

Gold Alloys

Part 2 : White Gold

ดร.สายสมร นิชมสรวณู

7 สิงหาคม 2552

คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสารสนเทศจันทบุรี

Gold Alloys

Part 2 : White Gold

“white gold” เป็นศัพท์ที่ใช้ทั่วไปในการเรียกโลหะผสมทองที่มีสีขาว ซึ่งการใช้ชื่อนี้เริ่มมีขึ้นในทศวรรษที่ 1920 เมื่อมีความพยายามที่จะพัฒนาทองสีขาวเพื่อจะใช้แทนโลหะแพลทินัมที่มีราคาสูง วัตถุประสงค์หลักในช่วงนั้นคือเพื่อต้องการให้สีที่ได้เหมือนกับสีของแพลทินัม ในอดีต white gold จึงหมายถึงทองที่มีสีขาวหม่นของแพลทินัม



รูป 1 ต่างหูทำจาก white gold ก่อน (ขวา) และหลังชุบโรเดียมแล้ว เปิดผิวเคลือบบางส่วน (ซ้าย)¹

ปัจจุบันในท้องตลาด white gold ถูกเชื่อว่าเป็นโลหะผสมทองที่มีสีขาวเหมือนหิมะ ซึ่งไม่ใกล้เคียงกับความเป็นไปได้ในเชิงการผลิต

“white” จะได้ช่วงของสีขาวหลากหลายเฉด ตั้งแต่ สีขาวออกเงินสว่าง จนกระทั่งสีเทาหม่นแบบโลหะ ครอบคลุมไปถึงสีขาวเหลืองจางๆ ซึ่งเรียกว่า off-white จึงมีการปกปิดสีเหล่านี้ด้วยการทำ rhodium plating ตามความต้องการของท้องตลาด ความแตกต่างของสีของ white gold ก่อนและหลังชุบโรเดียม แสดงดังรูป 1 โดยทั่วไปในท้องตลาดจะพบ white gold ที่มีทองมากถึง 18 carat ทองสีขาว 21 carat พบในตลาดของตะวันออกกลาง ส่วนปริมาณทองที่มากกว่านั้นไม่สามารถเป็นไปได้ในด้านการผลิตในปัจจุบัน¹

โลหะเจือที่ได้มีการนำมาใช้ฟอกสีทองให้ขาวในท้องตลาด เช่น แพลทินัม โคโรเมียม โคบอลต์ สังกะสี ดีบุก เงินและ เหล็ก เป็นต้น โลหะผสมแต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียในการทำงานต่างกัน บ้างทำให้โลหะผสมมีความแข็งแรงขึ้นและทำงานได้ยาก และมีปัญหาการแตกในระหว่างให้ความร้อน และการหมอง เป็นต้น

สิ่งที่ต้องพิจารณาอันดับต้นๆ ในการเลือกโลหะเพื่อมาผสมทำ white gold ได้แก่ ความเหมาะสมของสีและความแวววาว ความแข็งแรงที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบ (casting) และการอบอ่อน (annealing) ซึ่งควรมีไม่เกิน 200 HV ควรมีความสามารถในการขึ้นรูปเย็นได้ โดยมีความสามารถในการยืดตัว (elongation) อย่างน้อย 25% มีอุณหภูมิของการหลอมเหลวที่ค่อนข้างต่ำไม่ควรเกิน 1100 °C และมีราคาที่เหมาะสม เงื่อนไขของโลหะฟอกขาวต่างๆ ในการใช้ผสมทำทองสีขาวแสดงในตาราง 1

¹ C. W. Corti, What is a White Gold? Progress on the issues!, May 2005, [Online]

http://www.gold.org/rs_archive/SFBK_WhitegoldChris%20Corti.pdf access date 24/6/2007

ตาราง 1 สมบัติของ white gold จากโลหะฟอกสีชนิดต่างๆ²

Element	Effect		Comments
	Colour	Workability	
Ag	Moderate bleach	Excellent	Sulfur tarnishing, bleaches only low caratage alloys
Cu	Too red (more than 3%)	Improves workability	-
Co	Very slight bleach (1.5%)	Excellent	Increases liquidus, hardness, allergen
Cr	Excellent bleach (13%)	Impossible	2% Cr has no colour influence; increases solidus temperature above 1100°C
Fe	Nearly complete bleach (16%)	Poor to satisfactory	Poor corrosion resistance; increases solidus temperature in combination with 4-5wt% Pd, when more than 10wt% causes excessive hardness and oxidation during lost-wax casting
In	Moderate bleach (5.5%)	Impossible	2% has no colour influence, lowers hardness
Sn	Moderate bleach (5%)	Impossible	Embrittlement
Zn	Moderate bleach (6%)	Brittle (more than 6%)	Volatile, unsuitable for casting, increases tendency for fire-cracking, high proportions can cause sensitivity, less than 2wt% improves the lost-wax casting behaviour but still without fully satisfactory results
Al	Very slight bleach (1.5%)	Poor	Strong oxide former
Mn	None (1.5%)	Poor	Strong oxide former, high reactivity when more than 10wt%, appreciable whitening effect especially in combination with Pd, susceptibility to stress corrosion when used in important quantities
Pt	Bleaching effect similar to Pd	-	An expensive precious metal
Ti	Just perceptible (1.3%)	Poor	Strong oxide former
Nb	-	-	Increases liquidus
Ta	Just perceptible (7%)	Poor	Increases liquidus, high reactivity
V	Strong bleach (25%)	Impossible	Increases liquidus, toxic, high reactivity

โลหะฟอกขาวแต่ละชนิดที่นำมาผสมทองจะมีความสามารถในการทำให้ทองมีสีขาว (bleaching effect) แตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 1 นิกเกิล(Ni) แพลเลเดียม (Pd) แพลทินัม (Pt) เหล็ก (Fe) และโครเมียม (Cr) สามารถทำให้ทองเป็นสีขาวได้อย่างมาก ในขณะที่ เงิน และสังกะสี มีความสามารถปานกลาง ส่วนโลหะอื่นๆ มีความสามารถที่น้อย อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้โลหะที่มีสีขาวดังกล่าวต้องคำนึงถึงสมบัติของโลหะผสมที่จะได้ในเชิงของการใช้งานด้วย ตาราง 2 แสดงความแข็งของ white gold ที่ได้จากการผสมโลหะฟอกสีชนิดต่างๆ ผลของการฟอกขาวด้วยธาตุเจือต่างๆ พบว่าธาตุเจือที่สามารถใช้ฟอกขาว

² C. Cretu, E. van der Lingen, Coloured Gold Alloys, Gold Bulletin 32 (4), 1999 , p 115-126

ได้ดีคือ เหล็ก นิกเกิล หรือ แพลเลเดียม ที่ปริมาณ 25 % ซึ่งสามารถฟอกขาวได้เกือบสมบูรณ์จนถึงฟอกได้สมบูรณ์และยังทำให้การขึ้นรูปของโลหะผสมทองทำได้ดีถึงดีมาก

ตาราง 2 ความสามารถในการฟอกขาว(Bleaching effect) ของโลหะเจือในโลหะผสมทอง³

Element	Low concentration (5% atomic)		Medium concentration (limit of solid state solubility at quenching temperature of 25% by weight)			
	Bleaching effect	Hardness after quenching HV	Noninal concentration % wt	Bleaching effect	Hardness after quenching HV	Gold workability
Ag	None	24	25.0	Moderate	34	Excellent
Al	None	38	1.5	Very weak		
Co	None	52	1.6	None	52	Excellent
Cr	Barely visible	40	13.0	Complete	177	Impossible
Fe	Barely visible	39	16.0	Nearly complete	119	Good
In	Very weak	35	5.5	Moderate	133	Impossible
Mn	None	38	9.0	Moderate	38	Excellent
Nb	None	50	-	-	-	-
Ni	Very weak	44	14.0	Nearly complete	254	Excellent
Pd	None	30	25.0	Complete	100	Excellent
Sn	Weak	43	5.0	Moderate	74	Impossible
Ta	Barely visible	28	7.4	Barely visible	28	Excellent
Ti	Barely visible	164	1.3	Barely visible	164	Poor
V	Barely visible	54	25.0	Strong	185	Impossible
Zn	None	34	6.3	Moderate	122	Good

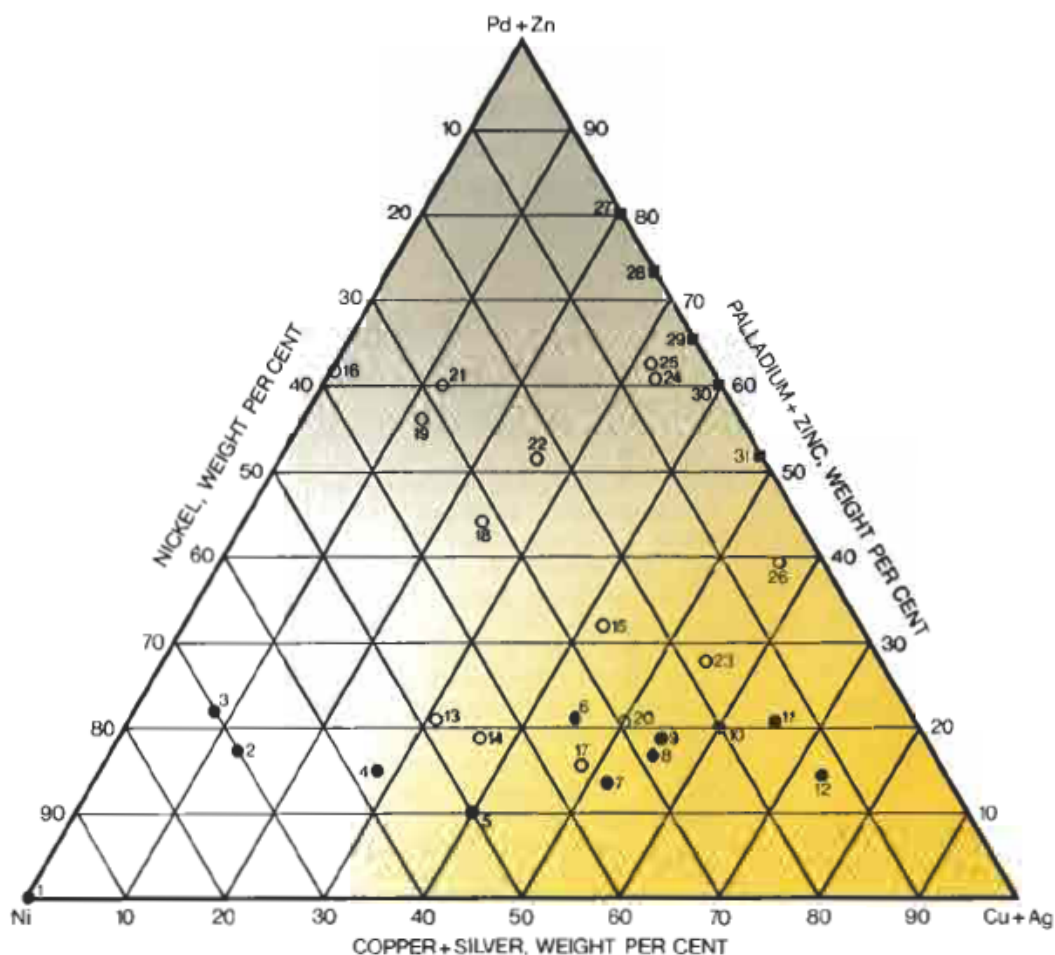
White gold ในตลาดเครื่องประดับ สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ซึ่งมีส่วนแบ่งการตลาดต่างกัน ดังแสดงในรูป 2 ได้แก่ white gold ที่มีนิกเกิลเป็นสารฟอกสีหลัก มีแพลเลเดียมเป็นสารฟอกสีหลัก มีทั้งนิกเกิลและแพลเลเดียมผสม และ ปราศจากนิกเกิลและแพลเลเดียม มีส่วนแบ่งตลาด 76%, 15%, 7% และ 2% ตามลำดับ

ตัวอย่างสีของ white gold เมื่อผสมด้วยสัดส่วนของธาตุเจือต่างๆ แสดงดังรูป 3 ซึ่งเป็นแผนภาพของทอง 18 กระรัต⁴ ที่มีส่วนผสมของเงินและทองแดง (Cu+Ag) ส่วนผสมของนิกเกิล (Ni) และส่วนผสม

³ M. Poliero, White Gold Alloys For Investment Casting, Gold Technology 31 Spring 2001 p10-20, <http://www.ganoksin.com/borisat/nenam/colored-gold-casting.htm>, access date 5/11/2007

⁴ C.P. Susz, and M.H. Linker, "18 Carat White Gold Jewellery Alloys," *Gold Bulletin*, 13(1), 1980, pg. 15-20

ของแพลเลเดียมผสมสังกะสี (Pd+Zn) ในสัดส่วนต่างๆ โดยส่วนผสม แสดงร้อยละของส่วนผสมของโลหะผสมทั้งหมดในทอง 18 K white gold ที่มีนิกเกิลผสมจะมีสีขาวสว่างในขณะที่มีแพลเลเดียม-สังกะสีจะมีสีขาวหม่น



รูป 3 ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสีของโลหะผสมทอง 18 K⁴

Nickel white gold คือ white gold ที่ผสมนิกเกิลเป็นหลัก ได้รับความนิยมในอเมริกา มีส่วนผสมของ ทอง นิกเกิล เงิน และสังกะสีเป็นส่วนผสมหลัก นิกเกิลในปริมาณ 12% จะทำให้ white gold มีสีขาวสวย แต่จะแข็งและนำไปขึ้นรูปได้ยาก เนื่องจากโลหะไม่ละลายเข้ากันเป็นเนื้อเดียว ดังนั้นในท้องตลาดจึงมีการลดปริมาณของนิกเกิลและเติมทองแดงเพื่อช่วยให้สามารถขึ้นรูปได้ ดังแสดงในตาราง 3 ปริมาณทองแดงทำให้อุณหภูมิหลอมเหลวเพิ่มขึ้น และมีผลให้สีขาวออกเหลืองน้ำตาล จึงต้องมีการชุบเคลือบด้วยโรเดียม นอกจากนี้ nickel white gold ยังมีปัญหาการแตกในขณะเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว (fire cracking)

ตาราง 3 ส่วนผสมและสมบัติทางกายภาพของ Nickel white gold⁵

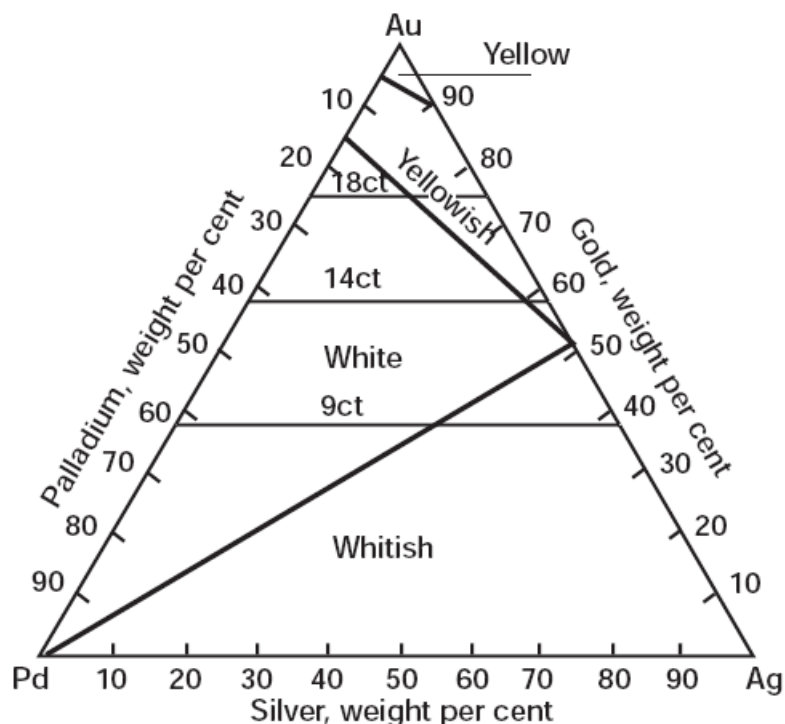
	Gold, % wt	Copper, % wt	Nickel, % wt	Zinc, % wt	Hardness Hv	Liquidus °C
18ct	75	2.2	17.3	5.5	220	960
	75	8.5	13.5	3.0	200	955
	75	13.0	8.5	3.5	150	950
14ct	58.5	22.0	12.0	7.4	150	995
10ct	41.7	32.8	17.1	8.4	145	1085
9ct	37.5	40.0	10.5	12.0	130	1040

ปัญหาอย่างหนึ่งของนิกเกิลในเครื่องประดับ คือ ผู้ใช้บางส่วนโดยเฉพาะผู้หญิงมีอาการแพ้จากการสวมใส่เครื่องประดับที่มีนิกเกิลผสมอยู่ ได้แก่ nickel white gold เครื่องประดับที่ผ่านการชุบนิกเกิลรองพื้น เครื่องประดับที่สัมผัสกับร่างกาย เช่น body jewelry เข็มขัด กระดุม สายนาฬิกา เป็นต้น อาการแพ้นิกเกิลจะทำให้เกิดผื่นแดงบริเวณที่สัมผัส

ประเทศในแถบยุโรป เช่น สวีเดน และ เยอรมัน เริ่มมีกฎหมายต่อต้านเครื่องประดับที่มีนิกเกิลผสมอยู่ตั้งแต่ทศวรรษที่ 1990 และตั้งแต่ปี 2000 ได้มีกฎหมายกำหนดปริมาณของนิกเกิลที่อนุญาตให้มีได้เครื่องประดับหรืออุปกรณ์ที่ต้องสัมผัสผิวหนัง เช่น ก้านต่างหู (ear post) มีนิกเกิลได้ไม่เกิน 0.05% และถ้าเป็นชิ้นส่วนที่สัมผัสกับผิวหนังต้องไม่มีการรั่วไหลของนิกเกิลมากกว่า 0.5 mg/cm² ภายในเวลาอย่างน้อย 2 ปี (การทดสอบการรั่วไหลของนิกเกิลทำโดยการทดสอบในสารละลายเกลือที่เลียนแบบเหงื่อของผู้สวมใส่) กฎหมายเช่นเดียวกันนี้ยังใช้ในประเศญี่ปุ่น จีน และอื่นๆ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าปริมาณนิกเกิลในเครื่องประดับจะไม่เกินจากที่กฎหมายกำหนดแต่ก็ไม่สามารถรับรองได้ว่าผู้สวมใส่จะไม่แพ้ ดังนั้นตลาดส่วนใหญ่จึงต้องการเครื่องประดับที่ไม่มีนิกเกิลเป็นส่วนประกอบทำให้ต้องมีการพัฒนาโลหะผสมสำหรับ white gold อื่นๆ ขึ้นมา โดยมีการใช้แมงกานีส เหล็ก หรือ โคโรเนียมเพื่อทำให้ทองมีสีขาว แต่โลหะผสมเหล่านี้จะขึ้นรูปได้ยากทั้งขึ้นรูปด้วยมือและด้วยการหล่อ หมองได้ง่ายและมีสีขาวหม่น จึงต้องมีการทำ rhodium plating

⁵ Gold Jewellery Alloys, [Online] <http://www.gold.org/jewellery/technology/alloys/index.html>, access date 5/16/2007

Palladium white gold คือ white gold ที่ผสมแพลเลเดียมเป็นหลัก ที่มีสีขาวสวยงาม เนื่องจากปริมาณแพลเลเดียมที่สูงนั้นสามารถแข่งขันได้ดีกับเครื่องประดับจากแพลทินัม โดยเฉพาะในตลาดญี่ปุ่น และ white gold 18 กะรัตจะผสมกับแพลเลเดียมและแพลทินัมได้มากถึง 20 % ทำให้ได้สีขาวที่สวยงามและความสามารถในการขึ้นรูปและความแข็งแรงที่เหมาะสม เมื่อตลาดต้องการ nickel-free white gold ทำให้ palladium white gold ได้รับความสนใจอย่างมาก



รูป 4 กราฟแสดงส่วนผสมและสีของโลหะผสมทอง (Au) เงิน (Ag) และแพลเลเดียม (Pd)⁶

ส่วนผสมของ Palladium white gold โดยผสมทอง (Au) เงิน (Ag) และแพลเลเดียม (Pd) ที่ทำให้เกิดสีขาวได้แตกต่างกัน แสดงดังรูป 4 ถ้ามีปริมาณแพลลาเดียมที่เพิ่มขึ้น สีของโลหะผสมจะเปลี่ยนจากสีเหลืองทองมาเป็นสีขาวมากขึ้น (White) เครื่องประดับทองสีขาวสามารถผสมแพลเลเดียมได้มากถึง 20% จะได้ทองที่มีสีขาวโดย ไม่จำเป็นต้องชุบโรเดียม ซึ่ง

⁶ M. Grimwade, A Plain Man's Guide To Alloy Phase Diagrams: Their Use In Jewellery Manufacture - Part 2, Gold Technology 30, 2000 p 8-15

ทนการหมองได้ดี อย่างไรก็ตามเนื่องจากราคาของแพลเลเดียมทำให้เครื่องประดับของนี้มีราคาสูง โดย palladium white gold 10 K มีราคาสูงกว่าทอง 14k และ เมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณ palladium และ nickel ที่เท่ากัน palladium white gold จะมีความหนาแน่นที่สูงกว่า nickel white gold เนื่องจากแพลเลเดียมมีน้ำหนักกว่า จึงทำให้มีราคาที่เครื่องประดับที่ทำจาก palladium white gold แพงกว่า nickel white gold และ yellow gold ดังนั้นในท้องตลาดจึงนิยมลดปริมาณของแพลเลเดียมและเติมทองแดงแทนซึ่งทำให้สีไม่ขาวเหมือนเดิมจึงต้องทำ rhodium plating

Palladium white gold มีส่วนผสมของ ทอง แพลเลเดียม เงิน และสังกะสีเป็นส่วนผสมหลัก และมีการเติมทองแดงและนิกเกิลเล็กน้อยเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้เหมาะสมกับการใช้งาน แพลเลเดียมมีความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนที่ดี และไม่เกิดการหมอง นอกจากนี้แพลเลเดียมยังผสมกับทองได้ดี แต่โลหะผสมมีช่วงของการหลอมตัวที่สูง ทำให้การขึ้นรูปโดยการหล่อทำได้ยาก ความแข็งของชิ้นงานหล่อต่ำกว่า มีความสามารถในการบิดงอได้ดี แต่สามารถเพิ่มความแข็งได้ด้วยการทำ cold working และไม่เกิด fire-cracking สมบัติของ palladium white gold เปลี่ยนแปลงตามส่วนผสม แสดงดังตาราง 4 โดยเมื่อมีปริมาณแพลเลเดียมลดลง จุดหลอมเหลวมีค่าลดลง

ตาราง 4 ส่วนผสมและสมบัติทางกายภาพของ Palladium white gold⁵

	Gold	Pd	Ag	Cu	Zn	Ni	Hardn Hv	Liq, °C
18ct	75	20	5	-	-	-	100	1350
	75	15	10	-	-	-	100	1300
	75	10	15	-	-	-	80	1250
	75	10	10.5	3.5	0.1	0.9	95	1150
	75	6.4	9.9	5.1	3.5	1.1	140	1040
	75	15	-	3.0	-	7.0	180	1150
14ct	58.3	20	6	14.5	1	-	160	1095
	58.5	5	32.5	3	1	-	100	1100
10ct	41.7	28	8.4	20.5	1.4	-	160	1095
9ct	37.5	-	52	4.9	4.2	1.4	85	940

การเลือก white gold ต้องมีความเหมาะสมกับกะรัตของทองเพื่อให้เหมาะสมกับราคา ดังนั้นทองสีขาวที่เป็นที่ยอมรับของตลาด จึงมีลักษณะดังนี้

White gold 10 k ตลาดส่วนใหญ่ยอมรับกับการเติมเงินปริมาณมาก และสังกะสีเพื่อทำให้ทองเป็นสีขาว และบางครั้งจะเติมแพลเลเดียมได้มากถึง 28 % ตามการกำหนดของราคา โดยส่วนใหญ่ต้องชุบโรเดียมในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อให้ได้สีขาวตามความต้องการ ทองสีขาว 10 k นี้ส่วนใหญ่จะมีความแข็งต่ำเมื่อทำการอบอ่อนแล้วซึ่งจะมีค่าความแข็งประมาณ 95 – 115 HV (โดยปกติ เมื่อเติม เงิน ทองแดง และ สังกะสี จะทำให้ทองแข็งขึ้น) สามารถขึ้นรูปได้ง่าย แต่สามารถเกิดออกไซด์ของสังกะสี และหมองเนื่องจากอิทธิพลของเงิน การชุบโรเดียมช่วยป้องกันการหมองได้ แต่เคลือบผิวอาจหลุดลอกและทำให้เกิดการหมองตามมา

White gold 14 k นิยมใช้แพลเลเดียมเป็นตัวฟอกขาว แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. Low-palladium alloys ปริมาณแพลเลเดียมไม่เกิน 10 % โดยปกติจะผสมเงิน ทองแดง และสังกะสี ทองสีขาวชนิดนี้มีความแข็งประมาณ 100 HV มีความอ่อนและเสียรูปได้ง่าย มีสีที่ไม่ขาวมาก เรียกว่า “straw white” หรือ “cream white” จึงนิยมชุบโรเดียม

2. High-palladium alloys ปริมาณแพลเลเดียมเกิน 10 % จึงได้สีขาวที่เป็นที่ขาวมากกว่า และราคาแพงกว่า มีความแข็งเพิ่มขึ้น ทำให้ทำงานได้ยากต้องใช้คุณสมบัติสูงในการทำงาน

อย่างไรก็ตาม ทั้งสองกลุ่มจะเกิดการผุกร่อนได้ง่าย ถ้าใช้ปริมาณแพลเลเดียม 15% จะมีสีขาวสวย ไม่จำเป็นต้องทำชุบเคลือบ และเคลือบที่ได้จะไม่หลุดลอกง่ายเหมือนกับกลุ่มของ low-palladium alloys

White gold 18 k ในกลุ่มนี้ใช้แพลเลเดียมเช่นเดียวกัน โดยสีขาวจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแพลเลเดียม ถ้ามีปริมาณแพลเลเดียมน้อยจำเป็นต้องชุบโรเดียม แต่ถ้ามีปริมาณแพลเลเดียมมากพอจะมีสีใกล้เคียงสีของแพลที่น้มไม่จำเป็นต้องชุบเคลือบและมีความแข็งหลังทำการอบอ่อนประมาณ 120-130 HV