Zengin sarı	Au, Cu, Ag, Zn	864	920
18	Sarı	Au, Cu, Ag, Zn	898	931
18	Kırmızı	Au, Cu, Ag, Zn	953	997
18	Yeşil	Au, Cu, Ag, Zn	1003	1025
18	Beyaz	Au, Cu, Ni, Zn	904	942
18	Paladyum beyazı	Au, Pd, Ag, Cu	1036	1093

Dökme altın alaşımlarına, silisyum elementi çok az miktarlarda ilave edilmektedir (Aras, 1996). Önemli olan alaşımın ayarı değil, içerdiği altın ve gümüş oranıdır. Hemen hemen hiç gümüş içermeyen kırmızı altınlarda silisyum rahat çözünmektedir. Daha çok altın ve gümüş içeren yeşil altının ise 14 ayarında bile silisyum çözünürlüğü yoktur. Çekilebilirlik korunarak silisyum miktarı artırılmak isteniyorsa, altın ve gümüş miktarı azaltılmalıdır. Değerli metallerde silisyum oranı %0.05 gibi yuvarlak bir rakam ile belirtilmektedir. Bu sınırdan öteye geçildiğinde silisyum kayıpları altın içeriğini ters etkileyeceğinden pek tavsiye edilmemektedir. 18 ayar gibi altın ve gümüş değerleri yüksek olan bileşimlere dikkat etmek gerekmektedir. Özellikle yeşil altının deoksidasyonu için silisyum eklenir.

Genel olarak bakıldığında silisyumun kalıp dolum kabiliyetini artırma özelliği, olumsuz yönlerini bastırmaktadır. Alaşıma Si ilavesinin etkileri şu şekilde özetlenebilir:

- Düşük miktarlardaki ilavelerde kalıp dolum kabiliyeti artmaktadır.
- Düşük miktarlardaki ilavelerle döküm yüzeyi pürüzsüz olmakta ve oksit tabaklarından arınmaktadır.
- Silisyum ilavesi aside daldırma sonrası kırıma özelliklerini pek etkilememektedir.

- Silisyum miktarı arttıkça, sertlik de artmaktadır.
- Kritik değer aşıldığında, kopma ve işlenme direnci büyük bir hızla düşer, çekilebilirlik azalır.
- Tane boyutu artar.

Eğer kritik değer aşılsa, tane sınırlarında mikro yapısal olarak silisyum açısından zengin ikincil parçacıklar oluşmaktadır. Tekrar kullanıldığı her döngüde silisyum miktarı azalmakta ve oksijen miktarı artmaktadır. İlaveler yapılırken kritik değerlerin aşılmamasına dikkat edilmelidir (Normandeau ve Roeterink, 1995).

Silisyumun dökme alaşımlarının mekanik özelliklerine etkisi aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- 10 ayar dökme altın alaşımları
 - Silisyum miktarı arttıkça, kopma uzaması azalır.
 - Silisyum miktarı arttıkça, kalıbı doldurma özelliği artar ve sonra sabit kalır.
 - Silisyum miktarı arttıkça, alaşımın sertliği artar.
 - Silisyum miktarı arttıkça, kopma mukavemeti ve akma sınırında çok belirgin bir değişiklik olmaz.
 - Silisyum miktarı arttıkça, aside karşı duyarlılığı artar.
- 14 ayar dökme altın alaşımları
 - Silisyum miktarı arttıkça, kopma uzaması azalır.
 - Silisyum miktarı arttıkça, kopma mukavemeti ve akma sınırı azalır.
 - Silisyum miktarı arttıkça, kalıbı doldurma özelliği artar, sonra sabit kalır.
 - Silisyum miktarı arttıkça, alaşımın sertliği artar.
 - Silisyum miktarı arttıkça, kırılmalık artar.
 - Aside daldırmada, fiziksel özelliklerinde herhangi bir değişikliğe sebep olmaz.
- 18 ayar dökme altın alaşımları
 - Silisyum miktarı arttıkça, kopma mukavemeti ve akma sınırı azalır.
 - Silisyum miktarı arttıkça, kalıbı doldurma özelliği artar.
 - Silisyum miktarı arttıkça, alaşımın sertliği azalır.
 - Silisyum miktarı arttıkça, tane boyutu artar.
 - Silisyum miktarı arttıkça, tane sınırlarında kırılmalar, çatlamlar artar.
 - Aside daldırmada, mekanik özelliklerinde herhangi bir değişikliğe sebep olmaz.

5.4.2 Dövme Altın Alaşımları

Bu alaşım bileşenleri kuyumculukta, mücevher üretiminde önemli ölçülerde tercihen

kullanılmaktadır. Amerika, Avrupa ve ülkemizde kullanılan belli başlı dövme altın alaşımlarının kimyasal bileşimleri, Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.18’de verilmiştir (Aras, 1996).

Çizelge 5.17 18 ayar dövme altın alaşımları (Aras, 1996)

Ayar	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd
18	75.0	19.0	6.0	-	-	-
18	75.0	16.0	9.0	-	-	-
18	75.0	12.5	12.5	-	-	-
18	75.0	9.0	16.0	-	-	-
18	75.0	10.5	3.5	0.1	0.9	10.0
18	75.0	-	7.0	4.0	14.0	-
18	75.0	22.5	2.5	-	-	-
18	75.0	15.0	10.0	-	-	-
18	75.0	13.0	12.0	0.2	-	-
18	75.0	-	2.23	5.47	17.8	-
18	75.0	4.5	20.5	-	-	-
18	75.0	18.0	7.0	-	-	-
18	75.0	17.0	8.0	-	-	-
18	75.0	15.0	10.0	-	-	-
18	75.0	11.0	14.0	-	-	-
18	75.0	7.0	18.0	-	-	-
18	75.0	5.0	20.0	-	-	-

Çizelge 5.18 14 ayar dövme altın alaşımları (Aras, 1996)

Ayar	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd
14	58.5	24.0	17.5	-	-	-
14	58.5	21.0	20.52	-	-	-
14	58.5	19.5	22.0	-	-	-
14	58.5	16.5	25.0	-	-	-
14	58.5	16.0	25.5	-	-	-
14	58.5	12.5	29.0	-	-	-
14	58.5	34.0	7.5	-	-	-
14	58.5	30.0	11.5	-	-	-
14	58.5	26.0	15.5	-	-	-
14	58.5	20.5	21.0	-	-	-
14	58.5	9.0	32.5	-	-	-
14	58.5	-	24.0	7.50	10.0	-
14	58.5	-	26.0	8.50	7.0	-
14	58.5	28.0	1.5	0.10	0.9	10.0
14	58.33	32.5	8.97	0.20	-	-
14	58.33	35.0	6.47	0.20	-	-
14	58.33	8.31	29.19	4.17	-	-
14	58.33	4.0	31.24	6.43	-	-
14	58.33	16.5	24.97	0.20	-	-
14	58.33	24.78	16.75	0.14	-	-
14	58.33	-	22.1	8.77	17.8	-
14	58.33	-	23.47	5.99	12.21	-
14	58.33	8.33	18.34	15.0	-	-
14	58.5	26.5	15.0	-	-	-
14	58.33	25.0	16.67	-	-	-
14	58.33	16.67	25.0	-	-	-

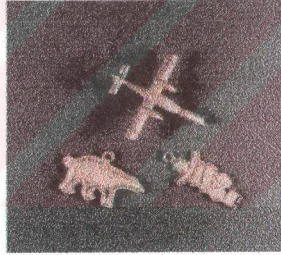
6. ALTIN ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜ

6.1 Kayıp Mum Tekniği

Alçı döküm, altın takı üretiminde kullanılan eski bir yöntemdir. Şekil 6.1 ve 6.2’de alçı döküm parçaların tipik çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 6.1 Alçı döküm ile üretilmiş 10 ayar sarı altın yüzükler (Normandeu ve Roeterink, 1995)



Şekil 6.2 Tipik alçı döküm takı örnekleri (Normandeu ve Roeterink, 1995)

Alçı döküm, birbiriyle sıkı şekilde ilişkili olan işlem adımlarından oluştuğu için zor bir döküm yöntemidir. Eğer adımlardan biri doğru biçimde gerçekleştirilemezse, modern ve gelişmiş cihazlar kullanılmasına karşın ortaya çıkan ürün iyi olmayabilir (Normandeu ve Roeterink, 1995; Faccenda, 1995a).

Alçı kalıba döküm, kayıp mum tekniği ve mikro döküm gibi değişik terimlerle ifade edilebilir (World Gold Council, 1995).

Bu döküm metodunun avantajları:

- Kompleks şekilli küçük parçaların dökümü kolayca yapılabilir.
- Çok temiz yüzey ve hassas ölçü kontrolü elde etmek mümkündür.

Alçı döküm yöntemi birbirini izleyen en az 6 adımdan oluşur (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1 Alçı dökümün işlem adımları (Faccenda, 1995a)

Sıra No	İşlem
1	Tasarım ve ana modelin hazırlanması
2	Kalıp yapılması
3	Mum model hazırlanması
4	Mum ağacın monte edilmesi
5	Kalıbın doldurulması (Alçılama)
6	Mumun eritilmesi ve pişirilmesi

Bu kademelerin birinde yapılacak bir hata diğer kademelere yansımakta ve sonuçta döküm hatalı olmaktadır.

Altın takılarda bulunan hataların %80'ni alçı döküm yöntemiyle üretilen parçalarda gözlenmektedir ve bu hataların %50'si özellikle gaz ve büzülme sonucu oluşan tipik hatalardır (Faccenda, 1995a; Aras, 1996).

6.1.1 Tasarım ve Ana Modelin Hazırlanması

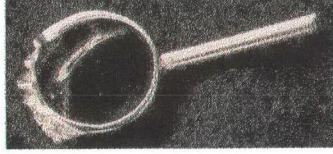
Tasarımı yapılan ve dökümüne karar verilen parçanın benzeri, sert metalden yapılır. Ana modelin sert metalden seçilmesi, perdahın yüksek kalitede olmasını, daha yüksek aşınma direncine sahip olmasını ve daha az gevrekleşmesini sağlar. Kalıplar tercihen ayna gibi mükemmel cila sağlayan nikel ve gümüş gibi metallerden yapılır. Gümüş modellerin yüzeyinin olumsuz etkilerden korunması için rodyum gibi sert metallerle elektroliz yöntemi ile kaplanması en fazla tercih edilen yöntemdir.

Bir metal kalıbın ölçüsü ayarlanırken soğuma sırasındaki büzülmeden dolayı nihai döküm biraz daha küçük olur. Dolayısıyla da düzeltme faktörü göz önüne alınmalıdır. Eğer orjinal tasarım, metal kalıbın döküleceği mumdan oyularak elde edilecekse, çifte büzülme faktörü kullanılmalıdır.

Kalıp, ince taneli elmas uçlu eğe ya da elmas uçlu, temperlenmiş çelik veya zımpara kauçuğundan yapılmış değişebilir başlı süratli çapak temizleme aletleriyle perdahlanır.

Kalıbın içine eriyik metali akıtan kanal görevi gören ve kalıp ağzı olarak bilinen bir ayağı bulunur. Kalıp ağzının çapı, matematiksel bir kurala göre değil kalıbın ölçülerine göre değişir.

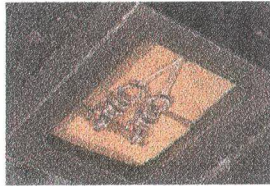
Kalıp ağzının çapı gereğinden daha darsa, mumun çıkarılması, ardından da döküm sırasında eriyik metalin akması zorlaşır; aşırı derece geniş olduğu takdirde de gereğinden fazla değerli metal kullanılmış olur ve perdahlama için gereken zaman artar. Kalıp ağzının çapı en azından beslediği kalıbın kesitine eşit, boyu da olabildiğince kısa olmalıdır.



Şekil 6.3 Nikel-gümüş kalıp (World Gold Council, 1995)

6.1.2 Kalıp Yapılması

Yapımı gerçekleştirilen modelin şekli kauçuk kalıba alınır. Kalıp yapımında, yüksek kalitede yeniden üretilmesi mümkün olan, aşınma direnci yüksek ve genişleme oranı düşük silikon kauçuklar kullanılmaktadır. İki veya daha fazla parçadan oluşur. Mum enjeksiyonu sırasındaki işlem sıcaklığı kauçuğu aşındırır ve detayların doğru üretilmesindeki hassasiyet kaybolur. Pişirilecek kalıba ilk kauçuk tabakaları yerleştirilir. Kalıp içine konulacak kauçuğun kesilmesi sırasında kauçuğun temiz ve yağsız olmasına dikkat edilmelidir. Yapışmayı engelleyebilecek toz ya da dışarıdan bulaşmış maddeler organik çözücü ile temizlenmelidir. Kauçuk kalıp parçaları birbirlerine iyice oturacak şekilde olmalıdır. Model kalıbın ortasına konur. Köşeler ve modelin yerleştirildiği orta kısım silikon kauçukla doldurulur. Arta kalan kauçuk ilave edilir, ardından kalıp pişirilir (World Gold Council, 1995; 1997; Aras, 1996; Corti, 2000).



Şekil 6.4 Modelin kalıba yerleştirilmesi (World Gold Council, 1995)



Şekil 6.5 Vulkanizasyon işlemine hazır kalıp (World Gold Council, 1995)

Vulkanizasyon presleri, pnomatik veya hidrostatik kontrollü olup, sabit basınçta sıkıştırma özelliğine sahiptirler.

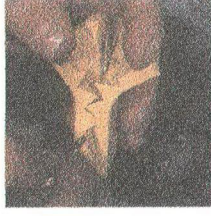
Kalıp çerçeveleri alüminyumdan yapılmaktadır. Kauçuk levhalar serin ve güneş ışığına maruz kalmayan yerlerde saklanmalıdır. Normal kauçuk ömrü bir yıldır.

Kalıp çerçeveleri, ısınmış preslerden gelen ısı etkisini yumuşatmaya yarayan yastık görevi gören iki paslanmaz levha arasına yerleştirilmelidir. Kauçukların vulkanizasyon sıcaklığı 143-176°C arasındadır. Ancak birçoğu için en mükemmel vulkanizasyon sıcaklığı 158°C'dir. Çok fazla pişirildiği zaman kauçuk fazlasiyla sert olur ve ömrü kısılır. Tersî durumda ise, yumuşak kalır ve boyutlarında tutarsızlık meydana gelir. Kauçuk kalıp preste ısınana kadar 2-3 dakika bırakılmalı, ardından da kalıba kademe kademe basınç uygulanmalıdır (Untracht, 1985; Walton, 1993; World Gold Council, 1997).

Çizelge 6.2 Kalıp kalınlığına uygun düşen süreler (Aras, 1996)

Kalıp kalınlığı (mm)	Süre (dk)
12	30
18	45
32	75

Vulkanizasyon işleminden sonra, kauçuk kalıbın kesme işlemine geçilir. Son derece dikkatli kullanılan bir bisturi, bu işlemin gerçekleştirilmesi için yeterlidir. Yanlardan hafif bir baskıyla kauçuğun yarılabilmesi için kesikler daima gövde uzunluğu doğrultusunda yapılır. Sürtünmeyi azaltması için yan taraflar suya daldırılabilir.



Şekil 6.6 Kauçuk kalıbın kesilmesi (World Gold Council, 1995)

Kesim ilerledikçe her iki kenarı da birbirinden ayrı tutması için tezgaha sabitlenmiş “L” şeklinde bir dirsekten yararlanılabilir. Bu sayede her iki kısımda birbirinden tamamen ayrılana kadar bir sonraki kesme işleminin nereye kadar yapılması gerektiği görülür. Her iki kauçuk kenarı ayıran kesme çizgileri üzerindeki modele zarar vermemelidir.

Kesme işlemi giriş konisinin ağzından dış duvarlara doğru iki düz çizikle başlatılmalı, oradan itibaren de dalgalı ya da zig zag kesiklerle devam etmelidir. Kalıbın karşılıklı kenarlarının kaymaması için kesikler bir sağdan bir de sol kenardan yapılmalıdır. Modelin kalıptan çıkarılmasını kolaylaştıracak şekilde her iki tarafa da birer kesik atılabilir. Bu ikincil kesikler, kalıbın ömrünü azaltacak şekilde çok derin ve fazla sayıda olmamak kaydıyla sadece mum kalıpların çıkarılmasını değil, aynı zamanda eriyik mumun gelişiyile de havanın çıkmasını kolaylaştırır (Untracht, 1985; World Gold Council, 1997; Corti, 2000).

Kauçuk kalıplar kullanıldıktan sonra talk kalıntılarından temizlenerek, saklanır. Talk kalıntıları yumuşak bir deterjanlı su veya renkli ispiro ile temizlenir (Aras, 1996).



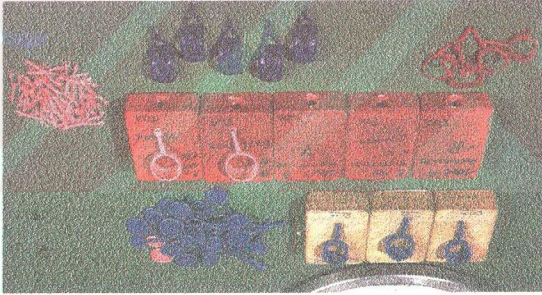
Şekil 6.7 Kesilmiş kauçuk kalıp (World Gold Council, 1995)

6.1.3 Mum Model Hazırlanması

Mum model, üretilecek olan objenin ilk kopyasıdır. Eğer mum model hatalı olursa, altından

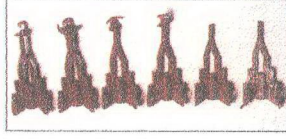
yapılan kopyası da mükemmel olmaz. Bu nedenle, mum kalıbın üretimine dikkat etmek, büyük önem taşımaktadır. Öncelikle mum model kalitesine dikkat edilmelidir; hatalı parçaların üretimi ve bitirme işlemi aşamasında zaman kaybı bu şekilde önlenabilir. Sıcaklık çok önemli bir parametredir; hatalı mum sıcaklığı, hatalı modellere veya daha sonra, altın, kalıba döküldüğünde tamamen kopyalanacak olan yüzey hatalarına yol açabilir. Sıcaklığın bu önemli etkisi, her bir mum model tipi için çok sayıda kalıp bulundurma gerekliliğini kanıtlamaktadır. Uç bir örnek olarak, sadece bir kalıp bulunduğunu varsayarsak, modeller üretildikçe sıcaklık artacaktır ve bu durumda, mum modeller tamamen katılaşmış soğumadan kalıptan çıkartılmış olabilir. Bu koşullar altında, en kötü durumda, düz yüzey üzerinde oldukça belirgin oyuklar meydana gelecektir. Ergime aralığı dar olan yani sıvı halden katı hale olabildiğince kısa sürede geçen mumlar tercih edilir. İyi bir mum, karbonlu veya küllü herhangi bir katkı bırakmadan yanar. İnce kalıplar kullanılsa bile, modelin kauçuk kalıptan kırılmadan çıkarılabilmesi için mum yeterince elastik olmalıdır. Kayıp mum dökümüne kadar uzanan, uzun olaylar zincirinde, mum model yapımı pahalı ve zaman alıcı bir işlemdir (Schaler, 1994; Faccenda, 1995a; Corti, 2000).

Model yapımı için çeşitli renk, sertlik ve biçimlerde üretilmiş hazır mumlar vardır.



Şekil 6.8 Hazırlanmış kalıplar ve mum kalıp örnekleri (World Gold Council, 1995)

Döküm için kullanılan mumların geri dönüşümü yapılmamalıdır. Mumun tekrar kullanılması çukur mum yüzeyinin oluşmasına neden olur. Şekil 6.9'da kirli geri dönüştürülmüş mumlar gösterilmektedir (Bell, 2001). Ayrıca yapılan mum modeller, döküm öncesi yapılmalıdır ve depoda uzun süre beklemiş mumlar kullanılmamalıdır. Yani dökümden çok önce hazırlanan modeller, döküm kalitesini bozabilir.



Şekil 6.9 Geri dönüştürülmüş kirli mumlar (Bell, 2001)

Mum enjeksiyonu kesin doğrulukta sıcaklık kontrolü altında yapılmalıdır. Böylece mumun hızla katılaşması ve kauçuğun korunması mümkün olabilir. Mumların birçoğu için en ideal enjeksiyon sıcaklığı 65°C'dir. Öte yandan 75°C'nin üzerine çıkılmamalıdır (World Gold Council, 1995; 1997).

Standart kalıp kauçuğu, standart kesim tekniği kullanılarak, oda sıcaklığında vulkanize olan (OSV) model için gereken çeşitli mum enjeksiyon basınçlarının, standart alyans modeli üzerindeki etkilerini inceleyen Sanchez, çalışmasında diğer bütün değişkenleri sabit tutarak, enjeksiyon basıncı arttıkça, en ve kalınlıktaki boyutsal değişimin, ana modelin boyutlarına kıyasla daha fazla olduğunu gözlemlemiştir (Grimwade, 1991a).

En çok kullanılan enjektörler el kompresörlü veya hava kompresörlü türlerdir. En iyi sıcaklık kontrolü vakumlu enjektörlerde yapılmaktadır. Bunların bazıları otomatik enjeksiyon içinde kullanılır. Mum elle enjekte edildiğinde kauçuk kalıbın her iki tarafına da kalıp plakaları konmalıdır. Bu, enjeksiyon sırasında mum kalıbın basınç altında soğumasını sağlamak için yapılmaktadır. Kalıp parçaları üst üste iyi oturmadığı takdirde mum modeller çapaklı çıkar.

Mum enjeksiyon kazanlarının uçları tıkanmaya müsaittir. Bu yüzden belirli aralıklarda sıcakken temizliğin yapılması şarttır. Mum kauçuklaşıp çamurumsu bir hal aldığından, ayda bir kere mum kazanları boşaltılmalıdır.

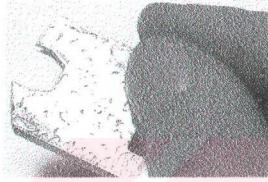
Mum enjeksiyon basıncının çok yüksek olması halinde kauçuk kalıp patlar, çok düşük basınçla mum basma halinde ise, eksik model elde edilir, mumda hava kabarcıkları oluşur, model detayı kaybolur veya parçaların ağırlığı artar. Bu hataların önüne geçilmesi ve kauçuk kalıptaki havanın dışarı atılması için kauçuk kalıpta hava deliklerinin bırakılması gereklidir.

Mum basma zamanının kısa olması halinde, eksik model elde edilir. Zamanın fazla olması halinde kalıp patlar. Model hazırlamanın bu aşamasında rastlanan bir diğer hata ise, uzun küçük ebatla ve delikli kesitlerin bulunduğu hatalı dizaynlardan kaynaklanmaktadır. Kauçuk kalıbın küçük parçaları, üretim esnasında yırtılarak ayrılır ve böylece detay kaybolur veya

yapılan kontrollerin sonucuna göre hurdaya ayrılır. Bu uzun delikli kesitler küçük tel şeklini alır ve sıvı metalin akışı sırasında bunlar koparak ayrılırlar.

Ayrıca yeniden kullanılan mumun içinde pudra varsa, kalıptaki mum desenlerinin silinmesine neden olabilir ve silinmiş mum birikme yapabilir (Walton, 1993; Grimwade, 1995b; World Gold Council, 1997).

Talk pudrası kesinlikle yanmaz. Bu yüzden mum üzerinde şayet talk bulunuyorsa döküm yüzeyi kalitesiz olur (Şekil 6.10) (Bell, 2001).



Şekil 6.10 Kalıp kalmış talk pudrasının döküm yüzeyine etkisi (Bell, 2001)

Kaliteden emin olmak için ışık kaynağına yakın kontrol yapılmalıdır. Herhangi bir hata varsa, ya sıcak hava yardımıyla tamir edilmeli ya da hatalı kısım çıkarılmalıdır. Kalıpları parçalar döküldükten sonra değil, bu aşamada temizlemek daha kolay ve ucuzdur (Walton, 1993; Grimwade, 1995b; World Gold Council, 1995).

Mum model enjeksiyonu maliyetinin, dökümdeki toplam işçilik maliyetinin neredeyse yarısı kadar olduğu istatistiksel olarak gösterilebilir (Schaler, 1994).

6.1.4 Mum Ağacın Monte Edilmesi

Yapılan mum modeller merkezi bir yolluğa bağlanarak ağaç görünümü elde edilir (Aras, 1996). Mum modeller, mevcut yeri en iyi şekilde değerlendirecek şekilde ağaca monte edilmelidir. İki tür montaj vardır:

Dallar monte edilmiş ağaç; parçalar, ana yolluktan çıkan ikincil dallar üzerine yerleştirilmiştir. Bu tür montaj değişik türde örnekler döküleceği zaman tercih edilir. Yerleşim asimetriktir.



Şekil 6.11 Dallar monte edilmiş ağaç (World Gold Council, 1995)

Spiral montajlı ağaç; parçalar birer birer ana yolluğa monte edilir. Bu model, aynı türden örneklerin seri üretiminde kullanılır. Düzgün bir spiral hatta yerleştirilir. Boru şeklindeki yolluklar da randımanı arttıran başka bir türdür. Döküm sırasında, yolluktaki hava akışı önemlidir ve spiral etkisi ile bu zarar verici hava akışı azaltılır. Mum numuneler ana yolluk üzerine dik olarak ya da özel destekler vasıtasıyla dikkatlice yatay yerleştirilir.



Şekil 6.12 Spiral montajlı ağaç (World Gold Council, 1995)

Mum modellerin doğru yerleştirilmesi çok önemlidir. Mum modeller birbirine çok yakın

olursa, metal aktığı zaman alçı malzemeyle sorun çıkarılabilir. Bir boşluk ve diğeri arasındaki duvarlar (mumun çıkarılmasından sonra kalan boş şekil) çok ince olursa, o zaman numuneler kırılmaya yatkın olacaktır. Modelleri ağaca bağlayan kaynak noktaları iyice yuvarlatılmalı ve yüzey alanı yeterli olmalıdır.



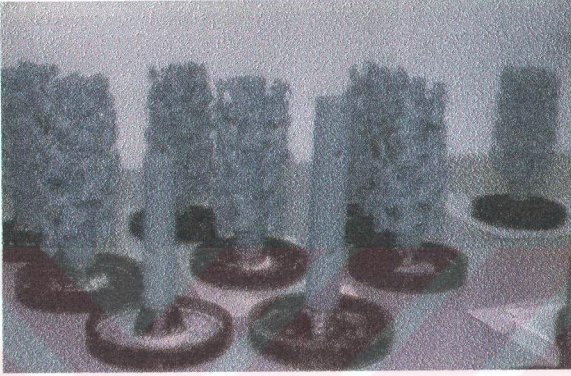
Şekil 6.13 Kaynak noktası (Corti, 2000)

Mum ağaca yapışan kir ve yağların temizlenmesi için ağaç deterjanlı çözeltiye daldırılır. Yıkamanın ardında ağaç demineralize suyla durulanır ve kurumaya bırakılır. Döküm için gereken metal ağırlığının saptanması için mum ağaç, kauçuk taban ile beraber dikkatle tartılır. Bulunan kauçuk taban ağırlığı, tabanın ve mum ağacın toplam ağırlığından çıkarılır. Elde edilen bu değer mumun özgül ağırlığı ile çarpılır. Özgül ağırlıklar, 24 ayar altın için 19.5, 18 ayar altın için 15, 14 ayar altın için 13 olduğu farz edilir ve gerekli metal ağırlığı neredeyse doğru olarak hesaplanabilir. Bu sayıya, ağacın gövdesini veya ortasını oluşturan ana yolluğun koni biçimindeki alt ucunu, doldurmak için kullanılacak metal miktarı eklenir (Untracht, 1985; Schaler, 1994; World Gold Council, 1995; 1997).

6.1.4.1 Oyuk Ağaç Modelinin Hazırlanması

Oyuk ağaç döküm tekniğinin (HTC) en önemli özelliği, ana mum yolluğunun dolu bir çubuk olmak yerine, içi boş tüp şeklinde olmasıdır. Şekil 6.14 bazı tüp şekilli yollukların ve tamamlanmış mum ağaçların, genel görünüşünü vermektedir. Tüplerde görülmekte olan delikler merkezi döküm özüne, destek sağlamak için yapılmıştır. Solidum bildirisinde, içi dolu çubukla yapılan eski alçı döküm tekniğinin, düşük döküm/toplam metal oranı'na sahip olduğunu bunun da daha yüksek düzeyde atık üretilip, yüzey cilalama problemlerine sebebiyet verdiğini ifade etmektedir. Çünkü ana yollukta, daha az miktarda metal bulunmakta ve bu özellik döküm kalitesini arttırmaktadır. Hatırı sayılır miktarlarda ağırlık tasarrufu

yapılabilmektedir. Parça başına düşen altının ağırlığı HTC için 5.02 g'dır, bu ağırlık geleneksel kalıpta 9.99 g olarak belirlenmektedir. Bu veri yeni yöntemle, atık metal oranındaki büyük düşüşün bir göstergesidir. Düşürülmüş atık metal üretiminin bir sonucu ise, daha yüksek taze metal/yeniden eritilmiş atık oranı kullanılarak, metal temizliğinin geliştirilmesidir.



Şekil 6.14 Oyuk ağaç dökümü (Grimwade, 1996b)

Daha geniş çaplı olan tüp, yüzeyinin büyümesinden ötürü daha fazla mum kalıp yapıştırılmasına müsaittir. Bu da aynı sayıda üretilen dökümler için, kullanılan ağaç sayısının azalması ile sonuçlanabilir.

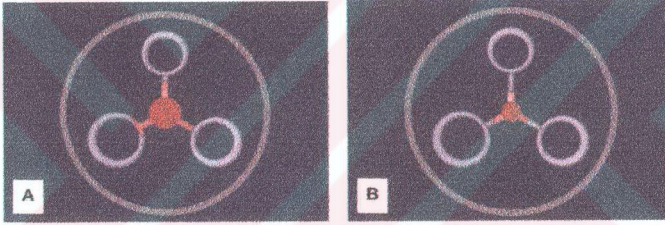
Söz konusu avantajlar gelişmiş homojenlik, ayrılmış tane sınır kirliliklerinin seyreltilmesini sağlayacak daha geniş bir tane sınır alanı ve dayanıklılık, kırılmazlık ve şekil verilebilirlik gibi mekanik özelliklerdir. Ayrıca işlenen döküm ya da tavllanmış metalde portakal kabuğu etkisi görülmemektedir.

Tüp dallar (HTC) ağacın kullanım alanını genişleterek, döküm başına düşen parça sayısını arttırır. Söz konusu ağaç için kullanılacak fanusun çapı, ağaca uygun olmalıdır. Ağacın dış ucundan fanusun iç yüzeyine olan mesafe çok fazla ise, statik vakum yardımlı döküm işleminde, vakumun etkisi azalır. Kabin hacmi gerekli olan alçının miktarını belirler. Kullanılacak fanusun en elverişli boyunun tespit edilmesi, alçı kalıp maliyetini düşürür. Bu durumda kullanılacak fırın bölgesi düşerek, daha fazla kabin pişirme işlemine aynı anda tabi tutulmasına olanak sağlar (Grimwade, 1996b).

6.1.4.2 Ana Yolluk

Modellerin hazırlanmasında yolluk ve giriş kanallarının tespitinde, ölçümlendirilmesinde tasarımcı, kalıpcı ve dökümcünün birlikte çalışıp, karar vermesi gereklidir (Aras, 1996).

Kuyumculukta kullanılan ana yolluk çapları 6.5-12.5 mm arasında değişmektedir. Bununla beraber, en çok tercih edilen ana yolluk çapı 9.5-10 mm'dir. Geniş ana yolluk büyük miktarda ısı enerjisi ihtiva etmekte ve bunu aşağı doğru ileterek birleşme noktalarında sıcak yırtılma etkisinin görülmesine neden olmaktadır (Şekil 6.15). Daha büyük yüzükler bundan daha çok etkilenmektedir, bunun sebebi ise ana yolluğa daha yakın olmalarıdır. Küçük yüzüklerin daha uzun yolluk mesafesi olduğundan ısı iletimi daha az ve birleşme noktaları daha soğuktur. Örneğin, çapı 9.5 mm'ye indirilmiş bir ana yolluk kullanıldığında, çapı 15.8 mm olan yolluğun metal hacminin sadece %36'sını ihtiva eder, bu da ısı enerjisi %36'ya indirilmiş demektir (Untracht, 1985).

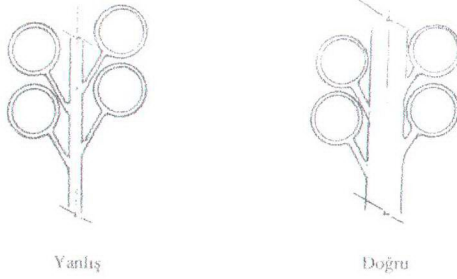


Şekil 6.15 Sıcak yırtılmaya (a) büyük çaplı, (b) küçük çaplı ana yolluğun etkisi (Untracht, 1985)

Son zamanlarda düz ana yolluk yerine konik ana yolluk kullanılmaya başlanmıştır. Bu tip ana yolluğun avantajları şunlardır;

- Ağacın tepesine doğru sıvı metal basıncını artırır.
- Sıvı metalin istikametli katılaşmasına yardım eder.
- Verimi artırır,
- Aynı çaptaki düz ana yolluktan daha hafiftir.

Mum ağacı ana yolluğunun, ısı ve sıvı metal için, geçiş kısmı olarak düşünülmemelidir. Genellikle, ana yolluk metalden istifade etmek için küçük çapta yapılmaktadır. Bu durumda mikro fiskelerin oluşma olasılığı fazlalaşmaktadır (Şekil 6.16).



Şekil 6.16 Mum ağacında yolluk dizaynı (Aras, 1996)

6.1.4.3 Giriş Kanalı (Meme)

Giriş kanalının temel amacı, sıvı metali kalıp boşluğuna göndermek, kalıbın tamamen dolmasını ve sağlam, fiskez döküm elde edilmesini sağlamaktadır.

Giriş kanalı bir döküm parçasının en kalın kısmına yerleştirilmelidir. Eğer kalın kesitli ve ince kesitli kısımlar birbirlerinden ayrılmış ise, kalın kesitli kısma yolluk verilir. Giriş kanalı kesiti, besleyeceği dökümün en kalın kesitinden daha büyük olmalıdır.

Döküm sırasında kırılmaları önlemek için, mum model yüzeylerindeki bütün keskin köşelere radyüs verilmelidir. Bağlantı kısmında boşluklar olmamalıdır (Şekil 6.17).



Şekil 6.17 Giriş kanalının ana yolluğa bağlantısı (Aras, 1996)

Giriş kanalı şekli genellikle yuvarlaktır. Giriş kanalının döküme birleştiği yerde hafif yassılaştırılmalıdır. Böylece sıvı metalin türbülanssız akışı sağlanır. Y şeklinde giriş kanalı

genellikle tercih edilmektedir (Aras, 1996).

Şekilleri, ağırlıkları ve büyüklükleri farklı mum kalıpları bir yolluk üzerine eşit aralıklarla dağıtılır. Bir tür modelin arasına başka bir tür modelin girmemesine dikkat edilmelidir. Döküm sırasında işlem kolaylığı sağlamak ve hataları önlemek amacıyla, küçük parçalar mum ağacın üst taraflarına, büyük parçalar ağacın alt taraflarına yerleştirilmelidir. Bunun yanında uygulanacak döküm yöntemine bağlı olarak modellerin ağaca birleştirilmesindeki açı da önemli bir etkidir. Santrifüj döküm için 30-45°'lik, vakumlu statik döküm için 10-20°'lik açıyla modellerin mum ağacına birleştirilmesi tavsiye edilmektedir. Bu nedenle istikametli katılma prensibi uygulanmalıdır. Yani katılma dışarıdan içeri doğru yönelmelidir. Parçanın, yolluğa dikey bağlanması durumunda, yolluğun giriş kısmının tam karşısındaki parça içinde sıcak bölge oluşur. Ayrıca yolluğun parçaya dikey bağlanması durumunda mum basmada türbülans meydana gelir. Mum model yüzeyinde hava kabarcıklarının oluşmasına neden olur. Sonuçta döküm içerisinde havanın hapis olmasına ve döküm hatalarının oluşmasına sebebiyet verir (Aras, 1996; Corti, 2000).

Döküm parçalarının çok fazla ve sık dizilmesi alçıda gerilmelere ve alçı kalıpta farklı sıcaklık bölgeleri oluşmasına sebep olur. Ayrıca mumların ağaca birleşme noktaları da yumuşak olmalıdır; zira alçıda gerilmelerin oluşmasına neden olan diğer bir durumdur.

Modelin giriş kanalı, en fazla 10 mm ya da tercihen 5-6 mm olmalıdır. Giriş kanalının kısa olması, yerleştirmeyi daha da zorlaştırır ve ana yollukta kalabalığa yol açsa da, uzun giriş kanalları kullanılmasından kaçınılmalıdır. Zira bunlar dökümde mikro boşluk, makro boşluk ve gaz fiskeleri oluştururlar. Ayrıca döküm ve besleme işleminin eksik kalmasına da neden olur (Walton, 1993; Aras, 1996; World Gold Council, 1997).

6.1.5 Kalıbın Doldurulması (Alçılama)

Alçı tozunun %25-30'u kalsiyum sülfattan, geriye kalanı ise suni olarak üretilen kristabolit adlı kuvarstan oluşur. Bazen sertleştirici katkı maddeleri kullanılır. Kalsiyum sülfat bağlı alçı yerine fosfat bağlı alçı da kullanılır (World Gold Council, 1995).

Kalsiyum sülfat bağlı alçı renkli altın alaşımları dökümünde yaygın olarak kullanılır. Bu alçılar 1000°C civarında ayrıştığı için paladyumlu beyaz altın alaşımlarının dökümüne uygun değildirler.

Kalsiyum sülfat bağlı alçıların bazı avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- daha ucuzdur,

- çalışması daha kolaydır,
- yeterli derecede mukavim olup, dökümden ayrılması da nispeten kolaydır (Aras, 1996, World Gold Council, 1997).

Alçı refrakteri 790°C'nin üzerinde ufalanmaya başlar. Kalsiyum sülfat bağlı alçı 815°C'nin üzerinde bir sıcaklığa ısıtılırsa ayrışmaya başlar ve ergiyik metalle reaksiyona giren ve katılaştığında üzerinde siyah bir tabaka oluşmasına neden olan sülfür gazı bileşenlerini açığa çıkarmaya başlar. Bu da gaz fiskesine neden olur (World Gold Council, 1995; Horton, 2000). Gaz fiskesine genellikle, alçı dökümdeki CaSO_4 ile tamamlanmamış yanmadan dolayı çıkan artık karbonun tepkimesinden meydana gelen SO_2 neden olur.



X-ışını analizi ile, dökümde ortaya çıkan yoğunlaşmalar incelendiğinde; çinko sülfid iğne gölgeli inklüzyonların, özellikle nikelli beyaz altınlar gibi yüksek miktarda çinko içeren alaşımlarda kalıp ile çinkonun reaksiyonu sonucu ortaya çıktığı saptanmaktadır. Bu nedenle nikelli beyaz altınları, yüksek maliyetine rağmen, fosfat bağlı alçıyla dökmek gerekmektedir (Grimwade, 1991a). Fosfat bağlı alçılar, yüksek sıcaklıklara maruz kaldıkları için, ergime noktası yüksek olan altın alaşımlarının dökümünde kullanılır (Aras, 1996). Fosfat bağlı alçılar, kalsiyum bağlı alçılardan daha serttir ve hassas ya da ince dökümlerin alçısının alınması sırasında sorun çıkarabilir. Buna karşın tekrar tekrar üretimindeki mükemmeliyeti oldukça yüksektir. (Örn. dişçilik uygulamaları) (World Gold Council, 1995;1997).

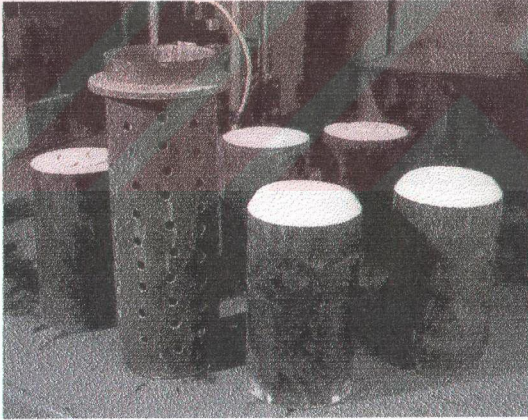
Alçı tozu suya ilave edilmeli, tersi yapılmamalıdır. Bunu yaparken alçı/su oranı, önerilen miktarlarda olmalıdır (Horton, 2000).

$$\text{alçı/su oranı} = \frac{\text{alçı miktarı}(gr)}{\text{su miktarı}(ml)}$$

Bu oran 100/40 ile 100/38 oranında değişmektedir. Çok detaylı parçaların dökümünde su miktarı biraz fazla seçilebilir. Bileşenlerin sıcaklığı alçının doğru hazırlanması için çok önemli olduğundan alçı tozu ve suyun her ikisinin de gereken sıcaklıkta olması şarttır. Suyun ya da tozun ötekinden daha sıcak olması alçının daha çabuk katılaşmasına neden olarak, işleme süresini kısaltacaktır. Su sıcaklığı 21-24°C arasında olmalıdır. Su sıcak olursa, döküm yüzeyinde kabarcıklar oluşur. Su çok soğuk olursa alçı mukavemeti düşer ve döküm yüzeyinde su yolu gibi izler meydana gelir (World Gold Council, 1997; Cart, 1998).

Alçı tozu soğuk bir ortamda saklandığında ısınması haftalar alabilir. Akışkanlık ve çalışma süresi sıcaklığa göre değişir. Örneğin 15°C’de çalışma süresi 17 dakikadır; öte yandan 30°C’de bu süre 9.5 dakikaya düşer (Walton, 1993; World Gold Council, 1997).

Alçı ile suyu karıştırmaya başlamadan önce, bütün ekipmanların, fanusların çok temiz olması gerekir. Alçının tamamının ıslanması için, önce 30 saniye elle karıştırılır. Karıştırma kabı kenarına yapışan alçılar temizlenir (Aras, 1996). Döküm alçısı hazırlanırken alçı/su karışımına vakum uygulanmasındaki sebep dökümde boşlukların oluşmasını önlemektir. Bu boşlukların oluşum sebebi döküm alçısı içerisinde hapis olan havadır. Karıştırma için, ergitme ve döküm fırınlarının vakum pompası tazyikinden faydalanılır. İlk gaz çıkarma aşamasında, - alçı yükselip, kaba çökmeye başlayana kadar- 30 saniye vakum uygulanır. Vakum prosesi düşük basınç sayesinde havayı olduğu gibi suyu da (buhar olarak) uzaklaştırmaktadır. Bunun başlıca sebebi su karışımının kaynama noktasının düşmesidir. Bu kaynama ile çamurdan kaybolan su yüzünden döküm kalıplarına boşaltım süresi kısalmış olur. Karıştırma için geçen süre tam olarak ölçülmelidir. Bu işlem 2 ila 4 dakika arasında uygulanmalıdır. Yeterince karışmamışsa alçının gücü azalır; bu da yüzey hatalarına neden olur (World Gold Council, 1997; Cart, 1998; Horton, 2000).

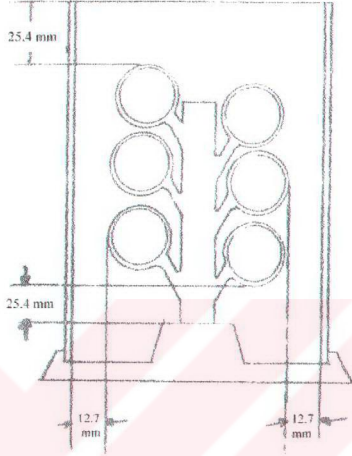


Şekil 6.18 Delikli-flanşlı ve geleneksel fanuslar (World Gold Council, 1995)

Mum ağacı, alçı döküm için uygun ölçülerdeki fanuslara yerleştirilir (Corti, 2000). Genellikle iki tür fanus kullanılır: geleneksel silindirik (tek parça) ve flanşlı/flanşsız delikli fanus. Bu fanuslar ısıya dayanıklı paslanmaz çelikten üretilmektedir.

Geleneksel fanuslar özellikle santrifüj döküme; flanşlı delikli fanuslar ise, statik vakum destekli döküme uygundur (World Gold Council, 1995; 1997).

Şekil 6.19 doğru fanus yerleşimi göstermektedir.



Şekil 6.19 Mum ağacın fanusa doğru yerleştirilmesi (Aras, 1996)

Karışım fanuslara dökülür ve bütün örneklerin alçıyla kaplanması sağlanır. Fanusun içindeki havanın azalması için doldurma esnasında, fanus hafifçe sallanır. Alçılanan fanus vakum masasına yerleştirilerek 2-2.5 dakika vakum uygulanır ve fanus sarsılmayacak bir yerde yaklaşık 30-60 dakika bekletilerek, katılaşması sağlanır.

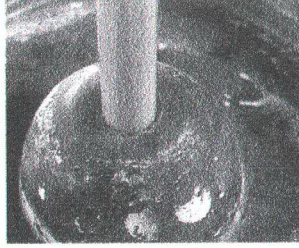
Alçının suya ilave edildiği zaman ile, ikinci vakumun tamamlanması veya alçının koyulaşmaya başlamasına kadar geçen zamana, alçı çalışma zamanı denir. Alçının donduğu ve hareketsiz hale gelinceye kadar geçen süreye ise, alçı sertleşme zamanı denir.

Alçı çalışma zamanı = Sertleşme zamanı – 1.5 (veya 2) dakika.

En ideal çalışma süresi 9-10 dakikadır (Aras, 1996; World Gold Council, 1997).

Tamamen katılaştıktan sonra, mumun alınmasını kolaylaştırmak için, kalıbın üzerindeki kauçuk taban çıkarılıp, fazla alçı temizlenir. Eski tip plastik yolluk tabanı kullanıldığında yolluk ile taban boşluğuna kaçacak olan döküm alçısı metal akışı sırasında bünyeye karışabilir

(Şekil 6.20). Bu taban dereceden kaba bir şekilde çıkarılırsa tabanda çatlak görülebilir. Şekil 6.21’de de böyle bir örnek bulunmaktadır (Bell, 2001).



Şekil 6.20 Eski yolluk tabanı ile ana yolluk arasındaki boşluk (Bell, 2001)



Şekil 6.21 (a) Döküm sırasında tabanda meydana gelen çatlaklar; (b) plastik yolluk tabanın fanustan kaba çıkarılması (Bell, 2001)

Bir sonraki aşamaya kadar 3-4 saat alçı bekletilerek, tam mukavemet kazanması sağlanır. Alçı içindeki suyun kurutulması ve mumun yok edilmesi için kaba, ısı uygulanır (World Gold Council, 1995; 1997).

6.1.6 Mumun Eritilmesi ve Pişirilmesi

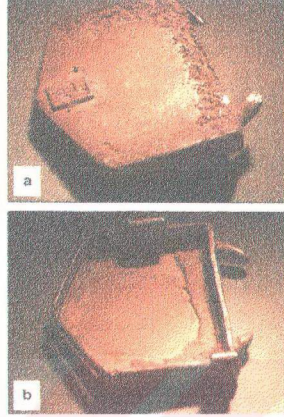
Mum eritme ve yakma birbiriyle yakından ilişkilidir ve birlikte dikkate alınmalıdır. Mum eritme işlemi; kuru mum indirme ve su buharıyla mum indirme olmak üzere iki şekilde uygulanır. Kuru mum indirmede, kalıp mum indirme öncesi aşırı kurutulmamalıdır. Fırında kuru mum indirme süresi, fanus ölçülerine bağlı olarak değişir. Bu işlem genellikle 3 saat sürmektedir. Buharla mum indirmede ise, kalıplar bir saat daha fazla kurumaya bırakılır. Buharla mum indirme zamanı fanusun büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Bu işlem genellikle 2 saat sürer (Untracht, 1985; Aras, 1996).

Son zamanlarda yapılan araştırmalar, mum eritme için en iyi yöntemin buharla yapılan işlem olduğunu göstermiştir. Mumun kuru yöntemle eritilmesi durumunda mum kısmen alçı tarafından emilmektedir. Bu durum muma ultraviyole ışığa duyarlı organik bir bileşik ilave edilerek kanıtlanmıştır. Modifiye edilmiş mumu içeren kalıplardan, mumun kuru yöntemle eritilmesi döngüsünün farklı evrelerinde numuneler alınarak, ultraviyole ışık altında incelenmiş ve mumun alçı tarafından emildiği gözlemlenmiştir. Emilmiş olan mum, yakma esnasında, alçı kalıpta hatalara neden olan karbon tortuları oluşturabilir; bunun ana sebebi CaSO_4 ayrışmasıdır. Saf kalsiyum sülfat söz konusu olduğunda, sülfür dioksit oluşmasıyla sonuçlanan ayrışma, 1140°C 'de başlar ve 1200°C 'de oldukça hızlanır. Silisin varlığında ise, kalsiyum sülfatın ayrışma sıcaklığı yaklaşık 1000°C 'ye kadar iner (Alçı bileşiminin %70-75'i silis ve %30-25'i de bağlayıcı olarak kalsiyum sülfattan oluşmaktadır).

Karbon tortularının varlığında, sülfür dioksitin açığa çıkmasıyla bir kimyasal redüksiyon (indirgenme) tepkimesi oluşur. Kalsiyum sülfat ayrışması vakum nedeniyle daha da kolaylaşır; çünkü bu durum, tepkime sıcaklığını daha da düşürür: bu gerçek, sadece vakum altında çalışan döküm makinelerinin kullanılmasıyla niye başarılı olunamadığını açıklamaktadır. Tam aksine, mumun buharla uzaklaştırılması yönteminde, alçı, nem ile doymaktadır; mumun yüzey gerilimi artmakta ve bu durum, mumun alçı tarafından emilmesini önlemektedir. Bu şekilde, mum daha hızlı olarak tamamen uzaklaştırılabilmektedir. Yakma sırasında, alçı ayrışma tepkimesi gerçekleştiğinde, sonuçta oluşan hata, çoğunlukla damarlı, kumlu bir yüzey ve/veya alçı partiküllerinin metal içinde kalmasıdır. Alçı ayrışması, döküm esnasında oluştuğunda, tipik gaz gözenekliliği oluşur ve bu durum, gövde ağzının şişmesi ile kendini gösterir (Faccenda, 1995a; World Gold Council, 1997; Corti, 2000).

Alçının dökülmesi sonucunda, döküm yüzey kalitesinin düştüğü Şekil 6.22'de gösterilmektedir. Bunun sebebi mum indirme prosesi ile ilgilidir. Örneğin buharla mum

indirmeden sonra kalıpları oda sıcaklığına düşürürken eğer ön ısıtılmış fırın kullanılmıyorsa kabarak dökölme görölmesi çok normaldir (Bell, 2001).



Şekil 6.22 Alçının dökölmesinden kaynaklanan pürüzlü yüzey görüntüsü (a) dış yüzey, (b) iç yüzey (Bell, 2001)

İtalya'da, CNR tarafından yapılan araştırmalar kalsiyum sülfat ayrışma sıcaklığının, özel inhibitörlerin ilavesiyle yükseltilmesi hedeflenmektedir. Elde edilen ilk sonuçlar Çizelge 6.3'te görölmemektedir. Bu araştırmalarda, inhibitörler çok basit bir yöntemle ilave edilmektedir: bunlar, alçı karışımının hazırlanmasında kullanılan suda çözülebilmektedir. Karbon tortusunun bulunmadığı ancak silisin mevcut olduğu durumlarda, kalsiyum sülfat ayrışması 970°C'de başlamaktadır. İnhibitörler ilave edildiğinde ayrışmanın başladığı sıcaklık 1080-1100°C'ye yükselmektedir. Bu ilk sonuçlar, alçı döküm yönteminin güvenlik marjını büyük ölçüde genişletecektir; fakat öncelikle sonuçların doğrulanması beklenmektedir.

Çizelge 6.3 CNR araştırması (Faccenda, 1995a)

Malzeme	Sıcaklık (°C)
Saf kalsiyum sülfat	1140-1200
Ticari alçı (%30-25 kalsiyum sülfat ve %70-75 silisyum)	970
CNR ilave maddesiyle ticari alçı	1080-1100

Yakma için, alçı üreticisi tarafından önerilen doğru bir sıcaklık/zaman döngüsünün

uygulanması önemlidir. Isıtma evresinde iki kritik nokta bulunmaktadır; birincisi 100-120°C'de, emilmiş olan su ve alçıtaşı (su ile karıştırılmış kalsiyum sülfat) kristalizasyon suyunun buharlaştığı noktadır. Bu süreç yavaştır ve sıcaklık çok yavaş artmalıdır. İkinci nokta, 250°C civarındadır, bu noktada kristabolite dönüşmektedir. Bu dönüşüm, hacim artışıyla birlikte gerçekleşmektedir. Bu değişimin, alçı kütlesinin tamamında homojen olarak gerçekleşebilmesi için, sıcaklık 250°C'de sabit tutulmalıdır (Faccenda, 1995a; World Gold Council, 1997; Corti, 2000).

Pişirme, alçılı fanusun mumu alınarak ve artık mumların yakılması sağlanarak döküme hazır, sağlam bir kalıp haline gelmesi için bir fırında ateşe tutulması işlemidir. Pişirme süresi fanusun ölçülerine bağlı olarak değişir. Alçı firmalarının önerdiği tavsiyelere uyularak ve tecrübelerle dayanarak pişirme işlemi yapılmalıdır. Standart pişirme sıcaklığı 730°C olsa da, genellikle maksimum pişirme sıcaklığı 750°C'yi aşmamalıdır. Çünkü yüksek sıcaklıklarda, özellikle karbon tortuları da mevcutsa, kalsiyum sülfat ayrışması başlayabilmektedir (Faccenda, 1995a; Aras, 1996; World Gold Council, 1997; Horton, 2000).

Fanus sıcaklığının seçiminde dikkat edilecek hususlar:

- Küçük parçalar ve detaylı parçalar daha yüksek fanus sıcaklıklarını gerektirir. Fanus sıcaklıkları 590-700°C arasında değişir.
- Büyük parçalar ve basit şekilli parçalar daha düşük fanus sıcaklığını gerektirir. Fanus sıcaklıkları 425-540°C arasında değişir.
- Beyaz altın alaşımlarının dökümünde, tavsiye edilen en yüksek fanus sıcaklıkları kullanılır.
- Santrifüj dökümde, tavsiye edilen düşük fanus sıcaklıklarına yakın sıcaklıklar kullanılır.
- Ağır ürünlerde daha düşük, ince ürünlerde ise daha yüksek fanus sıcaklıklarına ihtiyaç vardır. Bir mum ağacı üzerinde büyük ve küçük parçaların bulunması durumunda, küçük parçalar için tavsiye edilen fanus sıcaklıkları kullanılır.

Fanus fırından alınmadan önce, en son pişirme sıcaklığında en az bir saat bekletilmelidir. Kalıplar dökümden önce 500-600°C'ye kadar soğutulmalıdır. Kompleks şekilli parçalar için kalıp sıcaklığı 480-540°C; basit şekilli kalın parçalar için ise kalıp sıcaklığı 370-480°C'dir (Aras, 1996). Genel uygulama, pişirme fırınının yavaş yavaş soğutulması ve böylece sıcak fanusların önce, daha az sıcak olanların da daha sonra dökülmesidir (Schaler, 1994).

Mum eritme ve pişirme işlemleri için kullanılan fırınların bakıma ihtiyacı vardır. Örneğin çatlamış astar, zeminler ve birikmiş mum, mum giderme işleminin yeterli olmadığını gösterir (Grimwade, 1995b).

6.2 Ergitme

Döküm için gerekli malzemeler hassas terazilerle dikkatlice tartılır, ergitme kayıpları göz önünde tutularak dengeleyici miktarlar eklenmelidir (Aras, 1996).

Ergiğin hazırlanmasında, oksitlenmiş metalleri kullanmaktan kaçınılmalı, saf altın ve ön alaşımlar kullanılmalıdır. Ergiyikler genellikle yeniden kullanılan hurda katkılarla hazırlanır. Hurda, bütün alçı ve oksit izlerinden arındırılmış olmalı, malzeme alçı kalıntıları ihtiva etmemelidir. Bu ultrasonik yıkama tankı veya yüksek basınçlı su tabancası kullanarak gerçekleştirilir. Ultrasonik yıkama tankında %30'luk soğuk amonyum karbonat ($(\text{NH}_4)\text{CO}_3$) çözeltisi kullanılarak daha kolay temizleme yapılır. Ayrıca yeni metale %50'den fazla hurda metal ilave edilmez (Untracht, 1985; Faccenda, 1995a; World Gold Council, 1995).

Metal ağırlığı,

14 ayar altın alaşımları için = mum ağaç ağırlığı x 13

18 ayar altın alaşımları için = mum ağaç ağırlığı x 15

24 ayar altın alaşımları için = mum ağaç ağırlığı x 19.5

Mum ağacındaki hazne, ana yolluk ve giriş kanallarının toplam ağırlığı, en az dökülecek parça ağırlığı kadar olmalıdır.

Ergimiş metal, kaynama sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta bile buharlaşabilir. Yükselen sıcaklıkla buharlaşma oranı artar. Bunun sonucu olarak, döküm için ergitme sürecinde en iyi yöntem ergime noktası daha düşük olan metallerin sonra katılması ve eğer gerekirse, tam ergimeyi sağlamak için sıcaklığın yükseltilmesidir. Ergime noktası daha düşük olan metalden yeterli miktarda olduğu ve birlikte ergitilen metallerin ergime sıcaklıkları arasında çok büyük bir fark olmadığı durumlarda bu yöntem önerilir.

Şarj malzeme, grafit pota içerisine konarak ısıtılmaya başlanır (Rose ve Newman, 1986; Aras, 1996). Potaların özellikleri şunlardır:

- içlerindeki maddelerle reaksiyona girmemelidirler,
- ani sıcaklık değişiklikleri nedeniyle oluşan yumuşama ve çatlamaya karşı yüksek dirençte olmalıdırlar.

Grafit ve kil potalar, çeşitli ayar ve renklerdeki altın alaşımları için önerilir; çünkü bunlar birçok kez kullanılabilir ve az da olsa ergimiş alaşımı oksitlerden temizlemeyi sağlarlar. Nikel, grafit potalardaki karbonla reaksiyona girebileceğinden nikel içeren beyaz altınları

ergitmek için ateşe dayanıklı kilden yapılan şamot potalar tercih edilmelidir. Altın alaşımlarının birbirine karışmasını önlemek amacıyla, her tür alaşım için ayrı bir pota kullanılmalıdır (Untracht, 1985; Grimwade, 1990a).

Ergitme ve döküm yapılırken, sıcaklık kritik bir parametredir. Sürekli olarak, iyi sonuçlar alabilmek için, iyi bir sıcaklık kontrol sistemi gereklidir. Çok sıcak metal fazla büzülme yaratır. Çok soğuk metal ise eksik parça elde edilmesine sebep olur. Ergitme ve döküm doğru ve güvenilir sıcaklık değerlerini veren, uygun sıcaklık ölçüm ve kontrol sistemleriyle donatılmış ergitme ve döküm cihazları ile yapılmalıdır. Ergiyiğin aşırı ısınması önlenmelidir. Aksi halde, dökülürken, kalsiyum sülfatın ayrışma tehlikesi ile karşılaşılır. Bu durumda da altın takılarda rastlanan tipik bir hata olan gaz gözenekleri oluşabilir (Faccenda, 1995a; World Gold Council, 1995).

Kuyumculukta yapılan sıcaklık kontrollerinde genellikle fırına bağlanan uygun bir termokupol sistemi kullanılır.

Hangi sıcaklık ölçüm yönteminin kullanılacağına karar verirken şu noktalar göz önünde bulundurulmalıdır:

- Ölçümü istenilen sıcaklık aralığı,
- İstenilen kesin doğruluk,
- Isı kaynağı,
- Maliyet,
- Sıcaklığın devamlı mı yoksa düzenli aralıklarla mı kaydedileceği,
- Otomatik sıcaklık kontrol sistemine gerek olup olmadığı (Grimwade, 1991b).

Altın alaşımlarının ergitilmesi esnasında hidrojen ve oksijen gazları çeşitli şekillerde sıvı alaşımın içerisinde çözünürler. Sıcaklık arttıkça çözünme miktarı yükselmektedir. Her iki gazında, belirli sınırların üzerinde çözünmesi alaşımın mekanik özelliklerine olumsuz etkiler yapar. Ayrıca çözünürlük sınırı üzerindeki miktarları da altın alaşım dökümlerinde küçük fakat belirli ve görülebilir gaz kabarcıkları oluşturur. Gaz boşlukları yuvarlak görünümde, parlak ve lekesizdir. Bu boşluklar, genellikle dökümün her tarafında mevcuttur. Bu hatalardan dolayı dökülen her parça kullanılamaz. Bu sebepten altın alaşımlarının ergitilmesi esnasında gazların metalürjik yöntemlerle kontrolü ayrı bir önem taşır.

Gazlar altın alaşımlarının bünyesine değişik yollardan girer. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Fırın atmosferi ve ocakta kullanılan yakıt malzemelerinin yanmasından oluşan gazlar,

- Şarj üzerinde yoğunlaşmış su buharı,
- Şarj malzemelerinin yağlı olması,
- Döküm potalarının nemli olması,
- Gaz içeren malzemelerin kullanılması,
- Nemli ortam atmosferi bulunması.

Gazların sıvı altın alaşımı içerisinde çözülmesini önleyici tedbirler alınmalıdır. Bu tedbirleri kısaca şu şekilde sıralayabiliriz:

- Şarj malzemeleri, yağlı, rutubetli olmamalı,
- Grafit potalar nemli yerlerde bırakılmamalı,
- Sıvı yakıt ile çalışan ocaklar nötr bir ortamda çalıştırılmalı,
- Kömürle çalışan ocaklarda nemli kömür kullanılmamalı,
- Sıvı alaşıma türbülans yaptırılmadan ve yüzeyi açılmadan karıştırılmalı,
- Sıvı metal üzerinde örtü tabakası oluşturu malzemeler kullanılmalı,
- Döküm sıcaklığı yüksek sıcaklıklara çıkarılmamalıdır.

Ergimiş altın alaşımı içerisinde çözünmüş gazlar, sıvı metal içerisinden klor veya azot gazı geçirilmesi ile giderilmektedir. Bunun için klor içeren malzemeler kullanılır; örneğin amonyum klorür veya heksakloroetan gibi gaz alıcı tabletler. Bu malzemelerden oluşan klor gazı hidrojen gazını sıvı metal dışına sürükler (Aras, 1996).

Ayarlı altın ve altın düzeyi yüksek alaşımların, genellikle bileşenleri oksitlenmeye yatkın olmadığından dökülmeden önce oksijenlerin giderilmesi gerekmez. Kömür ve basit eritken madde örtüler, alaşımların büyük kısmı için yeterli korumayı sağlar. Bununla birlikte, bileşimin son hali hurdanın rafine edilmesiyle oluşturulursa ya da alaşım büyük miktarda bakır içerirse, dökümlerin hacim dayanıklılığının, ingot işlenebilirliğinin artırılmasında oksijen giderme yararlı olabilir. Yine de, aşırı miktarda oksijen giderici eklenirse alaşımın kalitesinin bozulmasına neden olabilir (World Gold Council, 1997).

Sıcaklık yükselmeye başlayınca, şarj malzemelerin yüzeyi havanın etkisine maruz kalır. Ergitme süresi uzadıkça kimyasal bileşimde değişimler oluşur. Özellikle hurda malzemelerin ergitilmesinde bir hayli cüruf oluşur ve bu durumun önlenmesi amacıyla altın alaşımlarında, 760°C’de ergiyen boraks veya daha yüksek bir ergime noktası olan (870°C) ve beyaz altın alaşımları için kullanılan borik asit ilave edilir. Boraks ve borik asit kullanılmadan önce iyice kurutulmalıdır (Untracht, 1985; Grimwade, 1990a).

Altın alaşımlarının ergitilmesinde aşağıdaki sebeplerden dolayı cüruflaştırıcı malzemeler ilave

edilir.

- Sıvı metal veya alaşımın üzerinde koruyucu bir örtü tabakası oluşturmak ve oksitleyici ortamla (hava ile) temasını keserek oksidasyonu ve sıvı metal içerisinde gaz çözünmesini önlemek.
- Ergimiş metal veya alaşımdaki oksitlerle reaksiyona girerek ergimiş metali temizlemek ve üzerinde toplanacak bir örtü tabakası oluşmasını sağlamak.

Cüruflaştırıcı malzemeler mümkün mertebe çok az miktarlarda kullanılmalıdır. Sıvı metali veya alaşımı dökmeden önce metal yüzeyi cüruf malzemeden tamamen temizlenmelidir, yoksa cüruflaştırıcı dökümde cam gibi sıkışma (cüruf) tehlikesini ortaya çıkarır. Metal veya alaşımın yüzeyi ayna gibi parlak olmalıdır.

6.2.1 Ergitme Fırınları

Altın alaşımlarının dökümünde metal veya alaşımın ergirken saflaştırılması pek düşünülmemektedir. Asıl gaye, ocağı en iyi kalitede malzemeyle yükleyip, ergitilmesini sağlamaktır.

Kuyumculukta altın ve altın alaşımlarının ergitilmesinde kullanılan ocaklar çok çeşitlidir. Metal veya alaşımın ergitilmesi şalumoyla yapılabileceği gibi, modern indüksiyon ocakları ile de yapılabilir. Altın alaşımlarının ve ön alaşımlarının ergitilmesinde kullanılan ocaklar, kömür, fuel-oil veya elektrikle çalışmaktadır. Başlıca tiplerini aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

- Potalı Ocaklar
 - Kaldırma potalı ocaklar
 - Devirme potalı ocaklar
- İndüksiyon Ocakları

Yapılan araştırmalar ve elde edilen bilgilere göre, kuyumculuk endüstrisinde şalumo ile ergitme %20, direnç ısıtmalı ergitme %45 ve indüksiyon ile ergitme %35 oranlarında kullanılmaktadır (Grimwade, 1985; Aras, 1996; World Gold Council, 1997).

Bu ocaklarda metal ve alaşım pota içinde ergimekte ve ergime sona erdiğiğinde potalar kışkaçlar yardımı ile dışarı alınıp döküm yapılmaktadır. Her altın alaşımı için ayrı pota kullanılmasında büyük faydalar mevcuttur. Ergitme ve döküm süresince sıcaklık değişimi fazla olduğundan potaların ömrü kısadır. Potalı ocakların dezavantajları aşağıdaki şekilde sıralanır:

- Düzensiz ergitme ve olumsuz çalışma ortamı yaratmaktadır.
- Oluşan gazlar, sıvı metal kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.
- Homojen bir alaşım elde edilmesi ve alaşımın içindeki elementlerin dar sınırlar içinde kontrolü bir hayli zordur.
- Oksitlenme ile alaşım elementlerinin kaybı fazladır. Bu durum, ayar değişmesine neden olur.
- Sıcaklık kontrolü zordur.

Devirme potalı ocaklar, iki tiptedir. Bunlardan biri, döküm ağzı, diğeri ise merkezi doğrultusunda devrilen ocaklardır. Devirme potalı ocaklarda, grafit potalar ocak dışına çıkarılmadıklarından bunların ömrü kaldırma potalı ocaklarda kullanılan potalardan daha uzundur.

İndüksiyon ocakları kuyumculuk sektöründe altın alaşımları imali için diğer ocaklara göre tercihen daha fazla kullanılmaktadır. Bu ocakların kullanılması ile sıvı alaşımın sıcaklık kontrolü ve üniform olması sağlanır. Sıvı metalin elektromanyetik karıştırma sonucunda homojen olmasından dolayı, alaşım kalitesi oldukça yüksek olmaktadır.

İndüksiyon ocaklarının avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Kaliteli altın alaşımının elde edilmesi,
- Yüksek ve üniform sıcaklık elde edilebilmesi,
- Soğuk şarjda çalışabilme olanağı,
- Alaşım bileşiminin çok dar sınırlar içerisinde değişmesi,
- İşçilik masraflarının çok düşük olması,
- Her çeşit altın alaşımının elde edilebilmesi,
- Ocak işletmesinin çok kolay olması,
- Ergitme zamanının çok kısa olması,
- Çalışma ortamının çok temiz olması.

İndüksiyon ocaklarının çalışma prensipleri aynı olmakla beraber bu ocakları aşağıdaki gruplara ayırmak mümkündür.

Altın ve alaşımlarının ergitilmesine en elverişli orta frekanslı (150-10.000 Hz) indüksiyon ocaklarıdır. İdeal çalışma frekansına sahip bir ergitme ocağı ile değerli metal ve alaşım kayıpları en aza indirilir. Bunun yanında, ergime sırasında oluşan oksitlenme de hemen hemen tümüyle azaltılır. Yüksek frekanslı (>10.000 Hz) indüksiyon ocaklarının aksine ergitilen metal ve alaşımın hızla oksitlenmesine yol açan yüksek yoğunlukta yüzey akımları

oluşmamaktadır. Ergimiş metal ve alaşımda girdaplı karışmayı sağlayan indüktif akımlar sayesinde de alaşım mükemmel bir homojenliğe sahip olmaktadır (Grimwade, 1985; Yannopoulos, 1991; Aras, 1996).

Kuyumculukta ergitme için hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, alınması gereken en büyük önlem, ergimiş metale karışacak gazı en az düzeye indirmektir. Bu, havadan ya da potaların, maşaların, karıştırıcıların üzerindeki nemden gelebilir (Grimwade, 1990a).

6.2.2 İngot (Astar) Dökümü

Dövme ürünlerin tümü, döküm ürünlerinden elde edilir. Haddeleme için gerekli ingotlar (astarlar) statik veya sürekli döküm yöntemleri ile dökülür. İngotlar, sıvı metal veya alaşımın iki parçalı metal kalıplara dökülmesi ile elde edilirler.

Metal kalıpları hematit pikten veya sfero pikten dökülürler. Kalıp şekli çok basittir. İki parçalı olup yükseklikleri 300 mm'yi geçmemektedir. Bu kalıpların ömürleri çok uzun olup, bir kere yapıldıktan sonra uzun zaman kullanılırlar. Metal kalıbın ısı iletkenliği yüksek olduğu için sıvı alaşım çok hızlı soğuyarak katılaşmaktadır.

Kalıp yüzeyleri döküm öncesi çok iyi temizlenmeli, alaşımın kalıp yüzeyine yapışmaması için makine yağı veya özel hazırlanmış grafitli boya ile yağlanmalı ya da boyanmalıdır. Kalıp yüzeyinden kaynaklanan her tür bozukluklar döküm öncesi giderilmelidir. Döküm öncesi metal kalıplar şalumo ile veya ısıl işlem fırınında homojen ısıtılmalıdır. Yaklaşık kalıp sıcaklığı 150°C'dir. Isıtılmadan sonra metal kalıp dereceleri bir araya getirilerek ingot genişliği isteğe göre ayarlanır ve kalıplar işkencelerle sıkılır.

Altın alaşımlarında kullanılan ingot kalınlığı 6-8 mm arasında değişmektedir. İngot genişliği ise en az 60 mm'dir.

İngotlarda aranan özelliklerden en önemlisi, tanelerin aynı boyutlarda olması ve tane boyutlarının küçük olmasıdır. Tanelerin şekil ve boyutları şu faktörlere bağlı olarak değişir:

- oluşan kristal çekirdeklerinin sayısı ve dağılımı,
- kristallerin yönü ve büyüme miktarı.

Bu faktörler döküm sıcaklığı ile fazlasıyla etkilenmektedir. Döküm sıcaklığı yüksek olduğu takdirde, metal kalıp yüzeyinde oluşan kristaller tekrar ergime şansına sahip olur. Fakat çoğu zaman bu çil kristalleri büyümeye devam eder ve uzun ince kristaller oluşur. Bu kristallere 'kolonsal' kristaller denir. Döküm sıcaklığının düşük olması durumunda, kolonsal kristaller

metal kalıbın merkezine erişmeden soğuyarak kristalleşirler. Böyle bir ingotun dış kısmında bir çil kristal kısmı, buna yakın kolonsal kristaller ve merkezde ise eşeksenli kristaller bulunur. Bu tip ingotlar üstün çekme ve mekanik özelliklere sahiptirler.

İşlenmiş bir üründe iyi sonuçların elde edilmesi, ingotlarda istenilen özelliklerin olması ile mümkündür. Bu özellikleri şu şekilde özetleyebiliriz;

İngot ölçüsü ile istenilen şerit ölçüleri arasında yakın bir ilişki vardır. İngotun geniş olması halinde işleme esnasında kenarlarından fazla fire verilir. Maksimum ingot kalınlığı ise merdaneler arasındaki azami açıklığa bağlıdır. Sert altın alaşımlarda, ingot ezme miktarı çok azdır. Bu nedenle istenilen kalınlığın elde edilmesi için, ingotların birçok defa silindirden geçirilmesi gerekir. Kırımların önlenmesi için ingotlar sık sık tavlmalıdır. Bu durumda da haddeleme masrafı döküm masrafını aşar. Bu masrafın indirilmesi için sürekli döküm metoduyla elde edilen daha ince ve uzun ingotlar kullanılır. Dökülen ingotun çok ince olması halinde de, işlendikten sonra istenilen mekanik özellikler elde edilemez. Çünkü ingot yeterince işlemeye tabi tutulamamıştır.

Dökme ingotun mikro yapısı soğuk şekillendirme işlemi esnasındaki fazla kalınlık azaltılmalarına müsait olmalı ve çatlamamalıdır. Bu durumda iki yapı karakteristiği önemlidir.

- Malzemenin homojen olması,
- Malzemenin tane boyutu ve katkı oranı.

Sürekli döküm prosesi, ingotlarda homojen bir yapı oluşmasını sağlar. Elde edilen ingotların tane boyutu çok daha küçük olduğu için tercih edilmektedir.

Döküm şartları altında bir miktar ayrışma oluşması kaçınılmazdır. Bu ayrışmaların miktarı, soğuma hızı ve döküm şekline bağlı olarak değişir.

İngotlarda meydana gelen diğer bir hata da, malzeme yapısında farklı karakterde yabancı maddelerin yapının değişik kısımlarına dağılmasıdır. Bu yabancı maddeler çözünmeyen oksit parçacıkları, metal posası, alçı ve potalardan gelen metal olmayan parçalardır. Bunlar döküm için çok sakıncalıdır ve dökümde zayıf noktalar oluştururlar. Bunları şu şekilde önleyebiliriz:

- Alaşımın ergitilmesinde cüruf yapıcı malzeme kullanılmalıdır. Bu şekilde bakır oksit ve çinko oksit gibi oksitlerin oluşumu önlenir.
- Dökmeden önce, sıvı metal yüzeyindeki cüruf ve pislikler temizlenmelidir.
- Alaşımın yapımında saf metaller ve temiz hurdalar kullanılmalıdır.
- Potaların ve kalıpların yüzeyleri sık sık temizlenmelidir.

- Sıvı metalin yüzeyi havadan korunmalı ve oksitlenmesi önlenmelidir.
- Döküm esnasında türbülans yapılmamalıdır.
- Mümkün olduğu durumlarda, dökmeden önce bir müddet beklenmesi faydalıdır. Sıvı metal içinde çözünmeyen maddeler yoğunluk farkından dolayı sıvı metal yüzeyine çıkma imkanı bulurlar.

İngotlar silindirden her geçtiğinde en fazla %20 ezme yapılır ve en fazla %50 soğuk şekillendirilirler. Bilahare astarlar tavlânır. Tavlama tünel fırınlarında yapıldığı gibi, sabit fırınlarda da yapılabilir. Bu fırınlarda redükleyici ortam olması gereklidir. Redükleyici ortam azot-hidrojen karışımı veya parçalanmış amonyak gazı ile elde edilir. Tavlânmış ingotlar tavlama sıcaklığında suda soğutulurlar. Bu son işlemler ile ingotlar daha yumuşak ve homojen bir yapıya sahip olurlar. Fakat yüksek sıcaklıktan suda ani soğutma her tür altın alaşımı için uygun değildir .

İngotların işlenmesinde son aşama, temiz yüzey ve gerekli ölçünün elde edilmesidir (Untracht, 1985; Aras, 1996; World Gold Council, 1997).

Değişik ingot kalınlıkları için tolerans değerleri Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 İngot kalınlığı toleransları (Aras, 1996).

Astar kalınlığı (mm)	Tolerans (mm)
0100 mm'ye kadar	0.008
0.100-0.150	0.015
0.150-0.330	0.020
0.330-0.432	0.025
0.432-0.533	0.030
0.533-0.660	0.038
0.660-0.940	0.051
0.940-1.270	0.051
1.270-1.850	0.064
1.850-3.300	0.064
3.300-4.750	0.076
4.750-5.200	0.076
5.200-7.620	0.076

6.3 Döküm

Metal veya alaşım belirli bir standarda uygun olacak şekilde ve standardın gerektirdiği şartları verecek kimyasal bileşimi tayin edilerek belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, kalıp boşluğuna dökülür (Aras, 1996). Döküm işlemi mümkün olduğunca kısa sürede gerçekleştirilmelidir.

Döküldükten bir saniye sonra, döküm parçalarının kısmen katılaşmış olduğu unutulmamalıdır (Faccenda, 1995a).

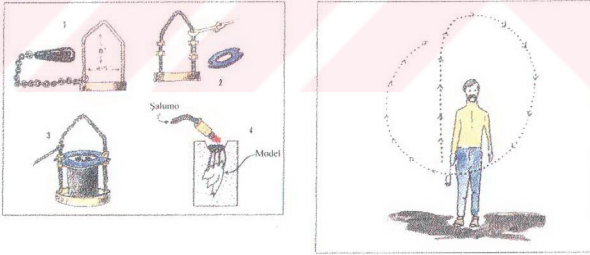
Her alaşım kendine özgü döküm sıcaklığında dökülmelidir. Örneğin, basit şekilli mücevher parçaları daha düşük döküm sıcaklığını gerektirir. Döküm sıcaklığı şu şekilde hesaplanır;

$$\text{Döküm sıcaklığı} = \text{Alaşımın sıvılaşma sıcaklığı} + 75\text{-}100^{\circ}\text{C}$$

Sıvılaşma sıcaklığı ise alaşımın kimyasal bileşimine göre, denge diyagramından belirlenir. Yüksek döküm sıcaklıkları ergimiş alaşımın içinde gaz çözünmesini artırır ve dökümün mikro yapısında tane boyutlarının fazla büyük olmasına yol açar. Döküm sıcaklığı, daldırma pirometresi ile ölçülebilir.

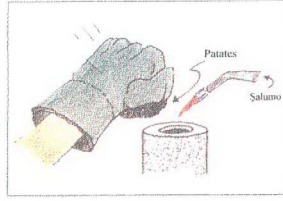
Hassas dökümde kalıbın tam olarak dolması sağlanmalıdır. Sıvı metalin akma yüksekliği ve metalin akış yolu uzadıkça, metal daha fazla soğur ve akış sabit olmaz. Metal kalıbın tamamen dolması için ergimiş alaşımın akıcılığı iyi olmalıdır (Aras, 1996).

Bu bağlamda modelin mükemmel bir kopyasını çıkarmak amacıyla sıvı metalle kalıp boşluğunun doldurulması amaçlanır ve bunun için sıvı metale baskı uygulanır. Daha fazla kuvvet uygulanarak daha karmaşık ve detaylı parçalar dökülebilir. Bunu sağlayan çözümlerden birisi Şekil 6.23’de gösterilen insan gücüyle santrifüj etki yaratan savurma dökümdür. Burada dereceye santrifüj etkiyi dökümcü, koluyla sağlar.



Şekil 6.23 İnsan gücüyle santrifüj etki yaratan savurma döküm (Faccenda, 1998)

Bir diğer yöntem ise statik basınçlı dökümün bir çeşidi sayılabilecek bir yöntemdir. Burada basınç bir patatesin buharından yararlanılarak elde edilir ve kalıp dolumunu geliştirmek için kullanılır (Şekil 6.24).



Şekil 6.24 Statik basınçlı dökümde kalıp dolumunun geliştirilmesi (Faccenda, 1998)

Döküm kalitesi çok çeşitli kriterlere bağlıdır. Bunların en önemlileri kalıp boşluğunu doldurma, yüzey kalitesi, fiske ve delik oluşumu, alaşım bileşenlerinin oksijenle reaksiyona kolay girmesi ve katılaşmış alaşımın mekanik özellikleridir. Bu özelliklerin önemi kullanılan döküm yöntemiyle ilgilidir.

Teknolojinin gelişmesi, kuyumculara çok geniş ekipmanlar sağlamıştır. Bunlar karmaşık ve çok basit olabilir. Fakat hala açıklanamamış bir soru vardır: santrifüj dökümü mü yoksa statik dökümü mü tercih etmek daha iyidir (Ott ve Raub, 1992a; Faccenda, 1998).

6.3.1 Santrifüj Döküm

Altın alaşımlarında kullanılan santrifüj döküm makineleri, demir-çelik sektöründe kullanılanların benzeridir. Sistemin çalışma prensibi tamamı ile aynıdır; ancak, gerek şarj gerekse döküm kapasitesi oldukça küçüktür. Santrifüj döküm ile altın üretiminde yaklaşık 1 kg'lık parçalar dökülebilmektedir, daha büyük parçalar dökülebilsede bunlar ancak özel amaçla üretilmiş ve seri üretimi gereksiz olan parçalardır. İmalat sırasında genelde blok parçaların üretimi için kullanılan yöntem basit şekilli birden çok parçanın aynı anda dökülmesinde de kullanılabilmektedir (Karaca, 2001).

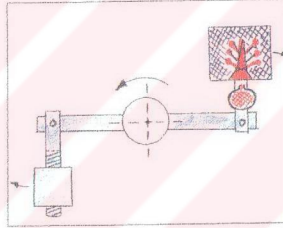
Santrifüj döküm kullanıldığında metal, özel bir pota içerisinde gerek şalumo gerekse indüksiyon fırını yardımıyla ısıtılır. Daha önceden ısıtılmış kalıpta potanın hemen önüne yerleştirilir. Her ikisi de santrifüj döküm makinesine yerleşmiş durumdadır ve merkez eksen etrafında hızla dönmektedir. Fusayama ve Yamane'ye göre, santrifüj dökümde, yapıdaki kaba bölgeler, elektrikli ısıtmaya oranla gazlı ısıtmada ve dikey kalıplara oranla yatay kalıplarda artmaktadır. Santrifüj hareketten dolayı pota içerisindeki sıvı metal pota duvarına tırmanarak kalıp içerisine girer.

Dik duvarlı potalardan, ergiyeğin geç akması ve bu nedenle de kalıptaki basıncın geç

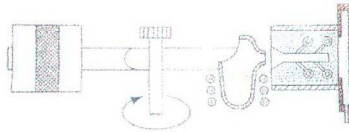
artmasına bağlı olarak, böyle potalar kullanıldığında maksimum basınca ancak daha yüksek dönme hızı ile ulaşılır. Teorik olarak bu unsurlar döküm kalitesini etkiler.

Santrifüj dökümde dönme hızı, çok yavaş olursa, eksik döküm elde edilir. Çok hızlı olması halinde, çatlama ve kırılmalar oluşur. Kalıpta gelişen maksimum gaz basıncı, döküm kolunun ivmesine göre değişir; bu terim santrifüj ivmesini değil, dakikadaki devirlerin hızlanmasını ifade eder. İvme arttıkça, yani dakikadaki devirlerin sayısını gösteren eğrinin eğimi dikleştikçe, kalıptaki gaz basıncı da artar. Maksimum dönme hızının gaz basıncı değişimleri üzerinde etkisi yoktur. Alçının yapısı, özellikle de gaz geçirgenliği statik dökümde olduğu gibi santrifüj dökümde de büyük rol oynar. Yaklaşık olarak aynı dönme hızında ancak kalsiyum sülfat (jips) bağlı alçı kullanılarak ulaşılan maksimum basınç oldukça düşüktür (Grimwade, 1985; Ott ve Raub, 1992b; 1992c).

Şekil 6.25’de gösterilen santrifüj döküm sisteminde derece eksenı ile santrifüj kolu arasındaki açı 0-90° arasında değişen bir rotasyon oranına sahiptir. Böylece santrifüj ve teğetsel atalet kuvvetleri ergimiş metalin potadan akmasını ve derece içerisine dolmasını sağlar.



Şekil 6.25 Çeşitli geometride santrifüj dökümün şematik gösterimi (Faccenda, 1998)



Şekil 6.26 Santrifüj dökümde kalıp dolumu (Faccenda, 1998)

6.3.2 Statik Döküm

Modern statik döküm/ergitme makinelerinde vakum yardımı alınmaktadır ve kalıbın dolumu